

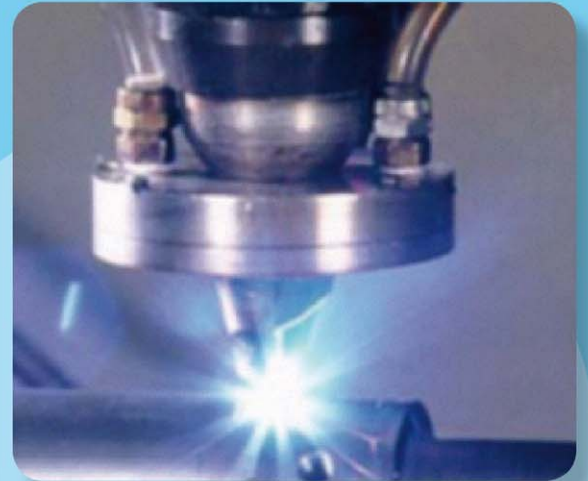


Heri Sunaryo

# Teknik Pengelasan Kapal

## JILID 1

untuk Sekolah Menengah Kejuruan



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

Hery Sunaryo

# TEKNIK PENGELASAN KAPAL

JILID 1

**SMK**



**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

# TEKNIK PENGELASAN KAPAL JILID 1

Untuk SMK

Penulis : Hery Sunaryo

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUN t SUNARYO, Hery  
Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1 untuk SMK /oleh Hery  
Sunaryo ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah  
Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan  
Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.  
x 310 hlm  
Daftar Pustaka : A1  
Glosarium : B1-B5  
Indeks : C1-C2  
ISBN : 978-979-060-127-7

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 kehadiran 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

Kemajuan Teknologi pengelasan akhir-akhir ini sangatlah membantu dalam pekerjaan pembuatan konstruksi baik yang sederhana maupun konstruksi yang mempunyai tingkat kesulitan dan persyaratan tinggi. Pengelasan merupakan bidang yang sangat dibutuhkan oleh Dunia Industri utamanya untuk industri perkapalan dan rekayasa umum serta bidang-bidang lain yang berhubungan dengan penyambungan konstruksi dimana pengelasan merupakan faktor utamanya. Untuk mengimbangi kemajuan teknologi pengelasan maka perlu didukung pula oleh kesiapan Sumber Daya Manusianya, agar teknologi dapat berimbang dengan pelakunya yaitu sumber daya manusia.

Buku Teknologi Las Kapal ini disajikan untuk pembelajaran para siswa kejuruan tingkat menengah bidang studi teknik perkapalan dan teknik pengelasan sebagai acuan dalam penyiapan kompetensinya. Dengan mempelajari buku ini diharapkan para siswa mempunyai pengetahuan dan ketrampilan bidang pengelasan pada kapal yang berisi materi-materi : Proses pengelasan secara umum, pengelasan untuk perkapalan, pemeriksaan dan pengujian hasil las, bahaya pengelasan dan keselamatan kerja .

Dengan diterbitkannya buku Teknologi Las Kapal ini, harapan penulis bahwa buku ini dapat memberikan tambahan pengetahuan dan ketrampilan untuk penyiapan calon tenaga kerja bidang pengelasan kapal, di sekolah menengah kejuruan dan untuk menambah kekayaan literatur di sekolah-sekolah maupun diperpustakaan terutama dalam bidang pengelasan.

Kami sangat menyadari bahwa buku ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari substansi isi materi maupun bahasa serta tata letaknya, sehingga kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca tetap penulis harapkan guna penyempurnaan lebih lanjut dari buku ini sehingga diharapkan kedepan akan lebih mempunyai mutu yang lebih baik.

Terakhir penulis sampaikan ucapan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, memberikan bahan masukan dan sebagai penyemangat selama penulis menyusun buku ini sehingga buku ini dapat tersusun dan penulis dapat selesaikan. Semoga apa yang telah penulis susun ini dapat bermanfaat bagi masyarakat luas dan mendapatkan Ridlo dari Allah SWT. Amin.

## DAFTAR ISI

<b>KATA SAMBUTAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
I.1. GAMBARAN UMUM PENGELASAN PADA KAPAL .....	1
I.2. PENGENALAN UMUM ILMU LOGAM .....	2
I.2.1. Pengertian ilmu logam .....	2
I.2.2. Macam – macam logam .....	2
I.2.3. Besi dan baja .....	3
I.2.3.1 Besi .....	3
I.2.3.2 Baja .....	4
I.2.3.3 Kandungan karbon dan sifat mekanis .....	6
I.2.3.4 Proses Pembuatan Baja.....	8
I.2.4 Standarisasi baja karbon .....	10
I.2.4.1 Pengertian Standarisai baja karbon .....	10
I.2.4.2 Sistem angka.....	10
I.2.4.3 Sistem huruf .....	12
I.2.4.4 Sistem pengujian asah .....	12
I.2.5 Aluminium.....	13
I.2.5.1 Pengertian dasar aluminium.....	13
I.2.5.2 Sifat – sifat aluminium(Al).....	13
I.2.5.3 Unsur – unsur paduan logam aluminium.....	13
I.2.5.4 Nama – nama logam aluminium paduan.....	14
I.2.6. Standarisasi Aluminium .....	14
I.2.6.1 Standarisasi aluminium .....	14
I.2.6.2 Sistem angka.....	15
I.2.6.3 Perlakuan paduan aluminium.....	15
I.2.7. Bahan pengisi pengelasan aluminium .....	16
I.2.7.1 Pengertian bahan pengisian.....	16
I.3. PERALATAN UKUR DAN PERKAKAS TANGAN PADA PROSES – PROSES PEKERJAAN LOGAM.....	18
I.3.1. Peralatan ukur .....	18
I.3.2 Perkakas tangan .....	28

I.4.	PEMOTONGAN .....	51
I.4.1.	Pemotongan Gas .....	51
I.4.2.	Pemotongan Busur Plasma .....	58
I.4.3.	Pemotongan dengan Sinar Laser .....	66
I.4.4	Teknik Pemotongan.....	70
I.5.	KUALIFIKASI PENGELASAN.....	89
I.5.1.	Spesifikasi Prosedur Pengelasan .....	90
I.5.2.	Juru Las / Operator Las .....	93
I.5.3.	Supervisi Las .....	98
I.5.4.	Inspektur Las.....	104
	RANGKUMAN .....	118
	LATIHAN SOAL.....	121
<b>BAB II. PROSES PENGELASAN SECARA UMUM</b>		
II.1.	PENGERTIAN PENGELASAN .....	125
II.1.1.	Penyambungan Logam.....	125
II.1.2.	Prinsip Pengelasan.....	127
II.1.3.	Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan .....	130
II.2.	PERALATAN PENGELASAN .....	141
II.2.1.	Fenomena Las busur.....	141
II.2.2.	Mesin Las Busur .....	159
II.3.	MATERIAL LAS .....	180
II.3.1.	Baja roll untuk struktur umum ( Baja SS ).....	180
II.3.2.	Baja roll untuk struktur las ( SM Stell ).....	181
II.3.3.	Baja berkekuatan tarik tinggi.....	182
II.3.4.	Baja untuk servis temperatur rendah .....	184
II.3.5	Perubahan Sifat Material pada Daerah Kena Pengaruh Panas Las .....	185
II.3.6	Perlakuan Panas Dari Daerah Las .....	188
II.3.7	Logam pengisi.....	190
II.4.	PERENCANAAN KONSTRUKSI LAS .....	225
II.4.1.	Simbol Pengelasan.....	225
II.4.2.	Disain Sambungan Las.....	230
II.4.3.	Sambungan Las.....	231
II.4.4.	Penumpu Las.....	235

II.4.5.	Las Ikat .....	236
II.4.6.	Persiapan Pengelasan.....	237
II.4.7.	Kondisi – Kondisi Pengelasan .....	240
II.4.8.	Lingkungan Kerja Pengelasan .....	242
II.4.9.	Posisi Pengelasan .....	242
II.4.10.	Penanganan Elektrode Terbungkus / Bersalut .....	243
II.4.11.	Deformasi Las.....	245
II.4.12.	Cacat – Cacat Las .....	248

RANGKUMAN .....	254
-----------------	-----

LATIHAN SOAL .....	255
--------------------	-----

**BAB. III. TEKNIK PENGELASAN**

III.1.	TEKNIK PENGELASAN BUSUR LISTRIK .....	262
III.1.1.	Penanganan Mesin Las Busur Listrik Arus Bolak - Balik .....	262
III.1.2.	Persiapan Peralatan Dan Alat Pelindung.....	265
III.1.3.	Penyalaaan Busur Listrik .....	268
III.1.4.	Pengelasan Posisi Datar.....	269
III.1.5.	Pengelasan Tumpul Posisi Datar.....	275
III.1.6.	Pengelasan Tumpul Kampuh V Posisi Datar dengan Penahan Belakang .....	277
III.1.7.	Pengelasan Sudut Posisi Horisontal .....	282
III.1.8.	Pengelasan Vertikal .....	285
III.1.9.	Pengelasan Sambungan Tumpul Kampuh V dengan Penguat Belakang .....	293
III.1.10.	Pengelasan Sudut Vertikal (Keatas dan Kebawah) .....	298
III.1.11.	Pengelasan Lurus Posisi Horisontal .....	303
III.1.12.	Pengelasan Tumpul Posisi Horisontal dengan Penahan Belakang .....	307
III.1.13.	Pengelasan Konstruksi .....	313

III.2.	TEKNIK PENGELASAN GMAW / FCAW .....	319
--------	-------------------------------------	-----

III.2.1.	Penanganan Peralatan Las Busur Listrik dengan Gas Pelindung CO <sub>2</sub> .....	319
III.2.2.	Penyalaaan Busur dan Pengaturan Kondisi Pengelasan .....	322
III.2.3.	Pengelasan Lurus .....	323
III.2.4.	Pengelasan Posisi Datar.....	330
III.2.5.	Pengelasan Sambungan Tumpul Posisi Datar dengan Penahan Belakang.....	331
III.2.6.	Pengelasan Sambungan Tumpang pada Posisi Horisontal....	333



III.2.7.	Pengelasan Sambungan Tumpul pada Posisi Datar .....	337
III.2.8.	Pengelasan Sudut Posisi Horisontal .....	341
III.2.9.	Pengelasan Sudut Posisi Vertikal .....	345
III.2.10.	Pengelasan Konstruksi .....	346
III.3.	TEKNIK PENGELASAN TIG (LAS BUSUR GAS) .....	352
III.3.1.	Penyetelan Mesin Las GTAW .....	352
III.3.2.	Penanganan Torch Las GTAW .....	355
III.3.3.	Pelelehan Baja Tahan Karat Dengan Las GTAW .....	356
III.3.4.	Pengelasan Baja Tahan Karat Dengan Las GTAW .....	358
III.3.5.	Pengelasan Aluminium Dengan Las TIG .....	360
III.4.	TEKNIK PENGELASAN SAW .....	362
III.4.1.	Sifat-Sifat dan Penggunaannya .....	362
III.4.2.	Prinsip Kerja Proses Las SAW .....	363
III.4.3.	Prosedur dan Teknis Pengelasan .....	364
	RANGKUMAN .....	370
	LATIHAN SOAL .....	371
<b>BAB IV. PENGELASAN DALAM PERKAPALAN.</b>		
IV.1.	PENGELASAN PADA KONTRUKSI KAPAL .....	376
IV.1.1.	Proses Pembangunan Kapal .....	377
IV.1.2.	Konstruksi Penampang Kapal Dan Tanda Pengelasan .....	390
IV.1.3.	Nama-nama Bagian dari Konstruksi Kapal .....	393
IV.2.	PERSYARATAN KLASIFIKASI .....	396
IV.2.1.	Badan Klasifikasi .....	396
IV.2.2.	Peraturan Las Lambung .....	397
IV.2.3.	Pengakuan kepada Galangan Kapal .....	398
IV.2.4.	Rancangan Sambungan Las .....	399
IV.3.	STANDAR KUALITAS PENGELASAN LAMBUNG KAPAL ....	410
IV.3.1.	Toleransi Bentuk Las - Lasan .....	410
IV.3.2.	Toleransi Puntiran Akibat Pengelasan .....	411
IV.3.3.	Toleransi Las Pendek .....	412
IV.3.4.	Toleransi Jarak Minimum Antar Las .....	413
IV.3.5.	Toleransi Celah (Gap) Antar Komponen .....	414
IV.3.6.	Toleransi Ketepatan Pemasangan .....	416
IV.3.7.	Toleransi Perbaikan Lubang Yang Salah .....	422

IV.4.	PELURUSAN AKIBAT DEFORMASI .....	423
IV.4.1.	Pelurusan dengan Methode Pemanasan Garis .....	424
IV.4.2.	Pelurusan dengan Sistim Melintang .....	424
IV.4.3.	Pelurusan dengan Pemanasan Melintang Dan Membujur .....	425
IV.4.4.	Pelurusan dengan Pemanasan Titik .....	425
IV.4.5.	Pelurusan dengan Pemanasan Segitiga.....	426
IV.4.6.	Pelurusan dengan Pemanasan Melingkar .....	427
IV.4.7.	Pelurusan dengan Dua Anak Panah.....	428
IV.4.8.	Pendinginan.....	430
IV.4.9.	Pelurusan dengan Bantuan Gaya Luar.....	430
IV.5.	MATERIAL UNTUK PERKAPALAN .....	432
IV.5.1.	Bentuk Pelat dan Profil .....	432
IV.5.2.	Penggunaan Pelat dan Profil untuk Kapal .....	433
	RANGKUMAN .....	436
	LATIHAN SOAL.....	437
<b>BAB V. PEMERIKSAAN DAN PENGUJIAN HASIL LAS</b>		
V.1.	PEMERIKSAAN DAN PENGUJIAN.....	441
V.1.1.	Pengujian dan Pemeriksaan Daerah Las .....	441
V.1.2.	Klasifikasi Metode Pengujian Daerah Las .....	442
V.2.	PENGUJIAN DENGAN CARA MERUSAK / DT .....	443
V.2.1.	Pengujian Mekanik.....	443
V.3.	PENGUJIAN DENGAN CARA TAK MERUSAK / NDT.....	450
V.3.1.	Uji Kerusakan Permukaan .....	450
V.3.2.	Pengujian Kerusakan Dalam .....	455
	RANGKUMAN .....	468
<b>BAB VI. BAHAYA – BAHAYA DALAM PELAKSANAAN PENGELASAN DAN PENCEGAHANNYA</b>		
VI.1.	BAHAYA LISTRIK DAN PENCEGAHANNYA.....	470
VI.1.1.	Bahaya Kejutatan Listrik selama Pengelasan dengan Busur Listrik.....	470
VI.1.2.	Sebab – Sebab Utama Kejutatan Listrik selama Pengelasan dengan Busur Listrik .....	473

VI.1.3.	Cara – Cara Mencegah Bahaya Kejutan Listrik selama Pengelasan dengan Busur Listrik .....	473
VI.2.	BAHAYA-BAHAYA SINAR BUSUR LAS DAN NYALA API GAS SERTA PENCEGAHANNYA .....	475
VI.2.1.	Akibat Sinar-Sinar Berbahaya .....	475
VI.2.2.	Alat-alat Perlindung dari Sinar yang Berbahaya .....	477
VI.3.	BAHAYA ASAP DAN GAS LAS SERTA PENCEGAHAN NYA.....	478
VI.3.1.	Akibat Asap Las terhadap Tubuh Manusia .....	478
VI.3.2.	Pengaruh Gas-Gas yang Timbul selama Pengelasan .....	481
VI.3.3.	Cara Mengatasi Asap dan Gas Las .....	482
VI.4.	BAHAYA LETUPAN DAN TERAK SERTA PENCEGAHAN NYA.....	484
VI.4.1.	Bahaya Letupan atau Terak.....	484
VI.4.2.	Cara untuk Mengatasi Letupan dan Terak.....	485
VI.5.	BAHAYA TABUNG GAS DAN CARA PENANGANANYA .....	486
VI.5.1.	Cara Mengangani Tabung Gas.....	486
VI.5.2.	Penyimpanan Tabung Gas .....	487
VI.6.	KESELAMATAN KESEHATAN KERJA DAN LINGKUNGAN HIDUP .....	488
VI.6.1.	Keselamatan Kesehatan Kerja .....	488
VI.6.2.	Lingkungan Hidup .....	490
	RANGKUMAN .....	492

**LAMPIRAN A DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN B DAFTAR ISTILAH**

**LAMPIRAN C SINGKATAN**

**LAMPIRAN D DAFTAR GAMBAR, TABEL DAN RUMUS**

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 GAMBARAN UMUM FUNGSI PENGELASAN PADA KAPAL

Dari berbagai jenis pengelasan yang telah dikenal, pengelasan pada kapal mempunyai suatu persyaratan dari Badan Klasifikasi yang mengawasi dan memberikan kelayakan tentang kekuatan konstruksi kapal. Hal ini karena kapal selain berada pada media cair yang selalu mendapat gaya – gaya hidrostatis gelombang air dari luar badan kapal juga mendapatkan beban berat sehingga kapal sebagai sarana pengangkutan perlu mendapatkan perhatian khusus tentang kekuatan dan faktor keselamatannya. Untuk memenuhi persyaratan yang dituntut dari pemilik kapal dan badan klasifikasi maka peran juru las sangatlah besar, dan untuk itu teknik – teknik pengelasan pada kapal harus diikuti agar mendapatkan mutu las yang baik dan dapat diterima oleh pemilik kapal maupun badan klasifikasi.

Seperti diketahui bahwa peran dan volume pekerjaan pengelasan pada kapal sangatlah besar, dimana ketrampilan seorang juru las dituntut mempunyai kompetensi secara mandiri (*individual skill*). Dengan demikian seorang juru las perlu mendapatkan pengetahuan dan keterampilan yang matang agar proses pengelasan yang dilakukan mempunyai mutu dan kecepatan yang tinggi, sehingga diharapkan dapat diterima oleh Badan Klasifikasi dan pemilik kapal. Teknologi Las Kapal merupakan metode penyambungan baja pada kapal dengan mengikuti standar yang berlaku untuk pembangunan kapal.

Pada umumnya pengelasan pada badan kapal yang banyak digunakan adalah pengelasan dengan proses las busur listrik (SMAW), las busur rendam ( SAW ) dan proses las busur listrik dengan pelindung gas ( FCAW / GMAW ) dari material baja karbon dan baja kekuatan tarik tinggi.

Sedangkan proses las elektrode tak terumpan (GTAW ) banyak digunakan untuk mengelas bagian – bagian kapal seperti perpipaian, saluran udara dan bagian – bagian kecil lainnya yang menggunakan plat tipis.

Dari beberapa jenis pengelasan yang digunakan untuk mengelas bangunan kapal pada umumnya mempunyai prosedur pengelasan sendiri-sendiri dimana kelihatannya sangat sederhana, namun bila diteliti secara cermat maka didalamnya banyak masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan banyak disiplin ilmu pengetahuan.

Oleh karena itu pengetahuan harus menyertai praktek, secara lebih detail bahwa perancangan konstruksi bangunan kapal dengan sambungan las harus direncanakan pula tentang teknik pengelasan, bahan las dan jenis las yang digunakan serta pemeriksaannya.

## **I.2 PENGENALAN UMUM ILMU LOGAM**

### **1.2.1 Pengertian Ilmu Logam**

Ilmu Logam diidentifikasi sebagai ilmu pengetahuan yang menerangkan tentang :

- Sifat dan struktur logam
- Pembuatan logam
- Pengolahan logam

Ilmu Logam dibagi menjadi dua bagian :

- (a) Ilmu Logam Produktif yaitu ilmu yang menerangkan tentang dasar – dasar pengolahan dan penyelidikan logam.
- (b) Ilmu Logam Fisik yaitu ilmu yang menerangkan tentang sifat – sifat dan struktur logam.

### **1.2.2 Macam – macam logam**

Berdasarkan unsur dasar yang terbuat dalam logam, maka logam dibagi menjadi dua golongan utama yaitu :

#### **(a) Logam Ferrous**

Logam ferrous disebut juga besi karbon atau baja karbon yang unsur dasarnya terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C) ditambah unsur bawahan yaitu : Silisium (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P) dan Sulfur (S), dimana unsur – unsur bawahan tersebut sangat mempengaruhi sifat dari logam ferrous, sehingga prosentase dari unsur bawahan harus dibatasi.

#### **(b) Logam Non Ferrous**

Logam Non Ferrous yaitu logam yang berbentuk bukan dari unsur dasarnya besi (Fe) dan karbon (C), yang termasuk logam non ferrous adalah :

- |                    |   |
|--------------------|---|
| • Aluminium (Al)   | • Logam – logam mulia (emas, perak, perunggu) |
| • Magnesium (Mg)   | • Antimonium                                  |
| • Tembaga (Cu)     | • Wolfram                                     |
| • Seng (Zn)        | • Kobalt                                      |
| • Nikel (Ni)       | • Timah putih (Sn)                            |
| • Timah hitam (Pb) |   |

### 1.2.3 Besi dan Baja

Pembuatan logam ferrous dilakukan dengan melakukan proses pengolahan biji – biji di dalam dapur tinggi sehingga menghasilkan besi kasar (pig iron) yang akan digunakan untuk proses pembuatan logam baja.

#### 1.2.3.1 Besi

Logam besi terbuat dari biji – biji besi yang didapat dari hasil tambang, kemudian diolah pada dapur tinggi sehingga menghasilkan besi kasar.

Adapun macam – macam besi sebagai berikut :

(a) Besi kasar putih, mempunyai sifat – sifat :

- Titik cair  $\pm 1100^{\circ}$  C
- Mempunyai kandungan karbon sebesar 2,3 % sampai dengan 3,5 %
- Berwarna putih
- Keras, mudah pecah, cepat membeku
- Baik untuk pembuatan baja

(b) Besi kasar kelabu, mempunyai sifat – sifat :

- Titik cair  $+ 1300^{\circ}$  C
- Mempunyai kandungan karbon sebesar 3,5 % sampai dengan 5%
- Berwarna kelabu
- Mudah dituangkan, kenyal dan agak rapuh

**Tabel I.1 Karakteristik dari 5 elemen pada besi**

Nama elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan dan kemampuan baja untuk mengeras, tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0.2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.

Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0.3%. Penambahan sekitar 0.3% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silikon 0.6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0.2%-0.8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1.5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0.04%
Belerang		Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0.04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

### 1.2.3.2 Baja

Logam baja dihasilkan dari pengolahan lanjut besi kasar pada dapur konverter, Siemens Martin atau dapur listrik, dimana hasil pengolahan dari dapur – dapur tersebut menghasilkan baja karbon yang mempunyai kandungan karbon maksimum 1,7 %.

Baja karbon sangat banyak jenisnya, dimana komposisi kimia, sifat mekanis, ukuran, bentuk dan sebagainya dispesifikasikan untuk masing - masing penggunaan pada Standar Industri Jepang (JIS). Pada bab ini menjelaskan tentang baja karbon.

