



KIMIA INDUSTRI JILID 2

untuk SMK

Suparni Setyowati R., dkk.



JILID 2

Suparni Setyowati Rahayu, dkk.

# Kimia Industri

untuk  
Sekolah  
Menengah  
Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional



Suparni Setyowati Rahayu  
Sari Purnavita

# KIMIA INDUSTRI

**SMK**

**JILID 2**



**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

# KIMIA INDUSTRI

Untuk SMK

## JILID 2

Penulis : Suparni Setyowati Rahayu  
Sari Purnavita

Editor : Setia Budi Sasongko, DEA

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6x 25 cm

RAH RAHAYU, Suparni Setyowati  
k Kimia Industri untuk SMK Jilid 2 /oleh Suparni Setyowati  
Rahayu, Sari Purnavita ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah  
Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan  
Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.  
xxii, 375 hlm  
Daftar Pustaka : LAMPIRAN A.  
Glosarium : LAMPIRAN B.  
ISBN : 978-602-8320-41-2  
ISBN : 978-602-8320-43-6

Diterbitkan oleh

**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

## KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008  
Direktur Pembinaan SMK



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, taufik dan hidayahNya, maka tersusunlah buku ini dengan judul “KIMIA INDUSTRI”

Tujuan disusunnya buku ini adalah untuk memenuhi kebutuhan program pendidikan dan pengajaran Kimia Industri yang disesuaikan dengan perkembangan teknologi dan industri.

Dalam kaitannya dengan upaya untuk hal tersebut di atas, maka penulis berpedoman pada kurikulum tahun 2004 dan disesuaikan dengan kaidah-kaidah ilmu pengetahuan dan teknologi yang diperlukan dalam dunia industri, sehingga isi dan materi bersifat tekstual dan kontekstual. Materi yang disajikan menyangkut juga indikator-indikator yang mampu mendorong siswa dalam aspek-aspek kognitif, afektif dan psikomotorik yang terdiri atas Pengenalan Kimia Industri, Bahan Baku Untuk produk Industri, Teknologi Proses, Instrumentasi dan Pengukuran, Utilitas Pabrik, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) serta limbah.

Keseluruhan materi diharapkan mampu mendukung kompetensi lulusan SMK Kimia Industri sesuai dengan kebutuhan pasar kerja industri dan jika dimungkinkan mampu kerja mandiri.

Manfaat yang dapat diperoleh dari buku ini dalam proses pembelajaran adalah bahwa guru akan bertambah sumber belajarnya yang lebih aplikatif terutama ilmu terapan, sehingga guru akan bertambah wawasannya terutama dalam bidang kimia industri. Sedangkan bagi siswa akan bertambah buku pegangannya untuk lebih mudah belajar kimia industri, karena buku ini penyusunannya baik dalam sistematika dan materinya disesuaikan dengan tingkat kemampuan siswa dalam proses pembelajaran.

Penulis dalam menyusun buku ini sudah berupaya secara maksimal dan berupaya memberikan yang terbaik, namun masih disadari adanya kekurangan-kekurangan, sehingga diharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak guna menyempurnakan keberadaan buku ini.

Akhirnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan buku ini kami sangat berterima kasih, dan semoga menjadi amal jariah. Mudah-mudahan buku ini dapat mendorong generasi muda Indonesia lebih maju dalam berkarya dalam era globalisasi dan teknologi.

Penulis



## DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
SINOPSIS .....	xi
DESKRIPSI KONSEP PENULISAN .....	xiii
PETA KOMPETENSI .....	xix

## JILID 1

<b>BAB I PENGENALAN KIMIA INDUSTRI .....</b>	<b>1</b>
1.1. PENDAHULUAN .....	1
1.2. DEFINISI KIMIA INDUSTRI.....	1
1.3. SISTEM MANAJEMEN DALAM SUATU INDUSTRI .....	7
1.4. PENGELOLAAN LINGKUNGAN KERJA.....	17
RANGKUMAN .....	21
CONTOH SOAL .....	23
LATIHAN SOAL .....	25
<b>BAB II BAHAN BAKU DAN PRODUK INDUSTRI .....</b>	<b>27</b>
2.1. PENANGANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG.....	28
2.2. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG.....	29
2.3. PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN PENUNJANG YANG TERSISA .....	30
2.4. MENEMUKAN PERMASALAHAN DAN PELUANG PENYIMPANAN BAHAN BAKU DAN BAHAN PENUNJANG.....	30
2.5. LOGAM.....	33
2.6. BAHAN NON METAL .....	104
RANGKUMAN.....	145
CONTOH SOAL.....	147
LATIHAN SOAL .....	148

<b>BAB III INSTRUMENTASI DAN PENGUKURAN.....</b>	<b>149</b>
3.1. DEFINISI.....	149
3.2. STANDARD DAN SATUAN.....	150
3.3. ANGKA PENTING DAN GALAT .....	153
3.4. KLASIFIKASI ALAT UKUR.....	155
3.5. PENCATATAN SKALA UKUR .....	167
3.6. KELAINAN SKALA UKUR .....	168
3.7. KLASIFIKASI ALAT UKUR .....	171
3.8. KLASIFIKASI INSTRUMENTASI .....	196
3.9. ALAT KENDALI KETINGGIAN .....	197
RANGKUMAN.....	201
CONTOH SOAL.....	203
LATIHAN SOAL .....	211

## JILID 2

<b>BAB IV TEKNOLOGI PROSES .....</b>	<b>213</b>
4.1. DIAGRAM ALIR PROSES.....	214
4.2. IDENTIFIKASI SATUAN PROSES DAN OPERASI PADA KIMIA INDUSTRI.....	240
4.3. PROSES MENGUBAH UKURAN BAHAN PADAT	241
4.4. PROSES PENCAMPURAN BAHAN .....	243
4.5. PENYULINGAN ( <i>Distillation</i> ).....	248
4.6. ADSORPSI.....	269
4.7. ABSORPSI .....	271
4.8. EKSTRAKSI.....	277
4.9. FILTRASI.....	294
4.10. SUBLIMASI.....	299
4.11. EVAPORASI.....	302
4.12. PENUKAR PANAS .....	303
4.13. SATUAN PROSES KIMIA (REAKSI KIMIA DAN KATALIS) .....	307
RANGKUMAN.....	327
CONTOH SOAL.....	328
LATIHAN SOAL .....	339

<b>BAB V UTILITAS PABRIK .....</b>	<b>341</b>
5.1. UNIT PENYEDIAAN LISTRIK.....	342
5.2. UNIT PENYEDIAAN AIR .....	343
5.3. UNIT PENGADAAN UAP .....	358
5.4. SISTEM UTILITAS UDARA TEKAN .....	363
5.5. BAHAN BAKAR .....	371
5.6. OPERASI PEMBAKARAN .....	384
5.7. PETUNJUK UNTUK OPERATOR.....	385
5.8. LABORATORIUM PENUNJANG INDUSTRI KIMIA	388
RANGKUMAN .....	410
CONTOH SOAL .....	414
LATIHAN SOAL .....	420
<b>BAB VI KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA .</b>	<b>421</b>
6.1. PENDAHULUAN .....	421
6.2. MANAJEMEN RESIKO .....	483
6.3. BAHAYA BAHAN KIMIA.....	507
6.4. LIMBAH INDUSTRI.....	528
6.5. PEMBUATAN LAPORAN INFENTARISASI BAHAN KIMIA.....	549
6.6. PEDOMAN KESELAMATAN KERJA YANG BERHUBUNGAN DENGAN PERALATAN.....	552
6.7. PEMERIKSAAN KEAMANAN SEBELUM MENGHIDUPKAN PERALATAN .....	553
RANGKUMAN .....	558
CONTOH SOAL .....	559
LATIHAN SOAL .....	559

# JILID 3

<b>BAB VII LIMBAH INDUSTRI .....</b>	<b>561</b>
7.1. PENCEMARAN DAN LINGKUNGAN.....	562
7.2. JENIS LIMBAH INDUSTRI.....	574
7.3. LIMBAH GAS DAN PARTIKEL.....	586
7.4. LIMBAH PADAT .....	593
7.5. NILAI AMBANG BATAS .....	605
RANGKUMAN .....	742
CONTOH SOAL .....	742
LATIHAN SOAL .....	744

**LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN B. GLOSARIUM**

## SINOPSIS

Buku merupakan salah satu masukan (*input*) dalam proses pembelajaran dengan demikian akan mempunyai pengaruh terhadap keluaran (*output*). Buku sebagai bagian dari proses pada dasarnya merupakan suatu kumpulan dari teori-teori yang masih berlaku dan dalam bidang kejuruan teknik teori tersebut dapat diaplikasikan dalam bentuk nyata untuk mempermudah kehidupan manusia. Buku dengan judul “Kimia-Industri” merupakan buku yang diperuntukkan bagi siswa maupun pengajar dalam bidang kejuruan teknik khususnya kimia.

Buku ini diawali (dalam bab I) dengan membahas mengenai pengenalan Kimia Industri, yaitu aplikasi (bagian utama dalam bidang kejuruan teknik) dari ilmu kimia maupun ilmu penunjang yang lain seperti fisika untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dalam skala industri. Pengenalan ini cukup penting, karena aplikasi kimia dalam skala industri diperlukan ilmu-ilmu penunjang tersebut. Membahas skala industri, tentunya akan mempunyai interpretasi produk dalam skala yang besar (baik kuantitas maupun kualitas). Oleh karenanya akan diperlukan bahan baku dan juga manusia sebagai salah satu bagian dari “sumber daya”, telah dibahas pada bab I. Sedangkan bab-bab selanjutnya merupakan pembahasan lebih lanjut dari bab I.

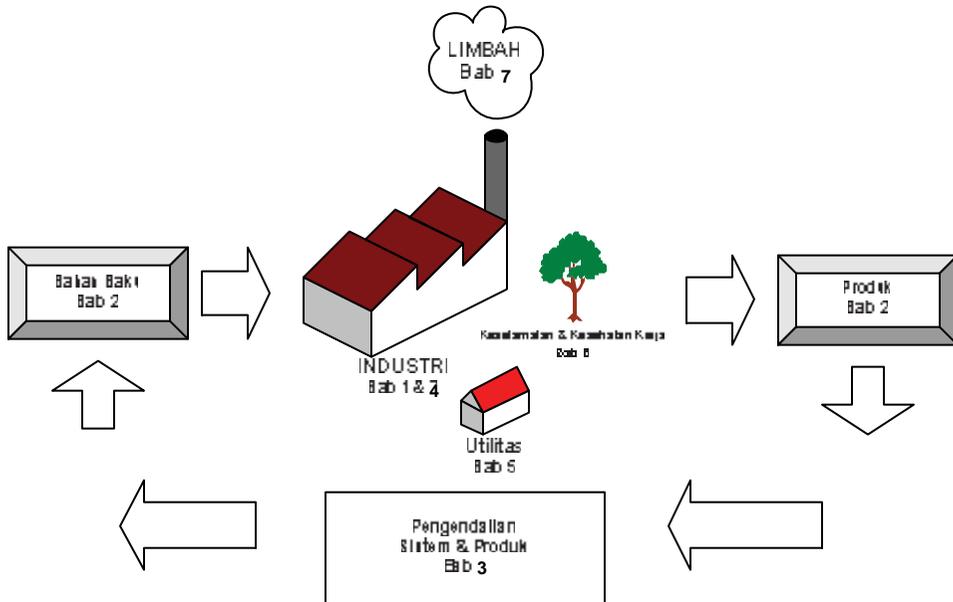
Bab II membahas bahan baku awal (sebagai bahan baku) maupun akhir (sebagai bagian dari produk) yang merupakan tujuan utama dari seseorang yang bergerak dibidang kejuruan teknik khususnya kimia. Sedangkan bagaimana mengubah dari bahan baku menjadi suatu produk akan dibahas pada bab IV mengenai teknologi proses.

Dalam memproduksi suatu bahan dalam skala industri, tentunya selain mempertimbangkan kuantitas juga perlu mempertimbangkan kualitas. Untuk menjaga kualitas dari suatu produk, maka diperlukan instrumen untuk mengendalikannya sistem proses yang dibahas pada bab III. Sedangkan satuan (*unit*) penunjang dalam suatu industri berupa pembangkit tenaga listrik, pembangkit uap, pengolahan air proses maupun pengolahan air limbah dibahas pada bab VII.

Kesan industri sebagai bagian sistem yang mengeksplorasi dari “sumber daya” perlu mendapat perhatian khusus agar tidak merusakkan sumber daya tersebut sehingga kelestariannya dapat dipertahankan. Permasalahan ini dibahas pada bab VI. Dua hal yang perlu diperhatikan keterkaitannya dengan sumber daya, yaitu sumber daya alam dan sumber daya manusia. Sumber daya alam menyangkut permasalahan

penggunaan bahan baku khususnya yang langsung diambil dari alam dan juga bahan yang dibuang ke alam. Bahan hasil produksi yang dibuang ke alam baik berupa bahan padat, cair maupun gas dibahas dalam sub-bab mengenai masalah limbah. Sedangkan untuk melestarikan sumber daya manusia sebagai bagian dari pada kehidupan, dibahas lebih mendalam pada sub bab K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja).

### Garis Besar Isi Buku

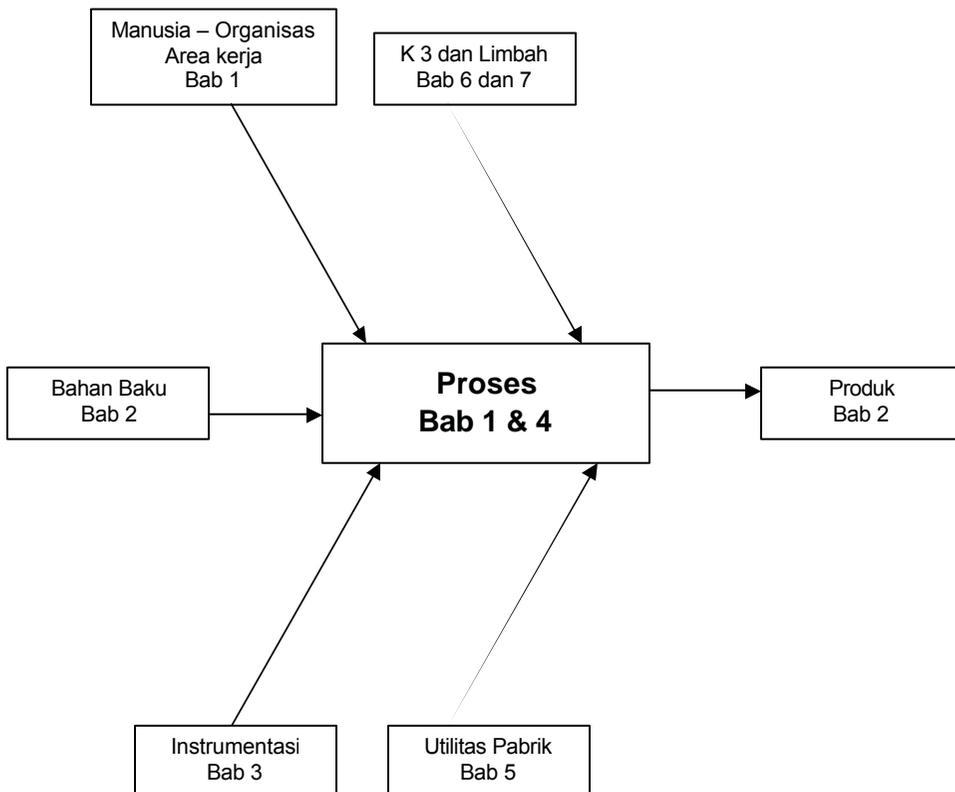


## DESKRIPSI KONSEP PENULISAN

Era globalisasi sedang berlangsung baik dalam bidang perdagangan maupun bidang lainnya, seperti informatika dan pendidikan. Globalisasi ini membawa dampak positif, antara lain kebebasan pertukaran informasi, perdagangan dan perindustrian, yang pada akhirnya dapat memajukan masyarakat karena terjadinya peningkatan ilmu pengetahuan.

Menyikapi kondisi tersebut, penulis menyusun buku Kimia Industri sebagai buku pegangan siswa agar mempunyai wawasan, jika nantinya bekerja di dunia industri.

Adapun konsep penulisan sebagai berikut :



### **Bab 1 : Pengenalan Kimia Industri**

Kimia Industri mencakup hal yang cukup luas. Pada bagian ini akan diperkenalkan mengenai Kimia Industri, yang akan dimulai berdasarkan akar katanya, yaitu Kimia dan Industri. Selanjutnya pada sub bab selanjutnya akan dibahas mengenai sistem manajemen dalam suatu industri dan area kerja, khususnya industri besar dimana pada bagian ini akan terlihat pembagian pelaksanaan tugas mulai dari tingkat pelaksana

yang dalam hal ini diduduki oleh seseorang dengan klasifikasi pendidikan minimal Sekolah Menengah Kejuruan Teknik / STM sampai dengan tingkat manajer puncak dengan klasifikasi pendidikan minimal sarjana. Dengan demikian diharapkan dapat sebagai gambaran kompetensi yang diperlukan apabila seseorang bekerja pada bidang industri kimia.

## **Bab II : Bahan Baku untuk Produk Industri**

Menjelaskan persiapan bahan baku dan bahan penunjang serta persiapan bahan kimia untuk menghasilkan suatu produk. Selain itu juga pengelolaan bahan-bahan cadangan.

## **Bab III : Instrumentasi dan Pengukuran**

Setiap alat yang digunakan dan dioperasikan dalam sebuah pabrik dilengkapi dengan instrumen untuk mengukur parameter-parameter tertentu sesuai kondisi operasi yang harus selalu dipantau setiap saat. Instrumen yang dimaksud terdiri dari dua macam yaitu instrumen lokal dan instrumen panel. Skala ukur yang terbaca dalam instrumen lokal merupakan kontrol terhadap skala ukur instrumen panel.

Untuk mendasari pengetahuan yang diperlukan dalam kegiatan mengukur maka di bawah ini dibahas tentang satuan dan standardnya, konsep angka penting dan galat serta kelainan skala ukur. Alat-alat ukur yang banyak digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan terdiri dari alat pengukur suhu, alat pengukur tekanan, alat pengukur aliran, dan alat pengukur sifat kimiawi: pH atau keasaman, COD, BOD.

## **Bab IV : Teknologi Proses**

Kata teknologi mempunyai arti **aplikasi** dari ilmu pengetahuan (scientific) yang digunakan dalam rangka untuk mempermudah kehidupan manusia. Dengan teknologi, maka manusia akan dapat melakukan sesuatu menjadi lebih mudah. Sedangkan proses secara umum merupakan **perubahan** dari **masukkan** (*input*) dalam hal ini bahan baku setelah melalui proses maka akan menjadi **keluaran** (*output*) dalam bentuk produk. Ada tiga kata kunci dalam mengartikan proses, yaitu input, perubahan dan output.

Dengan demikian “teknologi proses” merupakan aplikasi dari ilmu pengetahuan untuk merubah bahan baku menjadi produk atau bahan yang mempunyai nilai lebih (*added value*), dimana perubahan dapat berupa perubahan yang bersifat fisik maupun perubahan yang bersifat kimia dalam skala besar atau disebut dengan skala industri. Perubahan yang bersifat fisik disebut dengan satuan operasi (*unit operation*), sedangkan yang bersifat perubahan kimia disebut dengan satuan proses (*unit process*).

Untuk bisa memahami suatu proses yang terjadi di industri kimia maka terlebih dahulu harus bisa membaca diagram alir proses serta mengenal simbol dan jenis-jenis peralatan yang digunakan pada industri kimia.

Untuk bisa mengoperasikan peralatan industri kimia maka perlu memahami beberapa satuan operasi, mulai dari (1) Proses mengubah ukuran bahan padat dengan menggunakan mesin pemecah (*crusher*), mesin giling (*grinder*), dan mesin potong (*cutting machine*), (2) Pencampuran bahan yang merupakan peristiwa menyebarnya bahan-bahan secara acak, dimana bahan yang satu menyebar ke dalam bahan yang lain demikian pula sebaliknya, sedang bahan-bahan itu sebelumnya terpisah dalam keadaan dua fase atau lebih yang akhirnya membentuk hasil yang lebih seragam (homogen), (3) Distilasi (penyulingan) adalah proses pemisahan komponen dari suatu campuran yang berupa larutan cair-cair dimana karakteristik dari campuran tersebut adalah mampu-campur dan mudah menguap, selain itu komponen-komponen tersebut mempunyai perbedaan tekanan uap dan hasil dari pemisahannya menjadi komponen-komponennya atau kelompok-kelompok komponen. Karena adanya perbedaan tekanan uap, maka dapat dikatakan pula proses penyulingan merupakan proses pemisahan komponen-komponennya berdasarkan perbedaan titik didihnya. Baik distilasi dengan peralatan skala laboratorium maupun skala industri, (4) Adsorpsi atau penyerapan adalah proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Misalnya, limbah industri pencucian kain batik diadsorpsi zat warnanya dengan menggunakan arang tempurung kelapa yang sudah diaktifkan. Limbah elektroplating yang mengandung nikel, logam berat nikel diadsorpsi dengan zeolit yang diaktifkan, (5) Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan adsorben cair yang diikuti dengan pelarutan. Tujuannya untuk meningkatkan nilai guna dari suatu zat dengan cara merubah fasenya, (6) Ekstraksi adalah pemisahan suatu zat dari campurannya dengan pembagian sebuah zat terlarut antara dua pelarut yang tidak dapat bercampur untuk mengambil zat terlarut tersebut dari satu pelarut ke pelarut yang lain, (7) Filtrasi adalah pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaringan, atau *septum*, dimana zat padat itu tertahan. Pada industri, filtrasi ini meliputi ragam operasi mulai dari penyaringan sederhana hingga pemisahan yang kompleks. Fluida yang difiltrasi dapat berupa cairan atau gas; aliran yang lolos dari

saringan mungkin saja cairan, padatan, atau keduanya. Filtrasi dengan peralatan skala laboratorium sampai skala pilot plant/industri baik *batch* maupun *kontinyu*, (8) Operasi evaporasi atau penguapan pada dasarnya merupakan operasi pendidihan khusus, dimana terjadi peristiwa perpindahan panas dalam cairan mendidih. Tujuan operasi evaporasi adalah untuk memperoleh larutan pekat dari larutan encer dengan jalan pendidihan dan penguapan, (9) Penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien.

Satuan Proses Kimia merupakan proses yang melibatkan reaksi Kimia dan katalis. Reaksi kimia merupakan suatu proses dimana bahan sebelum diproses disebut dengan reaktan dan hasilnya produk. Lambang dari reaksi kimia sebelum dan sesudah proses menggunakan tanda panah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi adalah ukuran partikel/zat, suhu dan katalis. Jenis-jenis reaksi kimia yang banyak digunakan diindustri adalah reaksi katalitik (reaksi dengan katalis) dan reaksi netralisasi. Contoh Proses Kimia dengan Reaksi Katalitik pada Industri Kecil – Menengah : Industri pembuatan biodiesel dari bahan alami yang terbarukan (minyak nabati) dan katalis kimia atau biologis. Sedangkan industri minyak jagung adalah contoh untuk proses kimia yang melibatkan reaksi netralisasi.

## **Bab V : Utilitas Pabrik**

Sebuah pabrik mempunyai dua sistem proses utama, yaitu sistem pereaksian dan sistem proses pemisahan & pemurnian. Kedua sistem tersebut membutuhkan kondisi operasi pada suhu dan tekanan tertentu. Dalam pabrik, panas biasanya 'disimpan' dalam fluida yang dijaga pada suhu dan tekanan tertentu. Fluida yang paling umum digunakan adalah air panas dan uap air karena alasan murah dan memiliki kapasitas panas tinggi. Fluida lain biasanya digunakan untuk kondisi pertukaran panas pada suhu di atas 100 °C pada tekanan atmosfer. Air atau uap air bertekanan (dinamakan kukus atau *steam*) mendapatkan panas dari ketel uap (*boiler*).

Sistem pemindahan panas bertugas memberikan panas dan menyerap panas. Misalnya, menyerap panas dari sistem proses yang

menghasilkan energi seperti sistem proses yang melibatkan reaksi eksotermik atau menyerap panas agar kondisi sistem di bawah suhu ruang atau suhu sekitar. Sistem pemroses yang melakukan ini adalah *cooling tower*.

*Cooling tower*, *boiler* dan tungku pembakaran merupakan sistem-sistem pemroses untuk sistem penyedia panas dan sistem pembuang panas. Kedua sistem proses ini bersama-sama dengan sistem penyedia udara bertekanan, sistem penyedia listrik dan air bersih untuk kebutuhan produksi merupakan sistem penunjang berlangsungnya sistem proses utama yang dinamakan **sistem utilitas**. Kebutuhan sistem utilitas dan kinerjanya tergantung pada seberapa baik sistem utilitas tersebut mampu 'melayani' kebutuhan sistem proses utama dan tergantung pada efisiensi penggunaan bahan baku dan bahan bakar.

Proses kimia sangat membutuhkan kelengkapan laboratorium kimia untuk pengontrolan kualitas bahan baku dan produk.

## **Bab VI : Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)**

Seirama dengan derap langkah pembangunan negara dewasa ini, kita akan memajukan industri yang maju dan mandiri dalam rangka mewujudkan Era industrialisasi. Proses industrialisasi maju ditandai antara lain dengan mekanisme, elektrifikasi dan modernisasi.

Dalam keadaan yang demikian maka penggunaan mesin-mesin, pesawat-pesawat, instalasi-instalasi modern serta bahan berbahaya semakin meningkat. Hal tersebut disamping memberi kemudahan proses produksi dapat pula menambah jumlah dan ragam sumber bahaya di tempat kerja. Didalam hal lain akan terjadi pula lingkungan kerja yang kurang memenuhi syarat, proses dan sifat pekerjaan yang berbahaya, serta peningkatan intensitas kerja operasional tenaga kerja. Masalah tersebut diatas akan sangat memengaruhi dan mendorong peningkatan jumlah maupun tingkat keseriusan kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja dan pencemaran lingkungan.

Untuk itu semua pihak yang terlibat dalam usaha berproduksi khususnya para pengusaha dan tenaga kerja diharapkan dapat mengerti, memahami dan menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja di tempat kerja masing-masing. Agar terdapat keseragaman dalam pengertian, pemahaman dan persepsi K3, maka perlu adanya suatu pola yang baku tentang keselamatan dan kesehatan kerja itu sendiri. Buku ini disusun sebagai materi pengantar K3 agar lebih memudahkan untuk mempelajari lebih jauh tentang keselamatan dan kesehatan kerja.

## **Bab VII : Limbah Industri**

Adalah konsekuensi logis dari setiap pendirian pabrik meskipun tidak semua pabrik memproduksi limbah. Limbah yang mengandung senyawa kimia berbahaya dan beracun dengan konsentrasi tertentu lepas ke dalam lingkungan menciptakan pencemaran dalam wadah penerima baik sungai, tanah maupun udara.

Pemahaman akan pencemaran sangat penting artinya bagi masyarakat maupun pengusaha. Seringkali pencemaran itu diinterpretasikan secara sempit sehingga jangkauan pemahaman pun terbatas pada hal-hal yang sifatnya insidental pula. Padahal pencemaran dan akibat yang ditimbulkan dapat diketahui setelah puluhan tahun berlangsung.

Banyak industri berdiri tanpa program pencegahan dan pengendalian pencemaran. Ketika menyadari bahwa program itu merupakan prioritas pengembangan usaha, ditemui berbagai rintangan seperti lahan yang terbatas, perlu investasi tambahan, perlu tenaga ahli dan sejumlah kekurangan lain yang perlu segera ditangulangi.

## PETA KOMPETENSI KIMIA INDUSTRI TINGKAT PELAKSANA (1)

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01	
<b>B.1</b>	<b>Pengenalan Kimia Industri</b>																					
1.1									v													
1.2									v										v			
1.3	v																					
1.4	v																					
<b>B.2</b>	<b>Bahan dan Produk</b>																					
2.1					v		v															
2.2					v																	
<b>B.3</b>	<b>Instrumentasi dan Pengukuran</b>																					
3.1		v																				
3.2		v																				
3.3		v														v						
3.4				v																	v	
3.5				v																		
3.6				v																		
<b>B.4</b>	<b>Teknologi Proses</b>																					
4.1									v													
4.2									v													
4.3			v														v					
4.4						v													v			
4.5									v													
4.6									v													
4.7									v													
4.8									v													
4.9									v													
4.10									v													
4.11									v													
4.12									v													
4.13									v													
<b>B.5</b>	<b>Utilitas Pabrik</b>																					
5.1	v																					
5.2						v																
5.3			v																			
5.4					v																v	
5.5			v																			
5.6						v																
5.7		v																				
5.8	v				v	v	v				v											
<b>B.6</b>	<b>K3 (Kesehatan &amp; Keselamatan Kerja)</b>																					
6.1			v	v							v	v										
6.2											v	v										
6.3						v					v	v										

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01	
6.4								<			<											
<b>B.7</b>	<b>Limbah</b>																					
7.1	v		v								<	<										
7.2	v		v								<	<										
7.3	v		v								<	<										

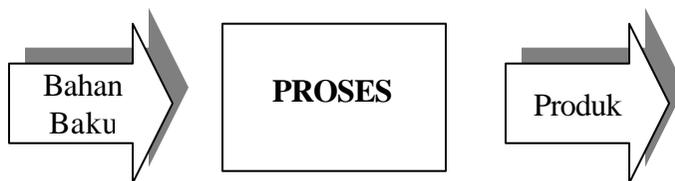
## PETA KOMPETENSI KIMIA INDUSTRI TINGKAT PELAKSANA (2)

MATERI	KELOMPOK DASAR										KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01
B.1	<b>Pengenalan Kimia Industri</b>																				
1.1	v																				
1.2	v		v	v		v		v					v	v							
1.3	v		v																	v	
1.4																					
B.2	<b>Bahan dan Produk</b>																				
2.1			v																		
2.2					v																
B.3	<b>Instrumentasi dan Pengukuran</b>																				
3.1				v																	
3.2			v																		
3.3				v																	
3.4					v																
3.5						v															
3.6									v												
B.4	<b>Teknologi Proses</b>																				
4.1				v																	
4.2						v															
4.3							v														
4.4		v																			
4.5				v						v											
4.6						v															
4.7						v															
4.8							v														
4.9															v						
4.10													v								
4.11													v								
4.12			v														v				
4.13	v																				
B.5	<b>Utilitas Pabrik</b>																				
5.1						v															
5.2							v												v		v
5.3			v																		
5.4		v						v													
5.5					v																
5.6					v																
5.7					v																
5.8																					v
B.6	<b>K3 (Kesehatan &amp; Keselamatan Kerja)</b>																				
6.1												v									
6.2														v							
6.3													v								
6.4										v					v						

MATERI	KELOMPOK DASAR											KELOMPOK UTAMA										
	KIN.KL.11.001.01	KIM.IP.11.002.01	KIN.KL.11.003.01	KIN.KL.11.004.01	KIN.BP.11.005.01	KIN.BP.11.006.01	KIN.BP.11.007.01	KIN.BP.11.008.01	KIN.TP.11.009.01	KIN.KL.11.010.01	KIN.IP.11.011.01	KIN.BP.11.012.01	KIN.IP.12.013.01	KIN.KL.12.014.01	KIN.IP.12.015.01	KIN.IP.12.016.01	KIN.IP.12.017.01	KIN.TP.12.018.01	KIN.TP.12.019.01	KIN.UP.12.020.01	KIN.TP.12.021.01	
B.7	Limbah																					
7.1												<										
7.2														<								
7.3																<						

## BAB IV TEKNOLOGI PROSES

Kata teknologi mempunyai arti aplikasi dari ilmu pengetahuan (*scientific*) yang digunakan dalam rangka untuk mempermudah kehidupan manusia. Sebagaimana sebuah kalimat yang mengatakan “*The scientist makes things known, the engineer makes things work*” (Ulrich, 1984), atau dalam terjemahan bebasnya dapat dikatakan bahwa ilmu pengetahuan membuat sesuatu menjadi dapat difahami (diketahui), sedangkan teknologi akan membuat sesuatu tersebut dapat lebih bermanfaat. Dengan teknologi, maka manusia akan dapat melakukan sesuatu menjadi lebih mudah. Sedangkan proses secara umum merupakan perubahan dari masukan (*input*) dalam hal ini bahan baku setelah melalui proses maka akan menjadi keluaran (*output*) dalam bentuk produk. Ada tiga kata kunci dalam mengartikan proses, yaitu input, perubahan dan output, sebagaimana terlihat pada gambar 4.1.



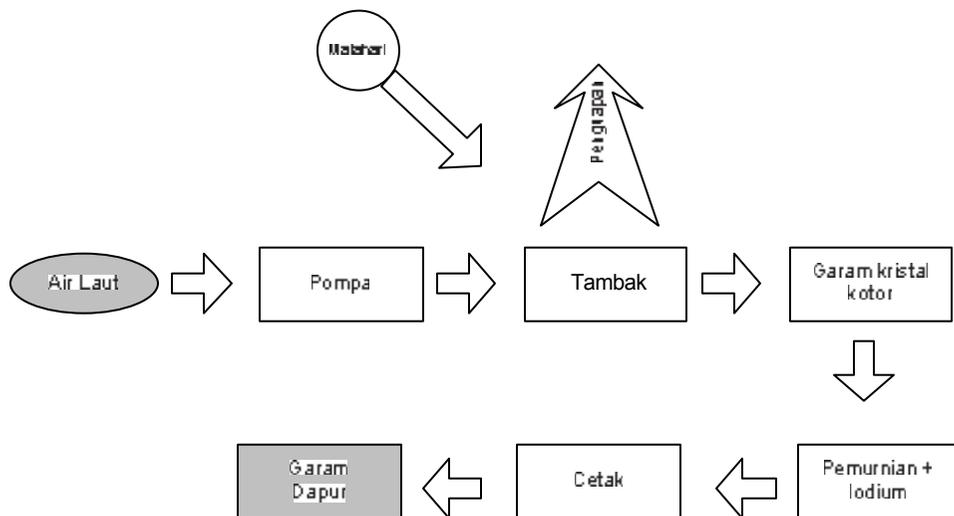
**Gambar 4.1 : Hubungan antara Bahan baku dan Produk**

Dengan demikian “teknologi proses” merupakan aplikasi dari ilmu pengetahuan untuk merubah bahan baku menjadi produk atau bahan yang mempunyai nilai lebih (*added value*), dimana perubahan dapat berupa perubahan yang bersifat fisik maupun perubahan yang bersifat kimia dalam skala besar atau disebut dengan skala industri. Perubahan yang bersifat fisik disebut dengan satuan operasi (*unit operation*), sedangkan yang bersifat perubahan kimia disebut dengan satuan proses (*unit process*), sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab I. Dibagian awal akan dibahas mengenai bagaimana membaca suatu sistem proses yang merupakan gabungan dari elemen-elemen proses.

#### 4.1. DIAGRAM ALIR PROSES

Untuk menghindari kerumitan dalam permasalahan, maka suatu sistem kadang kala dibuat sederhana (*simple*). Hal ini sering dilakukan dalam bidang keteknikan, salah satunya merubah diskripsi dalam bentuk gambar atau diagram. Selain lebih mudah untuk difahami, bentuk diagram atau dalam bentuk simbol akan mempercepat seseorang dalam melihat suatu proses. Salah satu bentuk diagram yang sederhana adalah bentuk diagram kotak (*block diagram*), dimana dibagian dalam dari kotak-kotak terdapat keterangan yang menerangkan fungsi, jenis peralatan, ataupun kondisi operasi.

Sebagai contoh proses pembuatan garam dapur dari air laut, sebagaimana yang ditampilkan pada gambar 4.8



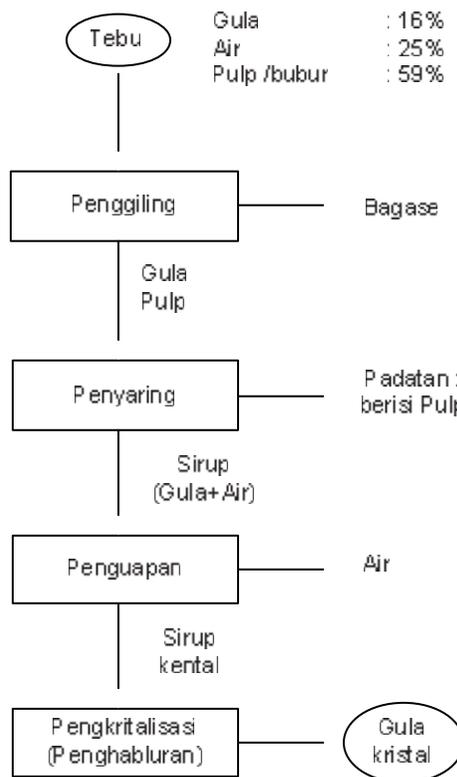
**Gambar 4.2: Proses pembuatan garam dapur dari air laut**

Proses pembuatan garam dapur sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.1 diawali dengan memompa Air laut ke sawah yang miring pada musim kemarau. Pengaliran diatur sehingga terjadi proses penghabluran pada sudut petak tambak yang tinggi. Dari tambak ini hablur diangkut ke pabrik di mana hablur ini dikristalkan lagi, dimurnikan, dicampur dengan iod (bila perlu) kemudian dicetak.

Contoh lain bentuk diagram balok, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.3, yaitu proses pembuatan gula dari tebu.

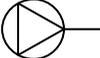
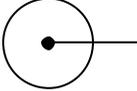
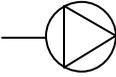
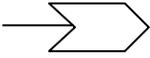
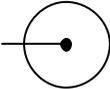
Pada proses tersebut diawali dari bahan baku gula berupa tebu mempunyai komposisi gula 16%, air 25% dan pulp (bubur) 59% berat. Kemudian bahan baku tebu tersebut dimasukkan kedalam alat penggilingan dimana akan terpisahkan baggase dengan gula beserta air dan sebagian pulp. Dimana baggase merupakan ampas dari tebu, yang sudah tidak mengandung gula, dan baggase ini merupakan bahan baku untuk pabrik kertas atau dapat juga digunakan sebagai bahan bakar.

Hasil keluaran dari mesin penggiling, berupa gula cair dan masih ada padatan pulpnya, dimasukkan kedalam alat penyaring, maka akan dipisahkan padatan pulp dengan campuran gula dan air yang disebut dengan sirup. Selanjutnya, sirup tersebut dikentalkan dengan menggunakan alat penguapan (evaporator) Dan keluaran dan mesin penguap, selanjutnya dimasukkan dalam alat pengkristal (kristaliser) dan akan didapat gula kristal.



Dua contoh mengenai diagram balok, sebagaimana terlihat pada gambar 4.2 maupun 4.3, setiap balok dapat mendeskripsikan proses (misalkan penguapan, penggilingan), ataupun dapat juga berupa alat (seperti pompa) dan juga material (garam dapur). Diagram balok lebih menonjolkan pada sekuense (urutan) dari proses. Selain bentuk diagram balok, yang lebih umum digunakan dalam pabrik disebut dengan diagram alir proses (*process flow diagram*, disingkat *PFD*). Pada diagram bentuk ini, menggambarkan sistem proses yang lebih detail dibandingkan bentuk diagram balok. Pada tabel 4.1 merupakan simbol untuk identifikasi dari aliran pada diagram aliran proses. Identifikasi dimulai dari awal dari proses, yang dapat berupa masuknya bahan baku atau bahan antara, dimana bahan tersebut dapat berupa produk dari unit (bagian) lain dari pabrik tersebut. Kemudian identifikasi dari setiap aliran ditandai dengan nomor arus, dimana setiap arus memuat kondisi operasi (suhu dan tekanan) dan juga neraca massa dari tiap komponen yang biasanya ditampilkan dalam bentuk tabel dibagian bawah dari diagram alir proses tersebut.

**Tabel 4.1: Identifikasi Aliran pada diagram proses**

Simbol	Keterangan
	Aliran proses dimulai
	Bahan baku masuk
	Bahan antara masuk
	Aliran Proses berakhir
	Produk keluar
	Produk samping keluar

**Tabel 4.1: Identifikasi Aliran pada diagram proses (lanjutan)**

Simbol	Keterangan
	
 	Nomor arus 9 (misalnya), menunjukkan neraca bahan
  	Tekanan, 3 atm

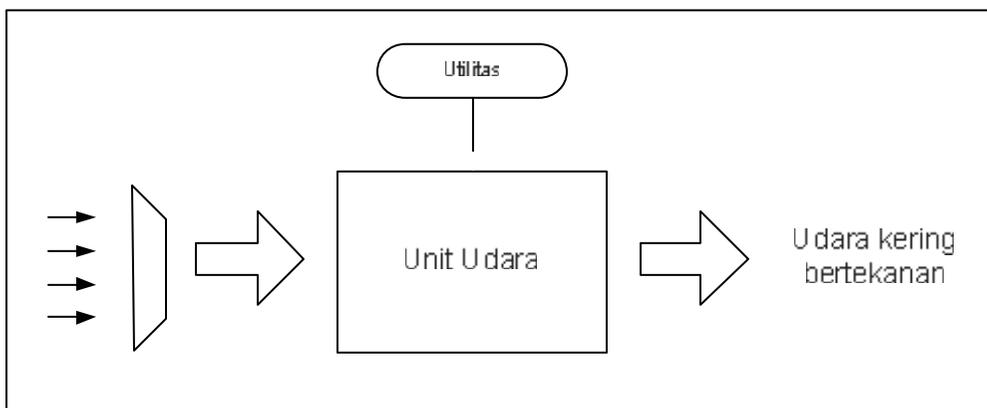
**Tabel 4.2: Kode peralatan (Ulrich, 1984) (lanjutan)**

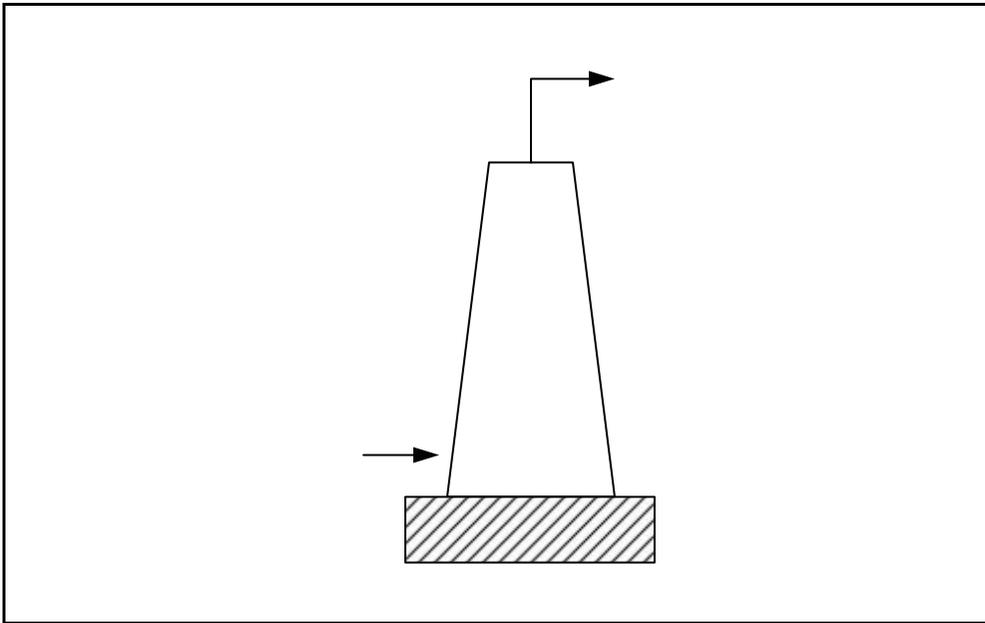
Kode Pada Alat	Jenis Alat
J	Konveyor
K	Instrumentasi (katup kendali, tranmitter, indikator, recorder, analiser)
L	Pompa
M	Agitator, Pencampur
N	Motor, turbin, penggerak (drive)
P	Unit paket (refrigerator, generator uap, menara pendingin)
Q	Tungku (furnace), process heater
R	Reaktor
S	Size enlargement equipment
V	Vaporizer dan evaporator
X	Lain-lain

Beberapa simbol dari peralatan satuan operasi dapat dilihat pada gambar berikut beserta pengelompokannya berdasarkan tabel 4.2

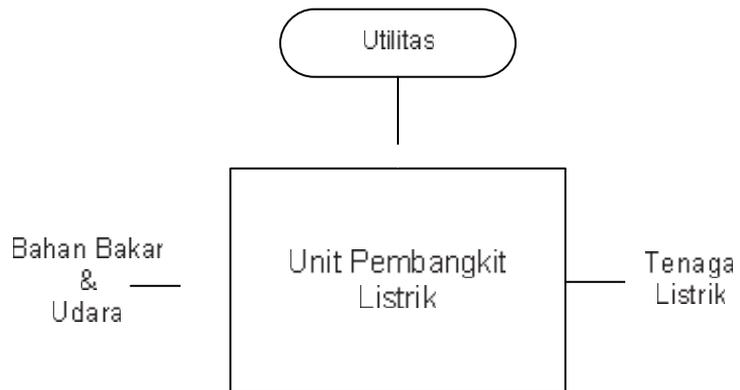
**Kelompok A: Fasilitas Alat Bantu:**

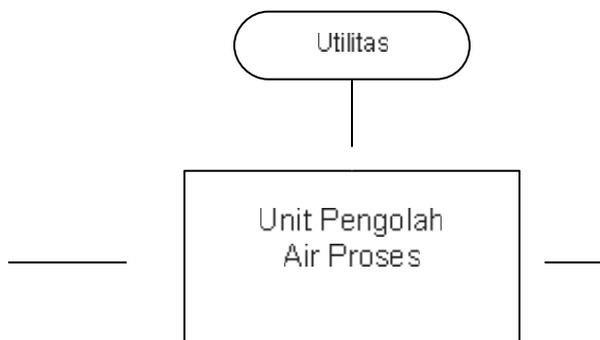
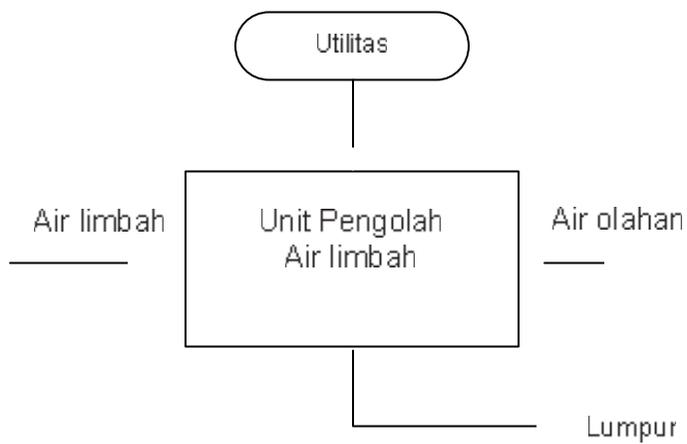
Peralatan pada kelompok A ini, merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam unit alat bantu pabrik, atau pada bagian utilitas. Untuk satu satuan (unit) tidak berarti hanya terdiri dari satu alat, akan tetapi dapat terdiri dari beberapa alat.

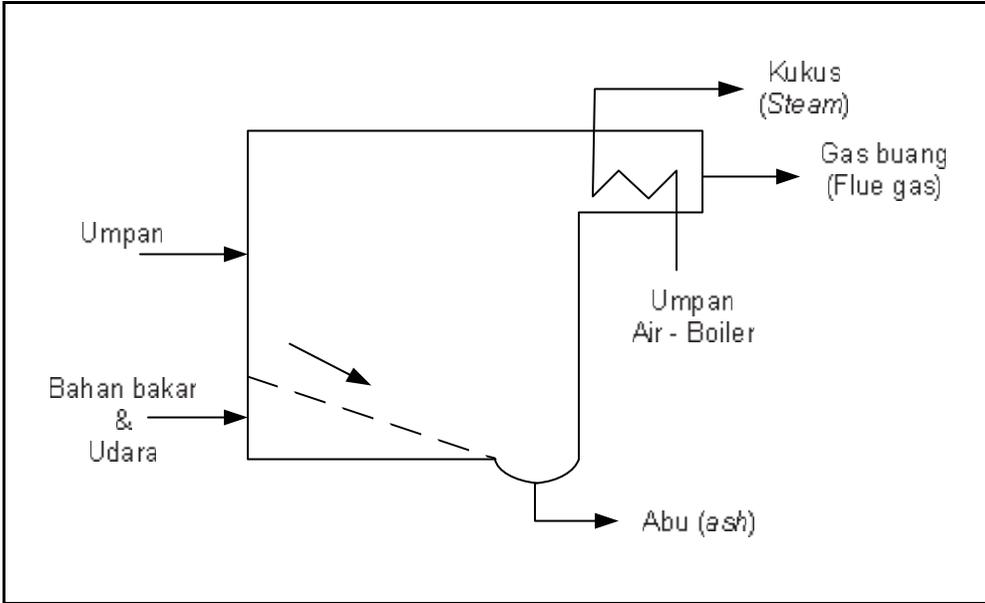




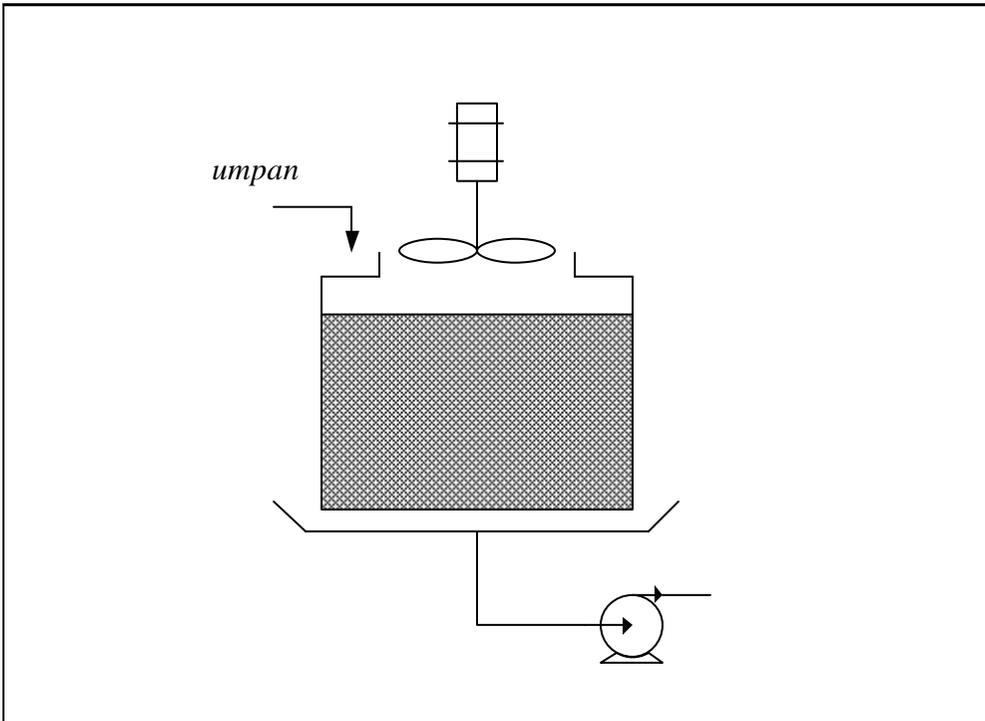
**Gambar 4.5: Chimney or Stack**







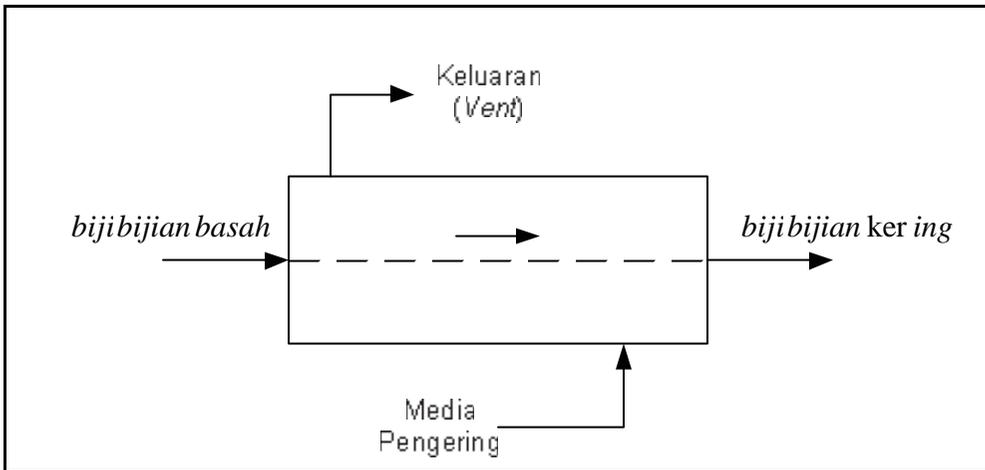
**Gambar 4.9: Insenerator**



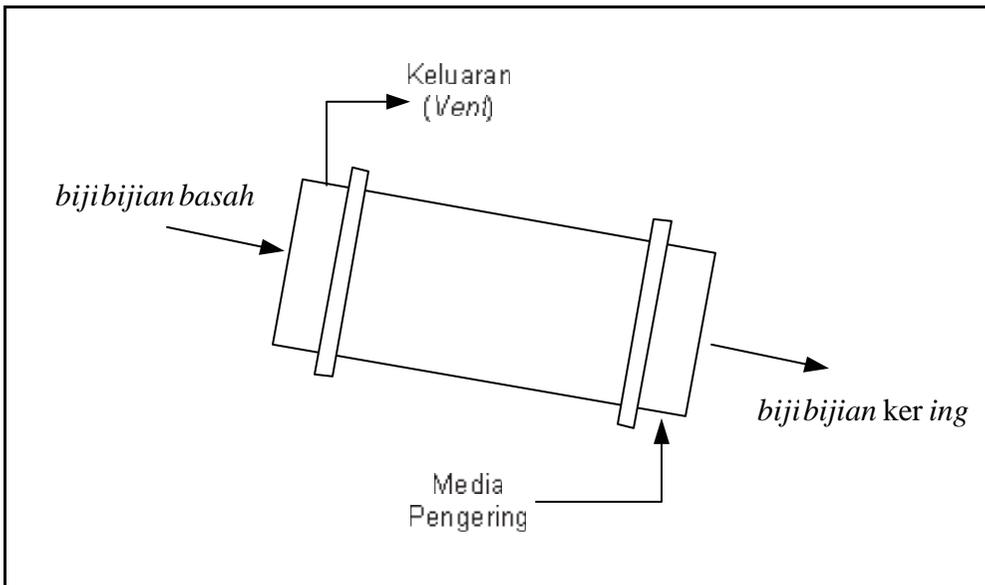
**Gambar 4.10: Menara Pendingin (Cooling Tower)**

### Kelompok B: Peralatan Gas - Padatan

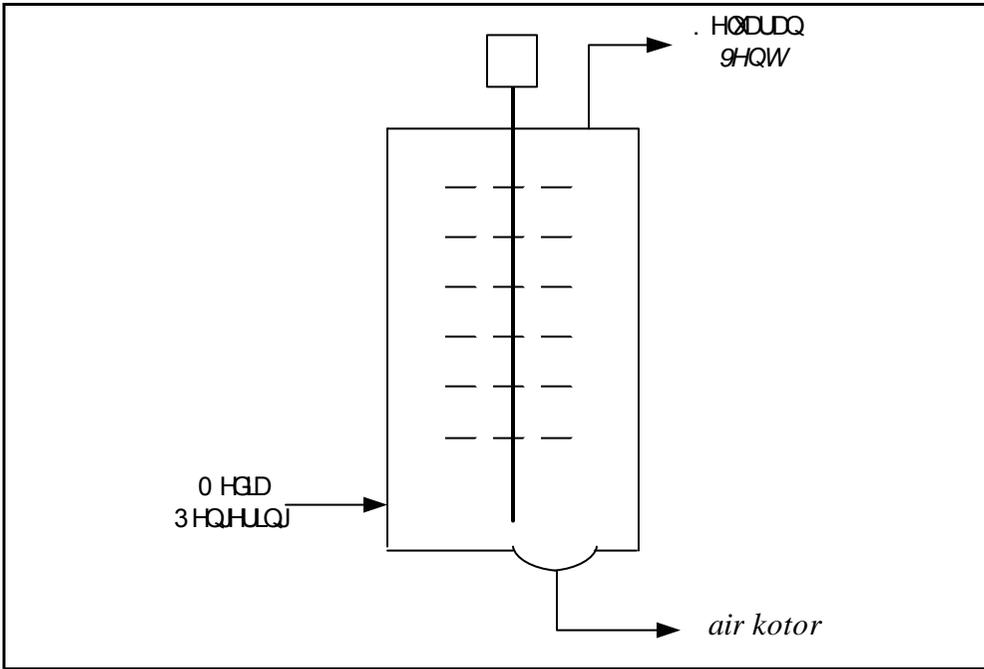
Peralatan pada kolompok B, merupakan peralatan yang melakukan satuan operasi yang berhubungan dengan bahan padat dan gas, seperti pengeringan padatan biji-bijian dengan menggunakan media udara pemanas kering, sebagaimana ditunjukkan pada gambar-gambar berikut.



Gambar 4.11: Tunnel



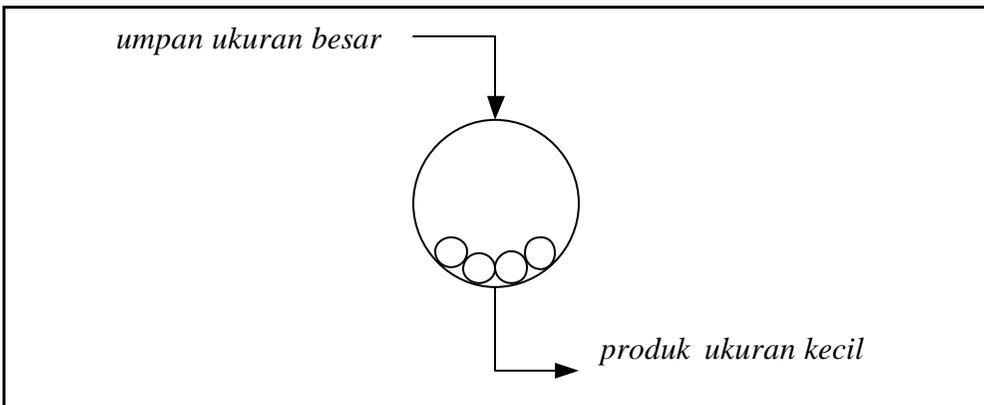
Gambar 4.12: Rotary



Gambar 4.13: Menara vertikal (Vertical tower)

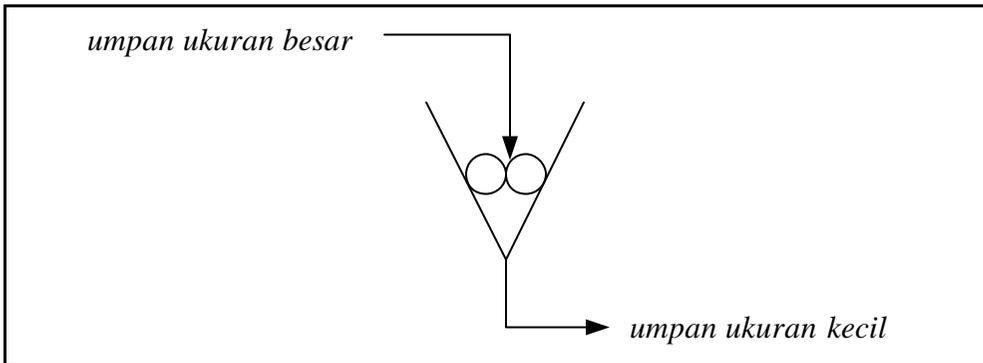
**Kelompok C: Crusher, Mill, Grinder**

Peralatan pada kelompok ini, pada dasarnya merupakan peralatan yang digunakan untuk memperkecil ukuran dari bahan fase padat.



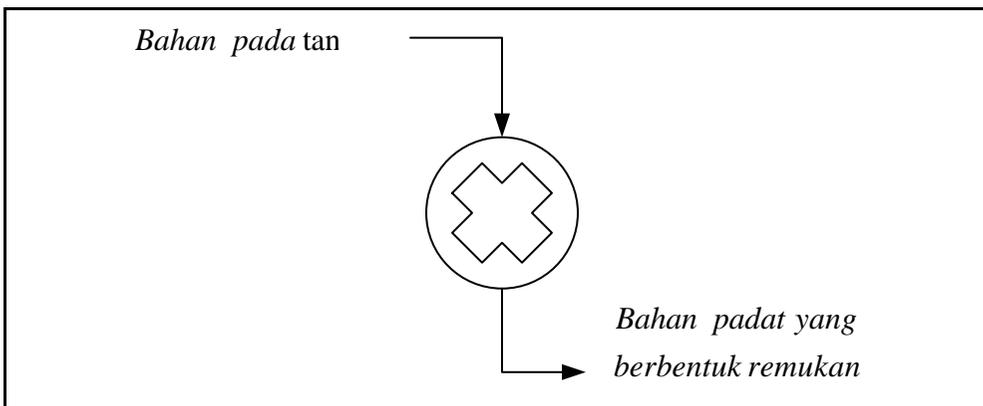
Gambar 4.14: Penggiling Bola (Ball Mill)

Proses memperkecil ukuran dari bahan padatan dengan menggunakan bola dan tangki dalam keadaan berputar



**Gambar 4.15: Penghancur Gulung (*Roll Crusher*)**

Bahan padatan yang akan dihancurkan, masuk diantara gulungan yang berputar

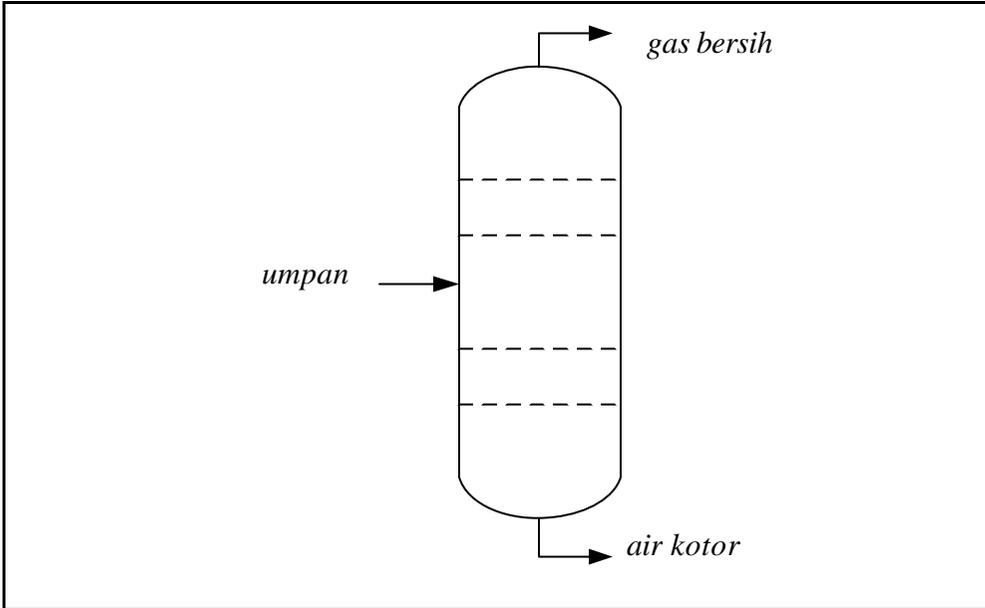


**Gambar 4.16: Palu Penghancur (*Hammer Crusher*)**

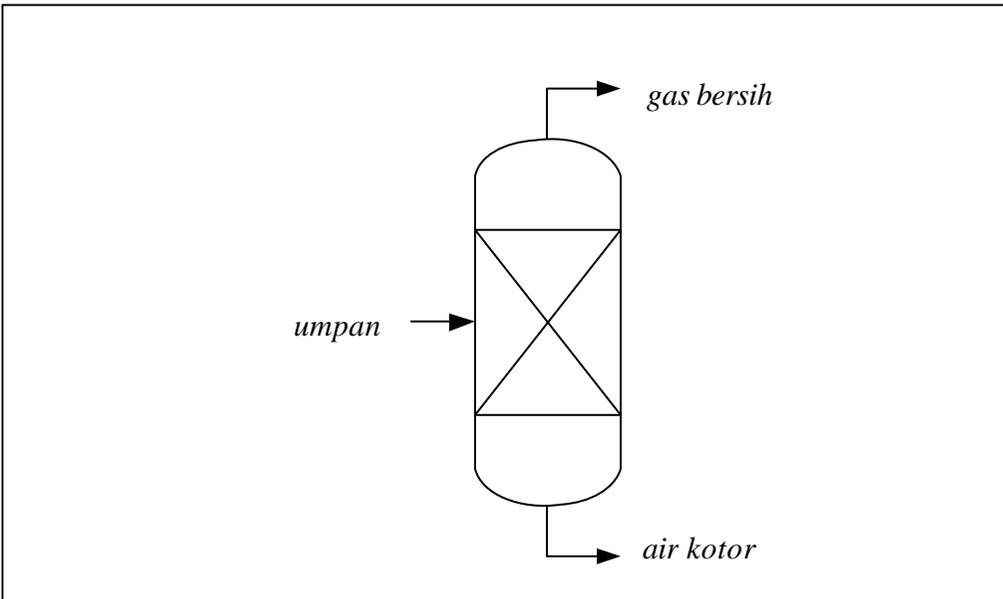
Bahan dihancurkan dengan menggunakan palu (*hammer*) yang berputar

#### **Kelompok D: Tangki Proses (*Process Vessel*)**

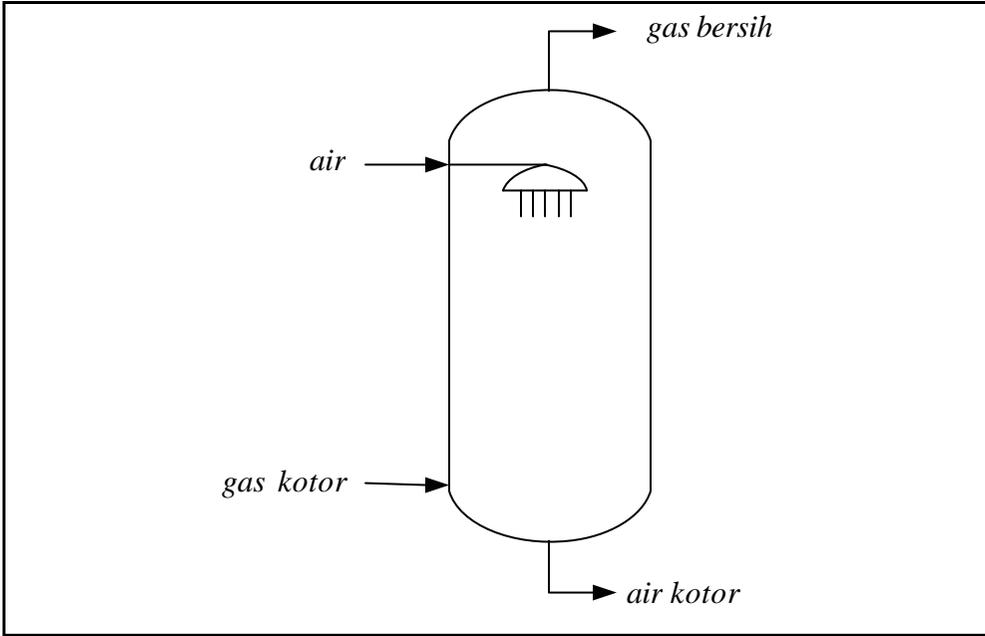
Peralatan pada kelompok ini, merupakan peralatan untuk memisahkan atau proses pemurnian yang banyak digunakan dalam industri kimia.



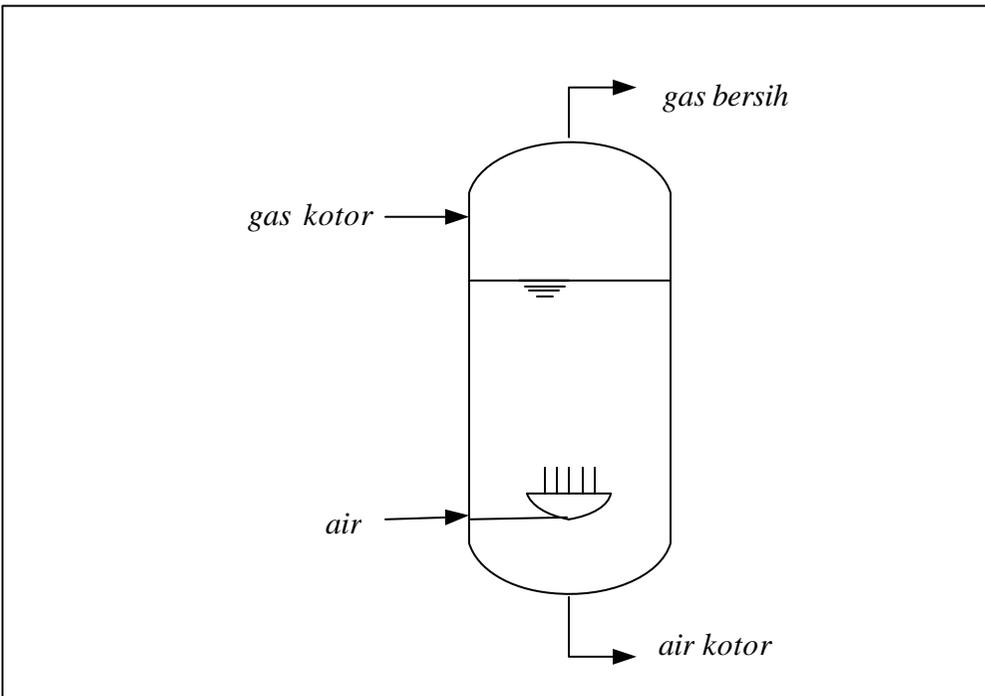
**Gambar 4.17: Menara Piringan (Tray Column)**



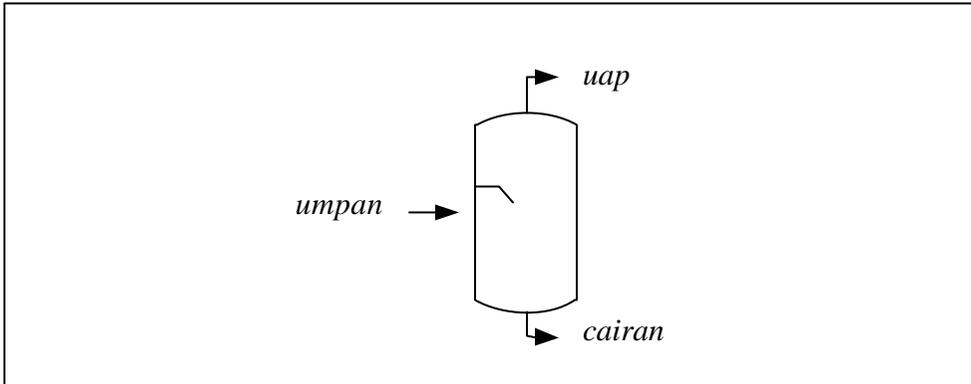
**Gambar 4.18: Menara Isian (Packed Tower)**



**Gambar 4.19: Menara Semprot (*Spray Tower*)**

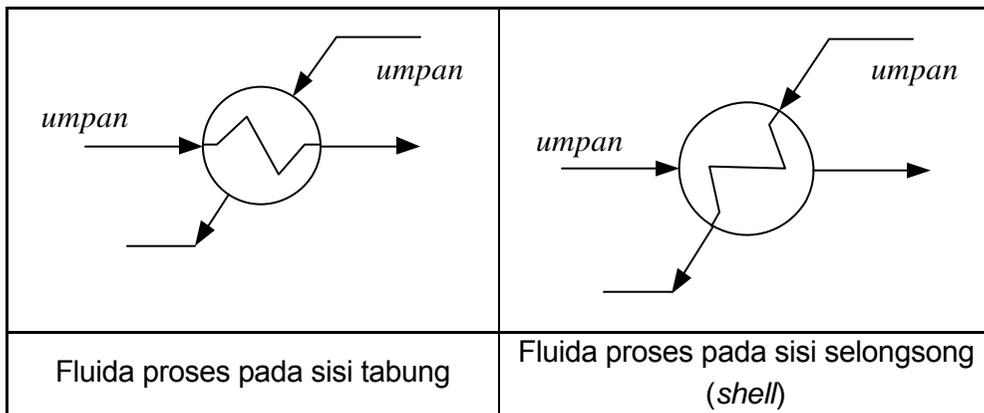


**Gambar 4.20: Menara Gelembung (*Bubble Tower*)**

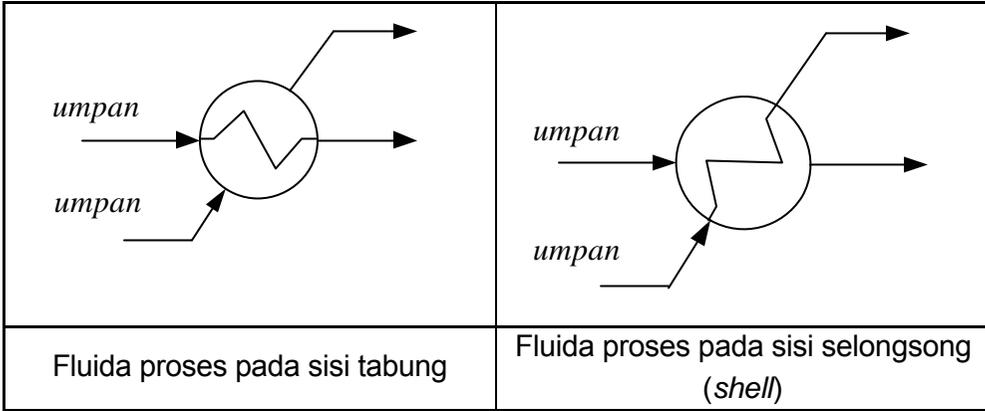


Gambar 4.21: Destilasi Kilat (*Flash Distillation*) atau KO (*Knockout*) drum

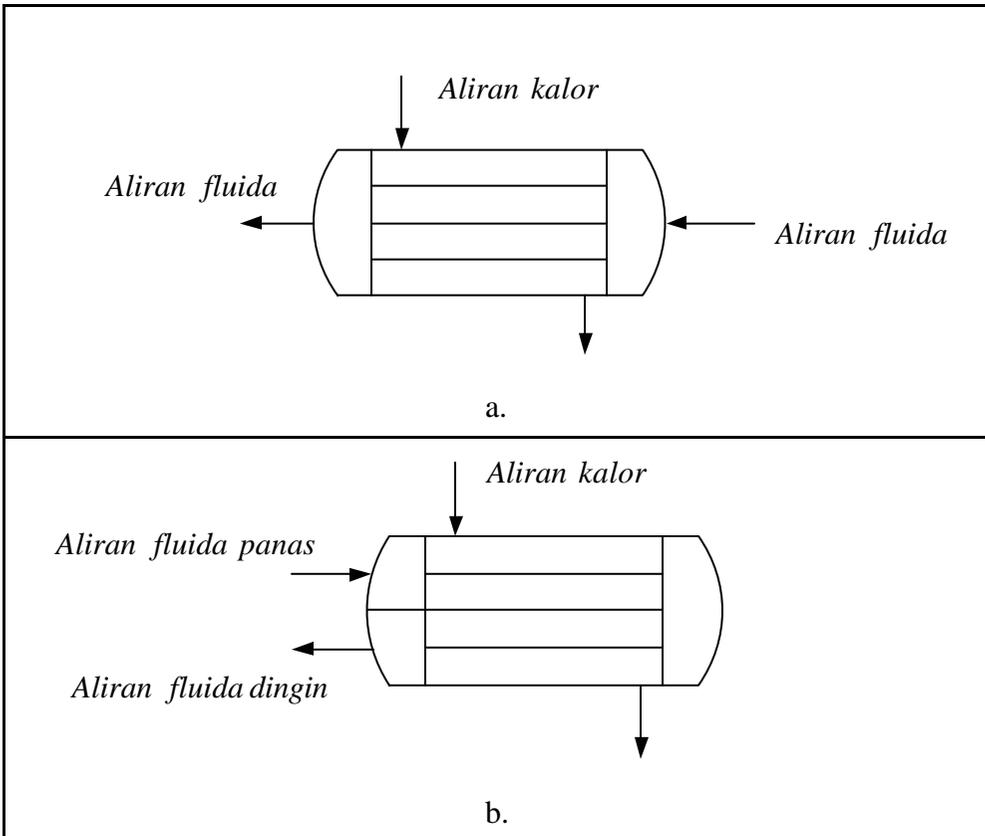
**Kelompok E: Alat Penukar Panas**



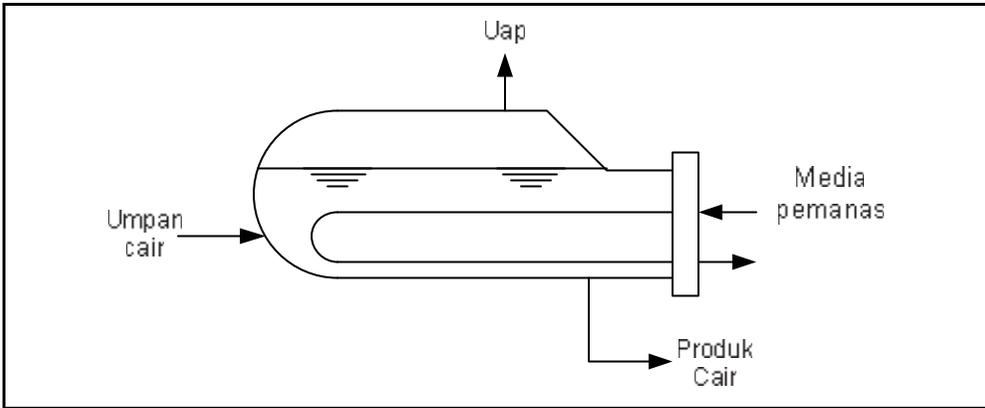
Gambar 4.22: Simbol Alat Penukar Panas Tabung – Selongsong Aliran lawan arah (*Shell-Tube Heat Exchanger- Counter Current*)



**Gambar 4.23: Simbol Alat Penukar Panas Tabung – Selongsong  
Aliran searah – Aliran paralel  
(Shell-Tube Heat Exchanger- Co Current – parralel flow)**

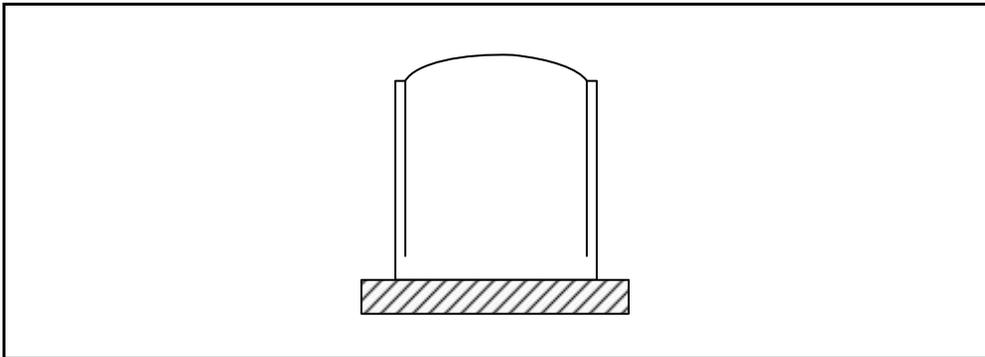


**Gambar 4.24: Alat Penukar Panas Tipe Tabung Selongsong, dengan:  
a. aliran 1,1 (*shell, tube*); b.aliran 1,2 (*shell,tube*)**

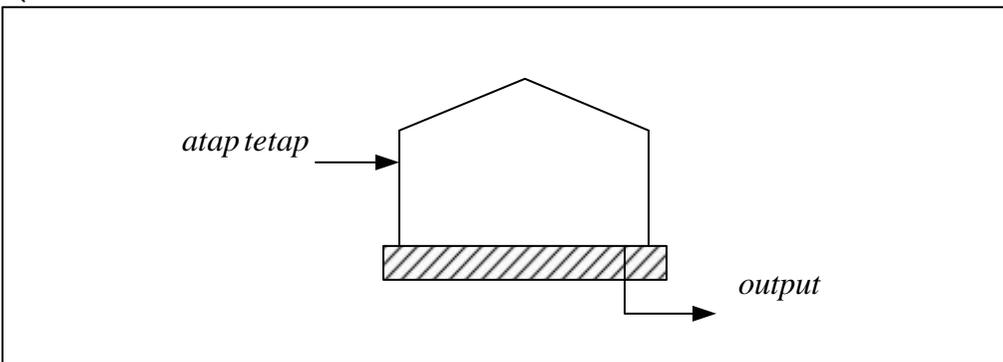


Gambar 4.25: Pendidih ulang (*Reboiler*) - Ketel (*kettle*)

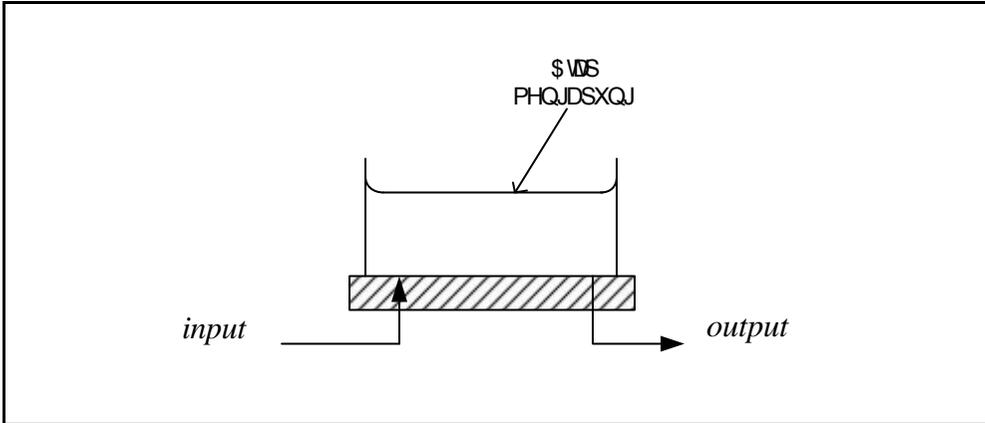
**Kelompok F: Alat Penyimpan**



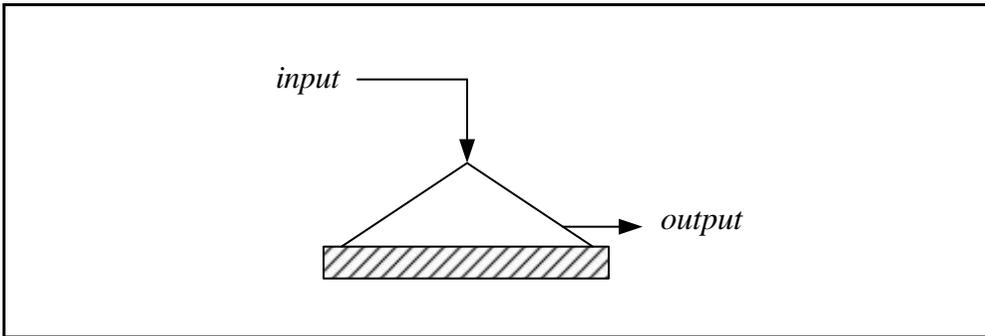
Gambar 4.26: Penampung Gas (*Gas Holder*)



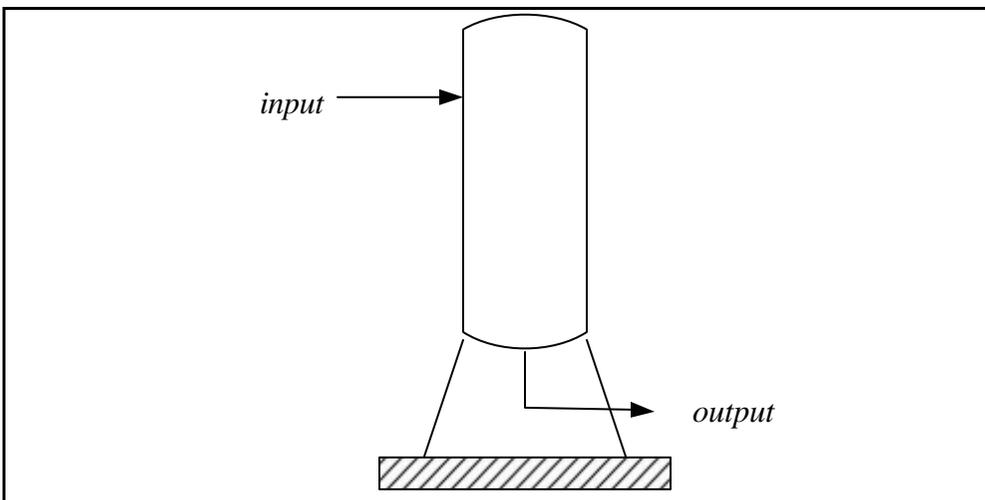
Gambar 4.27: Tangki penyimpanan dengan atap tetap (*fixed roof*) berbentuk konikal



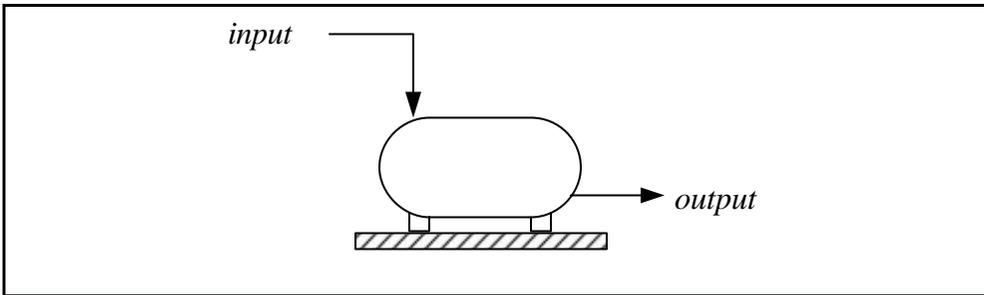
Gambar 4.28: Tangki penyimpanan dengan atap mengapung (*floating roof*)



Gambar 4.29: Penyimpanan pada lapangan (daerah) terbuka (*open yard*)

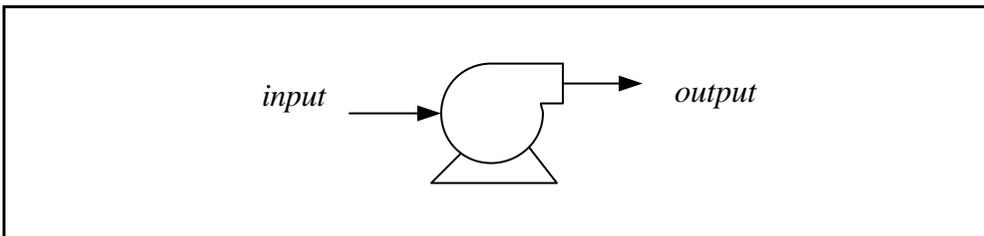


Gambar 4.30: Tangki silinder tegak - bertekanan

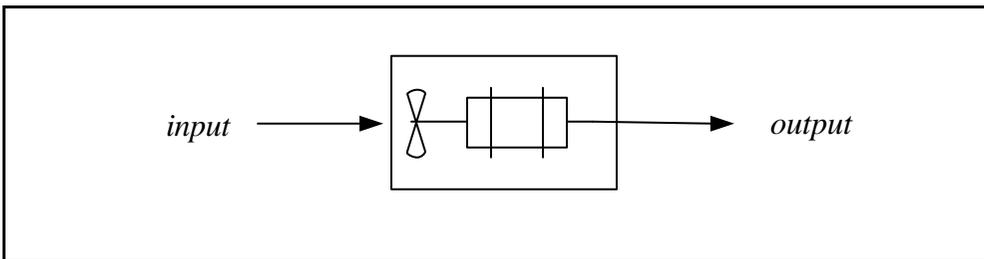


Gambar 4.31: Tangki silinder datar – bertekanan

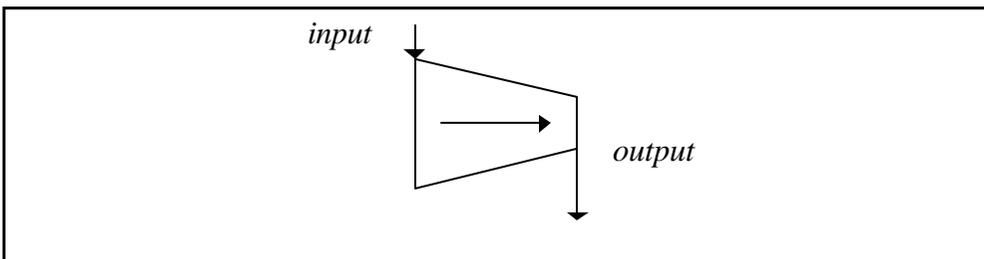
### Kelompok G: Pemindah Gas (Gas mover)



Gambar 4.32: Blower jenis sentrifugal (*Centrifugal Fan*)

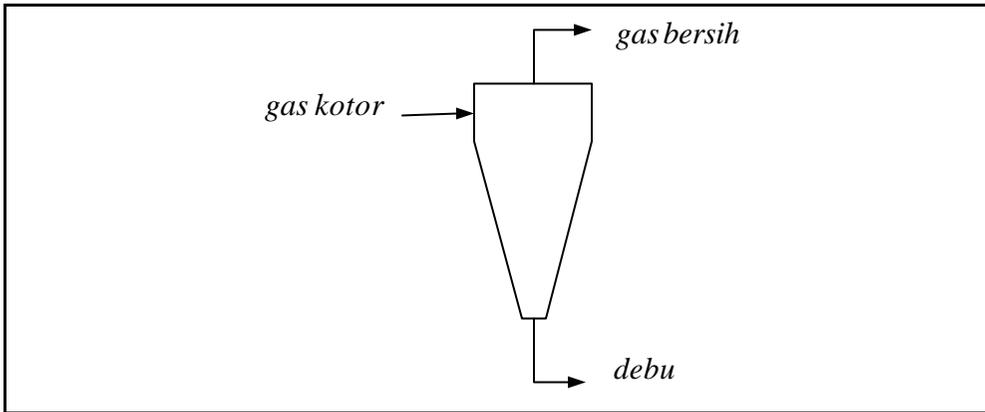


Gambar 4.33: Fan jenis Aksial (*Axial Fan*)