Besi murni lunak, tidak kuat sehingga tidak dapat dipakai. Untuk menambah kekuatan, karbon (C) 2% atau kurang ditambahkan ke besi murni membentuk material struktur campuran besi karbon. Material ini disebut baja karbon. Disamping karbon, baja karbon terdiri dari sejumlah kecil mangan (Mn), dan silikon (Si), dan sedikit fosfor (P) serta belerang (S) sebagai unsur - unsur pada pembuatan baja. Elemen - elemen ini disebut 5 elemen untuk besi. Tabel II.6 menspesifikasikan karakteristik dari masing - masing 5 elemen tersebut. Besi yang mengandung silikon dan karbon 2-4,5% disebut Besi Tuang. Baja campuran yang dibuat untuk penggunaan dan perlakuan khusus, mengandung nikel (Ni), khrom (Cr), tembaga (Cu), molybden (Mo), vanadium (V), aluminium (Al), titan (Ti), boron (B) dan sebagainya disamping karbon. Baja campuran diklasifikasikan menjadi baja campuran tinggi dan baja campuran rendah, sesuai dengan jumlah kandungan elemen campurannya. Baja campuran juga disebut Baja Khusus. Normalnya walaupun baja khusus juga merupakan baja karbon tingkat tinggi misalnya baja perkakas, baja potong atau baja diperkeras, yang dibuat dengan produksi khusus atau metode perlakuan panas dan lain-lain.

Adapun pembagian jenis – jenis baja :

(a) Baja karbon rendah

Baja karbon rendah yang biasanya disebut mid steel mengandung karbon antara 0,1 % sampai dengan 0,3 % dan dalam perdagangan baja karbon rendah berbentuk batang (profil), plat – plat baja dan baja strip.

(b) Baja karbon sedang

Baja karbon sedang mempunyai kandungan karbon antara 0,3 % sampai dengan 0,6 % dan dalam perdagangan baja karbon sedang digunakan untuk bahan baut, mur, poros, piston, poros engkol dan roda gigi.

(c) Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon antara 0,7 % sampai dengan 1,3 % dan setelah mengalami proses heat treatment, baja tersebut digunakan untuk pegas (per), alat – alat perkakas, gergaji, pisau, kikir dan pahat potong.

(d) Baja campuran

Baja campuran yang biasanya disebut alloy steel, adalah baja yang sudah mengalami proses penambahan unsur – unsur paduan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat kekerasan dan keuletan.



Adapun unsur – unsur paduan tersebut adalah :

1. Nikel : Penambahan unsur nikel (Ni) pada karbon akan membuat baja karbon menjadi tambah ulet, kuat dan mencegah baja karbon terhadap karat
2. Chromium : Penambahan unsur ini bertujuan untuk menambah keuletan, kekerasan dan ketahanan terhadap aus menjadi lebih baik
3. Mangan : Penambahan unsur mangan mengakibatkan hasil produk baja menjadi lebih bersih dan mengkilap, selain itu kekuatan dan ketahanan panas dari baja karbon tersebut menjadi lebih baik
4. Silicon : Penambahan unsur paduan silicon mempengaruhi sifat elastisitas yang mempunyai baja karbon meningkat, sehingga baja karbon yang mengalami penambahan unsur paduan silicon baik dipergunakan untuk pegas
5. Tungsten : Unsur – unsur paduan tersebut dapat mempengaruhi baja Molybdenum karbon mempunyai sifat tahan terhadap temperatur tinggi, dan Vanadium tahan terhadap keausan dan mempunyai sifat yang ulet, sehingga baja karbon yang ditambahi unsur – unsur paduan tersebut sangat baik digunakan untuk baja potong cepat (HSS) dan roda gigi.

(e) Baja tahan karat

Baja tahan karat yang biasanya disebut stainless steel, bersifat memberikan perlawanan terhadap karat. Dan untuk menghasilkan baja tahan karat, baja karbon ditambahi unsur paduan chromium sebesar 2%.

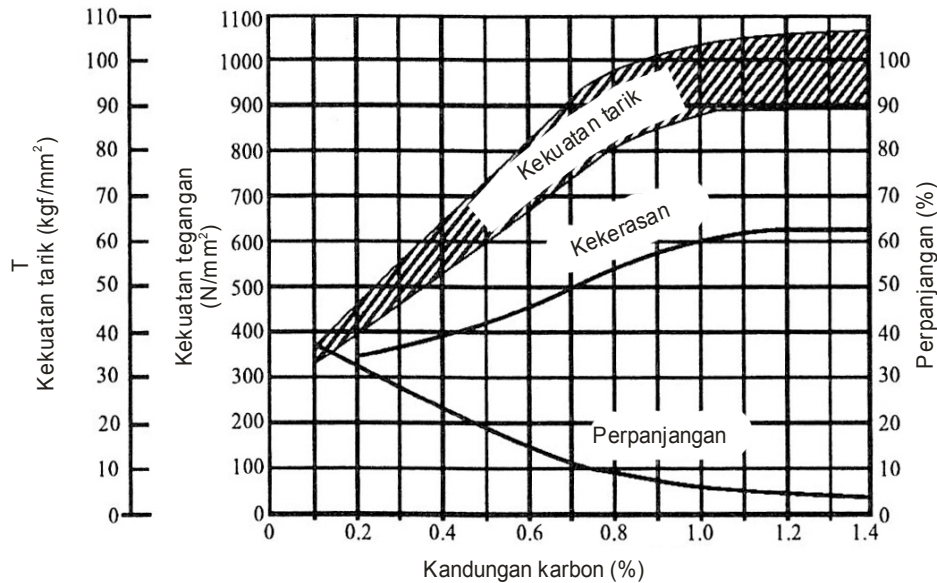
### 1.2.3.3 Kandungan karbon dan sifat mekanis

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik mulur dan kekerasan tetapi menurunkan perpanjangan, sifat mampu pengerjaan dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah. Gambar 1.1 memperlihatkan hubungan antara kandungan karbon dengan sifat mekanis baja.

Sehubungan dengan kandungan karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi, seperti diberikan pada tabel I.2. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan baja keras yang dapat dikeraskan dan baja lunak yang tidak dapat dikeraskan.

Tabel I.2 Klasifikasi baja karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% - 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan
Baja karbon sedang	0,31% - 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% - 2,0%	Rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur



Gambar I.1 Hubungan antara kandungan karbon dan sifat mekanis

#### 1.2.3.4 Proses Pembuatan Baja

Bahan baku baja adalah biji besi. Biji besi dibuat menjadi besi kasar yang mana baja karbon, baja campuran atau besi tuang dibuat.

##### 1) Proses pembuatan besi kasar

Untuk membuat besi kasar, biji besi (hematit, magnetit, limonit, biji mangan dan lain-lain) sebagai bahan baku, batu kapur sebagai fluks dan kokas (batu bara) sebagai bahan bakar dipasok ke dapur tinggi.

Dengan membakar kokas, dapur dipanaskan hingga 2000°C. Biji besi direduksi dengan kokas menjadi cair dan menetes. Kotoran dalam bahan baku diikat oleh batu kapur membentuk slag/terak yang terangkat dipermukaan. Hasil produk ini disebut besi kasar. Besi kasar panas dimasukkan dalam sebuah ladle (cawan) dibawa ke proses pembuatan baja. Besi kasar mengandung 4%-5% karbon dan belum dapat dipakai. Ini digunakan sebagai bahan baku untuk baja dan besi tuang.

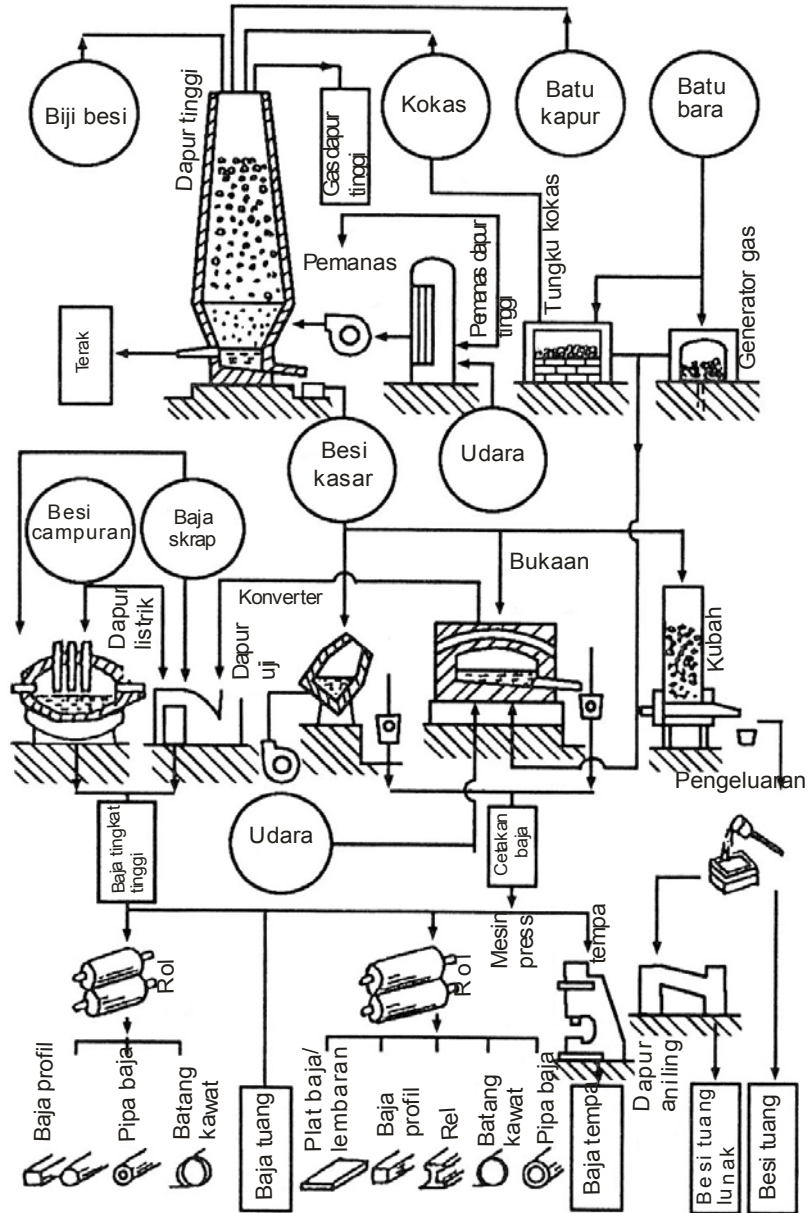
##### 2) Proses pembuatan baja

Pembuatan baja termasuk pemurnian besi kasar menjadi baja. Besi kasar atau besi skrap sebagai bahan baku dilebur dalam tungku pembuatan baja (Konverter LD, dapur listrik atau dapur frekuensi tinggi). Deoksidan atau pelarut ditambahkan ke besi cair untuk menghilangkan kotoran. Dapur listrik utamanya digunakan untuk memproduksi baja khusus. Konverter LD memproduksi baja dengan menyemburkan oksigen tekanan tinggi untuk mengoksidasi dan membakar kotoran. Tidak menggunakan bahan bakar. Baja cair yang dimurnikan kembali dimasukkan ke dalam cawan dan dituang ke cetakan.

Baja cair pada kondisi ini dibagi menjadi killed steel, semi killed steel dan rimmed steel sesuai dengan derajat deoksidasinya yang mana mempunyai pengaruh yang penting pada sifat baja.

##### 3) Proses pengerolan

Hasil dari cetakan baja dibawa ke proses pengerolan panas atau dingin menjadi plat/lembaran baja, pipa baja, batangan atau profil.



Gambar I.2 Diagram Proses Pembuatan Baja

- Plat baja

Tipikal produk baja adalah plat baja. Plat baja diklasifikasikan berdasarkan pemakaiannya oleh Standar Industri Jepang (JIS). Juga diklasifikasikan sesuai dengan ketebalannya menjadi plat tebal (25 mm atau lebih), plat (3 mm sampai dengan kurang dari 25 mm) dan plat tipis (kurang dari 3 mm).

- Baja untuk struktur las

Baja untuk struktur las mempunyai berbagai penggunaan, termasuk kapal laut, kendaraan, jembatan dan bangunan. Dibagi menjadi baja karbon rendah (baja lunak) dan baja campuran rendah (baja kekuatan tarik tinggi, baja temperatur rendah dan lain-lain).

## 1.2.4 Standarisasi Baja Karbon

### 1.2.4.1 Pengertian Standarisasi Baja Karbon

Standarisasi baja karbon digunakan untuk menggolongkan baja karbon berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi baja karbon menurut American Iron and Steel Institut (AISI) dan Society of Automotive Engineers (SAE) mempergunakan nomor atau angka dan huruf.

Adapun cara yang ditentukan AISI dan SAE dalam menetapkan standarisasi baja karbon sebagai berikut :

### 1.2.4.2 Sistem Angka

(a) **Angka pertama** menunjukkan jenis – jenis baja karbon dan paduannya, contoh :

- Angka 1 untuk baja karbon 1xxx
- Angka 2 untuk baja karbon dengan paduan nikel 2xxx
- Angka 3 untuk baja karbon dengan paduan nikel dan chrom 3xxx
- Angka 4 untuk baja karbon dengan paduan molybdenum 4xxx

Jenis dan prosentase campuran menurut AISI – SAE yaitu :

- Baja karbon
  1. Baja karbon tidak mengandung sulfur (S) 10 xx
  2. Baja karbon mengandung S (free machining) 11xx
  3. Baja karbon mengandung S dan P 12xx
- Baja campuran rendah
  1. Baja mangan (1,75 Mn) 13xx
  2. Baja nikel :
    - 3,50 Ni 23xx
    - 5,00 Ni 25xx
  3. Baja nikel – chrom :
    - 1,25 Ni; 0,65 Cr 31xx
    - 3,50 Ni; 1,55 Cr 33xx

4. Baja molybden (0,25 Mo) 40xx
5. Baja chorm molyben  
(0,50 – 0,85 Cr ;0,12 – 0,20 Mo) 41xx
6. Baja nikel molyben
  - 1,55 – 1,80, 0,20 – 0,25 Mo 46xx
  - 3,50 Ni, 0,25 Mo 48xx
7. Baja chrom nikel molyben
  - 1,80 Ni; 0,50; 0,80 Cr; 0,25 Mo 43xx
  - 1,05 Ni; 0,45 Cr; 0,20 Mo 47xx
  - 0,55 Ni; 0,50; -0,65 Cr; 0,20 Mo 86xx
  - 0,55 Ni; 0,50 Cr; 0,25 Mo 87xx
  - 3,25 Ni; 1,20 Cr; 0,12 Mo 93xx
  - 1,00 Ni; 0,80 Cr; 0,25 98xx
8. Baja chrom :
  - 0,28 – 0,40 Cr 50xx
  - 0,80; 0,90; 0,95; 1,00 – 1,50 Cr 51xx
9. Baja chrom karbon (0,50; 1,00 – 1,45 Cr – 1,00 c) 5xxxx
10. Baja chrom vanadium (0,80; 0,95 Cr; 0,10; 1,15 Va) 61xx
11. Baja mangan silicon (0,85 Mn; 2,00 Si) 92xx

- Baja tahan karat dan tahan panas
  1. Baja chrom, nikel, mangan (austenitic) 2xx
  2. Baja chrom, nikel (austenitic) 3xx
  3. Baja chrom (martensitic) 4xx
  4. Baja chrom rendah 5xx

(b) **Angka kedua** menunjukkan prosen campuran baja yang mendekati, misal : AISI dan SAE 22xx adalah menunjukkan baja karbon paduan nikel dengan campuran nikel kira – kira 3%.

(c) **Dua angka terakhir** menunjukkan jumlah prosen karbon yang mendekati.

Contoh pembacaan :

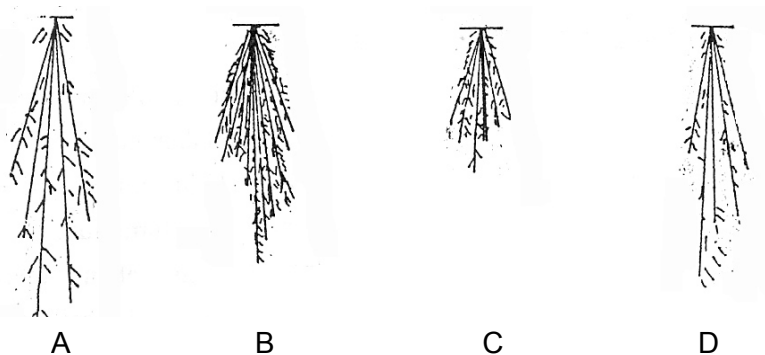
- AISI – SAE 1095 adalah baja karbon dengan kandungan karbon sebesar 0,95%
- AISI – SAE 2580 adalah baja karbon dengan paduan nikel, dengan campuran nikel kira – kira 3,5 % dan campuran chrom kira – kira 1,55% dan kandungan karbon sebesar 0,95 %.

### 1.2.4.3 Sistem huruf

- (a) Huruf A untuk baja karbon yang dihasilkan dari dapur Siemens Martin
- (b) Huruf B untuk baja karbon yang dihasilkan dari dapur Bessemer
- (c) Huruf C untuk baja karbon yang dihasilkan dari dapur Open Heart untuk baja karbon basa
- (d) Huruf D untuk baja karbon yang dihasilkan dari dapur Open Heart untuk baja karbon asam
- (e) Huruf E untuk baja karbon yang dihasilkan dari dapur listrik

### 1.2.4.4 Sistem pengujian asah

Untuk menentukan perbedaan jenis – jenis baja karbon dapat juga dilakukan dengan cara mengasah baja tersebut pada mesin gerinda, sehingga menimbulkan warna bunga api atau percikan bunga api seperti gambar dibawah ini :



**Gambar I.3 Percikan bunga api**

Berdasarkan bentuk percikan bunga api diatas, dapat ditentukan jenis – jenis baja sebagai berikut :

- Gambar A untuk baja karbon rendah
- Gambar B untuk baja karbon tinggi
- Gambar C untuk baja tuang
- Gambar D untuk baja tahan karat

## 1.2.5 Aluminium

Material aluminium merupakan logam kedua setelah baja yang digunakan untuk pembuatan lambung kapal, oleh sebab itu logam non ferrous yang dijelaskan pada kesempatan ini adalah logam aluminium.

### 1.2.5.1 Pengertian dasar aluminium

Aluminium didapat dari tanah liat jenis bauksit yang dipisahkan lebih dahulu dari unsur – unsur yang lain dengan menggunakan larutan tawas murni sampai menghasilkan oksid aluminium ( $Al_2O_3$ ).

Melalui proses elektrolitik oksid aluminium ( $Al_2O_3$ ) dipisahkan dari unsur – unsur zat asam untuk dijadikan cairan aluminium murni sampai mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,9%.

### 1.2.5.2 Sifat – sifat aluminium (Al)

Aluminium berwarna putih kebiru – biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak dari pada seng. Aluminium mempunyai kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm, dan untuk memperbaiki sifat mekanis dari bahan logam aluminium, bahan aluminium ditambah unsur paduan.

### 1.2.5.3 Unsur – unsur paduan logam aluminium

- (a) Besi (Fe) : Penambahan unsur besi pada aluminium dapat mengurangi terjadinya keretakan panas
- (b) Manganase (Mn) : Aluminium yang ditambahi unsur mangan dapat memperbaiki ductility pada logam aluminium
- (c) Silicon : Penambahan unsur silicon akan mempengaruhi aluminium tahan terhadap korosi tetapi sulit dimachining
- (d) Cupper : Unsur copper dapat mempengaruhi logam aluminium mudah dimachining
- (e) Magnesium : Penambahan unsur magnesium pada logam aluminium akan memperbaiki sifat kekuatan, tetapi sulit pada pekerjaan proses penuangan
- (f) Zincum : Penambahan unsur seng akan memperbaiki sifat logam aluminium tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan



#### 1.2.5.4 Nama – nama logam aluminium paduan

- (a) Hydronalium : Logam tersebut terbentuk dari penambahan unsur paduan jenis magnesium sebesar 4% sampai dengan 10% pada aluminium murni, sehingga logam tersebut mempunyai sifat tahan terhadap air laut
- (b) Silumin : Silumin terbentuk dari penambahan unsur paduan jenis silisum (Si) sebesar 12% sampai dengan 13% pada aluminium murni, sehingga logam tersebut mempunyai sifat mudah dituang dan dalam penggunaannya digunakan untuk komponen mobil, saluran air dan komponen – komponen kamera
- (c) Duralumin : Duralumin terbentuk dari penambahan unsur paduan jenis Cuppri (Cu) sebesar 1,5 %, mangan sebesar 1,5 % dan magnesium sebesar 2,5 % pada aluminium murni, sehingga logam tersebut mempunyai sifat kekerasan dan ductility yang baik dan dalam penggunaannya digunakan untuk bahan – bahan konstruksi

#### 1.2.6 Standarisasi Aluminium

##### 1.2.6.1 Standarisasi aluminium

Standarisasi aluminium digunakan untuk menggolongkan logam aluminium paduan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam aluminium menurut American Society for Materials (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan.

Adapun cara – cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan sebagai berikut :

- Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%) 1xxx
- Cupper 2xxx
- Manganase 3xxx
- Silicon 4xxx
- Magnesium 5xxx
- Magnesium dan silicon 6xxx
- Zincum 7xxx
- Elemen – elemen yang lain 8xxx

### 1.2.6.2 Sistem angka

- (a) **Angka pertama** menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
- (b) **Angka kedua** menunjukkan sifat khusus misalnya : angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.
- (c) **Dua angka terakhir** tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

#### Contoh pembacaan

ASTM 2017	artinya	Adalah paduan aluminium – copper tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Cu
ASTM 2117	artinya	Adalah paduan aluminium – magnesium tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al - Mg
ASTM 5056	artinya	Adalah paduan aluminium – magnesium dengan perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Mg
ASTM 1030	artinya	Adalah aluminium murni tanpa perhatian khusus, dengan kadar aluminium sebesar 99,30%
ASTM 1130	artinya	Adalah aluminium murni dengan perhatian khusus dengan kadar aluminium sebesar 99,30%
ASTM 1230	artinya	Adalah aluminium murni dengan perhatian khusus dengan kadar aluminium sebesar 99,30

### 1.2.6.3 Perlakuan paduan aluminium

Untuk memperbaiki kekuatan dan kekerasan aluminium paduan dapat dilakukan perlakuan panas atau perlakuan dingin (proses heat treatment) tetapi tidak semua aluminium paduan dapat dilakukan proses heat treatment.

Untuk itu aluminium paduan yang dapat dilakukan perlakuan panas dapat dilihat pada tabel I.3.