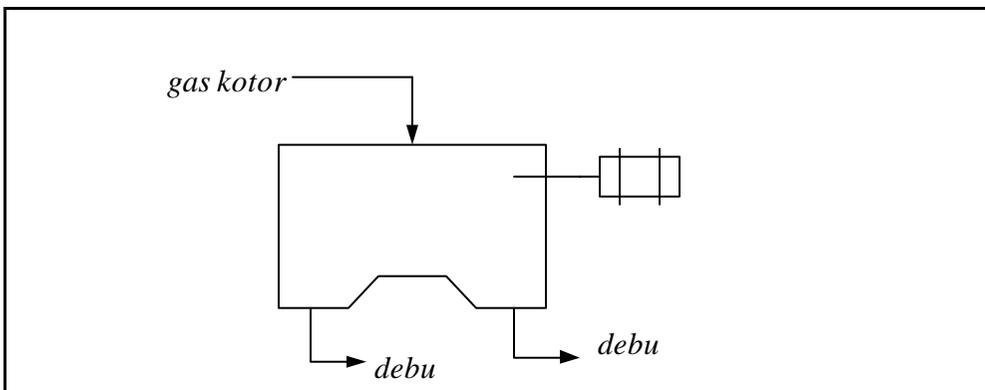


Gambar 4.34: Kompresor

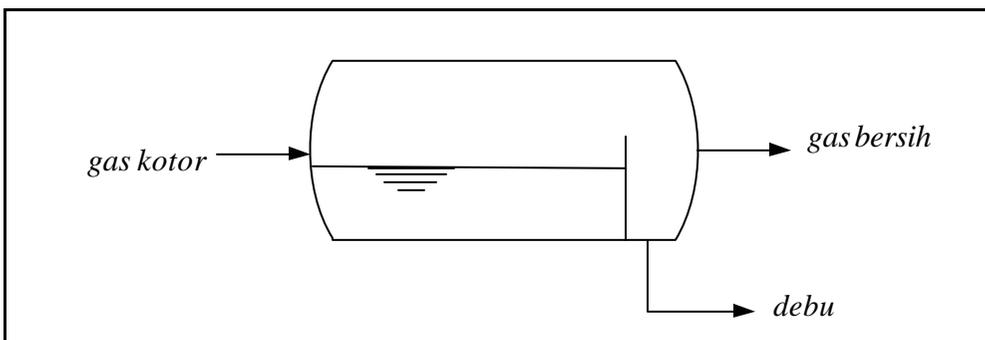
**Kelompok H: Pemisah (Separator)**



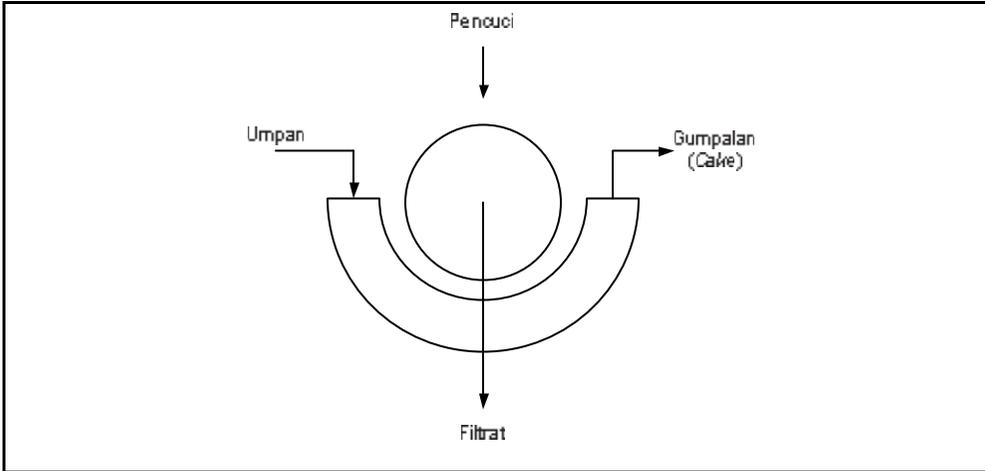
**Gambar 4.35: Siklon**



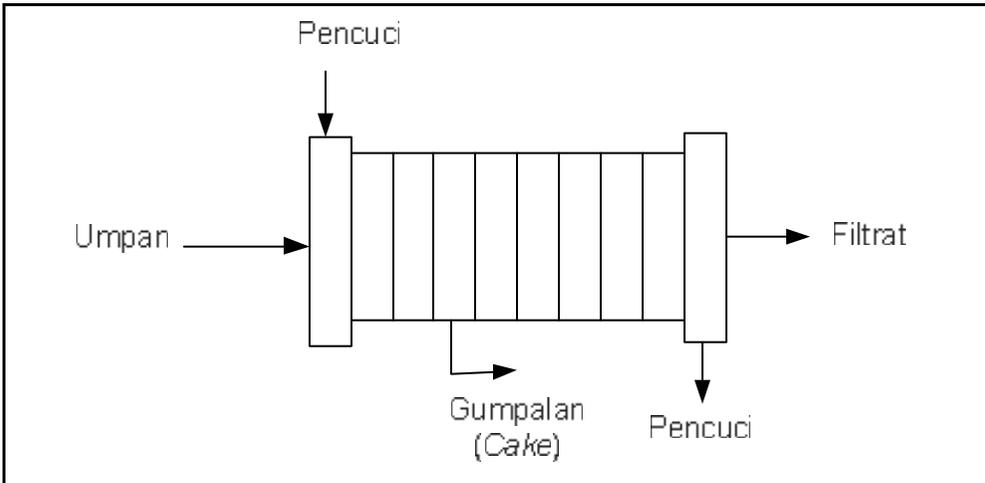
**Gambar 4.36: Sentrifuge**



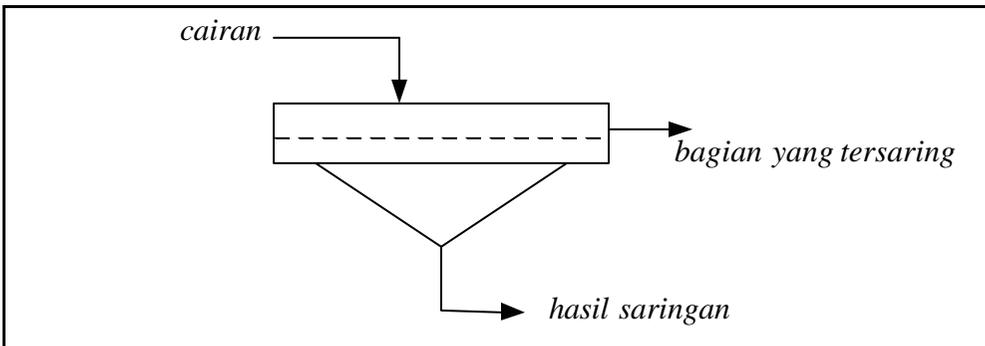
**Gambar 4.37: Dekanter**



**Gambar 4.38: Proses Penyaringan Kontinyu**

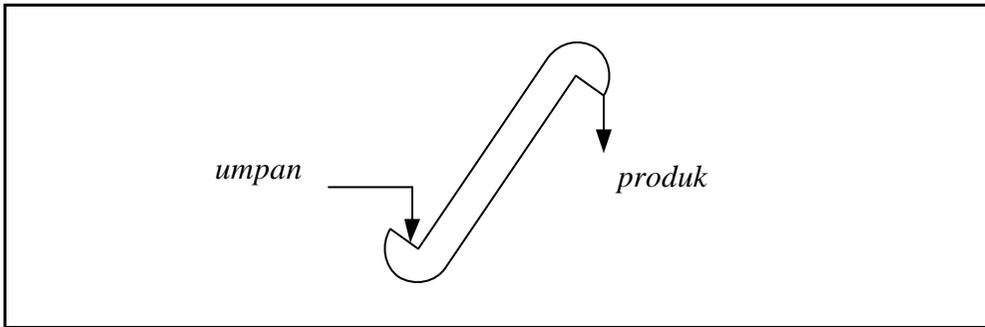


**Gambar 4.39: Proses Penyaringan tak kontinyu (Plate & Frame)**

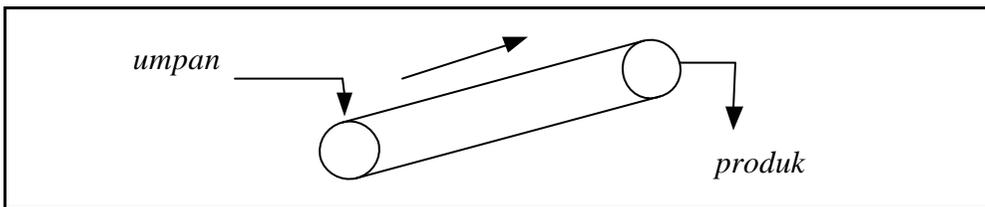


**Gambar 4.40: Penyaring**

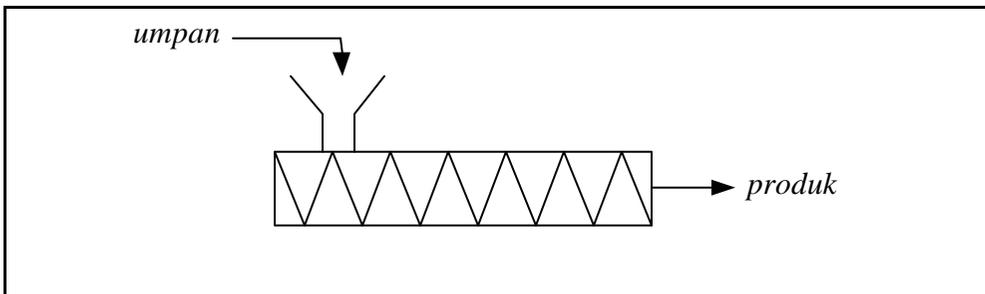
## Kelompok J: Konveyor



Gambar 4.41: Bucket elevator

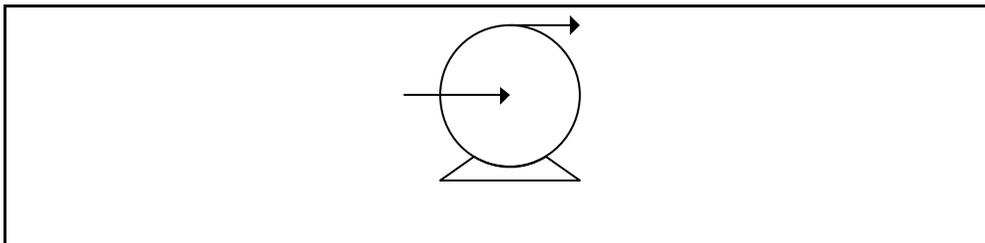


Gambar 4.42: Konveyor jenis Sabuk (Belt conveyor)

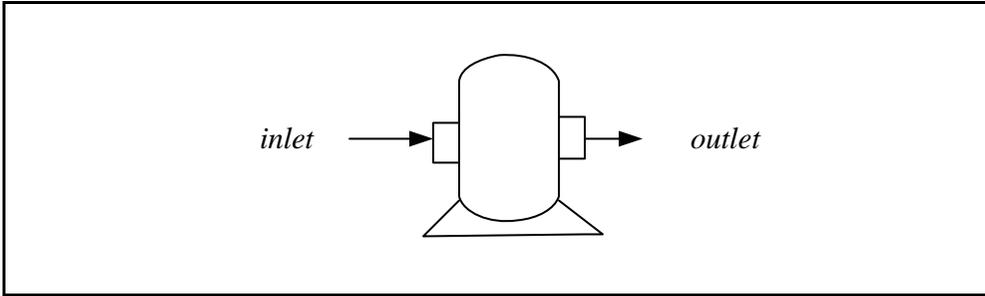


Gambar 4.43: Konveyor Ulir (Screw conveyor)

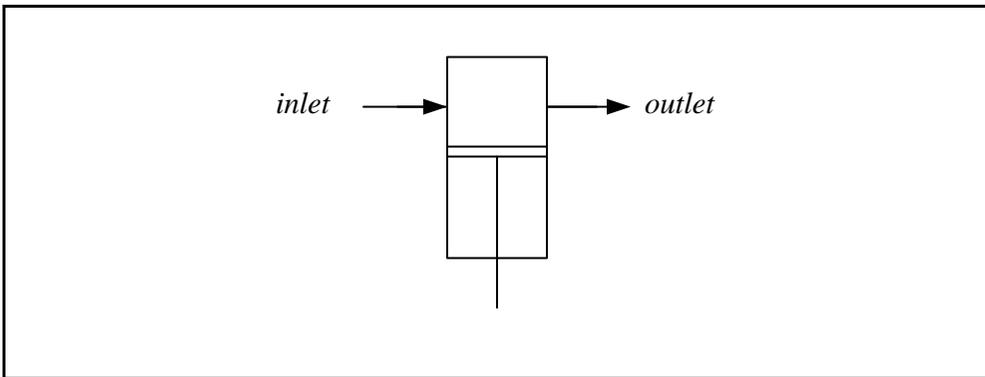
## Kelompok L : Pompa



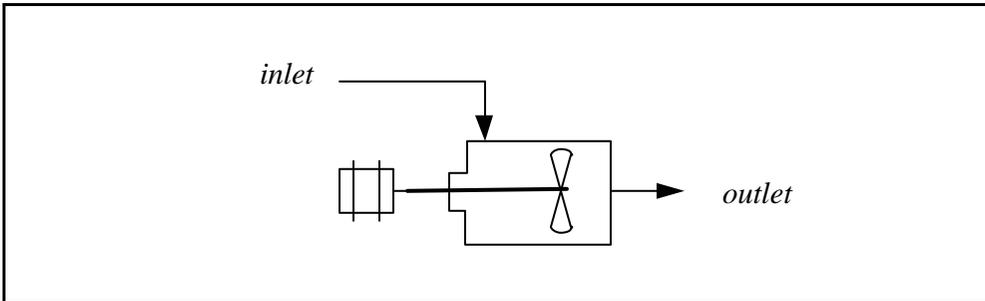
Gambar 4.4: Unit Udara (Air plant)



**Gambar 4.45: Rotary Pump (*Positive displacement*)**

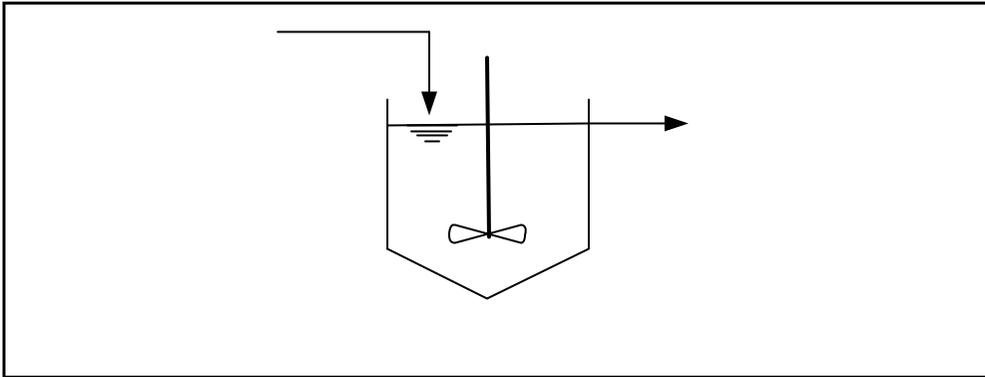


**Gambar 4.46: Reciprocating pump**

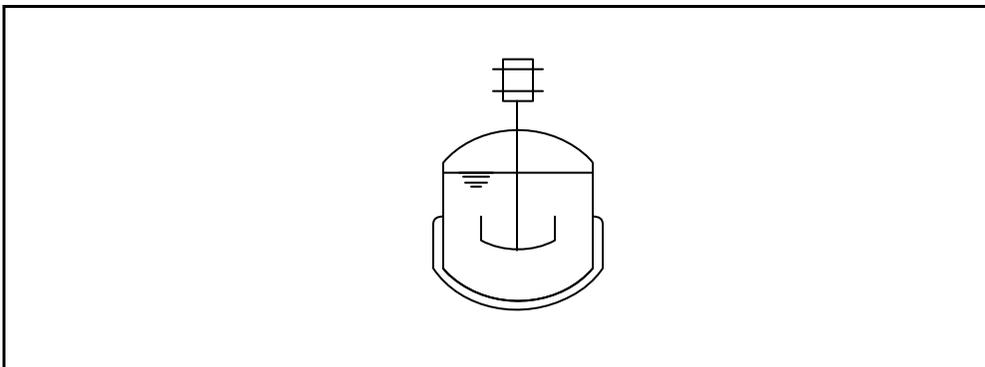


**Gambar 4.47: Pompa Aliran Aksial (*Axial Flow Pump*)**

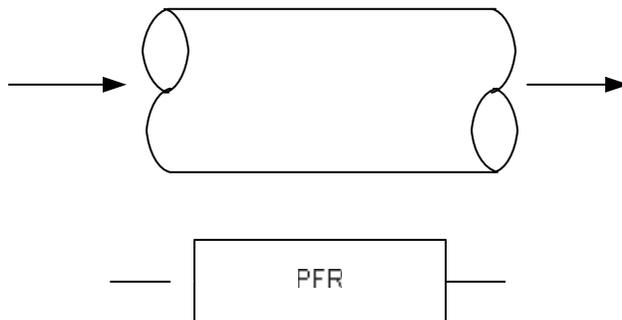
## Kelompok R: Reaktor

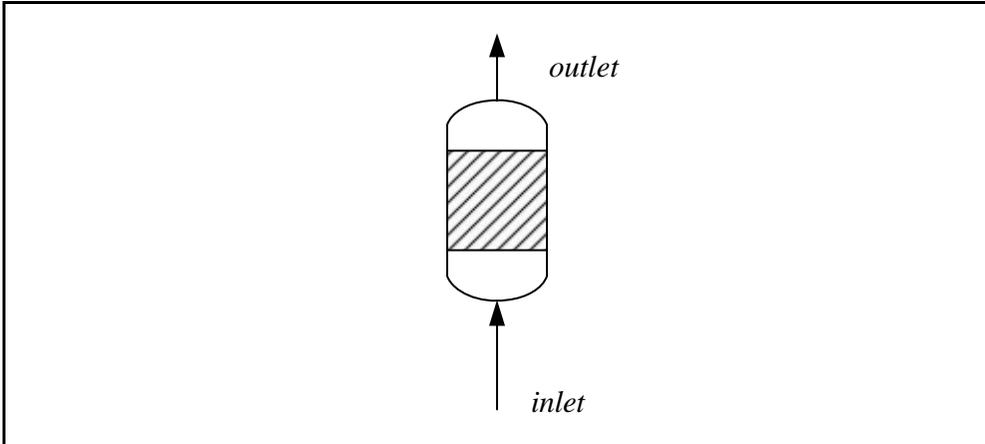


**Gambar 4.48: Reaktor Tangki Alir Berpengaduk**  
**(Continuous Stirred Tank Reactor)**

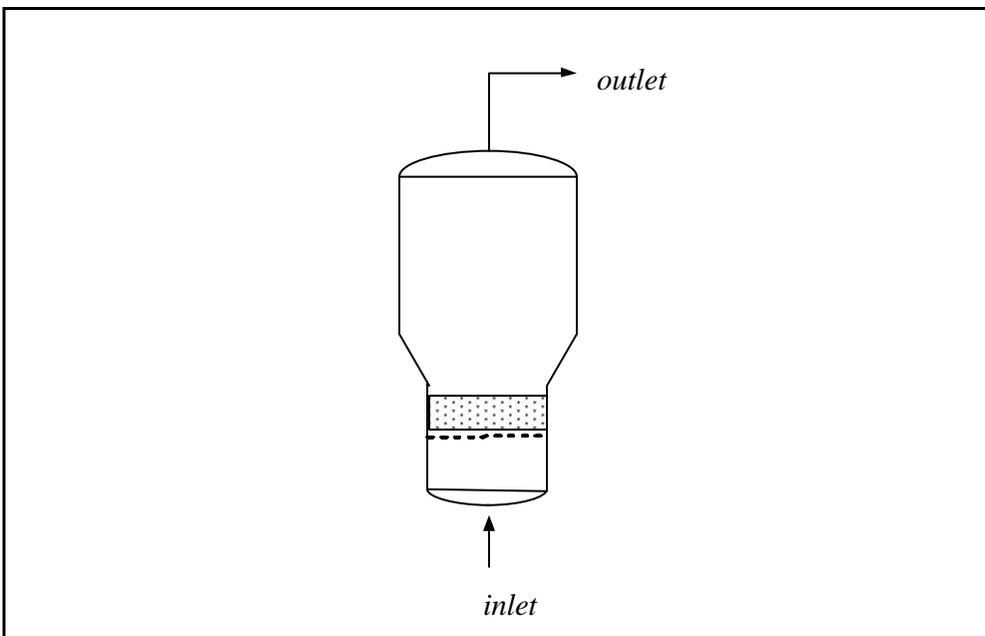


**Gambar 4.49: Reaktor Berpengaduk Tumpak**  
**(Batch Reactor)**





**Gambar 4.51: Reaktor Isian Tetap (*Fixed Bed Reactor*)**



**Gambar 4.52: Reaktor Isian Fluidisasi (*Fluidized Bed Reactor*).**



Aturan dalam sistem pemberian nomor pada diagram alir proses, dengan menggunakan contoh seperti pada gambar 4.53, yang merupakan diagram alir proses dari unit pembangkit tenaga uap:

1. Tiap alat dimulai dari huruf yang merupakan kode kelompok dari peralatan seperti yang disajikan pada tabel 4.2, misalkan Q-110 (kelompok furnace dan proses pemanasan); H-118 (kelompok separator dalam hal ini peralatannya adalah *bag filter* sebagai alat penyaring udara)
2. Nomor pada setiap lokasi (area) proses dimulai dari 100, 200, 300 dan seterusnya. Artinya, digit pertama menunjukkan lokasi (area) dari alat proses tersebut. Jadi peralatan diatas Q-110 dan H-118 berada pada lokasi yang sama yaitu pada lokasi 1.
3. Nomor dari bagian peralatan proses utama dimulai dari angka satu pada digit kedua, jadi 110, 120, 130 dan seterusnya. Jadi pada unit boiler (yang berada didalam garis putus-putus) yaitu dengan kode P-101 di dalamnya terdiri dari peralatan F-114; L-115; Q-110; G-117 dan seterusnya
4. Nomor bagian pendukung dari suatu alat dibedakan pada digit ke tiga, sebagaimana pada peralatan Q-110 didalam bagian dari alat tersebut terdapat dua alat pendukung yaitu E-111 dan E-112, yang keduanya berada didalam alat Q-110 sebagai pemanas.
5. Pada bagian bawah dari diagram alir proses, biasanya memuat tabel neraca bahan dari sistem tersebut sebagaimana pada tabel 4.3

**Tabel 4.3 Neraca Bahan (g/detik)**

Komponen (BM)	.....	Udara ◇ 5	Air umpan boiler ◇ 6	Produk steam ◇ 7	.....
N <sub>2</sub> (28)	.....	1271	-	-	.....
O <sub>2</sub> (32)	.....	386	-	-	.....
H <sub>2</sub> O (18)	.....	22	1390	1390	.....
.....	.....		-	-	.....
Total	.....	1679	1390	1390	.....

## 4.2. IDENTIFIKASI SATUAN PROSES DAN OPERASI PADA KIMIA INDUSTRI

Satuan Proses dan Satuan Operasi merupakan inti dari Kimia Industri, karena satuan proses maupun operasi pada pengolahan ini sangat menentukan ekonomis atau tidaknya suatu proses. Sebagaimana telah dijelaskan pada bab I, Satuan Operasi merupakan dari bagian dari sistem proses, dimana pada bagian ini lebih menekankan pada perubahan yang lebih bersifat fisis, sedangkan Satuan Proses penekanannya pada perubahan yang bersifat kimiawi. Tentunya dari kedua satuan tersebut memerlukan alat (*equipment*) untuk melakukan perubahan. Peralatan untuk satuan operasi cukup banyak, dimana sebagian simbol dari peralatan tersebut telah dibahas pada sub-bab sebelumnya.

Salah satu yang perlu diperhatikan dalam sistem proses adalah proses kontinyu dan proses tidak kontinyu. Proses tidak kontinyu (*batch*) atau disebut dengan tumpak merupakan suatu sistem proses dimana selama proses berlangsung tidak ada masukan (*input*) maupun keluaran (*output*). Sedangkan proses dengan sistem kontinyu atau sinambung merupakan suatu sistem proses dimana selama proses berlangsung terdapat masukan dan keluaran. Apabila hanya ada masukan saja atau hanya ada keluaran saja atau kadang-kadang ada yang dikeluarkan atau ditambahkan selama proses, maka proses disebut dengan semi tumpak (*semi-batch*).

Pada sistem kontinyu (sinambung) setelah beberapa saat akan terjadi keadaan tunak (*steady state*), hal ini disebabkan pada sistem tersebut tidak terjadi akumulasi atau akumulasi = 0, dimana secara umum rumus dalam suatu sistem dapat dinyatakan sebagai:

$$[\text{akumulasi} = \text{input} - \text{output}].$$

Akumulasi merupakan perubahan dari variabel yang diamati pada sistem tersebut (misalkan konsentrasi, suhu) sebagai fungsi waktu. Jadi pada sistem kontinyu pada suatu kondisi dimana input = output, akibatnya akumulasi = 0, atau dengan kata lain sistem dengan keadaan tunak merupakan suatu sistem dimana variabel yang diamati (misalkan konsentrasi atau kualitas dari produk) tidak berubah dengan waktu atau bukan fungsi waktu. Sebaliknya, pada sistem tumpak, variabel yang diamati akan berubah selama waktu pengamatan.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka suatu industri kimia dimana produk yang dihasilkan dalam jumlah yang besar, pada umumnya dilakukan dengan sistem kontinyu atau sinambung. Hal ini dengan pertimbangan produk kualitas yang dihasilkan akan lebih seragam. Disisi lain untuk suatu industri apabila jumlah produksinya relatif sedikit (misalkan industri farmasi) maka industri tersebut menggunakan sistem batch atau tak kontinyu. Hal yang sama dilakukan untuk suatu industri, dimana produksi yang bersifat musiman atau tergantung dari permintaan konsumen (misalkan industri pakaian, tekstil, makanan), maka industri tersebut akan menggunakan sistem tumpak.

Peralatan yang digunakan untuk sistem kontinyu pada umumnya lebih kecil dibanding sistem tumpak akan tetapi pada sistem kontinyu diperlukan alat pengendalian yang lebih ketat dibanding sistem tumpak. Perbedaan dari kedua sistem tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4: Perbedaan sistem Sinambung dan Tumpak**

<b>Kontinyu - Sinambung</b>	<b>Tak kontinyu – Tumpak (<i>Batch</i>)</b>
Ada masukan dan keluaran	Tidak ada masukan dan keluaran
Keadaan tunak	Keadaan tak-tunak
Tidak fungsi waktu	Fungsi waktu
Produksi besar	Produksi kecil atau musiman
Produksi seragam	Produksi bervariasi
Alat lebih kecil	Alat lebih besar
Pengendalian Proses lebih baik	Pengendalian proses sederhana

Pada sub bab selanjutnya akan dibahas mengenai beberapa macam satuan operasi yang kemudian dilanjutkan satuan proses.

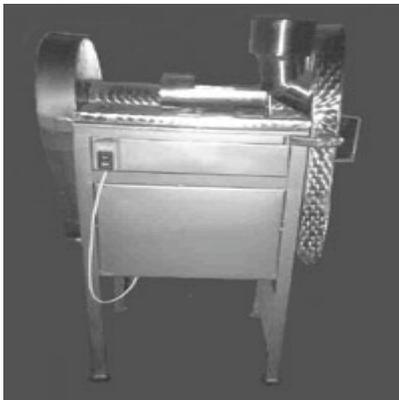
#### **4.3. PROSES MENGUBAH UKURAN BAHAN PADAT**

Hampir kebanyakan bahan padat mempunyai ukuran yang masih cukup besar untuk dilakukan suatu proses baik fisik maupun kimia. Bahan padat dengan ukuran kecil akan lebih mudah untuk ditangani. Selain itu, pada proses yang bersifat heterogen (dua fase), misalkan padat-cair atau padat-gas tergantung dari kontak antara padatan tersebut dengan gas atau cairan. Dimana kontak tersebut akan tergantung oleh luas permukaan

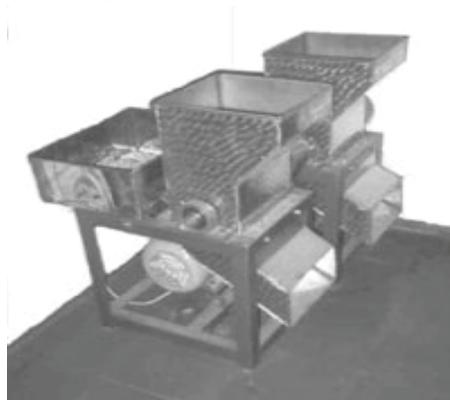
padatan. Oleh karenanya semakin besar luas permukaan dari padatan, maka proses baik fisis maupun kimia akan semakin baik. Untuk memperbesar luas permukaan dari padatan, maka bahan padat tersebut perlu diubah ukurannya menjadi lebih kecil (*size reduction*). Secara umum digunakan kata penghancuran (*crushing*) dan penggiling, penggerusan (*grinding*) untuk mengubah partikel padatan dari ukuran besar menjadi kecil.

#### 4.3.1. Peralatan Pemecah dan penghalus

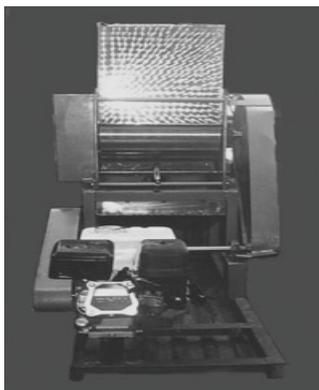
Peralatan penghancur zat padat dibagi atas mesin pemecah (*crusher*), mesin giling (*grinder*), dan mesin potong (*cutting machine*). Mesin pemecah bertugas melakukan kerja berat memecah bongkah-bongkah besar menjadi kepingan-kepingan kecil. Mesin giling bertugas memperkecil lagi umpan hasil pecahan menjadi serbuk. Mesin potong menghasilkan partikel yang ukuran dan bentuknya tertentu. Berikut beberapa macam mesin pengubah ukuran dari bahan padat yang banyak dijumpai di pasaran.



Gambar 4.54. Mesin perajang



Gambar 4.55. Mesin pamarut



Gambar 4.56. Mesin pemipih



Gambar 4.57. Mesin penepung

## **4.4. PROSES PENCAMPURAN BAHAN**

### **4.4.1. Pendahuluan**

Pencampuran bahan merupakan salah satu proses penting dalam industri kimia. Pencampuran adalah peristiwa menyebarnya bahan-bahan secara acak, dimana bahan yang satu menyebar ke dalam bahan yang lain demikian pula sebaliknya, sedang bahan-bahan itu sebelumnya terpisah dalam keadaan dua fase atau lebih yang akhirnya membentuk hasil yang lebih seragam (homogen). Pada proses pencampuran diperlukan gaya mekanik untuk menggerakkan bahan-bahan sehingga didapat hasil yang homogen. Gaya mekanik diperoleh sebagai akibat adanya aliran bahan ataupun dihasilkan oleh alat pencampur. Beberapa peralatan yang biasa digunakan untuk mencampur zat cair dapat juga digunakan untuk mencampur zat padat atau pasta, dan demikian juga sebaliknya.

### **4.4.2. Tujuan Pencampuran Bahan**

Beberapa tujuan yang perlu diperhatikan pada proses pencampuran antara lain:

- Menghasilkan campuran bahan dengan komposisi tertentu dan homogen.
- Mempertahankan kondisi campuran selama proses kimia dan fisika agar tetap homogen
- Mempunyai luas permukaan kontak antar komponen yang besar
- Menghilangkan perbedaan konsentrasi dan perbedaan suhu, mempertukarkan panas
- Mengeluarkan secara merata gas-gas dan uap-uap yang timbul.
- Menghasilkan bahan setengah jadi agar mudah diolah pada proses selanjutnya, atau menghasilkan produk akhir (produk komersial) yang baik.

### **4.4.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pencampuran Bahan**

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pencampuran, waktu pencampuran dan energi yang diperlukan untuk pencampuran adalah :

- **Aliran**

Aliran yang turbulen dan laju alir bahan yang tinggi biasanya menguntungkan proses pencampuran. Sebaliknya, aliran yang laminar dapat menggagalkan pencampuran.

- **Ukuran partikel/luas permukaan**

Semakin luas permukaan kontak bahan-bahan yang harus dicampur, yang berarti semakin kecil partikel dan semakin mudah gerakannya di dalam campuran, maka proses pencampuran semakin baik.

- **Kelarutan**

Semakin besar kelarutan bahan-bahan yang akan dicampur satu terhadap lainnya, semakin baik pencampurannya.

#### **4.4.4. Pemilihan Alat Pencampur**

Pemilihan alat pencampur dan juga metode pencampuran terutama didasarkan pada:

- Jenis-jenis bahan yang akan dicampur
- Jenis campuran yang akan dibuat
- Jumlah campuran yang akan dibuat
- Derajat pencampuran yang ingin dicapai
- Maksud pembuatan campuran
- Sistem operasi (kontinu, terputus-putus)

Selain hal-hal tersebut diatas, salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan peralatan yang harus digunakan dalam pencampuran adalah fase dari bahan yang akan dicampur. Berikut akan dibahas pencampuran berdasarkan fase dari bahan yang dicampur.

##### **A. Pencampuran Bahan Cair-Cair**

Pencampuran cairan dengan cairan digunakan untuk mempersiapkan atau melangsungkan proses-proses kimia dan fisika serta juga untuk membuat produk akhir yang komersial. Alat yang digunakan untuk pencampuran bahan cair-cair dapat berupa tangki atau bejana yang dilengkapi dengan pengaduk. Tangki atau bejana biasanya berbentuk silinder dengan sumbu terpasang vertikal, bagian atas bejana itu bias terbuka saja ke udara atau dapat pula tertutup. Ujung bawah tangki itu biasanya agak membulat, jadi tidak datar saja, maksudnya agar tidak

terdapat terlalu banyak sudut-sudut tajam atau daerah yang sulit ditembus arus zat cair. Kedalaman zat cair biasanya hampir sama dengan diameter tangki. Di dalam tangki itu dipasang pengaduk (*impeller*) pada ujung poros menggantung, artinya poros itu ditumpu dari atas. Poros itu digerakkan oleh motor, yang kadang-kadang dihubungkan langsung dengan poros itu, namun biasanya dihubungkan melalui peti roda gigi untuk menurunkan kecepatannya.



Gambar 4.58. Alat pencampuran cair-cair

## B. Pencampuran Bahan Padat-Cair

Pada proses pembuatan produk industri kimia yang siap untuk diperdagangkan dan pada pengolahan produk setengah jadi, seringkali bahan-bahan padat harus dicampurkan dengan sejumlah kecil cairan. Di sini dapat terbentuk bahan padat yang lembab atau campuran yang sangat viskos seperti pasta atau adonan. Seringkali cairan harus juga ditambahkan ke dalam pasta, adonan atau massa yang plastis tersebut.

Contoh :

- Mencampur serbuk dengan cairan untuk membuat butiran-butiran (*granulat*)
- Mencampur pasta pada industri farmasi dan kosmetik dengan bahan-bahan aktif.
- Mencampur masa sintetik yang plastis dengan bahan-bahan penolong (misalnya bahan pelunak, stabilisator, bahan pewarna).

Alat yang digunakan dapat berupa tangki atau bejana vertikal yang berbentuk silinder, bahan digilas dan diuli oleh satu atau dua perkakas campur yang mirip pengaduk.



**Gambar 4.59. Alat pencampur padat-cair**

### **C. Pencampuran Bahan Padat-Padat**

Pencampuran dua atau lebih dari bahan padat banyak dijumpai yang akan menghasilkan produk komersial industri kimia.

Contoh :

- Pencampuran bahan pewarna dengan bahan pewarna lainnya atau dengan bahan penolong untuk menghasilkan nuansa warna tertentu atau warna yang cemerlang.

Alat yang digunakan untuk pencampuran bahan padat dengan padat dapat berupa bejana-bejana yang berputar, atau bejana-bejana berkedudukan tetap tapi mempunyai perlengkapan pencampur yang berputar, ataupun pneumatik.

#### **D. Pencampuran Bahan Cair-Gas**

Untuk proses kimia dan fisika tertentu gas harus dimasukkan ke dalam cairan, artinya cairan dicampur secara sempurna dengan bahan-bahan berbentuk gas.

Contoh :

- Proses hidrogenasi, klorinasi dan fosforisasi
- Oksidasi cairan oleh udara (fermentasi, memasukkan udara kedalam lumpur dalam instalasi penjernih biologis)
- Meningkatkan kadar (melarutkan) gas dalam cairan (misalnya HCL dalam air, oksigen dalam cairan-cairan)
- Membangkitkan busa (misalnya busa pemadam api).

#### **4.4.5. Merawat Alat Pencampur**

Untuk mendapatkan kerja yang efisien, bukan hanya kebutuhan daya yang merupakan hal terpenting tetapi juga laju pencapaian derajat pencampuran yang diinginkan serta perawatan yang terjadwal. Telah dibuktikan bahwa sangat sukar untuk mendapatkan derajat pencampuran yang diinginkan pada suatu waktu, dan keputusan untuk menentukan kapan material tersebut sudah tercampur masih tergantung kepada perkiraan, pengalaman dan keputusan operator serta kegiatan perawatan yang terus menerus dilakukan.

Beberapa metode perawatan perlu diperhatikan agar pengadukan efektif adalah berdasarkan :

1. Laju dispersi pada suatu elektrolitnya
2. Laju distribusi pada campuran pasir dalam air, dan
3. Laju dissolusi padatan dalam zat pelarut yang berbeda.

Perawatan dilakukan sebagai berikut :

- Pengaduk dikondisikan dapat berputar sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan yaitu dengan jalan memberikan pelumas pada tangki pengaduk
- Semua peralatan dijaga jangan cepat berkarat terutama yang terbuat dari logam besi dengan jalan membersihkan dari karat dengan mengamplas dan memoles.

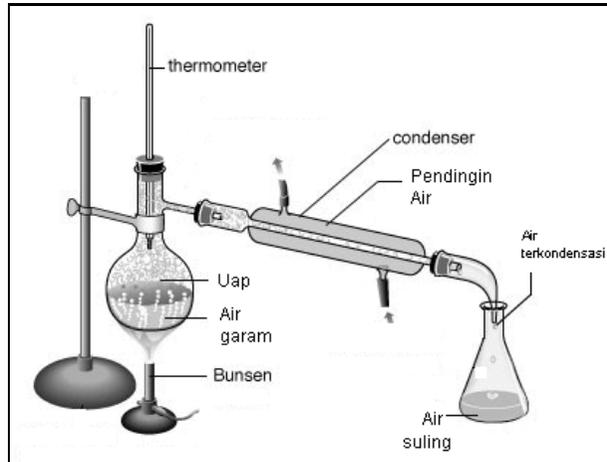
- Pengoperasian alat dehumidifier untuk mengurangi kelembaban udara dalam ruangan yang di dalamnya menyimpan peralatan pencampuran yang rentan terhadap serangan korosi. Peralatan-peralatan pencampuran yang rawan terhadap pengaruh korosi perlu disimpan di ruang tertutup, jauh dari kemungkinan pencemaran udara akibat terlepasnya bahan-bahan korosif ke lingkungan.
- Menutup alat sewaktu tidak dipergunakan untuk menghindari masuknya debu-debu ke dalam alat. Perlu diketahui bahwa debu dapat tertempel polutan korosif yang apabila terbang terbawa udara dapat masuk ke dalam alat dan menempelkan dirinya ke permukaan komponen-komponen elektronik di dalam alat tersebut.

#### **4.5. PENYULINGAN (*Distillation*)**

##### **4.5.1. Pendahuluan**

Distilasi (penyulingan) adalah proses pemisahan komponen dari suatu campuran yang berupa larutan cair-cair dimana karakteristik dari campuran tersebut adalah mampu-campur dan mudah menguap, selain itu komponen-komponen tersebut mempunyai perbedaan tekanan uap dan hasil dari pemisahannya menjadi komponen-komponennya atau kelompok-kelompok komponen. Karena adanya perbedaan tekanan uap, maka dapat dikatakan pula proses penyulingan merupakan proses pemisahan komponen-komponennya berdasarkan perbedaan titik didihnya.

Sebagai contoh, proses penyulingan dari larutan garam yang dilakukan di laboratorium, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.60. Pada gambar tersebut, terlihat, larutan garam (NaCl) dimasukkan pada labu, dimana pada bagian atas dari labu tersebut dipasang alat pengukur suhu atau thermometer. Larutan garam di dalam labu dipanasi dengan menggunakan pembakar Bunsen. Setelah beberapa saat, larutan garam tersebut akan mendidih dan sebagian akan menguap. Uap tersebut dilewatkan kondensor, dan akan terkondensasi yang ditampung pada erlemeyer. Cairan pada erlemeyer merupakan destilat sebagai air murni.



**Gambar 4.60: Penyulingan larutan garam skala laboratorium**

Pada operasi distilasi, terjadinya pemisahan didasarkan pada gejala bahwa bila campuran cair ada dalam keadaan setimbang dengan uapnya, komposisi uap dan cairan berbeda. Uap akan mengandung lebih banyak komponen yang lebih mudah menguap, sedangkan cairan akan mengandung lebih sedikit komponen yang mudah menguap. Bila uap dipisahkan dari cairan, maka uap tersebut dikondensasikan, selanjutnya akan didapatkan cairan yang berbeda dari cairan yang pertama, dengan lebih banyak komponen yang mudah menguap dibandingkan dengan cairan yang tidak teruapkan. Bila kemudian cairan dari kondensasi uap tersebut diuapkan lagi sebagian, akan didapatkan uap dengan kadar komponen yang lebih mudah menguap lebih tinggi. Untuk menunjukkan lebih jelas uraian tersebut, berikut digambarkan secara skematis:

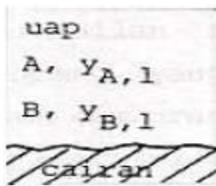
1) Keadaan awal

Mula-mula, pada cairan terdapat campuran A dan B, dimana karakteristik dari komponen-komponen tersebut adalah komponen A lebih mudah menguap (volatil) dibanding komponen B. Komposisi dari kedua komponen tersebut dinyatakan dengan fraksi mol. Untuk fase cair komponen A dinyatakan dengan  $x_A$ , sedangkan komponen B dinyatakan dengan  $x_B$ .



$x_{A,1}$  : fraksi mol A, fase cair  
 $x_{B,1}$  : fraksi mol B, fase cair  
 $x_{A,1} + x_{B,1} = 1$

2) Campuran diuapkan sebagian, uap dan cairannya dibiarkan dalam keadaan setimbang.



$x_{A,1}$  = fraksi A di fasa cair (setimbang)  
 $x_{B,1}$  = fraksi B di fasa cair (setimbang)  
 $x_A + x_B = 1$   
 $y_{A,1}$  = fraksi A di fasa uap (setimbang)  
 $y_{B,1}$  = fraksi B di fasa uap (setimbang)  
 $y_A + y_B = 1$

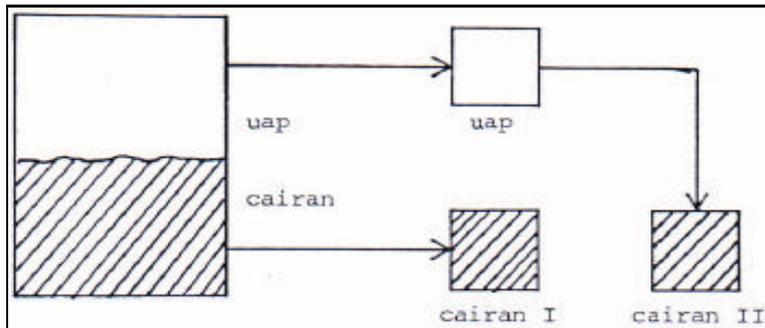
Pada keadaan ini maka:

$y_{A,1} > x_{A,1}$  dan  $y_{B,1} < x_{B,1}$

Bila dibandingkan dengan keadaan mula:

$y_{A,1} > x_{A,1} > x_{A,2}$  dan  $y_{B,1} < x_{B,1} < x_{B,2}$

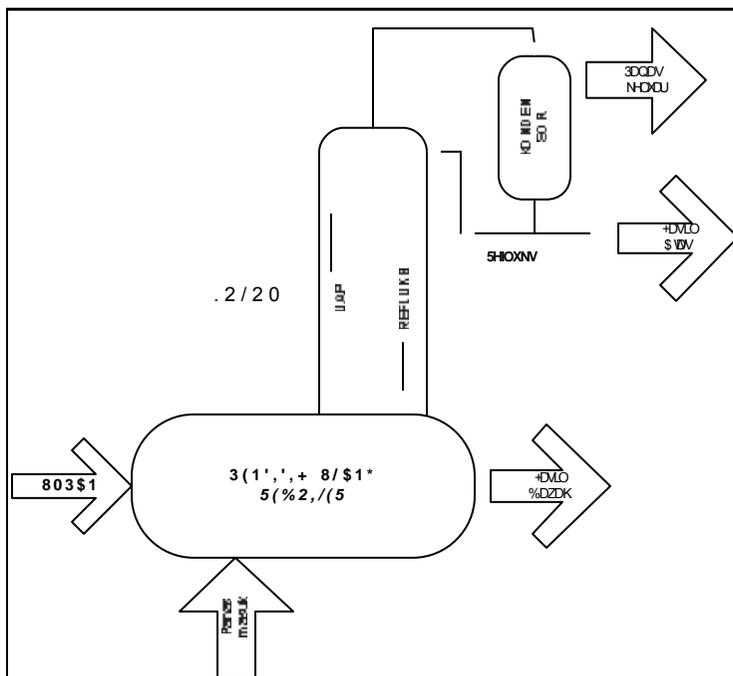
3) Uap dipisahkan dari cairannya dan dikondensasi; maka didapat dua cairan, cairan I dan cairan II. Cairan I mengandung lebih sedikit komponen A (lebih mudah menguap) dibandingkan cairan II



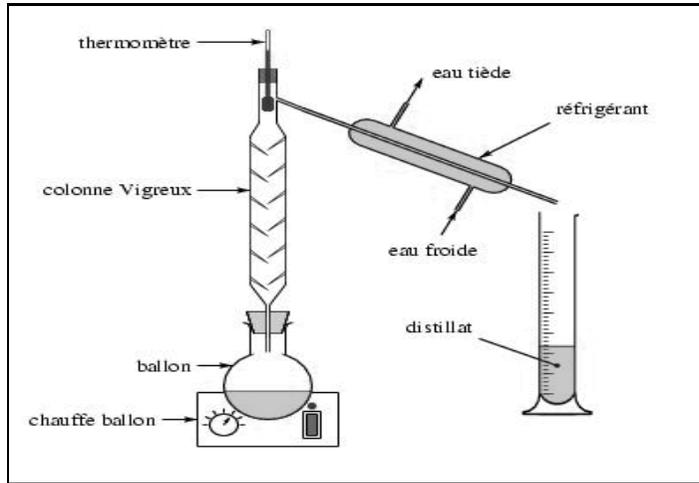
Gambar 4.61: Skema proses perpindahan massa pada peristiwa distilasi

Pada kondisi diatas, dari campuran dua komponen cairan (campuran biner) akan didapat dua cairan yang relatif murni. Hal ini dapat terlaksana, apabila beda titik didih dari kedua komponen tersebut relatif besar. Apabila perbedaan titik didih dari kedua komponen tersebut tidak terlalu jauh, maka perlu dilakukan proses penyulingan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.62.

Pada gambar 4.62 merupakan contoh alat penyuling (*distillation*) kontinyu (sinambung). Pada gambar tersebut terlihat pendidih ulang (*reboiler*) yang mendapat umpan berupa zat cair secara kontinyu yang merupakan komponen yang akan dipisahkan. Karena adanya panas yang masuk (pemanasan) pada pendidih-ulang, maka zat cair masuk akan diubah sebagian menjadi uap, dalam hal ini uap akan kaya dengan komponen yang volatil (mudah menguap). Apabila perbedaan titik didih dari komponen tersebut relatif tinggi, maka uapnya hampir merupakan komponen murni. Akan tetapi apabila perbedaan titik didih dari komponen tersebut, tidak terlalu besar, maka uap merupakan campuran dari beberapa komponen. Kemudian uap campura tersebut dikondensasikan, kemudian zat cair hasil kondensasi, sebagian dikembalikan kedalam kolom, yang disebut dengan *refluks*. Cairan yang dikembalikan tersebut (*refluks*) diusahakan agar dapat kontak secara lawan arah dengan uap, sehingga diharapkan hasil atas (*over head*) akan meningkat kemurniannya. Untuk mendapatkan kondisi tersebut (kemurnian meningkat), diperlukan uap yang banyak agar dapat digunakan sebagai *refluks* dan hasil atas. Kondisi tersebut harus diimbangi dengan panas yang masuk pada *reboiler* harus besar (ditingkatkan). Hal ini perlu dipertimbangkan, khususnya dalam rangka penghematan energi.

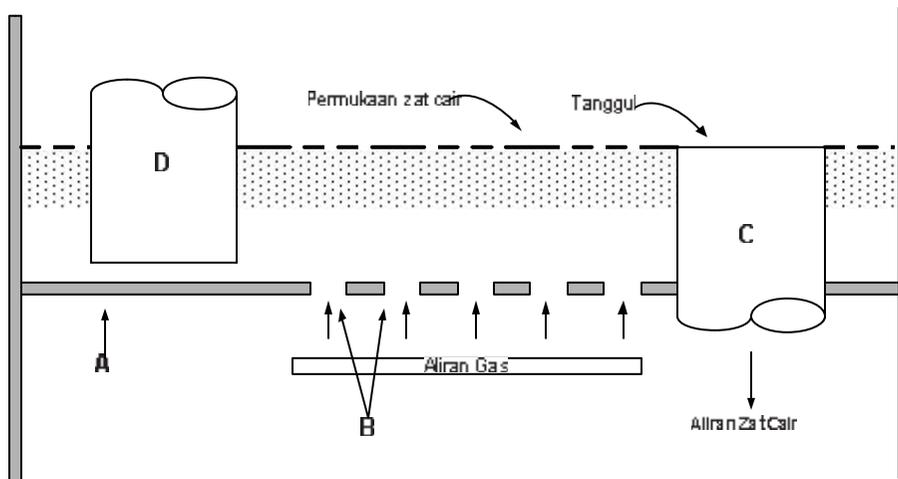


Gambar 4.62: Kolom fraksinasi dengan *Reboiler*



Gambar 4.63. Rangkaian alat distilasi fraksinasi di laboratorium

Dalam distilasi, fase uap yang terbentuk setelah larutan dipanasi, dibiarkan kontak dengan fase cairnya sehingga transfer massa terjadi baik dari fase uap ke fase cair maupun dari fase cair ke fase uap sampai terjadi keseimbangan antara kedua fase. Setelah keseimbangan tercapai, kedua fase kemudian dipisahkan. Fase uap setelah dikondensasikan dalam kondensor disebut sebagai distilat sedangkan sisa cairannya disebut residu. Distilat mengandung lebih banyak komponen yang volatil (mudah menguap) dan residu mengandung lebih banyak komponen yang kurang volatil.



Gambar 4.64: Piring satu tahap pada destilasi bertingkat

Keterangan gambar:

A : Piring (*plate*)

B : Lubang-lubang pada piring (perforasi)

C : Saluran limpahan menuju piring berikutnya

D : Saluran limpahan dari piring sebelumnya

Distilasi adalah sistem perpindahan yang memanfaatkan perpindahan massa. Masalah perpindahan massa dapat diselesaikan dengan dua cara yang berbeda. Pertama dengan menggunakan konsep tahapan kesetimbangan dan kedua atas dasar proses laju difusi. Distilasi dilaksanakan dengan rangkaian alat berupa kolom/menara yang terdiri dari piring (*plate/tray tower*) sehingga dengan pemanasan komponen dapat menguap, terkondensasi, dan dipisahkan secara bertahap berdasarkan tekanan uap/titik didihnya. Proses ini memerlukan perhitungan tahap kesetimbangan.

Untuk menentukan jumlah variabel bebas dalam suatu sistem digunakan kaidah derajat kebebasan:

$$DK = C - P + 2$$

Dimana:

DK = Derajat kebebasan

C = Jumlah komponen

P = Jumlah fase

Sebagai contoh, campuran antara CO<sub>2</sub>-udara-air pada kesetimbangan gas-cair, maka berdasarkan rumus diatas terdapat tiga derajat kebebasan (DK = 3), dimana C = 3 dan P = 2. Jadi apabila tekanan total dan suhu sudah ditentukan, maka tinggal satu variabel yang bisa diatur.

Jadi pada distilasi satu tahapannya yang memisahkan dua komponen (C=2), misalkan campuran amonia-air, dengan sistem uap-cair (2 fase, P=2), maka pada sistem tersebut, mempunyai dua derajat kebebasan. Pada sistem tersebut, terdapat empat variabel yaitu tekanan, suhu, dan fraksi komposisi komponen A (NH<sub>3</sub>) pada fasa cair,  $x_A$  dan fraksi komposisi komponen A (NH<sub>3</sub>) fasa uap,  $y_A$ . Dimana fraksi komposisi komponen B sama dengan 1 dikurangi fraksi komposisi komponen A dapat diketahui, berdasarkan:  $x_A + x_B = 1$  dan  $y_A + y_B = 1$ . Jika telah ditetapkan temperatur, hanya ada satu variabel saja yang dapat diubah secara bebas, sedangkan

temperatur dan konsentrasi fasa uap didapatkan sebagai hasil perhitungan sesuai sifat-sifat fisik pada tahap kesetimbangan.

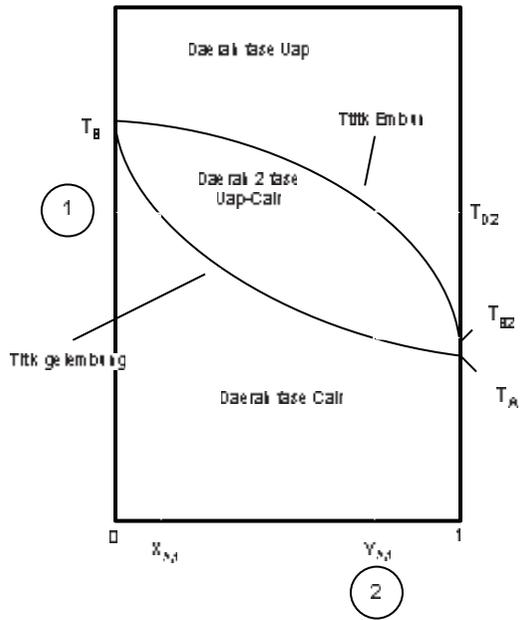
Batas perpindahan fase tercapai apabila kedua fasa mencapai kesetimbangan dan perpindahan makroskopik terhenti. Pada proses komersial yang dituntut memiliki laju produksi besar, terjadinya kesetimbangan harus dihindari.

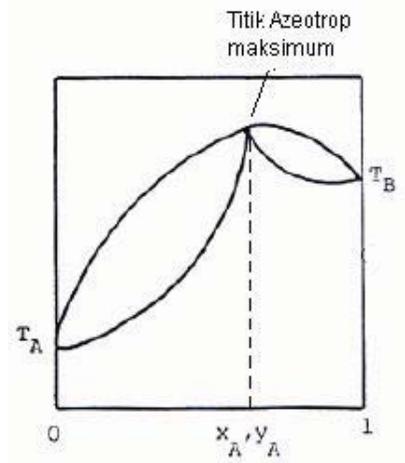
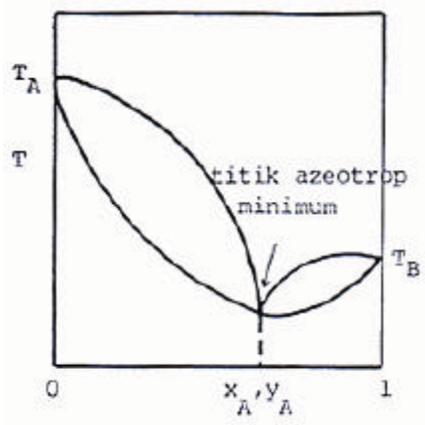
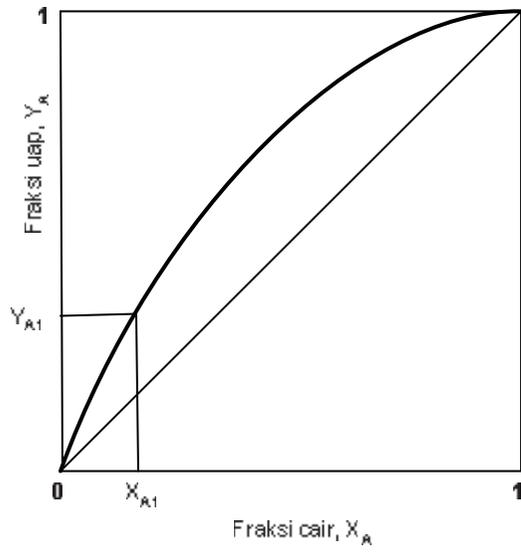
#### 4.5.2. Dasar Kesetimbangan Uap-Cair

Keberhasilan suatu operasi penyulingan tergantung pada keadaan setimbang yang terjadi antar fasa uap dan fasa cairan dari suatu campuran. Dalam hal ini akan ditinjau campuran biner yang terdiri dari komponen A (yang lebih mudah menguap) dan komponen B (yang kurang mudah menguap).

Pada gambar 4.65 merupakan hubungan antara komponen A dan komponen B dengan suhu kesetimbangan uap-cair. Campuran dua komponen disebut juga dengan campuran biner. Pada sumbu horisontal, menunjukkan fraksi dari komponen A. Diujung sebelah kiri ditandai dengan angka nol, artinya fraksi komponen A,  $x_A$  dan  $y_A = 0$ , atau pada titik tersebut merupakan komponen B murni. Disisi lain, pada ujung sebelah kanan, ditandai dengan angka 1, merupakan komponen A murni. Garis vertikal menunjukkan suhu, baik suhu A, B maupun campuran A dan B. Pada grafik tersebut terlihat bahwa titik didih (*boiling point*) dari komponen A murni lebih rendah dibanding komponen B,  $T_A < T_B$ . Hal ini menunjukkan bahwa, komponen A lebih mudah menguap dibanding komponen B.

Kurva bagian atas pada grafik tersebut, menunjukkan kurva untuk titik embun (*dew point*), sedangkan kurva dibagian bawah, merupakan kurva titik gelembung (*bubble point*). Ruang diatas kurva titik embun, bahan berada pada fase uap, sedangkan ruang dibawah kurva titik gelembung, bahan berada pada fase cair. Diantara kedua kurva tersebut, bahan berada pada fase campuran.





### 4.5.3. Dasar Peralatan Penyulingan

Kolom distilasi adalah kolom fraksionasi kontinu yang dilengkapi berbagai perlengkapan yang diperlukan. Umpan dimasukkan di sekitar pertengahan kolom dengan laju tertentu. Tray tempat masuk umpan dinamakan *feed plate*. Semua tray yang terletak di atas tray umpan adalah bagian *rektifikasi (enriching section)* dan semua tray di bawahnya, termasuk *feed plate* sendiri, adalah bagian *stripping*. Umpan mengalir ke bawah pada *stripping section* ini, sampai di dasar kolom di mana permukaan cairan ditetapkan pada ketinggian tertentu. Cairan itu lalu mengalir dengan gaya gravitasi ke dalam reboiler. Dimana reboiler adalah alat penukar panas jenis penguap (*vaporizer*) dengan menggunakan pemanasan uap (*steam*) yang dapat menghasilkan komponen uap (*vapor*) dan mengembalikannya ke dasar kolom. Komponen uap tersebut lalu mengalir ke atas sepanjang kolom. Pada ujung reboiler terdapat suatu tanggul. Produk bawah dikeluarkan dari kolam zat cair itu pada bagian ujung tanggul dan mengalir melalui pendingin. Pendinginan ini juga memberikan pemanasan awal pada umpan melalui pertukaran kalor dengan hasil bawah yang panas.

Uap yang mengalir naik melalui bagian rektifikasi dikondensasi seluruhnya oleh kondensor dan kondensatnya dikumpulkan dalam akumulator (pengumpul D), di mana permukaan zat cair dijaga pada ketinggian tertentu. Cairan tersebut kemudian dipompa oleh pompa *refluks* dari akumulator ke *tray* teratas. Arus ini menjadi cairan yang mengalir ke bawah di bagian rektifikasi, yang diperlukan untuk berinteraksi dengan uap yang mengalir ke atas. Tanpa *refluks* tidak akan ada rektifikasi yang dapat berlangsung dan kondensasi produk atas tidak akan lebih besar dari konsentrasi uap yang mengalir naik dari *feed plate*. Kondensat yang tidak terbawa pompa *refluks* didinginkan dalam penukar kalor, yang disebut *product cooler* dan dikeluarkan sebagai produk atas. Karena tidak terjadi azeotrop, produk atas dan produk bawah dapat terus dimurnikan sampai tercapai kemurnian yang diinginkan dengan mengatur jumlah *tray* dan *refluks ratio*.

Distilasi kontinu dengan *refluks* efektif memisahkan komponen-komponen yang volatilitasnya sebanding. Dengan melakukan redistilasi berulang-ulang dapat diperoleh komponen yang hampir murni karena jumlah komponen pengotor lain sedikit. Metoda ini dimodifikasi menjadi lebih modern untuk

diterapkan pada skala industri dengan dihasilkannya distilasi metoda rektifikasi.

Kolom distilasi terdiri dari banyak *tray* yang diasumsikan ideal. Jika diperhatikan *tray* ke- $n$  dari puncak kolom, maka *tray* yang langsung berada di atasnya adalah *tray* ke- $n-1$  dan *tray* yang langsung berada di bawahnya adalah *tray* ke- $n+1$ . Ada 2 aliran fluida yang masuk ke dalam dan 2 arus keluar dari *tray*  $n$ . Aliran zat cair  $L_{n-1}$  (mol/jam) dari *tray*  $n-1$  dan aliran uap  $v_{n+1}$  dari *tray*  $n+1$  (mol/jam) mengalami kontak di *tray*  $n$ . Aliran uap  $V_n$  naik ke *tray*  $n-1$  dan aliran cairan  $L_n$  turun ke *tray*  $n+1$ . Jika konsentrasi aliran uap dalam fasa  $V$  ditandai dengan  $y$ , dan konsentrasi aliran cairan ditandai dengan  $x$ , maka konsentrasi aliran yang masuk dan yang keluar *tray*  $n$  adalah: uap keluar dari *tray* ( $y_n$ ), cairan keluar dari *tray* ( $x_n$ ), uap masuk ke *tray* ( $y_{n+1}$ ), dan cairan masuk ke *tray* ( $x_{n-1}$ ).

Sesuai definisi *tray* ideal, uap dan cairan yang keluar piring  $n$  berada dalam kesetimbangan, sehingga  $x_n$  dan  $y_n$  merupakan konsentrasi kesetimbangan. Oleh karena konsentrasi dalam fas uap dan cair berada dalam kesetimbangan, aliran masuk dan ke luar tidak sama. Bila uap yang keluar dari *tray*  $n+1$  dan cairan dari *tray*  $n-1$  dikontakkan, konsentrasinya akan bergerak ke arah kesetimbangan. Sebagian komponen yang lebih volatil akan menguap dari fasa cair sehingga konsentrasi zat cair pada  $x_{n-1}$  turun menjadi  $x_n$ , sedangkan komponen yang kurang volatil akan terkondensasi dari uap sehingga konsentrasi uap naik dari  $y_{n+1}$  menjadi  $y_n$ . Aliran zat cair berada pada bubble point sedangkan aliran uap berada pada dew point, sehingga kalor yang dibutuhkan untuk penguapan didapatkan dari kalor yang dibebaskan selama kondensasi. Setiap *tray* berfungsi sebagai media pertukaran dimana komponen volatil pindah ke fasa uap, sedangkan komponen yang kurang volatil pindah ke fasa cair. Karena konsentrasi komponen volatil di dalam cairan dan uap meningkat dengan bertambahnya tinggi kolom, suhu akan berkurang dari  $n+1$ ,  $n$ , ke  $n-1$ .

Distilasi satu tahap tidak efektif menghasilkan bottom product yang mendekati murni karena zat cair dalam umpan tidak mengalami rektifikasi. Keterbatasan ini diatasi dengan memasukkan umpan ke *tray* yang berada di bagian tengah kolom. Cairan itu mengalir ke bawah kolom menuju reboiler dan mengalami rektifikasi dengan uap yang mengalir naik dari reboiler. Karena komponen volatil yang berada di reboiler telah

diambil dari cairan maka produk bawahnya adalah komponen kurang volatil yang hampir murni dari komponen volatil.

### **Faktor-faktor penting dalam merancang dan mengoperasikan kolom distilasi**

- Jumlah tray yang diperlukan untuk mendapatkan pemisahan yang dikehendaki.
- Diameter kolom, kalor yang dikonsumsi dalam pendidih.
- Konstruksi tray.

#### **4.5.4. Neraca Massa Pada Kolom Distilasi**

Kolom mendapat umpan sebesar  $F$  (mol/jam) umpan yang berkonsentrasi  $x_f$ , dan menghasilkan  $D$  (mol/jam) distilat yang berkonsentrasi  $x_d$  dan produk bawah yang berkonsentrasi  $x_b$ . Ada 2 neraca massa yang penting:

Neraca massa total:

$$F = D + B \quad [4.1]$$

Neraca komponen:

$$F \cdot x_f = D \cdot x_d + B \cdot x_b \quad [4.2]$$

Jumlah  $D$  adalah selisih antara laju aliran arus yang masuk dan yang keluar atas kolom.

Neraca massa pada konsensor dan akumulator adalah:

$$D = V_a - L_a \quad [4.3]$$

Selisih antara laju aliran uap dan laju aliran cairan di manapun pada bagian atas kolom adalah  $D$ , yang jelas terlihat bila diperhatikan bagian dari instalasi itu yang dikurung permukaan kendali I. Permukaan ini meliputi kondensor dan semua piring di  $n+1$ . Neraca massa total pada permukaan tersebut adalah:

$$D = V_{n+1} - L_n \quad [4.4]$$

Jumlah D adalah laju aliran netto bahan ke atas pada bagian atas kolom. Berapapun pertukaran konsentrasi komponen pada V dan L selisihnya selalu D. Neraca massa untuk komponen a sesuai dengan persamaan:

$$D \cdot x_d = V_a \cdot y_a - L_a \cdot x_a = V_{n+1} \cdot y_{n+1} - L_n \cdot x_n \quad [4.5]$$

Jumlah D.x<sub>d</sub> adalah laju aliran netto komponen A ke atas pada bagian atas kolom. Jumlah ini konstan pada seluruh bagian atas kolom.

Pada bagian bawah kolom, laju alir netto juga konstan, tetapi arahnya ke bawah. Laju aliran netto total adalah B, untuk komponen A adalah B.x<sub>b</sub>, sesuai persamaan:

$$B = L_b - V_b = L_m - V_{m+1} \quad [4.6]$$

$$B \cdot x_b = L_b \cdot x_b - V_b \cdot y_b = L_m \cdot x_m - V_{m+1} \cdot y_{m+1} \quad [4.7]$$

Karena kolom distilasi terdiri dari bagian atas dan bagian bawah, maka ada 2 garis operasi, satu untuk bagian rektifikasi dan satu untuk bagian pelucutan. Persamaan garis operasi untuk bagian pelucutan adalah:

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n = \frac{V_a y_a - L_a x_a}{y_{n+1}} \quad [4.8]$$

Substitusi  $V_a y_a - L_a x_a$  menghasilkan

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{D \cdot x_d}{V_{n+1}} \quad [4.9]$$

Gradien garis operasi adalah ratio antara aliran cairan dan uap. Jika  $V_{n+1}$  dieliminasi:

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{L_n + D} x_n + \frac{D \cdot x_d}{L_n + D} \quad [4.10]$$

Untuk bagian bawah kolom, neraca massanya adalah:

$$V_{m+1} \cdot y_{m+1} = L_m \cdot x_m - B \cdot x_b \quad [4.11]$$

Dalam bentuk lain, persamaan tersebut menjadi

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}} x_m + \frac{D \cdot x_b}{V_{m+1}} \quad [4.12]$$

Persamaan ini adalah persamaan garis operasi bagian pelucutan. Di sini pun gradien garis adalah ratio antara aliran zat cair dan aliran uap.

Eliminasi  $V_{m+1}$  akan menghasilkan:

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{L_m - B} x_m + \frac{B \cdot x_b}{L_m - B} \quad [4.13]$$

Bila garis operasi bagian atas dan bagian bawah tersebut digambarkan bersama kurva kesetimbangan pada diagram x-y, dapat digunakan konstruksi bertahap McCabe-Thille untuk menghitung berapa banyaknya tray ideal yang diperlukan untuk mendapatkan suatu perbedaan konsentrasi tertentu, baik pada bagian rektifikasi maupun pada bagian pelucutan. Jika dilihat persamaan garis operasi, terlihat bahwa garis operasi akan merupakan garis lengkung, kecuali jika  $L_n$  dan  $L_m$  konstan. Garis operasinya hanya dapat digambarkan jika perubahan konsentrasi pada aliran dalam diketahui. Untuk menentukan garis operasi yang berbentuk kurva diperlukan neraca entalpi.

Pada distilasi, laju aliran molar uap dan zat cair pada masing-masing bagian kolom itu hampir mendekati konstan, dan garis operasinya mendekati garis lurus. Hal ini akibat kalor penguapan molar yang hampir sama, sehingga setiap mol komponen yang titik didihnya tinggi yang terkondensasi pada waktu uapnya mengalir ke atas akan membebaskan energi sebanyak yang diperlukan untuk menguapkan 1 mol komponen yang titik didihnya rendah. Perubahan entalpi aliran cairan dan uap dan kehilangan kalor dari kolom biasanya mengakibatkan perlunya pembentukan uap yang agak lebih banyak pada bagian bawah kolom, sehingga ratio molar aliran uap pada bagian bawah akan lebih mendekati 1. Karena itu, dalam merancang kolom distilasi biasanya digunakan konsep constant molal overflow, sehingga

dalam persamaan garis operasi tanda tray  $n$ ,  $n-1$ ,  $n+1$ ,  $m$ ,  $m-1$ , dan  $m+1$  pada  $L$  dan  $V$  dapat dianggap sama. Dalam model ini, persamaan-persamaan neraca massa adalah linear dan garis operasinya berupa garis lurus. Garis operasi dapat digambar bila diketahui dua titik. Akibatnya, metoda McCabe-Thiele dapat digunakan tanpa memerlukan neraca entalpi.

#### 4.5.5. Analisis Kolom Fraksinasi

Analisis kolom fraksinasi dimudahkan lagi dengan menggunakan besaran refluks ratio. Ada 2 macam refluks ratio yang biasa digunakan, yaitu refluks ratio terhadap hasil atas  $R_d$  dan refluks ratio terhadap uap (aliran uap komponen)  $R_v$ .

Persamaan kedua refluks ratio tersebut adalah:

$$R_d = \frac{L}{D} = \frac{L - D}{D} \quad [4.14]$$

$$R_v = \frac{L}{V} = \frac{L}{L + D} \quad [4.15]$$

Karena itu persamaan garis operasi untuk bagian rektifikasi yang mengikuti constant molal overflow dapat disederhanakan:

$$y_{n+1} = \frac{R_d}{R_{d+1}} x_d + \frac{x_d}{R_{d+1}} \quad [4.16]$$

Titik potong  $y$  dari garis ini adalah  $x_d / (R_{d+1})$ . Konsentrasi  $x_d$  ditentukan kondisi rancangan, dan  $R_d$  merupakan variabel operasi yang dapat dikendalikan dengan mengatur pembagian antara refluks dan hasil atas, atau dengan mengubah banyaknya uap yang terbentuk dalam reboiler untuk suatu laju distilat tertentu.

Karena kemiringan garis rektifikasi adalah  $R_d / (R_{d+1})$ , kemiringan dapat bertambah bila refluks ratio ditingkatkan sampai  $V=L$  saat  $R_d$  tak berhingga, bergradien 1, sehingga garis operasi menjadi berimpitan dengan diagonal, yang disebut refluks total. Pada refluks total jumlah tray minimum,

tetapi produk atas dan bawah adalah 0 pada setiap umpan dengan laju alir tertentu.

$$\text{Jika } \alpha_{ab} = \frac{y_a/x_a}{y_b/x_b} \quad [4.17]$$

Jumlah tray minimum dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_{\min} = \frac{\log[x_d(1-x_b)/x_b(1-x_d)]}{\log \alpha_{ab}} \quad [4.18]$$

Persamaan tersebut adalah persamaan Fenske. Jika perubahan nilai  $\alpha_{ab}$  bagian dasar dan puncak kolom tidak signifikan nilai  $\alpha_{ab}$  yang digunakan adalah rata-rata geometriknya.

Jika refluks kurang dari refluks total, jumlah tray yang dibutuhkan untuk mendapatkan pemisahan tertentu akan lebih besar daripada yang dibutuhkan untuk refluks total. Pada refluks ratio yang kecil, jumlah tray akan besar, dan pada refluks ratio minimum jumlah tray menjadi tak berhingga. Semua kolom distilasi yang menghasilkan produk atas dan produk bawah dalam jumlah tertentu harus beroperasi pada refluks ratio yang besarnya antara  $R_d$  minimum (saat jumlah tray tak berhingga) dan saat  $R_d$  tak berhingga (saat jumlah tray minimum).

Refluks ratio minimum dapat diperoleh dengan menggerakkan garis operasi sambil menurunkan refluks ratio. Pada refluks total dari operasi berimpitan dengan diagonal. Jika refluks diturunkan perpotongan garis operasi atas dan bawah akan bergerak di sepanjang garis umpan ke arah kurva kesetimbangan, luas diagram yang dapat digunakan untuk konstruksi tahap makin kecil, dan jumlah tahap meningkat. Jika salah satu garis operasi tersebut menyentuh kurva kesetimbangan jumlah tahap yang diperlukan sebelum melintas titik singgung ini menjadi tak berhingga. Pada kondisi ini refluks ratio disebut minimum. Jika  $x'$  dan  $y'$  adalah koordinat perpotongan antara garis operasi dengan kurva kesetimbangan, refluks ratio minimum ( $R_{dm}$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_{dm} = \frac{x_d - y'}{y' - x'} \quad [4.19]$$

Bila refluks ratio ditingkatkan mulai minimum, jumlah tray akan bertambah, mula-mula dengan cepat, kemudian berangsur makin perlahan, hingga jumlah tray minimum pada refluks total. Luas penampang kolom biasanya sebanding dengan laju aliran uap. Bila refluks ratio meningkat sampai pada tingkat keluaran distilat dan bottom tertentu, V dan L akan meningkat sampai dicapai suatu titik dimana peningkatan diameter kolom jauh lebih cepat dari pada berkurangnya jumlah piring. Biaya instalasi sebanding dengan luas permukaan piring dan jumlah piring kali luas penampang kolom.

#### 4.5.6. Volatilitas Relatif

Hubungan komposisi uap dan cairan dalam keadaan setimbang dapat dinyatakan dengan volatilitas relatif yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A/x_A}{1 - y_A/x_A} \quad [4.20]$$

Persamaan di atas dapat disusun menjadi

$$y_A = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A} \quad [4.21]$$

Bila diketahui harga-harga sebagai fungsi temperatur, maka pada tekanan tetap, hubungan  $y_A$  dan  $x_A$  pada berbagai suhu pada keadaan setimbang dapat ditentukan. Bila konstan, dan diketahui harganya, maka harga-harga  $y_A$  pada setiap harga  $x_A$  dan sebaliknya (kurva  $y_A$  terhadap  $x_A$ ) dapat langsung ditentukan.

#### 4.5.7. Larutan Ideal

Untuk larutan ideal (biner) berlaku hukum Raoult:

$$P_A = P_A^* \cdot x_A \quad [4.22]$$

$$P_B = P_B^* \cdot x_B = P_B^* \cdot (1 - x_A) \quad [4.23]$$

dimana:  $P_A$  = tekanan parsial komponen A di fasa uap  
 $P_B$  = tekanan parsial komponen B di fasa uap  
 $P_A^o$  = tekanan uap komponen A  
 $P_B^o$  = tekanan uap komponen B

Untuk sistem biner:  $P_A + P_B = P$  dimana  $P$  adalah tekanan total.

Bila persamaan penghubung  $x_A$  dan  $y_A$  tersebut digabungkan, didapat:

$$y_A = \frac{P_A}{P} = \frac{P_A^o x_A}{P} \quad [4.24]$$

$$(1 - y_A) = \frac{P_B}{P} = \frac{P_B^o (1 - x_A)}{P} \quad [4.25]$$

$$\alpha = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{(1 - y_A)}{(1 - x_A)}} = \frac{P_A}{P_B} \quad [4.26]$$

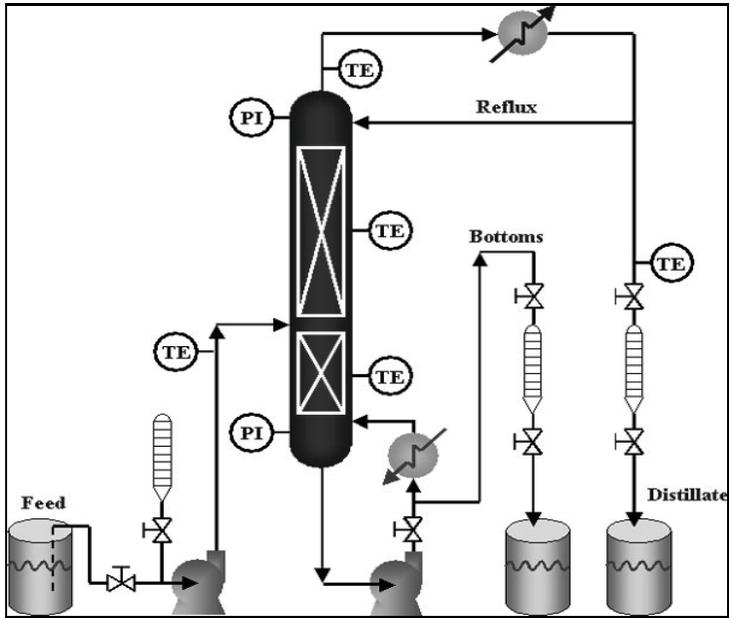
Bila harga  $y_A = x_A$  maka harga  $\alpha = 1$ , dan campuran biner pada komposisi tersebut tidak dapat dipisahkan menjadi komponen-komponennya dengan cara distilasi.

#### 4.5.8. Tipe Distilasi

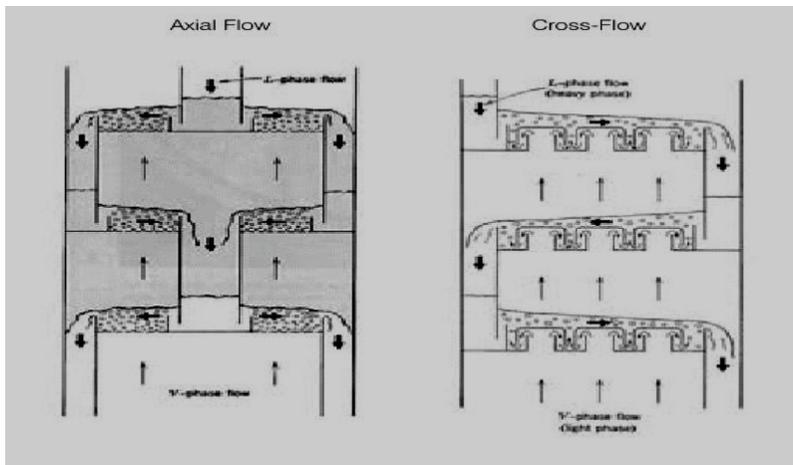
Karena karakter campuran yang berbeda maka distilasi dilakukan dengan cara berbeda pula. Oleh karena itu distilasi meliputi beberapa tipe yaitu: distilasi azeotropik, distilasi kering, distilasi ekstraktif, distilasi beku (*freeze distillation*), distilasi fraksinasi, distilasi uap (*steam distillation*) dan distilasi vakum.

Berdasarkan prosesnya, distilasi juga dapat dibedakan menjadi distilasi batch (*batch distillation*) dan distilasi kontinu (*continuous distillation*). Disebut distilasi batch jika dilakukan satu kali proses, yakni bahan dimasukkan dalam peralatan, diproses kemudian diambil hasilnya (distilat dan residu). Disebut distilasi kontinu jika prosesnya berlangsung terus-menerus. Ada aliran bahan masuk sekaligus aliran bahan keluar.

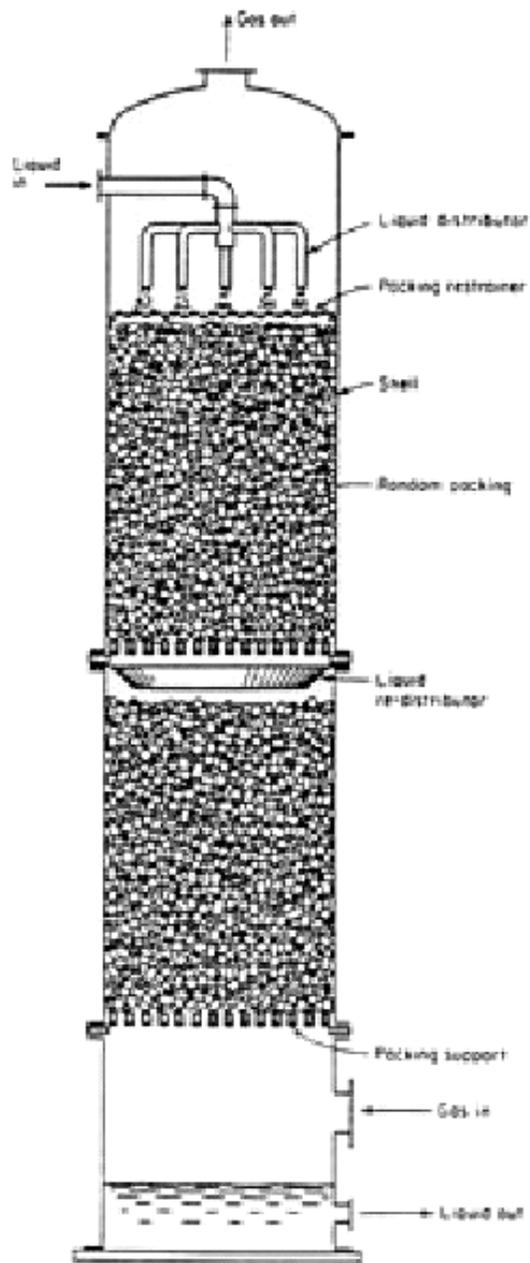
Rangkaian alat distilasi yang banyak digunakan di industri adalah jenis *tray tower dan packed tower*.



Gambar 4.68: Rangkaian alat distilasi di industri



Gambar 4.69: Distilasi tipe Tray (*Tray Tower*)



Gambar 4.70: Distilasi tipe Isian (*Packed Tower*)



Gambar 4.71. Foto rangkaian alat distilasi di sebuah pabrik

#### 4.5.9. Perawatan peralatan distilasi

Kolom distilasi harus dirawat agar kebersihan dan penggunaannya dapat seoptimal mungkin, dilakukan sebagai berikut :

- Pengaruh panas kolom pada unit kolom distilasi terbatas pada kondensor dan pendidih ulang (*reboiler*), karena, pada umumnya, kolom tersebut diisolasi, sehingga kehilangan kalor sepanjang kolom relatif kecil.
- Untuk umpan yang berupa zat cair pada titik gelembungnya ( $q = 1$ ) yaitu cairan jenuh, kalor yang diberikan pada pendidih ulang sama dengan yang dikeluarkan pada kondensor. Untuk umpan yang berwujud selain cairan jenuh kebutuhan kukus, pemanas dihitung dengan neraca panas (neraca entalpi).

## 4.6. ADSORPSI

### 4.6.1. Pendahuluan

Adsorpsi atau penyerapan adalah proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap ditempatkan ke suatu hamparan tetap dan fluida kemudian dialirkan melalui hamparan tetap tersebut sampai zat padat itu mendekati jenuh dan pemisahan yang dikehendaki tidak dapat berlangsung lagi. Kebanyakan zat pengadsorpsi adalah adsorben. Bahan-bahan yang berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori. Pemisahan terjadi karena perbedaan bibit molekul atau karena perbedaan polaritas menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan itu lebih erat daripada molekul-molekul lainnya. Misalnya, limbah industri pencucian kain batik diadsorpsi zat warnanya dengan menggunakan arang tempurung kelapa yang sudah diaktifkan. Limbah elektroplating yang mengandung nikel, logam berat nikel diadsorpsi dengan zeolit yang diaktifkan.

### 4.6.2. Pemeriksaan Pendahuluan Peralatan Adsorpsi

#### a. Persiapan media karbon aktif

Karbon aktif yang digunakan dalam peralatan ini adalah produk komersil yang dijual di pasaran. Karbon aktif yang digunakan terbuat dari bahan baku kayu. Langkah pertama dalam tahap ini adalah mengayak karbon aktif menggunakan penyaring elektrik untuk mendapatkan karbon aktif dengan kisaran ukuran I 16-30 MESH, ukuran II 30-50 MESH dan ukuran III 50-100 MESH yang seragam. Karbon aktif dihilangkan kandungan airnya dengan cara dipanaskan pada kondisi vakum dalam *vacum furnace* pada temperatur 105 °C dan tekanan 50 mbar selama 12 jam. Demikian diharapkan dengan perlakuan ini selain untuk menghilangkan kadar air, juga untuk mensterilkan karbon aktif.

#### b. Persiapan larutan yang akan mendapat perlakuan diadsorpsi

#### c. Pembuatan kurva kalibrasi

- Pembuatan kurva kalibrasi dari pembacaan alat spektrofotometer model 390 dengan panjang gelombang minimum yang bisa digunakan 420 nm dan panjang gelombang maksimumnya 980 nm.
- Sebelum alat tersebut digunakan, dipanaskan selama 30 menit. Kemudian larutan contoh dimasukkan dalam cuvet dengan terlebih dahulu dibuat posisi skala nol untuk pembacaan absorbansi dengan menggunakan blangko aquades, panjang gelombang dicari diantara kisaran 500-570 nm.

#### d. Menyiapkan peralatan percobaan batch

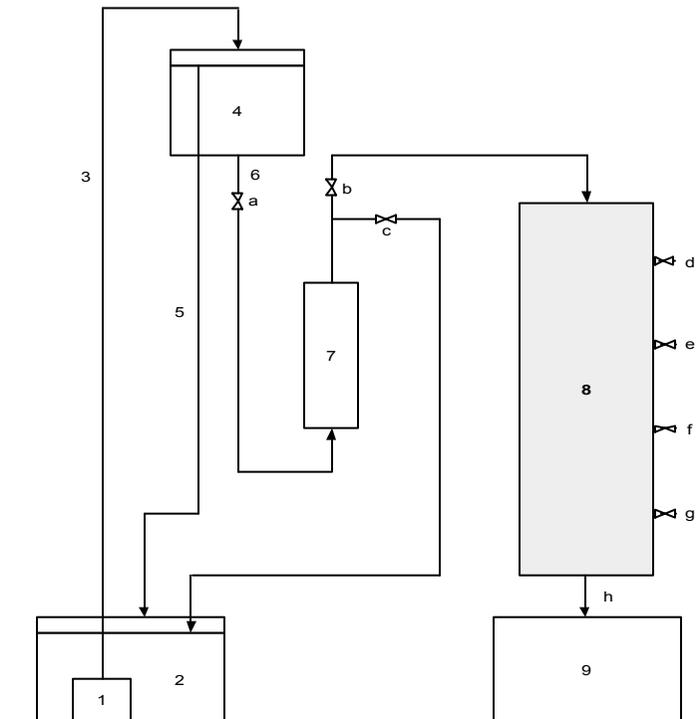
Disiapkan peralatan jar test yang dilengkapi dengan peralatan :

- 1). *Blade* jenis *two blade*, 2) Gelas beaker, 3) Pengatur kecepatan putaran 4) Jarum pengukur kecepatan putaran (tachometer)

#### 4.6.3. Pengoperasian peralatan kolom adsorpsi

Kolom adsorpsi dilengkapi dengan peralatan :

- Bak penampung umpan sekaligus berfungsi sebagai bak penampung overflow, bak pengatur debit, bak penampung efluen, pompa air, flowmeter



Gambar 4.7.2. Peralatan adsorpsi secara kontinyu

Keterangan gambar :

- |                                       |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Pompa air                          | a. Kran pengatur 1              |
| 2. Bak umpan / bak penampung overflow | b. Kran pengatur 2              |
| 3. Pipa influen                       | c. Kran pengatur 3              |
| 4. Bak pengatur debit                 | d. Outlet sampel $h_1 = 20$ cm  |
| 5. Pipa overflow                      | e. Outlet sampel $h_2 = 40$ cm  |
| 6. Pipa menuju ke kolom               | f. Outlet sampel $h_3 = 60$ cm  |
| 7. Flowmeter                          | g. Outlet sampel $h_4 = 80$ cm  |
| 8. Kolom adsorpsi                     | h. Outlet sampel $h_5 = 100$ cm |
| 9. Bak penampung efluen               |                                 |

Adapun langkah-langkah pengoperasian dilakukan sebagai berikut :

1. Sebelum alat dioperasikan terlebih dahulu kolom diisi dengan aquades sampai sedikit di atas lapisan adsorben. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari udara yang terjebak di dalam kolom yang dapat mengganggu laju aliran.

2. Alat dioperasikan dengan mengalirkan sampel air baku secara grafitasi (downflow) secara terus menerus dari bak penampung umpan dengan menggunakan pompa menuju ke bak pengatur laju limpasan. Bak pengatur laju limpasan digunakan untuk mendapatkan tekanan dan laju limpasan yang konstan.
3. Setelah dari bak pengatur laju limpasan aliran umpan dilewatkan flowmeter untuk mendapatkan hasil pembacaan laju limpasan secara visual. Flowmeter ini dilengkapi dengan 3 buah kran pengatur. Sesuai dengan Gambar kran a digunakan untuk mengatur besar kecilnya laju limpasan, kran b berfungsi sebagai pintu masuk aliran umpan menuju ke kolom adsorpsi. Kran b akan ditutup pada saat kalibrasi flowmeter dengan kondisi kran c terbuka. Setelah laju limpasan aliran stabil, kran c ditutup dan kran b dibuka. Kemudian umpan akan mengalir menuju ke kolom adsorpsi.
4. Setelah operasional alat dengan waktu dan laju limpasan tertentu dilakukan pengambilan sampel air baku pada masing-masing outlet yang selanjutnya dilaksanakan analisis
5. Diulangi untuk kondisi operasi yang berbeda dengan variasi laju limpasan, variasi konsentrasi influen, dan variasi ukuran media.

## **4.7. ABSORPSI**

### **4.7.1. Pendahuluan**

Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan absorben cair yang diikuti dengan pelarutan. Kelarutan gas yang akan diserap dapat disebabkan hanya oleh gaya-gaya fisik (pada absorpsi fisik) atau selain gaya tersebut juga oleh ikatan kimia (pada absorpsi kimia). Komponen gas yang dapat mengadakan ikatan kimia akan dilarutkan lebih dahulu dan juga dengan kecepatan yang lebih tinggi. Karena itu absorpsi kimia mengungguli absorpsi fisik. .

### **4.7.2. Fungsi Absorpsi dalam industri**

Meningkatkan nilai guna dari suatu zat dengan cara merubah fasenya

Contoh :

- Formalin yang berfase cair berasal dari formaldehid yang berfase gas dapat dihasilkan melalui proses absorpsi.

Teknologi proses pembuatan formalin

Formaldehid sebagai gas input dimasukkan ke dalam reaktor. Output dari reaktor yang berupa gas yang mempunyai suhu 182°C didinginkan pada kondensor hingga suhu 55 °C, dimasukkan ke dalam absorber. Keluaran dari absorber pada tingkat I mengandung larutan formalin dengan kadar formaldehid sekitar 37 – 40%. Bagian terbesar dari

metanol, air, dan formaldehid dikondensasi di bawah air pendingin bagian dari menara, dan hampir semua *removal* dari sisa metanol dan formaldehid dari gas terjadi dibagian atas *absorber* dengan *counter current contact* dengan air proses.

- Pembuatan asam nitrat (absorpsi NO dan NO<sub>2</sub>).

Proses pembuatan asam nitrat

Tahap akhir dari proses pembuatan asam nitrat berlangsung dalam kolom absorpsi. Pada setiap tingkat kolom terjadi reaksi oksidasi NO menjadi NO<sub>2</sub> dan reaksi absorpsi NO<sub>2</sub> oleh air menjadi asam nitrat. Kolom absorpsi mempunyai empat fuks masuk dan dua fluks keluar. Empat fluks masuk yaitu air umpan absorber, udara pemutih, gas proses, dan asam lemah. Dua fluks keluar yaitu asam nitrat produk dan gas buang. Kolom absorpsi dirancang untuk menghasilkan asam nitrat dengan konsentrasi 60 % berat dan kandungan NO<sub>x</sub> gas buang tidak lebih dari 200 ppm.

#### 4.7.3. Absorben

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun secara reaksi kimia. Absorben sering juga disebut sebagai cairan pencuci.

Persyaratan absorben :

- Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin (kebutuhan akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil).
- Selektif.
- Memiliki tekanan uap yang rendah.
- Tidak korosif.
- Mempunyai viskositas yang rendah.
- Stabil secara termis.
- Murah

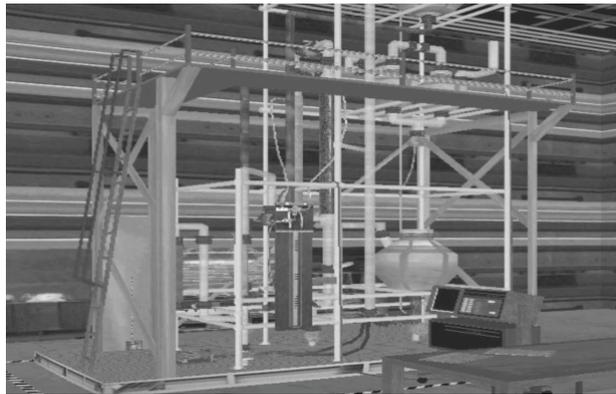
Jenis-jenis bahan yang dapat digunakan sebagai absorben adalah air (untuk gas-gas yang dapat larut, atau untuk pemisahan partikel debu dan tetesan cairan), natrium hidroksida (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti asam) dan asam sulfat (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti basa).

#### 4.7.4. Kolom Absorpsi

Adalah suatu kolom atau tabung tempat terjadinya proses pengabsorpsi (penyerapan/penggumpalan) dari zat yang dilewatkan di kolom/tabung tersebut. Proses ini dilakukan dengan melewatkan zat yang terkontaminasi oleh komponen lain dan zat tersebut dilewatkan ke kolom ini dimana terdapat fase cair dari komponen tersebut.



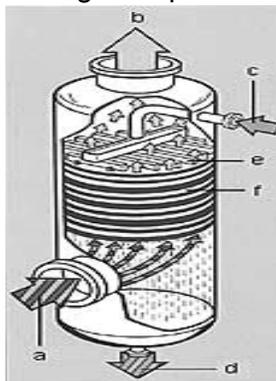
**Gambar 4.73: Kolom absorpsi**



**Gambar 4.74. Alat absorpsi**

Struktur dalam absorber

- Bagian atas: Spray untuk mengubah gas input menjadi fase cair.
- Bagian tengah: Packed tower untuk memperluas permukaan sentuh sehingga mudah untuk diabsorpsi
- Bagian bawah: Input gas sebagai tempat masuknya gas ke dalam reaktor.