Tabel I.3 Perlakuan panas terhadap aluminium paduan

Dapat diberi perlakuan panas	Tak dapat diberi perlakuan panas
2011	1060
2014	1100
2017	3003
2018	3004
2024	4043
2025	5005
2117	5052
2118	5056
2618	5083
4032	5086
6053	5184
6061	5252
6063	5257
6066	5357
6101	5454
6151	5456
7039	5557
7075	5657
7079	
7178	

## 1.2.7 Bahan Pengisi Pengelasan Aluminium

### 1.2.7.1 Pengertian bahan pengisian

Struktur logam pada daerah sambungan pengelasan (HAZ) merupakan kombinasi logam induk dan logam pengisi, sehingga logam pengisi merupakan unsur terpenting dalam memperoleh kekuatan sambungan las yang baik. Oleh sebab itu untuk pengelasan logam induk aluminium standarisasi 5000, 3000 dan 1100 yang mempergunakan pengelasan MIG sebaiknya menggunakan logam pengisi yang mempunyai standarisasi 5039, 5556, 5183, 5356, 5154, 5334, 4043 dan 1100.

Untuk lebih mengetahui jenis logam pengisi yang akan digunakan pada proses logam aluminium yang menggunakan pengelasan MIG dapat dilihat pada tabel I.4.

**Tabel I.4 Jenis logam pengisi yang digunakan pada proses logam aluminium pada pengelasan MIG**

Logam induk	Logam pengisi	
	Tegangan tarik maksimum	Maximum elongation
1100	1100 / 4043	1100 / 4043
2014	4145	4043 / 2319
2214	2319	4043 / 2319
3003	5183	1100 / 4043
3004	5554	5183 / 4043
5005	5183 / 4043	5183 / 4043
5050	5356	5183 / 4043
5052	5356 / 5183	5183 / 4043
5083	5183	5183
5086	5183	5183
5154	5356	5183 / 5356
5357	5354	5356
5454	5554	5183
5456	5556	5183
6061	4043 / 5153	5356
6063	4043 / 5183	5783
7039	5039	5183
7075	5183	
7079	5183	
7478	5183	

### I.3 PERALATAN UKUR DAN PERKAKAS TANGAN PADA PROSES – PROSES PEKERJAAN LOGAM

#### 1.3.1 Peralatan ukur

Seperangkat alat ukur merupakan seperangkat alat pertukangan yang digunakan untuk pengukuran pada proses pekerjaan logam sehingga pekerjaan dapat dihasilkan dan dikontrol dengan cermat.

Peralatan ukur dirancang untuk mendapatkan hasil ukuran dari suatu benda yang sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan ukuran yang tepat. Peralatan ukur merupakan alat pokok bagi seorang tukang sehingga jika digunakan dengan cara yang tidak benar maka keuntungan yang seharusnya diperoleh dari hasil pengukuran tersebut akan hilang begitu saja dan bahkan dapat merugikan serangkaian proses kerja.

Untuk itu salah satu faktor penting untuk belajar menjadi seorang pekerja orang bidang logam adalah mengenal terlebih dahulu nama – nama peralatan ukur dan fungsinya serta dapat mengetahui dengan tepat dan benar penggunaannya.

Beberapa peralatan ukur yang biasa dipergunakan bidang pekerjaan logam adalah sebagai berikut :

#### 1. Mistar

##### (a) Mistar baja lurus

Mistar lurus terbuat dari baja / baja tahan karat, digunakan untuk pengukuran panjang. Kebanyakan memiliki kebalan 1 – 1,5 mm, lebar 25 mm dan panjang 300 – 1000 mm.



**Gambar I.4 Mistar baja lurus**

##### (b) Mistar siku

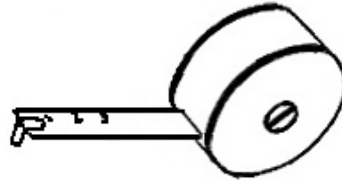
Mistar siku baja menekuk ke kanan, disebut juga mistar tukang kayu.



**Gambar I.5 Mistar siku**

## (c) Mistar gulung

Memungkinkan untuk digunakan dalam pengukuran lurus dan lengkung. Ketika diluruskan, mistar ini digunakan sebagai penggaris lurus. Jika terbuat dari baja tempa, penyusutan dan pemuaiannya dapat diabaikan. Karena itu, mistar ini lebih akurat daripada mistar kain. Yang ditunjukkan pada gambar disebut juga mistar cembung.

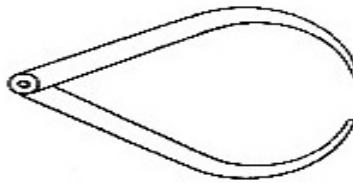


**Gambar I.6 Mistar gulung**

**2. Caliper**

## (a) Calipers outside

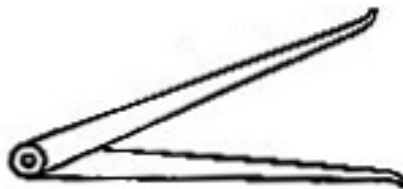
Caliper outside digunakan untuk mengukur diameter luar dari material / benda bulat atau ketebalan.



**Gambar I.7 Calipers outside**

## (b) Calipers inside

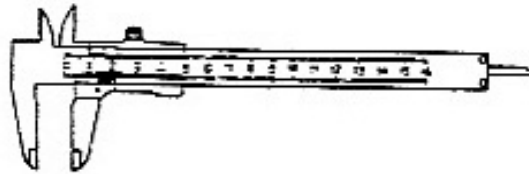
Caliper inside digunakan untuk mengukur diameter dalam dari silinder atau lebar celah.



**Gambar I.8 Calipers inside**

### 3. Jangka sorong

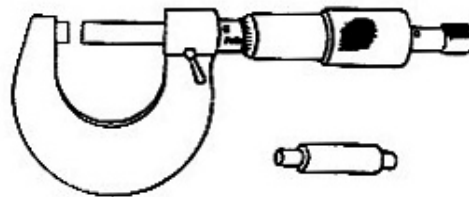
Digunakan untuk mengukur diameter dalam dan diameter luar serta mengukur panjang. Kedalaman celah atau lubang dapat diukur dengan pengukur kedalaman yang ada. Mistar kecil dibawah mistar utama dapat dibaca dengan Vernier.



Gambar I.9 Jangka sorong

### 4. Micrometer dan Pengukur standart

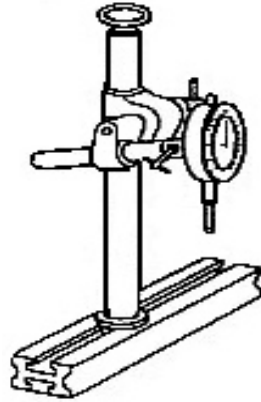
Alat ini terutama digunakan untuk mengukur panjang dan diameter luar. Ketelitiannya biasanya 0,01 mm. Pengukur standart digunakan untuk mengecek / memeriksa kesalahan dari mistar. Yang biasa digunakan adalah micrometer luar, dimana terdapat dua puluh macam dari 25 mm sampai 500 mm pada interval 25 mm. Batas pengukuran dari tiap – tiap jenisnya adalah 25 mm.



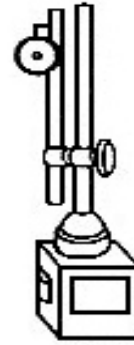
Gambar I.10 Micrometer dan pengukur standart

### 5. Penunjuk ukuran, tonggak penunjuk ukuran dan tonggak magnet

Alat ini memiliki penggunaan yang luas, sebagai contoh perbandingan pengukuran dengan ketelitian sampai 0,01 mm atau 0,001 mm, pengukuran kesejajaran dan pemeriksaan ketelitian mesin. Secara umum, penunjuk ukuran dipakai dengan menggunakan tonggak. Tonggak magnet yang bahan dasarnya terbuat dari magnet yang kuat dapat secara tepat terpasang pada berbagai tempat dari baja.



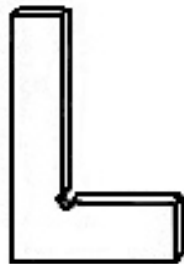
**Gambar I.11** Penunjuk ukuran dan tonggak penunjuk ukuran



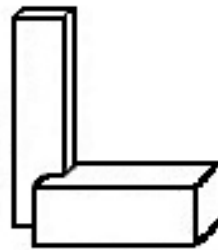
**Gambar I.12** Tonggak magnet

## 6. Siku (mistar sudut kanan)

Alat ini digunakan untuk memeriksa kesikuan atau kerataan dari benda kerja atau penandaan garis siku pada permukaan. Pada sebuah segi empat, lewat siku dua sisi dan masing – masing permukaan benar – benar paralele terhadap permukaan sebaliknya.



(a) Flat



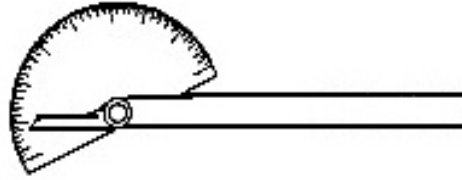
(b) Dengan tambahan dasar

**Gambar I.13** Siku (mistar sudut kanan)

## 7. Busur baja

Ukuran dari  $0^{\circ}$  -  $180^{\circ}$  diterakan pada pelat baja tipis berbentuk setengah lingkaran. Alat ini digunakan untuk mengukur sudut atau penandaan.

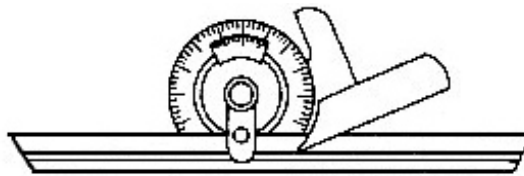




**Gambar I.14 Busur baja**

**8. Busur bevel universal**

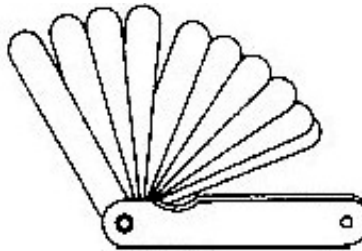
Alat ini digunakan untuk mengukur sudut. Busur dengan vernier terpasang dimana sudut dapat dibaca dengan ketelitian sampai 5 menit.



**Gambar I.15 Busur bevel universal**

**9. Pengukur jarak / celah**

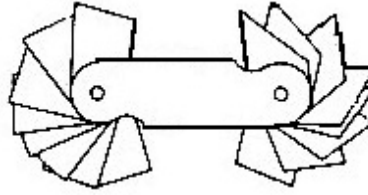
Alat ini disebut juga pengukur ketebalan. Satu atau beberapa lembar dari pengukur ini dimasukkan kedalam celah antara dua bagian yang diukur.



**Gambar I.16 Pengukur jarak / celah**

**10. Pengukur sudut**

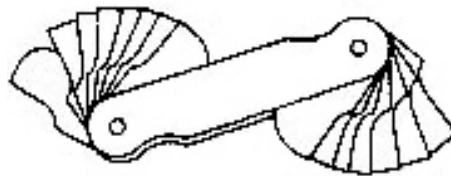
Alat ini digunakan untuk mengukur sudut dari benda kerja.



Gambar I.17 Pengukur sudut

**11. Pengukur jari – jari**

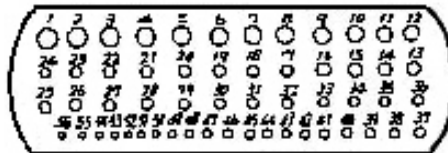
Alat ini disebut juga pengukur radial. Alat ini digunakan untuk mengukur bagian – bagian lingkaran dari benda kerja.



Gambar I.18 Pengukur jari – jari

**12. Pengukur lubang**

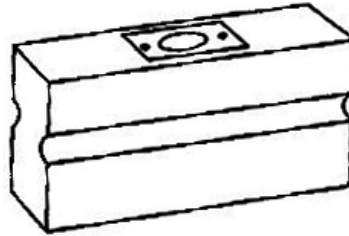
Sebuah bor dimasukkan ke dalam alat ini untuk mengetahui diameternya.



Gambar I.19 Pengukur lubang

**13. Pengukur kerataan tipe segiempat**

Kerataan horisontal diperiksa dengan tabung gelembung. Alat ini utamanya digunakan untuk mengetahui kerataan horisontal ketika memasang mesin.



**Gambar I.20 Pengukur kerataan tipe segiempat**

#### 14. Meja permukaan

##### (a) Meja penandaan permukaan plat

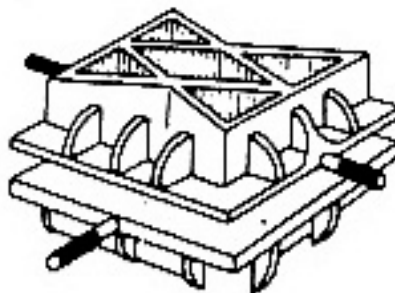
Sebuah pelat besi tuang dimana benda kerja diletakkan horisontal untuk ditandai. Alat ini digunakan untuk memeriksa kerataan sesudah penyekrapan. Alat ini kebanyakan terbuat dari besi tuang dan dihaluskan dengan pengetaman.



**Gambar I.21 Meja penandaan permukaan plat**

##### (b) Meja penyetelan permukaan plat

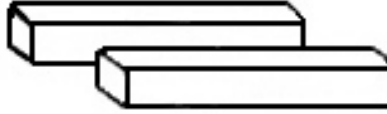
Alat ini terbuat dari besi tuang seperti bidang meja penandaan. Alat ini kebanyakan terbentuk segiempat dan memiliki rusuk pada sisi luarnya untuk mengantisipasi beban. Permukaannya dihaluskan dengan ketetapan / ketelitian tinggi, dimana perencanaan penandaan biasanya dilakukan.



**Gambar I.22 Meja penyetelan permukaan plat**

**15. Blok paralel**

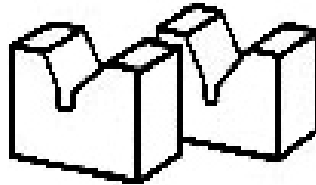
Alat ini terutama digunakan sebagai alas untuk menempatkan benda kerja secara horisontal di atasnya. Posisi dua blok berpasangan.



**Gambar I.23 Blok paralel**

**16. Blok V**

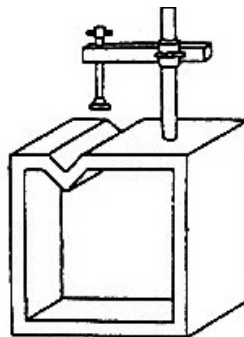
Benda kerja seperti kawat batangan bulat diletakkan secara horisontal di atas blok jenis huruf V dengan sudut kampuh  $90^\circ$ . Alat ini terutama digunakan untuk penandaan. Posisi dua blok berpasangan.



**Gambar I.24 Blok V**

**17. Kotak blok V**

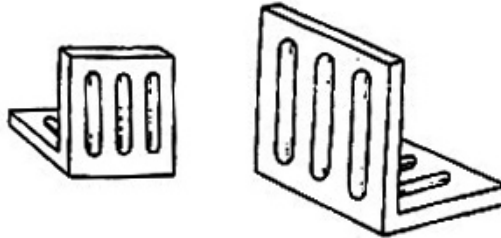
Setiap permukaan berbetuk segi empat hexahedron. Benda kerja dalam berbagai bentuk dapat dipasang dengan klem di atasnya. Karena itu alat ini cocok untuk segala penandaan garis horisontal dan segiempat. Alat ini terbuat dari besi tuang dan tiap – tiap permukaannya dibentuk segiempat.



**Gambar I.25 Kotak blok V**

**18. Pelat siku**

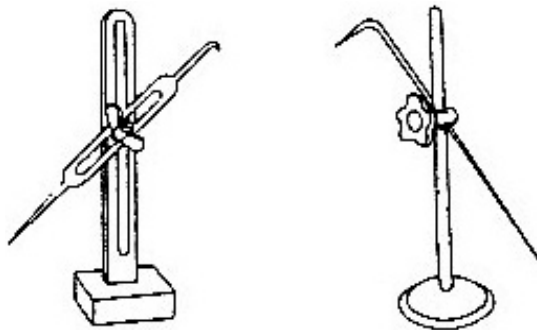
Alat ini disebut juga penglass. Alat ini digunakan untuk menahan benda kerja yang tipis secara vertikal atau benda kerja dengan bentuk yang tidak beraturan yang tidak dapat dipasang dengan chuck atau ragum.



**Gambar I.26 Pelat siku**

**19. Alat penggores**

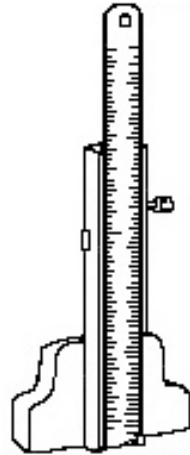
Alat ini digoreskan pada permukaan pelat untuk membuat garis horisontal pada benda kerja dan digunakan untuk membuat garis tengah. Ujung jarum yang lurus digunakan untuk membuat garis horisontal dan ujung yang melengkung digunakan untuk pemeriksaan.



**Gambar I.27 Alat penggores**

**20. Penyangga mistar**

Sebuah penyangga untuk menegakkan alat gores / penggores secara vertikal. Alat ini digunakan untuk menyetel ketinggian dari ujung jarum sebagaimana diisyaratkan.



Gambar I.28 Penyangga mistar

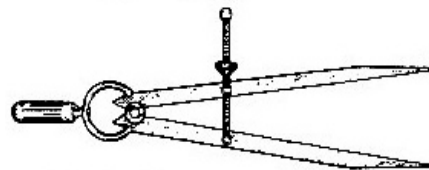
21. Jangka

(a) Jangka biasa dan Jangka ulir

Alat ini digunakan untuk menggambar sebuah lingkaran atau setengah lingkaran pada benda kerja / untuk membagi garis. Terdapat jenis biasa dan jenis berulir.

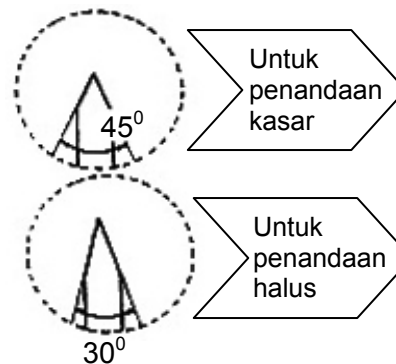


Gambar I.29 Jangka biasa



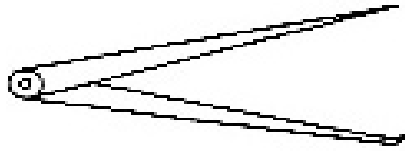
Gambar I.30 Jangka ulir

Ujung dari jangka dibentuk tepat  $45^{\circ}$  untuk penandaan kasar, sedangkan untuk penandaan halus dibentuk dengan sudut  $30^{\circ}$ .



(b) Hermaphro-dite calipers

Hermaphro-dite caliper digunakan untuk menandai titik pusat dari batangan bulat atau jarak dari sisi permukaan



**Gambar I.31 Hermaphro-dite calipers**

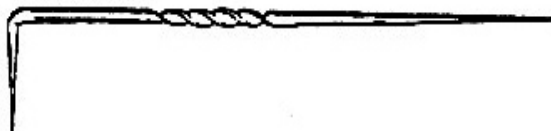
### 1.3.2 Perkakas tangan

Perkakas tangan merupakan perangkat bantu untuk kerja mekanik, selain berfungsi sebagai peralatan bantu juga berperan untuk menyelesaikan pekerjaan secara manual.

Beberapa perkakas tangan yang biasa dipergunakan bidang pekerjaan logam adalah sebagai berikut :

#### 1. Pena penandaan

Alat ini digunakan untuk menggambar garis / tanda. Bagian yang rata digunakan untuk memberi tanda goresan pada benda kerja. Alat ini merupakan peralatan dari baja tempa berupa batangan bulat dengan diameter 3 -5 mm, dimana ujung – ujungnya diruncingkan.



**Gambar I.32 Pena penandaan**

#### 2. Penitik

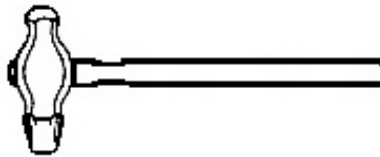
Alat ini digunakan untuk menandai posisi dari garis – garis penandaan atau untuk melekkukan posisi titik pengeboran.



**Gambar I.33 Penitik**

### 3. Palu single

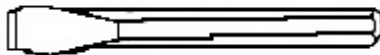
Alat ini digunakan untuk memukul, sebagai contoh untuk mengelupaskan. Permukaan pukul harus datar dan paralel terhadap gagangnya. Ujung pena (ujung dari bentuk setengah bulat) digunakan untuk mendempul. Ukuran palu dinyatakan oleh berat dari kepala palu. Biasanya digunakan palu dengan berat 0,5 – 1,0 kg. Kepala palu terbuat dari baja keras yang ditempa.



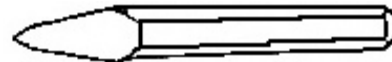
Gambar I.34 Palu single

### 4. Pahat

Pahat datar digunakan untuk memahat permukaan pelat tipis. Pahat lancip digunakan untuk memahat kasar permukaan datar atau untuk membuat celah atau lubang.



Gambar I.35 Pahat datar



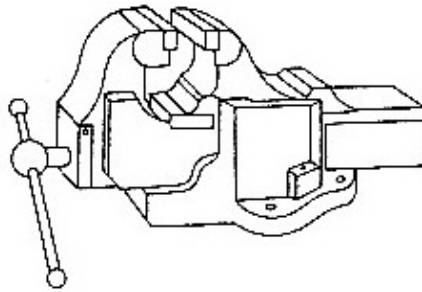
Gambar I.36 Pahat lancip

Tabel I.5 Besar sudut pahat terhadap benda kerja

Material kerja	Sudut
Tembaga	25 <sup>0</sup> – 30 <sup>0</sup>
Besi tuang kuningan	40 <sup>0</sup> – 60 <sup>0</sup>
Baja lunak	50 <sup>0</sup>
Baja keras	60 <sup>0</sup> – 70 <sup>0</sup>



## 5. Ragum

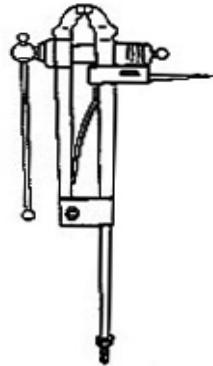


**Gambar I.37 Ragum**

Adapun ragum ada beberapa jenis yaitu :

(a) Ragum paralel / Ragum horisontal

Alat ini dipasang pada meja kerja dan digunakan untuk menahan benda kerja pada pekerjaan penghalusan dengan tangan atau pemasangan. Pada ragum paralel, pembukaannya selalu paralel.



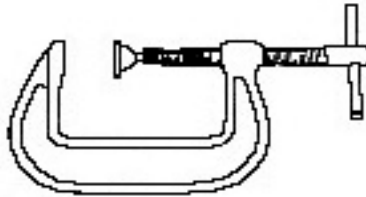
**Gambar I.38 Ragum paralel / Ragum horisontal**

**Tabel I.6 Standar ukuran ragum paralel**

Lebar jepitan	Bukaan	Kedalaman bukaan	Berat
75	110	75	6.5
100	140	85	11.2
125	175	95	16.3
150	210	100	22.5

(b) Ragum kaki (ragum vertikal)

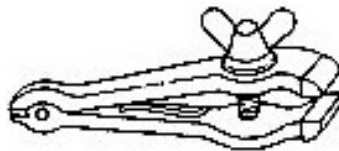
Alat ini digunakan untuk menahan benda kerja pada pekerjaan penghalusan dengan tangan atau penempaan sederhana. Pada ragum kaki, kedua kakinya disambungkan dengan sebuah pin pada pusatnya / titik tengahnya dan bukaannya tidak selalu paralel.