**Gambar 4.75. Alat absorpsi secara skematis**

Keterangan :

- (a) input gas
- (b) gas keluaran
- (c) pelarut
- (d) hasil absorpsi
- (e) disperser
- (f) packed column

Menara Isian (*Packed Tower*)

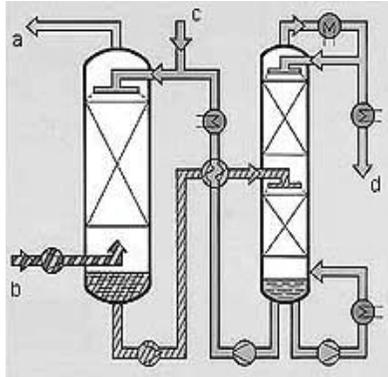
- Packed towers hampir selalu memiliki tekanan yang rendah dibandingkan tower yang lain.
- Isian (*Packing*) terdiri dari keping-keping yang jumlahnya banyak untuk meningkatkan kapasitas absorpsinya.
- Aliran gasnya sekitar 500 ft<sup>3</sup>/min (14.2 m<sup>3</sup>/min) digunakan di 1 in (2.5 cm) packing, untuk aliran gasnya atau 2000 ft<sup>3</sup>/min (56.6 m<sup>3</sup>/min) or more, use 2 in (5 cm) packing

Perbandingan Bahan Pembuat Menara Isian (*Packed Tower*)

- Bahan plastik :
  - Harganya murah
  - Daya tahannya lemah
- Bahan keramik
  - Harganya mahal
  - Daya tahannya lebih lama

#### 4.7.5. Prinsip Kerja Kolom Absorpsi

- Kolom absorpsi adalah sebuah kolom, dimana ada zat yang berbeda fase mengalir berlawanan arah yang dapat menyebabkan komponen kimia ditransfer dari satu fase cairan ke fase lainnya, terjadi hampir pada setiap reaktor kimia. Proses ini dapat berupa absorpsi gas, destilasi, pelarutan yang terjadi pada semua reaksi kimia.
- Campuran gas yang merupakan keluaran dari reaktor diumpankan kebawah menara absorber. Didalam *absorber* terjadi kontak antar dua fasa yaitu fasa gas dan fasa cair mengakibatkan perpindahan massa *difusional* dalam umpan gas dari bawah menara ke dalam pelarut air *sprayer* yang diumpankan dari bagian atas menara. Peristiwa *absorpsi* ini terjadi pada sebuah kolom yang berisi *packing* dengan dua tingkat. Keluaran dari absorber pada tingkat I mengandung larutan dari gas yang dimasukkan tadi.



**Gambar 4.76. prinsip kerja kolom absorpsi**

Keterangan:

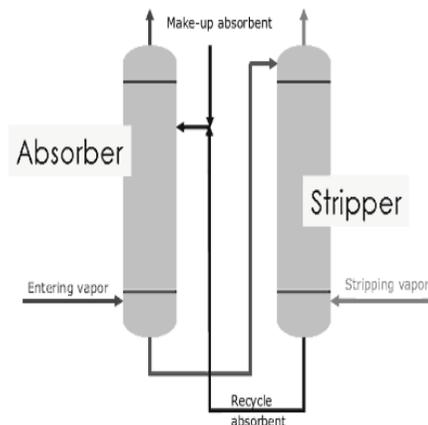
- (a) gas keluaran (b) gas input (c) pelarut (d) gas output

Proses Pengolahan Kembali Pelarut Dalam Proses Kolom Absorber

- Konfigurasi reaktor akan berbeda dan disesuaikan dengan sifat alami dari pelarut yang digunakan
- Aspek Thermodynamic (suhu dekomposisi dari pelarut), Volalitas pelarut, dan aspek kimia/fisika seperti korosivitas, viskositas, toksitas, juga termasuk biaya, semuanya akan diperhitungkan ketika memilih pelarut untuk spesifik sesuai dengan proses yang akan dilakukan.
- Ketika volalitas pelarut sangat rendah, contohnya pelarut tidak muncul pada aliran gas, proses untuk meregenerasinya cukup sederhana yakni dengan memanaskannya .
- Berikut akan dijelaskan beberapa contoh dari proses diatas:

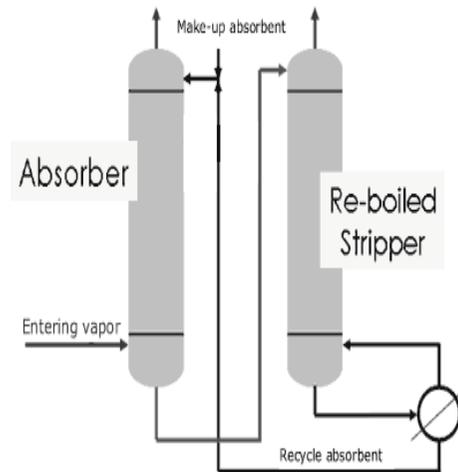
Contoh pertama

- Cairan absorber yang akan didaur ulang masuk kedalam kolom pengolahan dari bagian atasnya dan akan dicampur /dikontakan dengan stripping vapor. Gas ini bisa uap atau gas mulia, dengan kondisi termodinamika yang telah disesuaikan.dengan pelarut yang terpolusi. Absorber yang bersih lalu digunakan kembali di absorpsi kolom.



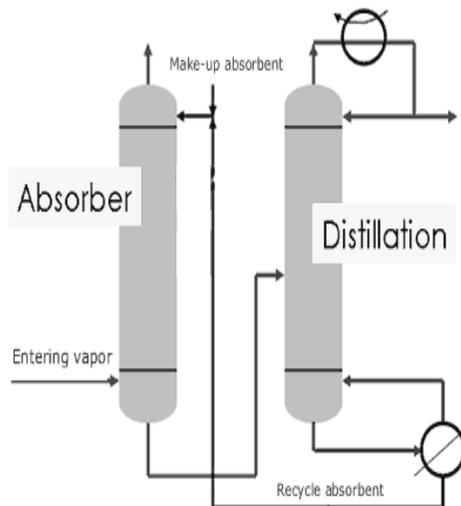
### Contoh kedua

- Absorber yang akan didaur ulang masuk ke kolom pemanasan stripping column. The stripping vapor dibuat dari cairan pelarut itu sendiri. Bagian yang telah didaur ulang lalu digunakan lagi untuk menjadi absorber.



### Contoh ketiga

- Sebuah kolom destilasi juga dapat digunakan untuk mendaur ulang. Absorber yang terpolusi dilewatkan kedalam destilasi kolom. Dibawahnya, pelarut dikumpulkan dan dikirim kembali ke absorber.

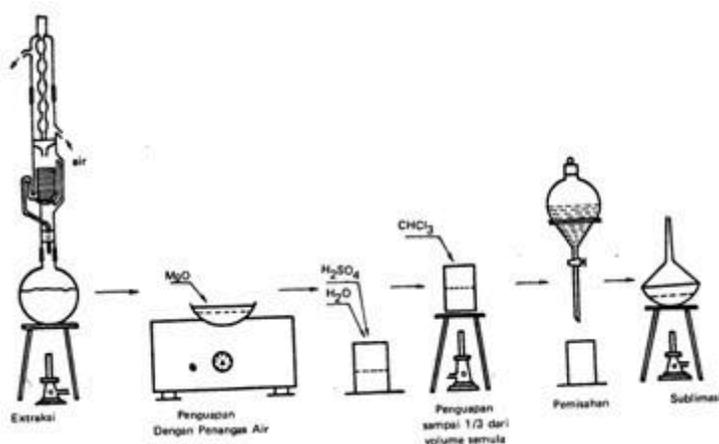


## 4.8 EKSTRAKSI

### 4.8.1. Pendahuluan

Ekstraksi adalah pemisahan suatu zat dari campurannya dengan pembagian sebuah zat terlarut antara dua pelarut yang tidak dapat bercampur untuk mengambil zat terlarut tersebut dari satu pelarut ke pelarut yang lain. Seringkali campuran bahan padat dan cair (misalnya bahan alami) tidak dapat atau sukar sekali dipisahkan dengan metode pemisahan mekanis atau termis yang telah dibicarakan. Misalnya saja, karena komponennya saling bercampur secara sangat erat, peka terhadap panas, beda sifat-sifat fisiknya terlalu kecil, atau tersedia dalam konsentrasi yang terlalu rendah. Dalam hal semacam itu, seringkali ekstraksi adalah satu-satunya proses yang dapat digunakan atau yang mungkin paling ekonomis. Sebagai contoh pembuatan ester (essence) untuk bau-bauan dalam pembuatan sirup atau minyak wangi, pengambilan kafein dari daun teh, biji kopi atau biji coklat dan yang dapat dilihat sehari-hari ialah pelarutan komponen-komponen kopi dengan menggunakan air panas dari biji kopi yang telah dibakar atau digiling.

### 4.8.2. Peralatan ekstraksi



Gambar 4.77: Peralatan ekstraksi skala laboratorium sederhana



**Gambar 4.78: Peralatan ekstraksi skala laboratorium bentuk kolom**



**Gambar 4.79: Peralatan ekstraksi skala industri kecil**

**Istilah-istilah berikut ini umumnya digunakan dalam teknik ekstraksi:**

Bahan ekstraksi	: Campuran bahan yang akan diekstraksi
Pelarut (media ekstraksi)	: Cairan yang digunakan untuk melangsungkan ekstraksi
Ekstrak	: Bahan yang dipisahkan dari bahan ekstraksi
Larutan ekstrak	: Pelarut setelah proses pengambilan ekstrak
Rafinat (residu ekstraksi)	: Bahan ekstraksi setelah diambil ekstraknya
Ekstraktor	: Alat ekstraksi
Ekstraksi padat-cair	: Ekstraksi, dari bahan yang padat
Ekstraksi cair-cair (ekstraksi dengan pelarut = <i>Solvent extraction</i> )	: Ekstraksi dari bahan ekstraksi yang cair

Berlawanan misalnya dengan proses rektifikasi, pada ekstraksi tidak terjadi pemisahan segera dari bahan-bahan yang akan diperoleh, (ekstrak), melainkan mula-mula hanya terjadi pengumpulan ekstrak (dalam pelarut). Suatu proses ekstraksi biasanya melibatkan tahap-tahap berikut ini:

- Mencampur bahan ekstraksi dengan pelarut dan membiarkannya saling berkontak. Dalam hal ini terjadi perpindahan massa dengan cara difusi pada bidang antarmuka bahan ekstraksi dan pelarut. Dengan demikian terjadi ekstraksi yang sebenarnya, yaitu pelarutan ekstrak.
- Memisahkan larutan ekstrak dari rafinat, kebanyakan dengan cara penjernihan atau filtrasi.
- Mengisolasi ekstrak dari larutan ekstrak dan mendapatkan kembali pelarut, umumnya dilakukan dengan menguapkan pelarut. Dalam hal-hal tertentu, larutan ekstrak dapat langsung diolah lebih lanjut atau diolah setelah dipekatkan,

Seringkali juga diperlukan tahap-tahap lainnya. Pada ekstraksi padat-cair misalnya, dapat dilakukan pra-pengolahan (pengecilan) bahan ekstraksi atau pengolahan lanjut dari ratmat (dengan tujuan mendapatkan kembali sisa-sisa pelarut).

### 4.8.3. Penyiapan bahan yang akan diekstrak dan plarut

- **Selektivitas**

Pelarut hanya boleh melarutkan ekstrak yang diinginkan, bukan komponen-komponen lain dari bahan ekstraksi. Dalam praktek, terutama pada ekstraksi bahan-bahan alami, sering juga bahan lain (misalnya lemak, resin) ikut dibebaskan bersama-sama dengan ekstrak yang diinginkan. Dalam hal itu larutan ekstrak tercemar yang diperoleh harus dibersihkan, yaitu misalnya diekstraksi lagi dengan menggunakan pelarut kedua.

- **Kelarutan**

Pelarut sedapat mungkin memiliki kemampuan melarutkan ekstrak yang besar (kebutuhan pelarut lebih sedikit).

- **Kemampuan tidak saling bercampur**

Pada ekstraksi cair-cair, pelarut tidak boleh (atau hanya secara terbatas) larut dalam bahan ekstraksi.

- **Kerapatan**

Terutama pada ekstraksi cair-cair, sedapat mungkin terdapat perbedaan kerapatan yang besar antara pelarut dan bahan ekstraksi. Hal ini dimaksudkan agar kedua fasa dapat dengan mudah dipisahkan kembali setelah pencampuran (pemisahan dengan gaya berat). Bila beda kerapatannya kecil, seringkali pemisahan harus dilakukan dengan menggunakan gaya sentrifugal (misalnya dalam ekstraktor sentrifugal).

- **Reaktivitas**

Pada umumnya pelarut tidak boleh menyebabkan perubahan secara kimia pada komponen-komponen bahan ekstraksi. Sebaliknya, dalam hal-hal tertentu diperlukan adanya reaksi kimia (misalnya pembentukan garam) untuk mendapatkan selektivitas yang tinggi. Seringkali Ekstraksi juga disertai dengan reaksi kimia. Dalam hal ini bahan yang akan dipisahkan mutlak harus berada dalam bentuk larutan.

- **Titik didih**

Karena ekstrak dan pelarut biasanya harus dipisahkan dengan cara penguapan, destilasi atau rektifikasi, maka titik didih kedua bahan itu tidak boleh terlalu dekat, dan keduanya tidak membentuk azeotrop. Ditinjau dari segi ekonomi, akan menguntungkan jika pada proses ekstraksi titik didih pelarut tidak terlalu tinggi (seperti juga halnya dengan panas penguapan yang rendah).

- **Kriteria yang lain**

Pelarut sedapat mungkin harus

- Murah
- Tersedia dalam jumlah besar - tidak beracun
- Tidak dapat terbakar
- Tidak eksplosif bila bercampur dengan udara - tidak korosif
- Tidak menyebabkan terbentuknya emulsi - memiliki viskositas yang rendah
- Stabil secara kimia dan termis.

Karena hampir tidak ada pelarut yang memenuhi semua syarat di atas, maka untuk setiap proses ekstraksi harus dicari pelarut yang paling sesuai.

Beberapa pelarut yang terpenting adalah: air, asam-asam organik dan anorganik, hidrokarbon jenuh, toluen, karbon disulfid, eter, aseton, hidrokarbon yang mengandung chlor, isopropanol, etanol.

Dengan sangat menyederhanakan proses yang berlangsung pada ekstraksi, performansi ekstraksi (atau kecepatan ekstraksi) dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{\text{Kuantitas}}{\text{Waktu}} = \frac{\text{Gaya Pendorong} \cdot \text{Luas Permukaan}}{\text{Tahanan}}$$

Gaya pendorong pada ekstraksi adalah perbedaan konsentrasi ekstrak di dalam bahan ekstraksi dan pelarut. Gaya ini sedapat mungkin besar. Untuk mencapainya, yang paling baik adalah dengan menggunakan pelarut segar yaitu yang tidak mengandung ekstrak, atau dengan segera mengeluarkan larutan ekstrak dari permukaan perpindahan.

Dengan satu tahap ekstraksi tunggal, yaitu mencampur bahan ekstraksi dengan pelarut satu kali, umumnya tidak mungkin seluruh ekstrak terlarutkan. Hal ini disebabkan adanya kesetimbangan antara ekstrak yang terlarutkan dan ekstrak yang masih tertinggal dalam bahan ekstraksi (hukum distribusi). Pelarutan lebih lanjut hanya mungkin dengan cara memisahkan larutan ekstrak dari bahan ekstraksi dan mencampurkan bahan ekstraksi tersebut dengan pelarut yang baru. Proses ini harus dilakukan berulang-ulang, hingga derajat ekstraksi yang diharapkan (atau konsentrasi ekstrak dalam rafinat yang diizinkan) tercapai.

Ekstraksi akan lebih menguntungkan jika dilaksanakan dalam jumlah tahap yang banyak. Setiap tahap menggunakan pelarut yang sedikit. Kerugiannya adalah: konsentrasi larutan ekstrak makin lama makin rendah, dan jumlah total pelarut yang dibutuhkan menjadi besar, sehingga untuk mendapatkan pelarut kembali biayanya menjadi mahal.

Yang lebih ekonomis adalah menggunakan proses dengan aliran yang berlawanan. Dalam hal ini bahan ekstraksi mula-mula dikontakkan dengan pelarut yang sudah mengandung ekstrak (larutan ekstrak), dan baru pada tahap akhir proses dikontakkan dengan pelarut yang segar. Operasi dapat dilakukan baik secara tak kontinu ataupun kontinu. Dengan metode ini pelarut dapat dihemat dan konsentrasi larutan ekstrak yang lebih tinggi dapat diperoleh. Meskipun demikian, perbedaan konsentrasi yang cukup besar yang merupakan gaya pendorong untuk unjuk keda ekstraksi yang tinggi masih dapat dipertahankan.

Permukaan, yaitu bidang antarmuka untuk perpindahan massa antara bahan ekstraksi dan pelarut, harus sebesar mungkin. Pada ekstraksi padat-cair hal tersebut dapat dicapai dengan memperkecil ukuran bahan ekstraksi, dan pada ekstraksi cair-cair dengan menceraikan. salah satu cairan menjadi tetes-tetes (dengan bantuan perkakas pengaduk).

Tahanan yang menghambat pelarutan ekstrak sedapat mungkin bernilai kecil. Tahanan tersebut terutama tergantung pada ukuran dan sifat partikel dari bahan ekstraksi. Semakin kecil partikel ini, semakin pendek jalan yang harus ditempuh pada perpindahan massa dengan cara difusi, sehingga semakin rendah tahanannya. Pada ekstraksi bahan padat, tahanan semakin besar jika kapiler-kapiler bahan padat semakin halus dan jika ekstrak semakin terbungkus didalam sel (misalnya pada bahan-bahan alami). Di samping faktor-faktor di atas, suhu juga seringkali memainkan peranan penting dalam unjuk keda ekstraksi. Semakin tinggi suhu, semakin

kecil viskositas fasa cair dan semakin besar kelarutan ekstrak dalam pelarut. Selain itu kecenderungan, pembentukan emulsi berkurang pada suhu yang tinggi.

#### **4.8.4. Pelaksanaan Proses Ekstraksi**

##### **A. Ekstraksi padat-cair**

Pada ekstraksi padat-cair, satu atau beberapa komponen yang dapat larut dipisahkan dari bahan padat dengan bantuan pelarut. Proses ini digunakan secara teknis dalam skala besar terutama di bidang industri bahan alami dan makanan, misalnya untuk memperoleh :

- Bahan-bahan aktif dari tumbuhan atau organ – organ binatang untuk keperluan farmasi
- Gula dari umbi
- Minyak dari biji-bijian
- Kopi dari biji kopi

Pengambilan garam-garam logam dari pasir besi adalah juga ekstraksi padat-cair (disebut *leaching*). Proses ini merupakan ekstraksi yang digabungkan dengan reaksi kimia. Dalam hal ini ekstrak, dengan bantuan suatu asam anorganik misalnya, dikonversikan terlebih dahulu ke dalam bentuk yang larut. Pembilasan filter dan pelarutan pada proses rekristalisasi bahan padat juga dianggap sebagai ekstraksi padat-cair dalam arti yang luas. Ekstrak yang akan dipisahkan, berbentuk padat diuapkan atau cair, dapat terkurung dalam bahan ekstraksi atau berada dalam sel-sel (khususnya pada bahan-bahan nabati dan hewani). Dalam keadaan-keadaan tersebut bahan ekstraksi bukan merupakan substansi yang homogen, melainkan berpori dan berkapiler banyak.

Pada ekstraksi, yaitu ketika bahan ekstraksi dicampur dengan pelarut, maka pelarut menembus kapiler-kapiler dalam bahan padat dan melarutkan ekstrak. Larutan ekstrak dengan konsentrasi yang tinggi terbentuk di bagian dalam bahan ekstraksi. Dengan cara difusi akan terjadi kesetimbangan konsentrasi antara larutan tersebut dengan larutan di luar bahan padat.

Karena adanya gaya adhesi setelah pemisahan larutan ekstrak, akan selalu tertinggal larutan ekstrak dalam kuantitas tertentu di dalam

bahan ekstraksi. Untuk memperoleh efisiensi yang tinggi pada tiap tahap ekstraksi, perlu diusahakan agar kuantitas cairan yang tertinggal sekecil mungkin. Biasanya hal ini dapat dilakukan dengan membiarkannya menetes keluar arang dengan cara penekanan atau sentrifugasi). Karena alasan ekonomi dan pelestarian lingkungan, seringkali sisa pelarut yang tertinggal dalam rafinat dipisahkan (misalnya dengan pemanasan langsung menggunakan kukus) dan diambil kembali pada akhir proses ekstraksi. Untuk mencapai unjuk keda ekstraksi atau kecepatan ekstraksi yang tinggi pada ekstraksi padat-cair, syarat-syarat berikut harus dipenuhi:

- Karena perpindahan massa berlangsung pada bidang kontak antara fasa padat dan fasa cair, maka bahan itu perlu sekali memiliki permukaan yang seluas mungkin. Ini dapat dicapai dengan memperkecil ukuran bahan ekstraksi. Dalam hal itu lintasan-lintasan kapiler, yang harus dilewati dengan cara difusi, menjadi lebih pendek sehingga mengurangi tahanannya. Pada ekstrak terkurung dalam sel-sel seringkali perlu dibentuk kontak langsung dengan pelarut melalui dinding sel yang dipecahkan. Pemecahan dapat dilakukan misalnya dengan menekan atau menggerus bahan ekstraksi. Untuk alat-alat ekstraksi tertentu harus dijaga agar pada pengecilan bahan ekstraksi, ukuran partikel yang diperoleh tidak menjadi terlalu kecil. Bila hal itu terjadi, tidak dapat dipastikan bahwa bahan ekstraksi cukup permeabel untuk pelarut.
- Kecepatan alir pelarut, sedapat mungkin besar dibandingkan dengan laju alir bahan ekstraksi, agar ekstrak yang terlarut dapat segera diangkut keluar dari permukaan bahan padat. Tergantung pada jenis ekstraktor yang digunakan, hal tersebut dapat dicapai baik dengan pengadukan secara turbulen, atau dengan pemberian laju alir pelarut yang tinggi
- Suhu yang lebih tinggi (viskositas pelarut lebih rendah, kelarutan ekstrak lebih besar) pada umumnya menguntungkan untuk kerja ekstraksi.

Alat-alat ekstraksi tak kontinu dan kontinu berikut ini biasanya merupakan bagian dari suatu instalasi lengkap, yang misalnya terdiri atas.

- Alat untuk pengolahan awal (pengecilan ukuran, pengeringan) bahan ekstraksi

- Ekstraktor yang sebenarnya
- Perlengkapan untuk memisahkan (dengan penjernihan atau penyaringan) larutan ekstrak dari rafinat (seringkali menyatu dengan ekstraktor)
- Peralatan untuk mengisolasi ekstrak atau meningkatkan konsentrasi larutan ekstrak dan memperoleh kembali pelarut (dengan cara penguapan).

## **B. Ekstraksi padat-cair tak kontinu**

- Dalam hal yang paling sederhana bahan ekstraksi padat dicampur beberapa kali dengan pelarut segar di dalam sebuah tangki pengaduk. Larutan ekstrak yang terbentuk setiap kali dipisahkan dengan cara penjernihan (pengaruh gaya berat) atau penyaringan (dalam sebuah alat yang dihubungkan dengan ekstraktor). Proses ini tidak begitu ekonomis, digunakan misalnya di tempat yang tidak tersedia ekstraktor khusus atau bahan ekstraksi tersedia dalam bentuk serbuk sangat halus, sehingga karena bahaya penyumbatan, ekstraktor lain tidak mungkin digunakan.
- Ekstraktor yang sebenarnya adalah tangki-tangki dengan pelat ayak yang dipasang di dalamnya. Pada alat ini bahan ekstraksi diletakkan di atas pelat ayak horisontal. Dengan bantuan suatu distributor, pelarut dialirkan dari atas ke bawah. Dengan perkakas pengaduk (di atas pelat ayak) yang dapat dinaikturunkan, pencampuran seringkali dapat disempurnakan, atau rafinat dapat dikeluarkan dari tangki setelah berakhirnya ekstraksi. Ekstraktor semacam ini hanya sesuai untuk bahan padat dengan partikel yang tidak terlalu halus.

Yang lebih ekonomis lagi adalah penggabungan beberapa ekstraktor yang dipasang seri dan aliran bahan ekstraksi berlawanan dengan aliran pelarut. Dalam hal ini pelarut dimasukkan ke dalam ekstraktor yang berisi campuran yang telah mengalami proses ekstraksi paling banyak. Pada setiap ekstraktor yang dilewati, pelarut semakin diperkaya oleh ekstrak. Pelarut akan dikeluarkan dalam konsentrasi tinggi dari ekstraktor yang berisi campuran yang mengalami proses ekstraksi paling sedikit. Dengan operasi ini pemakaian pelarut lebih sedikit dan konsentrasi akhir dari larutan ekstrak lebih tinggi.

Cara bin ialah dengan mengalirkan larutan ekstrak yang keluar dari pelat ayak ke sebuah ketel destilasi, menguapkan pelarut di situ, menggabungkannya dalam sebuah kondenser dan segera mengalirkannya kembali ke ekstraktor untuk dicampur dengan bahan ekstraksi. Dalam ketel destilasi konsentrasi larutan ekstrak terus menerus meningkat. Dengan metode ini jumlah total pelarut yang diperlukan relatif kecil. Meskipun demikian, selalu terdapat perbedaan konsentrasi ekstrak yang maksimal antara bahan ekstraksi dan pelarut. Kerugiannya, adalah pemakaian banyak energi karena pelarut harus diuapkan secara terus menerus.

Pada ekstraksi bahan-bahan yang peka terhadap suhu terdapat sebuah bak penampung sebagai pengganti ketel destilasi. Dari bak tersebut larutan ekstrak dialirkan ke dalam alat penguap vakum (misalnya alat penguap pipa atau film). Uap pelarut yang terbentuk kemudian dikondensasikan, pelarut didinginkan dan dialirkan kembali ke dalam ekstraktor dalam keadaan dingin.

### **C. Ekstraksi padat-cair kontinyu**

Cara kedua ekstraktor ini serupa dengan ekstraktor-ekstraktor yang dipasang seri, tetapi pengisian, pengumpanan pelarut dan juga pengosongan berlangsung secara otomatis penuh dan terjadi dalam sebuah alat yang sama. Oleh Pengumpanan karena itu dapat diperoleh output yang lebih besar dengan jumlah kerepotan yang lebih sedikit. Tetapi karena biaya untuk peralatannya besar, ekstraktor semacam itu kebanyakan hanya digunakan untuk bahan ekstraksi yang tersedia dalam kuantitas besar (misalnya biji-bijian minyak, tumbuhan). Dari beraneka ragam konstruksi alat ini, berikut akan di bahas ekstraktor keranjang (*bucket-wheel extractor*) dan ekstraktor sabuk (*belt extractor*).

#### **Ekstraktor keranjang**

Pada ekstraktor keranjang (keranjang putar *rotary extractor*), bahan ekstraksi terus menerus dimasukkan ke dalam sel-sel yang berbentuk juring (sektor) dari sebuah rotor yang berputar lambat mengelilingi poros. Bagian bawah sel-sel ditutup oleh sebuah pelat ayak. Selama satu putaran, bahan padat dibasahi dari arah berlawanan oleh pelarut atau larutan ekstrak yang konsentrasinya meningkat. Pelarut atau larutan

tersebut dipompa dari sel ke sel dan disiramkan ke atas bahan padat. Akhirnya, bahan dikeluarkan dan keseluruhan proses ini berlangsung secara otomatis.

### **Ekstraktor sabuk**

Pada ekstraktor ini, bahan ekstraksi diumpankan secara kontinu di atas sabuk ayak yang melingkar. Di sepanjang sabuk bahan dibasahi oleh pelarut atau larutan ekstrak dengan konsentrasi yang meningkat dan arah aliran berlawanan. Setelah itu bahan dikeluarkan dari ekstraktor.

## **D. Ekstraksi cair-cair**

Pada ekstraksi cair-cair, satu komponen bahan atau lebih dari suatu campuran dipisahkan dengan bantuan pelarut.

Proses ini digunakan secara teknis dalam skala besar misalnya untuk memperoleh vitamin, antibiotika, bahan-bahan penyedap, produk-produk minyak bumi dan garam-garam. logam. Proses inipun digunakan untuk membersihkan air limbah dan larutan ekstrak hasil ekstraksi padat cair. Ekstraksi cair-cair terutama digunakan, bila pemisahan campuran dengan cara destilasi tidak mungkin dilakukan (misalnya karena pembentukan azeotrop atau karena kepekaannya terhadap panas) atau tidak ekonomis.

Seperti ekstraksi padat-cair, ekstraksi cair-cair selalu terdiri atas sedikitnya dua tahap, yaitu pencampuran secara intensif bahan ekstraksi dengan pelarut, dan pemisahan kedua fasa cair itu sesempurna mungkin.

Pada saat pencampuran terjadi perpindahan massa, yaitu ekstrak meninggalkan pelarut yang pertama (media pembawa) dan masuk ke dalam pelarut kedua (media ekstraksi). Sebagai syarat ekstraksi ini, bahan ekstraksi dan pelarut tidak saling melarut (atau hanya dalam daerah yang sempit). Agar terjadi perpindahan masa yang baik yang berarti performansi ekstraksi yang besar haruslah diusahakan agar terjadi bidang kontak yang seluas mungkin di antara kedua cairan tersebut. Untuk itu salah satu cairan didistribusikan menjadi tetes-tetes kecil (misalnya dengan bantuan perkakas pengaduk). Tentu saja pendistribusian ini tidak boleh terlalu jauh, karena akan menyebabkan terbentuknya emulsi (lihat 5150) yang tidak dapat lagi atau sukar sekali

dipisah. Turbulensi pada saat mencampur tidak perlu terlalu besar. Yang penting perbedaan konsentrasi sebagai gaya penggerak pada bidang batas tetap ada. Hal ini berarti bahwa bahan yang telah terlarutkan sedapat mungkin segera disingkirkan dari bidang batas.

Pada saat pemisahan, cairan yang telah terdistribusi menjadi tetes-tetes halus menyatu kembali menjadi sebuah fasa homogen dan berdasarkan perbedaan kerapatan yang cukup besar dapat dipisahkan dari cairan yang lain. Kecepatan Pembentukan fasa homogen ikut menentukan output sebuah ekstraktor cair-cair. Kuantitas pemisahan persatuan waktu dalam hal ini semakin besar jika permukaan lapisan antar fasa di dalam alat semakin luas.

Sama halnya seperti pada ekstraksi padat-cair, alat ekstraksi tak kontinu dan kontinu yang akan dibahas berikut ini seringkali merupakan bagian dari suatu instalasi lengkap. Instalasi tersebut biasanya terdiri atas ekstraktor yang sebenarnya (dengan zone-zone pencampuran dan pemisahan) dan sebuah peralatan yang dihubungkan di belakangnya (misalnya alat penguap, kolom rektifikasi) untuk mengisolasi ekstrak atau memekatkan larutan ekstrak dan mengambil kembali pelarut

## **E Ekstraktor cair-cair tak kontinu**

- Dalam hal yang paling sederhana, bahan ekstraksi. Yang cair dicampur berulang kali dengan pelarut segar dalam sebuah tangki pengaduk (sebaiknya dengan saluran keluar di bagian bawah). Larutan ekstrak yang dihasilkan setiap kali dipisahkan dengan cara penjernihan (pengaruh gaya berat).
- Yang konstruksinya lebih menguntungkan bagi proses pencampuran dan pemisahan adalah tangki yang bagian bawahnya runcing (yang dilengkapi dengan perkakas pengaduk, penyalur bawah, maupun kaca Intip yang tersebar pada seluruh ketinggian).

Alat tak kontinu yang sederhana seperti itu digunakan misalnya untuk mengolah bahan dalam jumlah kecil, atau bila hanya sekali-sekali dilakukan ekstraksi.

Untuk Pemisahan Yang dapat dipercaya antara fasa berat dan fasa ringan, sedikit-sedikitnya diperlukan sebuah kaca intip pada saluran keluar di bagian bawah tangki ekstraksi. Selain itu penurunan lapisan antar fasa seringkali dikontrol secara elektronik (dengan perantara alat ukur konduktivitas), secara optik (dengan bantuan detektor cahaya

hatas) atau secara mekanik (dengan pelampung atau benda apung). Peralatan ini mudah digabungkan dengan komponen pemblokir dan perlengkapan alarm, yang akan menghentikan aliran keluar dan/atau memberikan alarm, segera setelah lapisan tersebut melampaui kedudukan tertentu. Agar fasa ringan (yang kebanyakan terdiri atas pelarut organik) tidak masuk ke dalam saluran pembuangan air, pencegahan yang lebih baik dapat dilakukan dengan memasang bak penampungan (bak penyangga) dibelakang ekstraktor.

## **F. Ekstraktor cair-cair kontinu**

Operasi kontinu pada ekstraksi cair-cair dapat dilaksanakan dengan sederhana, karena tidak saja pelarut, melainkan juga bahan ekstraksi cair secara mudah dapat dialirkan dengan bantuan pompa. Dalam hal ini bahan ekstraksi berulang kali dicampur dengan pelarut atau larutan ekstrak dalam arah berlawanan yang konsentrasinya senantiasa meningkat. Setiap kali kedua fasa dipisahkan dengan cara penjernihan. Bahan ekstraksi dan pelarut terus menerus diumpukan ke dalam alat, sedangkan rafinat dan larutan ekstrak dikeluarkan secara kontinu. Ekstraktor yang paling sering digunakan adalah kolom-kolom ekstraksi, di samping itu juga digunakan perangkat pencampur-pemisah (mixer settler). Alat-alat ini terutama digunakan bila bahan ekstraksi yang harus dipisahkan berada dalam kuantitas yang besar, atau bila bahan tersebut diperoleh dari proses-proses sebelumnya secara terus menerus.

### **4.8.5. Kolom ekstraksi**

Serupa seperti yang telah dikenal pada kolom rektifikasi atau sorpsi, dalam sebuah kolom ekstraksi vertikal bahan ekstraksi cair dan pelarut saling dikontakkan dengan arah aliran yang berlawanan. Dengan bantuan pompa, cairan yang lebih ringan dimasukkan dari bagian bawah, dan cairan yang lebih berat dari bagian atas kolom secara terus menerus.

Di dalam kolom berulang kali terjadi proses yang sarna, yaitu pencampuran yang intensif antara kedua cairan agar terjadi perpindahan massa. Peristiwa itu sedapat mungkin diikuti dengan pemisahan yang sempurna dari kedua fasa. Namun di dalam kolom, proses ini dan tahap ekstraksi seringkali tidak lagi dapat dibedakan.

Bidang batas antara fasa berat dan fasa ringan terdapat pada ujung atas atau ujung bawah kolom (diketahui melalui percobaan). Kedudukannya dipertahankan konstan oleh sebuah pengatur tinggi permukaan, yang mengendalikan pembuangan fasa berat.

Beberapa cara dapat dilakukan untuk mengintensifkan perpindahan massa antara bahan ekstraksi dan pelarut (atau larutan ekstrak dengan konsentrasi yang meningkat). Pada dasarnya dapat dibedakan antara kolom dengan perlengkapan dalam yang tak bergerak dan kolom dengan perlengkapan dalam yang dapat digerakkan. Dalam kolom dengan perlengkapan dalam yang tak bergerak (misalnya kolom semprot, kolom pelat ayak dan kolom benda pengisi), perpindahan massa berlangsung relatif lambat. Sebaliknya dalam kolom dengan perlengkapan dalam yang berdenyut atau berputar, perpindahan massa berlangsung lebih cepat, karena sarana pembantu mekanik yang ditempatkan di dalam kolom selalu menciptakan bidang antar muka yang baru lagi untuk perpindahan massa. Biasanya perbandingan optimal antara intensitas pencampuran dan laju alir atau juga performansi ekstraksi hanya dapat ditentukan melalui percobaan-percobaan. Berlawanan misalnyadengan perangkat pencampuran-pemisah, pada kolom ekstraksi seringkali terdapat bahaya pencampuran balik (back mixing), yaitu ikut terbawanya partikel-partikel fasa berat ke atas atau partikel-partikel fasa ringan ke bawah. Hal ini terutama terjadi jika proses pencampuran dilaksanakan secara terlalu intensif. Dalam hal-hal tertentu kolom ekstraksi juga diapit dengan dua jenis pelarut, yaitu untuk memisahkan dua komponen yang berbeda dari suatu bahan ekstraksi. Secara kontinu pelarut yang satu dimasukkan di ujung atas kolom.

#### **4.8.6. Pengeluaran Ekstraksi**

Proses ekstraksi biasanya menyangkut : a) ekstraksi cair-cair, b) mendapatkan pelarut kembali, c) raffinate desolventizing (penghilangan/pengambilan pelarut pada rafinat), d) pengeluaran ekstraksi.

Sebuah contoh proses ekstraksi cair-cair dengan biaya yang ekonomis adalah mendapatkan asam asetat dari air dengan menggunakan etil eter atau etill asetat. Pelarut didapatkan kembali dengan distilasi dan rafinat dimurnikan dari pelarutnya dengan distilasi uap. Dalam beberapa hal pelarut yang dipakai mempunyai titik didih yang lebih tinggi daripada larutan.

*Contoh lain :*

1. Pemisahan aromatik dari minyak kerosen untuk meningkatkan daya bakarnya dan pemisahan aromatik dari parafin dan zat naphthenic untuk meningkatkan karakteristik suhu-viskositas pada sifat gesekan minyak.
2. Untuk mendapatkan zat yang sangat murni seperti benzen, toluen, dan xylen dari sifat katalitik yang didapatkan dari industri minyak.
3. Produksi asam asetat arhidorus.
4. Pada pemurnian penicillin.

Hal yang baru dan sangat canggih adalah proses ekstraksi cair pada proses metalurgi. Contohnya adalah pemurnian bahan bakar uranium dan untuk mendapatkan kembali bahan bakar sisa pada industri tenaga nuklir dengan metode ekstraksi.

Pada praktiknya, ekstraksi mengangkut operasi fisik, seperti yang dijelaskan di atas, atau operasi kimia. Operasi kimia dapat dikelompokkan oleh Hanson, sebagai berikut :

1. yang menyangkut perpindahan kation, misalnya ekstraksi logam dengan asam karboksilat akan mendapat ekstrak logam.
2. yang menyangkut perpindahan anion, misalnya ekstraksi anion yang menyangkut metal dengan amin akan mendapat ekstraksi metal.
3. yang menyangkut pembentukan zat additif, misalnya ekstraksi pada zat neutral organo-phosphorus. Proses yang terkenal pada tipe ini adalah pemurnian uranium dari nitrat dengan tri-n-butyl fosfat akan didapat ekstrak uranium

Umpan pada proses ekstraksi cair-cair adalah larutan yang berisi komponen-komponen yang akan dipisahkan. Komponen yang lebih banyak jumlahnya di dalam umpan disebut sebagai larutan umpan. Komponen yang lebih sedikit jumlahnya dinamakan zat terlarut. Pelarut pengeksrak atau hanya pelarut saja, adalah cairan yang tidak mudah larut yang ditambahkan ke dalam proses untuk mengeksrak larutan umpan. Fasa campuran yang meninggalkan pengontakan antar cairan adalah ekstrak. Ekstrak ini dapat dikeluarkan dari kolom ekstraksi. Rafinat adalah fasa cair yang tertinggal dari umpan sesudah dikontakkan dengan fasa kedua. Larutan pencuci adalah cairan yang ditambahkan pada proses pemisahan untuk mencuci atau memurnikan larutan pada fasa ekstrak.

#### 4.8.7. Merawat Peralatan Ekstraksi

Perawatan peralatan untuk proses ekstraksi akan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berhubungan dengan laju ekstraksi. Jika difusi dari cairan yang akan diambil (*solute*) pada partikel padat adalah faktor yang mengendalikan, partikel seharusnya kecil, sehingga jarak zat terlarut untuk berdifusi menjadi kecil.

Hal yang perlu diperhatikan ada 4 faktor.

1. Ukuran partikel

Ukuran partikel mempengaruhi laju ekstraksi dalam beberapa hal. Semakin kecil ukurannya, semakin besar luas permukaan antara padat & cair; sehingga laju perpindahannya menjadi semakin besar. Dengan kata lain, jarak untuk berdifusi yang dialami oleh zat terlarut dalam padatan adalah kecil.

2. Zat pelarut

Larutan yang akan dipakai sebagai zat pelarut seharusnya merupakan pelarut pilihan yang terbaik dan viskositasnya harus cukup rendah agar dapat bersirkulasi dengan mudah. Biasanya, zat pelarut murni akan dipakai pada awalnya, tetapi setelah proses ekstraksi berakhir, konsentrasi zat terlarut akan naik dan laju ekstraksinya turun, pertama karena gradien konsentrasi akan berkurang dan kedua karena zat terlarutnya menjadi lebih kental.

3. Temperatur

Dalam banyak hal, kelarutan zat terlarut (pada partikel yang diekstraksi) di dalam pelarut akan naik bersamaan dengan kenaikan temperatur untuk memberikan laju ekstraksi yang lebih tinggi.

4. Pengadukan fluida

Pengadukan pada zat pelarut adalah penting karena akan menaikkan proses difusi, sehingga menaikkan perpindahan material dari permukaan partikel ke zat pelarut.

#### Perawatan peralatan untuk "leaching"

Ada tiga proses yang perlu diperhatikan pada saat perawatan peralatan *leaching* terjadi, yaitu:

1. Pelarutan antara zat pelarut dengan zat terlarut
2. Pemisahan zat terlarut dari padatannya

3. Pencucian padatan untuk memisahkan zat-zat yang tidak diinginkan atau untuk memperoleh hasil sebanyak mungkin

Dahulu proses *batch* (perhatian) sering dilakukan, tetapi sekarang proses secara kontinyu mulai banyak dikembangkan. Tipe peralatan akan sangat bergantung kepada sifat dari padatan, apakah granular atau cellular dan apakah partikel kasar atau halus. Beda antara padatan kasar dan halus adalah padatan kasar mempunyai laju pengendapan yang besar, sehingga cepat dipisahkan dari cairannya, sedangkan yang halus hanya dapat dilakukan dengan bantuan pengadukan.

Contoh ekstraksi dengan padatan berbentuk cellular adalah ekstraksi pada biji kacang. Biji kacang berisi sekitar 15% minyak dan sebagai pelarut sering dipakai fraksi petroleum ringan. Trikloroetilen dan aseton atau eter juga sering digunakan sebagai pelarut jika padatan sangat basah. Contoh peralatan yang dipakai adalah Bollmann ekstraktor.

Untuk *leaching* dengan padatan yang kasar serubung digunakan peralatan *Dorr classifier*. Padatan dimasukkan dekat pada dasar tangki yang miring dan secara perlahan bergerak ke atas. Zat pelarut dituangkan dari atas dan mengalir berlawanan arah dengan padatan dan melewati baffle sebelum keluar. Jika padatan kasar dapat *di-leaching* dengan mengalirkan pelarut ke materialnya, maka padatan halus akan menemui kesulitan pada saat menggerakkan padatan ke atas. Partikel yang kurang dari 200 mesh (0,075 mm) akan bersuspensi jika ada pengadukan dan karena luas permukaan totalnya besar, maka ekstraksi yang seperti ini akan memakan waktu yang lama.

Karena laju pengendapan dari partikel adalah rendah dan permukaannya luas, pemisahan dan operasi pencucian menjadi lebih sukar pada padatan halus daripada padatan kasar. Pengadukan dapat dipakai dengan menggunakan pengaduk mekanis atau dengan udara tekan. Pengaduk biasanya diletakkan di tengah tabung dan dikelilingi oleh lempengan besi, sehingga cairan dapat terangkat naik kemudian turun setelah keluar dari lempeng besi.

Contoh peralatan yang menggunakan udara tekan untuk pengadukan adalah Pachuca Tank. Ini adalah tangki silinder dengan dasar berbentuk

kerucut dilengkapi dengan pipa di tengah untuk udara tekan. Sirkulasi secara kontinyu akan didapat dengan pipa tersebut berlaku sebagai udara pengangkat. Penambahan jet udara dilakukan untuk mencegah adanya material yang mengendap.

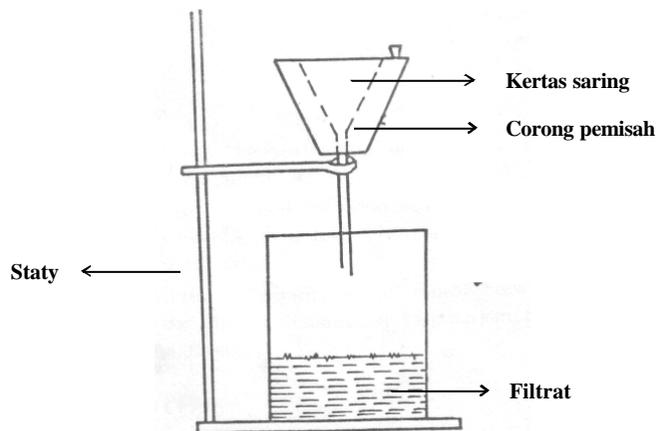
## 4.9. FILTRASI

### 4.9.1. Pendahuluan

Filtrasi adalah pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaringan, atau *septum*, dimana zat padat itu tertahan. Pada industri, filtrasi ini meliputi ragam operasi mulai dari penyaringan sederhana hingga pemisahan yang kompleks. Fluida yang difiltrasi dapat berupa cairan atau gas; aliran yang lolos dari saringan mungkin saja cairan, padatan, atau keduanya. Suatu saat justru limbah padatnyalah yang harus dipisahkan dari limbah cair sebelum dibuang. Seringkali umpan dimodifikasi melalui beberapa pengolahan awal untuk meningkatkan laju filtrasi, misal dengan pemanasan, kristalisasi, atau memasang peralatan tambahan pada penyaring seperti selulosa atau tanah diatomae. Oleh karena varietas dari material yang harus disaring beragam dan kondisi proses yang berbeda, banyak jenis penyaring telah dikembangkan.

### 4.9.2. Filtrasi skala laboratorium

Filtrasi digunakan untuk memisahkan campuran heterogen zat padat yang tidak larut dalam cairan. Penyaringan menggunakan kertas saring, hasil saringan disebut filtrat.



Gambar 4.80: Penyaringan dengan kertas saring

#### **4.9.3. Pemeriksaan Filtrasi skala pilot plan/industri sebelum pengoperasian**

Sebelum peralatan filtrasi digunakan harus diperiksa dahulu supaya tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan pada waktu beroperasi, misalnya penyaring tidak berfungsi secara optimum. Fluida mengalir melalui media penyaring karena adanya perbedaan tekanan yang melalui media tersebut. Pemeriksaan penyaring dilakukan agar dapat beroperasi pada:

- Tekanan di atas atmosfer pada bagian atas media penyaring,
- Tekanan operasi pada bagian atas media penyaring,
- Dan vakum pada bagian bawah.

Tekanan di atas atmosfer dapat dilaksanakan dengan gaya gravitasi pada cairan dalam suatu kolom, dengan menggunakan pompa atau blower, atau dengan gaya sentrifugal. Dalam suatu penyaring gravitasi media penyaring bisa jadi tidak lebih baik daripada saringan (*screen*) kasar atau dengan unggun partikel kasar seperti pasir. Penyaring gravitasi dibatasi penggunaannya dalam industri untuk suatu aliran cairan kristal kasar, penjernihan air minum, dan pengolahan limbah cair. Kebanyakan penyaring industri adalah penyaring tekan, penyaring vakum, atau pemisah sentrifugal. Penyaring tersebut beroperasi secara kontinyu atau diskontinyu, tergantung apakah buangan dari padatan tersaring tunak (*steady*) atau sebentar-sebentar. Sebagian besar siklus operasi dari penyaring diskontinyu, aliran fluida melalui peralatan secara kontinu, tetapi harus dihentikan secara periodik untuk membuang padatan terakumulasi. Dalam saringan kontinyu buangan padat atau fluida tidak dihentikan selama peralatan beroperasi.

#### **4.9.4. Pengoperasian Peralatan Filtrasi**

##### **A. Filter ampas (*cake filter*)**

Penyaring ampas memisahkan padatan dengan jumlah relatif besar sebagai suatu kue kristal atau lumpur. Seringkali penyaring ini dilengkapi peralatan untuk membersihkan cairan dari padatan sebelum dibuang. Proses pengoperasiannya sebagai berikut :

- Pada permulaan filtrasi pada penyaring kue beberapa partikel padat memasuki medium pori dan ditahan, tetapi dengan segera mulai berkumpul di permukaan *septum*.

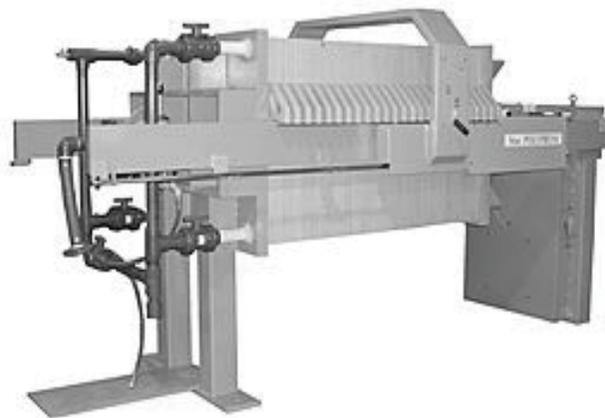
- Setelah periode awal ini padatan mulai terfiltrasi; padatan tersebut mulai menebal di permukaan dan harus dibersihkan secara periodik. Kecuali dilengkapi kantong penyaring untuk pembersih gas, penyaring umumnya hanya digunakan untuk pemisahan padat-cair.
- Penyaring dapat dioperasikan dengan tekanan di atas atmosfer pada aliran atas medium penyaring atau tekanan vakum pada aliran bawah.

## **B. Mesin Pres Bersaringan (*Filter Press*)**

Suatu mesin pres bersaringan berisi satu set plat yang didesain untuk menyediakan serangkaian ruang atau kompartemen yang didalamnya padatan dikumpulkan. Plat-plat tersebut dilingkupi medium penyaring seperti kanvas. Lumpur dapat mencapai tiap-tiap kompartemen dengan tekanan tertentu; cairan melalui kanvas dan keluar ke pipa pembuangan, meninggalkan padatan kue basah dibelakangnya. Plat dari suatu mesin pres bersaringan dapat berbentuk persegi atau lingkaran, vertikal atau horizontal. Kebanyakan kompartemen padatan dibentuk dengan penyelia plat polipropelina cetakan. Dalam desain lain, kompartemen tersebut dibentuk di dalam cetakan plat berbingkai (*plate-and-frame press*), yang didalamnya terdapat plat persegi panjang yang pada satu sisi dapat diubah-ubah. Pengoperasiannya sebagai berikut :

- Plat dan bingkai dipasang pada posisi vertikal dalam rak logam, dengan kain melingkupi permukaan setiap plat, dan ditekan dengan keras bersama dengan memutar skrup hidraulik.
- Lumpur memasuki suatu sisi akhir dari rangkaian plat dan bingkai.
- Lumpur mengalir sepanjang jalur pada satu sudut rangkaian tersebut.
- Jalur tambahan mengalirkan lumpur dan jalur utama ke dalam setiap bingkai.
- Padatan akan terendapkan di atas kain yang menutupi permukaan plat.
- Cairan menembus kain, menuruni jalur pada permukaan plat (*corrugation*), dan keluar dari mesin press.
- Setelah merangkai mesin pres, lumpur dimasukkan dengan pompa atau tangki bertekanan pada tekanan 3 s.d. 10 atm.

- Filtrasi dilanjutkan sampai cairan tidak lagi muncul pada keluaran atau tekanan filtrasi secara tiba-tiba meningkat.
- Hal ini terjadi ketika bingkai penuh padatan atau tidak ada lumpur lagi yang dapat masuk.
- Jika hal demikian terjadi, mesin pres dapat dikatakan mengalami kemacetan (*jammed*). Cairan pencuci mungkin dapat digunakan untuk membersihkan pengotor yang larut dari padatan., setelah itu kue dapat ditiup dengan kukus (*steam*) atau udara untuk membersihkan cairan yang tersisa.
- Mesin pres kemudian dibuka, dan padatan kue dihilangkan dari medium penyaring dan dipindahkan ke konveyor atau tempat penampungan.
- Dalam banyak mesin pres, operasi tersebut dilakukan secara otomatis.



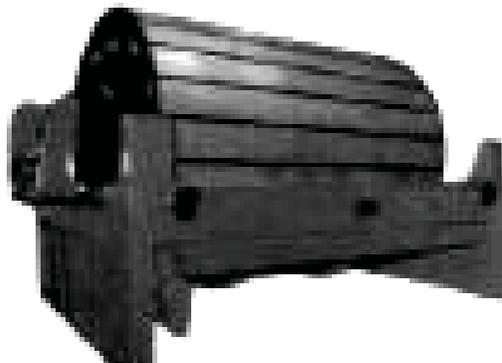
**Gambar 4.81: Mesin Pres Bersaring (*Filter Press*)**

### **C. Filter Drum Berputar (*Rotary Drum Filter*)**

Jenis yang paling umum dari penyaring vakum kontinyu adalah penyaring drum berputar. Pengoperasiannya sebagai berikut :

- Drum berputar dengan arah horizontal pada kecepatan 0.1 s.d. 2 r/min mengaduk lumpur yang melaluinya.
- Medium penyaring, seperti kanvas, melingkupi permukaan dari drum, sebagian dibenamkan dalam cairan. Di bawah drum utama yang berputar, terdapat drum yang lebih kecil permukaan padat.

- Di antara dua drum tersebut ada ruang tipis berbentuk radial membagi ruang anular kedalam kompartemen-kompartemen, setiap kompartemen tersambung dengan pipa internal ke suatu lubang dalam plat berputar pada *rotary valve*.
- Vakum dan udara secara bergantian dimasukkan pada tiap-tiap kompartemen dalam drum berputar.
- Penyaring bergaris-garis menutupi permukaan yang tampak pada tiap-tiap ruang membentuk suatu pergantian panel.
- Filtrat dan cairan pencuci dialirkan bersama melalui suatu pipa tercelup; padatan dibuang dengan mengalirkan udara melalui kain dari tapal diam di dalam drum, menyentuh kain penyaring.
- Perubahan arah secara tajam pada *roller* mengakibatkan padatan jatuh terbang. Kain dicuci dari *roller* pada bagian bawah drum.
- Cairan pencuci dipercikkan secara langsung pada permukaan ampas. Jumlah drum yang terendam merupakan suatu variabel.
- Penyaring umpan diposisikan dari dasar beroperasi sekitar 30% dari daerah penyaringan yang terendam di dalam lumpur.
- Tebal ampas yang terbentuk pada penyaring vakum berputar di industri adalah 3 s.d.40 mm (1/8 s.d. 1.5 in.).
- Ukuran drum standard bervariasi dari diameter 0.3 m (1 ft) dengan diameter permukaan 0.3 m, s.d. diameter 3 m (10 ft) dengan diameter permukaan 4.3 m (14 ft).



**Gambar 4.82: Filter Drum Berputar (*Rotary Drum Filter*)**

#### **4.9.5. Merawat Peralatan Filtrasi**

Perawatan filtrasi harus dirawat secara kontinu agar umur pakai peralatan menjadi lebih panjang. Langkah-langkah perawatan sebagai berikut :

- Media penyaring dibersihkan dengan diblower menggunakan udara sehingga partikel-partikel yang ada di pori-pori penyaring tidak menempel lagi.
- Kantong penyaring untuk pembersih gas juga dibersihkan dari media padatan atau partikel.
- Penyaring bercangkang dan berdaun juga dibersihkan dari debu dan karat sehingga media penyaringan tersebut akan bekerja secara optimum.

#### **4.10. SUBLIMASI**

Sublimasi adalah peristiwa penguapan secara langsung padatan kristalin ke dalam fasa uap. Contoh klasik sublimasi adalah penguapan kamfer (kapus barus). Sublimasi dapat digunakan sebagai metode pemurnian padatan kristalin. Beberapa senyawa kimia dapat menyublim pada temperatur dan tekanan kamar, namun banyak yang baru dapat menyublim apabila tekanan diturunkan. Untuk mendapatkan bahan murni, fasa uap bahan tersublim didinginkan secara perlahan-lahan sehingga terbentuk kristal.

##### **4.10.1. Pemeriksaan Kondisi Sublimator**

Sublimator pada proses sublimasi ini terdiri dari :

- Cawan porselin
- Gelas arloji
- Gelas piala
- Pembakar bunsen

Peralatan tersebut diatas dibersihkan dari kotoran dan zat-zat lain yang menempel pada gelas arloji dan cawan porselin.

- Pastikan tidak ada air yang menempel pada peralatan tersebut akan kinerja perubahan tingkat wujud alotropi menjadi maksimum.

#### 4.10.2. Proses Sublimasi

Pada umumnya perubahan tingkat wujud berlangsung menurut pola padat - cair - gas - atau kebalikannya. Ada beberapa zat yang dapat berubah langsung dari keadaan uap ke keadaan padat yang disebut menyublim. Sifat demikian dimiliki oleh unsur yodium, kamfer, naftalen, belerang. Zat padat pada umumnya mempunyai bentuk kristal tertentu:

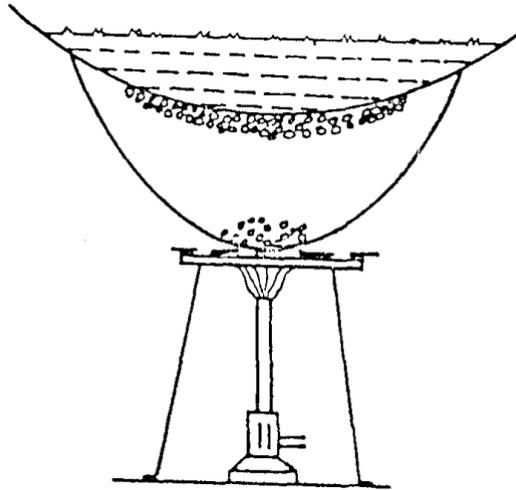
Kubus, heksagonal, rombik, monoklin dan sebagainya. Unsur belerang dalam suhu biasa berwarna kuning dengan bentuk kristal rombik. Jika belerang rombik dipanaskan sampai  $96^{\circ}$  bentuk kristalnya berubah menjadi monoklin. Jika belerang cair didinginkan tiba-tiba pada  $119^{\circ}$  terjadi pula bentuk kristal monoklin (seperti bentuk jarum). Pada pendinginan lebih lanjut sampai  $96^{\circ}$  terjadi bentuk rombik. Suhu  $96^{\circ}$  adalah suhu peralihan.

Peristiwa ini disebut alotropi ialah satu macam zat dalam keadaan berlainan mempunyai sifat fisik yang berbeda.

Peralatan dan bahan yang dipakai untuk proses sublimasi yodium:

- a. Alat-alat yang dipakai
  1. cawan porselin
  2. gelas arloji
  3. tabung reaksi
  4. pipet
  5. gelas piala
  6. kayu kecil/lidi
  7. pembakar bunsen
  8. kaki tiga dengan kasa asbes.
  
- b. Bahan-bahan yang dipakai :
  1. yodium kristal
  2. belerang
  3. kanji
  4. air suling
  5. alkohol.

## Prosedur Proses Sublimasi



Gambar 4.83 : *Penyubliman Yodium*

- Ambil 1 spatula yodium, letakkan dalam cawan porselin, tutuplah cawan itu dengan gelas arloji, beri air di atas gelas arloji. Panaskan dengan api kecil pada pembakar bunsen. Terjadi perubahan warna uap yodium, uap ini akan menyublim pada bagian bawah gelas arloji.
- Sebagian dari kristal yodium ini masukkan dalam tabung reaksi, kemudian tuangi air suling.
- Sebagian yang lain masukkan juga pada tabung reaksi dan tuangi alkohol.
- Pada dinding luar gelas arloji terdapat hablur-hablur kristal Iodium.

### 4.10.3. Menangani produk sublimasi

Hasil sublimasi yang telah diperoleh dikumpulkan menggunakan sendok untuk dibandingkan keuntungan dengan kristal aslinya. Kemudian dibandingkan, apakah massa Iodium yang tersublimasi massanya sama dengan produk sublimasi yang dihasilkan. Kemudian dapat dianalisis apakah semua zat yang menguap tersebut, uapnya dapat menyublim keseluruhan menjadi kristal-kristal kembali.

## **4.11. EVAPORASI**

### **4.11.1. Operasi Evaporasi**

Operasi evaporasi atau penguapan pada dasarnya merupakan operasi pendidihan khusus, dimana terjadi peristiwa perpindahan panas dalam cairan mendidih. Tujuan operasi evaporasi adalah untuk memperoleh larutan pekat dari larutan encer dengan jalan pendidihan dan penguapan. Yang dimaksud dengan larutan adalah terdiri dari zat terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap. Pelarutnya dalam kebanyakan hal adalah air, tetapi dapat juga cairan lain.

Memeriksa kondisi evaporator sebelum dioperasikan :

- a. Evaporator sebelum dioperasikan harus diperiksa bagian-bagiannya agar kinerjanya menjadi optimum.
- b. Kondensor diperiksa fungsi kerjanya dengan cara membersihkan ruang kondensasi.
- c. Injeksi uap juga diperiksa apakah pengukur tekanan berfungsi dengan baik atau tidak.
- d. Perangkat uap juga diperiksa jika terjadi kebocoran-keborocan
- e. Perangkat tetap dibersihkan dari debu dan kotoran.

### **4.11.2. Pelaksanaan Proses Evaporasi**

Evaporasi dilaksanakan dengan cara menguapkan sebagian dari pelarut pada titik didihnya, sehingga diperoleh larutan zat cair pekat yang konsentrasinya lebih tinggi. Uap yang terbentuk pada evaporasi biasanya hanya terdiri dari satu komponen, dan jika uapnya berupa campuran umumnya tidak diadakan usaha untuk memisahkan komponen-komponennya. Dalam evaporasi zat cair pekat merupakan produk yang dipentingkan, sedangkan uapnya biasanya dikondensasikan dan dibuang. Disinilah letak perbedaan antara evaporasi dan distilasi.

### **4.11.3. Pelaporan Proses Evaporasi**

Proses evaporasi dengan skala komersial di dalam industri kimia dilakukan dengan peralatan yang namanya evaporator.

Perlengkapan peralatan :

Evaporator, kondensor, Injeksi uap, perangkat uap, perangkat tetes

Proses evaporasi didokumentasikan dalam lembar pelaporan sesuai data :

- Kerja kondensor
- Kerja injeksi uap
- Kerja perangkat uap
- Kerja perangkat tetes

## Contoh-contoh Operasi Evaporasi dalam Industri Kimia

- Pemekatan larutan NaOH
- Pemekatan larutan  $\text{KNO}_3$
- Pemekatan larutan NaCl
- Pemekatan larutan nira dan lain-lain.



Gambar 4.84. Evaporator sederhana

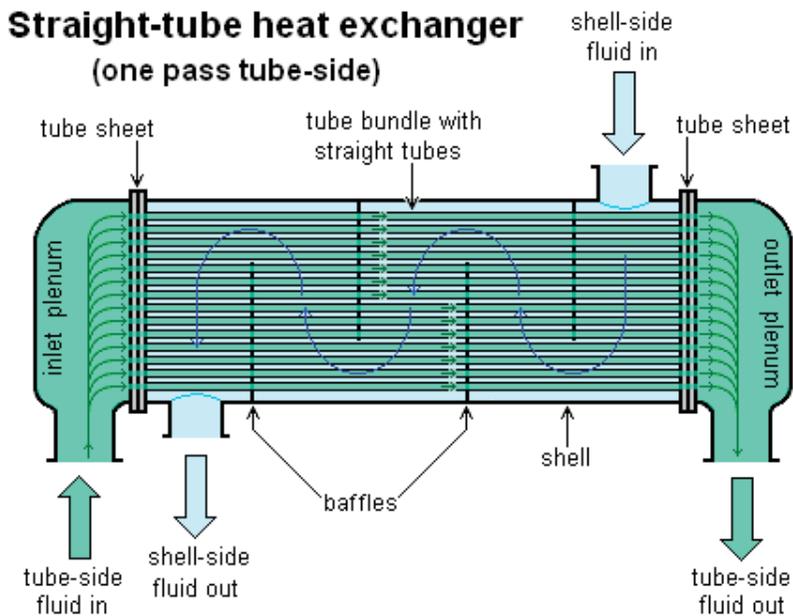
## 4.12. PENUKAR PANAS

### 4.12.1. Pendahuluan

Penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja. Penukar panas sangat luas dipakai dalam industri seperti kilang minyak, pabrik kimia maupun petrokimia, industri gas alam, refrigerasi, pembangkit listrik. Salah satu contoh sederhana dari alat penukar panas adalah radiator mobil di mana cairan pendingin memindahkan panas mesin ke udara sekitar.

#### 4.12.2. Tabung dan Selongsong (*Shell and Tube*)

Jenis umum dari penukar panas, biasanya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi, yang terdiri dari sebuah selongsong yang didalamnya disusun suatu anulus dengan rangkaian tertentu (untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal). Fluida mengalir di selongsong maupun di anulus sehingga terjadi perpindahan panas antar fluida dengan dinding anulus sebagai perantara. Beberapa jenis rangkaian anulus misalnya; triangular, segiempat, dll.



Gambar 4.85. Aliran pada alat penukar panas tabung dan selongsong

#### 4.12.3. Jenis Plat

Contoh lainnya adalah penukar panas jenis plat. Alat jenis ini terdiri dari beberapa plat yang disusun dengan rangkaian tertentu, dan fluida yang mengalir diantaranya.

#### 4.12.4. Dasar Teori

##### 1. Pengertian Perpindahan Panas

Alat penukar kalor merupakan suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Maksudnya ialah :

- a. Alat penukar kalor kontak langsung  
Pada alat ini fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan. Misalnya ejector, daerator dan lain-lain.
- b. Alat penukar kalor kontak tak langsung  
Pada alat ini fluida panas tidak berhubungan langsung (indirect contact) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, plat, atau peralatan jenis lainnya. Misalnya kondensor, ekonomiser air preheater dan lain-lain.

## 2. Cara-cara Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu tempat ke tempatnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antara tempat-tempat tersebut. Pada umumnya perpindahan panas dapat berlangsung melalui 3 cara yaitu secara konduksi, konveksi, radiasi. Untuk alat penukar kalor tipe spiral ini lebih ditekankan pada perpindahan panas secara konveksi sehingga pembahasannya tidak menjelaskan tentang perpindahan panas secara konduksi dan radiasi.

Konveksi adalah proses transport energy dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energy dan gerakan mencampur fluida. Perpindahan panas konveksi menurut cara menggerakkan alirannya diklasifikasikan dalam konveksi bebas dan konveksi paksa. Dikatakan sebagai konveksi bebas (free/ natural convection) apabila gerakan mencampur diakibatkan oleh perbedaan kerapatan massa jenis yang disebabkan oleh gradien suhu, contohnya gerakan yang terlihat pada air yang sedang dipanaskan. Sedangkan apabila gerakan fluida disebabkan karena adanya energi dari luar seperti pokpa atau kipas maka disebut sebagai konveksi paksa (forced convection), misalnya pendinginan radiator dengan udara yang dihembuskan oleh kipas.

Laju perpindahan panas konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot dT$$

Dimana

$Q_c$  = Laju perpindahan panas dengan cara konveksi (Watt)

$h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>K)

$A$  = Luas penampang aliran permukaan dan fluida (m<sup>2</sup>)

$dT$  = Perbedaan suhu antara permukaan dan fluida (K)

Keefektifan perpindahan panas dengan cara konveksi tergantung sebagian besarnya gerakan mencampur fluida. Sehingga studi perpindahan konveksi didasarkan pada pengetahuan tentang ciri-ciri aliran fluida.

#### **4.12.5. Pemeriksaan Peralatan Penukar Panas**

Pada alat penukar kalor ini, kedua fluida mengalir pada dua jalur yang berbeda dan kedua jalur dipisahkan oleh satu plat. Plat yang digunakan adalah dari bahan tembaga. Hal ini dengan pertimbangan bahan plat dan bahan tembaga mempunyai harga konduktivitas (thermal) yang tinggi sehingga mempunyai kemampuan menghantarkan panas yang baik.

Pemeriksaan dilakukan sebagai berikut :

- Melakukan pemeriksaan pada sekat aliran fluida yang terbuat dari tembaga, untuk pemeriksaan kebocoran.
- Melakukan pengecekan pada saluran fluida panas dan fluida dingin, jika ada kotoran yang menyumbat harus dibersihkan terlebih dahulu, sehingga aliran fluida dapat lancar.
- Kedua jalur plat ini juga harus diperiksa agar terjadi pertukaran panas antara kedua fluida tersebut agar fluida panas secara optimum akan mengalami penurunan temperatur sedangkan fluida dingin akan mengalami kenaikan temperatur.
- Pemeriksaan pendahuluan sangat penting dikarenakan perbedaan temperatur fluida pada saat masuk dan keluar alat untuk pengambilan data menghitung  $q$  (laju aliran panas) yang terjadi pada alat penukar kalor, sehingga pemeriksaan pendahuluan sangat penting.

#### **4.12.6. Perawatan Peralatan Penukar Panas**

Peralatan penukar panas sederhana terdiri dari :

- |                          |        |
|--------------------------|--------|
| a. 1 unit Heat Exchanger | 1 unit |
| b. Thermometer Digital   | 1 buah |
| c. Stop Watch            | 1 buah |
| d. Selang air            |        |

Langkah-langkah perawatan sebagai berikut :

- a. Buka penuh katup-katup
- b. Kemudian tutup penuh katup-katup
- c. Dicoba mengalirkan fluida dingin dengan menggunakan katup dan atur debitnya dengan mengatur katup

- d. Dicoba mengalirkan fluida panas dengan menggunakan pompa dan atur debitnya dengan mengatur katup
- e. Perawatan pada aliran searah, apabila bukaan katup semakin dipersempit maka kecepatan pada aliran fluida panas dan fluida dingin akan semakin lambat, sehingga kinerja peralatan dapat optimum.

#### **4.13. SATUAN PROSES KIMIA (REAKSI KIMIA DAN KATALIS)**

##### **4.13.1. Persiapan deskripsi bahan olahan sebelum pelaksanaan proses**

Reaksi kimia merupakan suatu proses dimana bahan sebelum diproses disebut dengan reaktan dan hasilnya produk. Lambang dari reaksi kimia sebelum dan sesudah proses menggunakan tanda panah.



Pada reaksi diatas, A dan B merupakan reaktan sedangkan P dan Q merupakan produk. Dalam hal ini antara reaktan dan produk terjadi perubahan identitas kimia yang dapat berupa perubahan struktur, unsur ataupun molekul kimia

Reaksi kimia adalah suatu reaksi antar senyawa kimia atau unsur kimia yang melibatkan perubahan struktur dari molekul, yang umumnya berkaitan dengan pembentukan dan pemutusan ikatan kimia. Berlangsungnya proses tersebut mempunyai dua kemungkinan yaitu memerlukan energi (disebut dengan reaksi endotermal) atau melepaskan energi (reaksi eksotermal). Selain itu beberapa ciri fisik antara lain:

- Terbentuknya endapan
- Terbentuknya gas
- Terjadinya perubahan warna
- Terjadinya perubahan suhu atau temperatur

Semua reaksi kimia menyangkut perubahan energi yang diwujudkan dalam bentuk panas. Kebanyakan reaksi kimia disertai dengan pelepasan panas (reaksi eksotermis), meskipun adapula beberapa reaksi kimia yang menyerap panas (reaksi endotermis). Bahaya dari suatu reaksi kimia terutama adalah karena proses pelepasan energi (panas) yang demikian banyak dan dalam kecepatan yang sangat tinggi, sehingga tidak terkendalikan dan bersifat destruktif (merusak) terhadap lingkungan, termasuk operator/orang yang melakukannya.

Banyak kejadian dan kecelakaan di dalam laboratorium sebagai akibat reaksi kimia yang hebat atau eksplosif (bersifat ledakan). Namun kecelakaan tersebut pada hakikatnya disebabkan oleh kurangnya pengertian atau apresiasi terhadap faktor-faktor kimia-fisika yang mempengaruhi kecepatan reaksi kimia. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia adalah konsentrasi pereaksi, kenaikan suhu reaksi, dan adanya katalis.

Sesuai dengan hukum aksi masa, kecepatan reaksi bergantung pada konsentrasi zat pereaksi. Oleh karena itu, untuk percobaan-percobaan yang belum dikenal bahayanya, tidak dilakukan dengan konsentrasi pekat, melainkan konsentrasi pereaksi kira-kira 10% saja. Kalau reaksi telah dikenal bahayanya, maka konsentrasi pereaksi cukup 2 – 5 % saja sudah memadai. Suatu contoh, apabila amonia pekat direaksikan dengan dimetil sulfat, maka reaksi akan bersifat eksplosif, akan tetapi tidak demikian apabila digunakan amonia encer.

Pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi kimia dapat diperkirakan dengan persamaan Arrhenius, dimana kecepatan reaksi bertambah secara kesponensial dengan bertambahnya suhu. Secara kasar apabila suhu naik sebesar 10 oC, maka kecepatan reaksi akan naik menjadi dua kali. Atau apabila suhu reaksi mendadak naik 100 oC, ini berarti bahwa kecepatan reaksi mendadak naik berlipat  $2^{10} = 1024$  kali. Di sinilah pentingnya untuk mengadakan kendali terhadap suhu reaksi, misalnya dengan pendinginan apabila reaksi bersifat eksotermis. Suatu contoh asam meta-nitrobenzensulfonat pada suhu sekitar 150 oC akan meledak akibat reaksi penguraian eksotermis. Campuran kalium klorat, karbon, dan belerang menjadi eksplosif pada suhu tinggi atau jika kena tumbukan, pengadukan, atau gesekan (pemanasan pelarut). Dengan mengetahui pengaruh kedua faktor di atas maka secara umum dapatlah dilakukan pencegahan dan pengendalian terhadap reaksi-reaksi kimia yang mungkin bersifat eksplosif.

#### **4.13.2. Proses Kimia**

##### **a. Asam, basa dan garam**

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering menemukan rasa pahit, getir, asam asin dan manis pada makanan atau minuman yang kita cicipi, bukan? Pada dasarnya rasa makanan, minuman atau zat tertentu yang

terasa asam, pahit, getir, asin dan manis disebabkan karena sifat zat tersebut, yaitu sifat yang berkaitan dengan asam, basa dan garam. Rasa asam terkait dengan suatu zat yang dalam ilmu kimia digolongkan sebagai asam. Rasa pahit terkait dengan bahan lain yang digolongkan sebagai basa. Namun, tidak semua yang mempunyai rasa pahit merupakan basa. Basa dapat dikatakan sebagai lawan dari asam. Jika asam dicampur dengan basa, maka kedua zat itu saling menetralkan, sehingga sifat asam dan basa dihilangkan. Hasil reaksi antara asam dengan basa kita sebut garam. Adapun rasa manis terkait dengan kehadiran sifat asam dan basa secara bersama-sama. Untuk memperoleh pengetahuan tentang sifat asam, basa dan garam suatu zat lebih jauh lagi, silahkan baca artikel-artikel kami pada tombol di samping kiri Anda.

### **b. Asam**

Sekitar tahun 1800, banyak kimiawan Prancis, termasuk Antoine Lavoisier, secara keliru berkeyakinan bahwa semua asam mengandung oksigen. Lavoisier mendefinisikan asam sebagai zat mengandung oksigen karena pengetahuannya akan asam kuat hanya terbatas pada asam-asam okso dan karena ia tidak mengetahui komposisi sesungguhnya dari asam-asam halida, HCl, HBr, dan HI. Lavoisier-lah yang memberi nama oksigen dari kata bahasa Yunani yang berarti "pembentuk asam". Setelah unsur klorin, bromin, dan iodin teridentifikasi dan ketiadaan oksigen dalam asam-asam halida ditemukan oleh Sir Humphry Davy pada tahun 1810, definisi oleh Lavoisier tersebut harus ditinggalkan.

Kimiawan Inggris pada waktu itu, termasuk Humphry Davy, berkeyakinan bahwa semua asam mengandung hidrogen. Setelah itu pada tahun 1884, ahli kimia Swedia yang bernama Svante August Arrhenius dengan menggunakan landasan ini, mengemukakan teori ion dan kemudian merumuskan pengertian asam.

### **c. Basa**

Basa adalah zat-zat yang dapat menetralkan asam. Secara kimia, asam dan basa saling berlawanan. Basa yang larut dalam air disebut alkali. Jika zat asam menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) yang bermuatan positif, maka dalam hal ini basa mempunyai arti sebagai berikut.

Basa adalah zat yang jika di larutkan dalam air akan menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ )

Berdasarkan pengertian basa di atas, maka ketika suatu senyawa basa di larutkan ke dalam air, maka akan terbentuk ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dan ion positif menurut reaksi sebagai berikut. Ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) terbentuk karena senyawa hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) mengikat satu elektron saat dimasukkan ke dalam air.



#### **d. Indikator asam basa**

Telah disebutkan bahwa asam mempunyai rasa asam, sedangkan basa mempunyai rasa pahit. Namun begitu, tidak dianjurkan untuk mengenali asam dan basa dengan, cara mencicipinya, sebab banyak diantaranya yang dapat merusak kulit (korosif) atau bahkan bersifat racun.

Asam dan basa dapat dikenali dengan menggunakan zat indikator, yaitu zat yang memberi warna berbeda (dahlia) lingkungan asam dan lingkungan basa (zat yang warnanya dapat berubah saat berinteraksi atau bereaksi dengan senyawa asam maupun senyawa basa).

Dalam laboratorium kimia, indikator asam-basa yang biasa di gunakan adalah indikator buatan dan indikator alami, Berikut ini penjelasan tentang indikator asam-basa buatan dan indikator asam-basa alami.

#### **e. Derajat keasaman (pH)**

Indikator Tingkat Keasaman

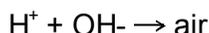
Suatu zat asam yang di masukkan ke dalam air akan mengakibatkan bertambahnya ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dalam air dan berkurangnya ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Sedangkan pada basa, akan terjadi sebaliknya. Zat basa yang dimasukkan ke dalam air akan mengakibatkan bertambahnya ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dan berkurangnya ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ).

Jumlah ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  di dalam air dapat di gunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasaaan suatu zat. Semakin asam suatu zat, semakin banyak ion  $\text{H}^+$  dan semakin sedikit jumlah ion  $\text{OH}^-$  di dalam air. Sebaliknya semakin basa suatu zat, semakin sedikit jumlah ion  $\text{H}^+$  dan semakin banyak ion  $\text{OH}^-$  di dalam air.

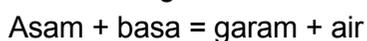
#### **4.13.3. Proses netralisasi**

Apabila suatu larutan asam dengan larutan basa dicampurkan dalam suatu bejana, maka ion  $\text{H}^+$  (dari asam) akan bereaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  (dari

basa) membentuk air. Reaksi antara ion  $H^+$  dengan  $OH^-$  tersebut dapat di tuliskan sebagai berikut.



Reaksi antara asam dan basa disebut reaksi penetral (netralisasi). Hal ini karena selain air, hasil reaksi antara asam dan basa adalah suatu zat yang bersifat netral, yaitu zat yang tidak bersifat asam maupun basa. Zat netral yang di maksudkan di sini adalah garam. Mengingat reaksi netralisasi dapat menghasilkan garam, maka reaksi ini juga di kenal dengan istilah reaksi penggaraman. Secara sederhana, reaksi netralisasi atau reaksi penggaraman dapat di tuliskan sebagai berikut.



Sifat asam	Sifat basa
Asam klorida encer dalam lambung yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan pencernaan (penyakit maag)	Digunakan obat yang mengandung basa magnesium hidroksida atau aluminium hidroksida untuk menetralsir kelebihan asam lambung
Sengatan lebah dapat mengakibatkan iritasi pada kulit	Digunakan baking soda (natrium bikarbonat) untuk mengurangi iritasi kulit akibat sengatan lebah
Mulut kita mengandung zat yang dapat merusak gigi dan menimbulkan bau mulut	Pasta gigi sebagai penetral

Contoh sederhana dari reaksi penggaraman adalah reaksi antara asam klorida ( $HCl$ ) dengan natrium hidroksida ( $NaOH$ ), yang akan membentuk natrium klorida  $NaCl$  (garam dapur) dan air.

Pada dasarnya, reaksi penggaraman (netralisasi) sangat berguna bagi kehidupan manusia. Reaksi netralisasi tidak hanya terbatas pada pembentukan garam dan air. Dalam kehidupan sehari-hari banyak dijumpai prinsip atau reaksi netralisasi, termasuk dalam bidang kesehatan dan pertanian. Perhatikan contoh berikut ini : gas-gas sisa, baik yang berasal dari kendaraan bermotor atau pabrik, mengandung gas belerang dioksida dan nitrogen oksida. Gas-gas ini dilepas ke udara sehingga menimbulkan polusi. Gas-gas tersebut juga larut dalam titik-titik air di awan sehingga membentuk larutan asam sulfat dan asam nitrat. Ketika terjadi hujan,

larutan-larutan ini bercampur dan turun bersama hujan. Inilah yang dinamakan dengan hujan asam.

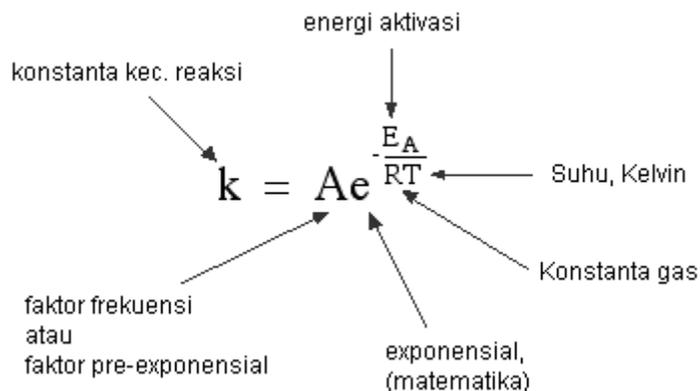
Hujan asam merugikan manusia dan lingkungan. Berikut adalah dampak yang ditimbulkan oleh hujan asam:

1. Hujan asam dapat menyebabkan matinya tumbuhan dan ikan. Asam yang terdapat dalam air hujan dapat bereaksi dengan mineral dalam tanah. Tumbuhan menjadi kekurangan mineral sehingga mati atau tidak tumbuh dengan baik. Hujan asam juga dapat melarutkan aluminium dari mineral dalam tanah dan bebatuan, kemudian menghanyutkannya ke sungai sehingga dapat meracuni ikan dan makhluk air lainnya.
2. Hujan asam yang bereaksi dengan logam dapat merusak jembatan, mobil, kapal laut, dan rangka bangunan. Hujan asam dapat merusak bangunan (gedung/ rumah) yang terbuat dari batu kapur.

#### 4.13.4. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi

1. Kecepatan Reaksi dipengaruhi oleh ukuran partikel/zat  
Semakin luas permukaan maka semakin banyak tempat bersentuhan untuk berlangsungnya reaksi. Luas permukaan zat dapat dicapai dengan cara memperkecil ukuran zat tersebut
2. Kecepatan Reaksi dipengaruhi oleh suhu  
Semakin tinggi suhu reaksi, kecepatan reaksi juga akan makin meningkat sesuai dengan teori Arrhenius.

Persamaan Arrhenius:



### 3. Kecepatan Reaksi dipengaruhi oleh katalis

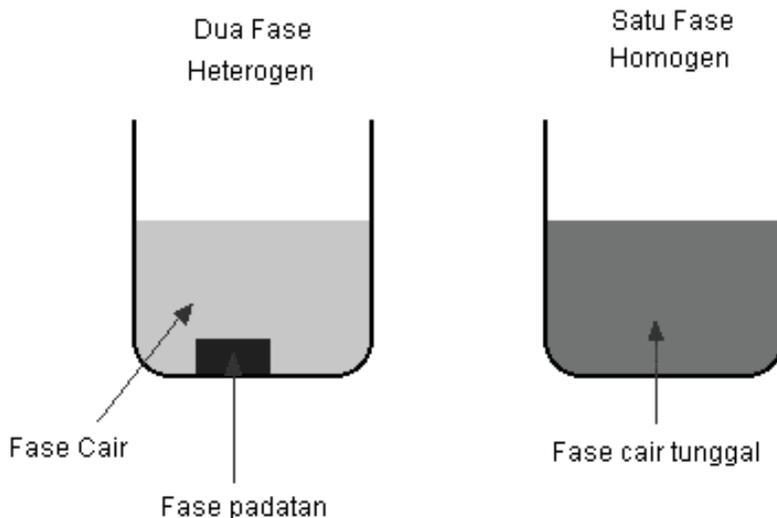
Adanya katalisator dalam reaksi dapat mempercepat jalannya suatu reaksi. Kereaktifan dari katalis bergantung dari jenis dan konsentrasi yang digunakan.

#### 4.13.5. Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat suatu laju reaksi, namun ia sendiri, secara kimiawi, tidak berubah pada akhir reaksi. Ketika reaksi selesai, maka akan didapatkan kembali massa katalisis yang sama seperti pada awal ditambahkan.

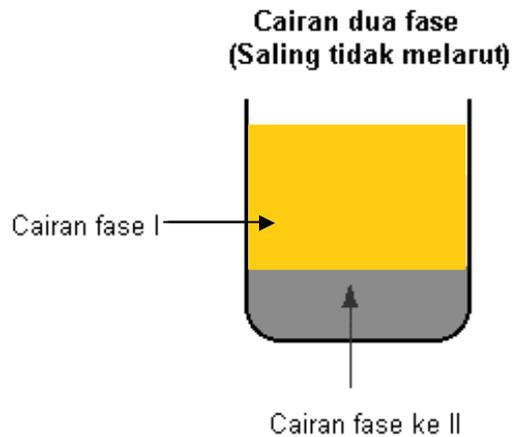
Katalis dapat dibagi berdasarkan dua tipe dasar, yaitu reaksi heterogen dan reaksi homogen. Didalam reaksi heterogen, katalis berada dalam fase yang berbeda dengan reaktan. Sedangkan pada dalam reaksi homogen, katalis berada dalam fase yang sama dengan reaktan.

Jika kita melihat suatu campuran dan dapat melihat suatu batas antara dua komponen, dua komponen itu berada dalam fase yang berbeda. Campuran antara padat dan cair terdiri dari dua fase. Campuran antara beberapa senyawa kimia dalam satu larutan terdiri hanya dari satu fase, karena kita tidak dapat melihat batas antara senyawa-senyawa kimia tersebut.



Fase berbeda dengan istilah keadaan fisik (padat, cair dan gas). Fase dapat juga meliputi padat, cair dan gas, akan tetapi lebih sedikit luas. Fase juga dapat diterapkan dalam dua zat cair dimana keduanya tidak saling melarutkan (contoh, minyak dan air).

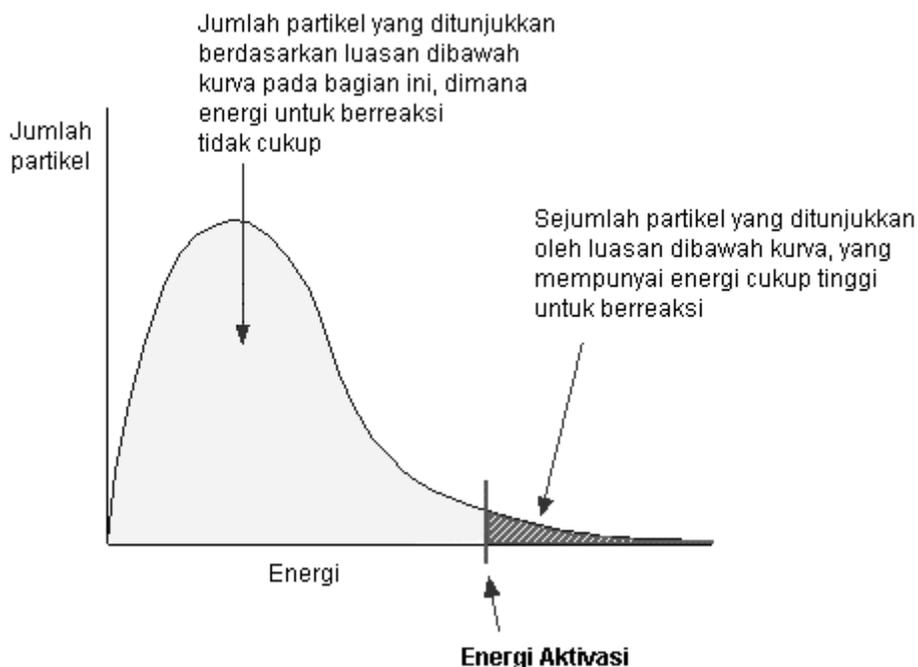
Kita dapat melihat batas diantara kedua zat cair tersebut.



Jika dilihat lebih cermat, sebenarnya diagram diatas menggambarkan lebih dari fase yang diterakan. Masing-masing, sebagai contoh, beaker kaca merupakan fase zat padat. Sebagian besar gas yang berada diatas zat cair juga merupakan salah satu fase lainnya. Kita tidak perlu memperhitungkan fase-fase tambahan ini karena mereka tidak mengambil bagian dalam proses reaksi.

### **Energi Aktivasi**

Tumbukan-tumbukan akan menghasilkan reaksi jika partikel-partikel bertumbukan dengan energi yang cukup untuk memulai suatu reaksi. Energi minimum yang diperlukan disebut dengan reaksi aktivasi energi. Kita dapat menggambarkan keadaan dari energi aktivasi pada distribusi Maxwell-Boltzmann seperti ini:

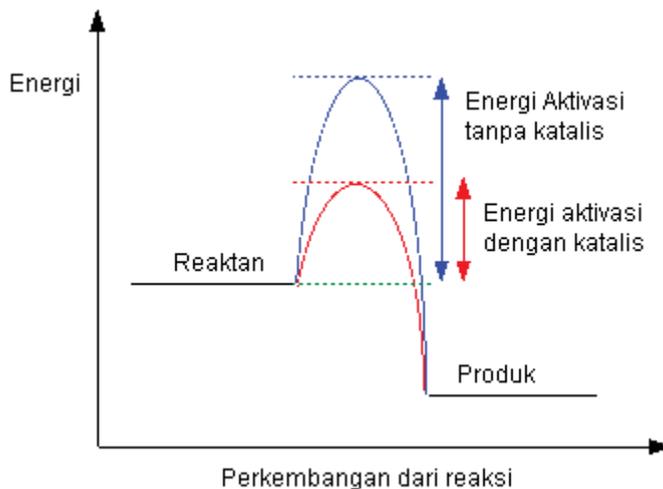


Hanya partikel-partikel yang berada pada area di sebelah kanan dari aktivasi energi yang akan bereaksi ketika mereka bertumbukan. Sebagian besar dari partikel tidak memiliki energi yang cukup dan tidak menghasilkan reaksi.

### **Katalis dan Energi Aktivasi**

Untuk meningkatkan laju reaksi kita perlu untuk meningkatkan jumlah tumbukan-tumbukan yang berhasil. Salah satu cara alternatif untuk mewujudkannya adalah dengan menurunkan energi aktivasi.

Menambahkan katalis memberikan perubahan yang berarti pada energi aktivasi. Katalis menyediakan satu rute alternatif bagi reaksi. Rute alternatif ini memiliki energi aktivasi yang rendah. Diagram dibawah ini merupakan gambaran keadaan energi.



Katalis hanya mempengaruhi laju pencapaian kesetimbangan, bukan posisi keseimbangan (misalnya: membalikkan reaksi). Katalis tidak mengganggu gugat hasil suatu reaksi kesetimbangan dan konsentrasi atau massanya setelah reaksi selesai sama dengan konsentrasi atau massa reaksi sebelum reaksi dilangsungkan.

#### 4.14. CONTOH PROSES KIMIA DENGAN REAKSI KATALITIK PADA INDUSTRI KECIL – MENENGAH :

##### 4.14.1. Industri Biodiesel

###### A. Biodiesel

Biodiesel merupakan senyawa kimia sederhana dengan kandungan enam sampai tujuh macam ester asam lemak. Biodiesel didefinisikan sebagai metil ester dengan panjang rantai karbon antara 12 sampai 20 dari asam lemak turunan dari lipid contohnya minyak nabati atau lemak hewani. Minyak nabati atau lemak hewani dapat dibuat biodiesel dengan reaksi transesterifikasi dengan menggunakan alkohol. Komposisi dan sifat kimia dari biodiesel tergantung pada kemurnian, panjang pendek, derajat kejenuhan, dan struktur rantai alkil asam lemak penyusunnya.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari sumber terbarukan (*renewable*), dengan komposisi ester asam lemak dari minyak nabati antara lain: minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar,

minyak biji kapuk, dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan biodiesel.