**Gambar I.39 Ragum kaki (ragum vertikal)**

(c) Ragum squill (klem C)

Alat ini digunakan untuk mencekam benda sementara dengan cepat, untuk fabrikasi plat tipis atau penyetelan pada plat siku.



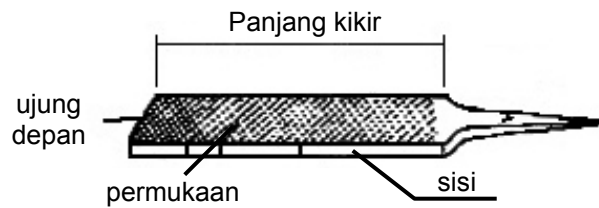
**Gambar I.40 Ragum squill (klem C)**

(d) Ragum tangan

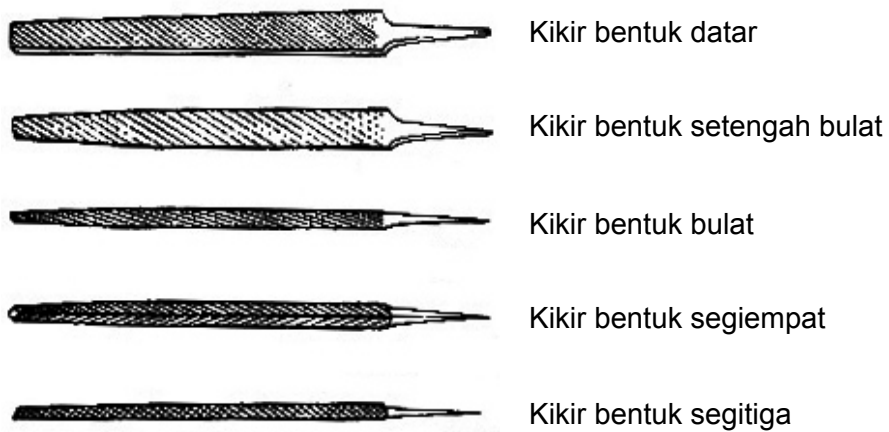
Alat ini digunakan untuk memegang bagian kecil atau untuk mencekam benda sementara.

## 6. Kikir

Kikir terutama digunakan untuk menghaluskan benda kerja dari metal dengan menggunakan tangan. Ditinjau dari bentuknya, kikir diklasifikasikan dalam lima jenis yaitu datar, segiempat, segitiga, bulat dan setengah bulat. Ditinjau dari sisi potongnya adalah sisi potong tunggal dan sisi potong ganda. Kekasaran sisi potong kikir diklasifikasikan antara lain "kasar", "medium / setengah kasar", "halus" dan "licin". Kikir baru harus digunakan untuk baja lunak.



**Gambar I.41 Bagian - bagian kikir**



**Gambar I.42 Bentuk – bentuk kikir**

**7. Gagang kikir**

Alat ini dipasangkan ke ujung gagang kikir.



**Gambar I.43 Gagang kikir**

**8. Sikat kawat**

Alat ini digunakan untuk membersihkan bekas pemotongan dari kotoran metal.

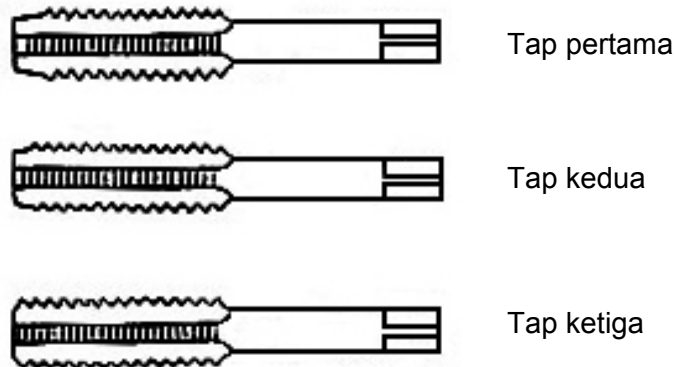


**Gambar I.44 Sikat kawat**

### 9. Tap tangan

Sebuah handel dipasang ke bagian yang terbentuk segi empat dari batang tap, yang digunakan untuk membuat sekrup dalam terutama dengan tangan. Tujuh ulir pertama dari tap pertama disebut "kepala tap". Kepala tap ini dipingul sehingga dapat dengan mudah masuk ke bawah lubang sekrup.

Tiga sampai empat ulir pertama dari tap kedua disebut tap tengah juga dipingul. Ulir pertama dari tap ketiga dipingul, dimana disebut tap akhir dan digunakan untuk penghalusan akhir.



**Gambar I.45 Tap tangan**

### 10. Pegangan tap

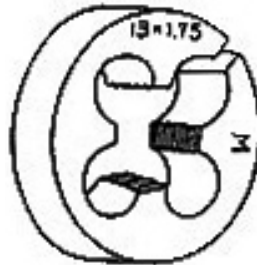
Alat ini adalah peralatan tambahan yang digunakan untuk memutar tap atau reamer.



**Gambar I.46 Pegangan tap**

### 11. Tap luar

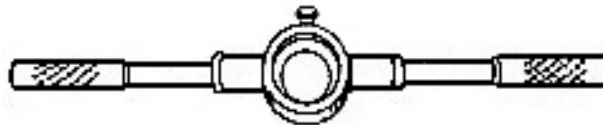
Adalah sebuah alat untuk membuat ulir sekrup pada batangan bulat atau pipa. Apabila tap luar mempunyai jarak, diameter sekrup maka dapat disetel sedikit. Tiga ulir pertama dipotong miring. Disamping tap luar, ada solid die dan blade change die yang digunakan untuk memotong ulir pada sisi luar pipa



Gambar I.47 Tap luar

### 12. Pegangan tap luar

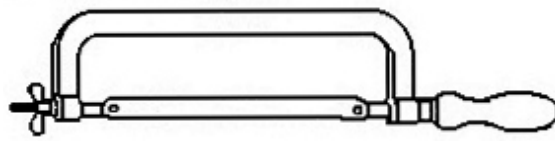
Alat ini adalah alat tambahan untuk memutar.



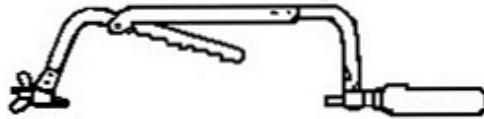
Gambar I.48 Pegangan tap luar

### 13. Gergaji potong metal

Alat ini terutama digunakan untuk memotong kawat, pelat dan pipa dari metal. Panjang bilah gergaji yang tertentu hanya dapat dipasang pada frame gergaji jenis tetap. Pada gergaji jenis yang dapat disetel, framenya terdiri dari dua bagian. Tergantung pada panjang bila gergaji, sumbu dari cover metal dipasang di dalam salah satu celah dari dua bagian frame dan bilah gergaji disisipkan dan dikencangkan dengan sekrup.



Jenis tetap

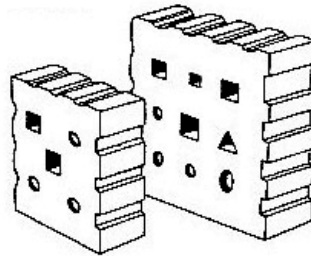


Jenis dapat disetel

**Gambar I.49 Gergaji potong metal**

**14. Swage block**

Alat ini digunakan untuk pekerjaan seperti bending dan punching / pemukulan material, dibuat dengan bermacam kampuh dan lubang sebagai contoh untuk penempatan.



**Gambar I.50 Swage block**

**15. Landasan**

Alat ini digunakan sebagai alas dimana material dipukul ketika penempatan. Alat ini disebut juga dudukan / alas tanduk. Bentuk alat ini sesuai untuk pekerjaan – pekerjaan seperti bending / menekuk, stretching / pelurusan dan cutting / pemotongan.



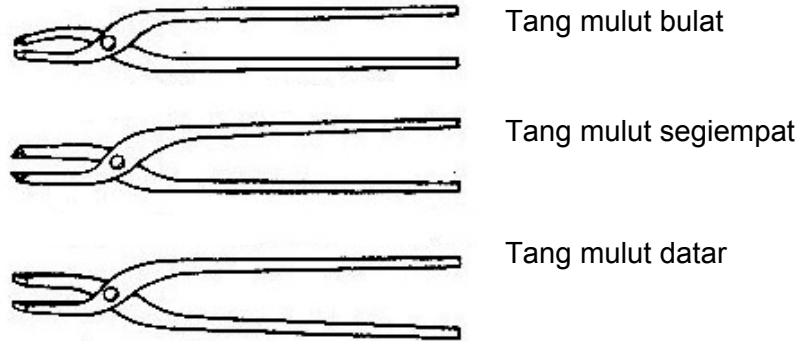
**Gambar I.51 Landasan jenis Perancis**



**Gambar I.52 Landasan jenis Inggris**

**16. Tang tempa**

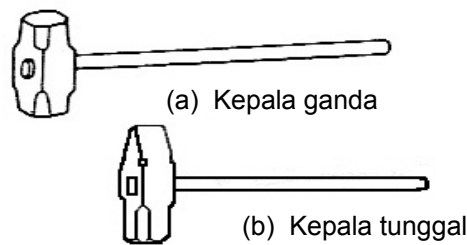
Alat ini digunakan untuk menahan material yang sedang dalam proses penempaan. Alat ini disebut juga tang panas. Pilih tang sesuai bentuk benda kerja.



**Gambar I.53 Jenis tang tempa**

**17. Palu besar**

Alat ini digunakan untuk memberikan pukulan yang kuat seperti contohnya pada penempaan. Palu besar disebut juga top hammer atau both hand hammer. Alat ini terbuat dari baja keras. Permukaan pukulnya diquenching. Alat ini diklasifikasikan berdasarkan berat kepalanya. Kebanyakan yang sering digunakan adalah 4,5 kg; 6,7 kg dan 9 kg.



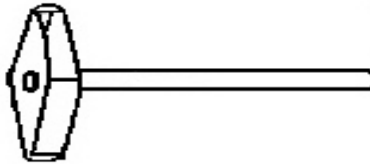
**Gambar I.54 Palu besar**

**18. Pahat dengan gagang**

Alat ini digunakan untuk memotong material dalam penempaan.

Ada 2 jenis yaitu :

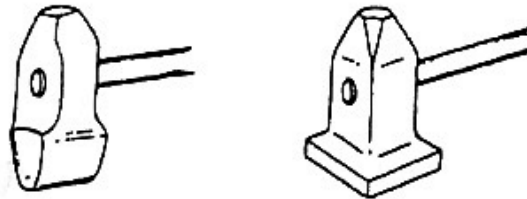
- Pahat untuk pemotongan panas
- Pahat untuk pemotongan dingin



**Gambar I.55 Pahat dengan gagang**

### 19. Palu tempa

Alat ini digunakan dalam penempaan. Palu tempa bulat digunakan untuk memotong bagian belakang dari material, untuk menekuk material atau membuat sudut tepi material menjadi bulat / melingkar. Palu tempa datar digunakan untuk membuat permukaan material menjadi datar.



(a) Palu tempa bulat

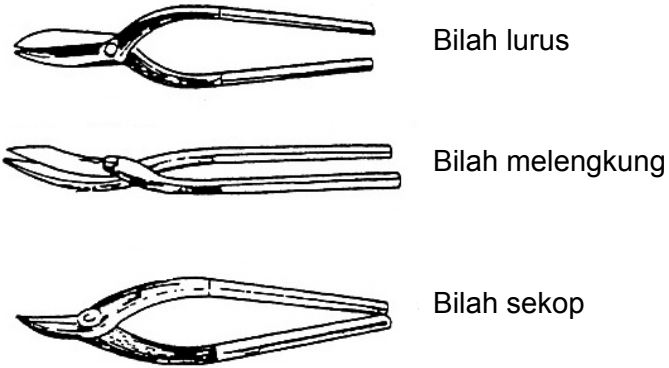
(b) Palu tempa datar

**Gambar I.56 Palu tempa**

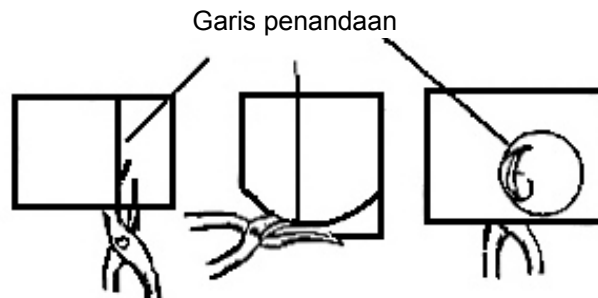
### 21. Gunting plat tipis

Alat ini paling sering digunakan sebagai peralatan tangan untuk memotong pelat metal. Gunting jenis bilah lurus digunakan untuk memotong lurus atau kurva beradius besar. Gunting jenis bila melengkung digunakan untuk memotong lurus atau lengkung. Gunting jenis bilah sekop digunakan untuk memotong melingkar atau membuat lubang pada pelat.





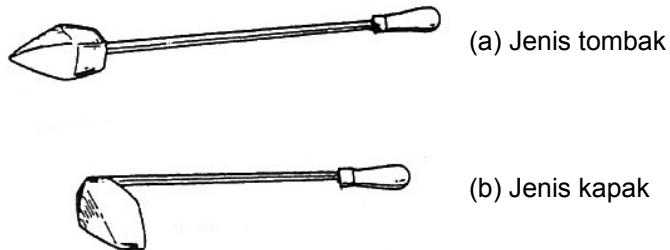
Gambar I.57 Gunting plat tipis



Gambar I.58 Pemotongan dengan gunting

**22. Besi solder**

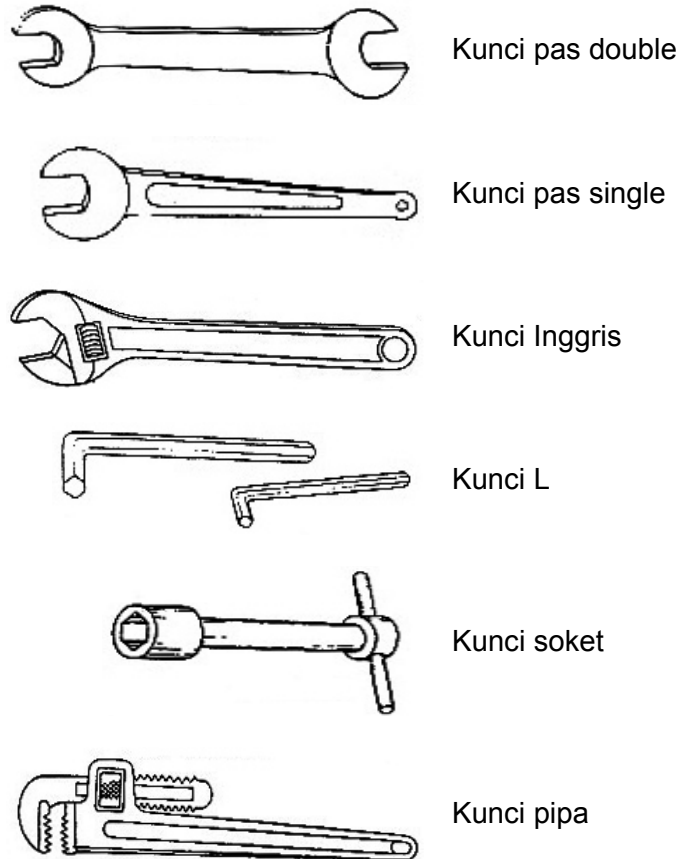
Alat ini digunakan untuk menyolder. Diantara besi solder terdapat besi listrik dan besi gas, disamping besi pembakar yang ditunjukkan dalam gambar. Ukurannya dinyatakan berdasarkan berat kepalanya. Yang biasanya digunakan untuk menggalvanis lembaran besi adalah yang berukuran 250 – 300 gr.



Gambar I.59 Besi solder

### 23. Kunci pas

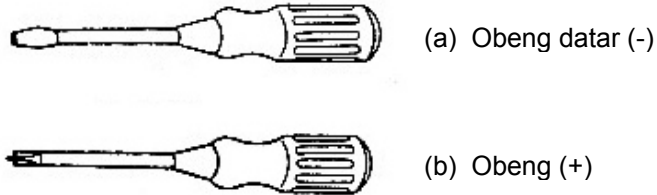
Alat ini digunakan untuk mengencangkan atau mengendurkan baut dan mur. Kunci L digunakan untuk mengencangkan atau mengendurkan baut dengan lubang hexagonal. Kunci soket digunakan untuk mengencangkan atau mengendurkan mur dan baut di tempat yang sempit dimana kunci pas tidak dapat digunakan. Kunci pipa digunakan untuk menjepit sisi luar pipa atau batangan dan memutarinya dengan kuat.



**Gambar I.60 Jenis – jenis kunci**

### 24. Obeng

Alat ini terutama digunakan untuk mengencangkan atau mengendurkan sekrup kepala bercelah. Ukuran dari alat ini dinyatakan dengan panjang keseluruhannya.



**Gambar I.61 Obeng**

## 25. Tang potong

Alat ini terutama digunakan untuk menekuk dan memotong kawat tembaga atau kawat besi.

- Tang potong berukuran 150 mm dapat memotong kabel listrik berdiameter dibawah 2,6 mm
- Tang ukuran 180 mm untuk memotong kabel diameter di bawah 3,2
- Tang ukuran 200 mm untuk memotong kabel diameter di bawah 4,0 mm.



**Gambar I.62 Tang potong**

## 26. Tang

Alat ini digunakan untuk mengencangkan dan mengendurkan sekrup. Tang ini untuk menahan benda panas dimana tang datar berukuran kecil dapat digunakan.



**Gambar I.63 Tang**

## 27. Tang catok

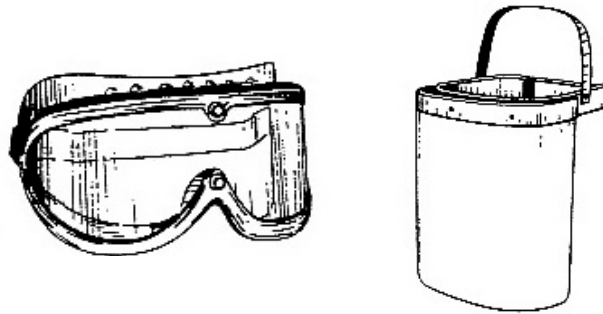
Alat ini digunakan untuk menahan bagian yang akan disambung secara sementara dan mengencangkannya ketika memasangnya. Alat ini memiliki dua fungsi yaitu sebagai tang dan ragum tangan, hal ini adalah alasan mengapa alat ini disebut tang jepit.



**Gambar I.64 Tang catok**

**28. Kacamata pelindung (pelindung debu)**

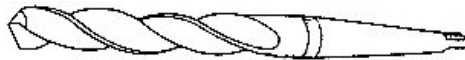
Alat ini digunakan untuk melindungi mata atau wajah pada saat pekerjaan pemesinan atau pengoperasian gerinda dan gerinda sudut. Beberapa gerinda memiliki kaca pelindung sendiri.



**Gambar I.65 Kacamata pelindung debu**

**29. Bor**

Alat ini digunakan untuk membuat lubang pada benda kerja. Terdapat bor datar dan bor khusus disamping bor pilih seperti ditunjukkan pada gambar disini. Mata bor miring dibuat mengikuti kode kemiringan, dimana penggunaannya dengan menyisipkan ke dalam lubang dari sumbu utama secara langsung atau dengan menggunakan sleeve atau soket. Mata bor lurus digunakan untuk membuat lubang berdiameter di bawah 13 mm yang ditahan dengan chuck bor.



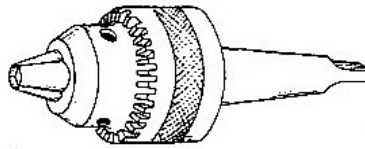
**Gambar I.66 Bor dengan mata bor miring**



**Gambar I.67 Bor dengan mata bor lurus**

**30. Cekam bor**

Alat ini dipasang pada sumbu utama dari penekan bor, mesin bubut atau gerinda listrik dan terutama digunakan untuk menahan mata bor lurus. Dalam pengoperasian mesin bubut, alat ini dimasukkan ke tailstock.



**Gambar I.68 Cekam bor**

**31. Sleeve / lengan penghubung**

Alat ini merupakan peralatan tambahan, digunakan apabila mata pisau dari peralatan dan lubang dari sumbu utama mesin tidak cocok satu sama lain.



**Gambar I.69 Sleeve / lengan penghubung**

**32. Soket**

Alat ini digunakan ketika panjang sumbu utama dari mesin tidak cukup atau peralatan sering diganti.



**Gambar I.70 Soket**

**33. Drift / pasak**

Alat ini digunakan untuk mengeluarkan alat seperti bor dari soketnya, sleeve atau sumbu utama dari mesin bor.

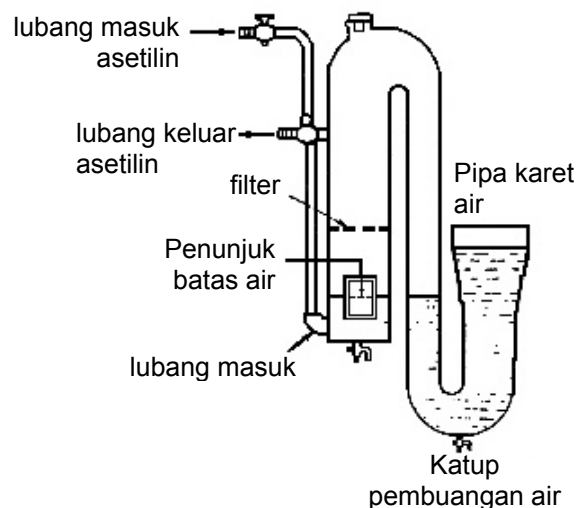


**Gambar I.71 Drift / pasak**

### 34. Peralatan keamanan (jenis penyekat dengan air)

Alat ini digunakan untuk mencegah meledaknya atau alat pembuat gas asetilin karena aliran balik atau api balik dalam pengoperasian pengelasan. Peralatan keamanan penyekat dengan air dari tipe tekanan rendah ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Disamping itu, terdapat tipe tekanan menengah. Struktur dan standar peralatan keamanan water seal :

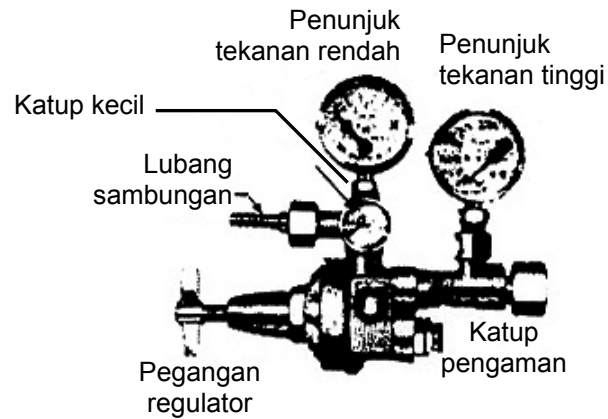
- Bagian utama dibuat dari pelat atau pipa baja dengan ketebalan 2 mm dan mencegah peledakan
- Arus atau api balik dari gas harus benar – benar dihindari dengan menggunakan penyekat type penyekat dengan air.
- Tabung air yang efektif seharusnya diatas 25 mm untuk pengamanan tekanan rendah dan kerataan air seharusnya dibuat semudah mungkin untuk dapat dikontrol dan diatur.