## **B. Proses pembuatan Biodiesel**

### **1. Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis**

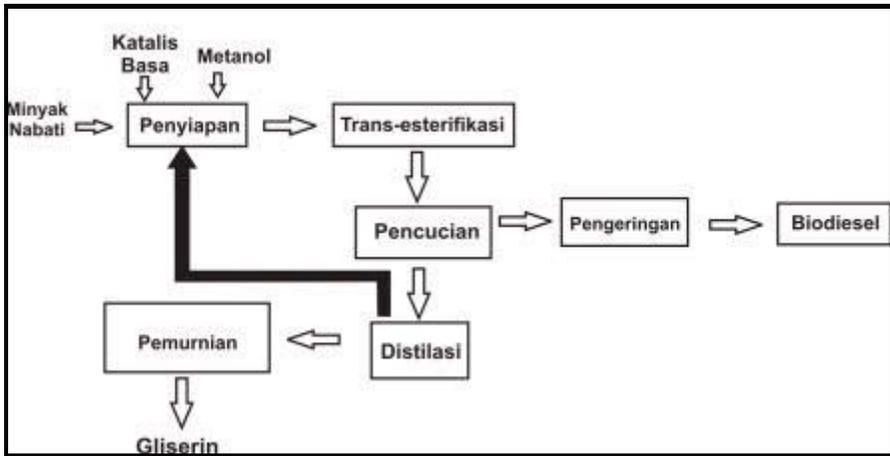
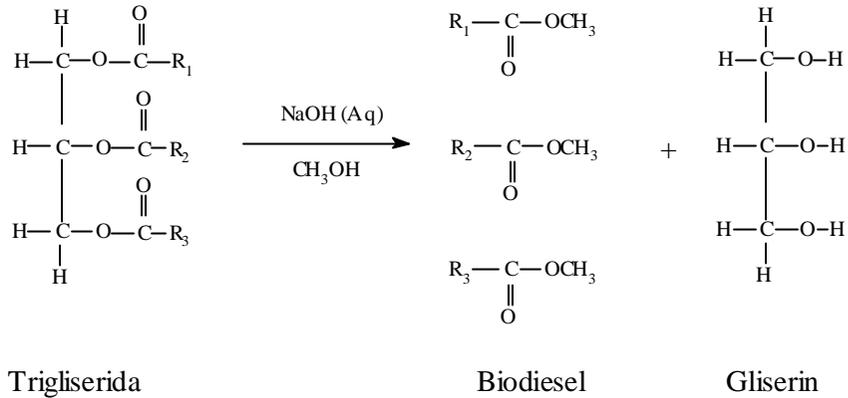
Biodiesel dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil esters (biodiesel)/mono-alkyl esters dan gliserin yang merupakan produk samping. Bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel antara lain minyak nabati, lemak hewani, lemak bekas/lemak daur ulang. Sedangkan sebagai bahan baku penunjang yaitu alkohol. Pada pembuatan biodiesel dibutuhkan katalis untuk proses esterifikasi. Produk biodiesel tergantung pada minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku serta pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut.

Alkohol yang digunakan sebagai pereaksi untuk minyak nabati adalah methanol, namun dapat pula digunakan ethanol, isopropanol atau butyl, tetapi perlu diperhatikan juga kandungan air dalam alcohol tersebut. Bila kandungan air tinggi akan mempengaruhi hasil biodiesel kualitasnya rendah, karena kandungan sabun, ALB dan trigiserida tinggi. Disamping itu hasil biodiesel juga dipengaruhi oleh tingginya suhu operasi proses produksi, lamanya waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran alkohol.

Katalisator dibutuhkan pula guna meningkatkan daya larut pada saat reaksi berlangsung, umumnya katalis yang digunakan bersifat basa kuat yaitu NaOH atau KOH atau natrium metoksida. Katalis yang akan dipilih tergantung minyak nabati yang digunakan, apabila digunakan minyak mentah dengan kandungan ALB kurang dari 2 %, disamping terbentuk sabun dan juga gliserin. Katalis tersebut pada umumnya sangat higroskopis dan bereaksi membentuk larutan kimia yang akan dihancurkan oleh reaktan alkohol. Jika banyak air yang diserap oleh katalis maka kerja katalis kurang baik sehingga produk biodiesel kurang baik. Setelah reaksi selesai, katalis harus di netralkan dengan penambahan asam mineral kuat. Setelah biodiesel dicuci proses netralisasi juga dapat dilakukan dengan penambahan air pencuci, HCl juga dapat dipakai untuk

proses netralisasi katalis basa, bila digunakan asam phosphate akan menghasilkan pupuk fosfat (K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

### Reaksi Transesterifikasi



Gambar 4.85: Diagram alir pembuatan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi

## 2. Pembuatan Biodiesel dengan Katalis Biologis

Teknik katalisasi biologis (*biocatalysis*) untuk memproduksi biodiesel, *oleic acid alkyl ester* (dalam hal ini butil oleat), dari triolein dengan beberapa macam katalis biologis, yakni *Candida Antarctica B*, *Rizhomucor Miehei*, dan *Pseudomonas Cepacia*. Karena mahalnnya harga katalis biologis dibandingkan katalis kimiawi, maka penggunaan katalis biologis tersebut dilakukan dengan cara immobilisasi pada katalis. Teknik ini sekaligus memungkinkan dilakukannya proses kontinyu dalam produksi biodiesel. Temperatur

optimum reaksi ini adalah 40°C. Selain itu juga dapat digunakan katalis padat (*solid catalyst*) dari gula dengan cara melakukan pirolisis terhadap senyawa gula (D-glucose dan sucrose) pada temperatur di atas 300°C. Proses ini menyebabkan karbonisasi tak sempurna terhadap senyawa gula dan terbentuknya lembar-lembar karbon aromatik polisiklis (*polycyclic aromatic carbon sheets*). Asam sulfat (*sulphuric acid*) kemudian digunakan untuk mensulfonasi cincin aromatik tersebut sehingga menghasilkan katalis. Katalis padat yang dihasilkan dengan cara ini disebutkan memiliki kemampuan mengkonversi minyak tumbuhan menjadi biodiesel lebih tinggi dibandingkan katalis asam sulfat cair ataupun katalis asam padat lain yang telah ada sebelumnya.



**Gambar 4.86: Peralatan proses pembuatan biodiesel**



**Gambar 4.87: Larutan Biodiesel**

#### 4.14.2. Industri Minyak Jagung

Jagung dapat diolah menjadi berbagai macam hasil, agar dapat memberi manfaat yang lebih banyak, dengan memperhatikan selera dan permintaan konsumen.

##### A. Proses Pengolahan Jagung

Proses pengolahan terhadap jagung untuk memperoleh minyaknya terdiri dari :

1. Bagian karbohidrat, diproses menjadi hasil produksi antara lain: beras jagung, tepung jagung, semolina (bahan baku pembuatan bier) dan lain lain.
2. Bagian Germ ( lembaga ), diproses menjadi minyak jagung, dipakai untuk minyak goreng.



Gambar 4.88: Jagung sebagai bahan baku

Butir jagung mempunyai kadar minyak rata rata 3 %, tetapi jika diambil lembaganya saja, maka kadar minyak dalam lembaga itu rata rata antara 22 – 28%. Minyak jagung adalah ester dari glyserol dengan asam lemak, dimana semua radikal ( OH ) dari glyserol sudah di esterifikasi, karenanya disebut : Tri Glyserida Ester.

Struktur molekulnya :

- Asam oleat :  $C_{17}H_{33}COOH$  merupakan Komponen yang paling banyak terdapat Dalam minyak jagung sekitar 20 – 70%. Dan asam linoleat :  $C_{17}H_{31}COOH$  sekitar 16 – 67%, yang keduanya merupakan Asam-asam lemak yang tidak jenuh.

Minyak jagung merupakan minyak yang kaya akan poly unsaturated fat, yaitu lemak tak jenuh yang justru aktif menurunkan kadar kolesterol

dalam darah. Cholesterol adalah sterol yang terdapat dalam fat, dan bersifat dapat membuat kerak dalam pembuluh darah, sehingga akan terjadi penyempitan dalam pembuluh darah tersebut akibatnya orang yang terkena akan menderita penyakit “ tekanan darah tinggi “.

Rumus molekul Cholesterol :  $C_{27} H_{46} O$  yang umumnya banyak terdapat dalam Lemak hewan.

## **B. Proses Pembuatan Minyak Jagung Dalam Industri**

Prinsip operasi dalam industri ini adalah : Ekstraksi minyak jagung dengan solvent organik dan hasilnya didestilasi atas dasar perbedaan titik didih untuk memisahkan minyak jagung dengan solventnya.

### **Bahan Baku :**

Bahan baku dan bahan bahan pembantu lainnya yang dipakai dalam memproduksi minyak jagung adalah :

Bahan utamanya adalah jagung dari segala macam jenis jagung kuning dengan kualitas baik dan mengandung 14% air (optimal moisture content).

### **Bahan bahan pembantu :**

1. n – Hexane (  $C_6H_{14}$  ) : Berfungsi sebagai solvent organik yang dapat melarutkan minyak jagung.
2. Garam NaCl dan NaOH : Berfungsi untuk menghilangkan Free Fatty Acid dan impurities dari crude oil.
3. Bleaching earth dan Carbon Active: berfungsi menyerap warna dari crude oil melalui proses bleaching.
4. Ascorbyl Palmitat : Berfungsi sebagai penyerap bau melalui Deodorizer process. Tetapi pada kondisi tekanan vacuum 10 kg / cm<sup>2</sup> dan suhu 200 °C, bau dan rasa yang tidak diinginkan dalam minyak bisa hilang.

## **C. Proses Pengolahan Minyak Jagung**

Proses operasi pengolahan ini dilaksanakan melalui 2 unit pengolahan yaitu :

## 1. Unit Corn Mill

Mengolah bagian karbohidrat dari jagung, sehingga menghasilkan bermacam macam hasil : beras jagung, lembaga jagung, tepung jagung, dan dedak jagung.

Unit Corn Mill ini meliputi 3 tingkat proses, yaitu :

a. Proses Pengeringan ( *drying process* ).

Unit ini bertugas untuk menurunkan kadar air dalam jagung apabila lebih dari 14%, pada suhu 70 – 90 C dengan sistim udara panas yang mengadakan kontak langsung dengan jagung yang dikeringkan.

b. Proses Pemecahan ( *Degerminating Process* )

Butir butir jagung yang kadar airnya telah dipenuhi dan bersih, dikenakan proses pemecahan dalam degerminator, yaitu sebuah alat yang terdiri dari lempengan plat berbentuk silinder, bagian pinggirnya diberi potongan plat yang dilekatkan miring dan berfungsi sebagai penghancur dan bagian luarnya diselubungi dengan plat lebar yang berlubang lubang dan berfungsi sebagai screen. Dari proses ini butir butir jagung yang halus diangkut ke Roller Mill (penggiling), sedang yang masih kasar direcycle ke degerminator. Butir butir jagung halus berukuran maksimum 5.000 micron.

c. Proses Penggilingan ( *milling* ).

*Roller Mill* merupakan alat untuk menggiling campuran butir butir kasar dan medium supaya memperoleh butir butir jagung yang lebih halus, kemudian dipisahkan melalui screen yang bergerak secara longitudinal. Partikel partikel yang tidak tersaring dikembalikan ke *Roller Mill* untuk penggilingan ulang, sedang partikel partikel yang menembus saringan berukuran maksimum 2.400 micron merupakan finished product dari proses *Corn Mill*.

## 2. Unit Oil Mill

Mengolah lembaga jagung untuk menghasilkan minyak jagung yang bersih dari segala impurities sampai siap untuk dikonsumsi. Unit ini mengolah product yang diperoleh dari *Unit Corn Mill* sampai diperoleh minyak jagung (*Corn Oil*), disamping hasil sampingnya: *Soap Stock dan Maize Cake Meal*.

Proses pengolahan pada *Unit Oil Mill* ini meliputi 3 tingkatan proses, yaitu :

- a. Unit Persiapan dan Ekstraksi
- b. Unit Refinery
- c. Canning

Lembaga jagung berkadar minyak 24%, dan karena lembaga jagung ini termasuk biji-bijian yang kandungan minyaknya rendah, maka pengambilan minyaknya ini akan lebih efficient melalui proses extractie dengan solvent organik. Kecuali kadar airnya 14%, maka penyimpanan lembaga jagung jangan terlalu lama, sebab bisa terjadi proses fermentasi yang bisa menyebabkan kadar Free Fatty Acid akan naik. Asam lemak sebagai free fatty acid yang tergolong paling banyak dalam minyak jagung adalah asam oleat :  $C_{17}H_{33}COOH$  dan juga asam Linoleat :  $C_{17}H_{31}COOH$ .

#### **a. Unit Persiapan dan Ekstraksi**

##### **(1) Unit Persiapan:**

Lembaga jagung dikenakan proses pemasakan dalam cooker pada suhu  $90^{\circ}C$  dan proses penghalusan dalam alat penggumpal sehingga dicapai kehalusan 0,2 mm. Tujuan dari flaker process (proses penggumpalan) adalah untuk memperluas permukaan lembaga, sehingga kontak antara solvent dan sel sel minyak akan lebih besar, sehingga proses ekstraksi mencapai hasil yang maksimal. Hasilnya disebut Flaker Germ.

Cooker berpengaduk untuk memasak lembaga, pemanasannya dapat dengan indirect atau direct steam, dan suhu yang diperlukan adalah 80 – 90 C. Kadar air maksimum harus 11% agar prose ekstraksi berjalan baik, jika kadar air kurang dari 11% perlu ditambah air secara imbibisi.

Tujuan dari proses pemasakan (*cooking process*) ini, adalah :

- Untuk mempermudah pecahnya sel sel minyak, sehingga minyak cepat keluar dari bahannya, apabila dikenakan process ekstraksi nanti.

- Melunakan dan mengatur kadar air serta memperbesar pori-pori.

## (2) Unit Extraction :

Proses extractie dilakukan dalam extractor dengan solvent organik, yaitu :

n – hexane (  $C_6H_{14}$  ). Extractor extractor terdiri dari buckets ( ember ) sebanyak 55 buah yang disusun 4 tingkat secara paralel, dan setiap buckets berkapasitas 25 kg dan bergerak melingkari roda yang berputar, yang digerakkan oleh “Piston Pump“ yang kecepatannya diatur oleh electric timer.

Susunan buckets pada rantai diletakkan dalam ruangan tertutup untuk menghindari hilangnya solvent karena menguap. Atas dasar kapasitas masing masing buckets, jumlah buckets dan pengaturan waktu dengan electric timer, maka dapat ditentukan kapasitas produksi setiap harinya.

## b. Unit Refinery

Unit refinery melakukan proses refining terhadap crude oil hasil extractie terutama untuk membersihkan asam lemak bebas ( Free Fatty Acid ) disamping kotoran kotoran lain. Free Fatty Acid ini sangat besar pengaruhnya terhadap minyak, disebabkan karena asam lemak ini adalah asam-asam yang tidak jenuh sehingga karena proses oksidasi dengan  $O_2$  dari udara, akan pecah menjadi senyawa senyawa lain yang diantaranya juga aldehyda dan keton, yang menyebabkan minyak berbau tengik/lelak. Salah satu usaha untuk menghilangkan FFA ini adalah dengan proses Neutralisasi.

Unit refinery dibagi menjadi 3 tingkatan proses, yaitu :

1. Proses Neutralisasi
2. Proses Pemucatan (*Bleaching*)
3. Proses Deodorisasi

Hasil yang diperoleh dari refinery ini antara lain :

- Corn Oil ( minyak jagung ) = minyak goreng
- Soap Stock : bahan pembuat sabun kasar (waste product ).

### **(1) Proses Netralisasi**

Proses ini dilakukan untuk menghilangkan/menetralkan Free Fatty Acid (FFA) dan impurities lainnya pada Crude Corn Oil dengan reaksi penyabunan (saponifikasi). Crude Oil dipompa ke tangki netralisasi, kemudian dipanaskan pada suhu 60 C, selanjutnya ditambah larutan NaCl 20 Be sambil diaduk dan disemprotkan air melalui sprayer dari atas. Settling dikenakan selama 4 jam sampai membentuk lapisan antara minyak hasil netralisasi dibagian bawah dan soap stock dibagian atas. Soap Stock dipisahkan dari minyaknya dipompa ke dalam tangki penampung, yaitu Neutralized oil tank. Dalam proses netralisasi terjadi reaksi penyabunan :

Sabun yang terbentuk dapat mengabsorpsi lendir, sebagian zat warna serta kotoran-kotoran lain yang terdapat dalam minyak jagung. Dari proses dengan NaOH ini dapat mengurangi FFA sampai 0,03%.

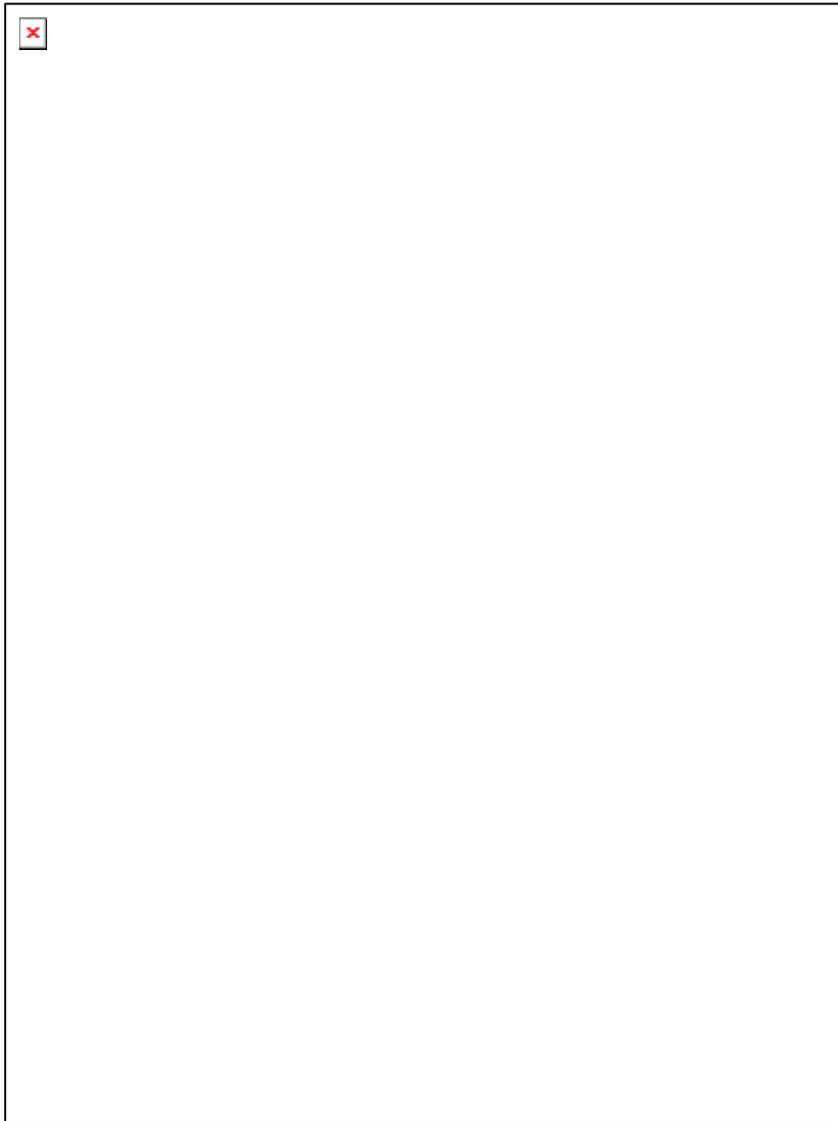
### **(2) Proses Pemucatan**

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat warna, karena diantara zat warna memiliki daya larut yang tinggi sehingga sukar dihilangkan selama proses netralisasi, maka zat warna ini perlu diserap dengan absorbence. Warna kuning dan warna merah pada minyak jagung ini disebabkan adanya pigment-pigment dan pigment-pigment ini hanya dapat dihilangkan dengan cara diserap. Bleaching earth dapat menyerap warna merah sedang karbon aktif menyerap warna kuning. Proses ini dilakukan dalam bleacher yang bekerja dalam suasana vacuum ( 60 cm Hg ), pada suhu 110 C sambil diaduk selama 30 menit. Kemudian didinginkan pada suhu 70°C dan dipompa ke filter press dan filtrat yang keluar adalah bleached oil dan dikenakan proses deodorisasi.

### **(3) Proses Deodorisasi**

Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan bau dan rasa yang tidak diinginkan yang terdapat dalam minyak jagung, dan proses ini dilakukan dalam tangki deodorizer yang bekerja pada tekanan vacuum 74 cm Hg, suhu 200 C.

Pada suhu 200 C dan tekanan rendah, maka komponen komponen bau dan rasa yang tidak diinginkan (volatile matter), akan keluar bersama sama uap panas. Proses ini berlangsung selama 3 – 6 jam dan ini masih tergantung keadaan FFA-nya. Minyak dari hasil proses deodorisasi dibawa ke refined oil tank dan siap diangkut ke canning department.



**Gambar 4.89: Diagram Balok Pengolahan Minyak Jagung**

## RANGKUMAN :

1. Angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran, yang terdiri dari angka eksak dan satu angka terakhir yang ditaksir (atau diragukan).
2. Ada banyak alat ukur yang digunakan, namun yang banyak digunakan dalam industri dapat diklasifikasikan:
  - a. Alat pengukur suhu
  - b. Alat pengukur tekanan
  - c. Alat pengukur aliran
  - d. Pengujian Peralatan Volumetrik
  - e. Alat pengukur sifat kimiawi: pH atau keasaman, COD, BOD
3. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu.
4. Termometer diklasifikasikan sebagai termometer kontak dan termometer non kontak atau termometer inframerah.
5. Sensor temperatur harus dibersihkan dengan solvent (pelarut) dan dibersihkan dengan air bebas mineral/aquadest, setelah digunakan.
6. Jenis – jenis Alat Pengukur Tekanan
  - a. Manometer
  - b. Tabung Bourdon (*Bourdon Tube*)
7. Manometer adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energi untuk mengukur perbedaan tekanan di dua titik yang berlawanan. Jenis manometer tertua adalah manometer kolom cairan.
8. Selama pelaksanaan audit energi, manometer digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan diantara dua titik di saluran pembuangan gas atau udara. Perbedaan tekanan kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan aliran di saluran dengan menggunakan persamaan Bernoulli (Perbedaan tekanan =  $v^2/2g$ ).
9. Pengukur aliran adalah alat yang digunakan untuk mengukur linier, non linier, laju alir volum atau masa dari cairan atau gas.
10. Jenis pengukur aliran yang paling umum adalah sebagai berikut:
  - a. *Rotameter* atau pengukur aliran dengan variasi area untuk gas dan cairan.
  - b. Pengukur aliran variabel – pengukur aliran piston dan *spring* untuk gas dan cairan.
  - c. Pengukur aliran ultrasonik (Non-Intrusif atau *Doppler*) untuk cairan

- d. Pengukur aliran turbin
  - e. Pengukur aliran magnetik untuk cairan konduktif
11. Jenis-jenis Peralatan Volumetrik :
- Pipet Gondok (vol Pipette)
  - Gelas Ukur
  - Labu Ukur
12. Alat Pengukur Sifat Kimiawi
- Pengukuran pH
  - Pengukuran BOD dan COD
13. Instrumentasi adalah alat-alat dan piranti (*device*) yang dipakai untuk pengukuran dan pengendalian dalam suatu sistem yang lebih besar dan lebih kompleks. Secara umum instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama:
- sebagai alat pengukuran
  - sebagai alat analisa
  - sebagai alat kendali

**CONTOH SOAL :**

Tentukan temperatur titik gelembung dan titik embun (kondensasi), serta komposisi uap dan komposisi cairan dari campuran yang terdiri atas :

- 33% mol n - heksana
  - 37 % mol n - heptana
  - 30 % mol n - oktana
- pada tekanan total 1,2 atm

Penyelesaian :

Kita plot/buat pada kertas semilog  $P^oV_sT$ , untuk komponen-komponen tersebut (data  $P_o$  dari Perry).

1. Titik gelembung :  
Mis =  $T \pm 105 \text{ }^\circ\text{C}$

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ , atm (pada 105 °C)	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	2,68	2,23	0,7359
2. n-heptana	0,37	1,21	1,01	0,3737
3. n-oktana	0,30	0,554	0,462	0,1386
				$\Sigma Y_i = 1,248$

Oleh karena  $\sum Y_i$  coba lagi dengan temperatur yang lebih rendah. Komposisi uap terbesar adalah n-heksana, maka ambil  $K_i$  menjadi lebih rendah dengan faktor  $1/1,24 \rightarrow$  Pilih  $T \setminus 96^\circ\text{C}$  dengan  $P_i^1 = 2,6 \text{ atm}$

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ pada $90^\circ\text{C}$ atm	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	2,16	1,8	0,5940
2. n-heptana	0,37	0,93	0,775	0,2868
3. n-oktana	0,30	0,41	0,342	0,1025
				$\sum Y_i = 0,9833$

Ternyata  $\sum Y_i$  lebih rendah dari 1 ( $< 1$ ). Jadi harus dilakukan interpolasi, dari kedua kondisi tersebut, maka didapat : pada  $T = 97^\circ\text{C} \rightarrow$  Komposisi adalah sebagai berikut :

Komponen	Y
n-heksana	0,604
n-heptana	0,292
n-oktana	0,104
	1,000

Jadi titik gelembung =  $97^\circ\text{C}$  dan komposisi uap dalam keseimbangan adalah = n-heksana 60,4% mol ; n-heptana 29,2% mol dan n-oktana 10,4% mol.

## 2. Titik embun (dew point)

Karena titik embun lebih tinggi dari titik gelembung, sehingga sebagai awal diambil  $T_d = 105^\circ\text{C}$ .

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ pada $90^\circ\text{C}$ atm	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	2,68	2,28	0,1480
2. n-heptana	0,37	1,21	0,01	0,37
3. n-oktana	0,30	0,462	0,458	0,655
				$\sum Y_i = 1,173$

Karena  $\sum X_i > 1$ , maka temperatur harus lebih tinggi, ambil  $T = 120^\circ\text{C}$ .

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ pada 90 °C atm	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	3,8	3,167	0,1042
2. n-heptana	0,37	1,8	1,500	0,2467
3. n-oktana	0,30	0,85	0,708	0,4237
				$\sum X_i = 0,7746$

Buat interpolasi supaya didapat  $\sum X_i = 1,00$  coba ;  $t = 114^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \text{n-heksana } X_1 &= 0,1042 + \frac{114-105}{120-105} (0,1480-0,1042) \\ &= 0,1305 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{n-heptana } X_2 &= 0,2467 + \frac{114-105}{120-105} (0,37-0,2467) \\ &= 0,5625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{n-oktana } X_3 &= 0,4237 + \frac{114-105}{120-105} (0,655-0,4237) \\ &= 0,5625 \end{aligned}$$

$$\sum X_i = 0,1305 + 0,3207 + 0,5625 = 1,024 \approx 1$$

Jika air digunakan sebagai medium pendingin dalam kondensor dan kondensatnya tidak dingin lanjut, maka kebutuhan air pendingin adalah :

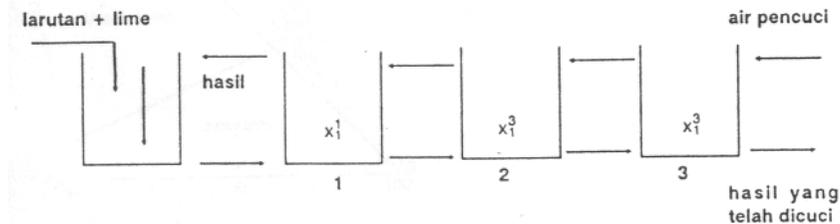
$$Mc = -\frac{-\nabla\lambda}{T_2 - T_1} = \frac{\nabla\lambda}{T_2 - T_1}$$

$Mc$  = massa air yang dibutuhkan

$T_2 - T_1$  = kenaikan temperatur air

3. Soda kaustik diproduksi dengan proses lime-soda dari pencampuran larutan natrium karbonat dalam air (0,25 kg/s  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dengan sejumlah *lime*, soda batu secukupnya, dan setelah reaksinya selesai endapan  $\text{CaCO}_3$ , yang terdiri atas 1 bagian berat dari  $\text{CaCO}_3$  per sembilan bagian berat dari air, diumpankan secara kontinyu ke tiga buah *thickener* secara seri dan countercurrent (gambar di bawah). Hitung laju yang dibutuhkan air umpan ke *thickener* sehingga kalsium karbonat, pada

pengeringan, terdiri dari satu persen natrium hidroksida. Padatan yang dikeluarkan dari setiap *thickener* terdiri dari atas satu bagian berat kalsium karbonat dan 3 bagian berat air. Konsentrasi larutan pencuci bercampur dengan isi pengaduk sebelum diumpangkan ke *thickener* pertama.



Gambar 4.90

Jawab



4. Anggap bahwa  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  adalah nisbah antara zat terlarut dan pelarut pada *thickener* 1, 2 dan 3. Jumlah  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  dan air pada setiap aliran akan dihitung untuk setiap 100 kg kalsium karbonat.

Neraca keseluruhan	$\text{CaCO}_3$	$\text{NaOH}$	Air
Umpan dari reaktor	100	80	900
Umpan sebagai pencuci	-	-	$W_f$ (misal)
Hasil-keluaran bawah	100	$300 x_3$	300
Hasil-keluaran atas	-	$80 - 300 x_3$	$600 + W_f$
<i>Thickener 1</i>			
Umpan dari reaktor			
Umpan dari reaktor	100	80	900
Umpan-keluaran atas	-	$300(x_1 - x_3)$	$W_f$
Hasil-keluaran bawah	100	$300 x_1$	300
Hasil-keluaran atas	-	$80 - 300 x_3$	$600 + W_f$
<i>Thickener 2</i>			
Umpan-keluaran bawah	100	$300 x_1$	300

Umpan-keluaran atas	-	$300(x_2-x_3)$	Wf
Hasil-keluaran bawah	100	$300 x_2$	300
Hasil-keluaran atas	-	$300(x_1-x_3)$	Wf
<i>Thickener 3</i>			
Umpan-keluaran bawah	100	$300 x_2$	300
Umpan-air	-	-	Wf
Hasil-keluaran bawah	100	$300 x_3$	300
Hasil-keluaran atas	-	$300(x_2-x_3)$	Wf

Karena keluaran bawah akhir harus terdiri atas 1 persen NaOH, maka:

$$\frac{300 x'_3}{100} = 0,01$$

5. Jika keseimbangan telah dicapai untuk setiap *thickener*, nisbah NaOH terhadap air akan sama antara keluaran bawah dan keluaran atas. Jadi:

$$\frac{300 (x'_2 - x'_3)}{Wf} = x'_3$$

$$\frac{300 (x'_1 - x'_3)}{Wf} = x'_2$$

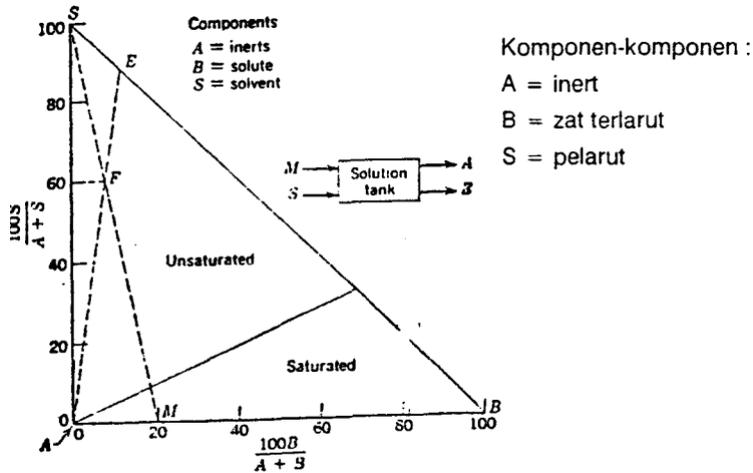
$$\frac{300 (80 - 300 x'_3)}{600 + Wf} = x'_1$$

Hasil perhitungan di atas adalah sebagai berikut :

$$x'_3 = 0,0033 \quad x'_2 = 0,0142 \quad x'_1 = 0,05 \quad Wf = 980$$

Sehingga jumlah air yang dibutuhkan untuk pencucian 100 kg/s  $\text{CaCO}_3$  adalah 980 kg/s.

Larutan yang diumpankan ke reaktor terdiri atas 25 kg/s  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Ini sama dengan 23,6 kg/s  $\text{CaCO}_3$ . Jadi, air umpan yang dibutuhkan =  $(980 \times 23,6/100) = 230$  kg/s.



Gambar 4.91

Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan pemisahan yang sempurna dan dalam kondisi kesetimbangan dapat dicari dengan menggunakan proses pengadukan secara partaian (batch). Zat terlarut yang tidak ikut larut yang di-plot lawan waktu, ? adalah informasi yang sangat dibutuhkan untuk menghitung rentang waktu. Misalnya, ekstraksi antara butiran kacang dengan zat pelarutnya (heksana), Othmer dan Agarwal mendapatkan bahwa ketebalan butiran C yang di-plot lawan ? adalah linear pada kertas skala log-log. Secara analitik:

$$C = m?^{-0,4} \quad (4.8)$$

dengan C adalah minyak yang tidak terekstrak, (lb minyak/lb padatan inert), dan ? adalah waktu dalam menit. Intercept m pada sumbu C pada ? = 1 adalah fungsi dari ketebalan butiran x; yaitu

$$m = 51,5 x^{1,47} \quad (4.9)$$

dengan x dalam inchi.

6. Berapa waktu yang dibutuhkan untuk melarutkan (untuk mengekstrak, tidak termasuk pencucian) 95 persen minyak dari butiran biji kedelai dengan ketebalan 0,0185 inchi?  
Biji kacang terdiri atas 20,3 persen minyak berbasis kedelai bebas-minyak. Zat pelarutnya adalah heksana.
  - a. Berapa waktu yang dihemat jika menggunakan butiran dengan ketebalan 0,0061 inchi?
  - b. Berapa laju ekstraksi pada suatu saat jika 95 persen minyak terekstraksi, dengan menggunakan butiran setebal 0,0061 inchi?

Jawab

a.  $C = 0,203 (0,05) = 0,0102$  lb minyak tersisa per lb inert  $m = 51,5$   
 $(0,0185)^{1,47} = 0,146$

$$\theta = \left( \frac{0,0146}{0,01} \right)^{2,5} = 814,5 \text{ menit}$$

b.  $m = 51,5 (0,0061)^{1,47} = 0,0286$

$$\theta = \left( \frac{0,0286}{0,01} \right)^{2,5} = 13,8 \text{ menit}$$

Waktu yang dihemat =  $814,5 - 13,8 = 800,7$  menit

c. Laju ekstraksi adalah sama dengan laju perubahan isi residu minyak; laju =  $-dc/d\theta$ . Laju ekstraksi dapat dicari dengan grafik dengan slope kurva C- $\theta$  pada  $\theta = 13,8$  menit. Atau :

$$-\frac{dc}{d\theta} = 2,1 \times 10^{-5} \frac{C^{3,5}}{x^{3,7}} = 2,1 \times 10^{-5} \frac{(0,01)^{3,5}}{0,00061^{3,7}} = 3,29 \times 10^{-4}$$

dengan laju ekstraksi per menit dan per pound inert setelah 13,8 menit, saat konsentrasi residu adalah 0,01 lb minyak/lb inert.

7. Tentukan temperatur titik gelembung dan titik embun (kondensasi), serta komposisi uap dan komposisi cairan dari campuran yang terdiri atas :
- 33% mol n - heksana
  - 37 % mol n - heptana
  - 30 % mol n - oktana
- pada tekanan total 1,2 atm

*Penyelesaian :*

Kita plot/buat pada kertas semilog  $P^\circ V_S T$ , untuk komponen-komponen tersebut (data  $P_o$  dari Perry).

a. Titik gelembung :

Mis =  $T \pm 105^\circ C$

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ , atm (pada $105^\circ C$ )	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
4. n-heksana	0,33	2,68	2,23	0,7359
5. n-heptana	0,37	1,21	1,01	0,3737
6. n-oktana	0,30	0,554	0,462	0,1386
				$\Sigma Y_i = 1,248$

Oleh karena  $\sum Y_i$  coba lagi dengan temperatur yang lebih rendah. Komposisi uap terbesar adalah n-heksana, maka ambil  $K_i$  menjadi lebih rendah dengan faktor  $1/1,24 \rightarrow$  Pilih  $T \setminus 96^\circ\text{C}$  dengan  $P_i^1 = 2,6 \text{ atm}$

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ pada $90^\circ\text{C}$ atm	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	2,16	1,8	0,5940
2. n-heptana	0,37	0,93	0,775	0,2868
3. n-oktana	0,30	0,41	0,342	0,1025
				$\sum Y_i = 0,9833$

Ternyata  $\sum Y_i$  lebih rendah dari 1 ( $< 1$ ). Jadi harus dilakukan interpolasi, dari kedua kondisi tersebut, maka didapat : pada  $T = 97^\circ\text{C} \rightarrow$  Komposisi adalah sebagai berikut :

Komponen	Y
n-heksana	0,604
n-heptana	0,292
n-oktana	0,104
	1,000

Jadi titik gelembung =  $97^\circ\text{C}$  dan komposisi uap dalam keseimbangan adalah = n-heksana 60,4% mol ; n-heptana 29,2% mol dan n-oktana 10,4% mol.

b. Titik embun (dew point)

Karena titik embun lebih tinggi dari titik gelembung, sehingga sebagai awal diambil  $T_d = 105^\circ\text{C}$ .

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ pada $90^\circ\text{C}$ atm	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	2,68	2,23	0,1480
2. n-heptana	0,37	1,21	0,01	0,37
3. n-oktana	0,30	0,462	0,458	0,655
				$\sum Y_i = 1,173$

Karena  $\sum Y_i > 1$ , maka temperatur harus lebih tinggi, ambil  $T = 120^\circ\text{C}$

No. Komponen	$X_i$	$P_i$ pada 90 °C atm	$K_i = \frac{P_i}{P_{tot}}$	$Y_i = K_i X_i$
1. n-heksana	0,33	3,8	3,167	0,1042
2. n-heptana	0,37	1,8	1,500	0,2467
3. n-oktana	0,30	0,85	0,708	0,4237
				$\sum X_i = 0,7746$

Buat interpolasi supaya didapat  $\sum X_i = 1,00$  coba ;  $t = 114^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \text{n-heksana } X_1 &= 0,1042 + \frac{114-105}{120-105} (0,1480 - 0,1042) \\ &= 0,1305 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{n-heptana } X_2 &= 0,2467 + \frac{114-105}{120-105} (0,37 - 0,2467) \\ &= 0,5625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{n-oktana } X_3 &= 0,4237 + \frac{114-105}{120-105} (0,655 - 0,4237) \\ &= 0,5625 \end{aligned}$$

$$\sum X_i = 0,1305 + 0,3207 + 0,5625 = 1,024 \approx 1$$

8. Temperatur fraksionasi kontinu dirancang untuk memisahkan 30.000 lb/ jam campuran yang terdiri atas 40% benzena (% berat) dan 60 % toluena menjadi suatu hasil atas (distilat) yang mengandung 97 % benzena dan hasil bawah (*bottom*) yang mengandung 98 % toluena. Nisbah refluks adalah 3,5 mol refluks untuk setiap mol hasil. Panas laten molal benzena = 7360 kal/g. mol  
Panas laten molal toluena = 7960 kal/g. mol

Benzena dan toluena membentuk sistem ideal dengan volatilitas relatif (a) = 2,5.

Titik didih umpan ialah  $95^\circ\text{C}$  pada 1 atm

Data kesetimbangan : benzena dan toluena (berdasarkan fraksi mol cairan benzena).

Cairan X	1	0,823	0,659	0,508	0,376	0,256	0,155	0,058	0
Uap (Y)	1	0,922	0,830	0,720	0,596	0,453	0,304	0,128	0

- Hitunglah berapa mol hasil atas (D) dan hasil bawah (B)
- Tentukan banyaknya piring ideal dan letak piring umpan bila umpan berupa cairan jenuh.
- Jika uap pada tekanan 20 lbf/in<sup>2</sup> digunakan sebagai pemanas, berapa uap pemanas yang diperlukan per jam pada kasus b.
- Jika air pendingin masuk kondensor pada suhu 80 F (26,7°C) dan keluar pada 150°F (65,5°C), berapa banyak air pendingin yang diperlukan dalam lb/jam.

Penyelesaian :

a. B.M benzena = 78

B.M toluena = 78

Konsentrasi umpan  $X_F$  ; konsentrasi destilat  $X_D$  dan konsentrasi hasil bawah =  $X_B$  adalah sebagai berikut :

$$X_F = \frac{40/78}{40/78 + 60/92} = 0,44; x_D = \frac{97/98}{97/78 + 3/92} = 0,974$$

$$X_B = \frac{2/78}{2/78 + 98/92} = 0,0235$$

B.M rata-rata umpan ialah :  $\frac{100}{40/78 + 60/92} = 85,8$

Laju umpan  $F = \frac{30.000}{85,8} = 350 \text{ lb mol/j}$

Neraca massa

$$F = D + B \rightarrow B = F - D = (350 - D) \text{ lb/mol/j}$$

$$F \cdot X_F = D \cdot X_D + B \cdot X_B$$

$$350 \times 0,44 = D \cdot 0,974 + (350 - D) \cdot 0,0235$$

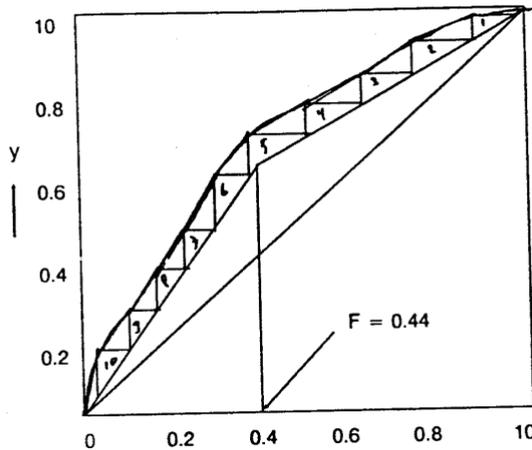
$$D = 153,4 \text{ lb mol/j}$$

$$B = (350 - 153,4) = 196,6 \text{ lb mol/j}$$

b.  $R = 35$

$$\begin{aligned} \text{Intercept} &= \frac{X_D}{R_D + 1} \\ &= \frac{0,974}{3,5 + 1} \\ &= 0,216 \end{aligned}$$

Jumlah piring ideal = 11 buah + 1 reboiler  
 Feed masuk pada piring ke 5.



- c. Aliran uap  $V$  di dalam bagian rektifikasi yang harus dikondensasikan pada kondensor adalah :  
 4,5 mol per mol distilat, yaitu:  $V = 4,5 \times 153,4 = 690$  lb mol/jam

Laju aliran total uap di bagian rektifikasi adalah :

$$V = V + (1 - q) F$$

$$\nabla = V - (1 - q) F$$

$$\begin{aligned} \nabla &= 690 - 350 (1 - q) \\ &= 690 - 350 (1 - 1) \\ &= 690 \text{ lb mol/j} \end{aligned}$$

Kalor penguapan campuran dari umpan

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,44 (7360) + 0,56 (7960) \\ &= 7696 \text{ kal/g. mol} \\ &= 7696 \times 1,8 \text{ Btu/lb.mol} \\ &= 13852,8 \text{ Btu/lb mol} \end{aligned}$$

Dari tabel diatas kalor (panas) dari 1 lb uap pemanas pada tekanan 20 lbf/in<sup>2</sup>, didapat 958,8 Btu/lb.

Kebutuhan pemanas :

$$MS = \frac{\lambda}{\lambda_s} \nabla$$

$$= \frac{13852,8 \text{ Btu/lb} \cdot \text{mol}}{958,8 \text{ Btu/Lb}}$$

$$= 9969,2 \text{ lb/j}$$

d. Kebutuhan air pendingin yang diperlukan :

$$M_c = \frac{V \cdot \rho \cdot \Delta T}{T_2 - T_1}$$

$$= \frac{690 \times 13852,8}{150 - 80}$$

$$= \frac{9558432}{70} = 136549,03 \text{ lb/jam}$$

### LATIHAN SOAL :

1. Koefisien distribusi  $I_2$  antara  $CCl_4$  dan  $H_2O$  adalah 85. Hitung jumlah  $I_2$  yang tertinggal pada  $100 \text{ cm}^3$  suatu larutan yang asalnya  $1 \times 10^{-3} \text{ M}$ , sesudah ekstraksi dengan 2 kali  $50 \text{ cm}^3 CCl_4$ . Berapa jumlah  $I_2$  yang tertinggal jika larutan yang sama diekstraksi dengan  $100 \text{ cm}^3 CCl_4$  ?
2. Temperatur fraksinasi kontinu dirancang untuk memisahkan  $30.000 \text{ lb/jam}$  campuran yang terdiri atas  $40\%$  benzena (% berat) dan  $60\%$  toluena menjadi suatu hasil atas (distilat) yang mengandung  $97\%$  benzena dan hasil bawah (*bottom*) yang mengandung  $98\%$  toluena. Nisbah refluks adalah  $3,5$  mol refluks untuk setiap mol hasil. Panas laten molal benzena =  $7360 \text{ kal/g. mol}$   
Panas laten molal toluena =  $7960 \text{ kal/g. mol}$   
Benzena dan toluena membentuk sistem ideal dengan volatilitas relatif  $(a) = 2,5$ .

Titik didih umpan ialah  $95^\circ\text{C}$  pada  $1 \text{ atm}$

Data kesetimbangan : benzena dan toluena (berdasarkan fraksi mol cairan benzena).

Cairan X	1	0,823	0,659	0,508	0,376	0,256	0,155	0,058	0
Uap (Y)	1	0,922	0,830	0,720	0,596	0,453	0,304	0,128	0

- a. Hitunglah berapa mol hasil atas (D) dan hasil bawah (B)
  - b. Tentukan banyaknya piring ideal dan letak piring umpan bila umpan berupa cairan jenuh.
  - c. Jika uap pada tekanan  $20 \text{ lbf/in}^2$  digunakan sebagai pemanas, berapa uap pemanas yang diperlukan per jam pada kasus b.
  - d. Jika air pendingin masuk kondensor pada suhu  $80 \text{ F}$  ( $26,7^\circ\text{C}$ ) dan keluar pada  $150^\circ\text{F}$  ( $65,5^\circ\text{C}$ ), berapa banyak air pendingin yang diperlukan dalam lb/jam.
3. Menentukan  $k_y$ ,  $k_G$ ,  $N_A$  dan laju penguapan  
 Tekanan parsial zat A pada permukaan adalah tekanan uap komponen A pada temperatur  $298 \text{ K}$  adalah  $0.20 \text{ atm}$ . Koefisien perpindahan massa,  $k_y$  diperkirakan sebesar  $6.78 \times 10^{-5} \text{ kgmol/det.m}^2$ .  
 Tentukan konstanta perpindahan massa  $k_y$  dan  $k_G$ , fluksi massa dan laju penguapan bila tekanan gas murni adalah  $2 \text{ atm}$ .
4. Absorpsi gas dengan cairan  
 Gas sulfur dioksida akan dihilangkan dari campuran gas yang memiliki kelakuan seperti udara dengan cara pencucian (*scrubbing*) dengan menggunakan larutan garam amonium sulfat di dalam sebuah kolom dengan bahan pengisi Intaloz Saddles keramik yang berukuran  $25 \text{ mm}$ . Gas masuk kolom dengan laju  $0.80 \text{ m}^3/\text{det}$ . Pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  dan tekanan  $1 \text{ bar}$ . Campuran gas mengandung  $7,0 \%$   $\text{SO}_2$  yang hampir keseluruhannya dapat dihilangkan. Larutan pencuci memasuki kolom dengan laju alir  $3,8 \text{ kg/detik}$  dan mempunyai rapat massa  $1235 \text{ kg/m}^3$ , viskositas  $0,0025 \text{ kg/m. det}$ .

Pertanyaan :

- a. Tentukan diameter kolom jika penurunan tekanan yang dialami gas adalah  $400 \text{ (N/m}^2\text{)/m}$
- b. Bila tinggi *irrigated packing* adalah  $8,0 \text{ meter}$ , penurunan tekanan sekitar  $400 \text{ (N/m}^2\text{)/m}$  dan tinggi dan diameter Intalox Saddles keramik masing-masing  $1 \text{ m}$  dan  $25 \text{ mm}$  digunakan di atas titik masuk cairan sebagai *entrainment separator*. Pertanyaan : perkiraan daya yang dibutuhkan untuk mengatasi penurunan tekanan bila efisiensi motor fan yang digunakan adalah  $60\%$ .

## BAB V UTILITAS PABRIK

Sebuah pabrik mempunyai dua sistem proses utama, yaitu sistem pereaksian dan sistem proses pemisahan & pemurnian. Kedua sistem tersebut membutuhkan kondisi operasi pada suhu dan tekanan tertentu. Dalam pabrik, panas biasanya 'disimpan' dalam fluida yang dijaga pada suhu dan tekanan tertentu. Fluida yang paling umum digunakan adalah air panas dan uap air karena alasan murah dan memiliki kapasitas panas tinggi. Fluida lain biasanya digunakan untuk kondisi pertukaran panas pada suhu di atas 100 °C pada tekanan atmosfer. Air atau uap air bertekanan (dinamakan kukus atau *steam*) mendapatkan panas dari ketel uap (*boiler*).

Sistem pemindahan panas bertugas memberikan panas dan menyerap panas. Misalnya, menyerap panas dari sistem proses yang menghasilkan energi seperti sistem proses yang melibatkan reaksi eksotermik atau menyerap panas agar kondisi sistem di bawah suhu ruang atau suhu sekitar. Untuk penyerap panas agar suhu di bawah suhu ruang biasanya pabrik menggunakan *refrigerant*, bahan yang sama dengan yang bekerja pada lemari es. Penggunaan air sebagai media pendingin juga dibatasi sifat fisiknya, yaitu titik didih dan titik beku. Suhu air pendingin perlu dikembalikan ke suhu sekitar atau suhu ruang agar bisa difungsikan kembali sebagai pendingin. Sistem pemroses yang melakukan ini adalah *cooling tower*.

*Cooling tower*, *boiler* dan tungku pembakaran merupakan sistem-sistem pemroses untuk sistem penyedia panas dan sistem pembuang panas. Kedua sistem proses ini bersama-sama dengan sistem penyedia udara bertekanan, sistem penyedia listrik dan air bersih untuk kebutuhan produksi merupakan sistem penunjang berlangsungnya sistem proses utama yang dinamakan **sistem utilitas**. Kebutuhan sistem utilitas dan kinerjanya tergantung pada seberapa baik sistem utilitas tersebut mampu 'melayani' kebutuhan sistem proses utama dan tergantung pada efisiensi penggunaan bahan baku dan bahan bakar.

Pabrik tidak harus mempunyai sistem pemroses utilitas sendiri. Listrik misalnya, pabrik bisa membelinya dari PLN jika kapasitas PLN setempat mencukupi atau membeli dari pabrik tetangga. Demikian

pula untuk unit pengolahan limbah, unit penyedia uap air & air pendingin dan unit penyedia udara bertekanan.

### **5.1. UNIT PENYEDIAAN LISTRIK**

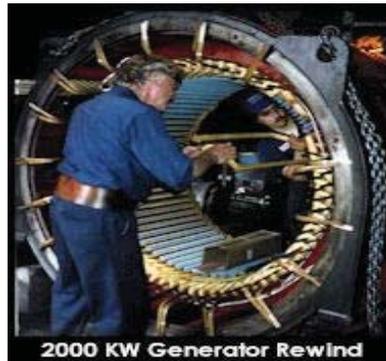
Dalam masyarakat modern yang industri dan perekonomiannya maju, tenaga listrik memegang peranan yang sangat menentukan. Sulit dibayangkan, sebuah pabrik tanpa pemakaian tenaga listrik. Karena untuk menggerakkan beberapa alat misalnya, dibutuhkan motor listrik. Dan motor-motor listrik yang dipakai pada berbagai alat semuanya membutuhkan listrik sebagai tenaga penggerak.

Selain untuk menggerakkan motor, listrik di industri juga dibutuhkan untuk pemanasan tanur dan proses elektrokimia. Sedangkan di luar kebutuhan untuk industri, tenaga listrik dipakai untuk kebutuhan kantor, pemanasan atau pendinginan udara, lampu penerangan, lemari es, dapur dan keperluan kerumahtanggaan lainnya.

Berkaitan dengan penggunaan motor listrik, pada instalasi pabrik yang agak tua dan sederhana sering menggunakan motor secara bersamaan, yaitu satu motor untuk menggerakkan beberapa alat produksi sekaligus dengan menggunakan gigi transmisi atau sabuk transmisi. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan biaya investasi. Namun penggunaan motor secara bersamaan ini kurang baik karena bisa berakibat mudah terjadi kecelakaan. Lagi pula sering terjadi motor tersebut menggerakkan hanya satu alat produksi, sedangkan alat produksi yang lain tidak dipakai sehingga motor dimanfaatkan di bawah kapasitas.

Pada instalasi pabrik yang lebih modern umumnya dipakai motor tersendiri untuk setiap alat produksi, meskipun menggunakan motor kecil saja. Konstruksi motor yang lebih kecil dirancang dengan bentuk yang kompak dan tertutup agar motor tidak mudah rusak karena pengotoran. Hal ini mengingat pada motor yang lebih kecil membutuhkan pendinginan yang lebih baik karena bagian untuk pendinginan berukuran lebih kecil yaitu dengan membuat lubang-lubang pada rumah stator. Akibatnya motor akan lebih mudah menjadi

kotor terutama tempat kerja yang banyak menghasilkan debu dan pengotor seperti pabrik semen atau tekstil.



Gambar 5-1. Motor Listrik

## 5.2. UNIT PENYEDIAAN AIR

Kebutuhan air pada umumnya dan air pengisi ketel pada khususnya pada industri-industri yang menggunakan tenaga uap adalah suatu hal yang amat perlu mendapat perhatian. Pada pabrik-pabrik dimana uap (steam) merupakan sumber tenaga (sebagai tenaga penggerak) dan sekaligus juga merupakan sumber panas (dipakai dalam pemanasan, penguapan dan pengkristalan).

### 5.2.1. Air Pengisi Ketel

#### A. Sumber-sumber air pengisi ketel

Macam-macam air yang dapat digunakan sebagai air pengisi ketel adalah air sumur dan air kondensat. Air kondensat sudah murni sehingga tidak perlu mengalami pengolahan yang khusus, sedangkan untuk air yang berasal dari sumur perlu mendapat pengolahan-pengolahan lebih dahulu.

#### B. Syarat Air Pengisi Ketel

Pada dasarnya air yang akan digunakan, terutama yang digunakan sebagai air pengisi ketel, harus memenuhi syarat. Air

yang berasal dari alam (sungai dan tanah) tidak ada yang dalam keadaan murni, biasanya terdapat pengotor-pengotor, antara lain :

1. Zat tersuspensi, seperti lumpur dan tanah liat. Biasanya dihilangkan dengan penyaringan.
2. Zat terlarut, seperti garam-garam mineral (garam magnesium, kalsium dan lain-lain).

**Tabel 5-1. Syarat air pengisi ketel dan air ketel**

Spesifikasi	Air pengisi ketel	Air ketel
Kesadahan	< 0,1 OD	<0,1 OD
pH	7,5-8,0	10,0-10,8
TDS	Tidak nyata	max 1500
PAlkali	50 ppm	300 ppm
M Alkali	100 ppM	500 ppm
Chlorine	Tidak nyata	max 70 ppm
Sulfit	30 ppm	max 60 ppm
Oksigen	Tidak nyata	-
Silikat	Tidak nyata	
Fe		Tidak nyata
P205		Max 30 ppm

Pada dasarnya air yang akan digunakan, terutama yang digunakan sebagai air pengisi ketel, harus memenuhi syarat. Air yang berasal dari alam (sungai dan tanah) tidak ada yang dalam keadaan murni, biasanya terdapat pengotor-pengotor, antara lain :

1. Zat tersuspensi, seperti lumpur dan tanah liat. Biasanya dihilangkan dengan penyaringan.
2. Zat terlarut, seperti garam-garam mineral (garam magnesium, kalsium dan lain-lain).

### 5.2.2. Pengolahan air

Pemurnian dan pelunakan air dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada rencana penggunaan air itu sendiri. Istilah pelunakan (*softening*) digunakan untuk proses untuk menyingkirkan atau mengurangi kesadahan air. Sedangkan pemurnian (*purification*)

berbeda dari pelunakan, yaitu menyingkirkan atau menghilangkan bahan-bahan organik dan mikroorganisme dari air. Klasifikasi (*clasification*) kadang-kadang amat penting dan digunakan bersamaan dengan pengendapan (*precipitation*) dalam proses pelunakan air dingin.

## A. Penukar Ion

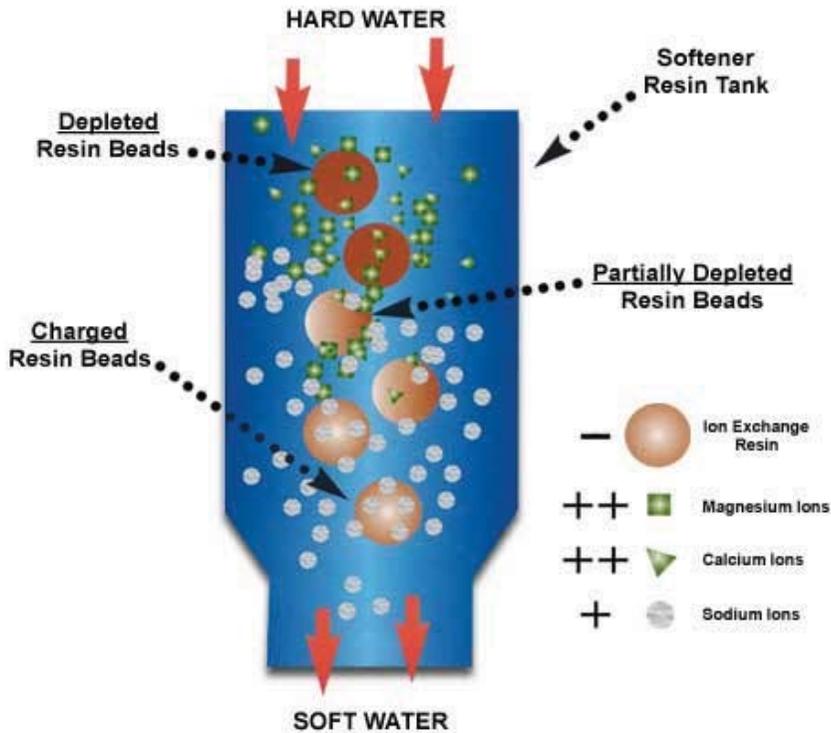
Air sungai dan air tanah mula-mula ditampung di bak tarik yang dilengkapi pompa untuk dialirkan ke bak pencampur dan diberi tawas sebagai flokulan. Air yang telah diberi tawas dialirkan ke bak penggumpal untuk memberi waktu flokulasi pengotor dalam air. Air dengan flok-flok pengotor dialirkan ke bak pengendap agar flok-flok yang terbentuk turun dan terpisah dari air. Air yang keluar dari bak pengendap sudah jernih tapi masih ada pengotor yang melayang, oleh karena itu air kemudian disaring dengan saringan untuk memisahkan partikel ini.

Air yang telah disaring masih mengandung zat-zat terlarut yang menimbulkan kesadahan. Untuk menghilangkan pengotor yang terlarut ini digunakan zat yang dapat menyerap ion-ion dalam larutan tersebut. Dengan *ion exchanger*, diharapkan air yang akan digunakan pada proses memiliki kesadahan sesedikit mungkin bahkan 0 agar tidak menimbulkan kerak.

### 1. Kondisi Peralatan Penukar Ion

Proses penghilangan ion-ion yang terlarut dalam air dapat melibatkan penukar kation (*cation exchanger*) yang berupa resin Na (R-Na). Proses-pertukaran-ion natrium merupakan proses yang paling banyak digunakan untuk melunakkan air. Dalam proses pelunakan ini, ion-ion kalsium dan magnesium disingkirkan dari air berkesadahan tinggi dengan jalan pertukaran kation dengan natrium. Bila resin penukar itu sudah selesai menyingkirkan

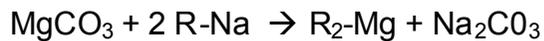
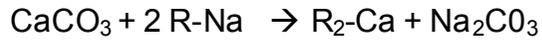
sebagian besar ion kalsium dan magnesium sampai batas kapasitasnya, resin itu di kemudian diregenerasi kembali ke dalam bentuk natriumnya dengan menggunakan larutan garam dengan pH antara 6 sampai 8. Kapasitas pertukaran resin polistirena besarnya  $650 \text{ kg/m}^3$  bila diregenerasikan dengan 250 g garam per kilogram kesadahan yang dibuang.



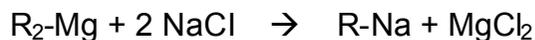
Gambar 5-2. Ion Exchanger

Untuk penukar kation siklus natrium atau hidrogen biasanya digunakan resin sintetik jenis sulfonat stirena-divinilbenzena. Resin ini sangat stabil pada suhu tinggi (sampai  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ) dan dalam pH antara 0 sampai 14. Di samping itu, bahan ini sangat tahan terhadap oksidasi. Kapasitas total penukar kation bisa mencapai  $925 \text{ kg CaCO}_3$  per meter kubik penukar ion dengan siklus hidrogen dan sampai  $810 \text{ kg CaCO}_3$  per meter kubik dengan siklus natrium. Namun dalam praktiknya kapasitas operasi tidak setinggi itu.

Dalam reaksi pelunakan air di bawah ini, lambang R menunjukkan radikal penukar kation. Resin tersebut menghilangkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  penyebab kesadahan. Reaksinya sebagai berikut:



Bila tanur penukar kation sudah habis kemampuannya untuk menghasilkan air lunak, unit pelunak itu dihentikan; lalu dicuci balik (*backwash*) untuk membersihkannya dan mengklasifikasikan partikel resin di dalam tanur itu kembali; kemudian diregenerasi dengan larutan garam biasa (natrium klorida) yang menyingkirkan kalsium dan magnesium dalam bentuk klorida yang dapat larut dan sekaligus mengembalikan penukar kation itu ke dalam bentuk natriumnya. Tanur itu dicuci lagi untuk membersihkannya dari hasil samping yang dapat larut dan dari kelebihan garam; kemudian dikembalikan ke operasi untuk selanjutnya melunakkan air. Reaksi regenerasi menggunakan air garam ( $\text{NaCl}$ ) dapat dilukiskan sebagai berikut:



Sedangkan kandungan anion tidak dihilangkan lewat penukar anion (*anion exchanger*). Jika kandungan anion sudah tinggi, biasanya dilakukan blowdown yaitu membuang sebagian besar air dan diganti dengan air kondensat.

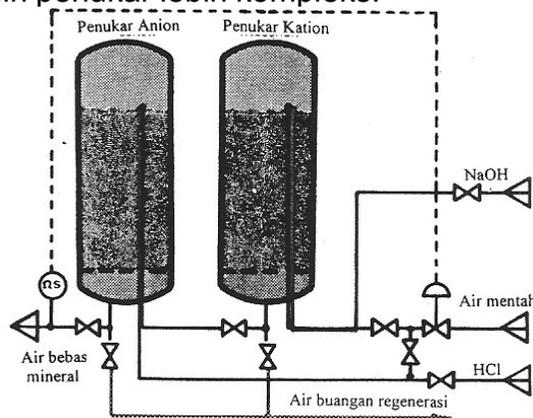
Selain pengotor-pengotor diatas, terdapat pula berbagai macam gas yang terlarut dalam air ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Gas tersebut dihilangkan dengan deaerator sebelum memasuki ketel. Deaerator bekerja dengan cara memanaskan air ketel sehingga gas-gas tersebut dapat keluar.

## 2. Mengoperasikan Alat Penukar Ion

Pada proses kolom ganda, air mentah mula-mula masuk ke dalam kolom penukar kation. Di sini semua kation yang terkandung dalam air (terutama ion kalsium, magnesium dan natrium) ditukar dengan ion hidrogen. Dalam kolom berikutnya yang berisi penukar anion, maka anion (terutama ion klorida, sulfat dan bikarbonat) ditukar dengan ion hidroksil. Ion hidrogen yang berasal dari penukar kation dan ion hidroksil dari penukar anion akan membentuk ikatan dan menghasilkan air.

Setelah air terbentuk maka resin penukar ion harus diregenerasi. Pelaksanaan regenerasi pada proses kolom ganda sangat sederhana. Ke dalam kolom penukar kation dialirkan asam klorida encer dan ke dalam kolom penukar anion dialirkan larutan natrium hidroksida encer. Regeneran yang berlebihan selanjutnya dibilas dengan air.

Pada proses unggun campuran - kolom tunggal, resin penukar kation dan penukar anion dicampur menjadi satu dalam sebuah kolom tunggal. Dengan proses unggun campuran dapat dicapai tingkat kemurnian air yang jauh lebih tinggi daripada dengan proses kolom ganda. Sebaliknya, pada proses unggun campuran regenerasi resin penukar lebih kompleks.

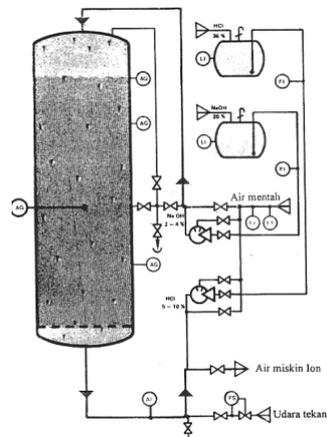
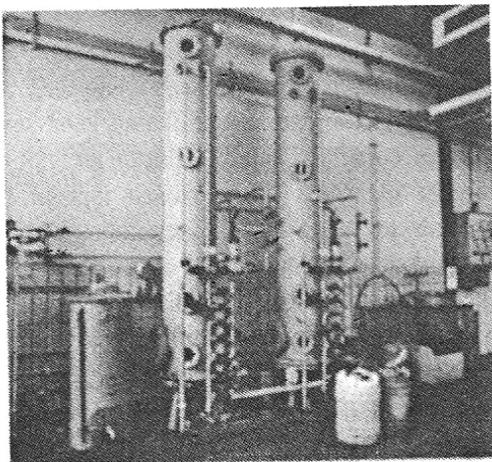


Gambar 5.1. Pengoperasian alat penukar ion

Langkah-langkah kerja pada regenerasi unggun campuran: Pernisahan resin penukar kation dan penukar anion dengan cara klasifikasi menggunakan air (pencucian kembali dari bawah ke atas). Dalam hal ini resin penukar anion yang lebih ringan (kebanyakan berwarna lebih terang) akan berada di atas resin

penukar kation yang lebih berat (kebanyakan berwarna lebih gelap). Pencucian kembali harus dilangsungkan terus sampai di antara kedua resin terlihat suatu lapisan pemisah yang tajam.

- Untuk regenerasi, regeneran bersama dengan air dialirkan melewati kedua lapisan resin Asam klorida encer dialirkan dari bawah ke atas melewati resin penukar kation, dan dikeluarkan dari kolom pada ketinggian lapisan pemisah. Larutan natrium hidroksida encer dialirkan dari atas ke bawah melewati resin penukar anion, juga dikeluarkan pada ketinggian lapisan pemisah.
- Kelebihan kedua regeneran kemudian dicuci dengan air.
- Ketinggian permukaan air dalam kolom diturunkan dan kedua resin penukar dicampur dengan cara memasukkan udara tekan dari ujung bawah kolom.
- Peneucian ulang unggun campuran dengan air dari atas ke bawah, sampai alat ukur konduktivitas menunjukkan kondisi kemurnian air yang diinginkan.



**Gambar 5.2. Alat penukar ion di industri**

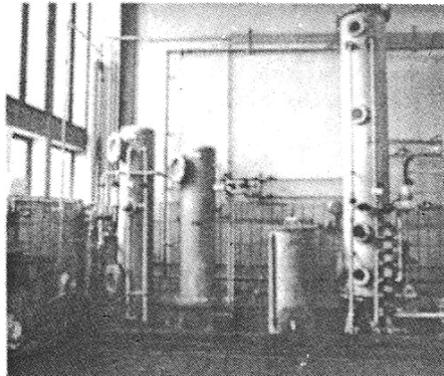
Sekarang instalasi siap untuk dioperasikan lagi. Baik pada instalasi pclunakan maupun pada instalasi demineralisasi air, maka pengalihan dari kondisi operasi ke proses regenerasi, pelaksanaan regenerasinya sendiri, dan pengalihan kembah ke kondisi

operasi dapat dilakukan baik secara manual maupun secara otomatis.

Untuk mencapai kualitas air atau performansi yang optimal dan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada resin penukar, maka petunjuk kerja yang diberikan oleh pabrik pembuat instalasi (misalnya mengenai urutan pelaksanaan operasi, kuantitas dan konsentrasi regenerasi, waktu regenerasi dan waktu pencucian) harus diikuti dengan seksama.

Perhatian: Pada saat bekerja dengan asam dan basa yang diperlukan untuk regenerasi, perlengkapan keselamatan perorangan yang sesuai harus digunakan. Air buangan yang keluar pada regenerasi dapat bersifat asam, basa atau mengandung garam. dan karena itu dalam hubungannya dengan pelestarian lingkungan harus ditangani seperti air limbah kimia.

Ukuran performansi sebuah instalasi penukar ion adalah kuantitas cairan yang diproduksi per jam (atau selang waktu di antara dua regenerasi). Performansi tergantung pada besarnya alat atau kuantitas penukar, pada kuantitas ion yang akan dipisahkan (dengan syarat kemurnian air yang diinginkan telah tertentu) dan pada tingkat kemurnian yang diminta. Untuk operasi yang semi kontinu (bila pengolahan air tidak boleh berhenti di tengah-tengah) diperlukan dua buah unit yang dihubungkan secara paralel. Karena proses pertukaran dan proses regenerasi tidak dapat berlangsung pada saat yang bersamaan, kedua unit tersebut bekerja secara bergantian, yang satu sebagai penukar ketika yang lain sedang regenerasi.



**Gambar 5.3. Performansi Instalasi Penukar Ion**

Beberapa jenis proses pertukaran sering juga digabungkan bersama. Misalnya untuk meringankan beban kolorn utama dari instalasi unggun campuran (untuk meningkatkan perforinansinya) dapat dipasang sebuah kolom pelunak air di depannya.

Untuk tujuan penggunaan tertentu dari air yang telah diolah (misalnya untuk mengurangi bahaya korosi pada pernbangkitan nap) scringkali diperlukan pengeluaran gas (penghilangan  $O_2$  dan  $CO_2$ ). Penghilangan gas dapat dilakukan secara termis atau dengan penambahan bahan-bahan kimia. Di samping itu juga acapkali diinginkan agar sebelum pertukaran ion berlangsung, pencemar organik yang terlarut dalam kuantitas besar dihilangkan supaya resin penukar tida-kmenjadi rusak. Penghilangan pencemar dapat dilakukan dengan bantuan adsorben.

Di samping instalasi-instalasi penukar ion yang tak kontinu dan yang semi kontinu, terdapat pula instalasi yang kontinu. Prinsip kerjanya misalnya adalah bahwa resin penukar juga

digerakkan. Dengan irama kerja tertentu resin penukar dialirkan dalam suatu sirkulasi yang terdiri atas daerah pertukaran, daerah regenerasi dan daerah pencucian.

### 3. Mengganti Resin Penukar Ion

Penukar ion kebanyakan berupa bahan organik, yang umumnya dibuat secara sintetik. Bahan ini terdiri atas makromolekul-makromolekul dan memiliki susunan yang serupa dengan resin sintetik. Oleh karena itu bahan tersebut sering juga disebut resin penukar ion. Namun berlawanan dengan resin sintetik biasa yang secara kimia umumnya, netral, penukar ion mengandung bagian-bagian aktif dengan ion yang dapat dipertukarkan.

Bagian aktif semacam itu misalnya adalah pada penukar kation:

- Kelompok-kelompok asam sulfo –  $\text{SO}_3^- \text{H}^+$  (dengan sebuah ion  $\text{H}^+$  yang dapat ditukar)

pada penukar anion:

- Kelompok-kelompok amonium kuartener  $-\text{N}- (\text{CH}_3)_3 + \text{OH}^-$  (dengan sebuah ion  $\text{OH}^-$  yang dapat ditukar)

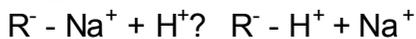
Jenis penukar	Tipe	Suhu tertinggi yang diizinkan (°C)	Rentang pH	Penerapan terutama di bidang
Kation	Asam kuat	120	1 – 14	Pengolahan air pemisahan limbah Katalisasi
	Asam lemah	120	4 - 14	Pengolahan limbah laurtan farmasi dan antibiotika
Anion	Basa kuat	60 – 75	11 – 12	Demineralisasi Air produksi, katalisa
	Basa kuat	40	11 - 12	Penghilangan garam dari air pencuci yang mengandung khromat.
Resin pencampur	Asam kuat dan basa kuat	60	0 – 14	Demineralisasidan menghilangkan asam Air bekas garam

Penukar ion dapat digunakan baik dalam bentuk granulat atau bola- bola kecil ( $\text{Ø}$  0,3 - 1,5 mm). Bahan ini tidak larut dalam air, tetapi akan mengernbung bila dimasukkan ke dalam air

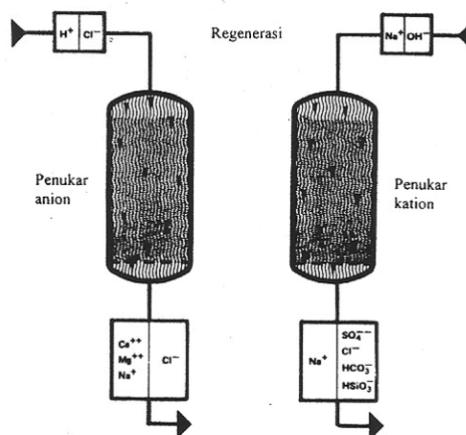
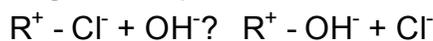
(pengambilan air sampai 50%). Agar bahan tersebut selalu dalam keadaan siap pakai, penyimpanannya harus dalam keadaan lembab (dalam kondisi mengembang). Sifat-sifat penting yang diharapkan dari penukar ion adalah daya pengambilan (kapasitas) yang besar, selektivitas yang besar, kecepatan pertukaran yang besar, ketahanan terhadap suhu, ketahanan terhadap pengaruh kimia maupun ketahanan terhadap pengikisan. Regenerasi dari penukar ion yang telah terbebani dapat dilakukan dengan mudah, karena pertukaran ion merupakan suatu proses yang sangat reversibel. Yang perlu diusahakan hanyalah agar pada regenerasi berlangsung reaksi dalam arah yang berkebalikan dari pertukaran ion. Untuk itu penukar kation dicampur dengan larutan yang mengandung ion-ion  $H^+$  (misalnya asam klorida encer), dan penukar anion dengan larutan yang mengandung ion-ion  $OH^-$  (misalnya larutan natrium hidroksida encer).

Reaksi-reaksi proses, regenerasi secara sederhana dapat dirumuskan sebagai berikut..

- Regenerasi penukar kation



- Regenerasi penukar anion



Gambar 5.4. Regenerasi penukar kation dan anion



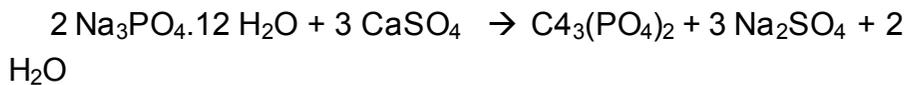
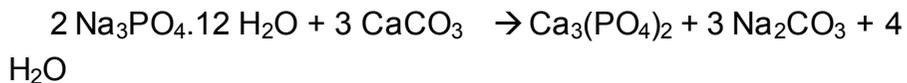
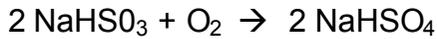
penukar ion), maka hal ini dapat dicapai dengan mengalirkan air melalui sebuah kolom tunggal yang diisi dengan resin yang bersangkutan (proses kolom tunggal). Regenerasi resin yang telah terbebani kebanyakan dilakukan dengan menggunakan larutan garam dapur.

Pada Proses demineralisasi garam (semua kation dan anion ditukar), aliran air harus melewati resin penukar kation maupun resin penulcar anion. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan dua kolom yang dihubungkan secara seri (proses kolom ganda), atau dengan kolom tunggal (proses unggun campuran - kolom tunggal). Dalam kedua hal ini kemurnian air yang mengalir keluar dan kondisi pembebanan pada resin diawasi dengan bantuan alat ukur konduktivitas (konduktivitas listrik atau tahanan listrik merupakan ukuran untuk konsentrasi ion, berarti juga untuk derajat atau tingkat kemurnian air). Alat ukur konduktivitas semacam itu memiliki skala yang ditera dalam satuan konduktivitas (misalnya  $\mu\text{S cm}$ ) atau dalam satuan tahanan (misalnya  $\text{M}\Omega \text{ cm}$ ), dan selain itu sering dibagi dalam dua warna (hijau = cukup murni, merah = belum murni). Alat ukur konduktivitas dapat dihubungkan dengan perlengkapan alarm, maupun dengan organ pemblokir yang akan menghentikan aliran air masuk secara otomatis apabila konduktivitas yang diinginkan terlampaui atau tahanan yang diinginkan tidak tercapai.

## **B. Pengolahan Internal**

Pengolahan air dalam ketel bertujuan mengontrol korosi, kerak dan buih yang timbul dengan penambahan bahan kimia. Korosi dapat dicegah dengan penghilangan oksigen dan mengatur pH bersifat alkalis. Kerak (*scaling*) dikendalikan dengan mengikat kesadahan dalam air. Untuk mengendalikan kerak dan korosi digunakan WQ yang berisi natrium bisulfit dan natrium trifosfat. Natrium, bisulfit akan mengikat oksigen sehingga korosi bisa terhindar. Sedang natrium fosfat akan bereaksi dengan senyawa

penyebab kesadahan membentuk  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  yang berbentuk lumpur dan cenderung mengendap pada pH alkali. Lumpur tersebut akan berkumpul di dasar ketel dan dikeluarkan bersama *blowdown*.



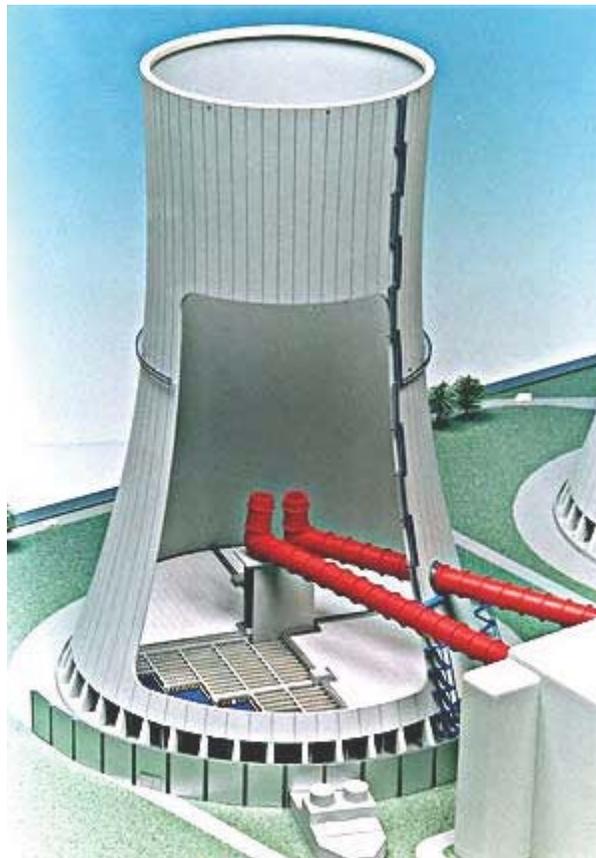
Gambar 5-6. Instalasi Pengolahan Air

### 5.2.3. Menara Pendingin (*Cooling tower*)

*Cooling tower* digunakan untuk mendinginkan air kondensat sebelum masuk ke dalam ketel. Air dilewatkan pada kisi - kisi sehingga terbentuk tirai air dan diberi *blower* di bagian atas untuk menghisap keluar udara panas dan dalam kisi.

Sebagian *cooling tower* dibuat dari *red wood*, yaitu sejenis kayu yang sangat tahan (*awet*) apabila secara terus-menerus kontak

dengan air. Bahan Isian (*internal packing*) biasanya merupakan susunan kayu yang dipasang horisontal. Ruang kosong menara sangat besar, biasanya lebih dari 90% supaya penurunan tekanan (*pressure drop*) udara bisa serendah mungkin. Luas permukaan kontak antara udara dan air tidak hanya pada film cairan pada permukaan *packing*, tetapi juga pada permukaan tetesan air yang jatuh dan menyerupai hujan. Aliran udara dan air di dalam *cooling tower* bisa secara silang atau lawan arah (*counter current*) atau kombinasi dari keduanya.



Gambar 5-7. Cooling Tower

### 5.3. UNIT PENGADAAN UAP

Uap (*Steam*) sangat berperan penting dalam proses untuk menggerakkan mesin-mesin bertenaga uap dan pemanas awal. Sebuah ketel uap (*boiler*) digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan pertolongan panas. Ditinjau dari tenaga termis (panas) yang didapat dengan pembakaran bahan bakar, ketel uap termasuk *External Combustion Engine*, yaitu pesawat tenaga dimana pembakaran bahan bakar dilakukan di luar pesawat (mesin uap) itu sendiri.

Uap yang dihasilkan mempunyai tenaga termis, tenaga potensial dan tenaga kinetis yang dimanfaatkan sebagai berikut:

- a. Tenaga termis yang dikandung uap dapat langsung digunakan sebagai bahan pemanas pada proses industri.
- b. Tenaga potensial dari uap diubah menjadi tenaga mekanik dengan mesin uap untuk selanjutnya diperoleh tenaga mekanik
- c. Tenaga kinetis dari uap diubah menjadi tenaga putar dengan suatu turbin uap. Selanjutnya dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.

#### A. Ketel Uap

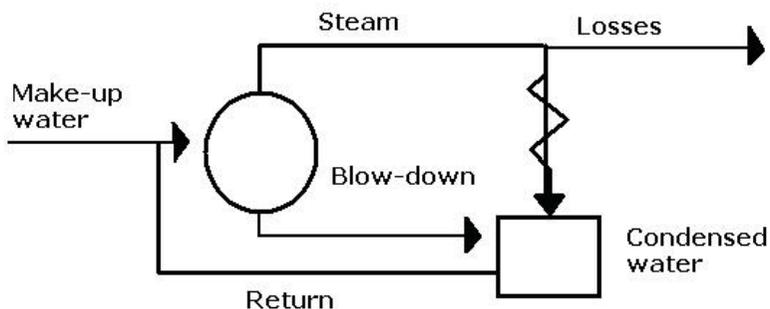
Seperti sudah disebutkan di atas bahwa ketel uap adalah suatu pesawat yang digunakan untuk mengubah air yang ada di dalamnya menjadi uap dengan cara dipanaskan. Dengan adanya bahan perantara air tersebut, maka di dalam ketel uap harus ada ruang atau tempat air.

Bentuk ruang atau tempat air tergantung dari jenis ketel. Sebagai contoh, untuk ketel pipa air, air berada di dalam pipa-pipa, sedangkan pemanasannya dari bagian luar (sekeliling) pipa tersebut. Sebaliknya untuk ketel pipa api, airnya berada di sekeliling pipa-pipa api. Cara menempatkan pipa api atau pipa air dibuat sedemikian rupa sehingga mendapatkan peredaran air dan pembentukan uap yang baik. Dengan adanya panas yang

dibutuhkan untuk pembentukan uap, pada ketel perlu dilengkapi dengan dapur. Macam konstruksi dapur juga harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga peredaran air dalam ketel sempurna. Dalam pembakaran suatu bahan bakar perlu juga adanya udara pembakaran. Peredaran udara dibuat sedemikian rupa agar pembakaran bahan bakar dapat berlangsung dengan baik.

Uap yang dibentuk di dalam ketel mempunyai tekanan yang lebih besar dari pada tekanan udara luar, maka ketel harus mampu menahan tekanan uap tersebut. Kekuatan ketel uap tergantung dari bentuk dan bahannya. Bentuk yang lebih kuat untuk menahan tekanan yang lebih besar dari dalam adalah bentuk bulat cembung dan silinder sebab dengan bentuk semacam itu sukar berubah bentuknya yang disebabkan oleh tekanan dari dalam. Tetapi bentuk bulat cembung ini tidak digunakan untuk ketel uap karena konstruksinya yang sulit unruk dikerjakan. Oleh karena itu pada umumnya ketel uap dibuat dalam bentuk silinder.

Bahan untuk ketel uap harus baik karena disamping harus menahan tekanan yang tinggi juga harus tahan pada suhu yang tinggi. Biasanya digunakan baja Siemens-Martin yang liat dan mudah dikerjakan.



Gambar 5-8. Skema proses pada Ketel Uap (Boiler)

## B. Pemeriksaan Ketel

Perusahaan yang menggunakan ketel bertekanan, tiap saat harus melakukan pemeriksaan. Dalam memeriksa ketel termasuk di dalamnya adalah perhitungan konstruksi, bahan, cara menggunakan atau mengoperasikan.

Ketel yang akan diperiksa, harus dipersiapkan:

1. Ketel dibersihkan bagian luar dan dalam, bersih dari batu ketel, lumpur dan kotoran lainnya
2. Semua lubang uap/air/ peralatan keteldisumbat dengan baik
3. Semua bagian ketel yang dipandang dapat menghambat pemeriksaan, dilepas.

Pemeriksaan ketel dibagi menjadi dua macam yaitu *pemeriksaan dalam* dan *pemeriksaan luar*. Periode pemeriksaan, untuk ketel kapal dilakukan 1 tahun sekali, sedangkan ketel darat: pemeriksaan dalam 3 – 4 tahun sekali dan pemeriksaan luar 2 tahun sekali.

Hal yang penting dalam *pemeriksaan dalam* adalah:

1. keadaan bahannya
2. apakah bahannya tidak rusak setempat
3. apakah tidak terdapat rengat-rengat pada tempat-tempat tikungan
4. apakah penguat-penguat masih cukup kuat

Cara memeriksanya :

1. dengan pancaindra
2. dengan pukulan-pukulan palu, dan suaranya didengar
3. dengan alat magnet
4. dengan sinar rontgent

*Pemeriksaan luar*, yang dipentingkan:

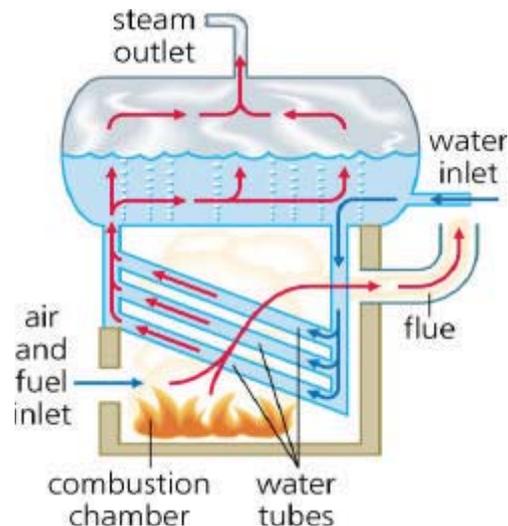
1. menyelidiki sambungan-sambungan ketel bila terjadi kebocoran
2. menyelidiki perubahan bentuk (pada bagian datar)

Cara *memeriksanya*:

1. ketel diisi dengan air sampai penuh (air dingin atau hangat, tidak boleh dengan uap)
2. setelah semua lubang tertutup rapat kemudian dipres dengan pres tangan (pompa tangan)
3. kemudian dilihat kemungkinan adanya kebocoran
4. tekanan ketel waktu dicoba dibuat lebih tinggi dibanding waktu kerja (waktu paling lama 15 menit)

Hal lain yang perlu diperhatikan:

1. pada waktu mencoba, manometer pada ketel harus diperiksa dengan manometer pengontrol
2. jika diperoleh hasil kurang memuaskan, maka harus diperbaiki misalnya masih ada bagian yang bocor atau perubahan bentuk yang terlalu besar
3. jika keadaan ketel sudah baik, pada lempeng stempel diberi tanda.



Gambar 5-9. Ketel Uap (Boiler)

### C. Perawatan Boiler dan Pemanas Fluida Termis

Tugas dan pemeriksaan berkala pada bagian luar boiler. Seluruh pintu akses dan bidang kerja harus dirawat kepad udara dengan

menggunakan paking yang efektif. Sistem cerobong asap harus memiliki sambungan yang tertutup secara efektif dan bila perlu diisolasi.

*Shell boiler* dan bagiannya harus terisolasi dengan baik dan harus dipastikan bahwa isolasinya sudah cukup. Jika isolasi yang digunakan pada boiler, pipa dan silinder air panas dipasang beberapa tahun yang lalu, hampir dipastikan isolasinya sudah tipis walaupun tampaknya dalam kondisi baik. Perlu diingat bahwa isolasi tersebut terpasang ketika biaya bahan bakar sangat rendah. Penambahan ketebalan akan lebih baik.

Di akhir waktu pemanasan/pemakaian, selama musim panas, boiler harus di tutup sepenuhnya dan permukaan dalam ditutup sepenuhnya dengan plat dengan sisipan *dessicant*. (Hanya diterapkan untuk boiler yang tidak dioperasikan diantara waktu pemanasan/pemakaian).

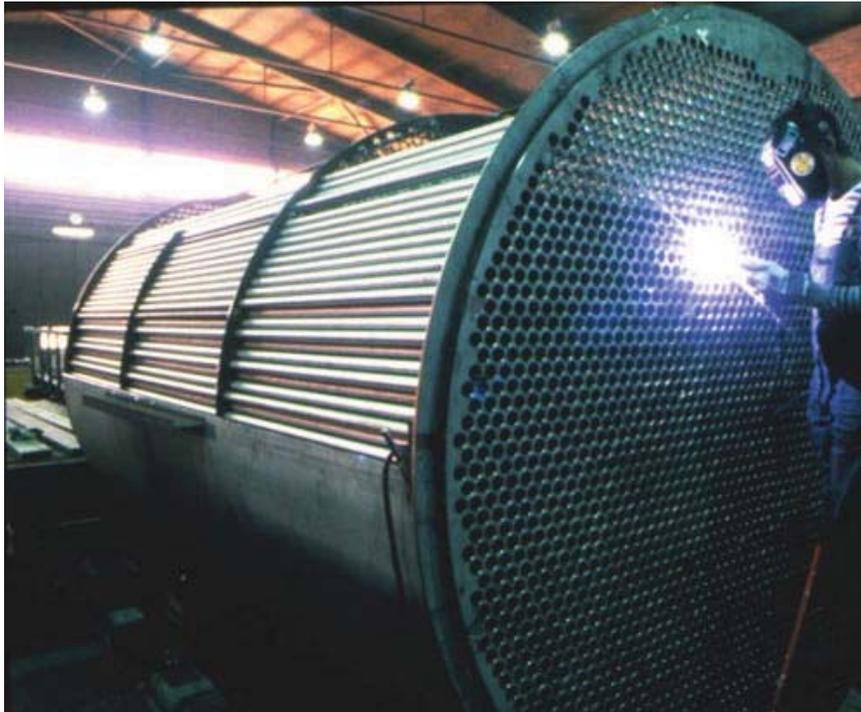
#### **D. Meningkatkan *steam* dan air panas boiler**

Kotoran dalam air boiler yang terkumpul dalam boiler, memiliki batasan konsentrasinya yang bergantung pada jenis dan beban boiler. *Blow down* boiler harus diminimalkan, tetapi ketentuan densitas air harus dijaga. Panas dari air *blow down* sebaiknya dimanfaatkan. Dalam *steam boiler*, apakah pengolahan air cukup untuk mencegah pembentukan *foaming* (pembentukan busa/buih) atau *priming* dan konsekuensinya membawa kelebihan air dan bahan kimia kedalam sistem steam? Untuk *steam boiler*, apakah pengendalian otomatis permukaan air bekerja? Adanya pipa interkoneksi dapat menjadi sangat berbahaya. Apakah pengecekan telah dilakukan secara berkala terhadap kebocoran udara di sekitar boiler, pintu atau antara boiler dan cerobong asap? Yang disebutkan pertama akan mengurangi efisiensi, yang disebutkan kemudian dapat menurunkan kualitas kekeringan steam dan mendorong terjadinya kondensasi, korosi, dan *Smutting*.

Kondisi pembakaran harus dicek dengan menggunakan alat analisis gas buang paling sedikit dua kali setiap musim dan jika

diperlukan perbandingan bahan bakar/udara disetel. Detektor dan alat kontrol yang ada sebaiknya diberi label dan diperiksa secara berkala. Tampilan kunci pengaman harus memiliki penyetel manual dan alarm. Harus dilakukan pengujian, atau pemasangan indikator permanen pada burner untuk memantau kondisi tekanan/suhu operasi.

Dalam boiler yang berbahan bakar minyak atau gas, kabel-kabel sistim *fussible link* untuk mematikan/*shutdown* jika ada kebakaran atau pemanasan berlebih yang melintasi jalan yang dilewati karyawan, harus ditempatkan pada posisi di atas kepala. Fasilitas *emergency shutdown* diletakkan pada pintu keluar ruang boiler.

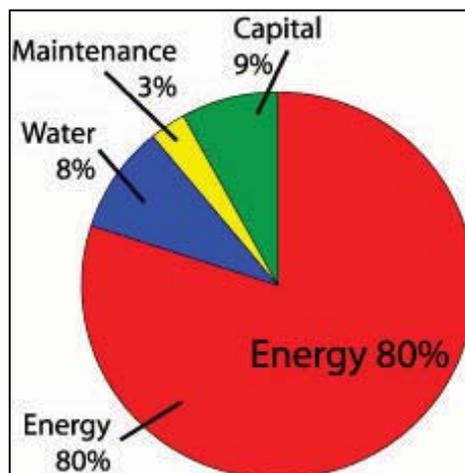


Gambar 5-10. Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

#### 5.4. SISTEM UTILITAS UDARA TEKAN

*Plant* industri menggunakan udara tekan untuk seluruh operasi produksinya, yang dihasilkan oleh unit udara tekan yang berkisar dari 5 *horsepower* (hp) sampai lebih 50.000 hp. Departemen Energi

Amerika Serikat (2003) melaporkan bahwa 70 sampai 90 persen udara tekan hilang dalam bentuk panas yang tidak dapat digunakan, gesekan, salah penggunaan dan kebisingan. Sehingga, kompresor dan sistim udara tekan menjadi area penting untuk meningkatkan efisiensi energi pada *plant* industri. Merupakan catatan yang berharga bahwa biaya untuk menjalankan sistim udara tekan jauh lebih tinggi daripada harga kompresor itu sendiri (lihat Gambar 5-11). Penghematan energi dari perbaikan sistim dapat berkisar dari 20 sampai 50 persen atau lebih dari pemakaian listrik, menghasilkan ribuan bahkan ratusan ribu dolar. Sistim udara tekan yang dikelola dengan benar dapat menghemat energi, mengurangi perawatan, menurunkan waktu penghentian operasi, meningkatkan produksi, dan meningkatkan kualitas.



Gambar 5-11. Prosentase biaya sistem udara tekan

Sistim udara tekan terdiri dari bagian pemasokan, yang terdiri dari kompresor dan perlakuan udara, dan bagian permintaan, yang terdiri dari sistim distribusi & penyimpanan dan peralatan pemakai akhir. Bagian pemasokan yang dikelola dengan benar akan menghasilkan udara bersih, kering, stabil yang dikirimkan pada tekanan yang dibutuhkan dengan biaya yang efektif. Bagian permintaan yang dikelola dengan benar akan meminimalkan udara

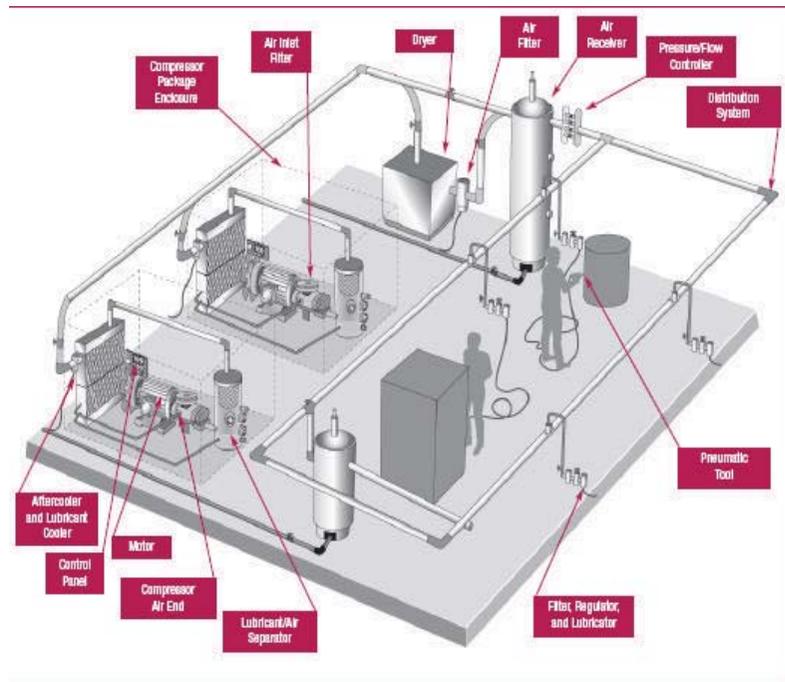
terbuang dan penggunaan udara tekan untuk penerapan yang tepat. Perbaikan dan pencapaian puncak kinerja sistim udara tekan memerlukan bagian sistim pemasokan dan permintaan dan interaksi diantara keduanya.

#### 5.4.1 Komponen Utama Sistim Udara Tekan

Sistim udara tekan terdiri dari komponen utama berikut: Penyaring udara masuk, pendingin antar tahap, *after-coolers*, pengering udara, *traps* pengeluaran kadar air, penerima, jaringan pemipaan, penyaring, pengatur dan pelumasan (lihat Gambar 5-12).

1. **Filter Udara Masuk:** Mencegah debu masuk kompresor; Debu menyebabkan lengketnya katup/ kran, merusak silinder dan pemakaian yang berlebihan.
2. **Pendingin antar tahap:** Menurunkan suhu udara sebelum masuk ke tahap berikutnya untuk mengurangi kerja kompresi dan meningkatkan efisiensi. Biasanya digunakan pendingin air.
3. **After-Coolers:** Tujuannya adalah membuang kadar air dalam udara dengan penurunan suhu dalam penukar panas berpendingin air.
4. **Pengering Udara:** Sisa-sisa kadar air setelah *after-cooler* dihilangkan dengan menggunakan pengering udara, karena udara tekan untuk keperluan instrumen dan peralatan pneumatik harus bebas dari kadar air. Kadar air dihilangkan dengan menggunakan adsorben seperti gel silika/karbon aktif, atau pengering refrigeran, atau panas dari pengering kompresor itu sendiri.
5. **Traps Pengeluaran Kadar Air:** *Trap* pengeluaran kadar air digunakan untuk membuang kadar air dalam udara tekan. *Trap* tersebut menyerupai *steam traps*. Berbagai jenis *trap* yang digunakan adalah kran pengeluaran manual, klep pengeluaran otomatis atau yang berdasarkan waktu dan lainnya.

6. **Penerima:** Penerima udara disediakan sebagai penyimpan dan penghalus denyut keluaran udara – mengurangi variasi tekanan dari kompresor



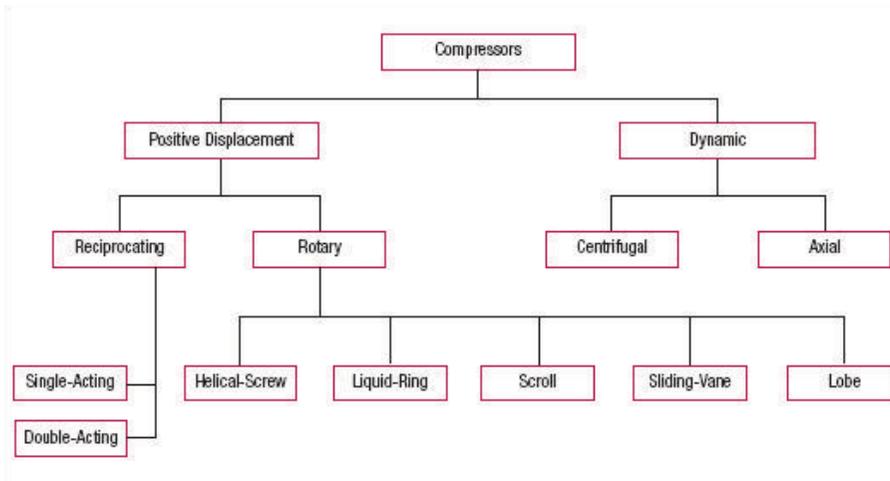
Gambar 5-12. Jenis Komponen Kompresor (US DOE, 2003)

#### 5.4.2. Jenis Kompresor

Seperti terlihat pada Gambar 5-13, terdapat dua jenis dasar : *positive-displacement* and dinamik. Pada jenis *positive-displacement*, sejumlah udara atau gas di- trap dalam ruang kompresi dan volumenya secara mekanik menurun, menyebabkan peningkatan tekanan tertentu kemudian dialirkan keluar. Pada kecepatan konstan, aliran udara tetap konstan dengan variasi pada tekanan pengeluaran.

Kompresor dinamik memberikan energi kecepatan untuk aliran udara atau gas yang kontinyu menggunakan impeller yang berputar pada kecepatan yang sangat tinggi. Energi kecepatan berubah menjadi energi tekanan karena pengaruh impeller dan *volute* pengeluaran atau *diffusers*. Pada kompresor jenis dinamik sentrifugal,

bentuk dari sudu-sudu impeller menentukan hubungan antara aliran udara dan tekanan (atau *head*) yang dibangkitkan.



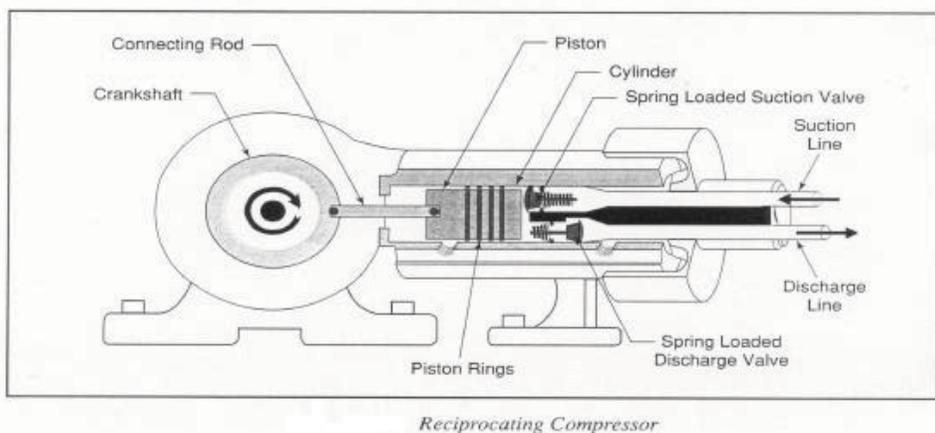
Gambar 5-13. Jenis Kompresor (US DOE, 2003)

## A. Kompresor *Positive Displacement*

Kompresor ini tersedia dalam dua jenis: *reciprocating* dan putar/ *rotary*.

### 1. Kompresor *reciprocating*

Di dalam industri, kompresor *reciprocating* paling banyak digunakan untuk mengkompresi baik udara maupun refrigerant. Prinsip kerjanya seperti pompa sepeda dengan karakteristik dimana aliran keluar tetap hampir konstan pada kisaran tekanan pengeluaran tertentu. Juga, kapasitas kompresor proporsional langsung terhadap kecepatan. Keluarannya, seperti denyutan.



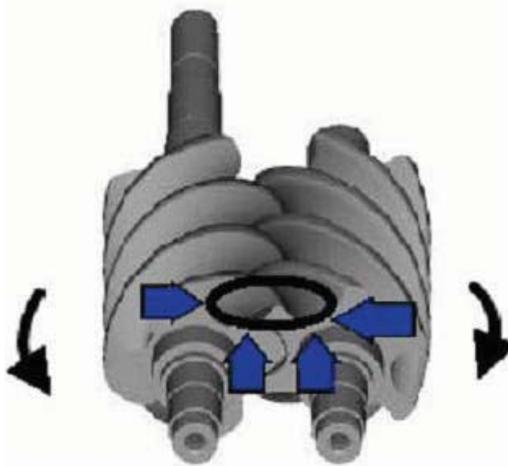
**Gambar 5-14. Penampang melintang kompresor *reciprocating***

Kompresor *reciprocating* tersedia dalam berbagai konfigurasi; terdapat empat jenis yang paling banyak digunakan yaitu horizontal, vertical, horizontal *balance-opposed*, dan tandem. Jenis kompresor *reciprocating* vertical digunakan untuk kapasitas antara 50 – 150 cfm. Kompresor horizontal *balance opposed* digunakan pada kapasitas antara 200 – 5000 cfm untuk desain multistage dan sampai 10,000 cfm untuk desain satu tahap (Dewan Produktivitas Nasional, 1993).

Kompresor udara *reciprocating* biasanya merupakan aksi tunggal dimana penekanan dilakukan hanya menggunakan satu sisi dari piston. Kompresor yang bekerja menggunakan dua sisi piston disebut sebagai aksi ganda. Sebuah kompresor dianggap sebagai kompresor satu tahap jika keseluruhan penekanan dilakukan menggunakan satu silinder atau beberapa silinder yang parallel. Beberapa penerapan dilakukan pada kondisi kompresi satu tahap. Rasio kompresi yang terlalu besar (tekanan keluar absolut/tekanan masuk absolut) dapat menyebabkan suhu pengeluran yang berlebihan atau masalah desain lainnya. Mesin dua tahap yang digunakan untuk tekanan tinggi biasanya mempunyai suhu pengeluran yang lebih rendah (140 to 160°C), sedangkan pada mesin satu tahap suhu lebih tinggi (205 to 240°C).

## 2. Kompresor Putar/ Rotary

Kompresor *rotary* mempunyai rotor dalam satu tempat dengan piston dan memberikan pengeluaran kontinyu bebas denyutan. Kompresor beroperasi pada kecepatan tinggi dan umumnya menghasilkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkankompresor *reciprocating*. Biaya investasinya rendah, bentuknya kompak, ringan dan mudah perawatannya, sehingga kompresor ini sangatpopular di industri. Biasanya digunakan dengan ukuran 30 sampai 200 hp atau 22 sampai 150 kW.



Gambar 5-15. Gambaran kompresor ulir (Referensi tidak diketahui)

Jenis dari kompresor putar adalah:

1. Kompresor *lobe (roots blower)*
2. Kompresor ulir (ulir putar *helical-lobe*, dimana rotor putar jantan dan betina bergerak berlawanan arah dan menangkap udara sambil mengkompresi dan bergerak kedepan (lihat Gambar 5-15)
3. Jenis baling-baling putar/ baling-baling luncur, ring cairan dan jenis gulungan.

Kompresor ulir putar menggunakan pendingin air. Jika pendinginan sudah dilakukan pada bagian dalam kompresor, tidak akan terjadi suhu operasi yang ekstrim pada bagian-bagian yang bekerja. Kompresor putar merupakan kompresor kontinyu, dengan paket yang sudah termasuk pendingin udara atau pendingin air.

Karena desainnya yang sederhana dan hanya sedikit bagian-bagian yang bekerja, kompresor udara ulir putar mudah perawatannya, mudah operasinya dan fleksibel dalam pemasangannya. Kompresor udara putar dapat dipasang pada permukaan apapun yang dapat menyangga berat statiknya.

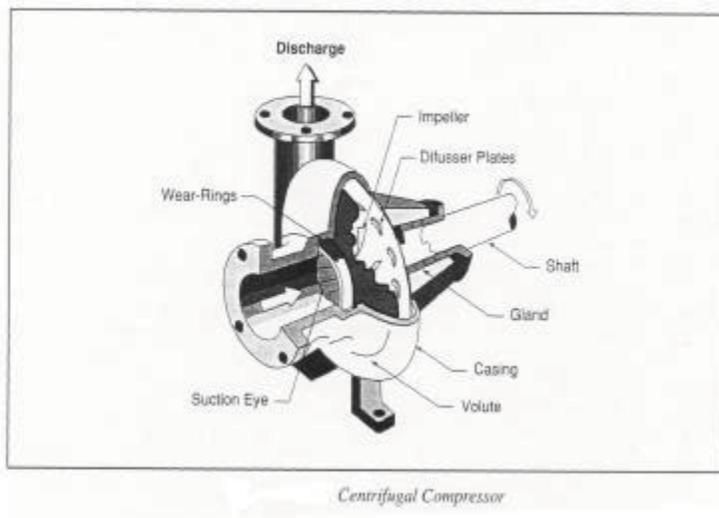
## **B. Kompresor Dinamis**

Kompresor udara sentrifugal (lihat Gambar 5-16) merupakan kompresor dinamis, yang tergantung pada transfer energi dari impeller berputar ke udara. Rotor melakukan pekerjaan ini dengan mengubah momen dan tekanan udara. Momen ini dirubah menjadi tekanan tertentu dengan penurunan udara secara perlahan dalam difuser statis. Kompresor udara sentrifugal adalah kompresor yang dirancang bebas minyak pelumas. Gir yang dilumasi minyak pelumas terletak terpisah dari udara dengan pemisah yang menggunakan sil pada poros dan ventilasi atmosferis.

Sentrifugal merupakan kompresor yang bekerja kontinyu, dengan sedikit bagian yang bergerak; lebih sesuai digunakan pada volum yang besar dimana dibutuhkan bebas minyak pada udaranya.

Kompresor udara sentrifugal menggunakan pendingin air dan dapat berbentuk paket; khususnya paket yang termasuk *after-cooler* dan semua control. Kompresor ini dikenal berbeda karakteristiknya jika dibandingkan dengan mesin *reciprocating*. Perubahan kecil pada rasio kompresi menghasilkan perubahan

besar pada hasil kompresi dan efisiensinya. Mesin sentrifugal lebih sesuai diterapkan untuk kapasitas besar diatas 12,000 cfm.



Gambar 5-16. Gambaran kompresor sentrifugal

## 5.5. BAHAN BAKAR

Bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Bahan bakar dapat berbentuk bahan padat, cair, atau gas yang dapat bereaksi dengan oksigen (udara) secara eksoterm. Panas dari reaksi eksoterm tersebut dapat langsung digunakan untuk pemanasan atau sering juga diubah dulu menjadi bentuk energi lain (biasanya menjadi uap). Besaran yang penting pada bahan bakar ialah panas rendah" (*lower calorific value*), yang menyatakan banyaknya panas yang umumnya diperoleh pada pembakaran dalam keadaan normal. Besaran ini dinyatakan dalam satuan kkal/kg, kJ/kg, kkal/ml atau kJ/ml. Makin halus ukuran bahan bakar, makin cepat bahan tersebut terbakar dan makin mudah penakaran dan pengaturan dilakukan. Di samping itu, kelebihan udara yang diperlukan untuk pembakaran lebih kecil. ini berarti temperatur menjadi lebih tinggi. Sebagai contoh penggunaan kalor dari proses pembakaran secara langsung adalah : untuk memasak di dapur-dapur rumah tangga, instalasi pemanas, sedang contoh penggunaan kalor

secara tidak langsung adalah : kalor diubah menjadi energi mekanik, misalnya pada motor bakar ; kalor diubah menjadi energi listrik, misalnya pada pembangkit listrik tenaga diesel ; tenaga gas dan tenaga uap.

### **5.5.1. Macam-macam Bahan Bakar**

**Beberapa macam bahan bakar yang dikenal adalah:**

- a. Bahan bakar fosil, seperti: batubara, minyak bumi, dan gas bumi.
- b. Bahan bakar nuklir, seperti: uranium dan plutonium. Pada bahan bakar nuklir, kalor diperoleh dari hasil reaksi rantai penguraian atom-atom melalui peristiwa radioaktif.
- c. Bahan bakar lain, seperti: sisa tumbuh-tumbuhan, minyak nabati, minyak hewani.

**Bahan bakar konvensional, ditinjau dari keadaannya dan wujudnya adalah :**

- a. Padat
- b. Cair
- c. Gas

**Bahan bakar ditinjau dari cara terjadinya dapat alamiah dan non-alamiah atau buatan :**

- a. Termasuk bahan bakar padat alamiah ialah: antrasit, batubara bitumen, lignit, kayu api, sisa tumbuhan.
- b. Termasuk bahan bakar padat nonalamiah antara lain: kokas, semi-kokas, arang, briket, bris, serta bahan bakar nuklir.
- c. Bahan bakar cair non-alamiah antara lain: bensin atau gasolin, kerosin atau minyak tanah, minyak solar, minyak residu, dan juga bahan bakar padat yang diproses menjadi bahan bakar cair seperti minyak resin dan bahan bakar sintetis.

- d. Bahan bakar gas alamiah misalnya: gas alam dan gas petroleum.
- e. Bahan bakar gas non-alamiah misalnya gas rengkah (atau cracking gas) dan “producer gas”.

### **5.5.2. Pembakaran**

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan mengalami oksidasi perlahan-lahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi dipakai untuk menaikkan suhu bahan secara pelan-pelan sampai mencapai suhu nyala. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua konstituen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO<sub>2</sub>, air (= H<sub>2</sub>O), dan gas SO<sub>2</sub>, sehingga tak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa.

### **5.5.3. Komposisi dan Spesifikasi Bahan Bakar**

#### **A. Komposisi**

Bahan bakar fosil dan bahan bakar organik lainnya umumnya tersusun dari unsur-unsur C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen), S (belerang), P (fosfor) dan unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, namun unsur-unsur kimia yang penting adalah C, H dan S, yaitu unsur-unsur yang jika terbakar menghasilkan kalor, dan disebut sebagai “bahan yang dapat terbakar” atau “combustible matter”, disingkat dengan BDT. Unsur-unsur lain yang terkandung dalam bahan bakar namun tidak dapat terbakar adalah O, N, bahan mineral atau abu dan air. Komponen-komponen ini disebut sebagai “bahan yang dapat terbakar” atau “combustible matter”, disingkat dengan BDT. Unsur-unsur lain yang terkandung dalam bahan bakar namun tidak dapat terbakar adalah O, N, bahan mineral atau abu dan air. Komponen-

komponen ini disebut sebagai “bahan yang tidak dapat terbakar” atau “non-combustible matter”, disingkat dengan non-BDT.

## **B. Spesifikasi Bahan Bakar**

### **1. Nilai Kalor atau “Heating Value” atau “Calorific Value” atau Kalor Pembakaran.**

Nilai kalor adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna 1 kilogram atau satu satuan berat bahan bakar padat atau cair atau 1 meter kubik atau 1 satuan volume bahan bakar gas, pada keadaan baku. Nilai kalor atas atau “gross heating value” atau “higher heating value” adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan tetap, suhu 25°C, apabila semua air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali. Nilai kalor bawah atau “net heating value” atau “lower heating value” adalah kalor yang besarnya sama dengan nilai kalor atas dikurangi kalor yang diperlukan oleh air yang terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar untuk menguap pada 25°C dan tekanan tetap. Air dalam sistem, setelah pembakaran berwujud uap air pada 25°C.

### **2. Kandungan Air di dalam Bahan Bakar**

Air yang terkandung dalam bahan bakar padat terdiri dari:

- kandungan air internal atau air kristal, yaitu air yang terikat secara kimiawi.
- kandungan air eksternal atau air mekanikal, yaitu air yang menempel pada permukaan bahan dan terikat secara fisis atau mekanis.

Air yang terkandung dalam bahan bakar menyebabkan penurunan mutu bahan bakar karena:

- menurunkan nilai kalor dan memerlukan sejumlah kalor untuk penguapan, menurunkan titik nyala,
- memperlambat proses pembakaran, dan menambah volume gas buang.

Keadaan tersebut mengakibatkan:

- pengurangan efisiensi ketel uap ataupun efisiensi motor bakar, penambahan biaya perawatan ketel,
- menambah biaya transportasi, merusak saluran bahan bakar cair ("fuel line") dan ruang bakar.

### **3. Kandungan Abu**

Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tak dapat terbakar (non-BDT) yang tertinggal setelah proses pembakaran dan perubahan-perubahan atau reaksi-reaksi yang menyertainya selesai. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor. Di dalam dapur atau dalam generator gas, abu dapat meleleh pada suhu tinggi, menghasilkan massa yang disebut "slag". Sifat kandungan abu dapat ditandai oleh perubahan-perubahan yang terjadi bila suhunya naik.

- Kalau abu meleleh pada suhu  $t_3 < 13000\text{C}$ , maka abu bertitik leleh rendah.
- Kalau abu meleleh pada suhu  $13000\text{C} < t_3 < 14250\text{C}$ ; abu bertitik leleh sedang.
- Kalau abu meleleh pada suhu  $t_3 > 14250\text{C}$ ; abu bertitik leleh tinggi.

*Slag* dapat menutup aliran udara yang masuk di antara batang-batang rooster (kisikisi) dalam ruang pembakaran, menutupi timbunan bahan bakar dan merusak dapur, serta abu yang terbawa oleh gas asap mengikis bidang pemanasan ketel.

#### 4. Kandungan Belerang

Apabila bahan bakar yang mengandung belerang dibakar, belerang akan terbakar membentuk gas belerang dioksida (SO<sub>2</sub>) dan belerang trioksida (SO<sub>3</sub>). Gas-gas ini bersifat sangat korosif terhadap logam dan meracuni udara sekeliling.

#### 5. Berat Jenis

Banyak hubungan antara berat jenis/*specific gravity* dengan sifat-sifat penting bahan bakar minyak, yaitu:

a. Untuk pembakaran pada volume tetap;

$$\text{Nilai kalor atas, Btu/lb} = 22\,320 - [3\,780 \cdot (\text{sg})^2]$$

b. Untuk pembakaran pada tekanan tetap;

$$\text{Nilai kalor bawah, Btu/lb} = 19\,960 - [3\,780 \cdot (\text{sg})^2] + (1\,362 \cdot \text{sg})$$

c. Persen hidrogen, % = 26 - (15 · sg)

#### 6. Viskositas atau Kekentalan

Viskositas adalah kebalikan fluiditas atau daya alir. Makin tinggi viskositas makin sukar mengalir. Mengingat kecepatan mengalir juga tergantung pada berat jenis, maka pengukuran viskositas demikian dinyatakan sebagai “viskositas kinematik”.

Viskositas absolut = viskositas kinematik x Berat jenis cairan. Satuan viskositas antara lain: poise, gram/cm detik, atau dengan skala *Saybolt Universal* diukur dalam detik.

Pengaruh viskositas pada pengabutan sangat menentukan dalam mencapai pembakaran sempurna dan bersih. Jika

pengabutan berlangsung dengan viskositas > 100 detik SU dan tekanan udara < 1 psi, maka butiran-butiran kabut minyak terlalu besar hingga susah bercampur dengan udara sekunder. Akibatnya akan terbentuk gumpalan karbon yang mengganggu burner dan dapur. Bagi minyakminyak berat, pemanasan pendahuluan harus dilakukan sebelum pengabutan. Pemanasan pendahuluan ini gunanya untuk menurunkan viskositas sampai di bawah 100 detik SU.

## **7. Flash Point**

Flash point adalah suhu dimana bahan bakar terbakar dengan sendirinya oleh udara sekelilingnya disertai kilatan cahaya. Untuk menentukan kapan minyak terbakar sendiri, Pensky-Martens memakai sistem "closed cup", sedang Cleveland memakai "open cup". Uji dengan *open cup* menunjukkan angka 20-300F lebih tinggi daripada dengan *closed cup*.

## **8. Titik Bakar atau "Ignition Point"**

Titik bakar adalah suhu dimana bahan bakar cair yang dipanaskan pada keadaan baku dapat terbakar selama waktu sekurang-kurangnya 5 detik.

## 9. Bau

Bau tak enak yang khas biasanya ditimbulkan oleh senyawa belerang dalam bahan bakar cair. Senyawa itu adalah belerang hidrokarbon atau merkaptan yang bersifat korosif.

## 10. Titik Anilin

Titik anilin adalah suhu dimana sejumlah volume yang sama dari bahan bakar cair dan anilin tepat bercampur. Atau, suhu terendah dimana terjadi awan yang disebabkan karena batas pemisahan fase cair dari campurannya yang homogeny sejumlah volume anilin yang sama dengan volume sampel menjadi hilang.

## 11. Faktor Karakterisasi dan Titik Didih

Faktor karakterisasi ini memberi petunjuk tentang watak dan sifat-sifat termal fraksi minyak bumi. Di samping itu, juga menyatakan perbedaan sifat parafinitas.

### 5.5.3 Bahan Bakar Padat

Tabel 5-1. Nilai Panas Bahan Bakar Padat

Bahan bakar	Nilai panas netto ( kira-kira )
Kayu	12.500 kJ/kg ( 3.000 kkal/kg )
Batubara coklat	16.700 kJ/kg ( 4.000 kkal/kg )
Antrasit	29.300 kJ/kg ( 7.000 kkal/kg )
Bensin, minyak	41.800 kJ/kg ( 10.000 kkal/kg )
Minyak bumi	37.600 kg/m <sup>3</sup> ( 9.000 kkal/m <sup>3</sup> )
Propana	46.000 kg/m <sup>3</sup> ( 11.000 kkal/m <sup>3</sup> )
Asetilena	58.500 kJ/m <sup>3</sup> ( 14.000 kkal/m <sup>3</sup> )

### Bahan bakar : nilai panas dan sifat pembakaran

Bahan bakar padat yang penting ialah **batu bara dan kokas**.

**Batu bara** : merupakan campuran karbon, hidrokarbon, dan sedikit bahan mineral. Makin tua batu bara, makin tinggi kadar karbonnya (batu bara mineral, antrasit). Sebaliknya batu bara

muda (batu bara coklat) mengandung lebih banyak hidrokarbon. Hidrokarbon ini akan terbuang pada waktu pemanasan. Batu bara diperoleh dari tambang batu bara di bawah tanah atau tambang batu bara terbuka. Pengolahan batu bara agar siap pakai hanya terbatas pada proses pengecilan ukuran dan klasifikasi menurut besar dan mutunya. Batu bara dipakai terutama untuk tujuan-tujuan pembangkitan panas (membuat kukus, memanaskan ruangan dll). Pembakarannya dilakukan dalam bentuk potongan atau dalam bentuk serbuk halus. Alat pembakar batu bara yang masih dalam bentuk potongan ialah kisi berjalan (*chain grate*) yang dihembus dengan udara, sedangkan serbuk batu bara menggunakan pembakar yang disertai penginjeksian udara.

#### **5.5.4. Bahan Bakar Cair**

Bahan baku terpenting dari bahan bakar cair adalah minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran hidrokarbon dengan berbagai ukuran molekul (mencapai 20 atom C atau lebih). Minyak bumi diambil dari sumur-sumur minyak pada permukaan bumi dan dipompa melalui pipa-pipa ke kilang. Melalui cara rektifikasi, rafinasi (pemurnian), pemecahan (penguraian) dan cara-cara lainnya, dari minyak mentah atau minyak kasar dapat dibuat bahan dasar untuk industri petrokimia. Selain itu dihasilkan juga pelumas, aspal dan bahan bakar cair sebagai berikut:

- Minyak fraksi berat dan minyak fraksi ringan. Minyak ini digunakan untuk menghasilkan panas dengan jalan membuat kabut pada aliran udara bertekanan (pembakar minyak)
- Minyak diesel, bensin, dan avtur. Bahan bakar ini digunakan untuk menghasilkan energi mekanik pada motor bakar dan motor turbo.

## A. Pengelolaan Bahan Bakar Minyak

Di dalam penanganan bahan bakar minyak, terdapat berbagai prosedur dimana pemakai harus mengetahui dan mengikutinya dengan maksud menjaga kualitas/mutu bahan bakar minyak yang akan digunakan sekaligus mempertimbangkan faktor keselamatan kerja bagi penggunaannya. Prosedur tersebut terbagi atas 3 kelompok penanganan, yaitu:

- (1). Penerimaan
- (2). Penimbunan
- (3). Penyaluran

Adapun penyerahan bahan bakar minyak dari Pertamina kepada konsumen terdapat beberapa macam cara, antara lain:

- (1). Melalui SPBU untuk kendaraan umum,
- (2). Melalui kapal/tongkang untuk industri-industri besar,
- (3). Melalui mobil tangki untuk industri- industri sedang,
- (4). Melalui pipa untuk PLN,
- (5). Melalui *container*/drum untuk daerah-daerah terpencil

### 1. Penerimaan

Di dalam proses penerimaan bahan bakar minyak oleh industri, hal-hal yang perlu diketahui dan dilaksanakan adalah:

- Rencana nominasi penerimaan bahan bakar minyak harus sesuai atau tersedia ruang kosong pada tangki penimbun di lokasi penerimaan.
- Untuk persiapan penerimaan, lakukan pemeriksaan dokumen yang berkaitan dengan jumlah dan mutu bahan bakar minyak.
- Memeriksa segel-segelnya, apabila ada yang rusak buatkan berita acara atas kejadian tersebut serta segera menghubungi bagian penjualan Pertamina terdekat.
- Memeriksa mutu bahan bakar minyak tersebut secara visual (warna, bau, *specific gravity*), apabila terjadi kecurigaan atas

mutunya segera konsultasi dengan wira penjualan atau *sales engineer* Pertamina setempat.

- Memasang *Bonding Cable* yang ada pada mobil tangki ke tanah.
- Memeriksa tangki timbun, meyakinkan masih ada volume yang cukup untuk menerima serta mencatat volume bahan bakar minyak sebelum penimbunan.
- Menyiapkan selalu *Fire and Safety* (pemadam kebakaran dan keselamatan kerja) guna pencegahan apabila terjadi kebakaran.
- Menyiapkan fasilitas pembongkaran (memasang slang pembongkaran, membuka *valve*, menghidupkan pompa inlet)
- Apabila proses pembongkaran bahan bakar minyak telah selesai, mencatat volume akhir dalam tangki timbun, mengurangi dengan volume awal sehingga didapat volume penerimaan, bila tidak sesuai lakukan pemeriksaan kalibrasi tangki.
- Khusus untuk penerimaan dalam drum milik konsumen, industri kecil dan untuk daerah terpencil tanggung jawab Pertamina hanya sampai ujung *nozzle*.
- Khusus penerimaan melalui pipa sebelum dimulai pemompaan pihak konsumen melakukan pengecekan kuantitas dan kualitas pada tangki yang akan dioperasikan di depot Pertamina.
- Menyelesaikan administrasi penerimaan.
- Melakukan pendiaman minyak hingga stabil dengan maksud memisahkan/mengendapkan air yang teremulsi di dalam bahan bakar minyak.

## **2. Penimbunan**

Pelaksanaan penimbunan dapat dilakukan dengan beberapa cara/ tempat penimbunan, yaitu:

- a. Tangki Vertikal,
- b. Tangki Horizontal.

Untuk penimbunan bahan bakar minyak yang menggunakan tangki horizontal umumnya dibuat dengan kapasitas 15 m<sup>3</sup> sampai dengan 100 m<sup>3</sup>, sedangkan untuk keperluan penimbunan bahan bakar minyak dengan jumlah yang lebih besar dapat dipergunakan tangki tegak/ vertikal.

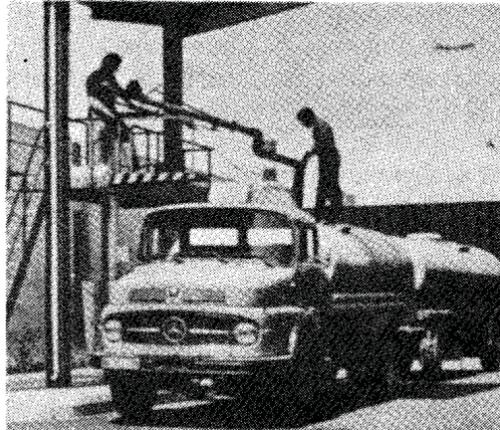
Di dalam proses penimbunan bahan bakar minyak, untuk menjaga faktor kebakaran dan keselamatan kerja, perlu diperhatikan desain tangki timbun yang dipergunakan serta peralatan-peralatan yang harus dilengkapi. Sedangkan hal-hal yang harus diketahui dan dilakukan dalam penimbunan bahan bakar minyak adalah sebagai berikut:

- Lakukan pemeriksaan dan pencatatan jumlah/volume bahan bakar minyak dalam tangki timbun setiap hari dan setiap kali ada mutasi atau pergerakan.
- Periksa secara periodik mutu bahan bakar minyak secara visual (contoh diambil dari bagian atas, tengah dan bawah), apabila terdapat kecurigaan atas mutu bahan bakar minyak tersebut, dapat dikonsultasikan dengan *sales engineer/wira* penjualan Pertamina setempat.
- Setiap 6 tahun sekali dilakukan pembersihan tangki timbun, hal ini dimaksudkan untuk membersihkan segala macam bentuk kotoran dalam tangki yang dapat merusak mutu bahan bakar minyak dalam tangki timbun.
- Lakukan *draining* setiap pagi untuk membuang air yang mengendap.
- Fasilitas serta perlengkapan pendukung penimbunan diusahakan yang kedap terhadap percikan listrik (*flame proof*) guna mencegah kemungkinan kebakaran.
- Harus disediakan fasilitas serta sarana *fire and safety* di lokasi penimbunan bahan bakar minyak.

### 3. Penyaluran/Penggunaan

Di dalam proses penyaluran/penggunaan bahan bakar minyak, hal-hal yang perlu diperhatikan dan dilaksanakan adalah sebagai berikut:

- Memeriksa selalu jalur-jalur perpipaan penyaluran dari kebocoran dan memeriksa saringan/filter.
- Fasilitas serta peralatan pendukung penyaluran diusahakan yang kedap terhadap percikan listrik (*flame proof*) guna mencegah terjadinya kebakaran.
- Melakukan pencatatan terhadap pemakaian bahan bakar minyak setiap harinya sehingga dapat diperkirakan konsumsi setiap bulan serta waktu permintaan penyuplaian bahan bakar minyak.
- Menghindari penyaluran/pengeluaran pada saat yang sama dari tangki yang sama dengan tangki penerimaan. Hal ini untuk menghindari kesalahan perhitungan penerimaan/penyaluran.



Gambar 5-17. Pemindahan Bahan Bakar Minyak

#### 5.5.5. Bahan Bakar Gas

Yang termasuk ke dalam jenis bahan bakar gas adalah gas bumi, gas kota (yang dibuat dari batu bara), propana, butana, asetilina, hidrogen dsb. Bahan bakar tersebut sebagian besar digunakan untuk menghasilkan panas (memanaskan ruang,

pengelasan, pelelehan logam). Pencampuran gas dengan udara (oksigen) berlangsung dalam pembakar gas.

### **Gas bumi**

Merupakan campuran gas yang sebagian besar terdiri dari metana. Gas bumi berada di bawah permukaan bumi secara tersendiri ataupun bersama minyak bumi. Pengambilan dilakukan dengan membuat sumur gas atau sumur minyak. Dari sumur tersebut (di Eropa Barat, terutama Belanda) gas tersebut dialirkan melalui pipa-pipa kekonsumen. Gas bumi tidak beracun. Nilai panasnya lebih dari dua kali nilai panas gas kota.

### **5.6. OPERASI PEMBAKARAN**

Kalor pembakaran yang diperoleh dari reaksi bahan bakar dengan udara, dipergunakan untuk:

- Menaikkan suhu bahan bakar yang dibakar dalam dapur.
- Menaikkan suhu campuran bahan bakar dan udara.
- Sebagian besar yang lain terbuang sebagai:
  - radiasi ke sekeliling,
  - terbawa keluar cerobong dalam gas asap,
  - konduksi dan konveksi ke peralatan dapur.

Temperatur dapur akan maksimum bila kehilangan-kehilangan di atas minimum.

Pada pengoperasian burner memperhatikan kecepatan nyala:

- Pada nyala yang stabil, kecepatan nyala sama dengan kecepatan campuran bahan bakar dan udara yang keluar dari *burner*.
- Bila kecepatan nyala lebih besar akan terjadi "flash back".
- Bila kecepatan nyala lebih kecil akan terjadi "blow off".

Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan nyala:

- tekanan campuran bahan bakar dan udara,
- suhu pembakaran,
- perbandingan udara primer dan bahan bakar,

- efek pendinginan dari lingkungan.

Kecepatan nyala ini tidak dapat diperhitungkan lebih dahulu, kecuali pada keadaan yang sangat tertentu saja. Untuk memperoleh efisiensi yang tinggi dalam pengoperasian dapur, perlu alat-alat kontrol sebagai berikut:

- Kontrol Suhu

Bahan bakar yang masuk ke dalam dapur banyaknya dikontrol oleh temperatur dalam dapur, antara lain pirometer radiasi dan temperatur atap dapur. Bila dibaca terlalu tinggi, maka jumlah bahan bakar harus dikurangi dan seterusnya.

- Kontrol Pembakaran

Pengaturan bahan bakar/udara digunakan flow meter yang disambungkan dengan mekanisme servo pada katup kontrol otomatis.

- Kontrol Aliran

Menjaga kesetimbangan aliran pemasukan udara/bahan bakar dan pengeluaran gas asap.

## **5.7. PETUNJUK UNTUK OPERATOR**

Di bawah ini beberapa petunjuk yang akan membantu para Operator dalam menangani beberapa jenis oven.

### **A. Oven dengan bahan bakar batubara.**

1. Kedalaman api = 15 inchi dari pintu.  
Pemasukan batubara = 1.5-2 sekop penuh tiap sqft luas pembakaran. Bila kebanyakan menghasilkan asap dan boros bahan bakar.
2. Kisi-kisi pembakaran harus selalu tertutup oleh bahan bakar, dijaga ketinggian nyala api, garukan digunakan bila perlu.
3. Bara api yang tertutup abu harus dicegah dengan membersihkan api secara hati-hati. Setelah pembersihan nyala api akan bersih kembali.

4. Jarak batangan penyangga api harus teratur dan bila bengkok harus segera diluruskan.
5. Pemasukan udara dijaga agar nyala api baik.
6. Kebocoran oven harus dicegah agar tidak ada udara luar masuk.

## **B. Oven dengan bahan bakar gas**

1. *Burner* harus selalu bersih dan dipelihara secara rutin. Semua bagian pengatur harus mudah digerakkan. Pengontrol udara pada injektor seringkali macet oleh kotoran/korosi atau rusak.
2. Penutup *oven* harus bebas, bekerja baik dan rapat, agar udara luar tidak masuk.
3. Pengendalian udara yang tepat harus selalu dijaga agar nyala api baik. Untuk lebih tepat dilakukan analisa gas asap. Akan lebih membantu para Operator bila dilengkapi alat pencatat CO<sub>2</sub>.
4. Pada *blast furnace* yang umumnya bekerja dengan nyala api non luminous, nyala api yang panjang dan lemah, menunjukkan terlalu banyak gas. Aliran gas harus dikecilkan, hingga nyala api lebih pendek dan berwarna kekuning-kuningan. Atau menambah suplai udara hingga terdengar nyala api terkuat.  
Nyala api kekuning-kuningan dan cerah adalah yang paling baik. Makin cerah makin baik.
5. Sekali *burner* disetel dengan menghasilkan nyala yang baik, jangan diubah-ubah lagi.
6. Klep pada cerobong harus disetel untuk memperoleh kesetimbangan aliran dalam dapur.

Cara pengetesan:

Hembuskan asap/dekatkan nyala api kecil pada lubang di dinding oven. Bila asap tidak terisap masuk atau lidah api nyala tidak menuju ke lubang, maka letak "damper" betul.

7. Bila oven tidak dipakai, saluran gas, udara dan *damp*er harus ditutup.

### **C. Oven dengan bahan bakar minyak.**

1. Viskositas minyak harus benar.
2. Minyak harus bebas air, karena dapat menunda pembakaran dan membentuk asap tebal.
3. *Burner* harus dilengkapi dengan katup berskala yang menunjukkan besar-kecilnya aliran minyak.
4. *Burner* harus dibuka dan dibersihkan secara teratur, sebaiknya tiap penggantian shift.
5. Bila oven dimatikan, burner harus dipindahkan untuk melindungi dari panas radiasi.
6. Celah lubang *burner* harus dicek secara periodik.

### **D. Aturan umum untuk penghematan bahan bakar:**

1. Dengan alat yang ada harus dibuat rencana agar beban oven selalu penuh.
2. Nyala api harus selalu dijaga berada dalam oven. Agar dicegah terjadinya pembakaran di luar oven atau pada aliran gas asap.
3. Pintu-pintu harus selalu dijaga dalam kondisi baik dan tertutup rapat/tidak bocor.
4. Penggunaan bahan bakar harus disesuaikan dengan kondisi pembakaran.
5. Jumlah bahan bakar harus selalu dicatat, demikian juga dengan berat bahan yang dipanaskan.
6. Kebocoran pada dinding oven adalah penyebab besarnya kehilangan panas.

Dinding oven harus selalu disemir dengan bahan tertentu antara lain campuran tanah liat dan semen api untuk mencegah bocoran udara.

## 5.8. LABORATORIUM PENUNJANG INDUSTRI KIMIA

Laboratorium adalah suatu tempat untuk melakukan percobaan kimia. Pada waktu membuat rancang bentuk (desain) laboratorium, aspek keselamatan atau keamanan orang – orang yang akan bekerja didalam laboratorium tersebut sangat perlu diperhatikan. Berikut ini beberapa hal yang perlu diperhatikan. Berikut ini beberapa hal yang perlu diperhatikan oleh perancang agar laboratorium kimia menjadi tempat yang lebih aman bagi orang yang bekerja di dalamnya

1. Jika laboratorium kimia dilengkapi dengan meja demonstrasi, letak meja demonstrasi berjarak tidak kurang dari 2 m dari meja demonstrasi ke peserta demonstrasi.
2. Lantai laboratorium kimia tidak boleh licin, harus mudah dibersihkan, dan tahan terhadap tumpahan bahan-bahan kimia yang biasa ada di laboratorium kimia.
3. Jendela harus didesain sedemikian sehingga dalam keadaan jendela terbuka tirai (gorden) jendela dapat dibuka dan ditutup tanpa terganggu oleh jendela. Jendela harus dapat dibuka dan ditutup, tanpa orang harus naik ke tempat duduk atau meja.
4. Setiap ruang laboratorium kimia dilengkapi dua pintu yang ukurannya cukup besar dan yang membuka ke luar, diposisikan dekat ujung-ujung ruang. Lebih baik lagi jika kedua pintu tersebut terletak menyilang ruang. Ini diperlukan untuk memudahkan orang yang jumlahnya banyak di dalam laboratorium keluar dari dalam ruang jika terjadi bencana. Keperluan akan pintu membuka keluar memudahkan orang-orang di dalam ruang laboratorium mendobrak pintu ke luar dalam keadaan darurat
5. Setiap ruang laboratorium kimia memerlukan ventilasi (sistem pertukaran udara) yang baik, lebih-lebih laboratorium yang kegiatan di dalamnya menghasilkan berbagai jenis gas. Laboratorium kimia yang banyak menghasilkan gas sebaiknya dilengkapi juga dengan "ventilasi paksa" (*forced ventilation*) menggunakan kipas angin listrik untuk membantu ventilasi alamiah, dan lemari asap.
6. Saluran listrik, gas, dan air ke laboratorium kimia harus memiliki saklar atau keran pusat yang mudah dicapai orang yang bekerja di

laboratorium, sehingga aliran listrik, gas, atau air dapat segera dihentikan jika terjadi bahaya.

7. Setiap ruang laboratorium kimia harus dilengkapi dengan alat-alat pemadam, kebakaran yang sesuai, yang diletakkan di tempat yang mudah dijangkau.
8. Setiap ruang laboratorium kimia harus dilengkapi sekurang-kurangnya dengan satu kotak PPPK yang diletakkan di tempat yang mudah dijangkau pula.



Gambar 5-18. Ruang Laboratorium Kimia

### 5.8.1. Ruang Tempat Menyimpan Alat dan Bahan

Cara untuk menyimpan alat dan bahan untuk laboratorium, yaitu:

1. Semua alat dan bahan disimpan di dalam ruang khusus menggunakan lemari dan/atau rak penyimpanan. Sebaiknya ruang alat terpisah dari ruang bahan-bahan kimia.
2. Alat dan bahan kimia sebaiknya ditempatkan di dalam ruang yang terpisah, kecuali jika alat-alat itu terbuat hanya

dari gelas (kaca) dan tidak mengandung komponen dari logam. Ruang alat dan ruang bahan harus tersekat dengan baik sehingga uap bahan kimia tidak mudah pindah dari ruang yang satu ke ruang yang lain. Dalam hal ruang alat dan ruang bahan merupakan satu ruang, zat-zat kimia harus diletakkan di dalam lemari yang terpisah dengan pintu-pintu lemari menutup rapat.

3. Setiap ruang penyimpanan harus memiliki sistem ventilasi alamiah yang baik agar ruang tidak menjadi lembab dan dipenuhi uap/gas bahan-bahan kimia, terutama bahan-bahan korosif. Jika digunakan kipas, diperlukan pengaturan cara penggunaan kipas sedemikian sehingga tidak menyebabkan kipas terlewati oleh uap korosif. Keadaan ini akan segera menyebabkan bagian-bagian kipas yang terbuat dari logam terkorosi.

### **5.8.2. Bengkel dan Ruang Teknisi Laboratorium Kimia**

Banyak perbaikan alat-alat laboratorium yang dapat dilakukan sendiri oleh teknisi laboratorium. Laboratorium kimia sangat memerlukan ruang bengkel kecil. Di dalamnya terdapat perkakas perbengkelan esensial seperti gergaji besi, gergaji kayu, bor tangan, bor listrik, berbagai jenis tang, kikir, solder listrik, catok, dan lain-lain, termasuk meja bengkel.

### **5.8.3. Membersihkan Area Kerja di Laboratorium Kimia**

#### **1. Membersihkan area kerja**

Ruang dan meja kerja di Laboratorium harus selalu dalam keadaan bersih. Apabila ruang dan perabot di Laboratorium terdapat debu maka harus segera dibersihkan dengan lap. Apabila terjadi tumpahan bahan kimia maka meja kerja harus selalu dibersihkan. Meja kerja harus segera dibersihkan setelah terjadi tumpahan zat / bahan kimia. Apabila bahan kimia yang tumpah tersebut cukup / sangat berbahaya, selain dibersihkan dengan lap, tangan harus dilindungi oleh sarung tangan. Sarung tangan sangat penting untuk

melindungi tangan dari bahaya bahan kimia yang menempel / meresap pada lap pembersih. Untuk membersihkan laboratorium dari gas-gas dapat dipasang exhaust fan dan atau lemari asam. Lemari asam merupakan alat yang paling sering digunakan untuk menghilangkan gas, debu, kabut, uap dan asap dari kegiatan laboratorium untuk meminimalkan timbulnya racun dan konsentrasi bahan yang mudah terbakar.

## **2. Membersihkan Peralatan Laboratorium**

Kebersihan peralatan laboratorium, baik yang berupa peralatan gelas atau non gelas seperti bejana polyethylene, polypropylene dan teflon, merupakan bagian yang sangat mendasar dalam kegiatan laboratorium dan merupakan elemen penting dalam program jaminan mutu. Perhatian kepada kebersihan barang-barang tersebut harus ditingkatkan dan harus proporsional dengan tingkat kepentingan pengujian, akurasi pengukuran yang diperlukan dan menurunnya konsentrasi analit yang akan ditentukan. Setiap laboratorium harus menetapkan prosedur yang memadai untuk membersihkan peralatan gelas dan non gelas yang digunakan dalam berbagai macam pengujian. Apabila metodologi pengujian tertentu mensyaratkan prosedur membersihkan secara spesifik, maka prosedur tersebut harus diikuti.

### **a. Cara Membersihkan Peralatan Laboratorium Secara Umum :**

Proses membersihkan harus dilakukan segera setelah peralatan digunakan. Membuang bahan berbahaya dan pembersihan bahan korosif sebelum peralatan tersebut dibersihkan. Peralatan cuci manual atau otomatis harus menggunakan deterjen yang sesuai dengan kegunaannya. Residu organik memerlukan perlakuan dengan larutan pembersih asam kromat. Peralatan harus dikeringkan dan disimpan dalam kondisi yang tidak memungkinkan terjadinya kontaminasi oleh debu atau bahan lain.

### **b. Cara Membersihkan Timbangan**

Kebersihan timbangan harus dicek setiap kali selesai digunakan, bagian dan menimbang harus dibersihkan dengan menggunakan sikat, kain halus atau kertas (tissue) dan membersihkan timbangan secara keseluruhan timbangan harus

dimatikan, kemudian piringan (pan) timbangan dapat diangkat dan seluruh timbangan dapat dibersihkan dengan menggunakan pembersih seperti deterjen yang lunak, campurkan air dan etanol/alkohol. Sesudah dibersihkan timbangan dihidupkan dan setelah dipanaskan, cek kembali dengan menggunakan anak timbangan.

### **c. Cara Membersihkan dan Merawat Penangas Air (Water Bath)**

#### **Thermostat**

Perawatan secara reguler oleh Jasa Layanan pelanggan tidak diperlukan. Pembersihan yang dibutuhkan pada perawatan (seperti membersihkan sudu-sudu / baling-baling roda yang berputar) dilakukan oleh Operator laboratorium sesuai dengan petunjuk pabrik.

#### **Media pemanas dan Alat**

Media pemanas (misal air) harus dapat diganti dalam kasus bila terlihat adanya kontaminasi ( seperti partikel-partikel, kontaminasi dari reagen). Permukaan alat harus dibersihkan dengan menggunakan pembersih (sabun/ deterjen yang biasa digunakan). Kontaminasi lebih kuat ( adanya deposit kapur), dapat dihilangkan dengan pembersih yang khusus/cocok (misal asam asetat encer).

### **d. Cara Membersihan dan Merawat Thermometer**

Sensor temperatur harus dibersihkan dengan solvent (pelarut) dan dibersihkan dengan air bebas mineral/ aquadest, setelah digunakan.

### **5.8.4. Aturan Kerja di Laboratorium**

1. Persiapkanlah hal yang perlu sebelum masuk laboratorium seperti buku kerja, cara percobaan, jenis bahan, jenis peralatan, dan cara membuang limbah sisa percobaan.
2. Dilarang makan, minum dan merokok di laboratorium.
3. Jagalah kebersihan meja praktikum, apabila meja praktiukm basah segera keringkan dengan lap basah.
4. Pencatatan data hasil percobaan secara lengkap.

### **5.8.5. Persiapan Kerja di Laboratorium**

1. Gunakan peralatan kerja seperti kaca mata pengaman untuk melindungi mata, jas laboratorium untuk melindungi pakaian dan sepatu tertutup untuk melindungi kaki.
2. Dilarang memakai perhiasan yang dapat rusak karena bahan Kimia.
3. Dilarang memakai sandal atau sepatu terbuka atau sepatu berhak tinggi.
4. Wanita/pria yang berambut panjang harus diikat.
5. Biasakanlah mencuci tangan dengan sabun dan air bersih terutama setelah melakukan praktikum.
6. Bila kulit terkena bahan Kimia, janganlah digaruk agar tidak tersebar.

### **5.8.6. Perabot untuk Laboratorium**

Yang dimaksud dengan "perabot" ialah alat-alat seperti meja, kursi, lemari, rak, dll. yang biasa digunakan untuk melengkapi suatu ruang agar dapat berfungsi.

#### **A. Meja Kerja**

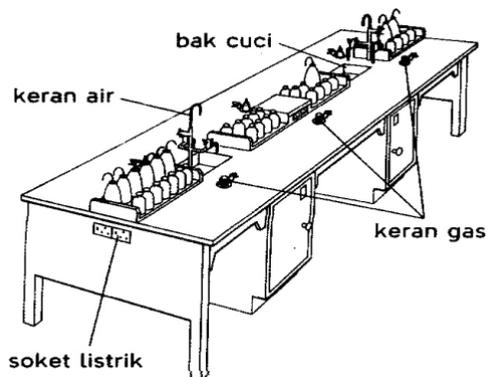
Kegiatan/percobaan kimia pada umumnya dilakukan dengan berdiri sehingga sebaiknya ukuran tinggi meja di sekitar 80 - 90 cm. Lebar meja dapat dibuat antara 60 - 80 cm. Panjang meja minimum 120cm. Seperti terlihat pada foto, meja untuk percobaan kimia dilengkapi dengan lemari, laci-laci dan soket listrik. Meja kimia jenis ini tentulah sukar dipindah-pindahkan.

Meja untuk percobaan kimia yang tidak dipindah-pindah lengkap dengan penyediaan air dan bak air, gas, dan listrik. Perhatikan letak soket listrik yang berada *di ujung-ujung* meja, cukup jauh dari penyediaan air.



Gambar 5-19. Meja kerja laboratorium kimia

Sebaiknya penetapan ukuran meja disesuaikan juga dengan ukuran ruang laboratorium, sedemikian sehingga ruang dapat dimanfaatkan seoptimal-optimalnya dengan meninjau juga persyaratan keamanan, terutama cukupnya tersedia "ruang sirkulasi". Meja untuk percobaan/kegiatan kimia sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan terhadap bahan-bahan kimia korosi Untuk itu sebaiknya permukaan meja dilapisi bahan yang tahan korosi, seperti vinil, resin, formika, HPL, atau bahan-bahan lain.



Gambar 5-20. Contoh meja kimia yang sukar dipindah-pindah

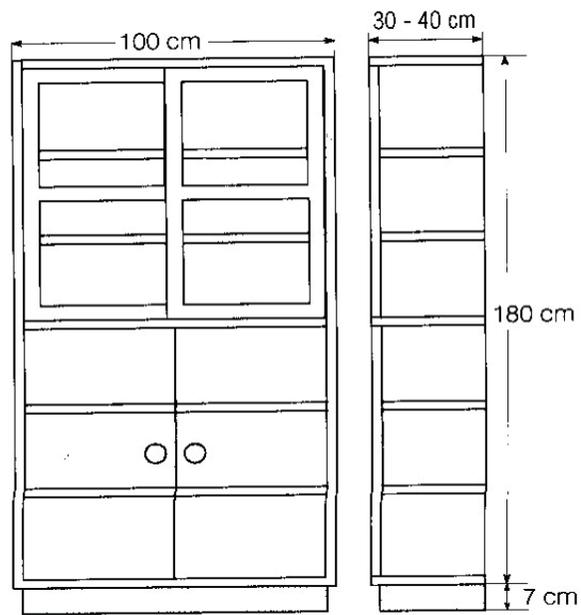
### 1. Lemari Alat dan Bahan

Lemari alat/bahan sebaiknya memiliki rak-rak yang jarak antar sesamanya dapat diubah-ubah sesuai dengan ukuran

tinggi alat yang akan ditempatkan di sana. Ukuran tinggi lemari bergantung pada tempat meletakkannya. Jika tempat memungkinkan untuk meletakkan lemari yang tinggi, lemari dapat dibuat dengan ketinggian maksimum 180 cm. Pembuatan lemari lebih tinggi daripada itu menyusahakan pengambilan alat dari dalamnya. Pengambilan alat dari ketinggian seperti itu dapat menimbulkan kecelakaan. Jika lemari akan ditempatkan di dekat jendela, tentulah tingginya dibuat setinggi palang jendela yang paling bawah.

Ketebalan atau kedalaman lemari berkisar antara 30 - 40 cm. Ini pun bergantung pada ukuran alat yang akan ditempatkan di dalamnya. Akan tetapi, jika ada alat yang ukurannya lebih daripada 40 cm sehingga tidak dapat dimasukkan ke dalam lemari, sebaiknya alat seperti itu disimpan di luar lemari.

Lemari biasanya dibuat tidak terlalu lebar, misalnya di sekitar 100-120 cm. Ini untuk memudahkan pengaturan letaknya di dalam ruang, di samping tidak terlalu berat. Jika ruang sudah tersedia, dapat saja dibuat lemari yang lebarnya sama dengan lebar ruang yang akan menjadi tempatnya. Akan tetapi, lemari seperti ini sukar mengatur letaknya, karena terlalu berat. Untuk menghemat ruang, pintu lemari sebaiknya jenis pintu geser, sehingga jika pintu dibuka, pintu tidak mengambil ruang. Biasanya pintu bagian atas lemari dibuat berkaca untuk memudahkan melihat alat yang disimpan di dalamnya. Pintu bagian bawah dibuat tidak berkaca untuk menghindari pecalnya kaca karena tersinggung kaki. Sebaiknya semua lemari berkunci. Ada lemari yang selalu harus terkunci, yaitu lemari yang berisikan bahan-bahan berbahaya, dan yang berisikan alat-alat yang harganya mahal.



**Gambar 5-21. Contoh lemari alat**



**Gambar 5-22. Lemari bahan kimia**



Gambar 5-23 . Lemari alat & bahan kimia

## 2. Lemari Asap

Lemari asap digunakan sebagai tempat melakukan percobaan yang menghasilkan uap atau gas yang berbahaya bagi tubuh. Tujuan pengadaannya ialah untuk menghindari ruang laboratorium dari pencemaran (kontaminasi) oleh zat-zat (biasanya berupa gas atau uap) berbahaya, yang dihasilkan oleh suatu reaksi kimia. Lemari asap bertugas mengalirkan

Lemari asap harus terbuat dari bahan yang tahan api, tahan asam, dan tahan karat. Selain itu pintu geser lemari asap harus mudah dibuka dan ditutup. Apabila alat-alat di dalam lemari asap tersebut memerlukan saklar, keran gas, dan keran air, alat-alat tersebut harus berada di luar lemari agar dapat dioperasikan dari luar lemari ketika pintu lemari ada dalam keadaan tertutup.

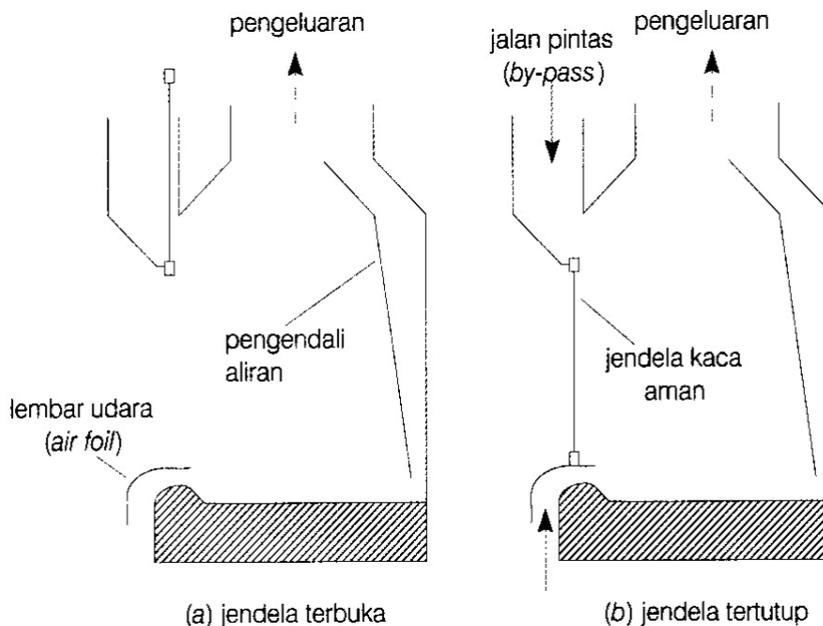
Lemari asap harus mampu memindahkan segala jenis gas atau uap, termasuk uap yang kerapatannya besar (uap "berat") seperti uap brom. Untuk itu digunakan kipas angin listrik pengisap untuk menyedotkan gas-gas hasil reaksi ke luar laboratorium. Agar pengaliran gas-gas berlangsung dengan baik, konstruksi ruang di dalam lemari harus sedemikian sehingga dapat terjadi aliran gas/udara yang bersifat "garis arus"

(*streamline*), tidak aliran turbulens. Gambar tersebut memperlihatkan satu contoh bentuk bagan bagian dalam lemari yang dapat mengalirkan udara/gas dengan aliran udara/gas turbulensinya kecil.

Sebelum menggunakan lemari asap, sebaiknya keadaan lemari asap diperiksa lebih dahulu. Pertama periksa bekerja atau tidak bekerjanya motor penggerak kipas dengan menghidupkannya. Setelah dipastikan kipas bekerja, Dengan selembur kertas tipis di dalam lemari asap ketika kipas lemari sedang berputar. Apabila kertas tertarik ke atas berarti lemari asap berfungsi dengan baik. Laju sirkulasi udara sebaiknya tidak kurang dari 0,3 - 0,5 meter per detik.



**Gambar 5-24. Lemari asap**



Gambar 5-25. Bagan konstruksi lemari asap

### 5.8.7. Sarana Pendukung Laboratorium Kimia

#### a. Pancuran Hujan (*Shower*)

Pancuran hujan (*shower*) digunakan untuk membilas orang yang badan atau pakaiannya terkena cipratan atau tumpahan bahan kimia, lebih-lebih jika bahan kimia itu bersifat korosif. Fasilitas pancuran hujan sebaiknya disediakan pada tempat yang cukup jauh dari meja untuk percobaan sedemikian sehingga semburan airnya tidak membasahi meja kerja siswa atau meja demonstrasi, tetapi mudah dicapai siswa. Gambar 18 memperlihatkan comoh pancuran hujan (*shower*) di suatu perguruan tinggi. Diperlukan tirai penutup dari plastik untuk menghindari menyemprotnya air ke mana – mana.



**Gambar 5-26. Shower**

## **b. Ventilasi**

Ciri khas laboratorium kimia ialah adanya bau beraneka ragam, mulai dari bau yang mungkin menyenangkan sampai ke bau yang menyengat hidung dan bau tidak menyenangkan (busuk). Bau ini tentulah akibat adanya berbagai jenis gas atau uap yang muncul sebagai hasil suatu reaksi kimia, lebih-lebih jika laboratorium tidak dilengkapai dengan lemari asap. Oleh karena itu, sangatlah disarankan agar ruang laboratorium kimia dan ruang tempat penyimpanan bahan diberi ventilasi buatan ("ventilasi paksa"), di samping ventilasi alamiah yang terjadi karena konveksi.



**Gambar 5-27. Kipas sirkulasi udara pada laboratorium kimia**

Gambar diatas memperlihatkan jendela suatu laboratorium kimia yang dilengkapi ventilasi paksa. Ventilatornya berupa kipas angin listrik yang dipasang di atas jendela laboratorium. Ventilator yang tata letaknya seperti ini efektif bagi gas yang rapatannya (*density*) lebih kecil atau tidak banyak berbeda dengan rapatan udara. Akan tetapi, jika rapatan gas atau uap itu secara signifikan lebih besar daripada rapatan udara, tata letak seperti ini tentulah kurang atau bahkan tidak efektif. Dalam hal yang demikian, percobaan yang menghasilkan gas atau uap serti itu harus dilakukan di dalam lemari asap.

### **c. Wadah Limbah dan atau Wadah Sampah**

Laboratorium kimia termasuk laboratorium yang menghasilkan limbah yang lumayan banyaknya. Oleh karena itu, laboratorium kimia memerlukan tempat mewadahi limbah dan/atau sampah, terutama limbah atau sampah yang membahayakan kesehatan dan/atau lingkungan. Limbah atau sampah seperti itu tidak boleh dibuang ke dalam bak cuci, dihanyutkan ke dalam saluran limbah rumah tangga, atau dibuang di sebarang tempat, sebab dapat membahayakan lingkungan. Cara membuangnya

memerlukan konsultasi dengan ahli lingkungan, misalnya ahli pada dinas lingkungan hidup setempat, atau universitas setempat. Yang dimaksud dengan "sarana lain" di sini adalah alat dan bahan yang keberadaannya sangat diperlukan, seperti air mengalir, listrik, dan gas. Tiap-tiap jenis laboratorium memerlukan jumlah yang berbeda-beda sesuai dengan keperluannya masing-masing.

#### **d. Penerangan**

Ruang laboratorium memerlukan intensitas penerangan yang lebih besar daripada ruang kantor. Ini disebabkan di dalam laboratorium banyak dilakukan kegiatan mengamati yang memerlukan kemampuan penglihatan yang lebih baik. Intensitas penerangan minimum yang dianggap mencukupi untuk keperluan laboratorium sekolah adalah 500 lux (lumen/M<sup>2</sup>). Sebagian daripada keperluan ini, pada siang hari yang cerah, dapat diperoleh dari cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang laboratorium melalui jendela kaca. Jika luas jendela kaca tidak mencukupi, intensitas penerangan perlu dibantu dengan menggunakan lampu. Bahkan: pada percobaan- percobaan tertentu, diperlukan penerangan lebih besar berupa lampu "lokal", sejenis lampu meja. Sebagai sumber cahaya sebaiknya digunakan lampu fluoresensi (lampu neon"), sebab cahaya yang dihasilkannya lebih "kaya" akan cahaya putih.

#### **5.8.8. Pengadministrasian Alat dan Bahan**

Mengadministrasi alat dan bahan di sini maksudnya mencatat jumlah/banyaknya alat dan bahan yang ada. Adalah kewajiban petugas tertentu pada suatu laboratorium tersebut. Jenis/nama alat dan bahan laboratorium sangat banyak. Spesifikasi setiap jenis/ nama dapat bermacam-macam. Spesifikasi ini perlu diketahui. Jenis/nama, jumlah/banyak, dan spesifikasi alat/bahan, bahkan nama perusahaan yang memproduksi atau menjual beserta alamatnya perlu dicatat. Sebaiknya pengadministrasian alat dan bahan laboratorium dilakukan

oleh orang yang terlatih khusus untuk menjadi petugas laboratorium seperti teknisi laboratorium atau asisten laboratorium.

Hal-hal yang paling penting dicatat ialah nama alat, jumlahnya/banyaknya, spesifikasinya dan tanggal pengadaan atau tanggal alat dikeluarkan dari catatan. Di samping itu, untuk memudahkan pengadaan kembali alat sejenis, dan permintaan bantuan jika ada masalah, perlu juga dicatat nama pabrik pembuat atau nama perusahaan penjualnya dan kode alat pabrik atau perusahaan tersebut.

Pencatatan dapat dilakukan dengan cara tradisional menggunakan buku atau kartu. Bil digunakan kartu, sebaiknya kartu disusun menurut urutan abjad berdasarkan nama alat. Dengan cara ini pencarian data mengenai suatu alat dengan nama tertentu dapat dilakukan lebih cepat.

Pada masa ini mungkin lebih baik pencatatan alat dan bahan dilakukan dengan bantuan komputer, menggunakan program yang disebut "basis data" (*database*). Dengan menggunakan program komputer pencatatan dan pencarian data dengan nama dan spesifikasi tertentu menjadi lebih mudah dan cepat. Untuk pembuatan programnya dapat dilakukan oleh guru yang mempunyai keahlian dalam memrogram basis data, atau menggunakan jasa pemrogram profesional.

Pencatatan alat sebaiknya dipisahkan dari pencatatan bahan. Setiap nama alat atau bahan yang spesifikasinya tertentu dicatat pada satu satu kartu, terpisah dari halaman atau kartu alat atau bahan sejenis yang spesifikasinya berbeda. Misalnya, gelas kimia dengan spesifikasi 500 ml, kaca tahan panas, bermoncong, tidak berskala, dicatat pada halaman atau kartu terpisah dengan halaman atau kartu untuk gelas kimia sejenis, tetapi berskala.

Nama Alat:  
Spesifikasi:

Nama Pabrik/Perusahaan:  
Kode Pabrik/Perusahaan:

Banyak/ Jumlah	Tanggal	Harga	Uraian	Masuk	Keluar	Sisa

**Gambar 5-28. Contoh kartu/ buku pencatatan alat/ bahan**

**Catatan:** Kolom "Uraian" diisi dengan uraian singkat tentang masuknya dan keluarnya alat/ bahan yang bersangkutan. Misalnya, jika ada alat masuk (alat bertambah) uraiannya dapat berbunyi pembelian atau pemberian, dsb. Jika alat dikeluarkan (alat berkurang), kolom "Uraian" diisi dengan uraian mengenai penyebab dikeluarkannya suatu alat, misalnya karena pecah atau rusak dan tidak dapat diperbaiki, atau hilang.

Kolom "Sisa" diisi sisa alat yang masih perlu dibukukan. Alat yang ada dalam keadaan rusak, tetapi diharapkan masih akan bisa digunakan setelah mengalami perbaikan harus dibukukan. Selain itu juga diperlukan satu buku untuk mencatat alat-alat yang rusak dan yang sedang dalam perbaikan, satu buku untuk mencatat alat-alat atau bahan yang sedang dipesan, dan satu buku harian seperti yang sudah diuraikan di atas.

### 5.8.9. Pengadaan dan Penerimaan Alat-alat dan Bahan

Pengadaan alat dan bahan dapat ditinjau dari dua keadaan yang berbeda, yaitu:

- a. Pengadaan untuk laboratorium baru, yang alat-alat dan bahan-bahannya belum ada, dan
- b. Melengkapi atau mengganti alat yang rusak atau bahan yang sudah habis terpakai, atau bahan yang sudah habis waktu pakainya (kadaluwarsa) pada laboratorium yang sudah ada.

Hal-hal yang perlu diperhatikan :

- a. Alat berkualitas baik, tidak mudah rusak sehingga dapat berfungsi dalam waktu yang lama. Tidaklah mudah bagi guru menetapkan suatu alat itu berkualitas baik, kecuali alat-alat yang strukturnya sederhana dan bersifat statis seperti statif, mistar, klem, *bosshead*, dan sejenisnya, yang tidak bergerak. Alat-alat bergerak seperti kereta dinamika, pemusing (*centrifuge*), pewaktu ketik, dan pembangkit getaran, alat-alat ukur, dan alat-alat listrik/elektronik sejenis galvanometer, amperemeter, osiloskop, generator sinyal, dan lainlain, yang kualitasnya ditinjau dari segi ketahanannya, hanya dapat diketahui setelah digunakan dalam waktu yang lama. Kualitas alat ditinjau dari segi ketelitiannya dapat dinilai segera, jika ada "standar" yang dapat digunakan sebagai pembanding. Dengan "standar" di sini dimaksud alat yang sudah diketahui berketelitian baik.
- b. Dalam hal alat ukur, ketelitiannya memadai, yaitu di sekitar  $\pm 5\%$  atau lebih baik dari itu. Seperti disebut di butir a di atas, pemeriksaan ketelitian dapat dilakukan segera jika alat pembandingnya ada.
- c. Semua alat perlu ada jaminan (garansi) dari pembuat atau pemasoknya yang menyatakan bahwa kerusakan dijamin dalam keadaan bekerja selama waktu tertentu. Namun, agak sukar menentukan lama waktu garansi, karena ada alat yang penggunaannya mungkin hanya sekali atau beberapa kali dalam setahun.

#### **e. Penerimaan Alat-alat Baru**

Alat-alat yang baru diterima perlu diperiksa kesesuaiannya dengan spesifikasi dan jumlah pesanan, atau dengan daftar spesifikasi dan jumlah yang menyertai alat-alat itu.

Spesifikasi dapat menyangkut bahan yang digunakan, kinerja yang diharapkan, dan ukuran fisik yang disebut pada spesifikasi. Spesifikasi mengenai bahan misalnya besi, baja tahan karat, tembaga, kaca borosilikat.

Kinerja menyangkut kemampuan kerja, bekerja atau tidak bekerjanya alat-alat. Jika alat itu alat ukur, kinerja juga berarti ketelitian kemampuan mengukunya. Untuk mengetahui kemampuan mengukunya, perlu memiliki standar sebagai pembanding. Misalnya, untuk menguji kinerja neraca atau massa batu timbangan, kinerja neraca yang diuji itu dibandingkan dengan neraca yang diketahui memiliki kinerja baik. Untuk menguji kinerja amperemeter, kinerjanya dibandingkan dengan kinerja amperemeter yang diketahui baik, misalnya dari merek yang sudah terkenal dan masih bekerja baik.

#### **f. Pemeliharaan Umum Alat-alat**

Pemeliharaan alat bermaksud mencegah terjadinya kerusakan. Kerusakan dapat ditimbulkan oleh beberapa keadaan. Pada pembahasan mengenai penyimpanan sudah dikemukakan suatu keadaan yang dapat menimbulkan kerusakan pada alat, terutama alat-alat yang terbuat dari logam. Keadaan itu adalah keberadaan zat korosif dan udara yang lembab dengan uap air. Itu sebabnya alat-alat yang terbuat dari logam, dan juga alat-alat elektronik, harus dipisahkan dari zat-zat kimia yang bersifat korosif.

Asas pertama dalam memelihara alat dan bahan ialah menjaga kebersihan alat atau kebersihan tempat menyimpan bahan. Kebersihan perlu dilakukan secara periodik, lebih baik lagi jika berjadwal. Asas berikutnya ialah menjaganya atau menghindarkannya dari zat-zat yang korosif terhadapnya, atau

mudah bereaksi dengannya. Zat kimia yang termasuk korosif, yang selalu ada di sekitar kita adalah oksigen yang ada di udara. Dibantu oleh uap air, benda-benda yang terbuat dari besi sangat mudah mengalami korosi yang disebut perkaratan. Oleh karena itu, benda-benda yang berbahan besi harus dihindari dari persentuhan dengan udara dan air atau keadaan lembab. Untuk menghindari benda-benda dari keadaan seperti itu, benda-benda dilapisi dengan cat, atau lapisan logam lain yang lebih tahan terhadap oksigen, misalnya seng, kadmium, krom, dan nikel.

### **1. Alat-alat dari Kaca (Gelas) dan Bahan Tahan Korosi**

Kaca (gelas) sering dianggap zat yang "mulia" karena tidak mudah mengalami korosi. Sifat "mulia" kaca hanyalah sampai suatu tingkat saja. Dengan zat-zat kimia tertentu kaca dapat terkorosi (terkikis) dengan relatif mudah. Asam fluorida dengan mudah dapat mengikis kaca. Banyak zat lain juga bersifat "reaktif" terhadap kaca, kuat atau lemah. Oleh karena itu, alat-alat dari kaca, terutama wadah, perlu dibersihkan dengan baik sehabis digunakan. Jika tidak, lama kelamaan benda-benda dari kaca akan tercemari bahan-bahan kimia yang tidak diinginkan sehingga tidak dapat dianggap bersih.

Pembersihan dapat dilakukan dengan menggunakan deterjen. Kaca yang sudah parah dikotori zat-zat kimia mungkin masih dapat dibersihkan dengan merendamnya di dalam asam format, yaitu 100g kalium bikromat dilarutkan ke dalam 100 g asam sulfat pekat, lalu dimasukkan ke dalam 1 liter air.

Alat-alat yang terbuat dari bahan tahan korosi, seperti baja tahan karat (*stainless steel*) cukup dijaga dengan menempatkannya di tempat yang tidak terlalu lembab, dan sekali-sekali dibersihkan dari debu atau kotoran lain yang melekat padanya. Perlu diketahui, bahwa baja tahan karat pun tidak sepenuhnya tahan korosi. Hanya korosinya berlangsung jauh lebih lambat daripada baja biasa.

## 2. Alat-alat dari Logam

Banyak alat laboratorium yang sebagian atau seluruhnya terbuat dari logam, terutama besi dan baja bukan tahan karat. Logam-logam lain yang juga banyak digunakan ialah aluminium, kuningan, dan tembaga.

Di laboratorium kimia ada statif, pemusing (*centrifuge*), kasa, kaki tiga, neraca, dll. Meskipun pada pembuatannya alat-alat logam ini mungkin sudah diberi perlindungan agar tidak mudah mengalami korosi, keadaan pelindungnya perlu diperiksa secara periodik. Jika lapisan pelindung itu rusak, perlu ada upaya memperbaikinya, bila perbaikan itu dimungkinkan. Perbaikan, yang mungkin dilakukan ialah mengecat ulang, apabila pelindung itu berupa cat. Jika pelapisan dilakukan dengan logam, pelapisannya mungkin di luar kemampuan laboratorium sekolah melakukannya. Perlindungan sederhana dapat dilakukan dengan melapisi bagian yang rusak dengan mengoleskan minyak pelumas pada bagian yang rusak.

Alat-alat logam juga akan lebih aman jika diletakkan (disimpan) di tempat yang kering, tidak lembab, dan bebas dari uap yang korosif. Hal ini sudah dibahas juga pada pembahasan mengenai penyimpanan alat di atas.

## 3. Alat-alat Bergerak

Kerusakan lain dapat terjadi pada alat-alat yang memiliki bagian-bagian bergerak atau berputar. Bagian-bagian alat seperti ini dapat terbuat dari logam, dapat pula dari bahan bukan logam, misalnya plastik. Ada bagian-bagian alat yang bergesekan satu sama lain, seperti roda dengan poros, ulir dengan ulir, dan gerigi dengan gerigi. Agar tidak mudah aus, bagian-bagian yang bergesekan ini secara periodik harus diberi pelumas. Lapisan minyak di antara bagian-bagian yang bergesekan mengurangi ausnya bagian-bagian itu, dengan demikian memperpanjang umur layanan alat-alat tersebut.

## **g. Kalibrasi Peralatan Alat Laboratorium**

### **1. Kalibrasi Timbangan (Neraca)**

#### **a. Pengontrolan Timbangan**

Timbangan dikontrol dengan menggunakan anak timbangan yang sudah terpasang atau dengan dua anak timbangan eksternal, misal 10 gr dan 100 gr. Penyimpangan berat dicatat pada lembar/kartu kontrol, dimana pada lembar tersebut tercantum pula berapa kali timbangan harus dicek. Jika timbangan tidak dapat digunakan sama sekali maka timbangan harus diperbaiki oleh suatu agen (supplier).

#### **b. Penanganan Timbangan**

Kedudukan timbangan harus diatur dengan sekrup dan harus tepat horizontal dengan "Spirit level (waterpass) sewaktu-waktu timbangan bergerak, oleh karena itu, harus dicek lagi. Jika menggunakan timbangan elektronik, harus menunggu 30 menit untuk mengatur temperatur. Jika menggunakan timbangan yang sangat sensitif, anda hanya dapat bekerja pada batas temperatur yang ditetapkan.

Timbangan harus terhindar dari gerakan (angin) sebelum menimbang angka "nol" harus dicek dan jika perlu lakukan koreksi.

Setiap orang yang menggunakan timbangan harus merawatnya, sehingga timbangan tetap bersih dan terawat dengan baik. Jika tidak, sipemakai harus melaporkan kepada manajer lab. timbangan harus dikunci jika anda meninggalkan ruang kerja.

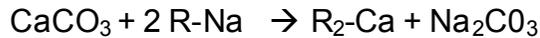
## RANGKUMAN :

1. Utilitas pabrik terdiri dari :
  - Unit penyedia listrik
  - Unit penyedia air
  - Unit pengadaan uap
  - Unit penyedia udara tekan
2. Sumber-sumber air pengisi ketel :
  - Air sumur
  - Air kondensat
3. Syarat air pengisi ketel dan air ketel :

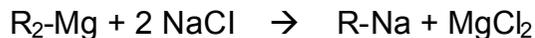
Spesifikasi	Air pengisi ketel	Air ketel
Kesadahan	< 0,1 OD	<0,1 OD
pH	7,5-8,0	10,0-10,8
TDS	Tidak nyata	max 1500
PAkali	50 ppm	300 ppm
M Alkali	100 ppM	500 ppm
Chlorine	Tidak nyata	max 70 ppm
Sulfit	30 ppm	max 60 ppm
Oksigen	Tidak nyata	-
Silikat	Tidak nyata	
Fe		Tidak nyata
P205		Max 30 ppm

4. Pengolahan air dapat dilakukan dengan cara pemurnian dan pelunakan.
5. Pelunakan air yaitu proses penghilangan ion-ion yang terlarut dalam air dapat melibatkan penukar kation (*cation exchanger*) yang berupa resin Na (R-Na). Proses-pertukaran-ion natrium merupakan proses yang paling banyak digunakan untuk melunakkan air. Dalam proses pelunakan ini, ion-ion kalsium dan magnesium disingkirkan dari air berkesadahan tinggi dengan jalan pertukaran kation dengan natrium. Bila resin penukar itu sudah selesai menyingkirkan sebagian besar ion kalsium dan magnesium sampai batas kapasitasnya, resin itu di kemudian diregenerasi kembali ke dalam bentuk natriumnya

6. Dalam reaksi pelunakan air di bawah ini, lambang R menunjukkan radikal penukar kation. Resin tersebut menghilangkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  penyebab kesadahan. Reaksinya sebagai berikut:



7. Reaksi regenerasi menggunakan air garam ( $\text{NaCl}$ ) dapat dilukiskan sebagai berikut:



8. Korosi dapat dicegah dengan penghilangan oksigen dan mengatur pH bersifat alkalis. Kerak (*scaling*) dikendalikan dengan mengikat kesadahan dalam air. Untuk mengendalikan kerak dan korosi digunakan WQ yang berisi natrium bisulfit dan natrium trifosfat.
9. *Cooling tower* digunakan untuk mendinginkan air kondensat sebelum masuk ke dalam ketel.
10. Uap (*Steam*) sangat berperan penting dalam proses untuk menggerakkan mesin-mesin bertenaga uap dan pemanas awal. Sebuah ketel uap (*boiler*) digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan pertolongan panas.
11. Ketel yang akan diperiksa, harus dipersiapkan:
- Ketel dibersihkan bagian luar dan dalam, bersih dari batu ketel, lumpur dan kotoran lainnya
  - Semua lubang uap/air/ peralatan keteldisumbat dengan baik
  - Semua bagian ketel yang dipandang dapat menghambat pemeriksaan, dilepas.
12. Pemeriksaan ketel dibagi menjadi dua macam yaitu *pemeriksaan dalam* dan *pemeriksaan luar*. Periode pemeriksaan, untuk ketel kapal dilakukan 1 tahun sekali, sedangkan ketel darat: pemeriksaan dalam 3 – 4 tahun sekali dan pemeriksaan luar 2 tahun sekali.
13. Hal yang penting dalam *pemeriksaan dalam* adalah :

- keadaan bahannya
- apakah bahannya tidak rusak setempat
- apakah tidak terdapat rengat-rengat pada tempat-tempat tikungan
- apakah penguat-penguat masih cukup kuat

Cara memeriksanya :

5. dengan pancaindra
6. dengan pukulan-pukulan palu, dan suaranya didengar
7. dengan alat magnet
8. dengan sinar rontgent

14. Hal yang penting dalam *pemeriksaan luar* adalah :

3. menyelidiki sambungan-sambungan ketel bila terjadi kebocoran
4. menyelidiki perubahan bentuk (pada bagian datar)

Cara *memeriksanya*:

5. ketel diisi dengan air sampai penuh (air dingin atau hangat, tidak boleh dengan uap)
6. setelah semua lubang tertutup rapat kemudian dipres dengan pres tangan (pompa tangan)
7. kemudian dilihat kemungkinan adanya kebocoran
8. tekanan ketel waktu dicoba dibuat lebih tinggi dibanding waktu kerja (waktu paling lama 15 menit)

15. Beberapa macam bahan bakar yang dikenal adalah:

Bahan bakar fosil, seperti: batubara, minyak bumi, dan gas bumi.

Bahan bakar nuklir, seperti: uranium dan plutonium. Pada bahan bakar nuklir, kalor diperoleh dari hasil reaksi rantai penguraian atom-atom melalui peristiwa radioaktif.

Bahan bakar lain, seperti: sisa tumbuh-tumbuhan, minyak nabati, minyak hewani.

16. Bahan bakar konvensional, ditinjau dari keadaannya dan wujudnya adalah :

- Padat
- Cair

- Gas

17. Cara untuk menyimpan alat dan bahan untuk laboratorium, yaitu:

- Semua alat dan bahan disimpan di dalam ruang khusus menggunakan lemari dan/atau rak penyimpanan.
- Alat dan bahan kimia sebaiknya ditempatkan di dalam ruang yang terpisah.
- Setiap ruang penyimpanan harus memiliki sistem ventilasi alamiah yang baik agar ruang tidak menjadi lembab dan dipenuhi uap/gas bahan-bahan kimia, terutama bahan-bahan korosif.

18. Membersihkan area kerja

- Ruang dan meja kerja di Laboratorium harus selalu dalam keadaan bersih.
- Apabila terjadi tumpahan bahan kimia maka meja kerja harus selalu dibersihkan. Meja kerja harus segera dibersihkan setelah terjadi tumpahan zat / bahan kimia.
- Apabila bahan kimia yang tumpah tersebut cukup / sangat berbahaya, selain dibersihkan dengan lap, tangan harus dilindungi oleh sarung tangan.
- Untuk membersihkan laboratorium dari gas-gas dapat dipasang exhaust fan dan atau lemari asam. Lemari asam merupakan alat yang paling sering digunakan untuk menghilangkan gas, debu, kabut, uap dan asap dari kegiatan laboratorium untuk meminimalkan timbulnya racun dan konsentrasi bahan yang mudah terbakar.

## CONTOH SOAL :

1. Suatu resin sintesis penukar ion digunakan untuk mengurangi kadar ion  $\text{Cu}^{2+}$  dalam larutan buangan limbah industri. Umpan mengandung garam  $\text{CuSO}_4$  sebanyak 20 mg ekuivalen (meq)  $\text{Cu}^{2+}$ /liter larutan dan laju alir umpan 10000 galon/jam. Operasi dilakukan secara kontinu, dan regenerasi terhadap resin dilakukan secara berlawanan arah pada menara tegak (*vertical column*). Hasil pengolahan menunjukkan bahwa 99% ion  $\text{Cu}^{2+}$  dari larutan umpan dapat dikurangi. Proses regenerasi dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2 N.

### *Perolehan ion $\text{Cu}^{2+}$*

Laju alir cairan adalah 2,2 liter/jam.  $\text{cm}^2$ , kecepatan perpindahan massa 2.0 meq ion  $\text{Cu}^{2+}$ / (jam) (gr resin) (meq  $\text{Cu}^{2+}$ /liter). Resin yang telah diregenerasi mengandung 0.30 meq ion  $\text{Cu}^{2+}$ / $\text{Cu}^{2+}$ /gram serta 1,2 kali kecepatan perpindahan ion  $\text{Cu}^{2+}$  dalam resin minimum rasio larutan yang akan digunakan.

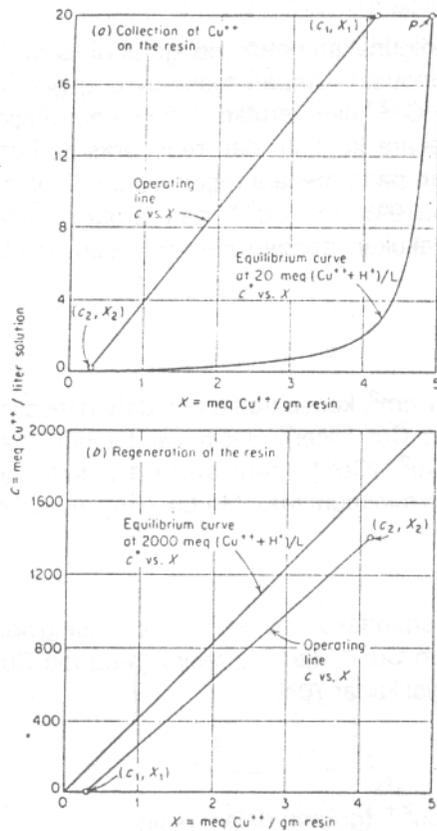
### *Regenerasi resin*

Kecepatan aliran dan kecepatan perpindahan massa masing-masing adalah 0,17 liter/(jam)( $\text{cm}^2$ ) dan 0,018 meq ion  $\text{Cu}^{2+}$ / (jam)(g resin) (meq ion  $\text{Cu}^{2+}$ /liter).  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang digunakan mempunyai kadar 70%.

Hitunglah :

- a. kecepatan perpindahan ion  $\text{Cu}^{2+}$  (gr/jam) dalam resin
- b. hold-up resin (lb)
- c. kebutuhan karbon (lb) per 1000 lb larutan
- d. kebutuhan karbon (lb) per 100 lb larutan bila aliran berlangsung secara berlawanan arah.

Kesetimbangan untuk pertukaran ion  $\text{Cu}^{2+} - \text{H}^+$  telah disediakan oleh Selke dan Bliss yang mempunyai dua batas harga konsentrasi, yaitu antara 20 meq kation/liter dan 2000 meq kation/ liter. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 5.29 berikut



Gambar 5.29. Kurva penyelesaian contoh 1  
 a. Pertukaran ion  $\text{Cu}^{2+}$       b. Regenerasi resin

Perolehan ion  $\text{Cu}^{2+}$

$$\begin{aligned} \text{Larutan umpan} &= 10000 \text{ gal/jam} \\ &= (10000 \text{ gal/jam})(3,785 \text{ liter/gal}) \\ &= 37850 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$c_1 = 20 \text{ meq ion } \text{Cu}^{2+}/\text{liter}$$

$$c_2 = 0,01 (20) = 0.2 \text{ meq ion } \text{Cu}^{2+}/\text{liter}$$

$$\begin{aligned} \text{Cu}^{2+} \text{ yang diolah} &= (37850 \text{ liter/jam})(20-0.20) \text{ meq } \text{Cu}^{2+}/\text{liter} \\ &= \underline{750.000} \frac{\text{meq } \text{Cu}^{2+}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

(jawab a)

$X_2 = 0,30$  meq  $\text{Cu}^{2+}$ /gram. Titik  $(c_2, X_2)$  dapat ditunjukkan di Gambar 6.3 di atas. Untuk resin minimum larutan dan garis operasi dalam kesetimbangan dengan konsentrasi  $c_1$ .

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan resin minimum} &= \frac{7500000 \text{ meq Cu}^{2+} / \text{jam}}{(4,9 - 0,30) \text{ meq Cu}^{2+} / \text{g}} \\ &= 163000 \text{ gr/jam.} \end{aligned}$$

Untuk 1.2 kali kecepatan resin minimum :

$$\begin{aligned} &= 1,2 (163000) \text{ gr/jam} \\ &= 196000 \text{ gr/jam} \\ &= \underline{430 \text{ lb/jam.}} \end{aligned}$$

Neraca massa untuk Cu :

$$750000 = 196000(X_1 - 0.30)$$

$$\rightarrow X_1 = 4,12 \text{ meq Cu}^{2+} \text{ gr resin}$$

Kemudian dibuat garis operasi yang melalui titik  $(c_1, X_1)$  di Gambar-6.3a di atas. Bila diberikan data-data konsentrasi dalam kesetimbangan :

c	20	16	12	8	4	2	1	0.2
$c^*$	2,4	1,9	0,5	0,25	0,10	0,05	0,02	0
$\frac{1}{c - c^*}$	0,057	0,071	0,087	0,13	0,26	0,51	1,00	5

Catatan : c = konsentrasi ion  $\text{Cu}^{2+}$  dalam mg/liter larutan

Jumlah resin dalam kolom :

$$L_s \cdot dX = G_s \cdot dY = K_y \cdot a_p (Y - Y^*) dz \quad (1)$$

$$V \cdot dC = \frac{K_L \cdot a_p}{\rho_s} (c - c^*) d(SZ?_s) \quad (2)$$

atau

$$SZ?_s = \frac{V}{K_L \cdot a_p / \rho_s} \int_{c_2}^{c_1} \frac{dc}{(c - c^*)} \quad (3)$$

Dari data-data di atas, dapat dibuat kurva hubungan antara  $1/(c - c^*)$  sebagai ordinat dan c sebagai absis, sehingga harga integral

dapat dihitung secara grafis, yaitu dengan menghitung luas daerah di bawah kurva.