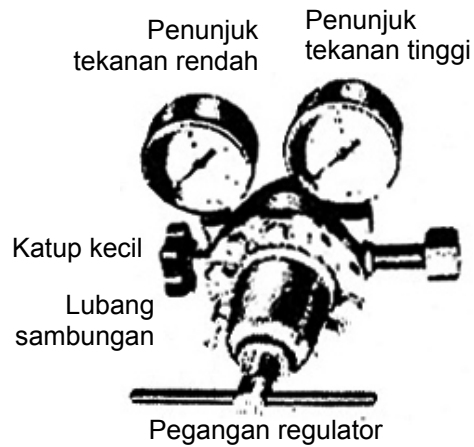
**Gambar I.72 Alat penyekat dengan air**

### 35. Regulator Oksigen

Alat ini mengurangi tekanan oksigen dari botol oksigen ke alat pengelasan. Regulator distandarisasi oleh JIS 6803. Regulator oksigen terdapat jenis regulator Jerman dan jenis regulator Perancis, dan diklasifikasikan dari no. 1 sampai 4. Tekanan oksigen pada botolnya adalah  $150 \text{ kg/cm}^2$  pada suhu  $35^\circ \text{C}$ .



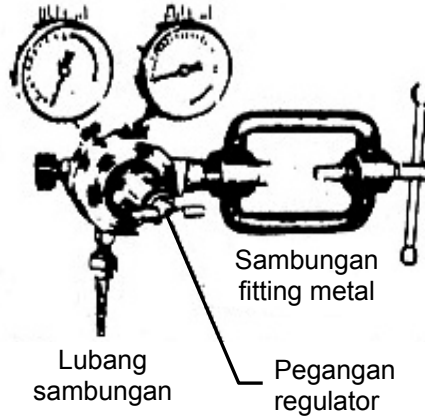
**Gambar I.73 Regulator oksigen (tipe Jerman)**



**Gambar I.74 Regulator oksigen (tipe Perancis)**

**36. Regulator Asetilin**

Alat ini mengurangi tekanan dari asetilin yang keluar ke alat / piranti pengelasan. Tekanana dari asetilin yang keluar adalah dibawah  $15,5 \text{ kg/cm}^2$  pada suhu  $15^0 \text{ C}$ .



**Gambar I.75 Bagian regulator asetilin**

**37. Tabung penyalur**

Alat ini digunakan untuk menyalurkan gas dari alat pemroduksi asetilin atau dari botol oksigen ke torch. Sebuah ban selang digunakan untuk mengencangkan sambungan antara selang karet dan alat pemroduksi gas, regulator atau torch. Tabung baja dapat juga digunakan, tetapi tabung tembaga tidak dapat digunakan. Untuk selang karet, dipilih karet yang kualitasnya bagus, yang fleksibel dan menjamin kelangsungan operasional tekanan, gesekan, kejutan mekanis dan percikan bunga api secara maksimal.

Jangan pernah menggunakan kawat las untuk menggantikan ban / gelang selang.



(a) Selang karet untuk oksigen (hitam)



(b) Selang karet untuk asetilin (merah)



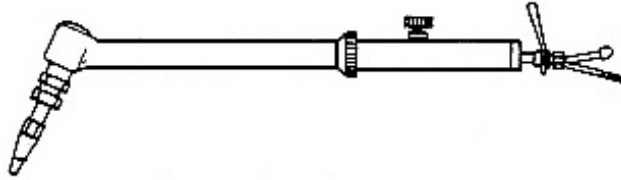
(c) Ban selang

**Gambar I.76 Tabung penyalur**



### 38. Torch tekanan rendah

Nyala api bersuhu tinggi yang digunakan untuk pengelasan dan pemanasan, diproduksi dengan menyalakan gas oksigen dan asetilin yang dipertemukan melalui tabung penyalur dan dicampur serta disemprotkan melalui torch ini.



Gambar I.77 Torch tekanan rendah

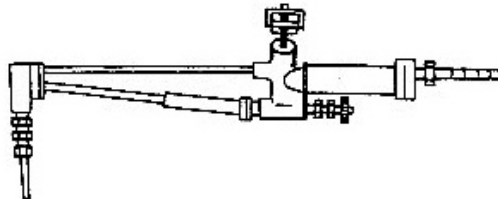
Tabel I.7 Perbedaan antara jenis tekanan tetap dan jenis tekanan variabel

Item \ Tipe	Jenis tekanan tetap	Jenis tekanan variabel
Jenis	Jenis Jerman A	Jenis Perancis B
Katup jarum	Tidak ada	Ada
Pengaturan oksigen	Dengan regulator oksigen	Dapat dilakukan dengan katup jarum dari torch
Ukuran torch	Ketebalan dari pelat baja yang dapat dilas	Banyak asetilin yang dikonsumsi dalam sejam

Torch bertekanan menengah digunakan untuk memproduksi asetilin dari alat pemroduksi gas asetilin bertekanan menengah 0,07 – 0,4 kg/cm<sup>2</sup> atau dissolve asetilin.

**40. Brander potong dengan gas (jenis Perancis)**

Alat ini digunakan untuk memotong baja dengan membuat reaksi kimia yang cepat antara baja panas dan oksigen, sebagai contoh pembakaran baja. Terdapat torch pemotongan gas tipe Jerman dan tipe Perancis seperti halnya pada torch las. Pada torch pemotongan gas tipe Perancis terdapat tipe no. 1, no. 2 dan no. 3, masing – masing disertai dengan nosel no. 1, 2 atau 3.



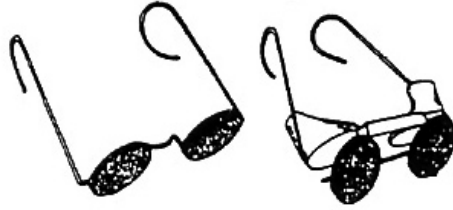
**Gambar I.78 Brander potong dengan gas (jenis Perancis)**

**Tabel I.8 Ketebalan nosel dan pelat**

Torch	Nosel	Ketebalan pelat yang akan dipotong
1	1	1 – 7
	2	5 – 15
	3	10 – 30
2	1	3 – 20
	2	5 – 50
	3	40 – 100
3	1	50 – 120
	2	100 – 200
	3	180 – 260

**41. Kacamata pelindung (untuk las)**

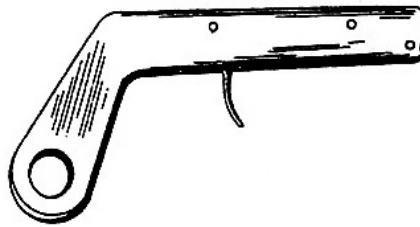
Alat ini digunakan untuk melindungi mata saat operasional / pengelasan gas pelaksanaan. Terdapat kacamata dari berbagai bentuk dan warna.



**Gambar I.79 Kacamata pelindung untuk las**

**42. Korek / pematik**

Alat ini digunakan untuk menyalakan torch. Jangan pernah menggunakan api telanjang untuk penyalaan. Terdapat berbagai jenis pematik.

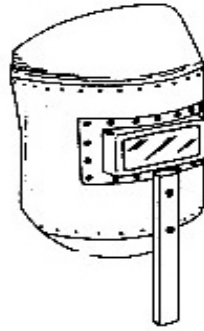


**Gambar I.80 Korek / pematik**

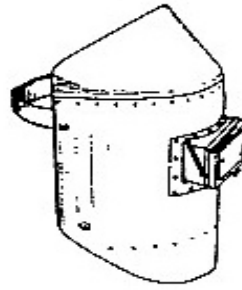
**43. Peralatan pelindung untuk operator las**

Busur listrik menghasilkan cahaya dan panas yang kuat, bermacam – macam peralatan yang disyaratkan untuk melindungi operator las. Helm las atau kap las tangan dilengkapi dengan kacanya untuk melindungi mata dari cahaya yang kuat. Sepatu keska, selubung tangan dan sarung tangan dari kulit untuk mencegah panas atau melindungi dari arus listrik.

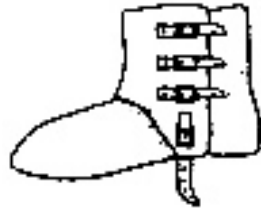
Peralatan pelindung sangat efektif untuk melindungi pembakaran terhadap baju dan badan operator las selama pengelasan berlangsung. Helm las digunakan pengelasan yang tidak memungkinkan menggunakan kap las tangan dan digunakan untuk pengelasan posisi vertikal atau pengelasan diatas kepala. Kap las tangan digunakan ketika mengelas datar atau pengelasan sambungan tumpul jika diperlukan.



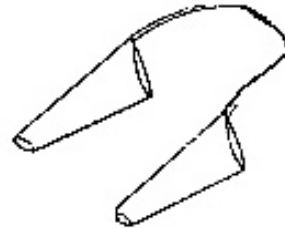
**Gambar I.81 Kap las tangan**



**Gambar I.82 Helm las**



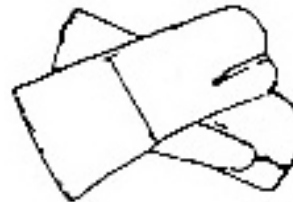
**Gambar I.83 Sepatu keska**



**Gambar I.84 Selubung tangan las**



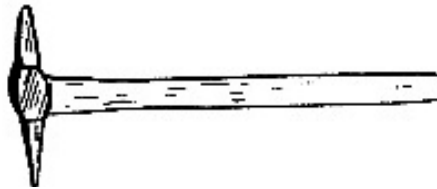
**Gambar I.85 Apron /  
pelindung dada**



**Gambar I.86 Sarung  
tangan**

**44. Palu tetek**

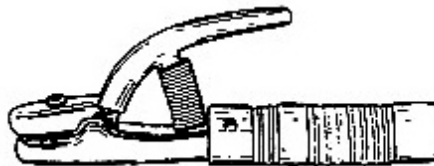
Alat ini digunakan untuk membersihkan bagian dari yang dilas atau menghilangkan terak. Alat ini juga disebut "Palu terak" atau "Palu tetek". Utamanya digunakan untuk menghilangkan terak. Sikat baja juga selalu digunakan untuk pembersihan.



**Gambar I.87 Palu tetek**

**45. Stang las untuk Las Busur Listrik**

Alat ini digunakan untuk memegang elektrode las dengan menggunakan stang pengaman. Diusahakan stang yang ringan dan bermutu baik.



**Gambar I.88 Stang las untuk Las Busur Listrik**

## I.4 PEMOTONGAN

Jika sebuah struktur dibuat, prosedur pertama adalah pemotongan material dan ada beberapa metode pemotongan. Tenaga mekanis digunakan untuk pengguntingan dan penggergajian, dan sumber panas temperatur tinggi untuk pemotongan dengan gas dan mesin potong busur plasma. Berbagai macam teknik pemotongan digunakan dalam sehari-harinya, tergantung dengan kebutuhannya, misalnya seperti kapasitas pemotongan, jenis material yang dipotong, akurasi pemotongan, kualitas permukaan potong, kemampuan operasinya, efisiensi biaya dan faktor keamanan.

Sumber energi panas yang digunakan untuk pemotongan termal termasuk reaksi oksidasi, energi listrik, energi sinar dan kombinasi dari tersebut diatas. Bagaimanapun juga pemotongan termal sangat jarang digunakan hanya dengan energi termal saja. Sebagian besar dari potong termal dilakukan dengan pemanasan bagian logam yang dipotong dan peniupan terak yang timbul sebagai hasil dari pemotongan oleh gas. Energi hidrodinamik dari gas adalah sangat penting.

Kita menyimpulkan disini bahwa prinsip-prinsip dan gambaran dari ① pemotongan gas, ② pemotongan busur plasma dan, ③ pemotongan sinar laser yang mana semua ini paling praktis dan sangat luas penggunaannya diantara berbagai metode potong termal temperatur tinggi.

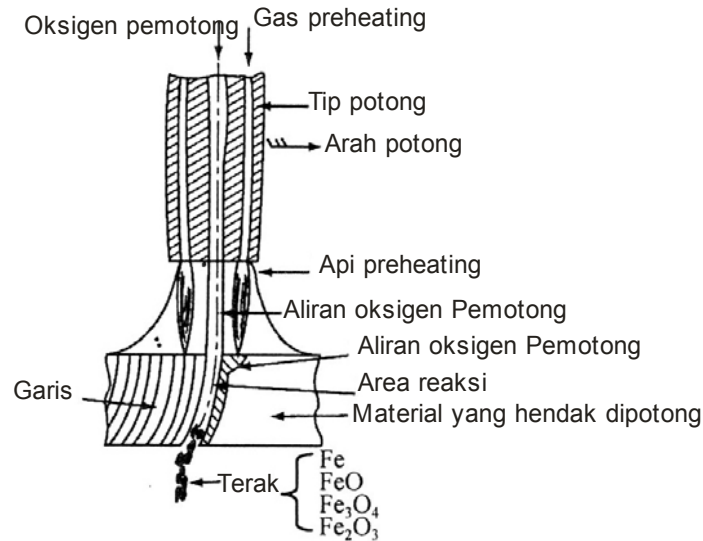
### I.4.1 Pemotongan Gas

Bila metode pemotongan gas dipertimbangkan, kita selalu membayangkan pada pemotongan baja. Metode yang memanfaatkan sifat reaksi oksidasi yang dimiliki oleh baja adalah sederhana dan populer. Fenomena (gambaran) tentang kawat panas yang membara mulai terbakar hebat dengan nyala putih terang dalam oksigen telah ditemukan oleh seorang ahli kimia Perancis yang bernama Lavoisier pada tahun 1776. Tetapi baru tahun 1900-an teknik pemotongan gas mulai diperkenalkan. Walaupun saat ini teknik pemotongan termal menggunakan berbagai tipe energi telah dikembangkan, teknik ini tetap menjadi salah satu yang penting untuk pemotongan bahan baku material untuk pembuatan jembatan-jembatan dan konstruksi-konstruksi baja termasuk juga bangunan kapal.

#### I.4.1.1 Prinsip pemotongan gas

Pemotongan gas menggunakan reaksi panas oksidasi dengan asetilen atau gas LPG sebagai gas pembakar dan oksigen untuk gas pendukung proses pembakaran.

Walaupun seperti yang terlihat pada gambar I.89, pada kenyataannya bagian dari besi atau baja diberi pemanasan awal dengan nyala api pemanasan awal sampai titik bakar (sekitar 900°C) awalnya, dan kemudian oksigen murni tekanan tinggi ditiupkan langsung pada pusat (tengah-tengah) api preheating ke logam induk, mencairkan daerah tiup dan memisahkan oksida besi hasil pembakaran yang disebut slag (terak). Jadi pemotongan terus menerus membuat galur untuk melengkapi pemotongan dengan gas. Adanya pemotongan oksigen ini menjadi sangat penting.

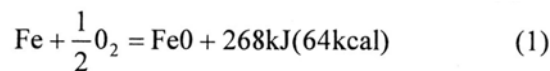


**Gambar I.89 Prinsip pemotongan gas**

Pemotongan gas memanfaatkan aliran dari oksigen potong. Dengan kata lain, terdiri dari kegiatan (aksi) :

- (a) Pembakaran besi atau baja dengan menggunakan fungsi penunjang pembakaran dari oksigen, dan
- (b) Aksi energi kimia dan energi mekanikal yang meniup terak (slag).

Jika besi dan baja bereaksi dan terbakar membentuk oksida besi, tiga rumusan berikut mengatur bentuk oksidasi.



Tabel I.9 Nilai kalori dari oksida besi

Oksida	Nilai kalori Kilo-joule/cm <sup>3</sup>	Kilo-joule/cm <sup>3</sup>
FeO	4.77	37.7
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	6.57	51.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.07	55.9

Nilai kalori dari panas ditimbulkan dengan reaksi oksidasi dari 1 gram besi diperlihatkan pada tabel I.1. Dengan kata lain, panas yang disyaratkan untuk meleburkan 1 gram besi hanya 0,84 kJ. Walaupun hanya FeO yang ditimbulkan oleh reaksi, nilai kalori dari panas yang ditimbulkan adalah sebanding dengan 5 kali panas yang disyaratkan untuk pemanasan yang nilainya sama dari besi terbakar sampai dengan titik leburnya. Pembakaran yang hebat dari kawat panas membara ( besi ) dalam lingkaran yang mengandung oksigen, jadi timbulnya nilai kalori panas yang sangat besar yang disebabkan oleh oksidasi dari besi seperti yang diindikasikan dalam tabel.

#### I.4.1.2 Kondisi untuk melakukan pemotongan dengan gas

Kondisi-kondisi pemotongan dengan menggunakan gas oksigen adalah sebagai berikut :

- Temperatur lebur dari oksida logam yang menutupi permukaan dari logam induk harus dibawah titik lebur logam induk.
- Temperatur pembakaran dari logam induk harus dibawah titik lebur dari oksida logam tersebut diatas.
- Cairan dari terak (hasil dari pembakaran) harus cukup bagus sehingga terak (slag) dapat dibuang dengan mudah dari logam induk.
- Substansi (bahan) yang tidak terbakar pada logam induk harus diminimalisir.

Logam yang mempunyai nilai kalori dari oksidasi rendah atau konduktivitas termalnya tinggi tidak dapat dipotong dengan pemotongan gas.

Metode ini dipakai hanya untuk besi atau baja karbon rendah dan mempersyaratkan khusus untuk memotong baja tahan karat, aluminium (campuran) atau besi. Pemotongan busur plasma dipakai untuk mengatasi permasalahan yang tidak dapat dilakukan dengan menggunakan pemotongan dengan gas .

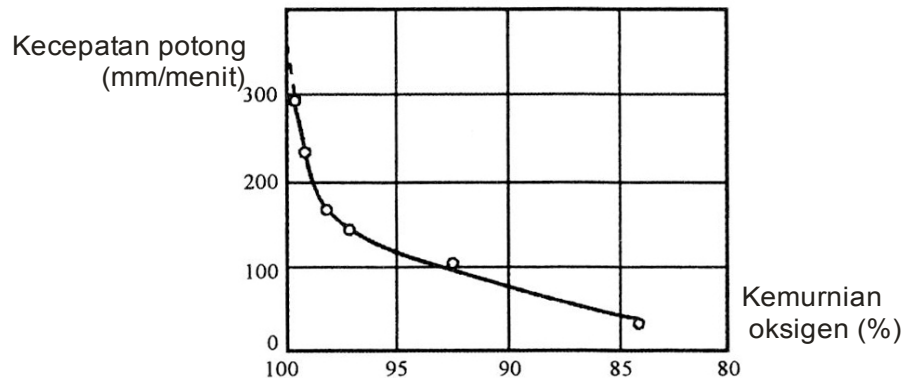


### I.4.1.3 Kemurnian oksigen yang digunakan untuk pemotongan gas

Kecepatan potong dan kemurnian oksigen sangat erat hubungannya satu sama lain dalam pemotongan gas. Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar I.2, kecepatan potong turun seiring dengan penurunan kemurnian oksigen; penurunan 1% kemurnian oksigen menyebabkan penurunan kecepatan potong sekitar 25% dan penurunan konsumsi oksigen sekitar 25%.

- Penurunan kemurnian oksigen menyebabkan :
- (a) Waktu untuk memulai menjadi lebih lama
  - (b) Permukaan potong lebih kasar
  - (c) Pembuangan terak (slag) dari permukaan lebih sukar
  - (d) Alur potong (Kerf) lebih lebar

Oleh sebab itu, kemurnian oksigen harus tinggi. Semenjak telah dimungkinkan untuk mendapatkan oksigen dengan kemurnian lebih dari 99,8%, hal tersebut tidak lagi menjadi masalah yang serius. Bagaimanapun juga, selama pengoperasian yang sebenarnya kemurnian dapat turun karena oksigen yang keluar dari tip mungkin tercampur dengan gas disekitarnya termasuk udara sebelum mencapai daerah pemotongan seperti yang terlihat pada Gambar I.90. Walaupun nyala pemanasan awal membantu menjaga kemurnian oksigen, sebuah selubung tip dengan tambahan lubang suplai oksigen seputar lubang potong oksigen dapat membantu pelaksanaan pemotongan dengan oksigen.



**Gambar I.90 Pengaruh kemurnian oksigen pada kecepatan potong (Standar drag 0, tebal plat 50 mm)**

#### I.4.1.4 Konsumsi oksigen potong

Secara perhitungan pendekatan (empiris), bila sebuah plat yang akan dipotong tebal maka digunakan tekanan oksigen yang lebih tinggi. Meskipun kecepatan pancaran oksigen naik bersama dengan tekanan, kenaikan berhenti dan kecepatan menjadi tetap pada sebuah titik yang ditentukan oleh bentuk konfigurasi internal tip. Dengan bentuk tip yang lurus konvensional, bentuk ini baik & kuat. Jika tekanan dinaikkan dengan tidak semestinya, energi tekanan menyebabkan aliran pancaran jet oksigen berkembang dalam bentuk getaran dan tidak berubah ke energi kinetik yang diperlukan untuk pemotongan gas. Kenaikan tekanan tidak akan berguna dan dapat menyebabkan gelombang kejut pada pancaran oksigen, secara cepat menghilangkan energi kinetik.

Lubang penghembus (pemancar) oksigen dengan diameter yang lebih besar akan lebih baik untuk pemotongan logam induk yang lebih tebal dengan kecepatan potong yang lebih tinggi. Dikatakan, kenaikan diameter lobang tip akan menaikkan konsumsi oksigen dan juga kapasitas pemotongan. Kenaikan tekanan oksigen akan menaikkan konsumsi oksigen pemotongan. Walaupun kenaikan tekanan itu sendiri pada akhirnya menyebabkan efek yang lebih buruk yang dikarenakan oleh turbulensi dari aliran pancaran oksigen. Jika tekanan oksigen harus dinaikkan, sebuah bentuk cuncum potong / tip potong yang berbeda harus digunakan untuk menyesuaikan masing-masing tekanan suplai oksigen.