Luas daerah di bawah kurva = 5,72.

$$\begin{aligned} \text{Hold-up resin} &= 5,72 \times 37850 \text{ liter/jam} \\ &= 108,300 \text{ gram} \\ &= \underline{239 \text{ lb.}} \end{aligned}$$

### *Regenerasi resin*

Ion  $\text{Cu}^{2+}$  yang ditukar = 750000 meq/jam ekuivalen dengan sejumlah meq ion  $\text{H}^+$ /jam. Kadar asam sulfat sebesar 70 %, maka umpan yang diolah harus mengandung ion  $\text{H}^+$  sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Ion H}^+ &= \frac{750000}{0.70} \text{ meq/ jam} \\ &= 1.071.000 \text{ meq/jam} \\ &= 536 \text{ liter/jam.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= 0.30 \text{ meq Cu}^{2+}/\text{gr mesin} ; & c_1 &= 0 \\ X_2 &= 4.12 \text{ meq Cu}^{2+}/\text{gr resin} ; & c_2 &= 750000/536 \\ & & &= 1400 \text{ meq Cu}^{2+}/\text{liter} \end{aligned}$$

Titik  $(c_1, X_1)$  dan  $(c_2, X_2)$  dapat ditarik garis operasi yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3b di atas. Integrasi terhadap laju alir yaitu garis operasi dan garis kesetimbangan berbentuk linier ditulis sebagai berikut :

$$V(c^*-c) = \frac{K_L a_p}{\rho_s} (SZ?_s)(c^*-c)_m \quad (4)$$

Dengan

$(c^* - c)_m$  = rata-rata logaritma (logarithmic average) gaya dorong di kolom

$$(c^*_1 - c_1) = 120 - 0 = 120 \text{ meq ion Cu}^{2+}/\text{liter}$$

$$(c^*_2 - c_2) = 1700 - 1400 = 300 \text{ meq ion Cu}^{2+}/\text{liter}$$

$$(c^* - c)_m = \frac{c^*_2 - c_2}{\ln((c^*_2 - c_2)/(c^*_1 - c_1))} = \frac{300 - 120}{\ln(300/120)}$$

$$= 196,5 \text{ meq ino Cu}^{2+}/\text{liter}$$

Data-data yang diperoleh di atas disubstitusikan ke Persamaan (4), maka *hold-up* resin yang diregenerasi di dalam kolom adalah :

$$750.000 = 0.018 (\text{SZps}) (196.5)$$

Jadi,  $\text{SZ?}_s = 212.000 \text{ gram}$   
 $= \underline{476 \text{ lb.}}$  (jawab b)

$$L_{s1} = \frac{G(Y_0 - Y_1)}{X_1 - X_0} = \frac{1000(9,6 - 3,3)}{565 - 0} = 11,14 \text{ lb}$$

$$L_{s2} = \frac{G(Y_1 - Y_2)}{X_2 - X_1} = \frac{1000(3,3 - 0,96)}{270 - 0} = 8,67 \text{ lb}$$

Jadi,  $(L_{s1} + L_{s2}) = 11,14 + 8,67$   
 $= 19,81 \frac{\text{lb karbon}}{1000 \text{ lb laru tan}}$  (jawab c)

Cara lain :

Sebagai alternatif untuk perhitungan di atas, adalah memakai persamaan *Freundlich*, maka diperoleh :

Untuk :  $Y_2/Y_0 = 0,96/9,6 = 0,10$  ;  $n = 1,66$

dari Gambar 5.20 diperoleh :  $Y_1/Y_0 = 0.344$

$$\rightarrow Y_1 = 0,344 Y_0 = 0,344 (9,6)$$

$$= 3,3$$

$$\frac{L_{s1}}{G_8} = \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_1/m)^{1/n}} = \frac{9,6 - 3,3}{[(3,3/(8,91 \cdot 10^{-5}))]^{1/1,66}}$$

$$= 0,01114 \frac{\text{lb karbon}}{\text{lb laru tan}}$$
 (di tahap

- 1)

$$\frac{L_{s1}}{G8} = \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_2 / m)^{1/n}} = \frac{3,3 - 0,96}{[(0,6 / (8,91 \cdot 10^{-5}))^{1/1,166}]}$$

$$= 0,00867 \frac{\text{lb karbon}}{\text{lb laru tan}} \quad (\text{di tahap})$$

– 2)

$$\begin{aligned} \therefore \text{Total karbon yang diperlukan per 1000 lb larutan :} \\ &= 1000 (0,01114 + 0,00867) \\ &= 19,81 \frac{\text{lb karbon}}{100 \text{ lb laru tan}} \end{aligned}$$

$$Y_0 = 9,6 ; Y_1 = 0,96 ; X_{N+1} = 0$$

Agar diperoleh dua tahap operasi, maka letak garis operasi di Gambar 6.3 di atas dapat ditentukan secara coba-coba. Dari gambar tersebut diperoleh pada titik E,  $X_1 = 675$ .

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{G_s (Y_0 - Y_2)}{X_1 - X_{N+1}} = \frac{100 (9,6 - 0,96)}{675 - 0} \text{ lb karbon} \\ &= 12,8 \frac{\text{lb karbon}}{1000 \text{ lb laru tan}} \end{aligned}$$

Alternatif :

$Y_2/Y_0 = 0,96/0,96 = 0,10 ; n = 1,66 ;$  dari Gambar 5.24, maka diperoleh

$$\begin{aligned} Y_2/Y_1 &= 0,217 \text{ atau } Y_1 &= Y_2/0,217 \\ & &= 0,96/0,217 \\ & &= 4,42 \end{aligned}$$

Kebutuhan karbon per 1000 lb larutan :

$$\therefore L_s = 1000 (0,0218) = 12,8 \frac{\text{lb karbon}}{1000 \text{ lb laru tan}}$$

Komentar :

Ternyata kebutuhan karbon (adsorben) untuk aliran berlawanan arah lebih kecil dari pada proses partaian untuk jumlah tahap sama.

### LATIHAN SOAL:

Suatu gas nitrogen-dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dihasilkan dengan menggunakan proses panas yaitu adsorpsi udara pada silika gel yang berlangsung secara kontinu dengan aliran *counter-current*. Gas yang masuk mengandung 1,5 % volume gas  $\text{N}_2$  dan laju alirnya sebesar 1000 lb/jam. Operasi berlangsung secara isothermal, yang itu pada  $25^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atmosfer serta 90 % gas  $\text{N}_2$  yang masuk dapat diadsorpsi. Pada saat dimasukkan, silica gel babas gas  $\text{N}_2$ . Data-data eksoterm kesetimbangan adsorpsi dapat diberikan sebagai berikut :

Tek. parsial $\text{N}_2$ (mmHg)	0	2	4	6	8	10	12
$\frac{\text{gr N}_2}{100 \text{ gr gel}}$	0	0.4	0.9	1.6	2.6	3.6	4.8
				5	0	5	5

Hitunglah :

- Jumlah berat minimum gel yang diperlukan/jam
- Bila kecepatan gel minimum diperbesar menjadi dua kali perkiraan jumlah unit transfer yang diperlukan

Suatu kolom adsorpsi diisi dengan resin sintesis penukar kation (asam sulfonat), sehingga membentuk unggun diam (*fixed-bed*) Larutan umpan 4 mengandung  $0,120 \text{ meq Na}^+ / \text{cm}^3$  dilewatkan unggun tersebut dengan kecepatan  $0,31 \text{ cm/det}$ . Dalam kondisi jenuh (saturation), resin mengandung  $2.02 \text{ meq Na}^+ / \text{cm}^3$  resin. Adsorptivitas relatif untuk  $\text{Na}^+$  terhadap  $\text{H}^+$ ,  $a = 1.20$  (kontan). Konstanta perpindahan massa cairan,  $K_L \cdot a_p = 0.86 v_L^{0.5}$ , yaitu  $v_L$  adalah kecepatan aliran cairan dalam  $\text{cm/detik}$ .

- Tetapkan konsentrasi breakpoint sebesar 5% dari konsenrasi larutan umpan bila diasumsikan bahwa konsentrasi larutan efluen (keluaran) sebesar 95 % dari konsentrasi larutan umpan
- Perkiraan volume efluen pada titik breakpoint dinyatakan dalam  $\text{cm}^3 / \text{cm}^2$  luas penampang unggun

### CATATAN :

- $K_L \cdot a_p$  dalam  $\text{meq Na}^+ / (\text{det}) (\text{cm}^3) (\text{meq} / \text{cm}^3)$
- Breakpoint - titik belok.g

## **BAB VI**

### **KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

#### **6.1. PENDAHULUAN**

Di dalam memasuki Era Globalisasi, maka upaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja harus mendapatkan perhatian yang serius bagi dunia industri, hal ini dikarenakan dengan adanya kecelakaan kerja termasuk penyakit akibat kerja, peledakan dan kebakaran serta pencemaran lingkungan kerja, akan menurunkan kredibilitas dari suatu perusahaan tersebut di mata pembeli/pemakai produknya.

Adapun mengenai upaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang dimaksudkan untuk memberikan jaminan Keselamatan dan meningkatkan derajat Kesehatan para pekerja/buruh dengan cara pencegahan kecelakaan dan penyakit akibat kerja, pengendalian bahaya di tempat kerja, promosi kesehatan, pengobatan dan rehabilitasi. Selanjutnya dengan perkembangan dunia industri maka dirasa perlu melaksanakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja, yang pada dasarnya ialah bagaimana kita melaksanakan industri/berproduksi dengan aman, nyaman, tidak ada gangguan kecelakaan kerja termasuk peledakan, kebakaran, penyakit akibat kerja dan pencemaran lingkungan kerja.

Apa sebab dikatakan pencemaran lingkungan kerja, karena Undang-Undang kita tentang Keselamatan Kerja, ialah mengatur mengenai tempat kerja agar jangan sampai terjadi pencemaran di lingkungan kerja atau tempat kerja. Yang akibatnya apabila tidak mendapatkan perhatian yang serius dari perusahaan akan menjalar menjadi pencemaran lingkungan di luar tempat kerja, dan mengakibatkan penderitaan bagi masyarakat di lingkungan perusahaan, akhirnya perusahaan akan mendapatkan perlawanan dari masyarakat di sekitar lingkungan tersebut. Sehingga keberadaan perusahaan tersebut menjadikan tidak aman, nyaman dan sejahtera bagi tenaga kerja maupun masyarakat di lingkungannya. Selanjutnya dengan adanya pelaksanaan keselamatan dan kesehatan kerja ini maka diharapkan agar setiap tenaga kerja yang bekerja di tempat kerja mendapatkan rasa aman, nyaman dan sejahtera, tujuan keselamatan dan kesehatan kerja akan tercapai. Untuk mencapai tujuan keselamatan dan kesehatan kerja telah diupayakan adanya Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, yang pada prinsipnya harus adanya Komitmen dari

Pengusaha dan ditulis menjadi KEBIJAKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA antara lain berisi apa yang diharapkan oleh Pengusaha dalam melaksanakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja di perusahaan yang bersangkutan.

### **6.1.1. Pengertian K3**

Untuk mempelajari keselamatan dan kesehatan kerja diperlukan pengertian mengenai istilah yang terdapat di dalam uraian yang akan kita pelajari, sehingga tidak akan terjadi kesalahan pengertian/maksud.

Keselamatan dan Kesehatan Kerja

a. Secara Etimologis

adalah memberikan upaya perlindungan yang ditujukan agar tenaga kerja dan orang lain di tempat kerja selalu dalam keadaan selamat dan sehat dan agar setiap sumber produksi perlu dipakai dan digunakan secara aman dan efisien.

b. Secara Filosofi

adalah suatu konsep berfikir dan upaya nyata untuk menjamin kelestarian tenaga kerja dan setiap insan pada umumnya beserta hasil karya dan budaya dalam upaya mencapai masyarakat adil, makmur dan sejahtera.

c. Secara Keilmuan

Adalah suatu cabang ilmu pengetahuan dan penerapan yang mempelajari tentang cara penanggulangan kecelakaan di tempat kerja lainnya.

### **6.1.2. Fakta Tentang K3**

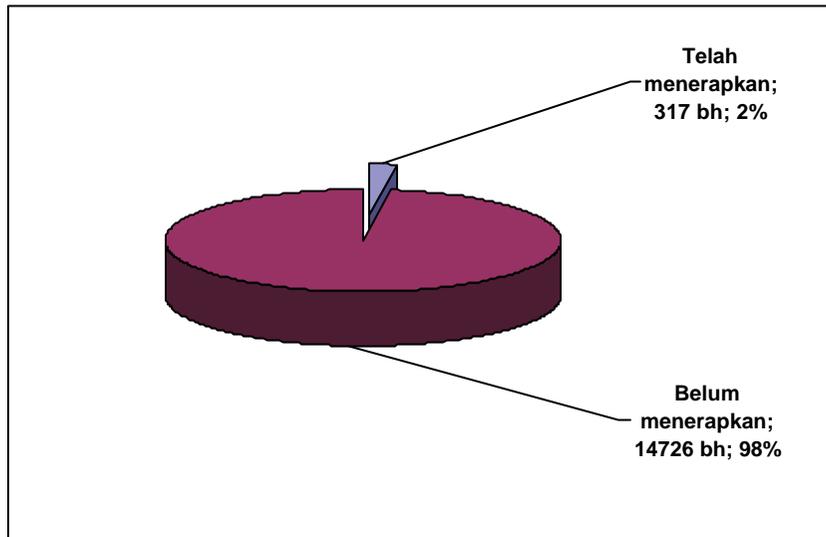
Riset yang dilakukan badan dunia ILO menghasilkan kesimpulan, setiap hari rata-rata 6.000 orang meninggal, setara dengan satu orang setiap 15 detik, atau 2,2 juta orang per tahun akibat sakit atau kecelakaan yang berakibatkan dengan pekerjaan mereka. Jumlah pria yang meninggal dua kali lebih banyak ketimbang wanita, karena mereka lebih mungkin melakukan pekerjaan berbahaya. Secara keseluruhan, kecelakaan di tempat kerja telah menewaskan 350.000 orang. Sisanya meninggal karena sakit yang diderita dalam pekerjaan seperti membongkar zat kimia beracun (ILO, 2003).

Kecelakaan kerja tidak harus dilihat sebagai takdir, karena kecelakaan itu tidaklah terjadi begitu saja. Kecelakaan pasti ada penyebabnya. Kelalaian perusahaan yang semata-mata memusatkan diri pada keuntungan, dan kegagalan pemerintah untuk meratifikasi konvensi keselamatan internasional atau melakukan pemeriksaan buruh, merupakan dua penyebab besar kematian terhadap pekerja. Negara kaya sering mengeksport pekerjaan berbahaya ke negara miskin dengan upah buruh yang lebih murah dan standar keselamatan pekerjaan yang lebih rendah.

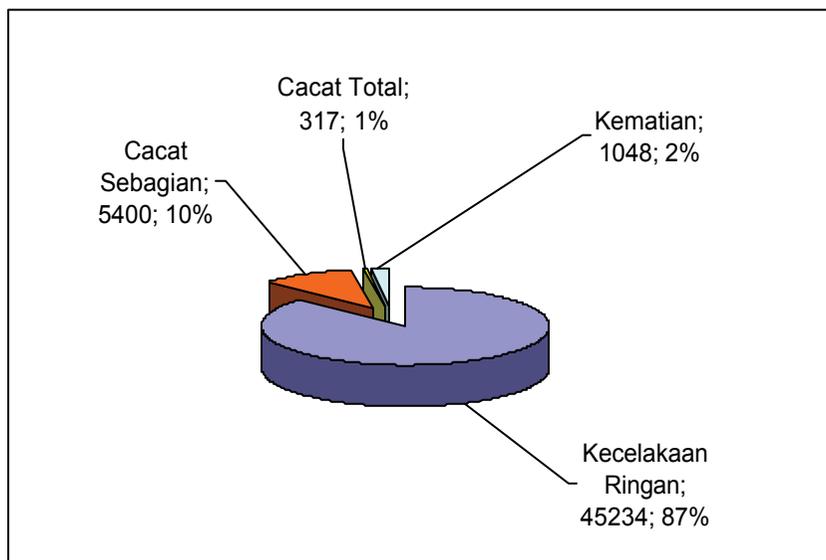
Selain itu, di negara-negara berkembang seperti Indonesia, undang-undang keselamatan kerja yang berlaku tidak secara otomatis meningkatkan kondisi di tempat kerja, disamping hukuman yang ringan bagi yang melanggar aturan. Padahal meningkatkan standar keselamatan kerja yang lebih baik akan menghasilkan keuangan yang baik. Pengeluaran biaya akibat kecelakaan dan sakit yang berkaitan dengan kerja merugikan ekonomi dunia lebih dari seribu miliar dolar (850 miliar euro) di seluruh dunia, atau 20 kali jumlah bantuan umum yang diberikan pada dunia berkembang. Di AS saja, kecelakaan kerja merugikan pekerja puluhan miliar dolar karena meningkatnya premi asuransi, kompensasi dan menggaji staf pengganti.

Angka keselamatan dan kesehatan kerja (K3) perusahaan di Indonesia secara umum ternyata masih rendah. Berdasarkan data organisasi buruh internasional di bawah PBB (ILO), Indonesia menduduki peringkat ke-26 dari 27 negara. Grafik di halaman berikut menunjukkan kondisi Indonesia di tahun 2002-2003.

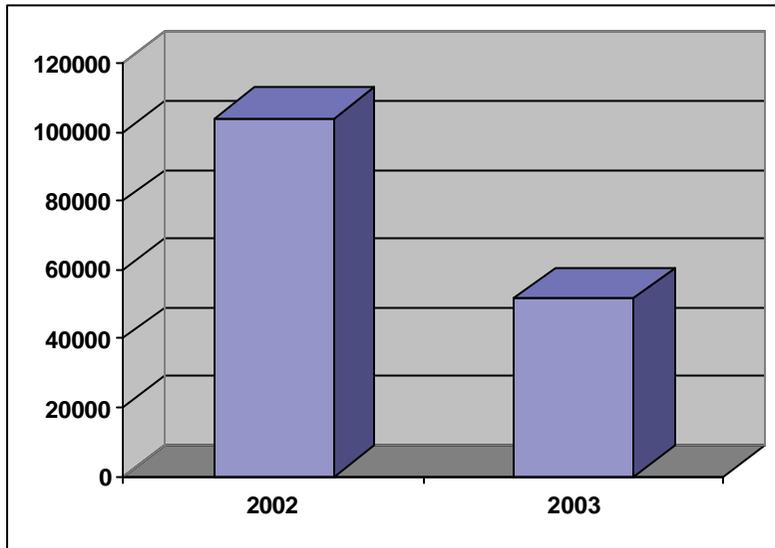
### Persentase perusahaan besar yang telah menerapkan K3 tahun 2003



Gambar. 6.1. Persentase perusahaan besar yang telah menerapkan K 3 tahun 2003



Gambar 6.2 Tabel kecelakaan kerja tahun 2002 – 2003



Gambar 6.3. Grafik kecelakaan di industri tahun 2002 – 2003

Gambar 6.3 tersebut menunjukkan, grafik kecelakaan di industri tahun 2002-2003, penerapan K3 di perusahaan-perusahaan Indonesia masih jauh dari yang diharapkan. Padahal kalau kita menyadari secara nyata bahwa volume kecelakaan kerja juga menjadi kontributor untuk melihat kesiapan daya saing. Jika volume ini masih terus tinggi, Indonesia bisa kesulitan dalam menghadapi pasar global. Jelas ini akan merugikan semua pihak, termasuk perekonomian kita. Juga terjadi ketidakefisienan sehingga tidak bisa bersaing.

Jadi, berdasarkan fakta-fakta sebagaimana dikemukakan di depan dapat disimpulkan, perkembangan dan pertumbuhan suatu bangsa, baik sekarang maupun yang akan datang tentunya tidak bisa lepas dari peranan proses industrialisasi. Maju mundurnya suatu industri sangat ditunjang oleh peranan tenaga kerja (baca: buruh). Untuk dapat membangun tenaga kerja yang produktif, sehat, dan berkualitas perlu adanya manajemen yang baik, terutama yang terkait dengan masalah Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3).

K3 yang termasuk dalam suatu wadah hygiene perusahaan dan kesehatan kerja (hiperkes) terkadang terlupakan oleh para pengusaha. Padahal, K3 mempunyai tujuan pokok dalam upaya memajukan dan mengembangkan proses industrialisasi, terutama dalam mewujudkan

kesejahteraan para buruh.

Tujuan dari Sistem Manajemen K3 adalah:

1. Sebagai alat untuk mencapai derajat kesehatan tenaga kerja yang setinggi-tingginya, baik buruh, petani, nelayan, pegawai negeri, atau pekerja-pekerja bebas.
2. Sebagai upaya untuk mencegah dan memberantas penyakit kecelakaan-kecelakaan akibat kerja, memelihara, dan meningkatkan kesehatan dan gizi para tenaga kerja, merawat dan meningkatkan efisiensi dan daya produktivitas tenaga manusia, memberantas kelelahan kerja dan melipatgandakan gairah serta kenikmatan bekerja.

Lebih jauh sistem ini dapat memberikan perlindungan bagi masyarakat sekitar suatu perusahaan agar terhindar dari bahaya pengotoran bahan-bahan proses industrialisasi yang bersangkutan, dan perlindungan masyarakat luas dari bahaya-bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh produk-produk industri.

Dalam konteks ini, kiranya tidak berlebihan jika K3 dikatakan merupakan modal utama kesejahteraan para buruh/tenaga kerja secara keseluruhan. Selain itu, dengan penerapan K3 yang baik dan terarah dalam suatu wadah industri tentunya akan memberikan dampak lain, salah satunya adalah sumber daya manusia (SDM) yang berkualitas. Di era pasar bebas tentu daya saing dan suatu proses industrialisasi semakin ketat dan sangat menentukan maju tidaknya pembangunan suatu bangsa.

Dalam pasar bebas tingkat ASEAN saja yang dikenal dengan istilah AFTA (*ASEAN Free Trade Area*) sangat dibutuhkan peningkatan produktivitas kerja untuk dapat bersaing dan mampu menghasilkan barang dan jasa yang bermutu tinggi. Untuk itu, penerapan peraturan perundang-undangan dan pengawasan serta perlindungan para buruh/ karyawan sangat memerlukan sistem manajemen industri yang baik dengan menerapkan K3 secara optimal. Sebab, faktor Keselamatan dan Kesehatan kerja sangat mempengaruhi terbentuknya SDM yang terampil, profesional, dan berkualitas dari tenaga kerja itu sendiri. Hingga kini masih banyak kasus kecelakaan kerja yang terjadi di negara kita. Itu bisa menjadi modal utama dalam upaya menjadikan sistem ini sebagai langkah awal. Dalam kaitan ini peranan pemerintah dan beberapa instansi terkait diharapkan bisa menekan tingkat kecelakaan dan memberikan perlindungan maksimal terhadap

tenaga kerja. Sebab, proses industrialisasi merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kemajuan di sektor ekonomi. Inilah sebenarnya yang perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah dan para pengusaha di negeri ini.

### **6.1.3. Sistem Manajemen K3 dan Manfaat Penerapannya**

#### **A. Sejarah Sistem Manajemen K3**

Dibandingkan dua kerabat dekatnya, Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2000 dan Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001 : 2004, Sistem Manajemen K3 memang belum begitu populer. Standar yang sekarang kita kenal seperti OHSAS 18001:1999 pun tidak diterbitkan oleh Lembaga Standardisasi Dunia (ISO), tapi melalui kesepakatan badan-badan sertifikasi yang ada di beberapa negara.

Sistem Manajemen K3 sebenarnya telah mulai diterapkan di Malaysia pada tahun 1994 dengan dikeluarkannya Undang-undang Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada 1996. Lembaga ISO juga telah mulai merancang sebuah Sistem Manajemen K3 dengan melakukan pendekatan terhadap Sistem Manajemen Mutu ISO 9000 dan Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14000. Hasil work-shop yang diadakan saat itu adalah didapatkan agar ISO menghentikan upayanya: membangun sebuah Sistem Manajemen K3 sejenis ISO 9000 dan ISO 14000. Alasannya kala itu adalah K3 merupakan struktur yang bersifat tiga pihak (tripartie) maka penyusunan sebuah ketentuan Standar Sistem Manajemen K3 diserahkan ke masing-masing negara.

Pada tahun 1998, The Occupational Safety and Health Branch (Sekarang: *Safe Work*) ILO bekerja lama dengan *the International Occupational Hygiene Association* (IOHA) melakukan identifikasi elemen-elemen kunci dari sebuah Sistem Manajemen K3.

Pada akhir tahun 1999, anggota Lembaga ISO yaitu British Standards Institution (BSI) meluncurkan sebuah proposal resmi (Ballot document ISO/TMBI TSP 190) untuk membuat sebuah Komite Teknik ISO yang bertugas membuat sebuah Standar Internasional Nonsertifikasi. Hal ini menimbulkan persaingan dengan ILO yang sedang mempopulerkan Sistem Manajemen K3. ILO sendiri didukung oleh *International Organization of Employers* (IOE) dan *the International*

*Confederation of Free Trade Unions* (ICFTIT) dan afiliasi-afiliasinya. Akibatnya proposal yang diusulkan oleh BSI pun ditolak. Draf final yang disusun ILO dihasilkan awal tahun 2001. Hasil pertemuan pada April tahun 2001 *the ILO Guidelines on OSH Management System* (THE ILO/OSH 2001).

THE ILO/OSH 2001 merupakan model yang unik. Selain dapat disesuaikan dengan sistem manajemen lainnya, ia tidak ditujukan untuk menggantikan undang-undang di negara bersangkutan tidak mengikat dan tidak mempersyaratkan sertifikasi. Akan tetapi pada tahun 1999 BSI dengan badan-badan sertifikasi dunia meluncurkan juga sebuah Standar Sistem Manajemen K3 yang diberi nama *Occupational Health and Safety Management Systems* (OHSAS 18001). Struktur yang dimiliki THE ILO/OSH 2001 pun memiliki kesamaan dengan OHSAS 18001.

## **B. Sistem Manajemen K3 Di Beberapa Negara**

Sebuah kabar baik, beberapa negara di dunia sudah mengembangkan sendiri sebuah Sistem Manajemen K3. Berarti ini menunjukkan adanya perhatian yang kuat dari negara-negara tersebut. Kebanyakan sistem yang ditetapkan di negara bersangkutan dibuat dalam bentuk sebuah undang-undang atau ketetapan menteri. Di India dan Malaysia, Peraturan K3 yang dibuat dalam istilah umum hanya menyebutkan bahwa pengusaha bertanggung jawab dalam mengelola K3, dan tidak secara khusus menjelaskan suatu Sistem Manajemen K3. Di Australia, penerapan Sistem Manajemen K3 diatur di tingkat negara bagian. Pemerintah Australia dan Selandia Baru telah melakukan kesepakatan normal untuk membuat sebuah organisasi dunia yang dikenal dengan *the Joint Accreditation System of Australia and New Zealand* (JAS-ANZ). Cina dan Thailand membuat sebuah Standar Sistem Manajemen K3 yang dikenal dengan OHSMS Trial Standard dan TIS 18000 Series. Jadi setiap negara melakukan pendekatan yang berbeda termasuk pihak yang bertanggung jawab dalam menetapkan ketentuan tersebut, walau pada intinya memiliki tujuan yang lama. Dalam tabel di halaman sebelah akan kita lihat fungsi pemerintah dalam Sistem Manajemen K3.

**Tabel 6.1 Fungsi pemerintah dalam sistem manajemen K3**

Negara	Penanggung jawab	Aturan	Isi	Sistem Sertifikasi
Australia – Selandia Baru	Komisi Nasional K3 Gubernur Negara Bagian, Agensi yang terkait pada JAS-ANZ	(the National OHS. Improvement Framework by NQHSC)	Pedoman bagi Negara-negara, dukungan untuk AS/NZS 480	Pengendali JAS-ANZ yang diakreditasi badan sertifikasi SMK3
China	Komisi Nasional Ekonomi dan Perdagangan, Biro Nasional Pengawas Keamanan Produksi	OHSMS Trial Standar	Materi Pedoman bagi biro dan komisi pedoman	Akreditasi Organisasi Sertifikasi dan Komisi Registrasi Auditor Komisi Pedoman
Hongkong	Departemen Perburuhan	Kerangka kerja Parlemen untuk SMK3*	Pedoman dewan K3	Rencana audit safety OSHC
India	Menteri Perburuhan, Direktorat Jenderal Industri dan Inspektorat Propinsi	(Standar K3)	NA	Bukan pada tingkat nasional
Indonesia	Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi	Ketetapan Menteri tentang SMK3 dan ketetapan audit	Pedoman dan audit berdasarkan hasil audit	Tiga kategori sertifikasi
Jepang	Menteri Kesehatan, Perburuhan dan Kesejahteraan	Peraturan tentang Pedoman SMK3	Pedoman bap kegiatan SMK	Tidak ada sertifikasi resmi
Korea	Menteri Perburuhan, Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA)	Pedoman SMK3	Kode KOSHA pada SMK3 dan Program KOSHA 2000	Sertifikasi Program KOSHA 2000
Malaysia	Menteri Sumber Daya Manusia	(Undang-undang K3)	OHSAS 1800 bagi standar organisasi	Sertifikasi OHSAS 18001 oleh SIRIM QAS Sdn Bhd
Singapura	Menteri Tenaga Kerja	Regulasi Industri	Kode praktis untuk SMK3	Tidak mempersyaratkan sertifikasi
Thailand	Menteri Perburuhan dan Kesejahteraan Sosial dan Perindustrian	TIS 18000	Pedoman SMKS khususnya bagi perusahaan kecil dan menengah	Sertifikasi TIS 18000 oleh institusi sertifikasi sistem manajemen.

\*SMK3: Sistem Manajemen K3

### **C. Hubungan OHSAS 18001 Dan Permenaker 05/Men/1996**

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, ISO 9000 dan ISO 14000 diterbitkan oleh lembaga ISO yang berkedudukan di Jenewa, Swiss, sedangkan OHSAS 18000 diterbitkan atas kerjasama organisasi-organisasi dunia, antara lain :

1. *National Standards Authority of Ireland*
2. *South African Bureau of Standards*
3. *Japanese Standards Association*
4. *British Standards Institution*
5. *Bureaus Veritas Quality International*
6. *Det Norske Veritas*
7. *Lyoyds Register Quality Assurance*
8. *National Quality Assurance*
9. *SFS Certification*
10. *SGS Yarslev International Certification Services*
11. *Association Espanola de Normalization y Certification*
12. *Intenvitional Safety Management Organization Ltd*
13. *SIRIM QAS Sdn Bdn*
14. *International Certification Services*
15. *The High Pressure Gas Safety Intitute of Japan*
16. *The Engineering Employers Federation*
17. *Singapore Productivity and Standards Board*
18. *Institute Mexicano de Normalization Certificacion*

OHSAS 18000 yang sekarang kita kenal memiliki struktur yang mirip dengan ISO 14001:1996. Dengan demikian OHSAS 18001 lebih mudah diintegrasikan dengan ISO 14000, walau dapat juga diintegrasikan dengan ISO 9000.

Indonesia sendiri juga telah mengembangkan Sistem Manajemen K3 sejenis yang dikenal Permenaker 05/Men/1996. Berbeda dengan OHSAS 18000 yang sistem auditnya hampir sama dengan ISO 14000 atau ISO 9000 yang diaudit oleh badan sertifikasi manapun, maka khusus untuk Permenaker 05/Men/1996 yang merupakan penilaian penilaian kinerja hanya bisa diaudit oleh Sucofindo. Perbedaan lain dari OHSAS 18001 dan Permenaker 05/Men/1996 adalah Permenaker 05/Men/1996 memiliki pembagian jumlah/jenis elemen untuk jenis

perusahaan yang tergantung pada besar kecil perusahaan yang bersangkutan. Sedang persyaratan untuk OHSAS 18001 berlaku untuk semua jenis organisasi tanpa memperhatikan besar kecilnya perusahaan itu.

Penerapan Permenaker 051Men/1996 dibagi menjadi tiga tingkatan:

1. Perusahaan kecil atau perusahaan dengan tingkat risiko rendah harus menerapkan sebanyak 64 kriteria.
2. Perusahaan sedang atau perusahaan dengan tingkat resiko menengah harus menerapkan sebanyak 122 kriteria.
3. Perusahaan besar atau perusahaan dengan tingkat risiko tinggi harus menerapkan sebanyak 166 kriteria.

Keberhasilan penerapan Permenaker 05/Men/1996 di tempat kerja diukur sebagai berikut :

1. Untuk tingkat pencapaian penerapan 0-59% dan pelanggaran peraturan perundangan (*nonconformance*) dikenai tindakan hukum.
2. Untuk tingkat pencapaian penerapan 60-84% diberikan sertifikat dan bendera perak.
3. Untuk tingkat pencapaian penerapan 85-100% diberikan sertifikat dan bendera emas.

#### **D. Manfaat Penerapan Sistem Manajemen K3**

1. Perlindungan Karyawan

Tujuan inti penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja atau K3 adalah memberi perlindungan kepada pekerja. Bagaimanapun, pekerja adalah aset perusahaan yang harus dipelihara dan dijaga keselamatannya. Pengaruh positif terbesar yang dapat diraih adalah mengurangi angka kecelakaan kerja. Kita tentu menyadari, karyawan yang terjamin keselamatan dan kesehatannya akan bekerja lebih optimal dibandingkan karyawan yang terancam K3-nya. Dengan adanya jaminan keselamatan, keamanan, dan kesehatan selama bekerja, mereka tentu akan memberikan kepuasan dan meningkatkan loyalitas mereka terhadap perusahaan.

## 2. Merperlihatkan kepatuhan pada peraturan dan undang-undang

Banyak organisasi yang telah mematuhi peraturan menunjukkan eksistensinya dalam beberapa tahun. Kita bisa saksikan bagaimana pengaruh buruk yang didapat bagi perusahaan yang melakukan pembangkangan terhadap peraturan dan undang-undang, seperti citra yang buruk, tuntutan hukum dari badan pemerintah, seringnya menghadapi permasalahan dengan tenaga kerjanya semua itu tentunya akan mengakibatkan kebangkrutan. Dengan menerapkan Sistem Manajemen K3, setidaknya sebuah perusahaan telah menunjukkan itikad baiknya dalam mematuhi peraturan dan perundang-undangan sehingga mereka dapat beroperasi normal tanpa menghadapi kendala dari segi ketenagakerjaan.

## 3. Mengurangi biaya

Tidak berbeda dengan falsafah dasar sistem manajemen pada umumnya; Sistem Manajemen K3 juga melakukan pencegahan terhadap ketidaksesuaian. Dengan menerapkan sistem ini, kita dapat mencegah terjadinya kecelakaan, kerusakan atau sakit akibat kerja. Dengan demikian kita tidak perlu mengeluarkan biaya yang ditimbulkan akibat kejadian tersebut. Memang dalam jangka pendek kita akan mengeluarkan biaya yang cukup besar dalam menerapkan sebuah Sistem Manajemen K3. Apalagi jika kita juga melakukan proses sertifikasi di mana setiap enam bulannya akan dilakukan audit yang tentunya juga merupakan biaya yang harus dibayar. Akan tetapi jika penerapan Sistem Manajemen K3 dilaksanakan secara efektif dan penuh komitmen, nilai uang yang keluar tersebut jauh lebih kecil dibandingkan biaya yang ditimbulkan akibat kecelakaan kerja. Salah satu biaya yang dapat dikurangi dengan penerapan Sistem Manajemen K3 adalah biaya premi asuransi. Banyak perusahaan-perusahaan yang mengeluarkan biaya premi asuransi jauh lebih kecil dibandingkan sebelum menerapkan Sistem Manajemen K3.

## 4. Membuat sistem manajemen yang efektif

Tujuan perusahaan beroperasi adalah mendapatkan keuntungan yang sebesar-besarnya. Hal ini akan dapat dicapai dengan adanya sistem manajemen perusahaan yang efektif. Banyak variabel yang

ikut membantu pencapaian sebuah sistem manajemen yang efektif, di samping mutu, lingkungan, keuangan, teknologi informasi dan K3.

Salah satu bentuk nyata yang bisa kita lihat dari penerapan Sistem Manajemen K3 adalah adanya prosedur terdokumentasi. Dengan adanya prosedur, maka segala aktivitas dan kegiatan yang terjadi akan terorganisir, terarah dan berada dalam koridor yang teratur. Rekaman-rekaman sebagai bukti penerapan sistem disimpan untuk memudahkan pembuktian diidentifikasi masalah ketidaksiesuaian. Persyaratan perencanaan, evaluasi dan tindak lanjut merupakan bentuk bagaimana sistem manajemen yang efektif. Pengendalian dan pemantauan aspek penting menjadi penekanan dan ikut memberi nilai tambah bagi organisasi. Penerapan Sistem Manajemen K3 yang efektif akan mengurangi rapat-rapat yang membahas ketidak-sesuaian. Dengan adanya sistem maka hal itu dapat dicegah sebelumnya di samping kompetensi personel yang semakin meningkat dalam mengetahui potensi ketidaksiesuaian. Dengan demikian organisasi dapat berkonsentrasi melakukan peningkatan terhadap sistem manajemennya dibandingkan melakukan perbaikan terhadap permasalahan-permasalahan yang terjadi.

5. Meningkatkan kepercayaan dan kepuasan pelanggan

Karyawan yang terjamin keselamatan dan kesehatan kerjanya akan bekerja lebih optimal dan ini tentu akan berdampak pada produk yang dihasilkan. Pada gilirannya ini akan meningkatkan kualitas produk dan jasa yang dihasilkan ketimbang sebelum dilakukan penerapan. Di samping itu dengan adanya pengakuan penerapan Sistem Manajemen K3, citra organisasi terhadap kinerjanya akan semakin meningkat, dan tentu ini akan meningkatkan kepercayaan pelanggan.

## **E. Langkah-Langkah Penerapan Sistem Manajemen K3**

Setiap jenis Sistem Manajemen K3 mempunyai elemen atau persyaratan tertentu yang harus dibangun dalam suatu organisasi. Sistem Manajemen K3 tersebut harus dipraktekkan dalam semua bidang/divisi dalam organisasi. Sistem Manajemen K3 harus dijaga

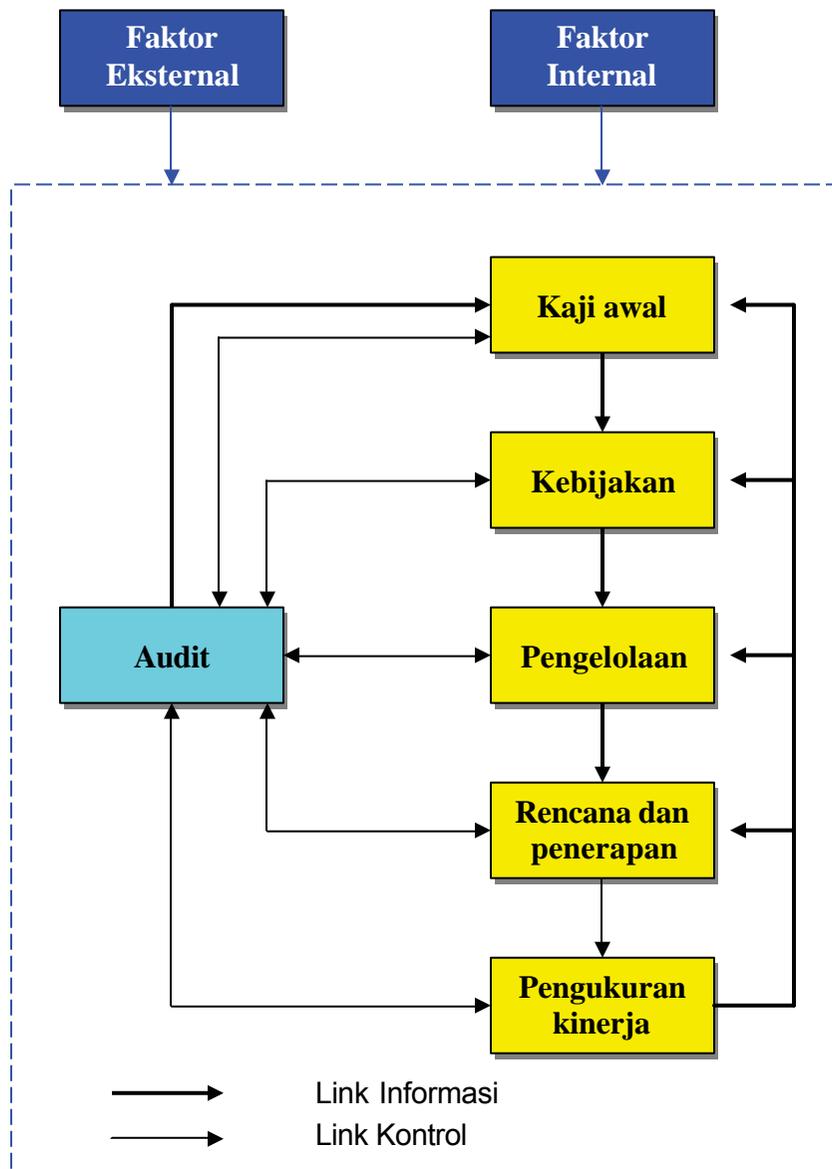
dalam operasinya untuk menjamin bahwa sistem itu punya peranan dan fungsi dalam manajemen perusahaan.

Dalam melakukan penerapan Sistem Manajemen K3, kita dapat mengacu pada bagan halaman berikut. Untuk lebih memudahkan penerapan standar Sistem Manajemen K3, berikut ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan dan langkah-langkahnya. Tahapan dan langkah-langkah tersebut dibagi menjadi dua bagian besar:

#### 1. Tahap Persiapan

Merupakan tahapan atau langkah awal yang harus dilakukan suatu organisasi/ perusahaan. Langkah ini melibatkan lapisan manajemen dan sejumlah personel, mulai dari menyatakan komitmen sampai dengan menetapkan kebutuhan sumber daya yang diperlukan. Adapun, tahap persiapan ini, antara lain :

- Komitmen manajemen puncak
- Menentukan ruang lingkup
- Menetapkan cara penerapan
- Membentuk kelompok penerapan
- Menetapkan sumber daya yang diperlukan



**Gambar 6.4 Bagan Pedoman Penerapan Sistem Manajemen K3**

2. Tahap pengembangan dan penerapan

Sistem dalam tahapan ini berisi langkah-langkah yang harus dilakukan audit internal serta tindakan perbaikannya sampai dengan dilakukan sertifikasi.

## **Langkah 1. Menyatakan komitmen**

Pernyataan komitmen dan penetapan kebijakan untuk menerapkan sebuah Sistem Manajemen K3 dalam organisasi/ manajemen harus dilakukan oleh manajemen puncak. Penerapan Sistem Manajemen K3 tidak akan berjalan tanpa adanya komitmen terhadap sistem manajemen tersebut. Manajemen harus benar-benar menyadari bahwa merekalah yang paling bertanggung jawab terhadap keberhasilan atau kegagalan penerapan Sistem Manajemen K3.

Komitmen manajemen puncak harus dinyatakan bukan hanya dalam kata-kata tetapi juga harus dengan tindakan nyata agar dapat diketahui, dipelajari, dihayati dan dilaksanakan oleh seluruh staf dan karyawan perusahaan. Seluruh staf dan karyawan perusahaan harus mengetahui bahwa tanggung jawab dalam penerapan Sistem Manajemen K3 bukan urusan bagian K3 saja, tetapi merupakan tanggung jawab seluruh personel dalam perusahaan mulai dari manajemen puncak sampai karyawan terendah.

Karena itu ada baiknya bila secara khusus manajemen membuat cara untuk mengkomunikasikan komitmennya ke seluruh jajaran dalam perusahaannya. Untuk itu perlu dicari waktu yang tepat guna menyampaikan komitmen manajemen penerapan Sistem Manajemen K3.

## **Langkah 2. Menetapkan cara penerapan**

Perusahaan dapat menggunakan jasa konsultan untuk menerapkan Sistem Manajemen K3, berdasarkan pertimbangan berikut:

- Konsultan yang baik tentu memiliki pengalaman yang banyak dan bervariasi sehingga dapat menjadi agen pengalihan pengetahuan secara efektif, sehingga dapat memberikan rekomendasi yang tepat dalam proses penerapan Sistem Manajemen K3.
- Konsultan yang independen memungkinkan konsultan tersebut secara bebas dapat memberikan umpan balik kepada manajemen secara objektif tanpa terpengaruh oleh persaingan antar kelompok di dalam organisasi/perusahaan.
- Konsultan jelas memiliki waktu yang cukup. Berbeda dengan tenaga perusahaan yang meskipun mempunyai keahlian dalam Sistem Manajemen K3 namun karena desakan tugas-tugas lain di

perusahaan, akibatnya tidak punya cukup waktu.

Sebenarnya perusahaan/organisasi dapat menerapkan Sistem Manajemen K3 tanpa menggunakan jasa konsultan, jika organisasi yang bersangkutan memiliki personel yang cukup mampu untuk mengorganisasikan dan mengarahkan orang. Selain itu organisasi tentunya sudah memahami dan berpengalaman dalam menerapkan standar Sistem Manajemen K3 ini dan mempunyai waktu yang cukup. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menggunakan jasa konsultan:

- Pastikan bahwa konsultan yang dipilih adalah konsultan yang betul-betul berkompeten di bidang standar Sistem Manajemen K3, bukan konsultan dokumen manajemen K3 biasa yang lebih memusatkan dirinya pada pembuatan dokumen saja.
- Teliti mengenai reputasi dari konsultan tersebut. Apakah mereka selalu menepati janji yang mereka berikan, mampu bekerja sama, dan yang tidak kalah penting adalah motivasi tim perusahaan. Kita dapat meminta informasi secara terus terang kepada calon konsultan untuk memberikan identitas klien mereka.
- Pastikan lebih dulu siapa yang akan diterjunkan sebagai konsultan dalam proyek ini. Hal ini penting sekali karena orang itulah yang akan berkunjung ke perusahaan dan akan menentukan keberhasilan, jadi bukan nama besar dari perusahaan konsultan tersebut. Mintalah waktu untuk bertemu dengan calon konsultan yang mereka ajukan dan perusahaan boleh bebas menilainya. Pertimbangkan apakah tim perusahaan mau menerima dan dapat bekerjasama dengannya.
- Teliti apakah konsultan tersebut telah berpengalaman membantu perusahaan sejenis sampai mendapat sertifikat. Meskipun hal ini bukan menjadi patokan mutlak akan tetapi menangani usaha sejenis akan lebih mempermudah konsultan tersebut dalam memahami proses organisasi perusahaan tersebut.
- Pastikan ketersediaan waktu dari konsultan terkait dengan kesibukannya menangani klien yang lain. Biasanya konsultan tidak akan berkunjung setiap hari melainkan 3-4 hari selama sebulan. Maka pastikan jumlah hari kunjungan konsultan tersebut sebelum memulai kontrak kerja sama.

### **Langkah 3. Membentuk kelompok kerja penerapan**

Jika perusahaan akan membentuk kelompok kerja sebaiknya anggota kelompok kerja tersebut terdiri atas seorang wakil dari setiap unit kerja, biasanya manajer unit kerja. Hal ini penting karena merekalah yang tentunya paling bertanggung jawab terhadap unit kerja yang bersangkutan.

#### **a) Peran anggota kelompok kerja**

Dalam proses penerapan ini maka peran anggota kelompok kerja adalah:

- Menjadi agen perubahan sekaligus fasilitator dalam unit kerjanya. Merekalah yang pertama-tama menerapkan Sistem Manajemen K3 ini di unit-unit kerjanya termasuk merombak cara dan kebiasaan kerja yang tidak menunjang penerapan sistem ini. Selain itu mereka juga akan melatih dan menjelaskan kepada staf unit kerjanya tentang standar ini termasuk manfaat dan konsekuensinya.
- Menjaga konsistensi dari penerapan Sistem Manajemen K3, baik melalui tinjauan sehari-hari maupun berkala.
- Menjadi penghubung antara manajemen dan unit kerjanya.

#### **b) Tanggung jawab dan tugas anggota kelompok kerja**

Tanggung jawab dan tugas-tugas yang harus dilakukan oleh anggota kelompok kerja adalah:

- Mengikuti pelatihan lengkap tentang standar Sistem Manajemen K3.
- Melatih staf dalam unit kerjanya sesuai kebutuhan.
- Melakukan latihan terhadap sistem yang berlangsung dengan sistem standar Sistem Manajemen K3.
- Melakukan tinjauan terhadap sistem yang berlangsung dibandingkan dengan sistem standar Sistem Manajemen K3.
- Membuat bagan alir yang menjelaskan tentang keterlibatan unit kerjanya dengan elemen yang ada dalam standar Sistem Manajemen K3.
- Bertanggung jawab untuk mengembangkan sistem sesuai dengan elemen yang terkait dalam unit kerjanya. Sebagai contoh, anggota

kelompok kerja wakil dari divisi sumber daya manusia bertanggung jawab untuk pelatihan dan seterusnya.

- Bertanggung jawab untuk mempersiapkan penulisan dokumen-dokumen sebagaimana dipersyaratkan dalam standar Sistem Manajemen K3 termasuk mempersiapkan penulisan panduan mutu, prosedur, instruksi kerja dan formulir-formulir.
- Melakukan apa yang telah ditulis dalam dokumen baik di unit kerjanya sendiri maupun di seluruh perusahaan.
- Ikut serta sebagai anggota tim audit internal.
- Bertanggung jawab untuk mempromosikan standar Sistem Manajemen K3 secara terus menerus baik di unit kerjanya sendiri maupun di unit kerja lain secara konsisten serta bersama-sama memelihara penerapan sistemnya.

#### **c) Kualifikasi anggota kelompok kerja**

Dalam menunjuk anggota kelompok kerja sebenarnya tidak ada ketentuan kualifikasi yang baku. Namun demikian untuk memudahkan dalam pemilihan anggota kelompok kerja, manajemen mempertimbangkan personel yang:

- Memiliki taraf kecerdasan yang cukup sehingga mampu berpikir secara konseptual dan berimajinasi.
- Rajin dan suka bekerja keras.
- Senang belajar termasuk suka membaca buku-buku tentang standar Sistem Manajemen K3.
- Mampu membuat bagan alir dan menulis.
- Disiplin dan tepat waktu.
- Berpengalaman kerja cukup di unit kerjanya sehingga menguasai dari segi operasional.
- Mampu berkomunikasi dengan efektif dalam presentasi dan pelatihan.
- Mempunyai waktu cukup dalam membantu melaksanakan proyek penerapan standar Sistem Manajemen K3 di luar tugas-tugas utamanya.

#### **d) Jumlah anggota kelompok kerja**

Mengenai jumlah anggota kelompok kerja dapat bervariasi

tergantung dari besar kecilnya lingkup penerapan biasanya jumlah anggota kelompok kerja sekitar delapan orang. Yang pasti jumlah anggota kelompok kerja ini harus dapat mencakup semua elemen sebagaimana disyaratkan dalam Sistem Manajemen K3. Pada dasarnya setiap anggota kelompok kerja dapat merangkap dalam beberapa *working group*, dan *working group* itu sendiri dapat saja hanya terdiri dari satu atau dua orang. Kelompok kerja akan diketuai dan dikoordinir oleh seorang ketua kelompok kerja, biasanya dirangkap oleh manajemen representatif yang telah ditunjuk oleh manajemen puncak. Tentang tanggung jawab dan kualifikasi dari manajemen representatif ini dapat dilihat dalam penjelasan berikutnya (Bab 6).

Di samping itu untuk mengawasi dan mengarahkan kelompok kerja maka sebaiknya dibentuk suatu Panitia Pengarah (*Steering Committee*), yang biasanya terdiri dari para anggota manajemen. Adapun tugas panitia ini adalah memberikan arahan, menetapkan kebijakan, sasaran dan lain-lain yang menyangkut kepentingan organisasi secara keseluruhan. Selama proses penerapan ini maka kelompok kerja penerapan akan bertanggung jawab dan melapor kepada Panitia Pengarah.

#### **e) Kelompok kerja penunjang**

Jika diperlukan, perusahaan yang berskala besar ada yang membentuk kelompok kerja penunjang dengan tugas membantu kelancaran kerja kelompok kerja penerapan, khususnya untuk pekerjaan yang bersifat teknis administratif. Misalnya mengumpulkan catatan-catatan K3 dan fungsi administratif yang lain seperti pengetikan, penggandaan dan lain-lain.

### **Langkah 4. Menetapkan sumber daya yang diperlukan**

Sumber daya di sini mencakup orang/personel, perlengkapan waktu dan dana. Orang yang dimaksud adalah beberapa orang yang diangkat secara resmi di luar tugas-tugas pokoknya dan terlibat penuh dalam proses penerapan. Perlengkapan adalah perlunya mempersiapkan kemungkinan ruangan tambahan untuk menyimpan dokumen atau komputer tambahan

untuk mengolah dan menyimpan data. Tidak kalah pentingnya adalah waktu. Waktu yang diperlukan tidaklah sedikit terutama bagi orang yang terlibat dalam penerapan, mulai mengikuti rapat, pelatihan, mempelajari bahan-bahan pustaka, menulis dokumen mutu sampai menghadapi kegiatan audit dan *assessment*.

Penerapan Sistem Manajemen K3 bukan sekedar kegiatan yang dapat berlangsung dalam satu atau dua bulan saja. Untuk itu selama kurang lebih satu tahun perusahaan harus siap menghadapi gangguan arus kas karena waktu yang seharusnya dikonsentrasikan untuk berproduksi atau beroperasi banyak terserap ke proses penerapan ini. Keadaan seperti ini sebetulnya dapat dihindari dengan perencanaan dan pengelolaan yang baik.

Sementara dana yang diperlukan adalah untuk membayar konsultan (bila menggunakan konsultan), lembaga sertifikasi, dan biaya untuk pelatihan karyawan di luar perusahaan.

Di samping itu juga perlu dilihat apakah untuk penerapan Sistem Manajemen K3 ini perusahaan harus menyediakan peralatan khusus yang selama ini belum dimiliki. Sebagai contoh adalah perusahaan kompresor yang mengalami kebisingan di atas rata-rata, karena sesuai dengan persyaratan Sistem Manajemen K3 yang mengharuskan adanya pengendalian risiko dan bahaya yang ditimbulkan, perusahaan tentu harus menyediakan peralatan yang dapat menghilangkan/mengurangi tingkat kebisingan tersebut. Alat untuk mengukur tingkat kebisingan yang terjadi juga harus disediakan, dan alat ini harus dikalibrasi. Oleh karena itu besarnya dana yang dikeluarkan untuk peralatan ini tergantung pada masing-masing perusahaan.

### **Langkah 5. Kegiatan penyuluhan**

Penerapan Sistem Manajemen K3 adalah kegiatan dari dan untuk kebutuhan personel perusahaan. Oleh karena itu perlu dibangun rasa adanya keikutsertaan dari seluruh karyawan dalam perusahaan melalui program penyuluhan.

Kegiatan penyuluhan ini harus diarahkan untuk mencapai tujuan, antara lain:

- Menyamakan persepsi dan motivasi terhadap pentingnya penerapan Sistem Manajemen K3 bagi kinerja perusahaan.

- Membangun komitmen menyeluruh mulai dari direksi, manajer, staf dan seluruh jajaran dalam perusahaan untuk bekerja bersama-sama dalam menerapkan standar sistem ini.

Kegiatan penyuluhan ini dapat dilakukan melalui beberapa cara, misalnya dengan pernyataan komitmen manajemen, melalui ceramah, surat edaran atau pembagian buku-buku yang terkait dengan Sistem Manajemen K3.

#### **a) Pernyataan komitmen manajemen**

Dalam kegiatan ini, manajemen mengumpulkan seluruh karyawan dalam acara khusus. Kemudian manajemen menyampaikan sambutan yang isinya, antara lain:

- Pentingnya jaminan keselamatan dan kesehatan kerja bagi kelangsungan dan kemajuan perusahaan.
- Bahwa Sistem Manajemen K3 sudah banyak diterapkan di berbagai negara dan sudah menjadi kewajiban bagi perusahaan-perusahaan di Indonesia.
- Bahwa manajemen telah memutuskan untuk menerapkan Sistem Manajemen K3 di perusahaan.
- Bahwa manajemen mengharapkan keikutsertaan dan komitmen setiap orang dalam perusahaan sesuai tugas dan jabatan masing-masing.
- Bahwa manajemen akan segera membentuk tim kerja yang dipilih dari setiap bidang di dalam perusahaan.

Perlu juga dijelaskan oleh manajemen puncak tentang Batas waktu kapan sertifikasi sistem manajemen K3 harus diraih, misalnya pada waktu ulang tahun perusahaan yang akan datang. Tentu saja pernyataan seperti ini harus memperhitungkan konsekuensi bahwa sertifikat diharapkan dapat diperoleh dalam batas waktu tersebut. Hal ini penting karena menyangkut kredibilitas manajemen dan kelompok.

#### **b) Pelatihan Awareness Sistem Manajemen K3**

Pelatihan singkat mengenai apa itu Sistem Manajemen K3 perlu dilakukan guna memberikan dan menyamakan persepsi dan menghindari kesimpangsiuran informasi yang dapat memberikan

kesan keliru dan menyesatkan.

Peserta pelatihan adalah seluruh karyawan yang dikumpulkan di suatu tempat dan kemudian pembicara diundang untuk menjelaskan Sistem Manajemen K3 secara ringkas dan dalam bahasa yang sederhana, sehingga mampu menggugah semangat karyawan untuk menerapkan standar Sistem Manajemen K3. Kegiatan awareness ini bila mungkin dapat dilakukan secara bersamaan untuk seluruh karyawan dan disampaikan secara singkat dan tidak terlalu lama.

Dalam awareness ini dapat disampaikan materi tentang :

- Latar belakang dan jenis Sistem Manajemen K3 yang sesuai dengan organisasi.
- Alasan mengapa standar Sistem Manajemen K3 ini penting bagi perusahaan dan manfaatnya.
- Perihal elemen, dokumentasi dan sertifikasi secara singkat.
- Bagaimana penerapannya dan peran setiap orang dalam penerapan tersebut.
- Diadakan hanya jawab.

### **c) Membagikan bahan bacaan**

Jika pelatihan awareness hanya dilakukan sekali saja, namun bahan bacaan berupa buku atau selebaran dapat dibaca karyawan secara berulang-ulang. Untuk itu perlu dicari buku-buku yang baik dalam arti ringkas sebagai tambahan dan bersifat memberikan pemahaman yang terarah, sehingga setiap karyawan akan senang untuk membacanya.

Apabila memungkinkan buatlah selebaran atau buletin yang bisa diedarkan berkala selama masa penerapan berlangsung. Lebih baik lagi jika selebaran tersebut ditujukan kepada perorangan dengan menulis nama mereka satu persatu, agar setiap orang merasa dirinya dianggap berperan dalam kegiatan ini

Dengan semakin banyak informasi yang diberikan kepada karyawan tentunya itu akan lebih baik-biasanya masalah akan muncul karena kurangnya informasi. Informasi ini penting sekali karena pada saat dilakukan assessment. Auditor tidak hanya

bertanya pada manajemen raja, tetapi juga kepada semua orang. Untuk itu sebaiknya setiap orang benar-benar paham dan tahu hubungan standar Sistem Manajemen K3 ini dengan pekerjaan sehari-hari.

### **Langkah 6. Peninjauan sistem**

Kelompok kerja penerapan yang telah dibentuk kemudian mulai bekerja untuk meninjau sistem yang sedang berlangsung dan kemudian dibandingkan dengan persyaratan yang ada dalam Sistem Manajemen K3. Peninjauan ini dapat dilakukan melalui dua cara yaitu dengan meninjau dokumen prosedur dan meninjau pelaksanaannya.

Tinjauan sistem ini akan menghasilkan beberapa hal di antaranya:

- Apakah perusahaan sudah mengikuti dan melaksanakan secara konsisten prosedur atau instruksi kerja dari OHSAS 18001 atau Permenaker 05/Men/1996.
- Perusahaan belum memiliki dokumen, tetapi sudah menerapkan sebagian atau seluruh persyaratan dalam standar Sistem Manajemen K3.
- Perusahaan belum memiliki dokumen dan belum menerapkan persyaratan standar Sistem Manajemen K3 yang dipilih.

### **Langkah 7. Penyusunan Jadwal Kegiatan**

Setelah melakukan peninjauan sistem maka kelompok kerja dapat menyusun suatu jadwal kegiatan. Jadwal kegiatan dapat disusun dengan mempertimbangkan hal-hal berikut:

#### *a) Ruang lingkup pekerjaan*

Dari hasil tinjauan sistem akan menunjukkan beberapa banyak yang harus disiapkan dan beberapa lama setiap prosedur itu akan diperiksa, disempurnakan, disetujui dan diaudit. Semakin panjang daftar prosedur yang harus disiapkan, semakin lama waktu penerapan yang diperlukan.

#### *b) Kemampuan wakil manajemen dan kelompok kerja penerapan*

Kemampuan di sini dalam hal membagi dan menyediakan waktu. Seperti diketahui bahwa tugas penerapan bukanlah satu-

satunya pekerjaan para anggota kelompok kerja dan manajemen representatif. Mereka masih mempunyai tugas dan tanggung jawab lain di luar penerapan standar Sistem Manajemen K3 yang kadang-kadang juga sama pentingnya dengan penerapan standar ini. Hal ini karena menyangkut kelangsungan usaha perusahaan seperti pencapaian sasaran penjualan, memenuhi jadwal dan target produksi.

c) *Keberadaan proyek*

Khusus bagi perusahaan yang kegiatannya berdasarkan proyek (misalnya kontraktor dan pengembang), maka ketika menyusun jadwal kedatangan asesor badan sertifikasi, pastikan bahwa pada saat asesor datang ada proyek yang sedang dikerjakan.

### **Langkah 8. Pengembangan Sistem Manajemen K3**

Beberapa kegiatan yang perlu dilakukan dalam tahap pengembangan Sistem Manajemen K3 antara lain mencakup dokumentasi, pembagian kelompok penyusunan bagan alir, penulisan manual Sistem Manajemen K3, prosedur dan instruksi kerja.

### **Langkah 9. Penerapan sistem**

Setelah semua dokumen selesai dibuat, maka setiap anggota kelompok kerja kembali ke masing-masing untuk menerapkan sistem yang telah ditulis. Adapun cara penerapannya adalah :

- Anggota kelompok kerja mengumpulkan seluruh stafnya dan menjelaskan mengenai isi dokumen tersebut. Kesempatan ini dapat juga digunakan untuk mendapatkan masukan-masukan dari lapangan yang bersifat teknis operasional.
- Anggota kelompok kerja bersama sama staf unit kerjanya mulai mencoba menerapkan hal-hal yang telah ditulis. Setiap kekurangan atau hambatan yang dijumpai harus dicatat sebagai masukan untuk penyempurnaan sistem.
- Mengumpulkan semua catatan K3 dan rekaman tercatat yang merupakan bukti pelaksanaan hal-hal yang telah ditulis. Rentang waktu untuk menerapkan sistem ini sebaiknya tidak kurang dari tiga bulan sehingga cukup memadai untuk menilai efektif tidaknya sistem

yang telah dikembangkan tadi. Tiga bulan ini sudah termasuk waktu yang digunakan untuk menyempurnakan sistem dan memodifikasi dokumen.

Dalam praktek pelaksanaannya maka kelompok kerja tidak harus menunggu seluruh dokumen selesai. Begitu satu dokumen selesai dan sudah mencakup salah satu elemen standar maka penerapan sudah dapat mulai dikerjakan. Sementara proses penerapan sistem berlangsung, kelompok kerja dapat tetap melakukan pertemuan berskala untuk memantau kelancaran proses penerapan sistem ini.

Apabila langkah-langkah yang terdahulu telah dapat dijalankan dengan baik maka proses penerapan sistem ini relatif lebih mudah dilaksanakan. Penerapan sistem ini harus dilaksanakan sedikitnya tiga bulan sebelum pelaksanaan audit internal. Waktu tiga bulan ini diperlukan untuk mengumpulkan bukti-bukti (dalam bentuk rekaman tercatat) secara memadai dan untuk melaksanakan penyempurnaan sistem serta modifikasi dokumen.

#### **Langkah 10. Proses sertifikasi**

Ada sejumlah lembaga sertifikasi Sistem Manajemen K3. Misalnya Sucofindo melakukan sertifikasi terhadap Permenaker 05/Men/1996. Namun untuk OHSAS 18001:1999 organisasi bebas menentukan lembaga sertifikasi manapun yang diinginkan.

Untuk itu organisasi disarankan untuk memilih lembaga sertifikasi OHSAS 18001 yang paling tepat.

### **6.1.4. Mengenal Alat Pelindung Diri (APD)**

#### **A. Pengertian APD**

Adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang dalam pekerjaan yang fungsinya mengisolasi tubuh tenaga kerja dari bahaya di tempat kerja. APD dipakai setelah usaha rekayasa (*engineering*) dan cara kerja yang aman (*work practices*) telah maximum. Kelemahan penggunaan APD :

- (1) Kemampuan perlindungan yang tidak sempurna
- (2) Sering APD tidak dipakai karena kurang nyaman

## B. Jenis-jenis APD

### 1. Alat pelindung kepala

Berdasarkan fungsinya dapat dibagi 3 bagian :

- Topi pengaman (*safety helmet*), untuk melindungi kepala dari benturan atau pukulan benda-benda
- Topi/tudung untuk melindungi kepala dari api, uap-uap korosif, debu, kondisi iklim yang buruk
- Tutup kepala, untuk menjaga kebersihan kepala dan rambut atau mencegah lilitan rambut dari mesin.



**Gambar 6.5. Alat pelindung kepala**

Alat pelindung kepala dapat dilengkapi dengan alat pelindung diri yang lain, yaitu :

- Kacamata/goggles
  - Penutup muka
  - Penutup telinga
  - Respirator, dll
- ### 2. Alat pelindung telinga
- Ada dua jenis :
- Sumbat telinga (*ear plug*)
  - Tutup telinga (*ear muff*)

#### a) Sumbat Telinga

Sumbat telinga yang baik adalah menahan frekwensi tertentu saja, sedangkan frekwensi untuk bicara biasanya tak terganggu. Kemampuan attenuasi (daya lindung) : 25-30 DB. Bila ada kebocoran sedikit saja, dapat mengurangi attenuasi kurang lebih 15 DB.

Sumbat telinga yang terbuat dari kapas mempunyai daya attenuasi paling kecil antara 2-12 DB.

b) Tutup telinga

Jenisnya sangat beragam. Tutup telinga mempunyai daya lindung (attenuasi) berkisar antara 25-30 DB.

Untuk keadaan khusus dapat dikombinasikan antara tutup telinga dengan sumbat telinga, sehingga dapat mempunyai daya lindung (attenuasi) yang lebih besar.



**Gambar 6.6. Alat pelindung telinga**

3. Alat pelindung muka dan mata (*face shield*) Fungsi : melindungi muka dan mata dari :

- Lemparan benda-benda kecil
- Lemparan benda-benda panas
- Pengaruh cahaya
- Pengaruh radiasi tertentu
- Perlindungan mata dan muka

Syarat-syarat alat pelindung muka dan mata :

- a) Ketahanan terhadap api
- b) Ketahanan terhadap lemparan benda-benda
- c) Syarai optis tertentu
- d) Alat pelindung mata terhadap radiasi

Ada beberapa jenis diantaranya :

- (a) Kaca mata biasa (*spectacle goggles*)

Kacamata terutama pelindung mata dapat dengan mudah atau tanpa pelindung samping. Kacamata dengan pelindung samping lebih banyak memberikan perlindungan.

(b) Goggles

Mirip kacamata, tetapi lebih protektif dan lebih kuat terikat karena memakai ikat kepala. Dipakai untuk pekerjaan yang amat membahayakan bagi mata.



**Gambar 6.7. Kacamata gerinda**

4. Alat pelindung pernapasan

Ada 3 jenis alat pelindung pernapasan

(a) Respirator yang sifatnya memurnikan udara

(i) Respirator yang mengandung bahan kimia

- Tonong gas dengan kanister
- Respirator dengan cartridge

(ii) Respirator dengan filter mekanik

- Bentuk hampir sama dengan respirator cartridge kimia, tapi pemurni udara berupa saringan/filter
- Biasanya digunakan pada pencegahan debu

(iii) Respirator yang mempunyai filter mekanik dan bahan kimia

(b) Respirator yang dihubungkan dengan supply udara bersih  
Supply udara berasal dari :

- (i) Saluran udara bersih atau kompresor
- (ii) Alat pernapasan yang mengandung udara (SCBA)

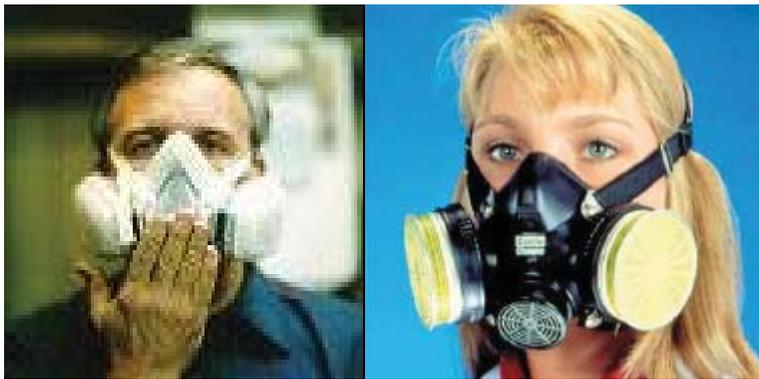
Biasanya berupa tabung gas yang berisi

- Udara yang dimampatkan
- Oksigen yang dimampatkan
- Oksigen yang dicairkan

(c) Respirator dengan supply oksigen

Biasanya berupa "*self contained Breathing Apparatus*" Yang harus diperhatikan pada respirator jenis tersebut diatas :

- Pemilihan yang tepat sesuai dengan jenis bahaya
- Pemakaian yang tepat
- Pemeliharaan dan pencegahan terhadap penularan penyakit



**Gambar 6.8. Alat pelindung pernapasan**

5. Pakaian Kerja

Pakaian kerja harus dianggap sebagai alat pelindung diri.

Pakaian kerja khusus untuk pekerjaan dengan sumber-sumber bahaya tertentu seperti :

- Terhadap radiasi panas  
Pakaian kerja untuk radiasi panas, radiasi harus dilapisi bahan yang bisa merefleksikan panas, biasanya aluminium dan berkilau. Bahan-bahan pakain lain yang bersifat isolasi terhadap panas adalah : wool, katun, asbes (tahan sampai 500 derajat

celsius), kaca tahan sampai 450 derajat celsius, Terhadap radiasi mengion.

Pakaian kerja harus dilapisi dengan timbal, biasanya berupa apron.

- Terhadap cairan dan bahan-bahan kimia  
Biasanya terbuat dari bahan plastik atau karet



**Gambar 6.9. Jaket pelindung anti api**

## 6) Sarung Tangan

Fungsinya melindungi tangan dan jari-jari dari api, panas, dingin, radiasi elektromagnetik dan radiasi mengion, listrik, bahan kimia, benturan dan pukulan, luka, lecet dan infeksi. Bahan-bahan yang digunakan dapat berupa

- Asbes, katun, wool untuk panas dan api
- Kulit untuk panas, listrik, luka, lecet
- Karet clam atau sintetik, untuk kelembaban air, bahan kimia, dll
- Poli vinyl chloride (PVC), untuk zat kimia, asam kuat, oksidator, dl



**Gambar 6.10. Sarung tangan**

#### 7) Tali/sabuk Pengaman

Ada 3 jenis yang berbeda :

- (a) Jaring angkat
- (b) Sabuk penunjang
- (c) Sabuk pengikat

##### a) Jaring Angkat

Digunakan pada pekerjaan dalam wadah sempit yang terbuka seperti sumur. Pada saat kerja dilaksanakan tali harus kuat dikaitkan setiap saat dengan pengaman. Jaring angkat terdiri dari sabuk yang melingkari pinggang dan badan dibungkus oleh jaring.

##### b) Sabuk Penunjang

Digunakan pada pekerjaan diatas tiang kayu dan kemudian dikombinasikan dengan penggunaan tiang penyangga. Sabuk penunjang terdiri dari sabuk untuk pinggang dengan penunjang belakang dan dua alat untuk pengikat tali.

##### c) Sabuk Pengikat

Digunakan dalam kaitannya dengan kerja ditempat dimana ada resiko jatuh seperti diatas atap atau konstruksi perancah atau didalam tambang dan penggalian batu.

Ada 2 macam yaitu :

- (i) Sabuk pengikat dengan tali penahan yang terbukti dari serat sintetis yang berentang jika dibentangkan.

- (ii) Sabuk ikat pengaman, sabuk ini dirancang untuk mencegah pemakaiannya jatuh atau mengikat dia dalam keadaan mau jatuh.

### 8) Pelindung Kaki

Fungsinya untuk melindungi kaki dari tertimpa benda-benda berat, terbakar karena logam cair, bahan kimia korosif, dermatitis karena bahan-bahan kimia, kemungkinan tersandung atau tergelincir. Fungsinya untuk melindungi kaki dari tertimpa benda-benda berat, terbakar karena logam cair, bahan kimia korosif, dermatitis karena bahan-bahan kimia, kemungkinan tersandung atau tergelincir.



**Gambar 6.11. Alat pelindung kaki**

### C. Syarat-syarat APD

- Enak dipakai
- Tidak mengganggu kerja
- Memberikan perlindungan yang efektif sesuai dengan jenis bahaya di tempat kerja

### D. Perlakuan setelah alat pelindung diri digunakan

Semua alat pelindung diri harus dirawat sedemikian rupa sehingga alat itu tetap memberikan perlindungan yang berhasil guna terhadap faktor-faktor yang berbahaya bagi kesehatan dan keselamatan pekerja. Hal ini berarti, bahwa prosedur yang cocok untuk melaporkan kerusakan pemeriksaan rutin, pembangunan perbaikan dan

pembersihan harus dilaksanakan.

Alat pelindung diri harus di lokasi dimana alat-alat itu kemungkinan besar akan dipakai, dan disimpan baik-baik agar tidak memburuk dan rusak. Perawatan dan kontrol terhadap alat pelindung diri penting agar fungsi alat pelindung diri tetap baik, misalnya alat pelindung diri yang mempunyai masa kerja tertentu seperti kanister, filter dan penyerap (*contridge*), alat pelindung diri dapat menularkan penyakit bila dipakai bergantian.

Alat pelindung diri harus tetap dipelihara agar selalu dalam kondisi yang baik, tetap bersih dan terawat. Alat pelindung diri pada saat tidak dipakai harus disimpan dengan baik untuk mencegah kerusakan dan hilang.

Alat pelindung pernapasan harus dibersihkan dan di cek secara teratur. Kedua hal ini perlu dilaksanakan terhadap pelindung yang digunakan secara periodik dan disediakan sebagai peralatan darurat. Harus ditetapkan secara jelas jadwal penggantian filter-filternya. Alat pelindung pernapasan yang telah digunakan dapat digunakan lagi oleh orang lain asalkan alat itu dibersihkan secara seksama dan dibasmi hamanya.

Sarung tangan pelindung harus dijaga kebersihannya, jika sarung tangan itu tidak bersih pada bagian dalamnya, akan lebih berbahaya. Sarung tangan karet dapat menyebabkan eksim, oleh karena itu digunakan bila benar-benar sangat diperlukan.

Suatu kemungkinan untuk terjadi suatu resiko yang timbul dari pencucian pakaian pelindung, pakaian itu tidak boleh dibawa pulang untuk dibersihkan. Setiap pencucian pakaian pelindung yang tercemar harus diberitahukan akan bahaya-bahaya yang mungkin timbul dari pencemaran itu. Tempat pakaian harus diberikan dan fasilitas ganti pakaian harus disediakan untuk mencegah pencemaran dari pakaian pelindung kepada pakaian pribadi dan fasilitas lainnya.

Segala macam sabuk pengaman diharuskan diuji oleh ahli

sebelum digunakan dan paling sedikit 6 (enam) bulan sekali diuji kembali. Beban dapat mencapai 250 Kp (Kilo pond = 240 kg) dan harus digunakan sesuai dengan ketentuan-ketentuan perundangan. Sebelum digunakan kedua sabuk dan tali harus diperiksa, tidak boleh ada yang putus benangnya dalam kelim, tali tidak ada sobekan, karatan. Pembersihan harus dilaksanakan sesuai dengan petunjuk. Sabuk pengaman harus disimpan dalam keadaan tergantung pada tempat kering, gelap dan ventilasi yang baik. Tali harus disimpan dalam keadaan terbuka dan harus digulung padat.

Alat pelindung telinga, jika digunakan agar selalu dalam keadaan bersih dan disimpan pada tempat yang aman, memasukkan sumbat telinga harus dengan tangan bersih. Bila ear muff sudah longgar atau sumbat telinga menjadi keras dan rusak, mintalah segera penggantian.

Alat pelindung diri yang disupply oleh perusahaan, harus ada sertifikat dari distributornya.

Untuk menjamin bahwa perawatan alat pelindung diri telah dilakukan sesuai dengan rencana, diperlukan adanya catatan. Catatan tersebut harus memberikan informasi seperti :

- Kapan dan perawatan apa yang telah dilaksanakan;
- Bila dilakukan tes, apa dan bagaimana hasilnya;
- Bila ada kerusakan, kerusakan apa dan perbaikan apa yang dilakukan

Informasi tersebut harus dengan mudah didapat dan dimengerti oleh yang memerlukan.

Upaya perlindungan tenaga kerja merupakan upaya untuk mencapai suatu tingkat produktivitas yang tinggi dimana salah satu aspek adalah upaya keselamatan kerja termasuk lingkungan kerja.

Potensi bahaya yang berasal dari lingkungan kerja yang dapat menimbulkan kecelakaan dan penyakit akibat kerja adalah faktor fisik kimia biologi, psikologi dan fisiologi.

Faktor lingkungan kerja yang berasal dari bahan-bahan kimia seperti adanya kebocoran-kebocoran cairan, tumpahan atau dampak bahan kimia dalam berbagai bentuk seperti debu, gas, cairan, asap dan fume dapat mencemari udara lingkungan kerja maupun mencemari lingkungan masyarakat.

Berdasarkan pasal 3 ayat 1 UU No. 1/1970 bahwa syarat-syarat keselamatan kerja termasuk pengawasan terhadap lingkungan kerja harus dilaksanakan di tempat kerja.

Untuk mengurangi resiko ataupun potensi bahaya dari lingkungan kerja perlu adanya upaya pengendalian lingkungan kerja yang sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

#### **6.1.5. Faktor-faktor Bahaya Lingkungan Kerja**

Terdapat lima faktor penyebab kecelakaan dan penyakit akibat kerja yaitu:

##### **A. Faktor Fisik**

##### **1. Faktor Kebisingan**

###### **a) Pengertian dan Batasan**

Kebisingan adalah bunyi yang didengar sebagai suatu rangsangan pada telinga, dan manakala bunyi-bunyi tersebut tidak dikehendaki maka dinyatakan sebagai suatu kebisingan.

Kwalitas bunyi ditentukan oleh frekwensi dan intensitasnya, intensitas bunyi adalah besarnya tekanan yang dipindahkan oleh bunyi yang dinyatakan dalam satuan desibel (DB).

Frekwensi dinyatakan dengan jumlah getaran perdetik atau herz, yaitu jumlah gelombang yang diterima oleh telinga setiap detiknya Telinga manusia dapat mendengar bunyi mulai

frekwensi 20 s.d. 20.000 Herz. Bunyi dengan frekwensi 250 s.d. 3.000 Herz sangat penting, karena frekwensi tersebut manusia dapat mengadakan komunikasi dengan normal.

Berdasarkan sifatnya bunyi yang menyebabkan kebisingan dapat dibagi :

- Kebisingan kontinue
- Kebisingan impulsif
- Kebisingan terputus-putus
- Kebisingan impaktif

b) Pengaruh kebisingan terhadap tenaga kerja dan lingkungan kerja dapat dibagi yaitu :

1) Pengaruh terhadap alat pendengaran

Tuli konduktif terjadi karena gangguan hantaran suara dari daun telinga ke foramen ovate.

Tuli perseptif disebut juga dengan istilah tuli sensori Neural, hal ini diakibatkan karena kerusakan pada cochlea dan syaraf pendengaran atau otak.

2) Efek kebisingan kepada daya kerja

Kebisingan mempunyai efek merugikan pada daya kerja, pengaruh-pengaruh negatif demikian adalah sebagai berikut; Gangguan kebisingan adalah suara yang tidak dikehendaki, maka dari kebisingan itu sering mengganggu walaupun terdapat variasi besarnya gangguan atas jenis dan kekerasannya.

- Komunikasi dalam pembicaraan.

Gangguan Komunikasi dalam pembicaraan akan didapat pembicaraan harus dilakukan dengan berteriak, hal ini menyebabkan terganggunya pekerjaan, bahkan menimbulkan terjadi kesalah-pahaman dalam komunikasi.

- Efek pada pekerjaan

Kebisingan mengganggu perhatian, maka tenaga kerja yang melakukan pengamatan dan pengawasan proses produksi dapat membuat kesalahan, akibat terganggunya konsentrasi.

- Reaksi Masyarakat  
Kebisingan dari mesin produksi yang telah demikian hebat akan muncul protes oleh karena kegiatan tersebut.

3) Pengukuran intensitas kebisingan Alat pengukur intensitas kebisingan "*Sound Level meter*"

4) Pengendalian Kebisingan

Di tempat kerja pengendalian terhadap bahaya kebisingan pada prinsipnya adalah mengurangi tingkat intensitas kebisingan atau mengurangi lamanya pemaparan selama jam kerja.

Usaha-usaha yang dapat ditempuh dengan cara :

- Menurunkan tingkat intensitas kebisingan pada sumbernya; hal ini dapat dilakukan dengan menempatkan alat peredam pada sumber getaran;
- Penempatan penghalang pada jalan transmisi hal ini dilakukan secara baik dengan cara mengisolasi mesin atau tenaga kerja;
- Penggunaan alat pelindung telinga; Alat ini pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu : Sumber telinga (*ear plug*) dan tutup telinga (*ear muff*);
- Pengaturan waktu kerja; Bila hal-hal tersebut diatas masih sulit untuk diterapkan masih ada usaha perlindungan yang meminta perhatian khusus terutama pihak pengusaha dengan jalan mengatur waktu kerja sesuai dengan intensitas bising yang diterima tenaga kerja.

## 2. Iklim Kerja

### a) Pengertian dan Batasan

Iklim kerja adalah suatu kombinasi dari suhu kerja, kelembaban udara, kecepatan gerakan udara dan suhu radiasi pada suatu tempat kerja. Cuaca kerja yang tidak nyaman, tidak sesuai dengan syarat yang ditentukan dapat menurunkan kapasitas kerja yang berakibat menurunnya efisiensi dan produktivitas kerja. Suhu udara dianggap nikmat bagi orang Indonesia ialah sekitar 24°C sampai 26°C dan selisih suhu didalam dan diluar tidak boleh lebih dari 5°C. Batas kecepatan angin secara kasar yaitu 0,25 sampai 0,5m/dt.

### b) Keseimbangan Panas

Suhu tubuh manusia selalu dipertahankan hampir konstan/ menetap oleh suatu pengatur suhu pada tubuh manusia. Suhu menetap ini adalah akibat keseimbangan antara panas yang dihasilkan didalam tubuh sebagai akibat metabolisme dan pertukaran panas diantara tubuh dan lingkungan sekitarnya. Dalam hal ini darah sangat berperan dalam membawa panas dari tubuh dalam ke kulit sehingga panas dihamburkan ke sekitarnya.

### c) Faktor-faktor yang menyebabkan pertukaran panas diantara tubuh dengan sekitarnya adalah ;

Konduksi; adalah pertukaran panas diantara tubuh dengan benda atau lingkungan sekitarnya melalui kontak langsung, perpindahan panas seperti ini dari tubuh melalui udara yang diam sangatlah kecil sehingga panas konduksi tersebut dapat diabaikan.

➤ Konveksi; yaitu gerakan molekul-molekul gas/cairan dengan suhu yang rendah, perpindahan melalui media udara sangat dipengaruhi oleh suhu udaradan kecepatan gerakan udara.

➤ Radiasi; adalah energi gelombang dari kedua benda akan saling berpengaruh sehingga energi gelombang panas yang lebih tinggi akan memancarkan panas radiasi dan panas radiasi yang lebih rendah akan menerima panas radiasi.

➤ Evaporasi/penguapan; adalah keringat yang dihasilkan pada permukaan kulit melalui pelepasan uap air, terjadi apabila tekanan uap air lingkungan kerja, sehingga keseimbangan

panas dari tubuh dan lingkungan harus dijaga.

d) Pengaruh Lingkungan Kerja Panas Terhadap Tubuh

Untuk individu yang selalu berhadapan dengan faktor panas agar tidak merasa terganggu, maka beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu faktor yang mempengaruhi toleransi tubuh terhadap panas:

- Aklimatisasi
- Ukuran badan
- Umur
- Jenis kelamin
- Kesegaran jasmani
- Suku bangsa

Suhu yang tinggi biasanya bertalian dengan berbagai penyakit antara lain *heat cramps*, *heat exhaustion*, *heat stroke* dan *milliaria*, dalam pengalaman penyakit-penyakit tersebut jarang ditemukan di Indonesia.

e) Pencegahan Iklim Kerja Panas

Untuk pencegahan yang sebaik-baiknya harus terkoordinasi ilmu teknis dan ilmu kedokteran. Teknis untuk menurunkan suhu di tempat kerja dan kedokteran untuk mengevaluasi efek suhu kepada tenaga kerja.

Cara pencegahan tekanan panas dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain :

- Memperbaiki aliran udara atau sistem ventilasi yang lebih sempurna;
- Mereduksi tekanan panas di lingkungan kerja yang ada sumber panasnya, sehingga diperoleh efisiensi kerja yang baik;
- Penerapan teknologi pengendalian untuk menurunkan suhu basah dibawah nilai ambang batas;
- Penggunaan teknis perlindungan agar tenaga kerja tidak terpapar terhadap tekanan panas dan pemeliharaan kesegaran jasmani tenaga kerja;

- Penyediaan air minum yang cukup untuk keseimbangan cairan tubuh;
- Penyesuaian berat ringan pekerjaan.

### 3. Pencahayaan

#### a) Pengertian dan Batasan

Penerangan/pencahayaan merupakan salah satu komponen agar pekerja dapat bekerja/mengamati benda yang sedang dikerjakan secara jelas, cepat, nyaman dan aman. Lebih dari itu penerangan yang memadai akan memberikan kesan pemandangan yang lebih baik dan keadaan lingkungan yang menyegarkan. Sebuah benda akan terlihat bila benda tersebut memantulkan cahaya, baik yang berasal dari benda itu sendiri maupun berupa pantulan yang datang dari sumber cahaya lain, dengan demikian maksud dari pencahayaan dalam lingkungan kerja agar benda akan jelas terlihat. Pencahayaan tersebut dapat diatur sedemikian rupa yang disesuaikan dengan kecermatan atau jenis pekerjaan sehingga memelihara kesehatan mata dan keagairahan kerja.

#### b) Faktor Yang Mempengaruhi Intensitas Penerangan

- Sumber Cahaya; berbagai jenis sumber cahaya yang dapat dipakai dan pada saat ini dipergunakan antara lain; lampu pijar/bolam do lampu neon/penerangan darurat (*flourscent tube*);
- Daya Pantul (Reflektivitas); bila cahaya mengenai suatu permukaan yang kasar dan hitam maka semua cahaya akan diserap, tetapi bila permukaan halus dan mengkilap maka cahaya akan dipantulkan sejajar, sedangkan bila permukaan tidak rata maka pantulan cahaya akan diffus. Pada pantulan cahaya sejajar mata tersebut akan melihat gambar dari sumber cahaya, pada cahaya diffus mata melihat pada permukaan, sebagian dari pada permukaan biasanya mempunyai sifat kombinasi sejajar dan diffus.
- Ketajaman penglihatan; kemampuan mata untuk melihat sesuatu benda dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu;
  - Ukuran objek/benda

- Cahaya pantul benda (*Brightness*)
- Kontras – waktu pengamatan

c) Penerangan Ruangan

Penerangan yang baik adalah penerangan yang memungkinkan seseorang tenaga kerja melihat pekerjaan dengan teliti, cepat, jelas, serta membantu menciptakan lingkungan kerja yang nikmat dan menyenangkan. Sifat-sifat penerangan yang baik ditentukan oleh beberapa faktor seperti pembagian luminensi dalam lapangan penglihatan, pencegahan kesilauan, arah sinar, warna dan panas penerangan terhadap keadaan lingkungan. Untuk mengatur penerangan ruangan yang baik maka lima pedoman berikut perlu diperhatikan.

- Permukaan dari semua bidang dan objek yang besar pada bidang fisual mempunyai kecerahan yang merata;
- Bagian pusat dan tengah bidang fisual, kontras dari kecerahan permukaan tidak boleh melampaui rasio 1 : 3;
- Bagian pusat dan Pelatarannya atau didalam bagian luar dari bidang visual, kontrasnya tidak boleh melebihi rasio 1:10;
- Permukaan Yang Cerah Harus Berada Di Pusat bidang visual dan menggelap kearah pinggiran;
- Kontras yang melampaui dibagian bawah atau samping dari bidang visual akan lebih mengganggu dari pada bagian atas.

Dalam praktek perlu dihindari hal-hal berikut ini :

Jendela yang terang sekali

- Papan hitam menempel pada dinding putih :
- Benda-benda yang memantulkan/mengkilap

Untuk menanggulangi kecerahan yang berganti-ganti dapat dilaksanakan dengan;

- Menutupi bagian mesin yang bergerak
- Menetralkan kecerahan dengan membuat pelatarannya berwarna yang cocok serta penerangan yang diperhitungkan
- Memakai cahaya kontinue

d) Kesilauan

Silau merupakan gangguan utama terhadap penyesuaian dari retina dan dapat dibedakan atas :

- Silau relatif; kontras terlalu kuat didalam bidang visual;
- Silau mutlak; penerangan yang begitu tinggi sehingga adaptasi tidak dimungkinkan;
- Silau adaptif; adaptif pada tingkat terang tertentu tetapi yang belum tercapai.

Pencegahan Kesilauan dilakukan dengan :

- Pemilihan lampu secara tepat, yang tidak menjadi pelambang kedudukan seseorang, melainkan dimaksudkan untuk penerangan yang baik;
- Penempatan sumber sumber cahaya terhadap meja dan mesin, juga diperhitungkan letak jendela;
- Penggunaan alat pelapis yang tidak atau mengkilat (untuk dinding, lantai, meja, dll);
- Penyaringan sinar matahari langsung.

e) Pengaruh Pencahayaan Terhadap Kesehatan

Penglihatan yang jelas maka tenaga kerja akan melaksanakan pekerjaannya lebih mudah dan cepat sehingga produktivitas diharapkan naik sedangkan penerangan buruk akan berakibat:

- Kelelahan mata dan berkurangnya daya dan efisiensi kerja
- Kelelahan mental
- Keluhan pegal didaerah mata dan sakit kepala di sekitar mata;
- Kerusakan indera mata;
- Meningkatnya terjadinya kecelakaan

f) Pengukuran Intensitas Penerangan

Penerangan diukur dengan alat Lux Meter, alat ini bekerja berdasar pengubahan energi cahaya menjadi tenaga listrik oleh foto electric cell,  $1 \text{ Lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$ .

Tingkat penerangan yang dibutuhkan oleh pekerja untuk pekerjaan yang tidak memerlukan pengamatan cermat maka intensitas penerangan dapat lebih rendah dari pada intensitas pekerjaan yang memerlukan pengamatan teliti. Hal ini dapat dilihat pada peraturan pemerintah dalam PMP No. 7/1964 tentang syarat-syarat kesehatan, kebersihan serta penerangan ditempat kerja.

#### 4. Radiasi Tidak Mangion (*Non Ionizing Radiation*)

Radiasi gelombang elektromagnetik terdiri dari radiasi yang mengion dan radiasi yang tidak mengion, seperti gelombanggelombang mikro, sinar laser, sinar tampak (termasuk sinar dari layar monitor), sinar infra merah, sinar ultra violet.

##### a) Gelombang Mikro

Panjang gelombang mikro adalah 1 mm - 300 cm. Frekweinsinya antara 0,1 GHz - 300 GHz. Kegunaan gelombang mikro antara lain untuk gelombang radio, televisi, radar, telepon.

Efek radiasi gelombang mikro terhadap manusia :

Radiasi gelombang mikro yang pendek ( $< 1$  cm) akan diabsorbpsi oleh permukaan kulit sehingga kulit menjadi seperti terbakar, gelombang mikro yang lebih panjang ( $> 1$  cm) dapat menembus jaringan yang lebih dalam. Frekwensi-frekwensi tertentu ada penelitian yang mengatakan bahwa berefek pada sistem syarat-syaraf.

Untuk mengetahui intensitas gelombang mikro disuatu tempat/ lokasi harus dilakukan pengukuran dengan memakai peralatan *microwave hazard monitoring equepment*. Alat tersebut biasanya terdiri dari detektor dan meter, dengan satuan mw/cm<sup>2</sup> atau uw/cm<sup>2</sup>.

##### b) Radiasi Sinar Ultra Violet Panjang gelombang spektrum sinar ultra violet adalah 1 nm - 40 nm sumber sinar ultra violet selain

sinar matahari adalah las listrik, laboratorium yang menggunakan lampu untuk menghasilkan sinar ultra violet seperti spektrofotometer, atomic absorption spektrofotometer. Efek dari pada sinar ultra violet pada manusia adalah pada kulit dan mata. Efek pada kulit adalah erythema yaitu bercak merah abnormal pada kulit. Pengaruh radiasi sinar ini pada mata adalah lensa mata mengabsorpsi dengan kuat sinar ultra violet dengan panjang gelombang  $< 400$  nm. Sinar ultra violet pada panjang gelombang 200nm – 300nm diabsorpsi kuat di cornea mata dan conjungtiva, sehingga mengakibatkan kerato conjungtivitis. Intensitas sinar ultra violet dapat diketahui memakai peralatan ultra violet detector.

c) Sinar Infra Merah

Panjang gelombang spektrum sinar infra merah adalah diantara 700 nm - 1 nm (1.000.000 nm).