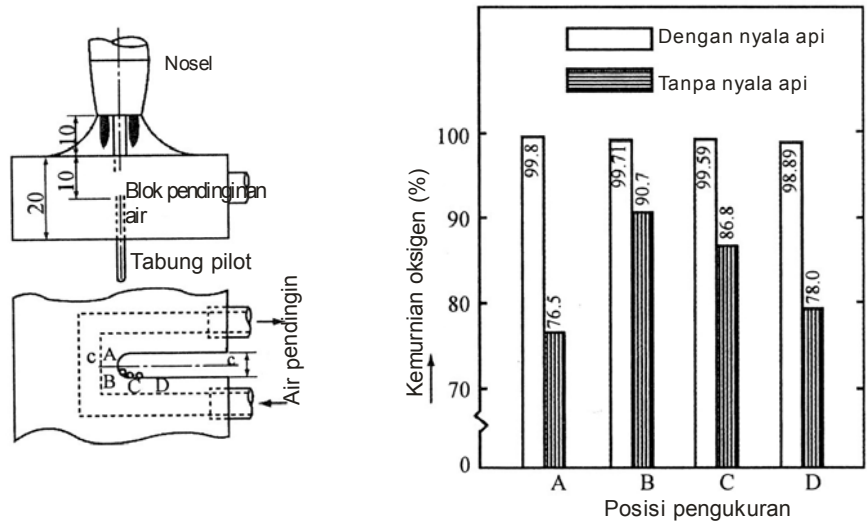
#### I.4.1.5 Peran nyala pemanasan awal (preheating)

Pada prinsipnya, sekali pemotongan gas dimulai, selanjutnya operasi pemotongan hanya dengan menghembuskan oksigen potong.

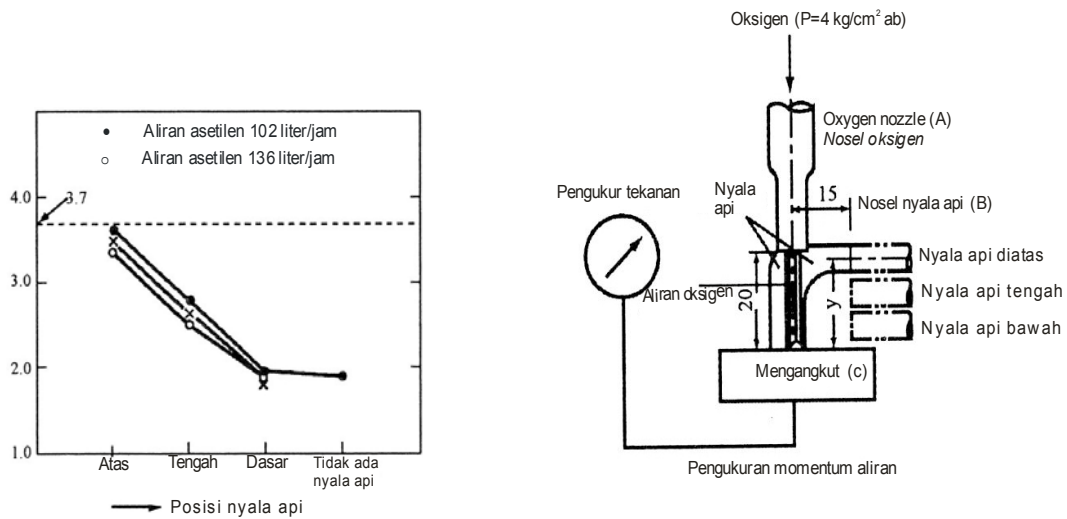
Pada kenyataannya, pemanasan dengan nyala pemanasan awal diperlukan untuk memudahkan pemotongan, untuk mengganti panas yang diradiasikan ke udara maka cuncum potong, ditujukan ke logam induk untuk membuang terak alur potong (kerf.)

Fungsi dari nyala preheating adalah sebagai berikut :

- (a) Untuk pemanasan logam induk sampai ke temperatur nyala, bila pemotongan akan dimulai.
- (b) Menjaga kemurnian oksigen (Gambar I.91 menunjukkan perbedaan hasil dengan atau tanpa nyala preheating)
- (c) Menyiapkan arah pemancaran oksigen untuk pemotongan (Gambar I.92 )menunjukkan bahwa efek paling besar bila nyala preheating paling dekat dengan tip potong, dan efeknya menurun dengan bertambahnya jarak dari tip potong
- (d) Mengaktifkan permukaan plat baja sehingga membuat pemotongan awal lebih mudah
- (e) Menaikkan kualitas permukaan potong



**Gambar I.91 Efek perlakuan oksigen dari nyala preheating**



**Gambar I.92 Efek nyala preheating pada saat oksigen potong dinyalakan**

#### I.4.1.6 Gas bakar untuk nyala pemanasan awal (preheating)

Gas bakar yang digunakan untuk nyala pemanasan awal (preheating) termasuk LPG yaitu asetilen, propilen, gas propan, campuran asetilen dan LPG dan gas-gas pembakar lainnya seperti LNG dan hidrogen.

Bila memilih gas bakar, faktor-faktor berikut ini harus diperhatikan untuk mempertimbangkan antara konsumsi dan biaya :

- (a) Temperatur nyala dan kemampuan konsentrasinya
- (b) Berat jenis (specific gravity) dari gas, temperatur penyalaan, keamanan dalam hal batas-batas peledakan
- (c) Effisiensi secara ekonomis

#### I.4.1.7 Kualitas pemotongan dengan gas

Kualitas permukaan potong dapat ditentukan pada 8 kriteria sebagai berikut :

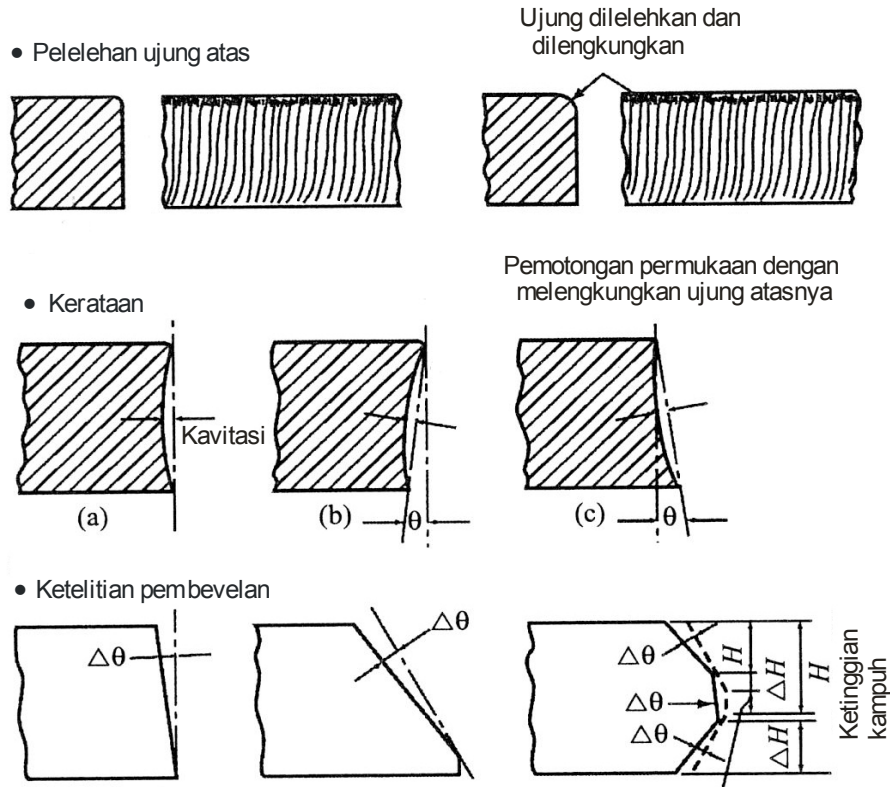
- ① Pelelehan pada tepi atas
- ② Kerataan
- ③ Kekasaran permukaan
- ④ Cerukan atau galur
- ⑤ Akurasi bevel misalnya sudut bevel dan dalamnya galur bila dibuat galur
- ⑥ Kelurusan
- ⑦ Kondisi melekatnya terak segera setelah pemotongan
- ⑧ Panjang drag.

Kriteria ④, ⑤, ⑥, dan ⑧ dapat dinilai secara numerik. Oleh karena itu, kriteria ①, ②, ③, dan ⑦ sukar untuk dinilai dengan angka di lapangan, maka dinilai menggunakan model pola standar. Standar Asosiasi Pengelasan Jepang telah membuat standar (WES 2801-1980) untuk menentukan kualitas dari permukaan pemotongan dengan gas.

Kualitas permukaan pemotongan dengan gas yang baik dipengaruhi oleh

- (a) Kecepatan potong
- (b) Tekanan oksigen potong
- (c) Kekuatan nyala pemanasan awal (preheating)
- (d) Jarak antara tip dengan material yang dipotong dan kebersihan dari tip (cuncum potong)

Pada hampir semua kegiatan setelah pemotongan dilanjutkan dengan pengelasan. Bila telah terjadi retak dan lubang-lubang keropos maka dapat dihilangkan dengan pelelehan ulang. Untuk menghindari cacat las maka terak dan kotoran percikan harus dihilangkan dari permukaan potong, dengan demikian akan mempermudah proses pengelasan.



**Gambar I.93 Faktor-faktor yang menentukan kualitas pemotongan permukaan**

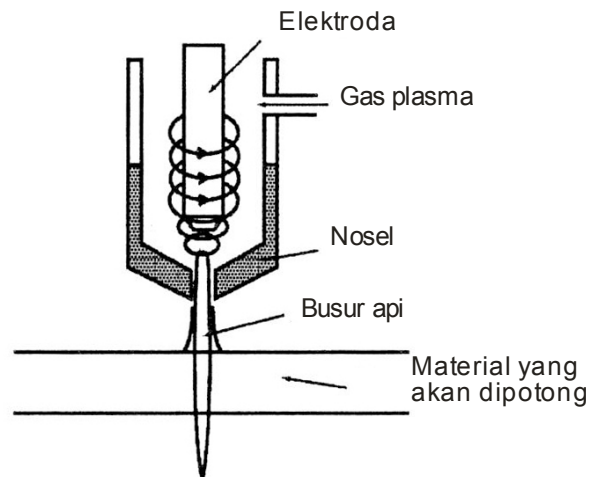
## I.4.2 Pemotongan Busur Plasma

Pemotongan dengan gas yang telah dibahas sebelumnya digunakan dan dikembangkan untuk baja karbon rendah misalnya baja lunak. Sebaliknya, pemotongan busur plasma digunakan dan dikembangkan untuk memotong baja tahan karat dan logam non besi seperti aluminium (campuran) yang relatif sukar diproses dengan pemotongan gas antara lain karena masalah-masalah kualitas.

### I.4.2.1 Prinsip pemotongan busur plasma

Ketika temperatur gas naik, atom-atom didalam gas terionisasi oleh aktivitas panas dan dipisah menjadi elektron bermuatan negatif (-) dan ion muatan positif (+) dan masuk dalam kondisi gerak aktif. Kondisi ini disebut sebagai plasma. Plasma secara elektrik berada dalam kondisi netral. Jadi semakin tinggi temperatur, gerakan termal atom-atom tersebut menjadi semakin aktif, sehingga lebih memudahkan arus mengalir dan temperatur gas menjadi lebih tinggi disebabkan oleh kenaikan energi.

Bila udara dalam kondisi plasma ini disuplai energi listrik untuk membentuk sebuah kolom busur dan daerah disekitarnya didinginkan, arus tidak bisa mengalir dengan mudah pada lingkungan/kondisi dingin disebabkan oleh naiknya tahanan listrik, sehingga arus terkonsentrasi ke daerah busur di pusat nyala api; semua ini menaikkan temperatur daerah tersebut.



**Gambar I.94 Pemotongan busur plasma**

Kolom busur nyala pada bagian pusat/sumbunya terjadi lebih sempit oleh efek jepitan panas (thermal pinch effect) membentuk sebuah busur plasma dengan temperatur setinggi  $2000^{\circ}$  -  $3000^{\circ}$  C.

Ketika busur plasma menyempit pada nozzle, busur plasma tersebut menjadi panas dan sempit. Karena bagian panas dan sempit dari busur tersebut dapat melelehkan benda kerja dengan sangat mudah, busur plasma dapat digunakan untuk memotong.

Sementara pemotongan gas memotong dengan aksi kimia menggunakan reaksi oksidasi metal, busur plasma adalah pemotongan secara fisik yang memotong benda kerja menggunakan plasma bertemperatur sangat tinggi. Benda kerja dilelehkan dengan menggunakan energi dari busur plasma dan daerah yang meleleh dihembus oleh aliran gas plasma berkecepatan tinggi untuk melengkapi proses pemotongan.

Kecepatan aliran gas plasma yang tipis dan mengecil dari torch standar dengan tinggi 6 - 10 mm sebesar 2000 m/detik.

## I.4.2.2 Mesin potong busur plasma

Tabel I.10 Konstruksi mesin potong busur plasma

Komponen Sistem	Fungsi
Sumber tenaga DC	Merubah arus AC menjadi arus DC. Diode silikon umumnya digunakan dalam bentuk kombinasi dengan sistem kontrol pembalik pada peralatan penyearah, meskipun thyristor digunakan dalam bentuk kombinasi dengan sistem kontrol arus ketika arus menjadi besar.
Pengionisasi frekuensi tinggi	Menimbulkan plasma. Mampu menimbulkan beberapa ribu volt frekuensi tinggi
Alat penyuplai gas	Memberikan gas yang digunakan untuk pemotongan busur plasma. Umumnya menggunakan gas Ar, N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> atau udara.
Alat pendingin	Memberikan air pendingin untuk melindungi torch plasma dari panasnya plasma.
Torch plasma	Menimbulkan busur plasma diantara material yang akan dipotong.
Alat pengontrol	Menimbulkan busur untuk pemotongan busur plasma dan untuk mengontrol gas dan air untuk pendinginan.

Tabel I.10 menunjukkan struktur dasar dari mesin. Pemotongan bisa dilakukan secara manual, tetapi pada umumnya dilakukan pada sebuah mesin otomatis atau mesin yang dikombinasi dengan peralatan Numeric Control (NC), dengan pertimbangan peningkatan kualitas permukaan potong dan efisiensi operasional. Sumber tenaga DC yang mempunyai penurunan atau karakteristik arus yang rendah digunakan sebagai pensuplai tenaga. Tegangan tanpa beban 200 - 400 V disyaratkan untuk merubah gas orifice (mulut lubang) menjadi gas plasma yang digunakan untuk operasi pemotongan. Tegangan (voltage) dalam kondisi terbeban adalah sekitar 100 - 180 Volt.

### **I.4.2.3 Gas Plasma (Gas orifice )**

Untuk memudahkan penyiapan busur plasma dan menaikkan efek peruncingan panas (thermal), gas yang digunakan untuk pengoperasian harus mempunyai kemampuan pendinginan yang tinggi. Nitrogen, Oksigen atau Udara digunakan salah satu. Jika Argon yang digunakan, hidrogen atau nitrogen salah satu yang digunakan atau keduanya sebagai gas campuran. Gas-gas tersebut dapat digunakan untuk pemotongan logam; namun gas orifice yang digunakan harus dipilih sesuai dengan jenis material dan ketebalan plat.

### **I.4.2.4 Gas plasma dan material elektroda**

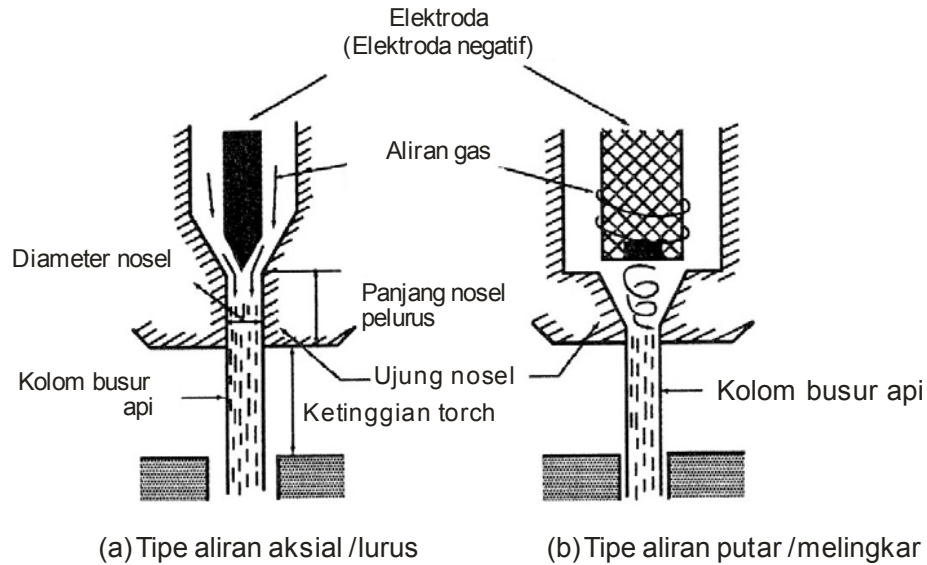
Material yang digunakan untuk elektroda adalah tungsten, hafnium atau sirkon. Hafnium atau sirkon digunakan untuk logam murni, tetapi tungsten yang digunakan dipadu dengan 2% thorium, lanthanum atau lithium oksida. Jika oksigen atau udara yang digunakan sebagai gas orifice, hafnium atau sirkon yang mempunyai titik leleh tinggilah yang digunakan, tetapi jika gas tidak mengandung oksigen, tungsten harus digunakan untuk elektrode. Elektrode logam hafnium mempunyai umur pakai yang panjang dibandingkan dengan logam sirkon.

### **I.4.2.5 Metode pemasokan gas orifice**

Gas orifice dipasang dalam bentuk sistem aliran aksial yang mana gas mengalir secara paralel ke elektroda atau dalam bentuk sistem aliran pusaran yang mana aliran gas berbentuk spiral. Pada sistem aliran aksial digunakan elektroda tungsten dengan ujung runcing. Sementara busur timbul pada ujung elektroda, stabilitasnya dapat dipertahankan. Sebagaimana elektroda yang runcing telah digunakan, sistem ini digunakan untuk torch yang arusnya sampai dengan sekitar 250 Ampere. Pada sistem aliran yang berputar, digunakan elektroda yang mempunyai ujung rata yang diisi dengan hafnium atau sirkon.

Pada kasus ini elektroda harus dipasang pada titik dimana busur ditimbulkan. Dengan tipe aliran berputar, semua ini disiapkan juga sehingga busur dipancarkan dari pusat elektroda dimana aliran gas dalam hal ini paling rendah. Semua ini untuk menjaga putaran dari gas dalam nosel dan dipertahankan pada pusat sumber busur plasma. Strukturnya juga diikuti dengan elektroda yang didinginkan secara efektif dengan cara penghantaran. Untuk pengoperasian pada arus yang besar, tetapi seluruh elektroda harus diganti bila telah aus.





**Gambar I.95 Bentuk elektroda dan sistim suplai gas orifice**

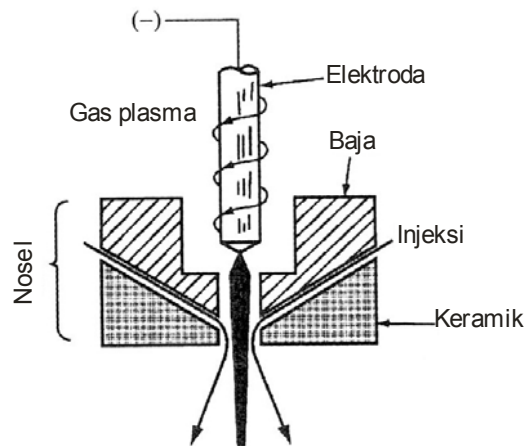
**I.4.2.6 Klasifikasi metoda pemotongan dengan busur plasma**

Tabel I.11. menunjukkan klasifikasi sesuai dengan tipe gas orifice, material yang akan dipotong dan ciri - ciri keistimewaannya.

- (a) Metode pemotongan busur udara plasma menggunakan oksidasi gas kebanyakan digunakan untuk pemotongan baja lunak, sebagai pengoksidaan besi dengan oksigen dalam udara mengikuti pengoperasian tanpa ada yang terbuang. Walaupun lapisan nitrit muncul pada permukaan potong oleh gangguan nitrogen diudara akan menyebabkan lubang-lubang cacing yang timbul pada pengoperasian pengelasan lain-lain jika material dilas tanpa adanya perlindungan. Problem-problem ini dapat dihindari dengan menghaluskan permukaan dengan menggunakan gerinda.
- (b) Pemotongan busur plasma oksigen dapat menghindari problem-problem ini dan telah dimungkinkan digunakan dengan mengembangkan elektroda hafnium yang mana menggunakan sangat sedikit udara atau oksigen, dan penggunaan oksigen murni telah mengeliminasi problem-problem pengelasan dengan cara pencegahan terjadinya lapisan nitrida pada permukaan potong. Walaupun pengoperasiannya harus dilaksanakan secara otomatis, dikarenakan pembakaran oksigen mendukung sifat - sifatnya.
- (c) Pemotongan busur plasma argon-hidrogen mensyaratkan penggunaan argon dengan penambahan hidrogen atau nitrogen dalam jumlah sedikit. Metode ini sesuai untuk pemotongan baja tahan karat dan aluminium (campuran).

Hasil pemotongannya sempurna dan menimbulkan permukaan logam yang murni. Walaupun penggunaan argon membuat seluruh kotoran harus dibuang pada permukaan lebih sulit untuk dihilangkan, dan hal ini tidak bisa dipakai untuk baja lunak.

- (d) Pemotongan busur plasma nitrogen telah lama dipakai. Walaupun menyebabkan terjadinya permukaan nitrida dan perubahan warna pada permukaan, metode ini tidak lagi digunakan untuk pekerjaan yang berkualitas tinggi. Walaupun metode ini menawarkan masa pemakaian elektrode dan nozzle yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pemotongan busur plasma yang lainnya. Metode plasma injeksi air telah ditampilkan baru-baru ini. Metode ini menggunakan nitrogen atau oksigen sebagai gas orifice, dan penggunaan aliran air yang berputar (disebut gas penunjang) disekitar kolom busur mendinginkan nosel dan melindunginya dari terjadinya pelelehan oleh arus listrik yang besar, yang baik untuk meningkatkan efek penciutan panas. Penggunaan aliran air untuk kolom busur, diikuti dengan pemotongan dibawahnya yang dilaksanakan dan juga menyelesaikan problem polusi, udara, cahaya/sinar dan asap. Penyimpangan yang terjadi setelah pemotongan sangat kecil, dan selanjutnya oksigen dapat digunakan sebagai gas, menghasilkan pemotongan yang berkualitas tinggi untuk baja tahan karat dan baja lunak.

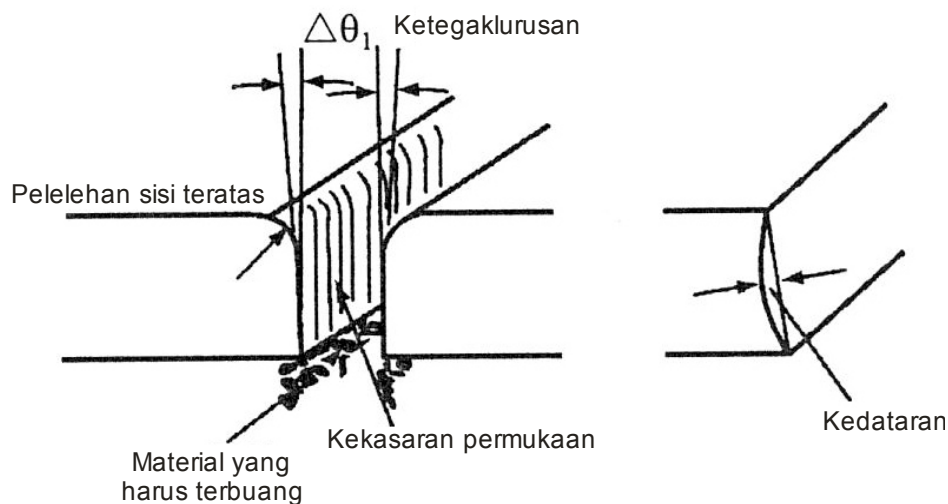


Gambar I.96 Plasma injeksi air



Jarak yang lebih besar dari nosel, diameter plasma yang lebih sempit dan temperatur yang lebih rendah. Turunnya temperatur menjelaskan bahwa putaran alirannya kuat. Jika busur plasma memasuki material, selanjutnya busur plasma tersebut ditekan turun dan menyebabkan terjadinya kemiringan.

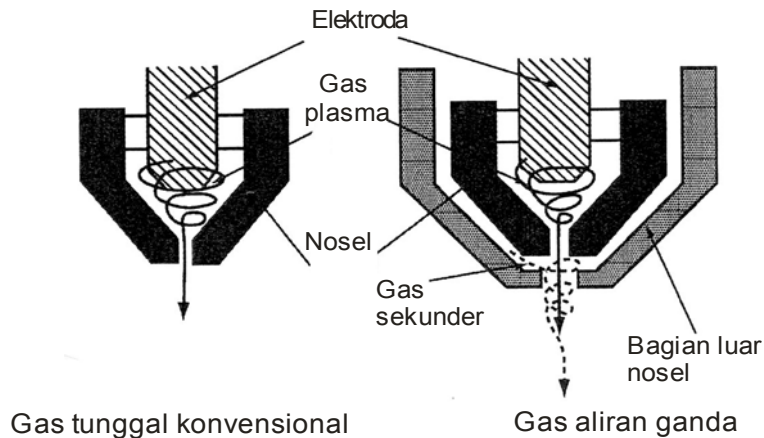
Pada kasus plasma argon-hidrogen, yang mana dilakukan secara normal dengan aliran arah aksial, pengerucutan tidak terjadi sama sekali. Walaupun dalam kasus plasma oksigen, oksidasi membuat kerucut lebih nyata. Pada permukaan potong kerucut cenderung menjadi simetris pada sekitar kiri kanannya dengan pancaran mengalir secara aksial dan tidak simetris dengan aliran yang berputar.



**Gambar I.97 Faktor-faktor yang menentukan kualitas permukaan potong busur plasma**

Untuk menghindari problem ini, sebuah metode telah diadopsi dengan cara memiringkan torch. Walaupun dengan peningkatan bentuk-bentuk mesin potong yang kompleks, torch dengan tipe aliran ganda digunakan untuk menyelesaikan problem-problem yang ada.

Metode ini menyediakan nosel kedua diluar nosel untuk jalan keluar dari gas plasma yang asli untuk menambah berputarnya gas pendukung menjadi lebih kuat untuk merubah tegak lurus nya permukaan potong. Walaupun garis tarikan terlihat seperti pada kasus pemotongan gas, kekasaran dari permukaan tidak terlalu besar. Jika memilih metode secara benar untuk memotong material maka, metode ini mendapatkan hasil jauh lebih baik dibandingkan dengan pemotongan dengan gas.



**Gambar I.98 Sistem aliran ganda**

### I.4.3 Pemotongan dengan Sinar Laser

Sinar laser, jika dikonsentrasikan, memberikan energi yang sangat tinggi pada daerah yang sangat sempit, berkas sinar laser tersebut dapat digunakan untuk pengeboran sebuah lubang yang halus atau pemotongan dan pengeboran yang kontinyu.

Keuntungan pemotongan dengan sebuah laser :

- (a) Tidak hanya untuk memotong logam, tetapi juga non logam seperti plastik, karet, kaca, kayu atau kain.
- (b) Pemotongan dapat dilaksanakan dengan lebar yang sempit, daerah kena pengaruh panas yang minimum dan perubahan bentuk (distorsi) karena panas yang kecil.
- (c) Pemotongan dengan tanpa sentuhan, tanpa ada perkakas yang aus, dan tanpa terjadi suara bising dan getaran.
- (d) Pekerjaan presisi tinggi dapat dilaksanakan dengan menggunakan sistem kontrol numerik (NC).

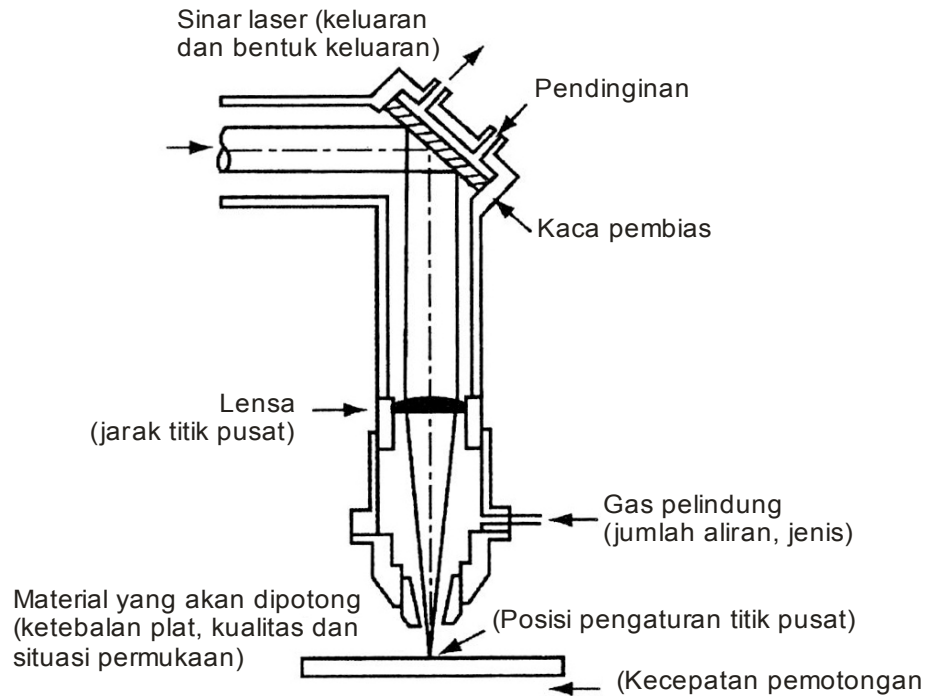
Bila dikombinasikan dengan CAD/CAM, proses produksi bisa menjadi otomatis.

Berkas laser adalah sebuah sinar, maka tidak dapat memotong material - material berikut ini:

- (a) Substansi yang merefleksikan sinar seperti emas, perak dan tembaga.
- (b) Material yang sangat tebal, seperti logam dengan tebal beberapa desin milimeter dan non logam dengan ketebalan lebih dari 30 mm.

Pemotongan dengan sinar laser yang dibahas disini adalah sebuah contoh dari laser CO<sub>2</sub>.

### I.4.3.1 Prinsip dari pemotongan sinar laser



**Gambar I.99 Kepala potong laser**

Pemotongan dengan sinar laser adalah sama seperti pengelasan hingga pada sebuah titik dimana sinar laser dikonsentrasikan dan dipancarkan ke material yang akan dipotong. Lihat Gambar I.99, perbedaannya dari pengelasan adalah tergantung dari gas pelindung yang digunakan pada kepala potongnya, pemotongan dengan sinar laser menghembuskan pancaran gas tekanan tinggi disebut juga gas bantu ke titik pemotongan untuk mendukung pekerjaan pemotongan

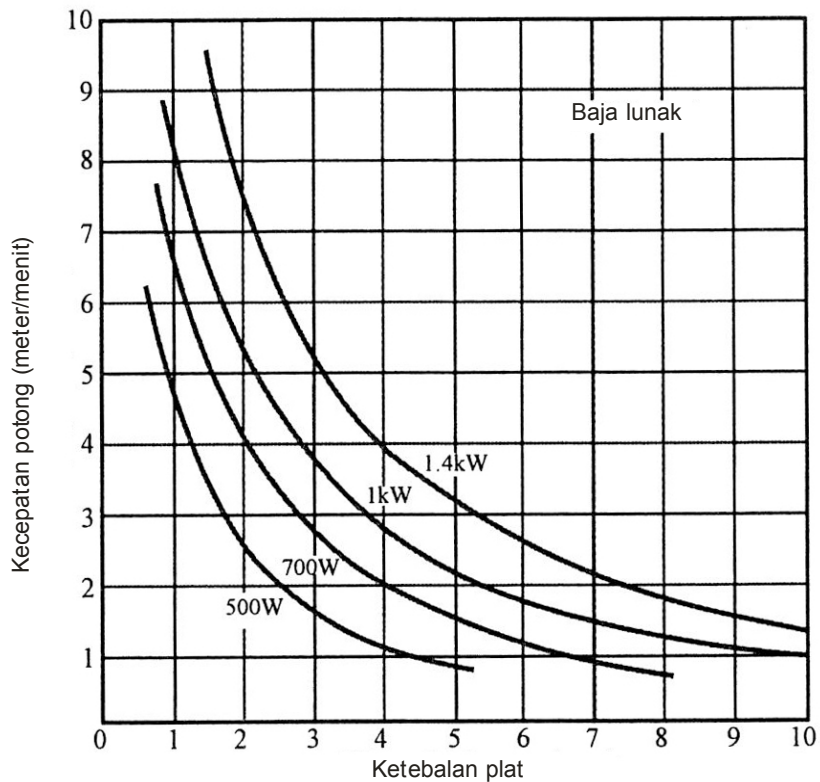
Fungsi gas pembantu tersebut adalah sebagai berikut :

- (a) Untuk menimbulkan pembakaran material yang akan dipotong
- (b) Untuk membuang material cair atau yang menguap
- (c) Untuk menambah ketajaman pemotongan dan kecepatan potong
- (d) Untuk mendinginkan tip nosel pada tip kepala potong dan benda kerja

Untuk pemotongan material logam seperti besi atau baja, oksigen digunakan sebagai gas bantu dalam pelelehan material dengan memanfaatkan reaksi pembakaran oksidasi sama seperti pada pemotongan gas. Dengan kata lain untuk mengontrol reaksi pembakaran oksidasi, udara kering atau nitrogen digunakan sebagai gas bantu, untuk menyerap energi dari laser  $\text{CO}_2$ .

Untuk membuang cairan atau material yang menguap secara efektif, diameter nosel pada umumnya dikurangi sekecil mungkin 1 - 2 mm untuk meningkatkan tekanan gas bantu. Bagaimanapun juga, bila permukaan material mengkilat disyaratkan pemotongan permukaan material plastik atau plat baja yang tebal yang harus dipotong, menggunakan gas yang bertekanan lebih rendah. Berbagai kondisi kerja memungkinkan menggunakan pemotongan sinar laser, meskipun ketahanan dan kemampuan berkembang dari seting nilainya dapat menjadi masalah.

#### I.4.3.2 Unjuk kerja pemotongan dengan sinar laser



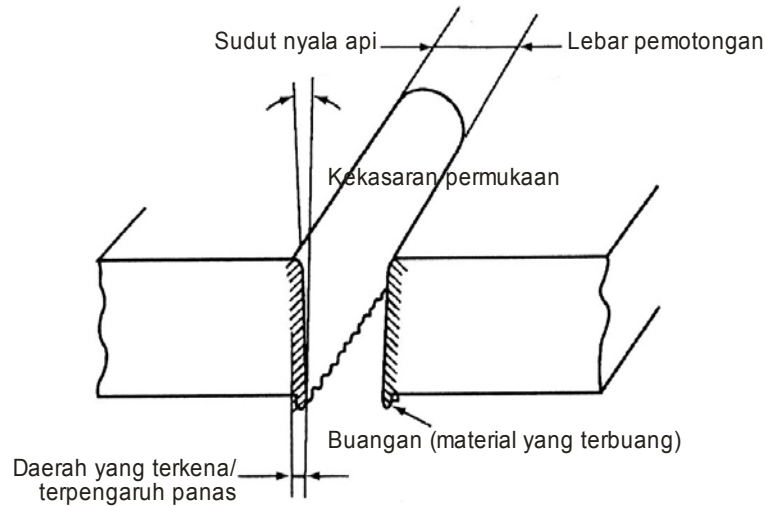
**Gambar I.100 Hubungan antara ketebalan plat dan kecepatan potong untuk baja lunak pada pemotongan sinar laser**

Sebagaimana terlihat pada gambar kurva diatas, output laser yang lebih besar memungkinkan plat yang lebih tebal dipotong dengan kecepatan yang lebih tinggi. Ketebalan plat baja tahan karat adalah sekitar dua tiga kali dari tebal plat baja lunak. Tabel I.12. menunjukkan kondisi khusus pemotongan sinar laser untuk berbagai material.

**Tabel I.12 Contoh-contoh kondisi pemotongan dengan sinar laser untuk berbagai material**

Material	Ketebalan plat	Output laser	Kecepatan pemotongan	Gas bantu
Baja tahan karat	2 mm	1000W	3 m/min	O <sub>2</sub>
Aluminium (paduan)	2 mm	1400W	0,5 m/min	O <sub>2</sub>
Kuningan	2 mm	1400W	2 m/min	O <sub>2</sub>
Akrilik	5 mm	200W	1 m/min	Udara
Akrilik	10 mm	200W	0,6 m/min	Udara
Kayu lapis	18 mm	500W	0,7 m/min	Udara
Keramik alumina	1 mm	500W	9,0 m/min	Udara
Kaca kuarsa	3,0 mm	500W	0,4 m/min	Udara

**I.4.3.3 Kualitas permukaan potong sinar laser**



**Gambar I.101 Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari pemotongan sinar laser**

Seperti diperlihatkan gambar I.101, kualitas pemotongan dengan sinar laser meliputi ketepatan (akurasi) dimensi pemotongan, kekasaran permukaan potong, lebar pemotongan, ketebalan daerah yang terkena pengaruh panas, dan banyaknya penempelan/melekatnya material yang terbang, sudut nyala api dan banyaknya deformasi atau distorsi.



Sebagaimana yang telah dijelaskan pada bagian pengelasan laser, akurasi (ketepatan) sampai dengan milimikron dapat dicapai oleh pemotongan sinar laser dengan mengkombinasi peralatan NC atau dengan menambahkan meja presisi tinggi. Untuk pemotongan plat tipis, sebuah permukaan yang cukup halus kekasarannya ( $R_{max}$ ) beberapa milimikron dapat dicapai.

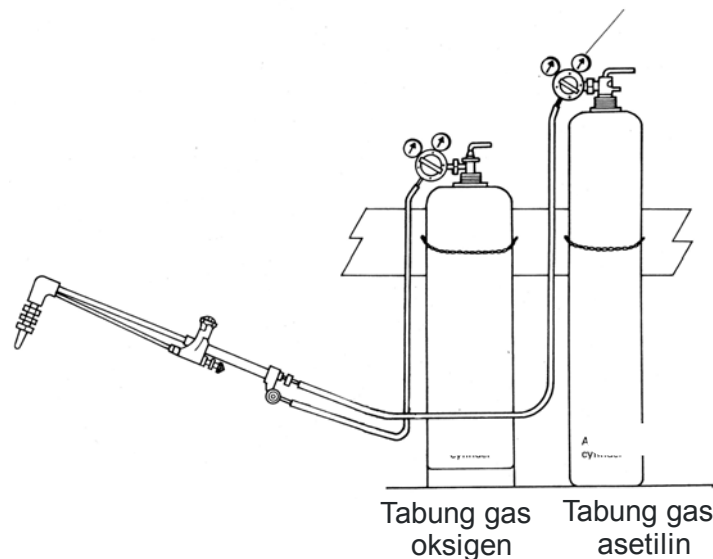
Efek termal dan deformasi atau distorsi yang terjadi adalah minimal dan ketebalan dari daerah terkena pengaruh panas dipertimbangkan menjadi dibawah 10% dari ketebalan lembar plat.

Penempelan dari material yang terbuang dan sudut nyala api potong dari sinar laser, walaupun tergantung pada material, kondisi pemotongan dan lensa, sangat kecil dibandingkan dengan metode pemotongan lainnya.

Peralatan potong sinar laser agak mahal, akurasinya lebih rendah dibandingkan dengan mesin presisi tinggi lainnya dan kondisi pekerjaannya tidak stabil. Meskipun demikian, alat ini mempunyai keuntungan dapat membuat kurva (lengkung) yang halus, profil yang kompleks atau rumit, dan menusukkan lubang yang halus ke material yang sangat keras atau material yang lunak seperti karet. Pelaksanaan lebih lanjut diharapkan dalam berbagai teknik/cara seperti perbaikan kualitas permukaan sebagaimana perlakuan panas laser dengan menggunakan kerapatan energi yang tinggi.

#### I.4.4 Teknik Pemotongan

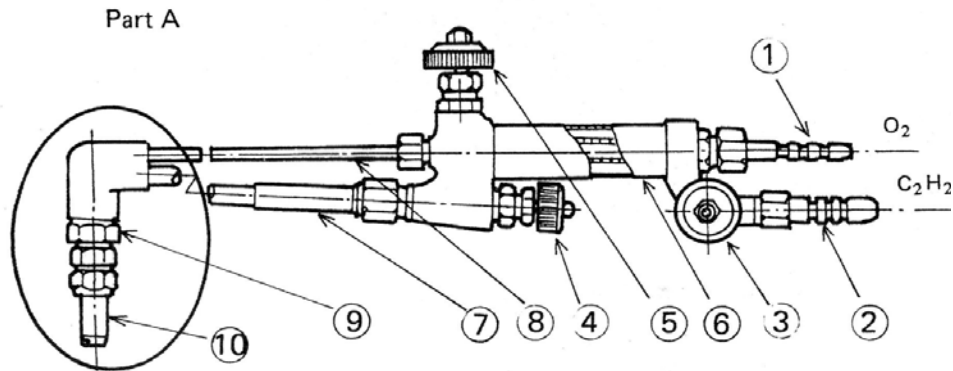
##### I.4.4.1 Penanganan Alat Potong Gas Manual



**Gambar I.102 Alat potong gas manual**

### 1. Pelaksanaan pemotongan dengan alat potong dengan gas

Bagian-bagian penting dalam pengoperasian brander potong ini dan nama-nama bagian tersebut tampak pada gambar I.103.



- ① Hubungan pipa masuk gas oksigen
- ② Hubungan pipa masuk gas asetilin
- ③ Katup tabung gas asetilin
- ④ Katup oksigen sebelum pemanasan
- ⑤ Katup gas oksigen alat potong
- ⑥ Pegangan tangan
- ⑦ Pipa sebelum pemanasan
- ⑧ Pipa oksigen pemotong
- ⑨ Mur belakang
- ⑩ Pucuk alat potong

**Gambar I.103 Alat potong manual dan nama bagiannya**

Tahapan yang perlu dilakukan dan hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam pemotongan manual dengan gas meliputi :

- (a) Hubungkan selang gas oksigen ke penghubung pipa masuk (Gambar I.103 - ①).
- (b) Bukalah katup-katup tabung gas asetilin (Gambar I.103 - ③) dan tabung-tabung sebelum pemanasan (Gambar I.103 - ④), kemudian periksalah penginjeksiannya.
- (c) Hubungkan selang tabung asetilin.
- (d) Periksalah kebocoran gas dengan air sabun pada semua sambungan.
- (e) Setel tekanan gas oksigen ke posisi 2,0 kg/cm<sup>2</sup> dan asetilin ke 0,2 kg/cm<sup>2</sup>.

- (f) Bukalah katup tabung gas asetilin dan nyalakan api gas, kemudian bukalah katup sebelum pemanasan dan setel ke ukuran nyala api gas netral.
- (g) Bukalah katup tabung gas oksigen (Gambar I.103 - ⑤) dan kosongkan tabung gas oksigen pemotong dari pipa perceknya. (Gambar I.104 - b).



(a) Potongan melintang bagian Apada gambar

(b) Perbesaran bagian atas pucuk alat potong

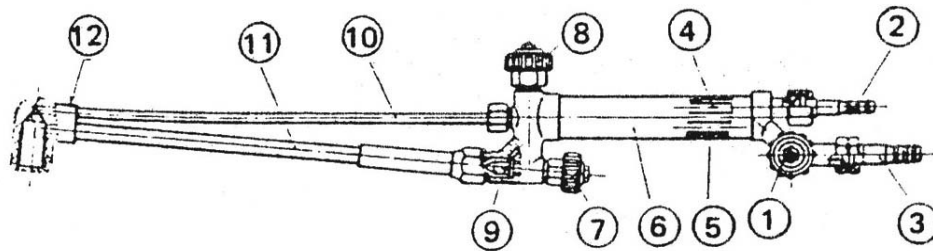
**Gambar I.104 Nozzle potong**

- (h) Matikan tabung gas oksigen pemotong dan padamkan nyala api gasnya.

**2. Lepaskan alat potong gas**

**I.4.4.2 Pemotongan Manual dengan Gas**

**1. Nama fungsi masing-masing bagian dari brander pemotong**



**Gambar I.105 Nama dan fungsi bagian-bagian brander pemotong**

No	Nama	Fungsi	No	Nama	Fungsi
①	Kran gas asetilin	Mengatur banyaknya aliran gas asetilen	⑦	Kran oksigen preheating	Mengatur nyala api preheating
②	Sambungan selang oksigen	Menyambung dengan selang gas oksigen	⑧	Kran oksigen potong	Mengatur banyaknya aliran oksigen potong
③	Sambungan selang asetilen	Menyambung dengan selang gas asetilen	⑨	Injektor	Mencampur gas asetilen dengan oksigen
④	Pipa saluran	Menyalurkan oksigen	⑩	Saluran oksigen pemotong	Menyalurkan oksigen potong
⑤	Saluran gas asetilen	Menyalurkan gas asetilen	⑪	Saluran gas campuran	Menyalurkan gas campuran asetilen dan oksigen
⑥	Pegangan tangan	Memegang brander	⑫	Kepala brander	Pemasangan nozzle

## 2. Kondisi gas potong

Tekanan gas potong, kecepatan potong, ukuran tip, ketinggian tip, sudut tip dan nyala pemanas awal semuanya menentukan untuk mendapatkan permukaan potong yang baik pada pemotongan gas (Lihat tabel I.13).