Berdasarkan efek biologisnya terhadap manusia biasanya impaired catarak pada mata, flash burus pada kulit maupun pada kornea mata. Alat untuk mengetahui intensitas sinar infra merah adalah infra red detector. Alat ini terdiri dari detector dan meter atau monitor display.

Pengendalian dan pencegahan efek dari pada radiasi sinar tidak mengion adalah :

- Sumber radiasi harus tertutup
- Berupaya menghindari atau berada pada jarak yang sejauh mungkin dari sumber-sumber radiasi tersebut.
- Berupaya agar tidak terus menerus kontak dengan benda-benda yang dapat menghasilkan radiasi sinar tersebut.
- Memakai alat-alat pelindung diri seperti pakaian anti radiasi, kaca mata pelindung apabila terpaksa harus dekat dengan sumber-sumber radiasi;
- Secara rutin melakukan pemantauan kebocoran instalasi.

## 5. Tekanan Udara Tinggi dan Rendah

Penyakit akibat tekanan udara rendah ini sangat penting bagi mereka yang bekerja ditempat-tempat tinggi diatas permukaan air laut, pendaki gunung dan penerbang, gejala penyakit ini sangat berkaitan terutama atas kekurangan oksigen dalam udara pernafasan. Tekanan udara tinggi banyak dihadapi oleh para penggali tambang, penyelam mutiara, gejala ini didasarkan atas besarnya tekanan udara, sedangkan dekompresi didasarkan bebasnya Nitrogen dalam tubuh. Gas tersebut dalam tubuh dapat menimbulkan penutupan pembuluh darah. Pencegahannya dengan cara menaikkan pekerja didalam secara perlahanlahan/ bertahap agar cukup kesempatan untuk pencapaian keseimbangan gas nitrogen dengan larutan dalam tubuh sehingga tidak terjadi emboli-emboli.

## 6. Getaran Mekanis

Timbulnya getaran biasanya bersamaan dengan timbulnya kebisingan yang berasal dari sumber yang sama. Sejauh ini banyak dicurahkan perhatian terhadap masalah kebisingan, yang sudah lama diketahui dapat menyebabkan gangguan pendengaran, sedangkan masalah getaran, hubungan antara pemaparan dan akibat terhadap kesehatan, apalagi penetapan standard aman hingga saat ini belum ditentukan. Secara praktis dapat digolongkan kedalam dua jenis yaitu :

### a) Getaran Seluruh Badan (*Whole Body Vibration*)

Sifat fisik getaran seluruh badan terutama terjadi pada penerangan buruk akan berakibat kelelahan mata dan berkurangnya daya dan efisien alat pengangkut misalnya proses bongkar muat pada penggunaan crane, fork lift, truktruk pengangkut bahkan geladak kapal jika mesin waktu hidup. Getaran dari alat-alat berat dapat pula dipindahkan keseluruhan badan melewati getaran lantai melalui kaki. Sebenarnya hanya getaran dari tempat duduk dan topangan kaki yang penting, karena diteruskan kebadan. Badan manusia merupakan suatu susunan elastis yang kompleks dengan tulang sebagai penyokong dari alat-alat dan landasan kekuatan dari kerja otot. Untuk

getaran susunan demikian merupakan masa peredaran dan penghantar sekaligus. Fungsi kaki berbeda-beda tergantung dari bengkokan pada sendi lutut, tungkai lurus menghantar menghantarkan 100% getaran badan, sedangkan dalam posisi bengkok akan berlaku sebagai peredam.

b) Efek terhadap Tubuh

Sistem peredaran darah dipengaruhi hanya oleh getaran-getaran dengan intensitas tinggi, tekanan darah, denyut jantung, pemakaian O<sub>2</sub> dan volume perdenyut berubah sedikit pada intensitas 0,6 g berubah banyak pada 1,2 g dengan frekwensi 6-10 Hz. Dari semua organ badan mata paling banyak dipengaruhi oleh getaran mekanis. Pada frekwensi sampai 4 Hz mata masih dapat mengikuti getaran-getaran antara kepala dan sasaran. Pada frekwensi tinggi penglihatan juga terganggu manakala amplitudo lebih besar dari jarak dua kali dari retina.

c) Pencegahan

- Isolasi sumber getaran
- Isolasi pekerja atau operator
- Mengurangi pemaparan terhadap getaran, diselingi dengan waktu istirahat yang cukup
- Melengkapi peralatan mekanis dengan menahan atau menyerap getaran,
- Pemeriksaan kesehatan awal dan berkala

d) Getaran Terhadap Lengan (*Tool hand vibration*)

Alat-alat yang pada waktu bekerjanya bergetar dan mengakibatkan getaran-getaran pada lengan atau tangan terdapat pada peralatan yang menggunakan mesin, seperti kendali crane, kemudi fork lift. kemudi truk, selama bekerja dengan alat tersebut kadang-kadang sifat getarannya tidak serupa.

e) Getaran terhadap Kesehatan

Pada pekerjaan yang menggunakan alat-alat bergetar secara terus menerus terdapat dua gejala utama sehubungan dengan getaran mekanis tersebut :

- Kelainan peredaran darah dan syaraf
- Kerusakan pada persendian dan tulang

f) Upaya Pencegahan

- Pemeriksaan kesehatan awal bagi pekerja
- Peralatan tangan bergetar harus dirawat sebaik-baiknya sesuai petunjuk
- Pekerja dianjurkan :
- Memakai pakaian yang cukup untuk mempertahankan suhu badan;
- Memakai sarung tangan
- Sebelum bekerja harus diadakan pemanasan
- Jangan memegang peralatan yang bergetar terlalu erat/ kencang
- Sedapat mungkin pengoperasian alat tidak sampai kapasitas penuh
- Bila timbul tanda-tanda kesemutan, kaku, jari-jari memutih atau membiru harus segera memeriksa ke dokter.

## **B. Faktor Kimia**

Dengan semakin banyaknya pemakaian bahan kimia di dalam industri, maka semakin sering pula terlihat pengaruh-pengaruhnya terhadap tenaga kerja dan industri sendiri, yang selalu akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan, sehingga akan sangat mempengaruhi produktivitas kerja dan produktivitas perusahaan bersangkutan.

Penanganan bahan kimia dalam industri memerlukan perhatian khusus agar dapat memberika perlindungan yang optimal bagi tenaga kerja dan masyarakat umum, sejak dari pengadaan, penyimpanan, pemakaian sampai pengolahan sisa-sisa produksi yang dihasilkan. Penanganan yang salah atau tidak benar akan mengakibatkan berbagai hal yang bisa menyebabkan kerugian bagi tenaga kerja dan perusahaan sendiri.

Berdasarkan sifat-sifat fisika dan kimia maka bahan berbahaya yang dipakai didalam industri, dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a) Bahan kimia yang mudah terbakar seperti benzena, aseton, eter, hexsan
- b) Bahan kimia yang mudah meledak seperti ammonium nitrat, nitrogliserin
- c) Bahan kimia beracun seperti asam chlorida
- d) Bahan kimia korosif seperti asam chlorida
- e) Bahan kimia yang bersifat oksidator, seperti perklorat, permanganat, peroksida organik dll
- f) Bahan kimia yang peka (reaktif) terhadap air, seperti natrium hibrida, karbit, nitrida dll
- g) Bahan kimia yang bersifat asam kuat
- h) Bahan kimia yang harus disimpan dalam tekanan tinggi seperti gas nitrogen dioxide, hidrogen chlorida di dalam silinder penyimoan
- i) Bahan kimia yang bersifat radioaktif

### **Efek Bahan Kimia di Lingkungan Kerja**

Lingkungan kerja adalah tempat dimana tenaga kerja melakukan pekerjaan serta mendapat pemaparan berbagai potensi bahaya. Bagaimanapun sempurna dan efektifnya penanganan bahan kimia yang dilakukan didalam industri, maka tetap terjadi pelepasan bahan kimia berbahaya kedalam lingkungan kerja, sehingga tenaga kerja akan tetap terpapar.

Bahan kimia berbahaya dapat berpengaruh terhadap tenaga kerja apabila bahan tersebut "masuk" kedalam tubuh tenaga kerja. Masuknya bahan ini kedalam tubuh sangat tergantung dari bentuk fisik bahan tersebut.

Dikenal beberapa bentuk fisik bahan kimia didalam lingkungan kerja, yaitu :

- Padat seperti debu, serat atau partikel, yang dapat berasal dari debu rokok, debu logam berat, debu mineral (asbes dan silika), debu padi dan tumbuhan lain, serat kapas dan kain, dll.

- Cair seperti liquid, misalnya titik cairan semprotan pembasmi serangga, orang bersin dll;
- Gas dan uap, seperti O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S yang berbentuk gas, sedang yang dalam bentuk uap misalnya uap pelarut cat atau tinner yang mengandung benzena, toluena, xylene dan derivat-derivatnya, uap pelarut atau pembersih gemuk, uap pericuci dipercetakan, uap pelarut perekat dan sebagainya.

Secara atau berdasarkan sifat fisik dari bahan kimia di lingkungan kerja, maka dapat dikelompokkan sebagai berikut  
Bahan bersifat Partikel (awan, asap, kawat dan fume) yang menurut sifatnya Oat digolongkan menjadi :

- Perangsang (kapas, sabun dll)
- Toksik (partikel Pb, As, Mn dll)
- Penyebab Firosis (debu asbes, quartz dll)
- Penyebab demam (fume nzo)
- Inert (Al, Kapur di!)

Bahan-bahan Non Partikel (gas dan uap) yang berdasarkan pengaruh fisiologiknya dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Aspiksian (N<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub>)
- Perangsang (HCl, H<sub>2</sub>S, dll)
- Racun organik dan an-organik (nikel, carbonyl dll)
- Bahan kimia yang mudah menguap
- Merusak alat-alat tubuh (CC14)
- Berfek anaesthesia
- Merusak susunan darah (benzena)
- Merusak syaraf (parathion)
- Rritan dan bahan-bahan korosif terhadap jaringan

### **C. Faktor Biologi**

Faktor biologis penyakit akibat kerja banyak ragamnya, yaitu virus, bakteri protozoa, jamur, cacing, kutu pinjal, mungkin pula hewan atau tumbuhan. Pada saat sekarang ini persoalan utama di pedesaan adalah kesehatan lingkungan, seperti halnya yang dihadapi petani-petani pada

umumnya. Pekerja di pertanian, perkebunan dan kehutanan juga menghadapi berbagai penyakit yang dikarenakan oleh pekerjaannya antara lain racun hama dan penyakit disebabkan virus, bakteri ataupun hasil pertanian, misalnya tabakosis pada pekerja-pekerja yang mengerjakan tembakau, bagassosis pada pekerja-pekerja di pabrik gula. Penyakit paru oleh jamur sering terjadi pada pekerja yang menghirup debu-debu organik, misalnya pernah juga dilaporkan dalam kepustakaan tentang Aspergillus paru pada pekerja gandum. Demikian juga alergi misalnya "grain asthma" Sporotrichosis adalah salah satu contoh penyakit akibat kerja yang disebabkan oleh jamur.

Penyakit jamur kuku sering diderita para pekerja yang tempat kerjanya lembab dan basah atau bila mereka terlalu banyak merendam tangan atau kaki di air seperti pencuci. Agak berbeda dari faktor-faktor penyebab penyakit akibat kerja lainnya, faktor biologis dapat menular dari seorang pekerja ke pekerja lainnya. Usaha yang lain harus pula ditempuh cara pencegahan penyakit menular, antara lain imunisasi dengan pemberian vaksinasi atau suntikan, mutlak dilakukan untuk pekerja-pekerja di Indonesia sebagai usaha kesehatan biasa, adalah imunisasi dengan vaksin cacar terhadap variola, dan dengan suntikan terhadap kolera, tipus, dan paratifes perut. Bila memungkinkan diadakan pula immunisasi terhadap TBC dengan BCG yang diberikan kepada pekerja-pekerja dan keluarganya yang reaksinya terhadap uji Mantoux negatif, immunisasi terhadap difteri, tetanus, batuk rejan dari keluarga--keluarga pekerja sesuai dengan usaha kesehatan anak-anak dan keluarganya, sedangkan dinegara yang maju diberikan pula immunisasi dengan virus influenza.

#### **D. Faktor Fisiologi**

Ilmu tentang faal yang dikhususkan manusia yang bekerja di sebut ilmu faal kerja. Secara faal, bekerja adalah hasil kerjasama dalam koordinasi yang sebaik-baiknya dari indera (mata, telinga, peraba, peraba, dll), otak dan susunan syaraf-syaraf dipusat dan diperifer, serta otot-otot. Mula-mula koordinasi indera, susunan syaraf, otot dan alat-alat lain berjalan secara sukar dan masih harus disertai upaya-upaya yang diperlukan kenyataan ini terlihat pada seorang tenaga kerja baru yang sedang menjalani latihan lambat laun gerakan menjadi suatu reflek

sehingga bekerja menjadi otomatis. Semakin cepat sifat reflek dan otomatis tersebut yang disertai semakin baik koordinasi hasil kerja, semakin tinggi pulalah ketrampilan seseorang.

Kerja terus menerus dari suatu otot sekalipun bersifat dinamik, selalu diikuti dengan kelelahan yang perlu istirahat untuk pemulihan. Atas dasar kenyataan itu, waktu istirahat dalam bekerja atau sesudah kerja sangat penting. Kelelahan otot secara fisik antara lain akibat zat-zat sisa metabolisme seperti asam laktat,  $CO_2$ , dsb.

Otot dan tulang merupakan dua alat yang sangat penting dalam bekerja. Kerutan dan pelepasan otot dipindahkan kepada tulang menjadi gerakan refleksi, abduksi, supinasi dll. Demikian pentingnya kedua alat ini sebagai suatu kesatuan berkembanglah ilmu BIOMEKANIK, yaitu tentang gerakan otot dan tulang yang dengan pengetrapannya diharapkan agar dengan tenaga sekecil-kecilnya dapat dicapai hasil sebesar-besarnya. Biomekanika memberikan pengetahuan-pengetahuan tentang gerakan-gerakan dan kekuatan-kekuatan pada penggunaan leher dan kepala, tulang belakang, lengan, tangan, kaki, jari-jari dan sebagainya.

Peralatan kerja dan mesin pedu serasi dengan ukuran-ukuran demikian untuk hasil kerja sebesar-besarnya. Maka berkembanglah ilmu yang disebut ANTROPOMETRI, yaitu ilmu tentang ukuran-ukuran tubuh, baik dalam keadaan statis maupun dinamis, yang sangat penting bagi pekerjaan adalah ukuran-ukuran

- Berdiri, tinggi badan berdiri, tinggi bahu, tinggi siku, tinggi pinggul, depan dan panjang lengan.
- Duduk, tinggi duduk, panjang lengan atas, panjang lengan bawah dan tangan, tinggi lutut, jarak tekuk lutut, garis punggung, jarak lekuk lutut, telapak kaki.

Semakin berat pekerjaan, semakin besar tenaga yang diperlukan. Dalam hubungan ini jumlah kalori merupakan juga petunjuk besarnya beban pekerjaan. Timbulnya panas dan tubuh sejalan dengan kenaikan suhu badan, terutama suhu rectal, dan usaha-usaha tubuh untuk mengeluarkan panas akibat metabolisme. Sebagai akibat terakhir ini, kecepatan penguapan lewat keringat juga merupakan indikator beban

fisiologis dan badan. Namun indikator-indikator ini masih dipengaruhi pula oleh keadaan cuaca kerja. Beban kerja fisiologis dapat didekati dari banyaknya  $O_2$  yang digunakan tubuh, jumlah Kalori yang dibutuhkan, denyutan jantung suhu netral dari kecepatan penguapan lewat keringat.

Selain faktor beban kerja dan peralatan didalam tubuh, faktor waktu dan faktor-faktor lingkungan sangat berpengaruh kepada faal kerja. Waktu mungkin dalam lamanya, tetapi juga dalam periodisitasnya. Lamanya bekerja tergantung dari kemampuan seorang tenaga kerja, beban kerja lingkungan.

## **E. Faktor Lingkungan**

Tenaga kerja yang sehat adalah tenaga kerja yang produktif, karena hanya tenaga kerja yang sehat yang sanggup dan siap untuk bekerja dengan baik dan maksimal produktivitas yang tinggi.

### (1) Ciri-ciri jiwa yang sehat (mental)

- Mampu melaksanakan pekerjaan dengan berbagai masalah yang dihadapinya,
- Mampu menjalin hubungan dengan orang lain (teman sekerja dengan atasannya),
- Mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan dan pekerjaannya
- Mampu menghadapi kesulitan secara realistik dan konstruktif

Sedangkan menurut Expert Commite WHO (1959), arang sehat secara mental adalah :

"Dapat menyesuaikan diri secara konstruktif pada kenyataan meskipun kenyataan itu mengandung tantangan memperoleh kepuasan kerja dari perjuangan".

Merasa lebih puas memberi daripada menerima,

Secara relatif bebas dari ketegangan dan rasa cemas Berhubungan dengan orang lain secara tolong menolong dan saling memuaskan.

Menerima kepercayaan untuk dipakai sebagai pelajaran dihari depan,

Menjuruskan rasa permusuhan pada penyelesaian yang konstruktif dan kreatif,

Mempunyai daya kasih sayang yang besar

(2) Faktor-faktor yang mempengaruhi kesehatan jiwa dan produktivitas Yang berada dalam lingkungan kerja/tempat kerja :

- Lingkungan kerja mekanik, fisik, kimiawi, biologis dan psikologis
- Hubungan antar manusia ditempat kerja, baik vertikal maupun horisontal
- Sistem kerja baik yang menyangkut cara kerja maupun pengaturan kerja
- Pekerja itu sendiri yang berkaitan dengan sifat jenisnya

Yang berada diluar lingkungan kerja

- Di dalam keluarga sendiri seperti situasi rumah tangga, kondisi keluarga, hubungan antar anggota keluarga, sistem dan nilai dalam keluarga, jumlah keluarga, dll.
- Di dalam masyarakat, meliputi norma-norma masyarakat, posisi dalam masyarakat, hubungan dengan anggota masyarakat, kondisi lingkungan masyarakat, kondisi sosial ekonomi dan kultur masyarakat.

Masalah-masalah ketenagakerjaan

Adanya pengangguran yang besar di pasar kerja yang dapat menghantui perasaan tenaga kerja untuk kehilangan pekerjaannya.

Hal ini disebabkan pertumbuhan penduduk yang sangat besar dibandingkan penyediaan lapangan kerja.

Masalah Kualitatif

Tingkat ketrampilan yang rendah berakibat produktivitas rendah dan upah juga rendah. Hal ini menyebabkan tenaga kerja tidak tenang karena harus berupaya mencukupi kebutuhan hidupnya. Ketahanan fisik dan psikis juga kurang karena kekurangan gizi. Karena penawaran jauh lebih besar dari pada permintaan menyebabkan nilai kesempatan menjadi prioritas, sehingga mengakibatkan faktor

ketepatan pekerjaan dengan kemampuan-nya (*the right man in the right job*).

### (3) Pengaruh lingkungan kerja terhadap kesehatan jiwa

Lingkungan kerja yang dapat mempengaruhi kesehatan jiwa adalah :

- a) lingkungan kerja mekanis
- b) lingkungan kerja fisik
- c) lingkungan kerja kimiawi
- d) lingkungan kerja biologis
- e) lingkungan kerja fisiologis
- f) lingkungan kerja psikologis

Lingkungan kerja mekanis, merupakan keadaan dan proses produksi daripada mesin-mesin dan peralatan di perusahaan yang digunakan dalam proses produksi. Lingkungan kerja mekanis dapat menjadi bahaya potensial bila keadaan dan proses daripada mesin-mesin tersebut menimbulkan perasaan tidak aman, mencekam, menjemukan, menekan dan sebagainya. Untuk pencegahannya penting diterapkan unsur-unsur ergonomis dalam pekerjaan dan peralatan tersebut. Lingkungan kerja fisik, antara lain berupa kebisingan, tekanan panas, radiasi dan lain-lain.

Lingkungan kerja fisik secara konkrit akan mempengaruhi kesehatan fisik dan kesehatan jiwa tenaga kerja, apabila telah melampaui NAB. Misalnya, kebisingan yang melampaui NAB dapat mengganggu konsentrasi dan emosi tenaga kerja.

Lingkungan kerja bahan-bahan kimia. Banyak bahan-bahan kimia yang mempunyai sifat toksik sehingga sangat berbahaya bagi kehidupan manusia. Pengaruh bahan kimia yang toksik selain menyebabkan menurunnya beberapa fungsi fisik, juga dapat menimbulkan kelainan kejiwaan.

Zat-zat kimia dalam pekerjaan yang mempengaruhi syarat dan perilaku adalah :

Pelarut-pelarut organik seperti pentan, iso pentan, 2 metil pentan, 3 metil pentan, 4 heksan, heptan, iso heptan, metil-etil keton, toluen, tri klor-etilen, klorida, karbon disulfide dan siren.

Logam berat seperti :

Timah hitam (Pb), air raksa (Hg), Arsen, Cu, Mn, dll. Pestisida : golongan organo fosfat dan golongan klor-hidrokarbon, gas-gas berbahaya, Co, NOA, dll

Zat-zat perangsang : akrilamid

Bahan kimia baru : dimetil amino propionitril Interaksi obat-obat dan alkohol

Lingkungan Kerja Biologis

Apabila tenaga kerja mengetahui ditempat kerja ada bibit atau binatang lain yang dapat membahayakan, akan menimbulkan kecemasan dan reaksi emosional lainnya.

Lingkungan kerja fisiologis

Suatu pekerjaan yang terlalu berat, monoton dan tidak memenuhi syarat ergonomis, akan cepat menimbulkan kecelakaan fisik dan mental.

Lingkungan kerja mental psikologis seperti :

Lingkungan kerja : Poleksosbud, merupakan kondisi ciptaan sebagai pengaruh dari luar perusahaan.

Aspek hubungan kerja : aspek kepemimpinan, sistem kerja, jenis pekerjaan yang tidak sesuai, dll.

Pengaruh lingkungan kerja terhadap kesehatan jiwa dapat berupa :

Rasa tidak nyaman (*dissatisfaction*) terhadap pekerjaan akan mengganggu konsentrasi dan cepat menimbulkan kelelahan, sehingga dapat mempertinggi angka kecelakaan.

Penurunan produktivitas, akibat menurunnya produktivitas individu atau kelompok. Penurunan produktivitas merupakan indikator dini dan sangat membantu dalam upaya pencegahan.

Angka Absensi yang meningkat

Angka sakit atau ijin meningkat tanpa diketahui secara jelas sebab sakitnya.

Tenaga kerja kurang nyaman bekerja, kurang bergairah, kadang-kadang merasa pusing dan lain-lain.

Emosional stress yang dapat dilayani oleh tenaga kerja baik individual (subjektif) maupun kelompok (objektif) terhadap suatu faktor lingkungan kerja.

Peningkatan penyakit-penyakit psikomatis, yaitu keluhan-keluhan fisik yang berhubungan dengan gangguan kejiwaan seperti penyakit tukak lambung (maag), oksin, tekanan darah tinggi/ rendah, dll. Gangguan kejiwaan atau perilaku, merupakan tingkat pengaruh yang serius, terhadap kesehatan jiwa, seperti neurosis dan anxietas.

Cara-cara pencegahan terhadap stress.

Dapat dibedakan dalam 3 (tiga) macam yaitu :

Mengubah lingkungan yang dirasakan. Menimbulkan stress dengan manipulasi lingkungan.

Memanipulasi lingkungan adalah :

Perbaiki lingkungan kerja sehingga memenuhi syarat-syarat kesehatan dan keselamatan kerja, misalnya mengurangi kebisingan penerangan yang baik, menerapkan aspek-aspek ergonomik, dll. Merubah lingkungan yang dirasakan menimbulkan stress melalui perubahan persepsi.

Dalam keadaan-keadaan tertentu stress yang dirasakan dapat dihilangkan dengan merubah persepsi kita terhadap keadaan yang menimbulkan stress tersebut.

Suatu kejadian yang kita nilai negatif, kita usahakan untuk mengambil hikmahnya (segi-segi positifnya)

Persepsinya juga dapat diubah dengan mengubah nilai-nilai keyakinan dan pandangan yang dianut.

Mengubah kita dengan jalan meningkatkan daya tahan terhadap stress.

## F. Faktor Psikologi

Psikologi sebagai suatu ilmu jelas tidak dapat disangka! lagi dan dapat dilakukan pembuktian secara empiris, dengan systematik yang jelas, sebagai salah satu persyaratan ilmu. Secara umum dikatakan bahwa psikologi adalah ilmu yang mempelajari tingkah laku manusia, dalam arti yang luas. Tingkah laku disini tidak hanya tingkah laku yang nyata/tingkah laku secara fisik tetapi juga tingkah laku yang tidak nampak seperti berfikir.

Secara sederhana psikologi dapat dibagi atas :

- Psikologi teoritis yaitu yang berhubungan dengan filsafat;
- Psikologi empiris yang terbagi atas :
  - Psikologi umum yaitu yang mempelajari gejala-gejala kejiwaan dari orang dewasa yang normal misalnya berfikir, belajar dan emosi
  - Psikologi khusus yaitu mempelajari perbedaan-perbedaan individu ahtar manusia, misalnya psikologi hewan, psikologi perkembangan dan psikologi sosial;
  - Psikologi yang diamalkan (*applied psychology*) yaitu psikologi yang mengamalkan hasil-hasil penyelidikan psikologi untuk tujuan praktis, misalnya klinis, psikologi anak dan psikologi industri.

Dengan demikian dapatlah kita ketahui kedudukan dari psikologi industri dalam hubungannya dengan psikologi yang luas.

Jadi dapat dikatakan bahwa psikologi industri adalah psikologi yang mengamalkan fakta-fakta dan prinsip-prinsip psikologi dalam menyelesaikan masalah psikologi yang timbul dari aktivitas-aktivitas yang ada dalam suatu perusahaan.

### **Pengendalian Kecelakaan Kerja**

a) Pengendalian bahaya besar meliputi kecelakaan besar yang terjadi karena bencana alam atau ulah manusia.

Pengendalian bahaya besar menyangkut soal pencegahan dan pengurangan akibat kecelakaan besar yaitu kecelakaan yang dapat

membahayakan orang-orang dan harta benda tidak saja di perusahaan itu sendiri, tetapi juga di lingkungan sekeliling perusahaan tersebut.

(1) Kecelakaan besar

Kecelakaan yang terjadi karena kekuatan alam adalah : gempa bumi, letusan gunung berapi, banjir, dan taufan;

- ❖ Kecelakaan karena ulah manusia, adalah : kecelakaan kapal taut, tabrakan kereta api, jebolnya bendungan air, jatuhnya pesawat terbang;
- ❖ Kecelakaan industri; meledaknya ketel uap, kebocoran bahan kimia, kebakaran besar dan peledakan

Akibat kecelakaan tersebut dapat berupa

- ❖ Banyak korban meninggal dunia
- ❖ Kerusakan hebat pada, instalasi dan bangunan
- ❖ Reaksi masyarakat yang emosional
- ❖ Konsekuensi serius terhadap perusahaan bersangkutan, seperti kehilangan produksi, tuntutan pidana, ganti rugi, penyelidikan dan bahkan penutupan selama-lamanya.

(2) Sebab-sebab Kecelakaan besar

Kecelakaan besar di sebuah perusahaan tidak seperti gempa bumi atau letusan gunung berapi yang tidak dapat dihindari, akan tetapi kecelakaan di perusahaan tentunya disebabkan oleh satu rangkaian kejadian dan tidak oleh satu kejadian saja. Dimana apabila hal ini ditata, direncanakan, dibangun, dioperasikan, dirawat dan dikelola dengan baik maka tidak satu kesalahan, kekeliruan atau kegagalan dapat mengakibatkan suatu kecelakaan besar.

b) Kecelakaan Besar Akibat Bahan Kimia.

(1) Kebakaran dan Peledakan

Contoh suatu kecelakaan besar, kebakaran dan peledakan adalah:

- Mexico City : penyimpanan dan pengisian LPG
- Ciubatao : pipa minyak melalui rawa-rawa di bawah perkampungan
- Flixborough : pabrik caprolactam (*cyclohexan*)
- Siberia : pipa LPG
- Los Alfaques : tanker isi propylene
- Pifer Alpha : anjungan lepas pantai produksi minyak
- Houston 1990 : pabrik petrokimia

## (2) Awan Beracun

Beberapa kecelakaan awan beracun adalah :

- Seveso : doixin
- Bhopal : Methyl Iso Cyanate (MIC)

Sistem Pengendalian Bahaya Besar harus mencakup beberapa unsur, yaitu :

- Yakinkan bahwa manajemen bertanggung jawab atas keselamatan para karyawan dan penduduk di sekitar pabrik.
- Temukan pabrik mana dapat terjadi kecelakaan besar
- Mengusahakan agar mereka yang bertanggung jawab atas keselamatan dari pabrik, melaporkan kepada instansi yang berwenang
- Agar laporan tersebut diperiksa dengan teliti oleh ahli keselamatan kerja yang terlatih
- Mengadakan pemeriksaan secara teratur

### (a) Tanggung jawab Manajemen

Hendaknya jelas bahwa manajemen tetap bertanggung jawab penuh terhadap semua kegiatan pabrik, walaupun :

- ❖ Pabrik telah disetujui
- ❖ Pabrik baru saja diperiksa oleh pihak berwenang
- ❖ Semua rekomendasi dan persyaratan yang diberikan oleh yang berwenang, telah dilaksanakan.

- (b) Identifikasi Pabrik dengan Bahaya Besar  
Kecelakaan besar biasanya disebabkan oleh pelepasan secara tidak sengaja sejumlah besar bahan berbahaya atau penyalaan sejumlah besar bahan yang mudah meledak. Untuk menentukan apakah suatu instansi tertentu adalah suatu perusahaan bahaya besar atau tidak, harus diketahui kapasitas total penyimpanan bahan berbahaya, bukan jumlah persediaan pada suatu saat, atau konsumsi pada jangka waktu tertentu.
- (c) Laporan Keselamatan Kerja  
Mereka yang bertanggung jawab atas keselamatan dari suatu instalasi bahaya besar harus memberitahu instansi yang berwenang akan bahaya-bahaya terhadap pengoperasian instalasi dan cara-cara mengatasi bahaya-bahaya tersebut.
- (d) Unit Pengawasan Sentral Bahaya Besar  
Unit pengawasan sentral bahaya besar harus terdiri dari para spesialis yang dapat :
- ❖ Menyelidiki dengan teliti laporan yang dibuat oleh perusahaan dengan bahaya besar
  - ❖ Memberikan petunjuk tentang hal-hal teknis mengenai keselamatan
  - ❖ Membantu melaksanakan pemeriksaan terhadap perusahaan dengan bahaya besar
  - ❖ Mengadakan pelatihan mengenai keselamatan kerja kepada para pengawas keselamatan dari perusahaan
- (e) Pengawas Pabrik yang Terlatih  
Terlepas dari tugas-tugas normal mereka, para pengawas yang telah dilatih dalam pemeriksaan bahaya besar harus mengecek di tempat kerja secara teratur.
- (f) Syarat-syarat Perundangan

### (3) Pengenalan Tanggap Darurat

Tanggap darurat dilakukan untuk mengatasi resiko yang masih ada setelah semua tindakan pencegahan yang sesuai dilakukan. Tindakan tersebut harus sesuai dengan bahaya dan harus praktis dan realistis agar efektif.

Rencana tanggap darurat tersebut dapat dibagi dalam rencana darurat di dalam perusahaan sendiri dan rencana darurat di luar lingkungan perusahaan.

#### (a) Rencana Darurat di dalam Perusahaan

Rencana darurat di dalam perusahaan menyangkut soal tindakan yang harus dilakukan oleh personil perusahaan di dalam perusahaannya sewaktu terjadi suatu keadaan darurat. Rencana tersebut harus memuat uraian tindakan yang harus dilakukan dalam keadaan darurat.

Tujuan utama rencana darurat adalah untuk mengusahakan agar akibat dari keadaan darurat dapat ditekan sekecil mungkin. Oleh karena itu usaha dipusatkan kearah penampungan kebocoran dan pemadaman kebakaran.

##### ❖ Peringatan Kepada yang Bersangkutan

Mereka yang harus melakukan suatu peranan di dalam rencana darurat harus diberi tahu jika terjadi suatu keadaan darurat. Pemberitahuan ini termasuk penempatan personil untuk pos-pos darurat harus dilatih secara teratur.

##### ❖ Tindakan yang harus dilakukan

Tindakan pertama yang harus dilakukan adalah ditujukan untuk mengatasi keadaan darurat, menghentikan kebocoran-kebocoran, memadamkan api, mencegah hagian lain dari perusahaan terlibat dalam keadaan darurat.

Orang-orang yang terancam bahaya harus diusahakan segera meninggalkan daerah berbahaya.

#### (b) Rencana Keadaan Darurat di luar Perusahaan

Apabila bantuan dari luar untuk mengontrol kecelakaan atau jika akibat kecelakaan dapat membahayakan keselamatan

dari orang-orang diluar perusahaan, maka harus disusun suatu rencana keadaan darurat di luar perusahaan. Tujuan dari rencana tersebut adalah :

- ❖ Untuk memberi informasi kepada orang-orang yang akan dimintai bantuan
- ❖ Untuk memberitahu mereka yang mungkin akan menjadi korban dari suatu kecelakaan besar
- ❖ Jika pemadam kebakaran atau regu penolong dari luar perusahaan akan diminta bantuan, maka sudah semestinya mereka harus mendapat informasi yang berhubungan dengan perusahaan yang bersangkutan.

Pengendalian bahaya besar berarti mencegah terjadinya kecelakaan besar.

Kecelakaan besar dapat dicegah dengan :

- ❖ Design pengolahan
- ❖ Tata letak perusahaan
- ❖ Design instalasi
- ❖ Konstruksi
- ❖ Operasi
- ❖ Perawatan dan
- ❖ Manajemen yang baik

## **6.2. MANAJEMEN RESIKO**

Resiko merupakan sesuatu yang sering melekat dalam aktivitas. Kegiatan apapun yang kita lakukan pasti memiliki potensi risiko. Orang yang bekerja memiliki risiko dipecah. Seorang pengusaha menghadapi kebangkrutan sebagai risiko terbesarnya. Hal terpenting yang harus kita lakukan adalah bukan lari dari risiko yang akan terjadi, tetapi bagaimana mengelola potensi risiko yang timbul sehingga peluang terjadi atau akibat yang ditimbulkannya tidak besar. Dengan kata lain, dengan mengetahui tingkat risiko yang akan terjadi maka kita akan tahu bagaimana mengurangi dampak yang ditimbulkannya. Dengan demikian kita dapat mengendalikan risiko tersebut, sehingga aktivitas kita dapat berjalan dengan lancar dan aman. Konsep seperti inilah yang kita namai dengan Manajemen Risiko.

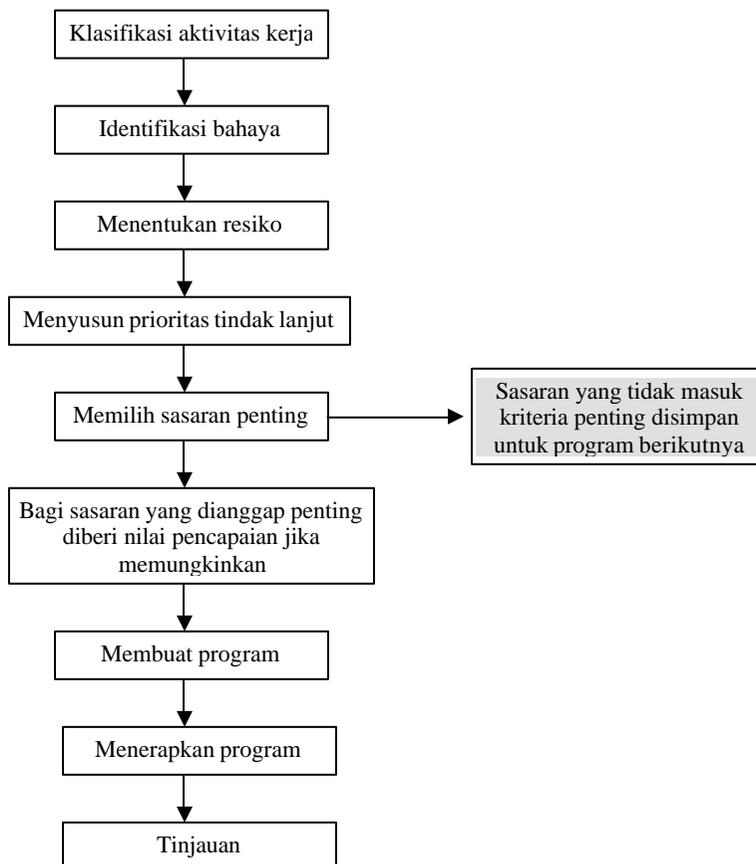
Manajemen Risiko merupakan inti dari Sistem Manajemen K3. karena itu secara khusus OHS AS 18001 dan Permenaker 05/Men/1996 mempersyaratkan adanya pengelolaan risiko. Sebuah organisasi dapat

menerapkan metode pengendalian resiko apapun sejauh metode tersebut mampu mengidentifikasi, mengevaluasi dan memilih prioritas resiko dan mengendalikan resiko dengan melakukan pendekatan jangka pendek dan jangka panjang.

### 6.2.1. Identifikasi dan Pengendalian Resiko Kecelakaan



**Bagan Manajemen Risiko**



**Gambar 6.12. Bagan manajemen resiko**

## **A. Persyaratan OHSAS 18001**

Perencanaan untuk identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian risiko. Organisasi harus membuat dan memelihara prosedur untuk melakukan identifikasi bahaya, penilaian risiko, penerapan kendali pengukuran yang diperlukan, yang mencakup:

- Aktivitas rutin dan nonrutin.
- Aktivitas personel yang memiliki akses pada tempat kerja (mencakup subkontraktor dan pengunjung).
- Fasilitas pada tempat kerja, yang disediakan oleh organisasi atau pihak lainnya.

rganisasi harus memastikan bahwa hasil dari pencapaian tersebut dan pengaruh pengendalian ini dipertimbangkan dalam membuat sasaran K3. Organisasi harus mendokumentasikan dan memelihara informasi terbaru.

Metodologi untuk mengidentifikasi bahaya dan penilaian resiko harus:

- Terdefinisi dengan memperhatikan lingkup organisasi, sifat dan waktu untuk memastikan organisasi lebih proaktif ketimbang reaktif.
- Menyediakan klasifikasi resiko dan identifikasinya untuk dieliminasi atau dikendalikan dengan pengukuran
- Konsisten dengan pengalaman operasi dan kemampuan kendali pengukuran risiko.
- Menyediakan input pada ketentuan persyaratan fasilitas, identifikasi kebutuhan pelatihan dan/atau pengembangan kendali operasional. Menyediakan tindakan yang dipersyaratkan untuk memastikan keefektifan dan jangka waktu penerapannya pada saat monitoring.

## **B. Persyaratan Permenaker 05/Men/1996**

### **1. Perencanaan**

Perusahaan harus membuat perencanaan yang efektif guna mencapai keberhasilan penerapan sistem Manajemen K3 dengan sasaran yang jelas dan dapat diukur. Perencanaan harus memuat tujuan, sasaran dan indikator kinerja yang diterapkan dengan

mempertimbangkan identifikasi sumber bahaya, penilaian dan pengendalian resiko sesuai dengan persyaratan perundangan yang berlaku serta hasil pelaksanaan tinjauan awal terhadap keselamatan dan kesehatan kerja.

2. Perencanaan identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian resiko  
Identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian resiko dari kegiatan, produk barang dan jasa harus dipertimbangkan pada saat merumuskan rencana untuk memenuhi kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja. Untuk itu harus ditetapkan dan dipelihara prosedurnya.

Pengelolaan resiko merupakan dasar dari penerapan Sistem Manajemen K3, karena itu setiap organisasi harus memiliki apresiasi yang menyeluruh pada setiap kegiatan yang terkait dengan aspek-aspek K3.

Identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian resiko yang terkait dengan aktivitas harus dipastikan sesuai, cukup dan selalu tersedia. Untuk itu sebuah organisasi harus mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengedalikan resiko K3 disemua aktivitas-aktivitasnya, dan semua tahapan ini menjadi dasar dalam pengembangan dan penerapan Sistem Manajemen K3. Hal ini sangat penting, karena itu identifikasi bahaya dan pengendalian bahaya harus secara nyata ditetapkan. Setiap organisasi berbeda dalam bentuk identifikasi, pengukuran dan pengendalian bahayanya, tergantung pada ukuran, situasi lingkungan kerja organisasi serta ditentukan juga oleh sifat, kompleksitas dan signifikansi bahaya yang terjadi.

Identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian resiko harus dilakukan dalam perhitungan yang matang, termasuk juga biaya dan waktu pelaksanaannya. Data-data yang disajikan harus dipastikan akurat. Organisasi harus menentukan apakah aspek K3 ini terkait dengan aktivitas sekarang atau yang lampau.

Tapi bagi organisasi yang belum menerapkan Sistem Manajemen K3 dan belum memiliki data apapun yang terkait dengan aspek-aspek K3, sebaiknya melakukan tinjauan awal bahaya potensial berdasarkan kondisi sekarang.

Organisasi harus mempertimbangkan resiko yang dihadapinya sebagai dasar membuat Sistem Manajemen K3.

Tinjauan awal harus mencakup empat hal berikut ini:

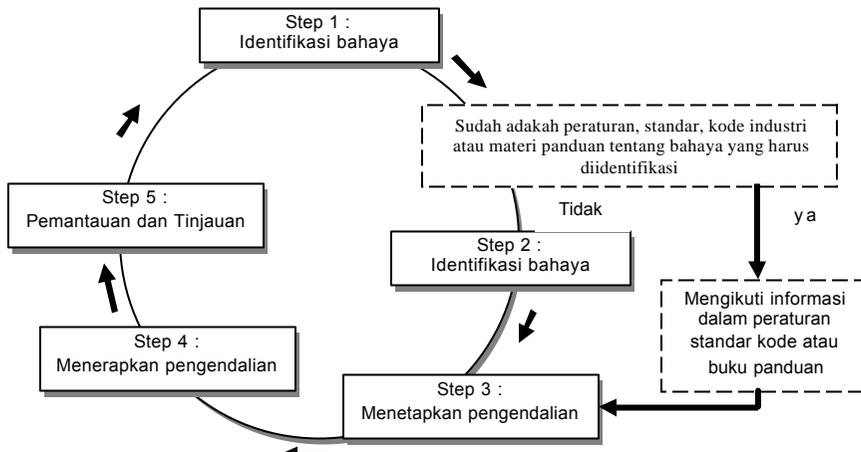
- a. Persyaratan peraturan dan perundang-undangan.
- b. Identifikasi resiko K3 yang dihadapi organisasi.
- c. Rekaman-rekaman dari semua proses dan prosedur.
- d. Evaluasi umpan balik dari investigasi insiden sebelumnya, kecelakaan dan keadaan darurat.

Kondisi operasi normal, tidak normal dan kondisi darurat yang potensial juga harus mendapatkan perhatian. Serta yang tidak kalah penting yang harus kita ingat adalah ketika melakukan identifikasi bahaya potensial kita tidak saja melakukannya pada pekerjaan operasional saja, tapi juga pada segala aspek lainnya yang masih termasuk di dalam lingkup penerapan Sistem Manajemen K3, seperti pemeliharaan, *house keeping*, dan lain sebagainya.

Sumber data yang dapat digunakan adalah:

- Persyaratan dan peraturan K3
- Kebijakan K3
- Rekaman insiden dan kecelakaan kerja
- Laporan ketidaksesuaian
- Hasil audit
- Komunikasi pada karyawan dan pihak terkait
- Informasi dari tinjauan aktivitas K3 karyawan.
- Informasi dari perusahaan sejenis berupa insiden dan kecelakaan kerja yang terjadi
- Informasi pada fasilitas, proses dan kegiatan organisasi mencakup prosedur, data pemantauan, data lingkungan dan tempat kerja.

Dalam melakukan identifikasi bahaya, pengukuran dan pengendalian resiko yang tertuang dalam pengelolaan resiko sebuah organisasi dapat menggunakan lima langkah sebagai mana diilustrasikan dalam bagan berikut ini :



**Gambar 6.13. Pengukuran dan pengendalian resiko**

## 6.2.2. Langkah-langkah Pengukuran dan Pengendalian Resiko

### Langkah 1. Identifikasi Bahaya

Persyaratan Permenaker 05/Men/1996

Identifikasi Sumber Bahaya, Penilaian dan Pengendalian risiko

Sumber bahaya yang teridentifikasi harus dinilai untuk menentukan tingkat resiko yang merupakan tolak ukur kemungkinan terjadinya kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Selanjutnya dilakukan pengendalian untuk identifikasi sumber bahaya

Identifikasi sumber bahaya dilakukan dengan mempertimbangkan:

1. Kondisi dan kejadian yang dapat menimbulkan potensi bahaya.
2. Jenis kecelakaan dan penyakit akibat kerja yang mungkin dapat terjadi.

Langkah pertama dalam proses manajemen resiko adalah melakukan identifikasi bahaya tempat kerja atau tempat yang berpeluang mengalami kerusakan. Hal yang harus diperhatikan adalah bahaya akibat pekerjaan tidak saja terjadi pada saat kejadian, tetapi bisa juga terjadi dalam kurun waktu yang lama. Misal seseorang yang bekerja dalam kondisi kerja yang bising, baru merasakan akibatnya berupa gangguan pendengaran setelah 10-20 tahun kemudian.

Secara umum, kita dapat membagi bahaya kerja atas enam bagian, seperti digambarkan dalam Tabel **Panduan Daftar Potensial**

Dalam prakteknya, suatu organisasi seringkali mengalami kesulitan dalam menentukan bahaya. Hal ini disebabkan begitu banyak

kegiatan-kegiatan yang harus diidentifikasi. Cara sederhana untuk memulai menentukan bahaya dapat dilakukan dengan membagi area kerja berdasarkan kelompok, seperti:

- Kegiatan-kegiatannya (seperti pekerjaan pengelasan, pengolahan data)
- Lokasi (kantor, gudang, lapangan)
- Aturan-aturan (pekerja kantor, atau bagian elektrik)
- Fungsi atau proses produksi (administrasi, pembakaran, pembersihan, penerimaan, *finishing*)

Aktivitas-aktivitas lainnya yang bisa digunakan dalam mengidentifikasi bahaya, antara lain:

- Berkonsultasi dengan pekerja. Bertanya pada mereka tentang berbagai masalah yang mereka temukan, keadaan yang nyaris kena bahaya dan kecelakaan kerja yang tidak terekam.

**Tabel 6.2 Panduan Daftar Bahaya Potensial**

Lingkungan Kerja	Energi	Pekerjaan Manual
<p>Akses</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mengacu pada akses yang sesuai</li> </ul> <p>Penyegar ruangan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Udara yang kotor</li> </ul> <p>Temperatur yang ekstrim</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kontak dengan benda yang panas atau dingin</li> <li>▪ Terkena lingkungan yang panas atau dingin</li> </ul> <p>Pencahayaan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Memacu pada pencahayaan yang sesuai</li> </ul> <p>Tekanan mental</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gertakan/gangguan</li> <li>▪ Kekerasan</li> <li>▪ Kerja shift</li> </ul>	<p>Elektrikal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tersetrum</li> </ul> <p>Gravitasi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jatuh</li> <li>▪ Tersandung</li> <li>▪ Tergelincir</li> <li>▪ Tertimpa benda</li> </ul> <p>Energi kinetik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menabrak benda</li> <li>▪ Tertabrak benda</li> </ul> <p>Radiasi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Radiasi ultra violet</li> <li>▪ Radiasi infra merah</li> <li>▪ Gelombang mikro</li> <li>▪ Laser</li> </ul> <p>Getaran</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Getaran seluruh tubuh</li> <li>▪ Getaran bagian tubuh</li> </ul> <p>Kebisingan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bising tiba-tiba</li> <li>▪ Bising dalam waktu yang lama</li> </ul>	<p>Tegangan tubuh</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tegang otot ketika mengangkat, mangangkut atau menurunkan benda</li> <li>▪ Kejang otot ketika manangani benda selain mengangkat, mangangkut atau menurunkan benda</li> <li>▪ Kejang otot ketika tidak ada benda yang ditangani</li> <li>▪ Pergerakan yang berulang</li> </ul> <p>Ergonomis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kelelahan</li> <li>▪ Desain tempat kerja yang mengakibatkan stres, kesalahan.</li> </ul>
Biologi	Plant	Zat Kimia
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bakteri</li> <li>▪ Jamur</li> <li>▪ Virus</li> <li>▪ Parasit</li> </ul>	<p>Mekanik,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kendaraan bermotor</li> <li>▪ Peralatan mesin</li> <li>▪ Peralatan manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terkontaminasi dengan zat kimia dalam waktu sebentar</li> <li>▪ Terkontaminasi zat kimia dalam waktu lama</li> <li>▪ Tersengat hewan berbisa</li> <li>▪ Kebakaran dan ledakan</li> </ul> <p>Udara keras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Debu dari kayu, asbes, silika</li> <li>▪ Gas, seperti: CO, CO<sub>2</sub></li> <li>▪ Asap dan uap</li> <li>▪ Kabut seperti asam</li> </ul> <p>Kontak kulit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terserap, seperti pestisida</li> <li>▪ Karatan seperti: asam, alkali</li> <li>▪ Alergi</li> </ul>

Contoh hasil Identifikasi

No.	Kegiatan	Bahaya potensial
1	Pengelasan	Tarabsorpsi
		Terhirup/pernafasan
		Terkena benda panas
		Terkena mata
		Tersengat listrik
2	Perakitan	Kebisingan
		Suhu tinggi
		Kelelahan
		Terpeleset
		Tersengat listrik
		Kejang otot
		Penerangan buruk
		Pernafasan

- Berkonsultasi dengan tim K3
- Mempertimbangkan:
  - Bagaimana personel menggunakan peralatan dan material.
  - Bagaimana kesesuaian peralatan tersebut yang digunakan pada aktivitas-aktivitas dan lokasinya.
  - Bagaimana personel dapat terluka baik secara langsung maupun tidak langsung oleh berbagai aspek tempat kerja.
- Melakukan safety audit.
- Pengujian, bagian dari perusahaan atau peralatan kerja dan kebisingan.
- Evaluasi teknis dan keilmuan.
- Menganalisis rekaman dan data, seperti insiden dan nyaris kena Bahaya, keluhan personel, tingkat penyakit dan *turn-over* karyawan.
- Informasi dari designer, konsumen, supplier, dan organisasi-organisasi seperti serikat pekerja, KADIN, dan sebagainya.
- Pemantauan lingkungan dan kesehatan.
- Survei yang dilakukan pada karyawan.

Setelah tnelengkapi Langkah 1 ini, kita perlu menilai resiko yang terkait dengan bahaya-bahaya ini. Tapi sebelum melakukan penilaian

resiko kita melakukan identifikasi resiko yang terkait dengan masing-masing bahaya dengan mempertimbangkan dua hal sebagai berikut:

- **Resiko Minor**

Jika dalam organisasi Anda terdapat resiko yang relatif kecil atau bahaya yang dapat dengan mudah diselesaikan, kita mungkin tidak perlu melakukan penilaian menyeluruh sebagaimana yang dijelaskan dalam Langkah 2. Jadi cukup sebagian aktivitas saja

Diatur dalam persyaratan perundang-undangan, standar, kode industri atau materi panduan.

- *Peraturan perundangan*

Jika peraturan perundangan mengatur kegiatan yang terkait dengan aktivitas kegiatan Anda, maka mau tak mau Anda harus mentaati peraturan tersebut.

- *Standar atau kode industri*

Jika terdapat standar atau kode industri terkait yang mengatur tentang bahaya di tempat kerja Anda, maka dapat dilakukan dua hal:

- Mengadopsi dan mengikuti ketentuannya.
- Membuat cara lain dengan tingkatan yang sama dalam menanggulangi resiko.

Beberapa daftar Standar Nasional Indonesia yang terkait K3 di area pertambangan.

No.	Nomor SNI	Judul SNI
1	SNI 13-6350-2000	Demarkasi di Lorong, Jalan Lintas, Daerah Bebas Rintangan, dan Tempat Penyimpanan Barang.
2	SNI 13-6351-2000	Rambu-Rambu Jalan di Area Pertambangan
3	SNI 19-4122-1996	Keselamatan Kerja pada Pengelasan Listrik secara Manual
4	SNI 13-4126-1996	Penyumbuan Detonator Biasa pada Kegiatan Pertambangan
	Umum	
5	SNI 19-4127-1996	Bahasa Isyarat Pengoperasian Pesawat Angkat (Crane)
6	SNI 19-4173-1996	Penentuan Kadar Raksa di Udara dengan Mercury Analyzer
7	SNI 13-4181-1996	Pengolahan Limbah Cair dari Proses Sianidasi Bijih Emas secara Kimiawi
8	SNI 13-4182-1996	Tata Pengukuran Derajat Keasaman Tanah
9	SNI 19-4183-1996	Tata Pengukuran Disesuaikan Kadar Sianida dalam Air Limbah
10	SNI 13-4000-1995	Bekerja di Jalur Operasi Grader
11	SNI 13-3619-1994	Penanganan Tabung Bertekan
12	SNI 13-3620-1994	Cara Pemakaian Perkakas Tangan dengan Aman
13	SNI 13-3621-1994	Pengukuran Kuantitas Udara Cara trverse pada Tambang Bawah Tanah dengan Alat Vane-Anemometer

- **Materi pedoman**

Walaupun pedoman-pedoman ini bukan bagian dari peraturan yang harus dipatuhi, tapi membantu kita dalam menangani aspek K3. Mengikuti ketentuan-ketentuan yang dalam buku pedoman mungkin lebih mudah dan masuk akal, akan tetapi mungkin dalam buku panduan tersebut tidak mengatur semua resiko atau bahaya terkait. Dalam keadaan ini, kita perlu mengidentifikasi resiko lainnya yang tidak dijelaskan dalam sebuah buku panduan.

Timbul pertanyaan bagi kita, bagaimana menentukan dan mendapatkan peraturan perundangan, standar, kode industri atau buku panduan yang sesuai dengan aktivitas di organisasi kita. Tidak semua perusahaan mengetahuinya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, kami menyediakan daftar peraturan-peraturan yang ada di Indonesia. Sedangkan untuk tingkat daerah seperti Perda, standar, atau buku panduan, Anda dapat menghubungi kantor pemda setempat, kadin, asosiasi atau konsultan.

## **Langkah 2: Menilai Resiko dan Seleksi Prioritas**

### **Persyaratan Permenaker 05/Men/1996**

#### **Penilaian Risiko**

Penilaian resiko adalah proses untuk menentukan prioritas pengendalian terhadap tingkat resiko kecelakaan atau penyakit akibat kerja.

Tujuan dari langkah ini adalah untuk menentukan prioritas untuk tindak lanjut, karena tidak semua aspek bahaya potensial yang dapat kita tindak lanjuti. Berbagai metode dapat kita gunakan dalam melakukan penilaian risiko. Salah satu metodenya adalah sebagaimana yang kita pelajari dalam bagian ini. Anda bisa saja mengembangkan metode sendiri dalam melakukan penilaian risiko.

Metode penilaian resiko, antara lain:

- Untuk setiap resiko:
  - Menghitung peluang insiden yang terjadi di tempat kerja
  - Menghitung konsekuensi insiden yang terjadi
  - Kombinasikan penghitungan peluang dan konsekuensi pada rate risiko

- Menggunakan *rating* setiap risiko, mengembangkan daftar prioritas resiko kerja.

### **Menentukan peluang**

Dalam menentukan peluang insiden yang terjadi di tempat kerja, kita dapat menggunakan skala berdasarkan tingkat potensinya.

Berikut ini faktor yang dapat mempengaruhi peluang terjadinya sebuah insiden:

- **Berapa kali situasi terjadinya**  
Semakin besar frekuensi paparan semakin besar peluang insiden yang akan terjadi. Contoh: Pertimbangkan berapa kali seorang pekerja mengangkut semen setiap harinya.
- **Berapa orang yang terpapar**  
Semakin banyak orang yang terkena, maka semakin banyak pula insiden yang akan terjadi. Contoh: Pertimbangkan berapa banyak orang yang mengangkut semen.
- ***Keterampilan dan pengalaman orang yang terkena***  
Pelatihan yang sesuai dan kompetensi yang memadai dalam aktivitas dapat mengurangi peluang terjadinya insiden.
- ***Berbagai karakteristik khusus personel yang terlibat***  
Contoh: Seseorang yang biasa menggunakan tangan kanannya akan memiliki kecenderungan resiko lebih kecil dibandingkan ketika ia menggunakan tangan kirinya dalam melakukan aktivitas.
- ***Durasi paparan***  
Semakin lama seseorang terkena maka semakin tinggi peluang insiden akan terjadi.
- ***Pengaruh posisi seseorang terhadap bahaya***  
Semakin dekat seseorang dengan sumber bahaya maka akan semakin tinggi peluang terkena insiden. Contoh: Seseorang yang berada di dekat mesin kompresor akan lebih berpeluang mengalami gangguan pendengaran dibandingkan orang yang jauh dari mesin tersebut.
- ***Distaksi, tekanan waktu atau kondisi tempat kerja*** yang dapat mempengaruhi kehati-hatian dalam melakukan aktivitas. Contoh: Suasana ribut di ruang gawat darurat rumah sakit dapat

mempengaruhi peluang para medis melakukan kesalahan operasi.

- *Jumlah material atau tingkat paparan*  
Contoh: Sebuah insiden (seperti ledakan) lebih mudah terjadi dalam kontainer/tabung dengan berisi gas yang memuai daripada kontainer tanpa ruangan untuk gas yang memuai.
  
- *kondisi lingkungan*
- *Kondisi peralatan*
- Efektifitas pengendalian yang ada
  - Apakah paparan yang ada mengurangi resiko paparan?
  - Apakah pekerja mengetahui pengendalian yang ada?
  - Apakah terdapat prosedur atau sistem yang terkait dengan pengendalian tersebut?
  - Apakah pelatihan dan pengawasan yang berhubungan dengan pengendalian yang ada?
  - Apakah dilakukan pemeliharaan yang sesuai terhadap pengendalian tersebut?
  - Sejauh mana kemudahan digunakan, cara kerjanya?

Banyak cara yang dapat kita lakukan dalam melakukan penilaian resiko, salah satunya adalah metode yang kami sajikan pada buku ini. Anda dapat saja mengembangkan metode yang berbeda sejauh metode tersebut dapat menyentuh segala aspek-aspek yang terdapat dalam faktor-faktor yang dibahas di atas.

### **Menentukan peluang**

<b>Peluang</b>	
Sangat sering	Dapat terjadi kapan saja
Sering	Dapat terjadi secara berkala
Sedang	Dapat terjadi pada kondisi tertentu
Jarang	Dapat terjadi, tapi jarang
Sangat jarang	Memungkinkan tidak pernah terjadi

### **Menentukan konsekuensi**

Untuk menentukan konsekuensi, kita harus membuat ketetapan pada *severity* yang berpotensi terjadi. Kita harus meninjau informasi

yang dikumpulkan sejak tahap identifikasi, mencakup statistik insiden, dan data manufaktur.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi konsekuensi harus juga kita pertimbangkan, yang mencakup antara lain:

- Potensi pada reaksi berantai, di mana sebuah bahaya jika tidak dihilangkan, akan mengakibatkan kondisi yang lebih berat.
- Konsentrasi substansi. Misalnya, bahan kimia yang memiliki konsentrasi lebih kecil memiliki konsekuensi bahaya lebih kecil dibandingkan bahan kimia yang memiliki konsentrasi lebih besar.
- Volume material. Misalnya potensi konsekuensi dari amoniak dalam jumlah yang kecil mungkin lebih kecil daripada amoniak dalam jumlah yang besar.
- Kecepatan proyektil dan pergerakan bagiannya.
- Ketinggian, akibat yang dihasilkan dari benda yang jatuh ditentukan dan ketinggian benda itu semula, semakin tinggi benda tersebut semakin besar pula akibat yang dihasilkan, begitu juga seseorang yang jatuh dari ketinggian.
- Jarak pekerja dari bahaya potensial.
- Berat, contoh seseorang akan mengalami akibat yang lebih fatal ketika ia kejatuhan benda dengan berat 60 kg dibandingkan 10 kg.
- Tingkat gaya dan energi. Misalnya, semakin tinggi voltase listrik semakin tinggi akibat yang dihasilkan jika tersetrum.

### Daftar konsekuensi/severity yang terjadi

Tidak Signifikan (TS)	Minor (M)	Sedang	Besar (B)	Besar (BB)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Iritasi mata</li> <li>▪ Ketidak yamanan</li> <li>▪ Pegal-pegal</li> <li>▪ Lelah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luka pada permukaan tubuh</li> <li>▪ Tergores</li> <li>▪ Terpotong/ tersayat kecil</li> <li>▪ Bising</li> <li>▪ Sakit kepala/ pusing</li> <li>▪ Memar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luka terkoyak</li> <li>▪ Patah tulang ringan</li> <li>▪ Sakit radang kulit</li> <li>▪ Asma</li> <li>▪ Cacat Minor permanen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terbakar</li> <li>Gagar otak</li> <li>Terkilir serius</li> <li>Keracunan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Patah tulang berat</li> <li>▪ Amputasi</li> <li>▪ Luka fatal</li> <li>▪ Luka kompleks</li> <li>▪ Kanker</li> <li>▪ Penyakit mematikan</li> <li>▪ Penyakit fatal akut</li> <li>▪ Kematian</li> <li>▪ Tuli</li> </ul>

### Contoh penghitungan

No.	Aktivitas	Bahaya potensial	Konsekuensi				
			TS	M	S	B	BB
1	Pekerjaan pengelasan	Tersandung		✓			
		Terhirup/pernafasan		✓			
		Terpleset		✓			
		Terkena mata			✓		
		Tersandung		✓			
		Tersengat listrik					✓
2	Pekerjaan House-keeping	Kebisingan					✓
		Suhu tinggi				✓	
		Jatuh dari ketinggian					✓
		Terpleset		✓			
		Tersengat			✓		
		Terabsorpsi kulit			✓		
		Penerangan buruk		✓			
Pernafasan			✓				

### Tingkat setiap risiko

Level atau tingkatan resiko ditentukan oleh hubungan antara nilai hasil identifikasi bahaya dan konsekuensi. Hubungan ini dapat kita gambarkan dalam matriks berikut ini:

### Penilaian Resiko 2D model

Matriks Analisis Resiko – Tingkatan Resiko

Peluang	Konsekuensi				
	1 Tidak signifikan	2 Minor	3 Moderat	4 Major	5 Bencana besar
A Sering kali	H	H	E	E	E
B Sering	M	H	H	E	E
C Sedang	L	M	H	E	E
D Jarang	L	L	M	H	E
E Sangat Jarang	L	L	M	H	H

## Penilaian Resiko 3D model

Matriks Analisis Resiko – Tingkatan Resiko
--

Bahaya yang diidentifikasi	Penilaian resiko			Nilai Resiko E x L x K	Tingkatan Resiko
	Paparan (E)	Peluang (L)	Konsekuensi (K)		

Definisi			
Paparan	Peluang	Konsekuensi	Nilai resiko
Terus menerus 10	Sangat sering 1	Fatal 20	E > 20
Berkala 6	Sering 0,6	Major 10	H > 10
Tertentu 3	Sedang 0,3	Sedang 5	M3-10
Tidak teratur 2	Jarang 0,1	Minor 2	L < 3
Jarang 1	Sangat jarang 0,05	Tidak signifikan 1	

Legenda:

- E : Ekstrim/Signifikan
- H : Resiko tinggi
- M : Resiko sedang
- L : Resiko rendah

Tujuan kita menggambarkan dalam matriks ranking ini adalah sebagai masukan bagi kita dalam menentukan prioritas. Hal yang harus diperhatikan adalah nilai resiko di atas bukanlah nilai yang absolut. Matriks ini hanya menyediakan ranking nilai saja. Berdasarkan matriks ranking tersebut kita dapat mengidentifikasi tindakan yang akan kita lakukan terhadap setiap risiko.

### Ketentuan Tindak Lanjut

TINGKAT RESIKO	TINDAK LANJUT
RESIKO RENDAH	Pengendalian tambahan tidak diperlukan. Hal yang Perlu diperhatikan adalah jalan keluar yang lebih menghemat biaya atau peningkatan yang tidak memerlukan biaya tambahan besar. Pemantauan diperlukan untuk memastikan bahwa pengendalian dipelihara dan diterapkan dengan baik dan benar.
RESIKO SEDANG	Perlu tindakan untuk mengurangi resiko, tetapi biaya pencegahan yang diperlukan perlu diperhitungkan dengan teliti dan dibatasi. Pengukuran pengurangan resiko perlu diterapkan dengan baik dan benar.

RESIKO TINGGI	Pekerjaan tidak dilaksanakan sampai resiko telah direduksi. Perlu dipertimbangkan sumber daya yang akan dialokasikan untuk mereduksi risiko. Bilamana resiko ada dalam pelaksanaan pekerjaan, maka tindakan segera dilakukan.
EKSTRIM	Pekerjaan tidak dilaksanakan atau dilanjutkan sampai resiko telah direduksi. Jika tidak memungkinkan untuk mereduksi resiko dengan sumber daya yang terbatas, maka pekerjaan tidak dapat dilaksanakan.

### **Langkah 3: menetapkan pengendalian**

#### **Tindakan Pengendalian**

Perusahaan harus merencanakan pengelolaan dan pengendalian kegiatankegiatan, produk barang dan jasa yang dapat menimbulkan resiko kecelakaan kerja yang tinggi. Hal ini dapat dicapai dengan mendokumentasikan dan menerapkan kebijakan standar bagi tempat kerja, perancangan pabrik dan bahan, prosedur dan instruksi kerja untuk mengatur dan mengendalikan kegiatan produk barang dan jasa. Pengendalian resiko kecelakaan dan penyakit akibat kerja dilakukan melalui metode:

1. Pengendalian teknis/rekayasa yang meliputi eliminasi, substitusi, isolasi, ventilasi, higiene dan sanitasi.
2. Pendidikan dan pelatihan.
3. Pembangunan kesadaran dan motivasi yang meliputi sistem bonus insentif, penghargaan dan motivasi diri.
4. Evaluasi melalui internal audit, penyelidikan insiden dan etiologi.
5. Penecakan hukum.

Langkah ketiga ini mencakup menentukan pengendalian untuk mengelola risiko. Berikut ini kita bahas mengenai memilih alat kendali yang diperlukan.

#### **Prioritas pengendalian**

Dalam melakukan pengendalian, hal yang harus kita lakukan adalah memulai dari tindakan yang terbesar. Jika tidak dapat dilakukan maka kita menurunkan tingkat pengendaliannya ke tingkat yang lebih rendah/mudah. Tahapan-tahapan yang kita sajikan dalam bagian ini

didasarkan pada pertimbangan biaya. Semakin tinggi tingkat kendali yang dipilih semakin tinggi pula biaya yang dibutuhkan.

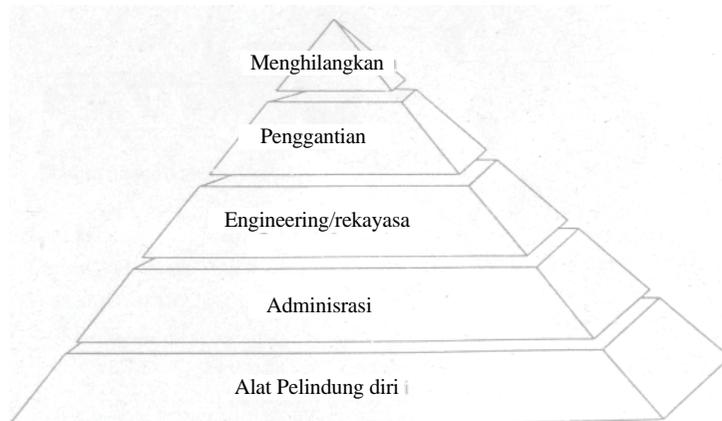
Secara detail dapat kita lihat dalam paparan berikut ini:

Tahap pertama adalah menghilangkan penyebab bahaya. Jika tidak memungkinkan dilakukan tindakan pencegahan atau mengurangi peluang terkena resiko, lakukan salah satu atau kombinasi dari tahap berikut:

1. Mengganti peralatan/peralatan tersebut (substitusi).
2. Melakukan desain ulang dari perangkat kerja (*engineering*).
3. Melakukan isolasi sumber bahaya.

Jika ketiga alternatif tersebut tidak dapat juga digunakan, maka dapat dilakukan dua alternatif berikut ini:

1. Pengendalian secara administrasi, seperti prosedur, instruksi kerja, supervisi pekerjaan.
2. Penggunaan alat pelindung diri (APD).



**Gambar 6.14. Hirarki Pengendalian Risiko**

Dalam banyak kejadian, kita menemui penggunaan lebih dari satu alat kendali dalam mengatasi bahaya potensial. Sebagai contoh, untuk mengurangi terkena bahaya gas kimia, tidak hanya dengan mengganti zat kimia sejenis (substitusi) dengan tingkat bahaya yang lebih rendah, akan tetapi juga tetap menggunakan prosedur keamanan kerja

(pengendalian administrasi) serta masker gas sebagai alat pelindung diri (APD)

Beberapa tindakan pengendalian dengan prioritas yang lebih rendah dapat digunakan sebagai pengganti sementara sampai alat pengendali permanen tersedia. Misalnya, mengatasi bahaya disebuah tempat produksi dengan mengganti mesin-mesin yang ada dengan mesin lain. Akan tetapi karena dibutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama dalam proses pengadaannya, maka untuk menghindari tingkat bahaya yang terjadi dilakukan penerapan prosedur keamanan kerja, serta supervisi terhadap pekerjaan.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih atau menetapkan jenis tindakan pengendalian resiko adalah dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Tindakan itu merupakan alat pengendali yang tepat
- Tidak menimbulkan bahaya baru/lain
- Diikuti oleh semua pekerja tanpa adanya ketidaknyamanan dan stres

### **Menghilangkan bahaya**

Menghilangkan bahaya adalah langkah ideal yang dapat dilakukan, dan harus menjadi pilihan pertama dalam melakukan pengendalian resiko, dan berarti menghentikan peralatan/prasarana yang dapat menimbulkan bahaya. Contohnya, menggunakan mesin untuk pekerjaan manual yang berulang atau menghilangkan asbes dari tempat kerja.

### **Mencegah atau mengurangi peluang terkena resiko**

Jika bahaya tidak dapat dihilangkan, maka kita menggunakan alat kendali resiko yang lebih rendah tingkatannya. Alat kendali ini dapat digunakan salah satu saja atau hasil kombinasi. Alat-alat kendali itu adalah:

- **Substitusi / mengganti**

Prinsip dari alat kendali ini adalah menggantikan sumber resiko dengan sarana/peralatan lain yang tingkat risikonya lebih kurang/tidak ada. Contoh:

- Penggunaan bahan kimia berbahaya dengan yang lebih rendah tingkatan bahayanya, seperti: mengganti bahan kimia yang berbasis gas dengan berbasis cair, mengganti toxic solvent dengan deterjen.
- Mengganti kaca dengan plastik
- Mengganti pedestal fan dengan ceiling fan dalam dapur
- Engineering/rekayasa

Langkah ini dilakukan dengan mengubah desain kerja, peralatan atau proses kerja dalam mengurangi tingkat risiko. Ciri khas dari tahap ini adalah melibatkan pemikiran yang lebih mendalam bagaimana membuat lokasi kerja yang lebih aman dengan melakukan pengaturan ulang lokasi kerja, memodifikasi peralatan, melakukan kombinasi kegiatan, perubahan prosedur, mengurangi frekuensi dalam melakukan kegiatan berbahaya.

Contohnya:

- Memindahkan area penyimpanan kertas fotokopi ke dekat mesin untuk mengurangi resiko pengangkutannya.
- Mengendalikan zat-zat kimia dengan melakukan perbaikan terhadap ventilasinya.
- Memasang lift barang untuk mengurangi pengangkutan melalui tangga.
- Memodifikasi sistem exhaust untuk mengurangi kebisingan.

- **Isolasi**

Dalam tahap ini kita melakukan isolasi terhadap area bahaya dari pekerja atau dari orang yang ingin memasukinya.

Contohnya:

- Memasang pagar pengaman di sekitar lokasi bahaya
- Menutup atau menjaga peralatan yang berbahaya
- Melarang personel masuk area berbahaya.

#### **Langkah 4: Penerapan Langkah Pengendalian**

Tahap selanjutnya yang kita lakukan adalah menerapkan pengendali yang telah dipilih dan mematuhi semua ketentuan yang telah ditetapkan.

Dalam tahap keempat ini, yang akan kita lakukan adalah:

##### **Mengembangkan prosedur kerja**

Prosedur bertujuan sebagai alat pengatur dan pengawas terhadap bentuk pengendalian bahaya dan resiko yang kita pilih agar penerapan pengendalian bahaya potensial dapat berjalan secara efektif. melalui koridor-koridor yang telah kita terapkan. Untuk itu tanggung jawab manajemen, supervisor, dan pekerja harus secara jelas dinyatakan dalam prosedur tersebut. Misalnya, tanggung jawab manajer dalam pemberian mesin gerinda, maka manajer harus memastikan mesin gerinda tersebut dibeli sesuai dengan spesifikasi dan dipasang dengan benar. Supervisor bertanggung jawab dalam mengawasi penggunaan mesin gerinda tersebut sesuai dengan tempatnya, pekerja bertanggung jawab menggunakan mesin gerinda tersebut sesuai dengan buku petunjuk atau instruksi kerja, dan pekerja lain bertanggung jawab dalam pemeliharannya.

##### **Komunikasi**

Kita harus menginformasikan pada pekerja tentang penggunaan alat pengendali bahaya, dan juga penting untuk diinformasikan tentang alasan penggunaannya.

##### **Menyediakan pelatihan**

Agar para pekerjaan dan personel lainnya lebih mengenal alat pengendali yang kita terapkan, mereka harus juga diberikan pelatihan atau penjelasan yang memadai.

##### **Pengawasan**

Kita pun harus melakukan pengawasan untuk memastikan alat pengendalian bahaya potensial digunakan secara benar.

Informasi aktivitas						
Aktivitas: ..... lokasi: .....						
Diidentifikasi ..... tanggal: .....						
Bahaya yang diidentifikasi .....						
Pengendalian resiko						
Pilihan pengendali yang memungkinkan : .....						
.....						
.....						
Pengendalian yang dipilih (dan mengapa) : .....						
.....						
.....						
Rencana tindak lanjut						
Pilih pengendali	Aktivitas terkait	Sumber daya	Penanggung jawab	Tanggal penerapan	Tanggal selesai	Tanggal tinjauan
Catatan : .....						
.....						
.....						

### **Pemeliharaan**

Pemeliharaan terhadap alat pengendali bahaya adalah bagian yang penting dalam proses penerapan. Prosedur kerja harus mencantumkan persyaratan pemeliharaan untuk memastikan keefektifan penggunaan alat kendali ini.

### **Langkah 5: Monitor dan Tinjauan**

Langkah terakhir dalam proses ini adalah melakukan memonitor dan meninjau efektivitas pengendalian. Pemantauan dan tinjauan resiko harus dilakukan pada interval waktu sesuai dengan yang ditetapkan dalam organisasi.

Untuk menentukan periode monitoring dan tinjauan resiko sangat tergantung pada:

- Sifat dari bahaya
- Magnitude resiko
- Perubahan operasi
- Perubahan dari metode kerja
- Perubahan peraturan dan organisasi

Dalam tahap ini, kita dapat menggunakan daftar periksa pertanyaan untuk memastikan sejauh mana kesesuaiannya dengan perencanaan.

Dalam menjawab pertanyaan yang ada kita dapat melakukan:

- Berkonsultasi dengan pekerja, supervisor, dan wakil manajemen.
- Mengukur personel yang berpeluang terkena (misalnya menghitung tingkat kebisingan setelah dipasang sarana baru dan efeknya terhadap pekerja).
- Memonitor laporan insiden.

#### Contoh Formulir Tinjauan Pengendalian Risiko

Pertanyaan	Temuan		
	Tdk	Parsial	Ya
✓ Memastikan sarana pengendali telah diterapkan sesuai rencana <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apakah sarana pengendali terdapat di tempatnya?</li> <li>▪ Apakah sarana pengendali telah digunakan?</li> <li>▪ Apakah sarana pengendali digunakan secara benar?</li> </ul>			
✓ Memastikan sarana pengendali bekerja <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apakah sarana pengendali berhasil mengurangi / menghilangkan dampak resiko yang ada?</li> </ul> ✓ Memastikan adanya masalah baru Apakah dengan penerapan sarana tersebut menimbulkan masalah baru? Apakah dengan penerapan sarana pengendali ini memperburuk keadaan yang ada?			
Komentar: ..... ..... .....			

#### Pertimbangan Dokumentasi

Sesuai dengan persyaratan OHSAS 18001:1999 yang mempersyaratkan adanya prosedur, maka kita harus mencantumkan lima langkah yang telah kita bahas di atas. Di sini kita diminta untuk memelihara dokumentasi yang ada, serta data dan rekaman yang berhubungan dengan identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian risiko. Akan tetapi hal-hal yang harus juga kita pertimbangkan dalam pembuatan prosedur adalah:

- Menentukan lingkup, waktu, sifat dan metodologi dari berbagai bentuk identifikasi, penilaian dan pengendalian resiko.
- Menentukan persyaratan kompetensi dan pelatihan yang dibutuhkan

dalam melakukan identifikasi bahaya potensial, penilaian dan pengendalian risiko. Untuk beberapa organisasi, ini tergantung pada tipe proses yang digunakan. Bila kompetensi untuk melakukan kegiatan ini belum terpenuhi, kita sebaiknya menggunakan jasa pihak luar/konsultan untuk membantunya.

- Menentukan aturan serta wewenang personel yang bertanggung jawab dalam melakukan identifikasi bahaya potensial, penilaian dan pengendalian risiko.
- Mempertimbangkan informasi dari pekerja atas K3.
- Memberikan umpan balik manajemen terhadap hasil identifikasi bahaya penilaian dan pengendalian resiko, sebagai input dalam membuat sasaran K3 dan tinjauan manajemen.
- Organisasi harus juga mempertimbangkan bahaya dan resiko dari aktivitas kontraktor. atau visitor, dan dari penggunaan produk atau jasa.
- Mempertimbangkan *human error* sebagai bagian menyeluruh dari identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian risiko.
- Melakukan identifikasi bahaya potensial, penilaian dan pengendalian resiko sebagai langkah proaktif. Misalnya jika ada diperkenalkan aktivitas atau prosedur baru/revisi maka identifikasi pengendalian harus dilakukan sebelum perubahan tersebut diterapkan.

Atas dasar itu, dalam membuat prosedur kita harus menjelaskan hal-hal sebagai berikut:

- Identifikasi dari bahaya potensial.
- penentuan resiko yang terkait dengan bahaya yang telah diidentifikasi.
- penentuan level resiko yang terkait dengan masing-masing bahaya.
- Penjelasan atau referensi, tindakan untuk memonitor dan mengendalikan resiko dari bahaya tersebut, terutama untuk resiko yang tidak dapat ditoleransi.
- Bila memungkinkan, sasaran dan tindakan yang dilakukan adalah untuk mengurangi tingkat resiko dan kegiatan follow-up apapun yang dilakukan dalam memantau kemajuannya.
- Identifikasi kompetensi dan persyaratan pelatihan.

- Langkah pengendalian yang diperlukan harus dijelaskan sebagai bagian dari elemen pengendali operasi sistem.
- Rekaman untuk setiap masing-masing aktivitas dalam prosedur.

Pertanyaan	Temuan		
	Tdk	Parsial	Ya
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Apakah terdapat prosedur terdokumentasi dan terpelihara untuk menetapkan dan memperbarui bahaya, resiko dan penerapan pengendalian?</li> <li>✓ Apakah prosedur mencakup kegiatan rutin dan nonrutin?</li> <li>✓ Apakah prosedur mencakup semua personel dan fasilitas?</li> <li>✓ Mekanisme apa yang digunakan untuk melakukan tinjauan / revisi bahaya jika terjadi perubahan operasi?</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Apakah berbagai bahaya yang nyata dipertimbangkan? Jika tidak kenapa?</li> <li>✓ Apakah hasil penilaian dan efek pengendalian dipertimbangkan ketika membuat sasaran K3 yang kemudian didokumentasikan serta diperbarui?</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Apakah metodologi: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menetapkan lingkup, sifat dan waktu?</li> <li>▪ Memastikan penilaian dilakukan secara proaktif bukan reaktif?</li> <li>▪ Menyediakan klasifikasi resiko yang ditoleransi?</li> <li>▪ Mengidentifikasi bahaya untuk dihilangkan atau dikendalikan?</li> <li>▪ Menjamin konsistensi dengan pengalaman operasi?</li> <li>▪ Menjamin konsistensi dengan keefektifan pengendalian risiko?</li> </ul> </li> <li>✓ Apakah metodologi menyediakan masukan dalam penentuan persyaratan fasilitas, kebutuhan pelatihan dan pengendalian operasi?</li> <li>✓ Apakah metodologi menyediakan pemantauan tindakan yang dipersyaratkan untuk memastikan ketepatan waktu dan keefektifan penerapan?</li> </ul>			

### 6.3. BAHAYA BAHAN KIMIA

Saat ini terdapat ribuan senyawa kimia dan campuran yang kebanyakan berbahaya yang secara teknik dapat dikendalikan. Meskipun demikian, seiring dengan naiknya penggunaan bahan kimia di industri non-kimia, insiden yang dapat dikatakan sebagai *chemical accident* naik setiap tahunnya. Kebanyakan kecelakaan adalah akibat mengabaikan sifat-sifat bahan kimia yang terkait dengan proses.

Keluarnya bahan-bahan beracun, reaktif, cairan atau gas mudah terbakar yang tidak terbakar di proses yang terkait dengan bahan kimia yang sangat berbahaya telah dilaporkan selama beberapa tahun. Insiden demi

insiden terjadi pada bermacam industri yang menggunakan bahan kimia yang sangat berbahaya yang mungkin berupa bahan yang beracun, reaktif, mudah terbakar, atau mudah meledak, atau gabungan dari sifat-sifat tersebut. Kelengahan industri yang menggunakan bahan kimia sangat berbahaya ini merupakan potensi terjadinya kecelakaan setiap saat bila tidak dikendalikan dengan tepat. Hal ini dapat memicu terjadinya bencana.

Bencana utama yang pernah terjadi termasuk tahun 1984 di Bhopal, India, yang menyebabkan lebih dari 2.000 orang tewas; bulan Oktober 1989 di Philips Petroleum Company, Pasadena, Texas, terjadi insiden yang menyebabkan 23 orang tewas dan 132 orang mengalami cedera; bulan Juli 1990 di BASF, Cincinnati, Ohio, terjadi insiden yang menyebabkan 2 orang tewas; dan di bulan Mei 1991 di IMC, Sterlington, Los Angeles, terjadi insiden yang menyebabkan 8 orang tewas dan 128 orang cedera.

Pada industri kimia sendiri problem keselamatan yang terkait dengan penggunaan bahan kimia, dengan alasan ukuran dan kompleksitasnya, akan, berhubungan dengan evaluasi sistematis atas semua sifat-sifat bahan kimia yang dikenal, seperti toksisitas dan kemampuan terbakar.

Tingkat toksisitas berbagai bahan kimia tidak sama antara satu bahan dengan bahan lainnya, sehingga harus diketahui dengan pasti bahan kimia yang akan digunakan bila ingin melakukan penggantian penggunaan bahan kimia dari bahan kimia yang berbahaya menjadi yang kurang berbahaya. Untuk itu diperlukan suatu pengetahuan dasar tentang toksikologi.

Selain memiliki bahaya toksisitas atau tingkat keracunan, bahan kimia memiliki bahaya-bahaya lain.

Berdasar beberapa evaluasi, suatu pabrik dapat dengan tepat merancang, untuk menghilangkan atau mengendalikan bahaya, menghindari adanya limbah bahan kimia yang berharga atau yang berbahaya, dan melakukan pencegahan operasi. Karenanya, pada industri yang menggunakan bahan kimia dewasa ini, kuantitas bahan kimia yang besar dapat dimanipulasi tanpa risiko, reaksi yang menghasilkan energi yang besar dapat dikendalikan, dan tingkat kekerapan kecelakaan dapat ditekan di bawah industri lain. Meskipun demikian, manipulasi atau penanganan bahan kimia secara tepat hanya dapat dilakukan jika bahan kimia yang dipergunakan telah diketahui sifat-sifatnya. Untuk itu diperlukan identifikasi bahan kimia yang dibahas di Sub Bab 6.3.

Setelah dilakukan identifikasi bahan kimia yang dipergunakan, disimpan, atau didistribusikan, maka harus dilakukan pendokumentasian bahan kimia yang dikenal sebagai *Material Safety Data Sheet* (MSDS) atau Lembar Data Keselamatan Bahan (istilah baku dari Depnaker).

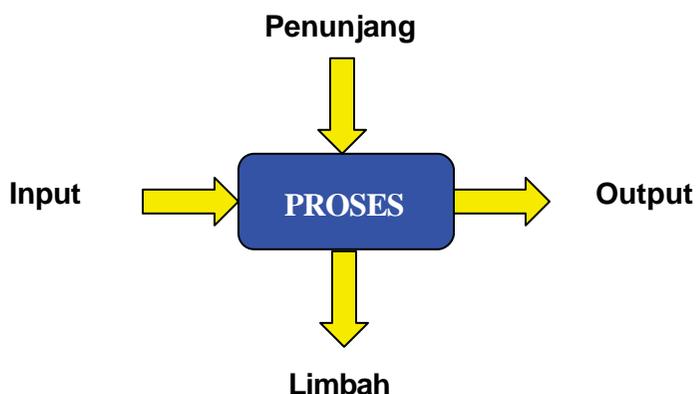
Selama beberapa tahun telah terjadi keyakinan pada manajemen yang baik di industri kimia bahwa perusahaan kimia yang aman tergantung dari tiga esensi utama:

- Pengetahuan atas bahan kimia;
- Pengetahuan atas proses pabrik;
- Pengetahuan karyawan.

Hal ini berlaku untuk semua industri yang menggunakan bahan kimia, baik berupa industri kecil maupun besar.

Industri yang menggunakan, menyimpan, atau mendistribusikan bahan kimia berbahaya dalam jumlah besar, seperti industri perminyakan, akan lebih berhati-hati dalam menangani bahan kimia dibandingkan dengan industri yang menggunakan, menyimpan, atau mendistribusikan bahan kimia berbahaya dalam jumlah yang tidak terlalu besar, karena industri besar tersebut rawan terhadap terjadinya bahaya kebakaran atau peledakan yang dapat menimbulkan 'lepasnya' uap beracun ke udara (*catastrophic release*).

Semua industri yang menggunakan, menyimpan, ataupun mendistribusikan bahan kimia berbahaya pada dasarnya memiliki diagram alir sederhana yang sama sebagai berikut:



Pada kegiatan industri apapun akan ada suatu pembelian, penerimaan, dan suplai bahan termasuk bahan kimia, sehingga hal-hal yang

terkait dengan keselamatan manusia, fasilitas (*facility*) dan bahan kimia pada saat memasuki perusahaan harus tercakup di dalamnya. Setelah melalui tahap penerimaan, maka bahan kimia akan dipergunakan pada suatu proses, yang didalamnya termasuk adanya risiko kecelakaan kerja akibat bahan kimia, sehingga diperlukan suatu kondisi yang menyangkut keselamatan dan kesehatan kerja yang ada pada proses yang menggunakan bahan kimia.

Dalam upaya memenuhi keperluan di proses, diperlukan pula bahan material atau energi sebagai bahan penunjang terlaksananya proses produksi, tetapi bukan merupakan bagian dari proses produksi, termasuk di dalamnya boiler, forklift, dan peralatan untuk keadaan darurat.

Setelah bahan kimia mengalami suatu proses produksi, ada kemungkinan bahan baku berlebih dalam jangka waktu tertentu yang menyebabkan kadaluwarsa, bahan baku tidak memenuhi syarat, hasil antara (*intermediate*) tidak memenuhi syarat dan tidak dapat dilakukan daur-ulang (*recycle*), atau hasil akhir produksi tidak layak jual. Bahan-bahan kimia bekas tersebut, yang dikenal sebagai limbah, tidak mungkin dan tidak boleh disimpan dalam waktu lama. Adapun yang dimaksud dengan limbah adalah semua limbah yang dihasilkan di dalam perusahaan, baik cair, padat, maupun gas, dengan jenis limbah B3 maupun non-B3. Pengendalian limbah B3 merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kegiatan lingkungan, keselamatan dan kesehatan kerja.

Setelah melalui serangkaian proses produksi, maka akan dihasilkan suatu produk yang mungkin bahaya bahannya berkurang atau mungkin pula bertambah, tergantung dari jenis bahan kimia yang dihasilkan. Sebagai contoh adalah penggunaan NaCl sebagai bahan baku yang relatif tidak berbahaya, selain sifat korosifnya, apabila telah dielektrolisis akan berubah menjadi gas Cl yang sangat beracun dan menghasilkan gas H<sub>2</sub> yang mudah terbakar; yang dengan proses selanjutnya dengan mereaksikan gas Cl dan H<sub>2</sub> akan menghasilkan HCl.

Bahan kimia yang dipergunakan, disimpan, atau dihasilkan mungkin tidak memiliki bahaya terhadap kesehatan yang langsung terlihat atau akut, tetapi mungkin akan berakibat kronis yang memerlukan waktu yang cukup panjang, yaitu setelah 6 bulan terpapar bahan kimia beracun. Contohnya adalah penyakit asbestosis, yakni penyakit paru pneumokoniosis yang spesifik diakibatkan karena menghirup serat asbes, yang baru akan terlihat

penyakitnya setelah rentang waktu tertentu. Untuk itu, jika pengendalian secara teknis dan administrasi sudah tidak dapat dilakukan lagi.

Identifikasi bahan kimia sangat penting, tetapi manajemen bahan kimia jauh lebih penting karena selain berisi tentang identifikasi bahan kimia juga berisi program-program penting dalam penanganan dan pengendalian bahan kimia agar bahan kimia yang digunakan, disimpan, atau didistribusikan tertangani dengan cara yang aman sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku (*compliance*) maupun praktek kerja terbaik (*good management practices*). Untuk mengetahui sejauhmana tingkat pengendalian bahan kimia yang telah dilakukan maka perlu dilakukan asesmen sendiri manajemen bahan kimia yang kemudian dibandingkan dengan audit manajemen keselamatan dan kesehatan kerja tentang bahan kimia.

Untuk mengantisipasi terjadinya kecelakaan akibat bahan kimia, maka perlu dilakukan rencana tanggap darurat. Lebih jauh, peraturan yang berlaku sekarang lebih menekankan pada pre-rekognisi bahaya, dan secara implisit menyatakan kebutuhan untuk memberikan informasi bahaya di tempat kerja kepada karyawan. Peran Pemerintah dalam menunjang pengetahuan tentang penanganan bahan kimia berbahaya dinyatakan dalam peraturan perundangan, yang salah satunya adalah Keputusan Menteri Tenaga Kerja RI No. 187/Men/1999 yang dapat dilihat pada lampiran.

### **6.3.1. Bahan Kimia Berbahaya**

Berdasarkan Kepmen 187 tahun 1999 bahan kimia berbahaya adalah bahan kimia dalam bentuk tunggal atau campuran yang berdasarkan sifat kimia dan atau campuran yang berdasarkan sifat kimia dan atau fisika dan atau toksikologi berbahaya terhadap tenaga kerja, instalasi dan lingkungan.

Yang termasuk kategori bahan berbahaya adalah bahan-bahan yang mempunyai sifat :

- Memancarkan radiasi
- Mudah meledak
- Mudah menyala atau terbakar
- Oksidator
- Racun
- Karsinogenik
- Iritasi

- Sensitisasi
- Teratogenik
- Mutagenik
- Korosif

#### **A. Bahan kimia mudah terbakar**

Bahan mudah terbakar adalah bahan yang mudah bereaksi dengan oksigen dan menimbulkan kebakaran. Reaksi kebakaran yang amat cepat juga dapat menghasilkan ledakan. Bahan cair dinyatakan mudah terbakar bila titik nyala  $> 21\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $< 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm. Bahan cair dinyatakan sangat mudah terbakar bila titik nyala  $< 21^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm. Gas dinyatakan mudah terbakar jika titik didih  $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm.

Bahan mudah terbakar dapat diklasifikasikan menjadi:

##### 1). Zat padat mudah terbakar

Zat padat mudah terbakar dalam industri adalah belerang (sulfur), fosfor, kertas/rayon, hidrida logam, dan kapas. Pada umumnya zat padat lebih sukar terbakar daripada dalam bentuk cair. Meski demikian zat padat berbentuk serbuk halus sangat mudah terbakar.

##### 2). Zat cair mudah terbakar

Kelompok ini adalah yang paling banyak ditemui dalam industri yang dikenal sebagai pelarut organik. Contohnya adalah eter, alkohol, aseton, benzena, heksan, dan lain-lain. Pelarut-pelarut tersebut pada suhu kamar menghasilkan uap yang dalam perbandingan tertentu dapat terbakar oleh adanya api terbuka atau loncatan listrik. Pengalaman menunjukkan bahwa uap pelarut dapat berdifusi sejauh 3 meter menuju titik api atau seolah-olah kita melihat api menyambar pelarut organik pada jarak tersebut.



Kecenderungan suatu pelarut organik untuk mudah terbakar selain ditentukan oleh titik nyala, titik bakar, dan daerah konsentrasi mudah terbakar, juga ditentukan oleh titik didih. Suhu tersebut menentukan banyak sedikimya, uap dihasilkan pada suhu tertentu. Semakin rendah titik didih, berarti semakin mudah menguap atau semakin mudah terbakar. Contohnya adalah eter dengan titik didih  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  jauh lebih mudah terbakar daripada alkohol dengan titik didih  $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Selain itu berat jenis uap relatif terhadap udara juga penting, karena uap lebih berat dari udara akan menyebabkan uap akan merayap di atas tanah. Sedang uap yang lebih ringan dari udara akan cenderung naik ke atas, atau membentuk kantong gas di atap gedung.

Berat jenis pelarut organik relatif terhadap air perlu pula diperhatikan. Pelarut organik yang lebih ringan dari air dan tidak larut dalam air, seperti benzena, bensin, dan heksan, bila terbakar akan amat berbahaya kalau disiram dengan air. Penggunaan pelarut organik dalam industri antara lain adalah:

Industri cat: petroleum eter, alkohol, aseton, eter, heksan, MIBK (Metil Iso-Butil Keton).

Industri kertas: karbon disulfida

Pengolahan minyak: bensin, benzena, toluena, dan xilene

### 3). Gas mudah terbakar

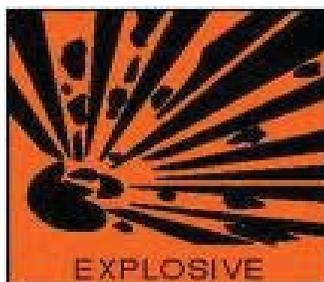
Gas mudah terbakar dalam industri misalnya adalah gas alam, hidrogen, asetilen, etilen oksida. Gas-gas tersebut amat cepat terbakar sehingga sering menimbulkan ledakan.

Di bawah ini adalah karakter beberapa bahan organik mudah terbakar

No.	Pelarut	Daerah kons % mudah terbakar	Titik didih °C	Titik nyala °C	Titik bakar °C	W cairan	W uap
1	Aseton	3-13	56	-18	538	0.79	2.0
2	Benzena	L4-8	80	-11	562	0.88	2.8
3	Bensin	14-7.6	38-204	-43	280-456	0.8	3.04
4	Etil alkohol	13-19	79	12	423	0.79	1.59
5	Etil eter	1.85-48	34	-45	180	0.71	2.55
6	Heksana	L1-7.5	68	-22	261	0.66	2.97
7	Karbon disulfida	1-44	46	-30	100	1.26	2.6
8	Metanol	6-36.5	65	12	464	0.79	1.1
9	Metil etil keton	2-10	80	-7	515	0.81	2.5
10	Petroleuin	1-6	30-60	-57	288	0.6	2.5

## B. Bahan kimia mudah meledak

Bahan kimia mudah meledak adalah bila reaksi kimia bahan tersebut menghasilkan gas dalam jumlah dan tekanan yang besar serta suhu yang tinggi, sehingga menimbulkan kerusakan di sekelilingnya.



Bahan kimia eksplosif ada yang dibuat sengaja untuk tujuan peledakan atau bahan peledak seperti trinitrotoluena (TNT), nitrogliserin, dan amonium nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Bahan-bahan tersebut amat peka terhadap panas dan pengaruh mekanis (gesekan atau tumbukan). Di bawah ini adalah struktur kimia bahan yang bersifat eksplosif

<u>Struktur</u>	<u>Nama senyawa</u>
C – C	Asetilen
C – N <sub>2</sub>	Diazo
C – NO	Nitroso
C – NO <sub>2</sub>	Nitro
C – (NO <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	Alkil polinitro
C = N – O	Oksim
C – N = N	Azo
N – NO	N-nitroso
N - NO <sub>2</sub>	N-nitro
N <sub>3</sub>	Azida
C - N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Diazonium
N - logam	N-logam berat
N <sup>+</sup> OH	Hidroksil amonium
C – Cl – O <sub>3</sub>	Perkloril
O – O	Peroksida
O <sub>3</sub>	Ozon

Selain itu ada jenis lain yang bersifat eksplosif, yaitu debu dan campuran eksplosif

Debu-debu seperti debu karbon dalam industri batubara, zat warna diazo dalam pabrik zat warna, dan magnesium dalam pabrik baja adalah debu-debu yang sering menimbulkan ledakan.

Eksplosif dapat pula terjadi akibat pencampuran beberapa bahan, terutama bahan oksidator dan reduktor dalam suatu reaktor maupun dalam penyimpanan.

Di bawah ini adalah contoh campuran bahan yang dapat bersifat eksplosif.

Oksidator	Reduktor
KG03, NaN03	Karbon, belerang
Asam nitrat	etanol
Kalium permanganat	gliserol
Krom trioksida	hidrazin

### C. Bahan kimia reaktif terhadap air

Bahan reaktif adalah bahan yang bila bereaksi dengan air akan mengeluarkan panas dan gas yang mudah terbakar.

Hal ini disebabkan zat-zat tersebut bereaksi secara eksotermik, yaitu mengeluarkan panas, dan gas yang mudah terbakar. Adapun bahan-bahan kimia tersebut adalah :

- Alkali (Na, K) dan alkali tanah (Ca)
- Logam halida anhidrat (aluminium tribromida.)
- Logam oksida anhidrat (CaO)
- Oksida non-logam halida (sulfuril klorida)



Bahan-bahan tersebut harus dijauhkan dari air atau disimpan dalam ruang yang kering dan bebas dari kebocoran air hujan.

### D. Bahan kimia reaktif terhadap asam

Bahan reaktif terhadap asam akan menghasilkan panas dan gas yang mudah terbakar atau gas-gas yang beracun dan korosif.

Bahan-bahan yang reaktif terhadap air di atas juga reaktif terhadap asam. Selain itu ada bahan-bahan lain, yaitu:

- Kalium klorat/perklorat ( $\text{KClO}_3$ )
- Kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ )
- Asam kromat ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )

### E. Bahan kimia korosif

Bahan korosif adalah bahan yang karena reaksi kimia dapat merusak logam.



Bahan kimia korosif antara lain adalah asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), asam klorida, ( $\text{HCl}$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), kalsium hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , dan gas belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ).

#### F. Bahan kimia iritan

Bahan iritan adalah bahan yang karena reaksi kimia dapat menimbulkan kerusakan atau peradangan atau sensitisasi bila kontak dengan permukaan tubuh yang lembab seperti kulit, mata, dan saluran pernapasan. Bahan iritan pada umumnya adalah bahan korosif.



Bahan kimia korosif seperti asam trikloroasetat, asam sulfat, gas belerang dioksida dapat bereaksi dengan jaringan tubuh seperti kulit, mata, dan saluran pernapasan. Kerusakan yang terjadi dapat berupa luka, peradangan, iritasi (gatal-gatal), dan sensitisasi jaringan menjadi amat peka terhadap bahan kimia). Menurut bentuk zat, bahan iritan dapat dibagi dalam tiga kelompok dengan contoh-contoh sebagai berikut:

1) Bahan iritan padat

Bahaya akan timbul apabila kontak dengan kulit atau mata.

Contoh senyawa:

Anorganik	Natrium hidroksida (NaOH) Natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{OASiO}_2$ ) Kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , CaO) Kalium hidroksida (KOH)
Organik	Asam trichloroasetat ( $\text{M}_6\text{COOH}$ ) Fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ )

2) Bahan iritan cair

Bahaya akan timbul apabila kontak dengan kulit atau mata, yang menyebabkan proses pelarutan atau denaturasi protein.

Contoh senyawa:

Anorganik	: Asam sulfat, asam nitrat, asam klorida
Organik	: Asam format (asam semut) Asam asetat (cuka) Karbon disulfida Hidrokarbon terhalogenasi

3) Bahan iritan gas

Bahaya terutama karena terhirup dan merusak saluran pernapasan.

Tergantung pada sifat kelarutan dalam air dan akibatnya, gas iritan digolongkan menjadi tiga, yaitu:

- Gas amat larut dalam air, merusak saluran pernapasan bagian atas.  
Contoh: amoniak, asam klorida, formaldehida, asam asetat, asam fluorida.
- Gas dengan kelarutan sedang, merusak saluran pernapasan bagian atas dan bagian dalam.  
Contoh: sulfur dioksida, klor, krom
- Gas dengan kelarutan kecil, merusak alat pernapasan bagian dalam.  
Contoh: ozon, fosgen, nitrogen dioksida

## G. Bahan kimia beracun

Bahan dinyatakan sebagai bahan beracun jika paparan melalui mulut LD50 > 25 atau 200 mg/kg berat badan, atau paparan melalui kulit LD50 > 25 atau 400 mg/kg berat badan, atau melalui pernapasan LD50 > 0,5 mg/L atau 2 mg/L.



Bahan kimia beracun didefinisikan sebagai bahan kimia yang dalam jumlah kecil menimbulkan keracunan pada manusia atau makhluk hidup lainnya. Pada umumnya zat-zat toksik masuk lewat pernapasan dan kemudian beredar ke seluruh tubuh atau menuju organ-organ tubuh tertentu. Zat-zat tersebut dapat langsung mengganggu organ-organ tubuh tertentu seperti hati, paru-paru, dan lain-lain, tetapi dapat juga zat-zat tersebut berakumulasi dalam tulang, darah, hati, ginjal, atau cairan limfa dan menghasilkan efek kesehatan pada jangka panjang. Pengeluaran zat-zat beracun dari dalam tubuh dapat melewati urine, saluran pencernaan, sel epitel, dan keringat.

Sifat toksik dari suatu zat, selain ditentukan oleh sifat alamiah suatu zat, juga ditentukan oleh jenis persenyawaan dan keadaan fisik tersebut. Bahan-bahan beracun dalam industri dapat digolongkan ke dalam beberapa golongan, yakni

- a. Senyawa logam dan metaloid
- b. Bahan pelarut
- c. Gas-gas beracun
- d. Bahan karsinogenik
- e. Pestisida

Contoh bahan kimia beracun adalah sebagai berikut:

Jenis zat beracun	Jenis bahan	Akibat keracunan dan gangguan
1. Logam/metaloid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pb (TEL, PbCO<sub>3</sub>)</li> <li>• Hg</li> <li>• Cadmium (P)</li> <li>• Krom (Cr)</li> <li>• Arsen (As)</li> <li>• Fosfor (P)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Syaraf, ginjal, dan darah</li> <li>• Syaraf, ginjal</li> <li>• Hati, ginjal, darah</li> <li>• Kanker</li> <li>• Iritasi, kanker</li> <li>• Metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein</li> </ul>
2. Bahan pelarut	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrokarbon alifatik (bensin, minyak tanah)</li> <li>• Hirokarbon terhalogenasi (Kloroform CCl<sub>4</sub>)</li> <li>• Alkohol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusing dan koma</li> <li>• Hati dan ginjal</li> <li>• Saraf pusat, leukeumia</li> </ul>
3. Gas-gas beracun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspiksian sederhana (N<sub>2</sub>, Argon, He)</li> <li>• Aspiksian kimia: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asam sianida (HCN)</li> <li>• Asam sulfida (H<sub>2</sub>S)</li> </ul> </li> <li>• Karbon monoksida (CO)</li> <li>• Nitrogen oksida(NO<sub>x</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sesak napas, kekurangan oksigen</li> <li>• Pusing, sesak napas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sesak napas, kejang, hilang kesadaran</li> </ul> </li> <li>• Sesak napas, otak, jantung, syaraf, hilang kesadaran</li> <li>• Sesak napas, iritan, kematian</li> </ul>
4. Karsinogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzena</li> <li>• Asbes</li> <li>• Bensidin</li> <li>• Krom</li> <li>• Naftil amin</li> <li>• Vinil klorida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leukeumia</li> <li>• Paru-paru</li> <li>• Kandung kencing</li> <li>• Paru-paru</li> <li>• Paru-paru</li> <li>• Hati, paru-paru, syaraf pusat, darah</li> </ul>
5. Pestisida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organoklorin</li> <li>• Organofosfat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusing, kejang, hilang kesadaran, kematian -</li> </ul>

Zat-zat kimia berbahaya tersebut dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

#### H. Zat-zat karsinogen

Zat-zat karsinogen ialah zat-zat yang diketahui dapat menimbulkan kanker atau tumor. Beberapa jenis amina aromatik (*aromatic amines*) diketahui bersifat karsinogen. Beberapa hasil sampingan reaksi kimia yang sering dilakukan di sekolah juga diketahui bersifat karsinogen. Hasil sampingan seperti ini tidak boleh diabaikan. Conloh reaksi seperti itu di antaranya, formaldehida dan hidrogen klorida

di udara bereaksi cepat menghasilkan *bischloromethyl ether* dengan konsentrasi tidak terlalu tinggi. Zat ini diketahui dapat menyebabkan tumor pada tikus percobaan yang dibuat menghirup gas ini pada konsentrasi serendah 1 bpj (bagian per juta - 1 ppm (*part per million*)). Zat seperti itu juga dihasilkan pada reaksi-reaksi Friedel-Craft menggunakan metanal dan berbagai jenis klorida logam.

Beberapa zat seperti metil yodida, karbon tetraklorida, kloroform, dikloro metan, dan benzena (*benzene*) diketahui dapat menimbulkan kanker pada hewan percobaan. Zat-zat berikut ini tidak boleh digunakan di sekolah:

1- dan 2- naftilamina;  
nitrosamina (*nitrosamine*);  
nitrosolenol (*nitrosophenol*);  
nitronaftalen (*nitronaphthalene*)  
beberapa difenil yang tersubstitusi (*substituted diphenyls*) seperti benzidin;  
o-dianisidin (*o-dianisidine*).

Zat-zat korosif atau kaustik ialah zat-zat yang merusak zat yang dikenainya. Zat korosif sekaligus dapat beracun! Zat-zat jenis ini dapat digolong-golongkan menjadi 3 golongan, yaitu:

- 1) Asam, seperti asam-asam nitrat, asam-asam format, dan asam-asam sulfat.
- 2) Basa, seperti natrium hidroksida, kalium hidroksida, dan 0,880 larutan amonia dengan air.
- 3) Zat-zat yang menghasilkan zat korosif dengan air, misalnya klorida asam (*acid chlorides*), klorida aluminium, dan oksida diklorida sulfur (*sulphur dichloride oxide*). Ke dalam golongan ini dapat ditambahkan brom, fenol, fosfor, dan sulfurdioksida.

### 6.3.2. Penanganan Bahan kimia

Setiap bahan kimia itu berbahaya, namun tidak perlu merasa takut bekerja dengan bahan kimia bila tahu cara yang tepat untuk

menanggulangnya. Yang dimaksud berbahaya ialah dapat menyebabkan terjadinya kebakaran, mengganggu kesehatan, menyebabkan sakit atau luka, merusak, menyebabkan korosi dsb. Jenis bahan kimia berbahaya dapat diketahui dari label yang tertera pada kemasannya. Dari data tersebut, tingkat bahaya bahan kimia dapat diketahui dan upaya penanggulangannya harus dilakukan bagi mereka yang menggunakan bahan-bahan tersebut. Kadang-kadang terdapat dua atau tiga tanda bahaya pada satu jenis bahan kimia, itu berarti kewaspadaan orang yang bekerja dengan bahan tersebut harus lebih ditingkatkan. Contoh bahan kimia yang mudah meledak adalah kelompok bahan oksidator seperti perklorat, permanganat, nitrat dsb. Bahan-bahan ini bila bereaksi dengan bahan organik dapat menghasilkan ledakan. Logam alkali seperti natrium, mudah bereaksi dengan air menghasilkan reaksi yang disertai dengan api dan ledakan. Gas metana, pelarut organik seperti eter, dan padatan anorganik seperti belerang dan fosfor mudah terbakar, maka ketika menggunakan bahan-bahan tersebut, hendaknya dijauhkan dari api. Bahan kimia seperti senyawa sianida, merkuri dan arsen merupakan racun kuat, harap bahan-bahan tersebut tidak terisap atau tertelan ke dalam tubuh. Asam-asam anorganik bersifat oksidator dan menyebabkan peristiwa korosi, maka hindarilah jangan sampai asam tersebut tumpah ke permukaan dari besi atau kayu. Memang penggunaan bahan-bahan tersebut di laboratorium pendidikan Kima tidak berjumlah banyak, namun kewaspadaan menggunakan bahan tersebut perlu tetap dijaga.

#### **A. Bekerja Aman dengan Bahan Kimia**

- Hindari kontak langsung dengan bahan Kimia.
- Hindari mengisap langsung uap bahan Kimia.
- Dilarang mencicipi atau mencium bahan Kimia kecuali ada perintah khusus.
- Bahan Kimia dapat bereaksi langsung dengan kulit menimbulkan iritasi (pedih atau gatal).

## B. Cara Menggunakan Bahan Kimia

- Baca label bahan Kimia sekurang-kurangnya dua kali untuk menghindari kesalahan.
- Timbanglah sesuai dengan jumlah yang diperlukan.
- Jangan menggunakan bahan kimia secara berlebihan.
- Jangan mengembalikan bahan kimia ke dalam botol semula untuk mencegah kontaminasi.



Gambar 6.15. Pemeriksaan label zat yang digunakan



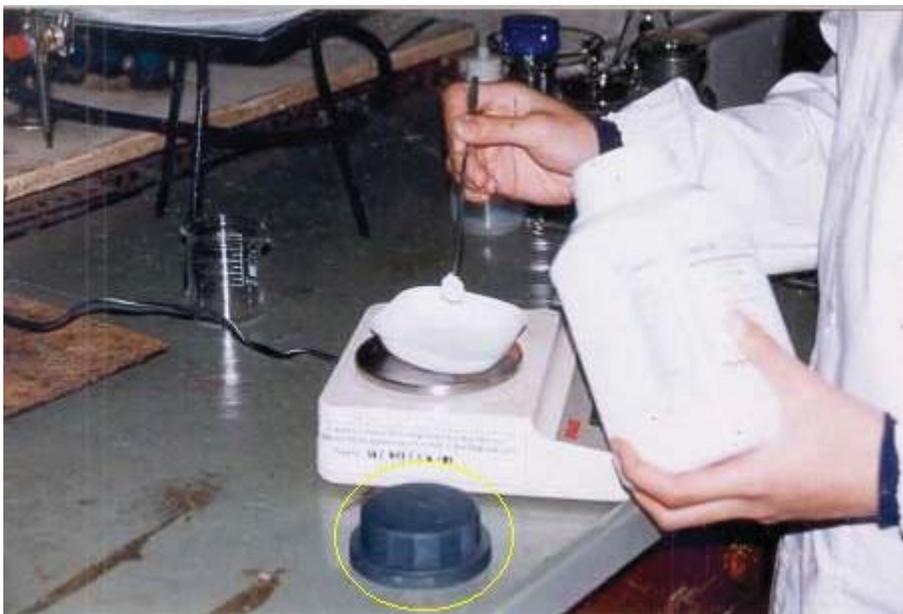
Gambar 6.16. Penimbangan Bahan

### C. Cara Memindahkan Bahan Kimia Cair

- Tutup botol dibuka dan dipegang dengan jari tangan sekaligus telapak tangan memegang botol tersebut.
- Tutup botol jangan diletakkan di atas meja karena isi botol dapat terkotori.
- Pindahkan cairan melalui batang pengaduk untuk mengalirkan agar tidak memercik.

### D. Cara Memindahkan Bahan Kimia Padat

- Gunakan tutup botol untuk mengatur pengeluaran bahan kimia.
- Jangan mengeluarkan bahan kimia secara berlebihan.
- Pindahkan sesuai keperluan tanpa menggunakan sesuatu yang dapat mengotori bahan tersebut.



**Gambar 6.17. Teknik memindahkan zat kimia padatan**

## E. Cara Memanaskan Larutan Menggunakan Tabung Reaksi

i

- Isi tabung reaksi maksimal sepertiganya.
- Api pemanas hendaknya terletak pada bagian atas larutan.
- Goyangkan tabung reaksi agar pemanasan merata.
- Arahkan mulut tabung reaksi pada tempat yang aman agar percikannya tidak melukai orang lain maupun diri sendiri.

## F. Cara Memanaskan Larutan Kimia Menggunakan Gelas Kimia

- Gunakan kaki tiga dan kawat kasa untuk menopang gelas kimia tersebut.
- Letakkan batang gelas atau batu didih dalam gelas kimia untuk mencegah pemanasan mendadak.
- Jika gelas kimia digunakan sebagai pemanas air, isilah dengan air, maksimum seperempatnya.

### 6.3.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat bahaya

Faktor yang mendukung timbulnya situasi berbahaya/tingkat bahaya dipengaruhi oleh :

#### a. Daya racun

Dinyatakan dengan satuan LD50 atau LC50, dimana makin kecil nilai LD50 atau LC50 bahan kimia menunjukkan makin tinggi daya racunnya.

#### b. Cara bahan kimia masuk ke dalam tubuh (*route of entry*) Yaitu melalui saluran pernapasan, saluran pencernaan dan penyerapan melalui kulit. Diantara yang sangat berbahaya adalah melalui saluran pernapasan karena taut:a disadari bahan kimia akan masuk ke dalam tubuh bersama udara yang dihirup yang diperkirakan sekitar 8,3 M2 selama 8 jam kerja dan sulit dikeluarkan kembali dari tubuh.

#### c. Konsentrasi macam dan lama paparan bahan kimia

Yaitu besar dosis yang berada di udara atau yang kontak dengan bagian tubuh, kemudian lamanya paparan terjadi apakah terus menerus atau terputus-putus menentukan jumlah dan dosis yang masuk ke dalam tubuh.

d. Efek kombinasi bahan kimia

Yaitu paparan bermacam-macam bahan kimia dengan sifat dan daya racun yang berbeda, menyulitkan tindakan-tindakan pertolongan atau pengobatan;

e. Kerentanan calon korban paparan bahan kimia

Masing-masing individu mempunyai daya tahan yang berbedabeda terhadap pengaruh bahan kimia. Semestinya individu terhadap pengaruh bahan kimia tergantung kepada umur, jenis kelamin, kondisi umum kesehatan dan lain-lain.

#### **6.3.4. Pengaruh Bahan Kimia terhadap Kesehatan**

- (1) Menyebabkan iritasi, yaitu terjadi luka bakar setempat akibat kontak bahan kimia dengan bagian-bagian tubuh tertentu, seperti kulit, mata atau saluran pernapasan;
- (2) Menimbulkan alergi, nampak sebagai bintik-bintik merah kecil atau gelembung berisi cairan, atau gangguan pernapasan berupa batuk-batuk, napas tersumbat dan napas pendek terutama di malam hari.
- (3) Menyebabkan sulit bernapas, seperti tercekik atau asfiksian karena kekurangan oksigen akibat diikat oleh gas inert seperti Nitrogen dan Karbon dioksida.
- (4) Menimbulkan keracunan sistemik; bahan kimia yang dapat mempengaruhi bagian-bagian tubuh, diantaranya merusak hati, ginjal, susunan syaraf dan lain-lain
- (5) Menyebabkan kanker, akibat paparan jangka panjang bahan kimia, sehingga merangsang pertumbuhan sel-sel yang tidak terkecil dalam bentuk tumor ganas
- (6) Menyebabkan kerusakan/kelainan janin ditandai oleh kelahiran dalam keadaan cacat atau kemandulan
- (7) Menyebabkan pnemokoniosis yaitu timbunan debu dalam paru-paru sehingga kemampuan paru-paru untuk menyerap oksigen menjadi kurang, akibatnya penderita mengalami napas pendek
- (8) Menyebabkan efek bias (narkotika) yaitu bahan kimia mengganggu

sistem syaraf pusat menyebabkan orang tidak sadar, pingsan atau kematian.

### **6.3.5. MSDS (Material Safety Data Sheet) atau lembar data keselamatan bahan**

Lembar data keselamatan bahan secara garis besar harus memuat penjelasan-penjelasan antara lain :

- Identifikasi dari bahan tersebut misalnya perusahaan dan supplier secara mendetail, nama produk atau codenya, penggunaannya, klasifikasi dari bahan
- Komposisi dan ciri-ciri fisik khusus dari bahan misalnya bentuk, warna, bau, titik didih, titik uap, ph, LEL.
- Informasi tentang bahaya bahan tersebut terhadap kesehatan
- Tata cara penanggulangan bahaya dan prosedur penggunaan yang benar dari bahan
- Tata cara penyimpanan bahan dan penggunaan yang aman dari bahan,

### **6.3.6. Prinsip pengendalian bahan kimia berbahaya**

- (1) Identifikasi semua bahan kimia dan instalasi yang akan ditangani untuk mengenal ciri-ciri dan karakteristiknya
- (2) Evaluasi, untuk menentukan langkah-langkah atau tindakan yang diperlukan sesuai sifat dan karakteristik dari bahan atau instalasi yang ditangani sekaligus memprediksi resiko yang mungkin terjadi apabila kecelakaan terjadi.
- (3) Pengendalian sebagai alternatif berdasarkan identifikasi dan evaluasi yang dilakukan meliputi :
  - Pengendalian operasional, seperti eliminasi, substitusi, ventilasi, penggunaan alat pelindung diri yang sesuai dan menjaga hygiene perorangan
  - Pengendalian organisasi administrasi, seperti pemasangan label, penyediaan lembar data kesehatan bahan (MSDS), pembuatan prosedur kerja, pengaturan tata ruang, pemantauan rutin serta pendidikan dan latihan

- Inspeksi dan pemeliharaan sarana, prosedur, dan proses kerja yang aman
- Pembatasan keberadaan bahan kimia berbahaya ditempat kerja *sesuai dengan jumlah ambang batasnya.*

## **6.4. PENANGGULANGAN KEBAKARAN**

### **6.4.1. Latar Belakang**

Kebakaran dapat terjadi kapan saja dan dimana saja. Tidak ada tempat kerja yang dapat dijamin bebas resiko (immune) dari bahaya kebakaran. Kebakaran ditempat kerja dapat membawa konsekwensi yang berdampak merugikan banyak pihak baik bagi pengusaha, tenaga kerja maupun masyarakat luas.

Akibat yang ditimbulkan dari peristiwa kebakaran ditempat kerja dapat mengakibatkan korban jiwa, kerugian material, hilangnya lapangan kerja dan kerugian lain yang tidak langsung, apalagi kalau kebakaran terjadi pada objek vital maka akan berdampak lebih luas lagi.

Data kasus kebakaran yang dikutip dari .pusat laboratorium fisika forensik Mabes Polri dari tahun 1990 sampai 2001 menunjukkan :

#### Tahun 1990 – 1996

Jumlah kejadian : 2033 kasus

80 % kasus terjadi ditempat kerja

20 % kasus terjadi diluar tempat kerja

#### Tahun 1996 – 2001

Jumlah kejadian : 1121 kasus

76,1 % kasus terjadi ditempat kerja

23,9 % kasus terjadi diluar tempat kerja

Dari data tersebut ternyata tempat kerja lebih besar peluangnya untuk terjadi kebakaran, karena semua unsur yang dapat memicu kebakaran terdapat ditempat kerja. Dan ternyata teridentifikasi pula bahwa 20 % dari kejadian kebakaran berakibat habis total. Gambaran ini menunjukkan bahwa ditempat kejadian tersebut tidak tersedia sumber daya yang memadai untuk menghadapi kejadian kebakaran.

Informasi penting lainnya yang perlu diperhatikan adalah data faktor penyebab kebakaran :

- Api terbuka : 415 (37,19 %)
- Listrik : 297 (26,6%)
- Pembakaran : 80 (7,17 %)
- Peralatari panas : 35 (3,14 %)
- Mekanik : 24 (2,15 %)
- Kimia : 15 (1,34 %)
- Proses biologi : 5 (0,45 %)
- Alam : 2 (0,18 %)
- Tdk dpt ditentukan : 218 (19,53 %)
- Lain-lain : 25 (0,24 %)

Data penyebab kebakaran diatas adalah fakta lapangan yang dapat dijadikan sebagai referensi bahwa ada 2 faktor penyebab yang menonjol, yaitu api terbuka dan listrik.

Gambaran data diatas adalah sebagai pelajaran yang sangat berharga bagi pengawasan K3 khususnya dibidang penanggulangan kebakaran. Faktor-faktor penyebab kegagalan pemadaman kebakaran perlu pula dikaji secara baik agar dapat diambil langkah yang tepat.

Faktor-faktor kegagalan dan kendala dapat terjadi karena faktor peralatan proteksi kebakaran kurang memadai, sumber daya manusia yang tidak dipersiapkan atau hambatan dari manajemen.

Dari fakta lapangan yang ada maka kegiatan inspeksi harus diarahkan pada masalah yang menonjol. Dari sisi penyebab kebakaran ada 2 hal, yaitu api terbuka dan listrik harus selalu menjadi perhatian, disamping faktor khusus yang ada disetiap tempat kerja.

Penggunaan api terbuka pada umumnya terdapat dalam pelaksanaan pekerjaan yang bersifat sementara, seperti pekerjaan perbaikan dengan mesin las. Dalam K3 setiap pekerjaan panas harus dikendalikan secara administratif dengan penerapan ijin kerja panas (Hot Work Permit). Ijin ini diterbitkan oleh penanggung jawab K3 di setiap tempat kerja.

Hal kedua yang harus menjadi titik perhatian dalam penguasaan K3 penanggulangan kebakaran adalah masalah listrik. Banyak titik kelemahan pada instalasi listrik yang mendorong terjadinya kebakaran, yang secara awam disebut hubung singkat. Namun hubung singkat sendiri merupakan akibat dari banyak faktor yang mempengaruhi.

Dengan demikian norma K3 penanggulangan kebakaran adalah norma K3 yang ditujukan untuk mencegah atau mengurangi tingkat resiko seminimal mungkin. Karena itu seorang Ahli K3 harus memiliki pengetahuan teknis penanggulangan kebakaran sehingga mampu menilai kesesuaian sistem proteksi kebakaran pasif, aktif, dan manajemen penanggulangan kebakaran.

#### **6.4.2. Pengertian K3 Penanggulangan Kebakaran**

Pengertian pengawasan dapat diartikan sebagai suatu aktifitas untuk menilai kesesuaian persyaratan yang telah ditentukan yang di dalam hal ini adalah persyaratan K3 penanggulangan kebakaran yang bertujuan untuk mencegah atau menekan resiko sampai pada level yang memadai.

Asas pengawasan K3 pada dasarnya adalah pembinaan, sebagaimana digambarkan pasal 4 UU No.1 Tahun 1970. Pengertian pembinaan disini mencakup pembentukan, penerapan, dan pengawasan yaitu norma yang belum ada dan norma yang telah ada terus disosialisasikan dengan diberi batas waktu kapan akan dilaksanakan.

Beberapa pengertian dan istilah yang berkaitan dengan ruang lingkup pengawasan K3 bidang penanggulangan kebakaran antara lain:

1. **Kebakaran**, adalah api yang tidak dikehendaki. Boleh jadi api itu kecil tetapi apabila tidak dikehendaki merupakan kebakaran, sehingga hampir terbakar pun dapat diartikan sebagai kebakaran.

**Mencegah Kebakaran**, adalah segala upaya untuk menghindarkan terjadinya kebakaran. Seorang Ahli K3 harus mampu menetapkan

rekomendasi syarat apa yang sesuai dengan keadaan yang ditemukan dilapangan sewaktu inspeksi.

2. **Resiko Kebakaran**, adalah perkiraan tingkat keparahan apabila terjadi kebakaran. Besaran yang mempengaruhi tingkat resiko kebakaran ada 3 faktor yaitu :

- a. Tingkat kemudahan terbakar (flameability) dari bahan yang diolah atau disimpan.
- b. Jumlah dan kondisi penyimpanan bahan mudah terbakar sehingga dapat diperkirakan kecepatan laju pertumbuhan atau menjalarnya api.
- c. Tingkat paparan, yaitu seberapa besar nilai material dan atau seberapa banyak orang yang terancam.

**Mengurangi resiko kebakaran**, adalah pertimbangan syarat K3 untuk dapat menekan resiko ketinggian level yang lebih rendah. Seorang Ahli K3 harus mampu menetapkan rekomendasi syarat dan strategi apa yang diperlukan untuk meminimalkan tingkat ancaman ke level yang lebih rendah.

3. **Memadamkan Kebakaran**, adalah suatu teknik menghentikan reaksi kebakaran/nyala api. Nyala api adalah suatu proses perubahan zat menjadi zat yang baru melalui reaksi kimia, oksidasi eksotermal. Nyala yang tampak adalah gejala zat yang sedang memijar. Pada nyala api yang sedang berlangsung terdapat 4 elemen yang berinteraksi, yaitu unsur pertama adalah bahan bakar/fuel bisa padat, cair, atau gas yang umumnya mengandung karbon (C) dan atau hidrogen (H); unsur yang kedua adalah bahan pengoksidan yaitu oksigen yang dapat berasal dari udara atau terikat pada bahan tertentu (bahan oksidator); sedang unsur ketiga adalah sumber panas yang berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem; unsur keempat adalah adalah rantai reaksi kimia.

**Memadamkan kebakaran**, dapat dilakukam dengan prinsip menghilangkan salah satu atau beberapa unsur dalam proses nyala api, yaitu : pendinginan (cooling), penyelimutan (smothering), mengurangi bahan (stafation), memutuskan rantai reaksi api dan melemahkan (dulution). Teknik pemadaman dengan media pemadaman harus sesuai dengan prinsip-prinsip pemadaman.

4. **Jalan menyelamatkan diri pada waktu kebakaran**, atau disebut means of escape adalah sarana berbentuk konstruksi permanen pada bangunan gedung dan tempat kerja yang dirancang aman untuk waktu tertentu sebagai jalan atau rute penyelamatan penghuni apabila terjadi keadaan darurat kebakaran.
5. **Panas, asap dan gas**, adalah produk kebakaran yang pada hakikatnya merupakan jenis bahaya yang dapat mengancam keselamatan baik material maupun jiwa sehingga harus dikendalikan.  
**Penyebaran panas**, dapat melalui radiasi, konveksi dan konduksi sebagaimana ilustrasi pada gambar 1

Perpindahan panas secara radiasi adalah, paparan langsung kearah tegak lurus melalui pancaran gelombang elektromagnetik. Contoh panas matahari sampai ke bumi melalui radiasi.

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas melalui gerakan udara. Contoh panas cerobong yang melewati lubang atau celah.

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas melalui media. Contoh dibalik ruangan yang terbakar dapat membakar material diruangan sebelahnya karena panasnya menembus melalui tembok.

**Penyebaran asap dan gas**, berupa asap sisa pembakaran.

Contoh Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) serta gas ikutan lainnya.

Dalam suatu kebakaran asap dan gas merupakan pembunuh utama. Boleh jadi korban mati dalam kebakaran adalah karena menghisap asap atau gas.

Penyebaran asap dan gas cenderung akan naik ke atas melalui setiap celah (shaft) yang ada, karena itu pada bangunan gedung bertingkat lantai paling atas akan lebih dulu kena asap. Pada bangunan yang menggunakan sistem AC sentral asap dan gas, asap akan cenderung menyebar ke seluruh ruangan melalui sirkulasi udara AC.

Apabila ada bangunan yang terbakar menyimpan bahan-bahan yang dapat terurai menjadi gas racun, maka resiko akan bertambah besar karena adanya gas racun.

Dengan demikian seorang Ahli K3 harus mampu menganalisis kemungkinan adanya ikutan bahaya gas racun, sehingga diharapkan mampu menetapkan rekomendasi syarat untuk menghindarkan bahaya asap dan gas beracun. Dampak lain resiko kebakaran adalah ledakan dan bahan kimia atau tabung kontainer yang berisi gas yang mudah meledak.

#### **6.4.3. Ruang lingkup pengawasan K3 penanggulangan kebakaran**

Lingkup pengawasan K3 penanggulangan kebakaran sesuai pasal 4 UU No.1 tahun 1970 dimulai dari prakondisi sampai operasionalisasi yang diharapkan mampu mengidentifikasi, menganalisis, supervisi dan memberikan rekomendasi.

- **Identifikasi potensi bahaya (Fire Hazard Identification);** sumber--sumber potensi bahaya yang dapat menyebabkan terjadinya kebakaran seperti setiap bentuk energi panas yang ditimbulkan listrik, petir, mekanik, kimia, dan bentuk energi lain yang dipakai dalam proses kegiatan harus teridentifikasi untuk dikendalikan sesuai dengan ketentuan peraturan dan standart yang berlaku.
- **Analisa resiko (Fire Risk Assessment);** berbagai potensi bahaya yang telah teridentifikasi dilakukan pembobotan tingkat resikonya, apakah masuk kategori ringan, sedang, berat, atau sangat serius dengan parameter kecepatan menjalamya api, tingkat paparan, konsekwensi kerugian dan jumlah jiwa yang terancam.
- Sarana proteksi kebakaran aktif; yaitu alat atau instalasi yang dipersiapkan untuk mendeteksi dan memadamkan kebakaran seperti sistim deteksi dan alarm, APAR, hydrant, sprinkler, hose rell, dll yang dirancang berdasarkan standart sesuai dengan tingkat bahayanya
- Sarana proteksi kebakaran pasif; yaitu alat, sarana atau metode mengendalikan penyebaran asap, panas, dan gas berbahaya bila terjadi kebakaran. Contoh sistim kompartemenisasi, treatment, atau clotting fire reterdant, sarana pengendalian asap (smoke controle system), sarana evakuasi, sistem pengendali asap dan api (smoke damper, fire damper, fire stopping), alat bantu evakuasi dan rescue, dll.

#### **6.4.4. Pengetahuan dasar pemadaman api**

Dari uraian dasar terjadinya kebakaran dapat ditarik tiga pemahaman penting yang terkait dengan pembahasan prinsip pemadaman api, yaitu :

##### Pemahaman pertama

Berdasarkan teori segitiga api. Ada 3 elemen pokok untuk terjadinya nyala api yaitu :

- Bahan bakar
- Oksigen
- Panas / sumber penyalat

##### Pemahaman kedua

Dari ketiga elemen dalam segitiga api, menuntut adanya persyaratan besarnya fisika tertentu yang menghubungkan sisi-sisi segitiga api, yaitu

- Flash point
- Flammable range
- Fire point
- Ignition point

Dari besaran angka diatas, maka tindakan pengendalian terhadap bahaya kebakaran dilakukan penerapan sistem pengendalian dengan peralatan deteksi.

##### Pemahaman ketiga

Unsur-unsur terjadinya api seperti diterangkan dalam teori Tetra hedron of fire ada elemen keempat yaitu reaksi radikal atom-atom bebas yang ternyata mempunyai peranan besar dalam proses berlangsungnya nyala api.

Berdasarkan pemahaman teori diatas, maka teknik untuk memadamkan api dapat dilakukan dengan cara 4 prinsip yaitu:

- Prinsip mendinginkan (Cooling) misalnya dengan menyemprotkan air
- Prinsip menutup bahan yang terbakar (Starvation), misalnya menutup dengan busa

- Prinsip mengurangi Oksigen (Dilution), misalnya menyemprotkan gas CO<sub>2</sub>
- Prinsip memutus rantai rangkaian api (Mencekik) dengan media kimia

Penerapan prinsip-prinsip pemadaman kebakaran diatas, tidak dapat disamaratakan, akan tetapi harus diperhatikan jenis bahan apa yang cocok diterapkan dan media jenis apa yang sesuai.

### **Klasifikasi kebakaran**

Setiap jenis bahan yang terbakar memiliki karakteristik yang berbeda, karena itu harus dibuat prosedur yang tepat dalam melakukan tindakan pemadaman, dan jenis media yang diterapkan harus sesuai dengan karakteristiknya dan mengacu pada standar.

Klasifikasi jenis kebakaran terdapat dua versi standar yang sedikit agak berbeda. Menurut standar Inggris yaitu LPC (Loss Prevention Committee) yang sebelumnya adalah FOC ( Fire Office Cornitee) menetapkan klasifikasi kebakaran dibagi klas A, B, C, D, E. Sedangkan standar Amerika NFPA ( National Fire Prevention Association ) menetapkan klasifikasi menjadi klas A, B, C, D.

Klasifikasi kebakaran di Indonesia mengacu standar di NFPA, yang dimuat dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No.Per.04/Men/1980.

Sifat dari masing-masing klasifikasi kebakaran di atas adalah :

- Klas A, terbakar sampai bagian dalam atau terdapat bara
- Klas B (cair), terbakar pada permukaan
- Klas B (gas), terbakar pada titik sumber gas mengalir
- Klas C atau Klas E menurut British, adalah ditinjau dari aspek bahaya terkena aliran listrik bagi petugas pemadam yang sesuai.

Sistem peralatan pemadam kebakaran yang dapat dirancang dalam bentuk peralatan tabung bertekanan (portable), atau dalam bentuk sistem instalasi yang dipasang permanen (fixed system) antara lain sistem hydrant, sistem sprinkler, dan instalasi khusus lainnya dengan media busa, seruk kimia, CO<sub>2</sub>, dan sebagainya yang dapat dirancang secara manual, semi otomatis, fully automatic integrated system.

Tipe rancangan instalasi sistem pemadam, kebakaran permanen dapat dirancang otomatis terintegrasi dengan sistem perlindungan lokal (local application) atau sistem perlindungan total dengan pancaran serentak (total flooding).

Dari data analisis media pemadam kebakaran untuk ruangan khusus yang menyimpan bahan dan material berharga yang paling sesuai adalah jenis Clean Agent.

Media pemadam kebakaran kategori jenis clean agent sesuai persyaratan standar harus memenuhi beberapa kriteria antara lain :

- Bersih tidak meninggalkan bekas / noda
- Tidak konduktif
- Tidak korosif

#### **6.4.5. Pengenalan sistem proteksi kebakaran**

##### **A. Konsep sistem proteksi kebakaran**

Penerapan sistem proteksi kebakaran atas sumber daya harus direncanakan untuk dapat mengantisipasi bahaya kebakaran sesuai dengan tingkat resiko bahaya pada hunian yang bersangkutan. Pada bagian diatas telah difahami pengertian klasifikasi tingkat resiko bahaya kebakaran.

Perencanaan proteksi kebakaran harus meliputi 3 sistem strategi yaitu :

- Sarana proteksi kebakaran aktif, yaitu alat bantu atau instalasi yang dipersiapkan untuk mendeteksi dan memadamkan kebakaran seperti sistem deteksi dah alarm, APAR, hydrant, sprinkler, hose rell, dll.
- Sarana proteksi kebakaran pasif yaitu alat, sarana, atau metoda mengendalikan penyebaran asap, panas dan gas berbahaya bila terjadi kebakaran antara lain sistem kompartemenisasi, treatment atau clotting fire rettardant, sarana pengendalian asap (smoke control system), sarana evakuasi, sistem pengendali asap dan api (smoke damper, fire damper, fire stopping), alat bantu evakuasi dan rescue dll.
- Fire safety management

## B. Sistem deteksi dan alarm kebakaran

Strategi yang pertama dalam menghadapi bahaya kebakaran adalah berpacu dengan waktu. Api yang masih awal lebih mudah dipadamkan dibandingkan yang telah lama terbakar, karena itu perlu adanya sistem pengendalian dini dengan sistem tanda bahaya serta sistem komunikasi darurat.

Ketentuan yang mewajibkan adanya sistem deteksi dan alarm antara lain disebutkan dalam peraturan khusus EE, peraturan khusus K dan Kepmenaker No. 186/Men/1999.

Dengan perkembangan teknologi, peran penjagaan tempat kerja dapat digantikan dengan memasang sistem instalasi deteksi dan alarm kebakaran otomatis. Apabila instalasi alarm kebakaran otomatis mengambil alih peran tersebut, maka untuk menjamin kehandalan sistem tersebut diharuskan mengikuti ketentuan yang diatur dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 02/Men/1983.

Klasifikasi sistem alarm (menurut sistem operasionalnya, sistem alarm kebakaran dibagi 3 kelompok) :

- Manual
- Otomatik (semi addressable, atau fully addressable)
- Otomatik interegrated system, (deteksi, alarm, dan pemadaman)

Komponen sistem alarm kebakaran otomatis terdiri dari :

- Detektor dan tombol manual (input signal)
- Panel indikator kebakaran (System control)
- Alarm audible atau visible (Signal output)

❖ **Detektor**, adalah alat untuk mendeteksi kebakaran secara otomatis, yang diharapkan dapat mendeteksi secara cepat akurat dan tidak memberikan informasi palsu. Tipe detektor harus sesuai dengan karakter ruangan.

Jenis jenis detektor berdasarkan cara kerjanya antara lain

- Detektor panas, (tipe suhu tetap dan tipe kenaikan suhu)
- Detektor asap, (tipe foto elektrik dan onisasi)
- Detektor nyala, (tipe ultraviolet dan infra merah)

Detektor dipasang ditempat yang tepat sehingga harus memiliki jarak jangkauan peginderaan yang efektif sesuai dengan spesifikasinya.

- ❖ **Tombol manual**, adalah alat yang dapat dioperasikan secara manual yang dilindungi dengan kaca, yang dapat diaktifkan secara manual dengan memecahkan kaca terlebih dahulu, apabila ada yang melihat kebakaran tetapi detektor otomatis belum bekerja.
- ❖ **Panel kendali**, adalah pusat pengendali sistem deteksi dan alarm, yang dapat mengindikasi signal input dari detektor maupun tombol manual dan mengaktifkan alarm tanda kebakaran. Panel pengendali harus dapat memberi informasi alamat atau lokasi datangnya panggilan detektor yang aktif atau tombol manual yang diaktifkan.
- ❖ **Signal alarm**, adalah indikasi adanya bahaya kebakaran yang dapat didengar (audible alarm) berupa bell berdering, sirine; atau yang dapat dilihat (visible alarm) berupa lampu.
- ❖ **Sistem instalasi alarm kebakaran otomatis**, dapat diintegrasikan dengan peralatan yang ada didalam bangunan yang bersangkutan antara lain dengan lift, AC, pressured fan, indikator aliran sistem sprinkler, dll.

Pemasangan dan pengoperasian alarm kebakaran otomatis

- Harus selalu dilakukan pemeriksaan dan pengujian secara teratur
- Setiap kejadian harus dicatat dalam log book;
- Sistem deteksi, alarm dan pemahaman integrated, harus memiliki ijin

### C. Pengoperasian APAR (Alat Pemadam Api Ringan)

Syarat pemasangan alat pemadam api ringan sesuai Referensi Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. Per 04/Men/1930

**Alat pemadaman api ringan**, direncanakan untuk memadamkan api pada awal kebakaran sehingga konstruksinya dapat dijinjing dan mudah dioperasikan oleh satu orang.

- ✓ Ditempatkan yang mudah dilihat dan mudah dijangkau, mudah diambil (tidak diikat mati atau digembok)
- ✓ Jarak jangkauan tabung APAR maksimum 15 m
- ✓ Tinggi pemasangan maksimum 125 cm
- ✓ Jenis media dan ukurannya harus sesuai dengan klasifikasi kebakaran dan beban api serta kemampuan orang yang akan mengoperasikan
- ✓ Secara berkala harus diperiksa
- ✓ Media pemadam harus diisi ulang sesuai batas waktu yang ditentukan
- ✓ Kekuatan konstruksi tabung harus diuji padat dengan air sesuai ketentuan

#### **D. Hydrant**

Hydrant adalah instalasi pemadam kebakaran yang dipasang permanen berupa jaringan perpipaan berisi air bertekanan terus menerus yang siap untuk memadamkan kebakaran.

Komponen utama sistem hydrant terdiri dari :

- ✓ Persediaan air yang cukup
- ✓ Sistem pompa yang handal, pada umumnya terdiri dari 3 macam pompa yaitu : Pompa jockey, Pompa utama dan Pompa cadangan
- ✓ Jaringan pipa yang cukup
- ✓ Nozle dan slang yang cukup panjang untuk mengamankan seluruh bangunan

Perencanaan instalasi Hydrant harus memenuhi ketentuan standar yang berlaku dan perhitungan hidrolik kebutuhan debit air serta tekanan ideal sesuai klasifikasi bahaya pada bangunan atau obyek yang dilindungi.

## E. Sprinkler

Pengertian sprinkler adalah instalasi pemadam kebakaran yang dipasang secara permanen untuk melindungi bangunan dari bahaya kebakaran yang akan bekerja secara otomatis memancarkan air, apabila (nosel/pemancar/kepala sprinkler) terkena panas pada temperatur tertentu. Dasar perencanaan sistem sprinkler akan didasarkan jumlah dan kemampuan air yang dipancarkan oleh kepala sprinkler menyerap kalor yang dihasilkan dari bahan yang terbakar, dengan mengacu pada :

Klasifikasi hunian	: Ringan Sedang I, II, III Berat Khusus
Variabel	: Peruntukan bangunan Jumlah dan sifat penghuni Konstruksi bangunan Flammability dan Quantity material (Fire Loads)
Standar desain	: Ukuran kepala sprinkler kepadatan pancaran

Komponen utama sistem sprinkler seperti gambar 10 terdiri dari :

- ✓ Persediaan air
- ✓ Pompa
- ✓ Siamese pipa
- ✓ Kepala sprinkler

Syarat teknis perencanaan instalasi sprinkler berpedoman pada perhitungan hidrolik kebutuhan dan debit air (kepadatan pancaran) sesuai klasifikasi bahaya pada bangunan atau obyek yang dilindungi.

Tekanan kerja pada kepala sprinkler max  $10 \text{ kg/cm}^2$  dan minimal  $0,9 - 2,2 \text{ kg/cm}^2$ .

## G. Sarana Evakuasi

Evakuasi adalah usaha menyelamatkan diri sendiri dari tempat berbahaya menuju ke tempat yang aman.

Sarana evakuasi adalah sarana dalam bentuk konstruksi dari bagian bangunan yang dirancang aman sementara ( minimal 1 jam ) untuk jalan menyelamatkan diri bila terjadi kebakaran bagi seluruh penghuni di dalamnya tanpa dibantu orang lain.

Setiap tempat kerja selain harus tersedia jalan khusus selain pintu keluar masuk utama untuk menyelamatkan diri bila terjadi kebakaran. Pintu tersebut harus membuka keluar dan tidak boleh dikunci, juga harus tersedia jalan ke evakuasi, antara lain :

- Petunjuk arah evakuasi harus terlihat jelas pada waktu keadaan gelap
- Perhitungan teknis sarana evakuasi
  - Percobaan rate of flow 40 orang/menit
  - Standar waktu evakuasi 2, 2 ½ , 3 menit sesuai klasifikasi bahaya ringan, sedang, berat
  - Lebar Unit Exit 21 inchi
- Untuk menjamin keamanan bangunan minimal 1 jam maka konstruksi harus dirancang tahan api dan dilengkapi sarana pengendalian asap dan tekanan udara positif (pressurized fan).

## **G. Kompartementasi**

Kompartementasi adalah metoda pengaturan tata ruang untuk menghambat penjaralan kebakaran ke bagian lain. Metoda ini dapat menerapkan jarak tertentu atau dengan dinding pembatas dan mengatur posisi bukaan tidak saling berhadapan.

Peraturan khusus EE dan K menetapkan

- Tempat kerja harus dibagi menurut jenis dan sifat pekerjaannya
- Daerah untuk menyimpan atau mengolah bahan yang dapat meledak atau terbakar harus terpisah dengan ruangan yang menggunakan alat yang dapat menimbulkan sumber panas.
- Jarak aman harus diperhitungkan agar apabila terjadi kebakaran tidak mudah merambat ke tempat lain.
- Bukaan antar bangunan agar tidak saling berhadapan.
- Tempat kerja dibuat juga dengan cara dibatasi dengan tembok tahan api.

## H. Sistem pengendalian asap dan panas

Asap dan gas pada waktu kejadian kebakaran merupakan salah satu produk kebakaran yang sangat membahayakan bagi manusia. Kecenderungan asap dan gas akan menyebar ke atas, karena itu pada gedung bertingkat harus direncanakan suatu jalur atau bukaan vertikal menyerupai cerobong, karena itu harus ada sistem mekanik yang dapat mengendalikan asap dan gas.

Bagunan gedung dengan sistem AC central, apabila terjadi kebakaran akan menyebarkan asap ke seluruh ruangan. Karena itu harus ada sistem deteksi asap yang dapat mengontrol secara mekanis penutupan asap (smoke damper) dan atau mematikan asap sentral.

### I. Pressurized fan

Pada ruangan atau pada bagian proses yang terdapat emisi gas atau uap yang dapat terbakar maka perlu adanya sistem mekanik *pressurized fan* untuk memecah konsentrasi uap berada di bawah flammable range, sehingga terhindar dari resiko penyalaan.

Tempat penimbunan bahan cair atau gas mudah terbakar. Tempat (tangki) penimbunan bahan cair yang mudah terbakar harus ditempatkan diluar bangunan dengan jarak tertentu dari bangunan di sekitarnya. Tangki penimbunan di atas tanah harus dilindungi dengan tanggul di sekelilingnya untuk membatasi meluasnya cairan bahan mudah terbakar tersebut apabila terjadi kebocoran.

Persyaratan kapasitas pelindung untuk melindungi 1 tangki minimal mampu menampung 80 % dari kapasitas tangki, apabila 2 tangki minimal 60% dan bila lebih dari 3 tangki minimal 40 %.

Persediaan bahan bakar cadangan di dalam ruangan harus dibatasi maksimal 20 liter dengan tempat yang tidak mudah terbakar dan ditutup. Tempat (tangki) penimbunan bahan gas yang mudah menyala harus ditempatkan diluar bangunan dengan jarak tertentu dari bangunan di sekitarnya. Tangki penimbunan di atas tanah harus dilindungi dengan water spray sistem yang dapat bekerja otomatis untuk membatasi meningkatnya suhu yang dapat menimbulkan tangki meledak.

Water spray system bukan ditujukan untuk memadamkan api, tetapi untuk mendinginkan tangki agar tidak meledak karena peningkatan tekanan akibat paparan panas dari luar.

#### **6.4.6. Sistem tanggap darurat**

Keadaan darurat adalah situasi/kondisi/kejadian yang tidak normal dan mengancam keselamatan jiwa manusia serta harta benda. Beberapa cirinya adalah :

- Terjadi tiba-tiba
- Mengganggu kegiatan/organisasi/komunitas
- Perlu segera ditanggulangi karena dapat berubah menjadi bencana (disaster) yang mengakibatkan banyak korban atau kerusakan.

Jenis-jenis keadaan darurat

Natural hazard (Bencana Alamiah)

- Banjir
- Kekeringan
- Angin topan
- Gempa
- Petir

Technological Hazart (Kegagalan teknis)

- Pemadaman listrik
- Bendungan bobol
- Kebocoran nuklir
- Peristiwa kebakaran / ledakan Kecelakaan kerja / lalu lintas
- Huru hara
- Perang
- Kerusakan

#### **Keadaan darurat kebakaran**

Situasi kejadian kebakaran pada suatu bangunan akan melibatkan semua orang yang ada didalam bangunan yang terbakar karena semua merasa terancam dalam bahaya dan ingin menyelamatkan diri. Dalam kejadian kebakaran ada kalanya orang yang sudah keluar ditempat yang aman masuk kembali ke ruangan yang terbakar, apalagi bila terdapat orang-

orang asing (tamu/ pengunjung) karena mereka lebih tidak familier dan mengenal lingkungan setempat.

Dalam kejadian kebakaran dipastikan terjadi kepanikan yang tidak terkendali.

Guna mengantisipasi situasi kepanikan yang sering tidak terkendali, seyogyanya diselenggarakan program latihan yang teratur dengan melibatkan semua unsur di perusahaan.

Dalam setiap pelaksanaan latihan tersebut harus ada suatu skenario yang baku dan dilakukan berulang-ulang.

Sistem tanggap darurat penanggulangan kebakaran harus tertuang dalam buku panduan Fire Emergency Prosedure ( FEP ) yang berisikan siapa berbuat apa dan dengan apa serta bagaimana dilakukan.

Penyusunan FEP harus dikerjakan oleh tim yang melibatkan semua unsur manajemen tetapi tidak perlu banyak orang, dan muatan FEP harus berisi uraian lengkap yang terintegrasi dalam manajemen secara menyeluruh.

Tahapan perencanaan keadaan darurat kebakaran dilaksanakan sbb:

1. Identifikasi bahaya dan penaksiran resiko
2. Penakaran sumber daya yang dimiliki
3. Tinjau ulang rencana yang telah ada
4. Tentukan tujuan dan lingkup
5. Pilih tipe perencanaan yang akan dibuat
6. Tentukan tugas-tugas dan tanggung jawab
7. Tentukan konsep operasi
8. Tulis dan perbaiki

#### **6.4.7. Pemeriksaan Berkala Sistem Proteksi Kebakaran**

Instalasi proteksi kebakaran yang telah terpasang agar dapat beroperasi dengan baik harus terus dijaga keandalan operasinya, hingga mampu memberikan perlindungan sesuai fungsinya bila sewaktu-waktu terjadi suatu kebakaran.

Kondisi keandalan yang tinggi tersebut tercapai bila sistem proteksi yang terpasang dilakukan pemeriksaan dan pengujian berkala secara rutin dengan menggunakan standart K3 yang berlaku.

Dengan penyelenggaraan program pemeriksaan dan pengujian berkala kerusakan maupun penyimpangan-penyimpangan prosedur operasi dapat segera diketahui dan dilakukan langkah perbaikannya.

#### **6.4.8. Pemeriksaan berkala instalasi alarm kebakaran**

Pemeriksaan berkala ini dilakukan sekurang-kurangnya sekali dalam 5 ( lima ) tahun, dengan materi pemeriksaan meliputi :

- Pemeriksaan fisik instalasi dan pembersihan komponen-komponen alarm kebakaran.
  - Panel kontrol dan annunciator
  - Detektor dan tombol manual
  - Alarm kebakaran
  - Pengkabelan instalasi
- Pengujian operasional fungsi komponen-komponen alarm kebakaran
  - Fungsi kerja panel kontrol
    - Tegangan catu daya listrik
    - Peralatan pengendali operasional
    - Penunjukan indikator-indikator power supply, gangguan, kondisi zone
    - Penunjukan kerja fire alarm dan power alarm
  - Fungsi kerja detektor api dan tombol manual
    - Mengaktifkan tombol-tombol manual dan membuat simulasi api pada detektor-detektor
    - Mengukur keras dering lokal fire alarm dan general alarm, serta mengamati nyala lampu lokal fire alarm
    - Memonitor operasional dan penunjukan indikator-indikator panel kontrol

#### **6.4.9. Pemeriksaan berkala Instalasi hydrant**

Pemeriksaan berkala dilakukan sekurang-kurangnya sekali dalam 1 (satu) tahun meliputi pemeriksaan :

- Pemeriksaan kondisi fisik, letak, dan kebersihan komponen-komponen hydrant
  - Kondisi kebocoran pada jaringan pemipaan dan assesoriesnya
  - Letak dan kodisi hydrant pilar, hydrant box, slang dan nozzle
  - Kondisi pompa air beserta switch pengoperasionalnya
  - Kondisi resrvoar pompa intake
  
- Pengujian operasional fungsi komponen-komponen hydrant
  - Pengujian simulasi pemompaan air
  - Pengujian simulasi pancaran air nozzle
  
- Pengujian gangguan operasional
  - Pengujian simulasi gangguan power supply
  - Pengujian emergency diesel pump

#### **6.4.10. Pemeriksaan berkala Instalasi sprinkler**

Pemeriksaan ini dilakukan sekurang-kurangnya sekali dalam 1 (satu) tahun, meliputi pemeriksaan. fisik dan pengujian operasional dengan materi sama sebagaimana dilakukan pada instalasi hydrant hanya berbeda dalam cara pengujian pancaran air pada kepala sprinkler.

Pada instalasi sprinkler pengujian berkala tidak dilakukan dengan Membakar kepala-kepala sprinkler melainkan dilakukan dengan cara mengamati pancaran tekanan air yang terdapat pada ujung pipa cabang yang terakhir.

#### **6.4.11. Pemeriksaan berkala tabung APAR**

Pemeriksaan berkala ini, dilakukan sekurang-kurangnya 2 ( dua ) kali dalam 1 ( satu ) tahun, meliputi pemeriksaan dalam jangka 6 ( enam ) bulan dan 12 ( dua belas ) bulan.

Pemeriksaan jangka 6 ( enam ) bulan dilakukan hanya bersifat fisik melihat kondisi luar tabung serta letak penempatan tabung. Pemeriksaan jangka 12 ( dua belas ) bulan selain bersifat fisik sebagaimana pemeriksaan 6 ( enam ) bulan, secara lebih detail dilakukan pula pemeriksaan terhadap komponen pada bagian luar dan dalam tabung, antara lain :

- Isi media pemadam api
- Pipa pelepasan yang terdapat didalam dan diluar tabung serta nozzle
- Ulir dan gelang tutup tabung
- Gerakan katup
- Fisik tabung luar dan dalam terhadap karat
- Lapisan pelindung tabung

#### **6.4.12. Pemadaman dan pengendalian bahaya kebakaran**

Kebakaran yang umum terjadi sebagaimana fenomena alam selalu diawali dengan api yang relatif kecil, kemudian membesar dan menjalar melalui media yang ada disekitarnya.

Bila api yang relatif kecil gagal dipadamkan, maka kebakaran menjadi lebih sulit dikendalikan dan timbul dampak-dampak lain yang membahayakan yaitu timbulnya bahaya ikutan seperti asap, panas, gas serta kepanikan.

Panas yang tinggi akibat radiasi kebakaran dapat menyebabkan manusia kekurangan cairan tubuh, kehabisan tenaga, luka bakar, berhenti detak jantungnya, karena daya tahan tubuh manusia terpapar dengan panas hanya  $\pm 300$  °F.

Asap yang dihasilkan oleh kebakaran bahan-bahan tertentu dapat berwarna pekat, dan bila mendapat pengaruh panas suhunya akan naik sehingga dapat mengganggu penglihatan serta pernafasan manusia.

Produk lain yang sangat berbahaya dari kebakaran adalah gas racun yang munculnya tidak disadari manusia, seperti gas karbon monoksida yang

keberadaannya sulit dideteksi dsengan kemampuan individu manusia karena gas tersebut tidak berwarna, berbau, dan tidak dirasa. Dampak lain pada kejadian kebakaran adalah perasaan panik dan ketakutan hunian yang berada di dalam tempat kebakaran karena dapat dipastikan akan menambah kompleks permasalahan penanggulangan kebakaran.

Untuk memadamkan kebakaran secepatnya tanpa dsertai dengan korban manusia maupun kerugian materil, maka di sekitar tempat kerja tersedia tabung-tabung APAR yang sesuai dengan jenis kebakaran yang paling dominan kemungkinan kejadiannya di tempat kerja bahkan bilamana perlu dipasang fasilitas-fasilitas peradam kebakaran tetap, seperti hydrant atau sprinkler.

#### **A. Pemadaman Kebakaran**

Pemadaman kebakaran harus diupayakan secepatnya ketika api masih relatif kecil karena bila sudah terlanjur besar, maka api akan lebih sulit dikendalikan apalagi bila hanya dengan pemakaian tabung APAR. Pemadaman ini hanya dapat dilakukan oleh orang-orang terdekat atau orang-orang yang melihat awal kebakaran.

Oleh karena itu pada setiap perusahaan / tempat kerja minimal harus ada petugas peran kebakaran, yaitu karyawan perusahaan yang diberikan tugas sampingan selain tugas pokoknya yakni melakukan pemadaman api sesegera mungkin dan mengamankan barang-barang penting perusahaan bila di tempat kerja mengalami kebakaran serta membantu upaya pemadaman lanjut yang dilakukan regu pemadam kebakaran bila awal kebakaran gagal dipadamkan.

Mengingat pentingnya petugas peran kebakaran, maka pada setiap bagian / departemen, atau setiap lantai bangunan bertingkat di suatu perusahaan harus ditunjuk 3 — 4 orang petugas peran kebakaran, masing-masing dengan peran tugas

#### **B. Penyelamatan hunian yang terjebak kebakaran**

Penyelamatan terhadap hunian khususnya orang-orang yang terjebak didalam ruangan yang terkurung oleh kebakaran harus dilakukan oleh tim penyelamat yang dipersiapkan dengan peralatan khusus.

Kegiatan operasi penyelamatan ini harus dilakukan hati-hati karena terdapat kemungkinan orang-orang yang terjebak kebakaran sudah lemas

atau pingsan serta kemungkinan putus asa, sehingga mereka harus dipandu atau ditandu.

Untuk menuju keluar-masuk ke dan dari ruangan tempat orang-orang terjebak, Tim Penyelamat sedapat mungkin agar memilih rute yang aman tetapi bila tidak mungkin boleh menempuh cara darurat dengan membuat rute baru, atau menerobos api. Oleh karena itu untuk melakukan tugas penyelamatan dengan aman dan lancar, maka Tim Penyelamat harus dilengkapi :

- Fire suits dan breathing apparatus
- Kunci-kunci pembuka
- Peralatan pemukul untuk merusak guna membuat celah jalan darurat
- Peralatan tandu

Dilokasi yang aman, person lain dari Tim Penyelamat harus segera memberi pertolongan darurat kepada korban-korban yang telah diselamatkan, dan bilamana. diperlukan pertolongan yang lebih intensif, maka harus segera dirujuk ke rumah sakit terdekat.

## **6.5. PEMBUATAN LAPORAN INVENTARISASI BAHAN KIMIA**

Dalam tata Kelola yang baik sudah dikenal bagaimana serangkaian kegiatan praktis dilakukan guna mendukung peningkatan kinerja dan kemajuan kegiatan penyimpanan maupun penggunaan bahan kimia. Rangkaian dalam kegiatan yang dilakukan dalam tata kelola yang baik perlu didukung dengan tata administrasi yang baik agar hasil kegiatan lebih optimal. Misalnya, dalam penyimpanan bahan perlu mempunyai lembar data jenis bahan kimia, tanggal kadaluarsa, lokasi penyimpanan, dan lain-lain. Lembar data tersebut akan sangat berguna apabila terjadi sesuatu hal yang tidak diinginkan misalnya kecelakaan kerja, atau akan melakukan pemeriksaan bahan kadaluarsa dan menyampaikan hal tersebut sebagai laporan. Tata administrasi yang baik juga dapat membantu untuk mencatat kemajuan kegiatan pengelolaan bahan kimia dan menunjukkannya kepada pihak-pihak yang terkait. Dengan demikian tata administrasi bagi suatu kegiatan usaha merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari upaya-upaya praktis lainnya dalam memajukan usaha.

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk membuat suatu tata administrasi yang baik, diantaranya dengan melakukan :

Pelaporan meliputi pengumpulan dan penataan dokumen-dokumen penting yang terkait dengan kegiatan penyimpanan maupun penggunaan bahan kimia. Maksud dari melakukan pelaporan adalah untuk memberikan informasi yang diperlukan kepada para pihak yang berkepentingan.

Ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dengan melakukan sistem yang baik, diantaranya :

Ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dengan melakukan sistem pelaporan yang baik, diantaranya :

- Memiliki catatan yang lengkap mengenai temuan, observasi dan rencana tindakan yang menjadi dasar praktek inventarisasi bahan kimia.
- Memudahkan dalam melakukan penelusuran kembali jika terjadi sesuatu penyimpangan dari rencana semula
- Memudahkan untuk menganalisa kemungkinan langkah-langkah perbaikan yang dapat diambil berdasarkan data-data yang dimiliki.
- Dapat mencatat hasil-hasil/kemajuan pelaksanaan inventarisasi bahan kimia.

Pelaporan yang dimaksud dapat mencakup dokumen yang terkait dengan hal berikut diantaranya:

- Informasi umum mengenai kegiatan inventarisasi bahan kimia
- Informasi mengenai penggunaan bahan kimia
- Lembar periksa penggunaan bahan kimia yang telah diisi
- Kegiatan komunikasi internal dan eksternal yang berhubungan dengan program pengelolaan bahan kimia.
- Lembar data keselamatan bahan atau "*material safety data sheet*" (MSDS)
- Rencana tindakan / program pengelolaan bahan kimia

Dalam melakukan pelaporan ada beberapa hal yang perlu Anda perhatikan diantaranya :

- Dokumen yang diperlukan oleh suatu unit kegiatan disimpan di tempat yang mudah dijangkau
- Dokumen seharusnya selalu dipantau ketepatan isinya dan diperbaharui sesuai dengan keperluan
- Dokumen yang kadaluarsa harus dikeluarkan atau dimusnahkan
- Format dan isi dokumen mudah dipahami dan dikomunikasikan

Tata dokumentasi yang baik dapat dilaksanakan dengan berbagai cara, namun dapat memilih sendiri atau menyesuaikan sistem dokumentasi yang baik, efektif, dan tidak remit sesuai dengan kebutuhan kegiatan inventarisasi bahan kimia. Salah satu contoh dalam melakukan dokumentasi adalah dengan melakukan pengelompokan jenis dokumen untuk memudahkan dalam melakukan dokumentasi. Adapun pengelompokan jenis dokumen tersebut dapat dilakukan sebagai berikut :

#### Dokumen Pelaksanaan Kerja

Dokumen ini dapat berupa informasi mengenai proses kegiatan kerja. Kelompok dokumen ini dapat mencakup beberapa dokumen, diantaranya :

- Lembar catatan kerja
- Lembar catatan kinerja ini dapat berupa catatan kemajuan baik yang harian, bulanan atau tahunan mengenai kinerja dari suatu kegiatan dan lembar catatan hasil kerja.
- Catatan komunikasi internal dan eksternal

#### Manfaat melakukan inventarisasi bahan kimia :

- Mengidentifikasi secara sistematis seluruh bahan kimia yang disimpan dan digunakan.
- Membentuk sebuah informasi yang terstruktur
- Mengidentifikasi seluruh bahan kimia yang ada di dalam pabrik
- Mengidentifikasi bahan yang tidak dikenal; apakah akan digunakan atau dibuang
- Menghindari terjadinya kadaluarsa terhadap bahan yang disimpan
- Menyelidiki sifat bahan; meningkatkan mutu produk

Menganalisis bahan kimia dalam Tabel Inventarisasi  
 Beberapa pertanyaan yang perlu dipertimbangkan:

- Berapa banyak jumlah bahan yang diperlukan untuk proses produksi
- Berapa jumlah aktual yang dipergunakan?
- Apakah bahan kimia ini benar-benar diperlukan untuk digunakan?
- Mengapa ada sejumlah tertentu bahan kimia yang terbuang atau hilang?
- Dapatkah kita menyimpan sediaan dalam jumlah yang lebih sedikit?
- Dapatkah kita menggunakan bahan lain sebagai pengganti yang bahayanya lebih rendah atau menggunakan wujud/bentuk yang berbeda?
- Apakah bahan ini termasuk terlarang atau terbatas penggunaannya? (kriteria ekologi)

#### Inventarisasi seluruh bahan kimia

Area	Nama bahan kimia	MSDS tersedia	Frasa – R	Kelompok Bahaya	Jumlah per batch/kegiatan	Keberdebuhan/penguapan	Pendekatan pengendalian

### 6.6. PEDOMAN KESELAMATAN KERJA YANG BERHUBUNGAN DENGAN PERALATAN

Pedoman keselamatan kerja menyangkut tenaga kerja, organisasi dan cara kerja, bahan dan peralatan, dan pedoman pertolongan terhadap kecelakaan. Para pekerja harus memiliki jasmani yang baik, rohani yang baik, trampil dan bekerja sesuai dengan cara yang semestinya.

Pakaian kerja bagi para tenaga kerja yang bertalian dengan kelistrikan harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Cukup kuat dan tahan gesekan.
2. Baju kemeja berlengan panjang dan berkancing pada ujung lengan.
3. Celana panjang.

4. Ujung kaki celana dapat dilipat dan dikancing.
5. Sepatu bersol karet, tidak berpaku dan memiliki sifat isolator.
6. Topi helm terbuat dari plastik, kuat, dan memiliki sifat isolator yang sesuai dengan tegangan yang bersangkutan.
7. Sarung tangan panjang, lemas, kuat, dan memiliki daya isolator yang sesuai.
8. Sarung tangan untuk bekerja dan penghantar adalah lemas, kuat, dan tahan gesekan terhadap kawat penghantar.

Dalam organisasi kerja, dan penting untuk keselamatan kerja, tiap pelaksanaan suatu pekerjaan yang bukan rutin harus didasarkan surat perintah kerja. Surat ini penting pula untuk pencaharian orang yang bertanggung jawab, jika terdapat kesalahan. Adapun pekerjaannya, hal itu dilaksanakan oleh kontraktor. Salah satu syarat menyatakan, bahwa perusahaan yang memberikan pekerjaan kepada kontraktor harus memberikan tenaga atau ahli yang tugasnya mendampingi dan mengawasi pekerjaan kontraktor.

## **6.7. PEMERIKSAAN KEAMANAN SEBELUM MENGHIDUPKAN PERALATAN**

### **6.7.1. Peralatan listrik.**

Langkah ini diperlukan guna memenuhi syarat-syarat K3 melalui pemeriksaan dan pengujian, seluruh obyek mekanik di tempat kerja. Sifat pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan dapat berupa :

- o Pemeriksaan awal
- o Pemeriksaan periodik
- o Pemeriksaan khusus

Langkah-langkah pemeriksaan sebagai berikut :

- Pemasangan transformator-transformator, panel-panel, sakelar-sakelar, motor-motor dan alat-alat listrik lainnya di tempat kerja harus dilaksanakan sedemikian sehingga tidak terdapat bahaya kontak dengan bagian-bagian yang bertegangan.
- Manakala ruangan dan persyaratan pelayanan memungkinkan, alat-alat

dan pesawat-pesawat listrik harus ditempatkan dalam ruangan terpisah yang ukurannya memadai dan hanya orang-orang yang kompeten boleh masuk ke dalam ruangan tersebut.

- Jika alat-alat atau pesawat listrik terpaksa ditempatkan di tempat kerja dalam ruangan produksi, pagar pengaman untuk melindungi bagian-bagian atau penghantar yang bertegangan harus dibuat. Pagar pengaman berfungsi pencegahan kecelakaan. Rangka pagar dapat terbuat dari kayu, besi pipa, besi siku, kawat baja, besi pelat berlobang atau plastik. Dalam hal ini, kayu kering atau plastik memiliki sifat yang lebih baik, oleh karena zat-zat tersebut tidak menghantar listrik. Namun begitu, kayu memiliki kerugian oleh karena mudah terbakar. Rangka besi harus disertai hubungan ke tanah secara tepat.
- Perlu dipasang papan tanda larangan masuk bagi mereka yang tidak berkepentingan dan disertai peringatan "Awat bahaya listrik!". Tanda peringatan dipasang pada tempat masuk ke ruangan, sedangkan huruf jelas dan mudah dibaca.
- Terdapat kesesuaian dalam banyak hal mengenai norma-norma bagi pagar pengaman untuk mesin dan pesawat listrik.
- Petugas-petugas perawatan peralatan listrik harus tahu benar bahaya-bahaya yang bertalian dengan suatu instalasi listrik dan peralatan lain-lainnya.
- Bahaya-bahaya akibat listrik harus dipertimbangkan pada perencanaan pembuatan tutup pengaman bagi panel listrik.
- Pemasangan instalasi listrik harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Peraturan Instalasi Listrik (PUIL) dan peraturan-peraturan lain tentang keselamatan kerja listrik.
- Macam pemasangan instalasi listrik di perusahaan-perusahaan dan tempat-tempat kerja tergantung dari konstruksi bangunan ukuran dan pembagian beban, penempatan mesin-mesin, pesawat dan alat-alat listrik, keadaan ruang kerja seperti berdebu, panas, lembab, dan lain-lain.
- Isolasi dari kawat hantaran listrik harus disesuaikan dengan keperluannya, namun tidak dapat dianggap sebagai pengaman terhadap shok listrik, terutama bagi jaringan tegangan tinggi.
- Pemeriksaan berkala terhadap tahanan isolasi kawat hantaran, alat-alat dan pesawat listrik, harus dilakukan oleh pejabat yang berwenang.
- Laporan hasil pemeriksaan perlu untuk pelaksanaan program keselamatan kerja listrik.

- Penempatan dan pemasangan motor-motor listrik tidak boleh mengganggu lalu lintas para pekerja.
- Motor-motor yang tidak tertutup tidak boleh ditempatkan di ruangan lembab, menggigit, berdebu atau ruangan yang mudah terbakar.
- Bagian-bagian telanjang yang bertegangan harus dipasang di tempat yang tidak mudah dicapai lengan dengan penempatannya pada ketinggian sekurang-kurangnya 2,6 meter di atas ruangan kerja atau bagian tersebut harus diperlengkapi dengan tutup, pagar atau pengaman yang memenuhi syarat bagi pencegahan terhadap kemungkinan menyentuhnya.
- Petugas perawatan listrik harus lebih dahulu mengetahui bahaya-bahaya yang mungkin timbul dan melakukan pencegahan sebaik-baiknya.

#### **6.7.2. Pemeriksaan Sakelar.**

- a. Apapun tipe sakelar, yaitu tombol tekan, tuas, putar atau otomatis harus memenuhi syarat keselamatan.
- b. Sakelar-sakelar untuk keperluan motor-motor, pesawat-pesawat listrik, instalasi cahaya dan tenaga, harus ditutup.
- c.
  - i. Tidak boleh dipakai sakelar tuas yang terbuka, oleh karena bagian-bagian terbuka yang bertegangan akan menimbulkan bahaya tekanan arus listrik dan dapat mengakibatkan loncatan api, bila sakelar diputuskan arusnya.
  - ii. Sakelar tuas harus tertutup dan tutup serta poros pegangan (handel) harus dihubungkan ke tanah.
  - iii. Sakelar-sakelar tuas harus dipasang sedemikian sehingga bagian-bagiannya yang dapat digerakkan dalam keadaan tidak ada hubungan tidak bertegangan.
- d.
  - i. Bila dipakai sakelar pemisah untuk tegangan tinggi, sakelar harus dipasang di luar batas capai tangan dan pelayanannya dilakukan dengan menggunakan tongkat pengaman.
  - ii. Bila pemasangan seperti tersebut pada i tak dimungkinkan, sakelar tersebut harus tertutup atau dpagar secara tepat agar tidak membahayakan, sedangkan pelayanannya tetap dilakukan dengan memakai tongkat pengaman.
- e. Untuk keperluan pemakaian secara umum, dianjurkan agar dipakai sakelar putar dan tombol tekan, oleh karena bagian yang bertegangan berada di tempat tertutup.

- f. Sakelar-sakelar yang dapat menimbulkan loncatan api harus dipasang dalam peta penghubung.
- g. Setiap sakelar harus disertai suatu petunjuk untuk posisi tertutup atau terbuka.

### **6.7.3. Pengoperasian peralatan dan sumber bahaya**

Secara khusus sumber bahaya yang terdapat pada pesawat tenaga dan produksi antara lain pada pengoperasian peralatan untuk bagian-bagian:

#### **a. Peralatan yang berputar**

- Poros, as
- Roda, roda gigi
- Roda, ban
- Puli-puli

#### **b. Peralatan yang bergerak**

- Gerak horizontal
- Gerak vertikal
- Gerak maju/mundur

#### **c. Yang menanggung beban**

- Pondasi
- Kolom-kolom
- Kerangka/ chasis
- Dudukan mesin
- Alat penumpu
- Landasan

#### **d. Tenaga penggerak**

- Peledakan
- Suhu tinggi

- Kebakaran
- Kebisingan
- Getaran
- Lingkungan

e. Jenis kecelakaan pada pengoperasian peralatan

- Terbakar
- Terbelit
- Terjepit
- Tersengat listrik
- Teriris
- Tergores
- Terkena cairan panas
- Radiasi panas, dll

## **RANGKUMAN :**

1. Keselamatan dan kesehatan kerja secara etimologis ialah memberikan upaya perlindungan yang ditujukan agar tenaga kerja dan orang lain di tempat kerja selalu dalam keadaan selamat dan sehat dan agar setiap sumber produksi perlu dipakai dan digunakan secara aman dan efisien.
2. Keselamatan dan kesehatan kerja secara filosofi ialah suatu konsep berfikir dan upaya nyata untuk menjamin kelestarian tenaga kerja dan setiap insan pada umumnya beserta hasil karya dan budaya dalam upaya mencapai masyarakat adil, makmur dan sejahtera.
3. Keselamatan dan kesehatan kerja secara keilmuan adalah suatu cabang ilmu pengetahuan dan penerapan yang mempelajari tentang cara penanggulangan kecelakaan di tempat kerja lainnya.
4. Tujuan dari Sistem Manajemen K3 adalah sebagai alat untuk mencapai derajat kesehatan tenaga kerja yang setinggi-tingginya, baik buruh, petani, nelayan, pegawai negeri, atau pekerja-pekerja bebas.
5. APD adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang dalam pekerjaan yang fungsinya mengisolasi tubuh tenaga kerja dari bahaya di tempat kerja. APD dipakai setelah usaha rekayasa (engineering) dan cara kerja yang aman (work praktices) telah maximum.
6. Syarat-syarat APD :
  - Enak dipakai
  - Tidak mengganggu kerja
  - Memberikan perlindungan yang efektif sesuai dengan jenis bahaya di tempat kerja
7. Pada pekerjaan yang menggunakan alat-alat bergetar secara terus menerus terdapat dua gejala utama sehubungan dengan gataran mekanis tersebut :
  - Kelainan peredaran darah dan syaraf
  - Kerusakan pada persendian dan tulang
8. Bahan mudah terbakar adalah bahan yang mudah bereaksi dengan oksigen dan menimbulkan kebakaran.
9. Zat padat mudah terbakar dalam industri adalah belerang (sulfur), fosfor, kertas/rayon, hidrida logam, dan kapas.
10. Gas mudah terbakar dalam industri misalnya adalah gas alam, hidrogen, asetilen, etilen oksida.

11. Bahan kimia mudah meledak adalah bila reaksi kimia bahan tersebut menghasilkan gas dalam jumlah dan tekanan yang besar serta suhu yang tinggi, sehingga menimbulkan kerusakan di sekelilingnya.
12. Bahan iritan adalah bahan yang karena reaksi kimia dapat menimbulkan kerusakan atau peradangan atau sensitisasi bila kontak dengan permukaan tubuh yang lembab seperti kulit, mata, dan saluran pernapasan.
13. Konsentrasi macam dan lama paparan bahan kimia yaitu besar dosis yang berada di udara atau yang kontak dengan bagian tubuh, kemudian lamanya paparan terjadi apakah terus menerus atau terputus-putus menentukan jumlah dan dosis yang masuk ke dalam tubuh.
14. Efek kombinasi bahan kimia yaitu paparan bermacam-macam bahan kimia dengan sifat dan daya racun yang berbeda, menyulitkan tindakan-tindakan pertolongan atau pengobatan.

### **CONTOH SOAL**

1. Jelaskan tentang tujuan utama rencana tanggap darurat di perusahaan?  
Jawab :  
Tujuan utama rencana darurat adalah untuk mengusahakan agar akibat dari keadaan darurat dapat ditekan sekecil mungkin.
2. Jelaskan tujuan dari Sistem Manajemen K-3?  
Jawab :  
Sebagai upaya untuk mencegah dan memberantas penyakit akibat kerja, kecelakaan akibat kerja, meningkatkan kesehatan dan gizi para tenaga kerja.

### **LATIHAN SOAL**

1. Faktor-faktor apa yang mempengaruhi kesehatan jiwa dan produktivitas?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan manajemen resiko? Jelaskan dengan bagan alir!
3. Apa yang dimaksud dengan MSDS?

## DAFTAR PUSTAKA

- A.K.SHAHA. 1997, Combustion Engineering and Fuel Technology OXFORD & IBH PUBLISHING CO.
- Abdul Kadir, Prof., Ir., 1993. "Pengantar Tenaga Listrik", Edisi Revisi, PT Pustaka LP3ES, Jakarta.
- Bernasconi B., Gerster H., Hauser H., Stäuble H., Schneiter E., "Chemische Technologie 2" (alih bahasa) M.Eng., M. Handojo Lienda Dr. Ir., 1995. "Kimia Teknologi 2", PT. Pradnya Paramita, Bandung.
- Bernasconi B., Gerster H., Hauser H., Stäuble H., Schneiter E., 1995. "Chemische Technologie 1" (alih bahasa) M.Eng., M. Handojo Lienda Dr. Ir., "Kimia Teknologi 1", PT. Pradnya Paramita, Bandung.
- Brace, 1998. "Technology of Anodizing", Robert Draper Ltd., Teddington.
- Champbell, 1998. Prinsip of Manufacturing Materials & Processes, New Delhi.
- Corbitt, R. E., 1989. *Standard Handbook of Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Dennis, 2002. "Nickel and Chromium-Plating", Newnes-Butterworths.
- Don A. Watson, 2000. CONSTRUCTION MATERIALS AND PROCESSES. Mc Graw-Hill Book Company, Sidney.
- Erlinda N, Ir., 2004. "Korosi Umum", Seminar Masalah Penanggulangan Korosi dengan Bahan Pengubah Karat, LMN-LIPI.
- Gabe, 1998. "Principle of Metal. Surface Treatment and Protection", 2nd edition, Pergamon Press, London.
- George T Austin, E. Jasjfi (alih bahasa), 1995. "Industri Proses Kimia", Jilid 1, Edisi 5, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Handojo, L., 1995, "Teknologi Kimia", Jilid 2, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Katz, (Ed.) 1997. Methods Of Air Sampling and Analysis. Interdisciplinary Books and Periodical, APHA, Washington.
- Kenneth N.Derucher, Conrad P. Heins 1996. MATERIALS. FOR CIVIL AND HIGHWAY ENGINEERIG. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey

- Kertiasa Nyoman, 2006. "Laboratorium Sekolah & Pengelolaannya", Pustaka Scientific, Bandung.
- Kusmulyana, 1993. Pemantauan Kualitas Udara. Pelatihan Pengelolaan dan Teknologi Limbah, ITB, Bandung.
- Lainer, 2000, "Modern Electroplating", Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Lawrence H Van Vlack, 2000. Elements of Materials Science & Engineering. Addison-Wesley Publishing Company. Fourth edition.
- Lowenheim, F.A., 2000. "Modern Electroplating", John Wiley & Sons.
- M.G., Fontana, N.D. Greene, 2002. "Corrosion Engineering", Mc. Graw Hill Book Co.
- McCabe L. Warren, Smith C. Julian, Harriot Peter, "Unit Operation Of Chemical Engineering *fourth Edition*" (alih bahasa) M. Sc. Jasjfi E., Ir., 1999 "Operasi Teknik Kimia", Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- McCabe L. Warren, Smith C. Julian, Harriot Peter, 1999. "Unit Operation Of Chemical Engineering *fourth Edition*" (alih bahasa) M. Sc. Jasjfi E., Ir., "Operasi Teknik Kimia", Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Misnah Pantono BE, Suhardi, Bsc., 1979. "Pesawat Tenaga Kalor/Ketel Uap 1", Edisi Pertama, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- N. Jackson. 1992, CIVIL ENGINEERING MATERIALS. The Mac Millan Press Ltd. New Jersey.
- Noil and Miller, 1997. Air Monitoring Survey Design. Ann Arbor Science, Michigan.
- Oetoyo Siswono, Drs, 1982. "Proses Kimia Industri" Akademi Perindustrian Yogyakarta.
- Perkins, H.C., 1994. Air Pollution. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo.
- S. Juhanda, Ir., 1993. "Pengantar Lapis Listrik", Proceeding Diklat TPLS Bidang Elektroplating, LMN-LIPI.
- Sarengat, N., 2000. Dampak Kualitas Udara. Kursus AMDAL A, Bintari-UGM-UNDIP, Semarang.

## **LAMPIRAN A2**

Silman, H., BSc., 1998. "Protective and Decorative Coating for Metals", Finishing Publications Ltd., London.

Slamet Setiyo, Ir., Margono B.Sc., 1982. "Mesin dan Instrumentasi 2", Departemen Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta.

Soedomo M. 1998. Pehigelolaan Limbah Gas dan Partikulat Lingkungan Perkotaan (Sumber Bergerak). Pelatihan Pengelolaan dan Teknologi Limbah, ITB, Bandung.

Stern, A.C., 1996, *Air Pollution*, Third edition, Volume III *Measuring, monitoring, and surveillance of air pollution*. Academic Press, New York.

Tata Surdia Ir. Msc Met E; Kenji Chijiwa Prof. Dr. 2000, Teknik Pengecoran Logam. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.

Ulrich D. Gael, 1984. "A Guide To Chemical Engineering Process Design And Economics" John Wiley & Sons, USA.

Ulrich, Gael D., 1984, "A guide to chemical Engineering Process Design and Economics" John Wiley and Sons.

W.H.Taylor, 1999. CONCRETE TECHNOLOGY AND PRACTICE. Mc Graw-Hill Book Company, Sidney.

Wahyudin, K., 1990. "Kursus Elektroplating dan Penerapannya", Lembaga Metallurgi Nasional-LIPI - BENGPUSTAT III.

Bahan Bakar Dan Pembakaran,  
[www.chemeng.vi.ac.id/wulan/materi/lecture%20notes/umum](http://www.chemeng.vi.ac.id/wulan/materi/lecture%20notes/umum)

[Http://www.chem.itb.ac.id/safety/Tim Keselamatan Kerja](http://www.chem.itb.ac.id/safety/Tim%20Keselamatan%20Kerja) Departemen Kimia Institut Teknologi Bandung, 2002

<http://www.iaeste.ch/Trainees/Events/2007/IndustrialSightLeibstadt/>

<http://www.gc3.com/techdb/manual/cooltext.htm>

<http://www.indiamart.com/maitreyaenterprises/engineered-products.html>

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Didcot power station cooling tower zootalures.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Didcot_power_station_cooling_tower_zootalures.jpg)

<http://www.lenntech.com/fran%C3%A7ais/chaudi%C3%A8re/eau-alimentation-chaudiere.htm>

<http://www.queensindustrial.com/service.htm>

[http://www.geothermie.de/egec-geothernet/prof/heat\\_exchangers.htm](http://www.geothermie.de/egec-geothernet/prof/heat_exchangers.htm)

<http://www.sensorsmag.com/sensors/Level+and+Leak+Detection/A-Dozen-Ways-to-Measure-Fluid-Level-and-How-They-W/ArticleStandard/Article/detail/360729>

Integrated Biodiesel Plant & Palm Oil Mill, Agus Kismanto, BPPT,  
[http://bfuel.biz/files/ako\\_integrated Biodiesel Plant Palm Oil Read Only pdf](http://bfuel.biz/files/ako_integrated_Biodiesel_Plant_Palm_Oil_Read_Only.pdf)  
Teknologi Proses Produksi Biodiesel, Martini Rahayu,  
[www.geocities.com/markal\\_bppt/pubilsh/biofbbm/biraha.pdf](http://www.geocities.com/markal_bppt/pubilsh/biofbbm/biraha.pdf)  
US Department of Energy (US DOE), Energy Efficiency and Renewable Energy. *Improving*.

*Compressed Air System Performance*. DEO/GO-102003-1822. 2003.  
[www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed air](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed_air)

Wiki, Instrumentasi, 3 Januari 2008, Wikipedia Ensiklopedia Bebas, Availabel [online]:<<http://id.wikipedia.org/wiki/Instrumentasi>>[19 Januari 2008]

[www.energyefficiencyasia.org/docs/ee\\_modules/indo/Chapter%20-%20Compressors%20and%20Compressed%20Air%20Sy](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-%20Compressors%20and%20Compressed%20Air%20Sy)

[www\\_process-controls\\_cod-Metex-Aqualytic-images reaktore\\_klein\\_jpg\\_files\cod\\_reactor.htm](http://www_process-controls_cod-Metex-Aqualytic-images_reaktore_klein_jpg_files\cod_reactor.htm)

United Nations Environment Programme, "Peralatan Pemantauan", 2006, Available[online]< *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)*>

## DAFTAR ISTILAH

Batch	:	Tumpak, Lumpok
Bubble Point	:	Titik gelembung
Boiling point	:	Titik Didih
Ball Mill	:	Penggiling Bola
BAPEDALS	:	Badan Pengendali Dampak Lingkungan
Continuous	:	Sinambung
Change of phase	:	Perubah fase
Crushing	:	Penghancuran
Dew Point	:	Titik Embun
Double pipe HE	:	Alat penukar panas tipe pipa ganda
DoT	:	Departemen of Transportastion
B 3	:	Bahan Berbahaya dan Beracun
Equipment	:	Peralatan
EP	:	Effisiensi Pembakaran
EPA	:	Environmental Policy Act
Furnace	:	Tungku
Grinding	:	Penggerusan
Generator	:	Penimbul Limbah
Handling	:	Penanganan
Heat Exhanger	:	Penukar Kalor, Penukar Panas Penukar Bahang
LD50	:	Lethal Dose Fifty
Piping system	:	Sistem pemipaan
Reboiler	:	Pendidih ulang
Rotary Drum Filter	:	Filter drum berputar
RCRA	:	Resource Conservation and Recovery Act
Separation	:	Pemisahan
Shell – Tube HE	:	Alat penukar panas tipe tabung selongsong
Size reduction	:	Pengecilan ukuran
Steady state	:	Keadaan tunak
Treatment	:	Perlakuan
TCLP	:	Toxicity Characteristic Leaching Procedur
Unit Operation	:	Satuan Operasi
Unit Process	:	Satuan Proses
USDOT	:	US Department of Transportation Act

ISBN 978-602-8320-41-2  
ISBN 978-602-8320-43-6

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 15,466.00