**Tabel I.13 Kondisi gas potong**

Ketebalan plat mm	Tip potong	Lobang oksigen potong mm	Panjang aliran oksigen yang tampak mm	Tekanan oksigen Kg/cm	Tekanan asetilen Kg/cm	Kecepatan potong mm/km	Konsumsi gas	
							O <sub>2</sub> m <sup>3</sup> /jam	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> liter/jam
3 ~ 10	1	0,7	50	2,0	0,10	500	2,0	200
10 ~ 20	2	0,9	60	2,5	0,15	400	3,0	230
20 ~ 30	3	1,1	70	3,0	0,20	300	4,0	300

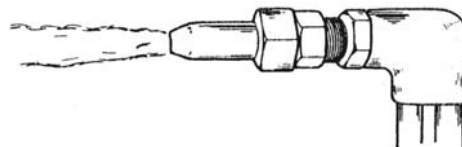
### 3. Mengatasi masalah

Obyek	Permasalahan	Bagian yang diperiksa	Metode	Perbaikan	
Brander	Kebocoran gas	Sambungan	Dengan busa sabun	Dikeraskan atau diganti	Pada awal pekerjaan
		Klep	Dengan busa sabun	Ganti brander	Pada awal pekerjaan
		Bagian	Dengan busa sabun	Dikeraskan atau diganti	Pada awal pekerjaan
Tip pemotong	Bentuk nyala pemanas awal		Pemeriksaan visual pada nyala netral	Bersihkan atau diganti	Pada awal pekerjaan atau secara acak
	Bentuk aliran oksigen pemotong		Pemeriksaan visual pada aliran gas	Bersihkan atau diganti	Pada awal pekerjaan atau secara acak

### 4. Persiapan Peralatan potong dengan Gas Manual

Langkah awal sebelum pemotongan, harus dilaksanakan terlebih dahulu persiapan peralatan potong sebagai berikut :

- (1) Langkah persiapan yaitu dengan menyetel tekanan gas asetilen 0,15 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan gas oksigen 2,5 kg/cm<sup>2</sup>.
- (2) Langkah penyalaan api dengan membuka katup asetilen dan katup oksigen untuk pemanasan awal, lanjutkan dengan menyetel api ke nyala netral.
- (3) Pengaturan nyala api pemanasan awal dengan membuka katup oksigen untuk pemotong.
- (4) Setel nyala pemanas awal ke nyala netral sementara itu buka katup oksigen pemanas awal, selanjutnya tutup katup oksigen untuk pemotong.
- (5) Langkah terakhir, matikan api dengan menutup katup asetilen dan katup pemanas awal oksigen.



Gambar I.106 Nyala api pemanasan awal

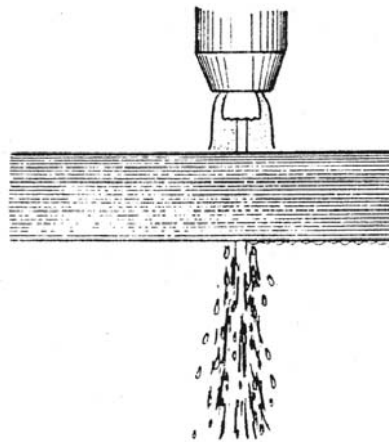
## 5. Pemotongan Manual

Sebagai langkah pemotongan manual, perhatikan dan lakukan hal-hal sebagai berikut :

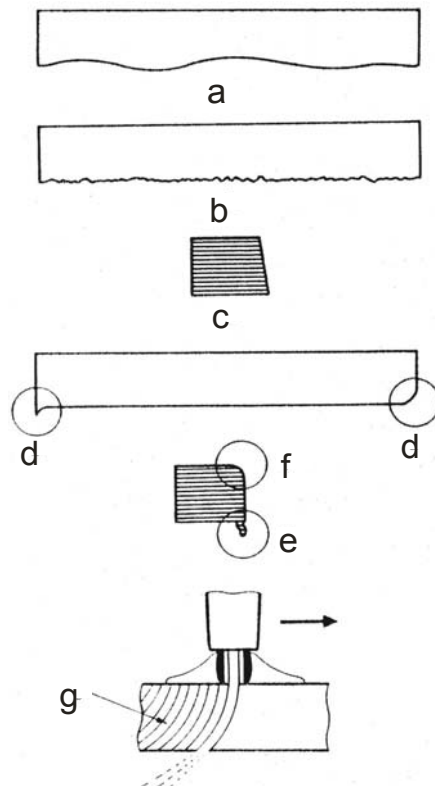
- (1) Tarik garis-garis pada pelat dengan pena penggores kemudian letakan plat pada meja dan tempatkan bagian yang dipotong bebas dari material dibawahnya / menggantung.
- (2) Ambil posisi tubuh siap memotong, lakukan pemanasan awal dengan menyetel ketinggian inti nyala sekitar 3 mm dari permukaan plat kemudian setel brander pada posisi tegak dan arahkan ke pinggir permukaan pelat.
- (3) Bila bagian ujung menjadi merah, buka katup potong oksigen.
- (4) Laksanakan pemotongan

- Amati kebisingan, aliran terak dan arah percikan
- Hati-hati jatuhnya material panas bagian yang dipotong

- (5) Tutup katup potong oksigen setelah pemotongan selesai kemudian matikan nyala api.
- (6) Lakukan pemeriksaan terhadap hasil pemotongan dengan memperhatikan beberapa item seperti pada gambar I.107 dibawah ini.



**Gambar I.107 Pemotongan manual**



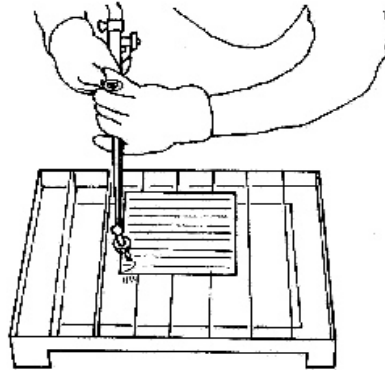
- a. Kelurusan permukaan potong.
- b. Cembung & cekungnya permukaan potong.
- c. Sudut pemotongan.
- d. Menempalnya terak.
- e. Derajat peleburan pada awal dan akhir pemotongan.
- f. Pelelehan sisi atas.
- g. Kondisi garis tarikan.

**Gambar I.108** Pemeriksaan hasil pemotongan

### I.4.4.3 Praktek pemotongan dengan gas manual

Sebagai langkah praktek pemotongan manual, perhatikan dan lakukan hal-hal sebagai berikut :

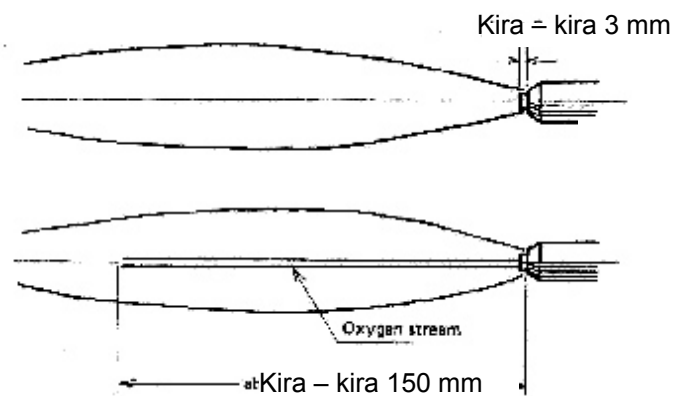
1. Setelah membersihkan plat baja dengan baik, gambarlah garis potong sepanjang 15 pit dengan jelas, cukup mampu dilihat selama pekerjaan berlangsung. Kemudian, letakkan material di atas meja kerja tempat dilakukannya pemotongan. (Gambar I.109)



**Gambar I.109** Persiapan pemotongan dengan gas manual

2. Pasanglah ujung alat potong No. 1 dan aturlah tekanan gas oksigen ke 2 kg/cm<sup>2</sup> dan gas asetilin ke 0,2 kg/cm<sup>2</sup>. Kemudian nyalakan kerucut nyala api netral sepanjang 3 mm. Setelah itu, cobalah mengosongkan tabung gas oksigen pemotong dan periksalah arus gas oksigen agar mencapai panjang kira- kira 150 mm. (Gambar I.110)

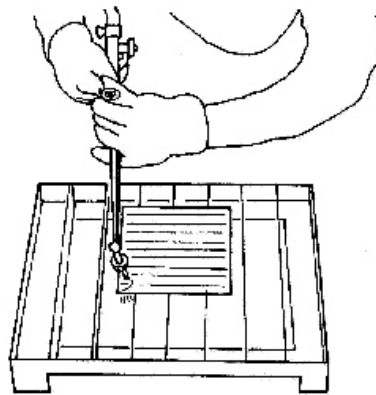
Jika perecik oksigen pemotong dalam keadaan abnormal, jangkauan arus oksigen menjadi lebih pendek.



**Gambar I.110** Nyala busur api potong

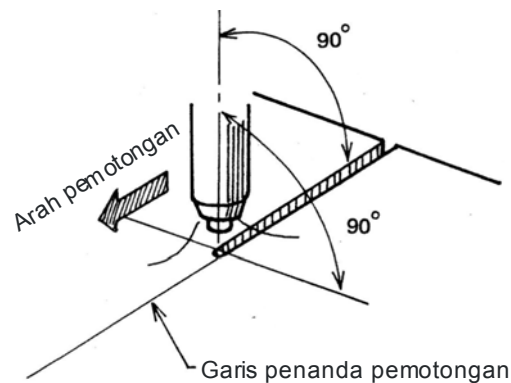


3. Pegang erat-erat torch gas pemotong seperti tampak pada Gambar I.111.



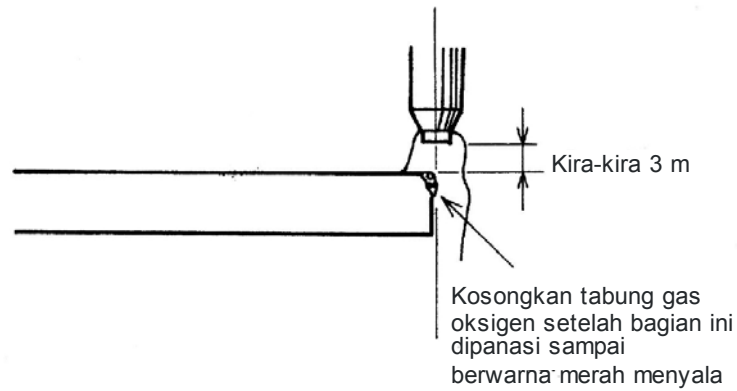
**Gambar I.111 Posisi material induk pada meja potong**

4. Potonglah material di samping garis penanda pemotongan seperti terlihat pada Gambar I.112.



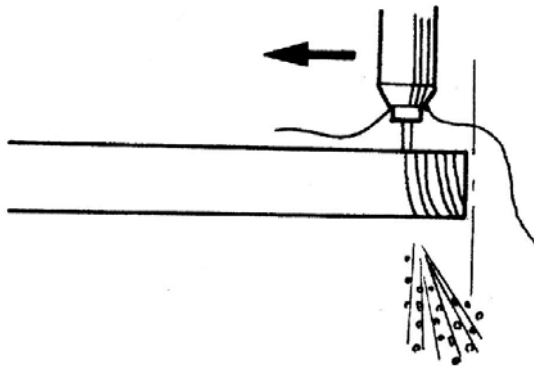
**Gambar I.112 Pemotongan material**

5. Laksanakan prosedur kerjanya sebagai berikut :
  - (a) Panaskan pinggiran material untuk menentukan jarak antara logam dasar dan kerucut nyala api sampai kira-kira 3 mm.
  - (b) Apabila pinggiran material telah dipanaskan sampai berwarna merah menyala, bukalah segera katup gas oksigen dan kosongkan tabung gas oksigen pemotong. (Gambar I.113)



**Gambar I.113 Pengosongan tabung gas oksigen**

- (c) Gerakkan torch las gas dan potonglah material sambil memastikan bahwa gas oksigen pemotong menembus material dan terak lelehan jatuh ke dalam dengan bebas. (Pada saat ini jagalah agar torch las gas tetap bergerak dan jagalah agar kecepatannya sekonstan mungkin. (Gambar I.114)



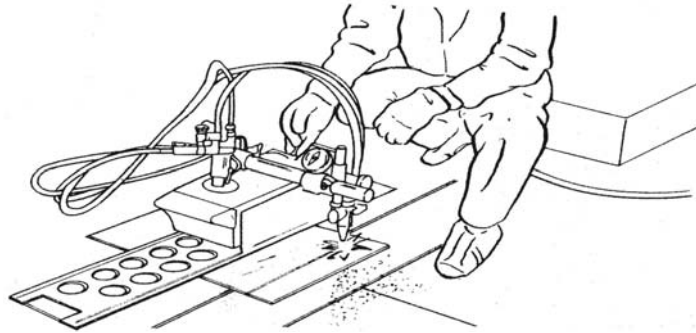
**Gambar I.114 Langkah pemotongan**

- (d) Hentikan pengosongan tabung gas oksigen pemotong.
6. Bersihkan dan periksa hasil pemotongan

Periksa potongan sepanjang garis penanda pemotongan, lubang-lubang pada permukaan potongan, sudut potong  $90^{\circ}$ , kehalusan potongan dan sebagainya.

7. Ulangi praktek pelatihan di atas.

**I.4.4.4 Pemotongan Otomatis dengan Gas**



**Gambar I.115 Proses Pemotongan Otomatis dengan Gas**

**1. Kondisi pemotongan**

**Tabel I.14 Kondisi pemotongan**

Ketebalan plat mm	Ukuran tip potong #	Lubang tip potong	Tekanan kg/cm		Kecepatan potong mm/min	Laju aliran		
			Oksigen	Asetilin		Oksigen potong	Oksigen pre-heating	Asetilin
5 atau kurang	00	0.8	1.5	0.2	500 atau lebih	690	380	345
5 ~ 10	0	1.0	2.0	0.2	350 ~ 550	1200	380	345
10 ~ 15	1	1.2	2.5	0.2	300 ~ 400	2100	485	440
15 ~ 30	2	1.4	3.0	0.2	250 ~ 350	3400	485	440

**2. Yang harus diperhatikan dalam pengoperasian**

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengoperasian pemotong gas otomatis adalah :

- (1) Yakinkan bahwa ground pada kabel power terpasang dengan baik.
- (2) Yakinkan bahwa putaran motor benar saat pengaturan kecepatan.
- (3) Untuk perubahan kecepatan, setel ke kecepatan yang lebih rendah dari kecepatan yang disyaratkan sebelum mulai menyetel kecepatan tsb.

**3. Persiapan Peralatan Pemotong Gas Otomatis**

Langkah awal sebelum pemotongan, harus dilaksanakan terlebih dahulu persiapan peralatan pemotong gas otomatis sebagai berikut :

- (1) Pemasangan cuncum / tip potong.

Pilihlah cuncum / tip yang optimal sesuai dengan ketebalan pelat dan hati-hati jangan sampai bagian kontak yang tirus pada tip rusak.

- (2) Menyambung selang gas.

Hati-hati jangan sampai mengganggu jalannya mesin potong di jalur relnya.

- (3) Menyambung kabel power

Matikan saklar power sebelum menyambung kabel power. Hati-hati jangan sampai menghalangi jalannya mesin di atas jalur rel.

- (4) Periksa jalannya pemotong. Lakukan hal-hal berikut :
- Nyalakan saklar power dan hubungkan kopling.
  - Pindahkan kopling dan periksa arah jalannya.
  - Putar tombol kecepatan perlahan dan periksa perubahan kecepatan.
  - Putar balik kopling ke posisi awal dan matikan saklar power.
- (5) Pemeriksaan nyala pemanas awal. Lakukan hal-hal berikut :
- Setel tekanan gas asetilen ke 0,2 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan oksigen 2,5 kg/cm<sup>2</sup>.
  - Buka sedikit katup asetilen.
  - Buka sedikit katup oksigen preheating dan nyalakan.
  - Operasikan katup asetilen dan kran oksigen preheating untuk mengatur nyala katup ke nyala netral.
  - Buka katup oksigen potong.
  - Buka katup oksigen preheating pelan-pelan dan atur kembali kembali nyalanya ke nyala netral.
  - Matikan nyala api.

#### 4. Pemotongan Gas Otomatis

Sebagai langkah pemotongan otomatis, perhatikan dan lakukan hal-hal sebagai berikut :

- Buatlah garis-garis lurus pada material pelat.
- Pengaturan material yang akan dipotong. Beri jarak garis potong sekitar 100 - 200 mm dari rel dan setel rel sejajar dengan garis potong.
- Atur sudut tip potong. Setel tip tegak dengan memutar lengan pipa dan setel sudut pada skala 0°.
- Periksalah jalannya mesin. Setel ketinggian tip sekitar 10 mm dari permukaan plat. Dorong kereta/mesin potong dengan tangan dan yakinkan bahwa tip bergerak sepanjang garis pemotongan.
- Atur kecepatan potong. Atur kecepatan sesuai dengan kondisi standar pemotongan.

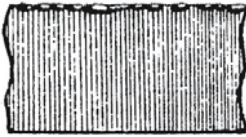
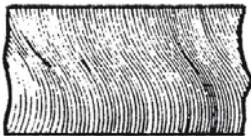

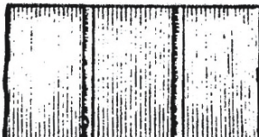
- (6) Atur nyala preheating. Setel tekanan gas sesuai dengan kondisi standar pemotongan. Gerakkan tip naik-turun untuk menyetel ketinggian inti nyala sekitar 3 mm.
- (7) Lakukan pemanasan awal. Luruskan tip dengan bagian luar dari garis potong. Luruskan nyala api ke ujung plat dan setel kopling ke STOP.
- (8) Lakukan pemotongan. Jika pada titik awal merah membara, buka katup oksigen potong, kemudian setel kopling ke posisi maju/mundur.  
Amati hasil potongannya dan bila hasil pemotongan belum maksimal maka setel kembali untuk mendapatkan hasil potongan yang optimal.


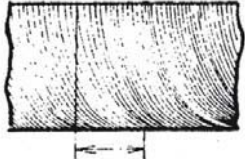

Dengan mengamati :

- a. Tekanan gas
- b. Rangkaian selang dan kabel
- c. Kecepatan potong
- d. Ketinggian inti nyala api
- e. Keadaan oksigen potong
- f. Kelurusan dari kampuh potong dan garis potong
- g. Timbulnya distorsi
- h. Terbangnya percikan
- i. Aliran terak
- j. Kebisingan pemotongan
- k. Pelelehan ujung atas
- l. Timbulnya takik

- (9) Matikan api. Bila pemotongan telah selesai, tutup katup oksigen potong dan kembalikan kopling ke STOP. Tutup katup asetilen dan katup oksigen preheating. Matikan tombol/saklar.
- (10) Periksa permukaan potong :
  - a. Periksa apakah tarikannya optimal
  - b. Periksa apakah parit pada tarikan dangkal dengan ketidakrataan minimum
  - c. Periksa apakah permukaan potong halus
  - d. Periksa apakah terak mudah dibuang.

Tabel I.15 Kualitas permukaan potong dan kondisi pemotongan

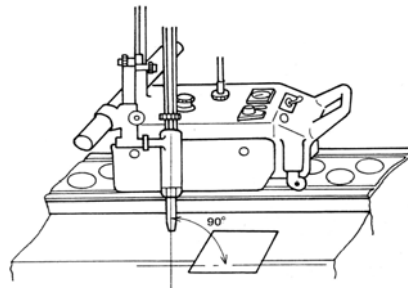
Permasalahan	Penampang	Penyebab
1. Terlalu banyak pelelehan pada tepi atas		<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Kecepatan potong terlalu rendah</li> <li>(2) Nyala api preheating terlalu besar</li> <li>(3) Tip potong terlalu rendah</li> <li>(4) Tekanan oksigen potong terlalu tinggi</li> </ul>
2. Tidak rata		<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Kecepatan potong terlalu cepat</li> <li>(2) Tekanan oksigen potong terlalu tinggi</li> <li>(3) Tip potong tersumbat kotoran</li> <li>(4) Tip potong terlalu tinggi</li> </ul>
3. Sangat kasar		<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Kecepatan potong terlalu cepat</li> <li>(2) Tekanan oksigen potong terlalu tinggi</li> <li>(3) Nyala preheating terlalu rendah</li> <li>(4) Tip potong tersumbat kotoran</li> </ul>
4. Takik		<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Nyala preheating terlalu lemah</li> <li>(2) Tip potong tersumbat kotoran</li> <li>(3) Rel kotor berdebu</li> <li>(4) Kecepatan potong berubah - ubah</li> </ul>

Permasalahan	Penampang	Penyebab
5. Banyak terak yang menempel		(1) Kecepatan potong terlalu cepat (2) Tekanan oksigen potong terlalu tinggi (3) Tip potong terlalu tinggi (4) Tip potong tersumbat kotoran
6. Tarikan terlalu panjang		(1) Kecepatan potong terlalu cepat (2) Tekanan oksigen potong terlalu rendah (3) Tip potong terlalu tinggi
7. Pojokan tidak terpotong		(1) Kecepatan potong terlalu cepat (2) Tekanan oksigen potong terlalu rendah

#### I.4.4.5 Praktek Pemotongan dengan Menggunakan Skator

Sebagai langkah praktek pemotongan dengan gas otomatis, perhatikan dan lakukan hal-hal sebagai berikut :

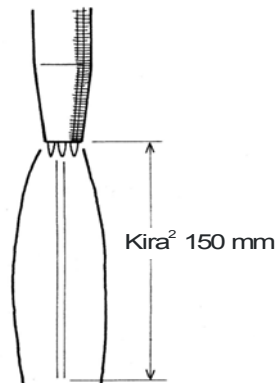
1. Gambarlah garis potong pada pit 15 mm di atas plat baja setelah membersihkannya dengan baik. Kemudian letakkanlah material di atas meja potong gas otomatis sehingga garis potong dapat disesuaikan dengan garis orbit ujung alat potong. (Gambar I.116)



**Gambar I.116 Pemotongan lurus dengan alat pemotong otomatis**

2. Aturlah sudut ujung alat potong sampai  $90^{\circ}$ .
3. Aturlah kecepatan pemotongan sampai kira-kira 500 mm/menit.
4. Pasanglah ujung alat potong No. 0~1 dan aturlah tekanan gas oksigen sampai 2,5 kg/cm<sup>2</sup>. Kemudian buatlah panjang kerucut nyala api netral menjadi 4~5 mm. Selanjutnya, cobalah mengosongkan tabung gas oksigen dan aturlah arus gas oksigen hingga mencapai kira-kira 150 mm. (Gambar I.117)

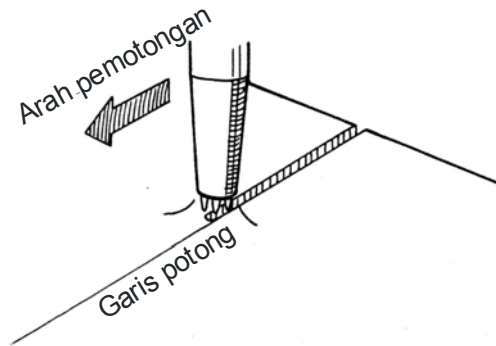
Jika percikan gas oksigen dalam keadaan abnormal, maka arus gas oksigen menjadi lebih pendek



**Gambar I.115 Pengaturan arus gas oksigen**

5. Aturlah jarak antara logam dasar dan kerucut nyala api kira-kira 3 mm. Kemudian aturlah posisi pucuk alat potong ke garis potong sama seperti pada pemotongan manual. (Gambar I.118)

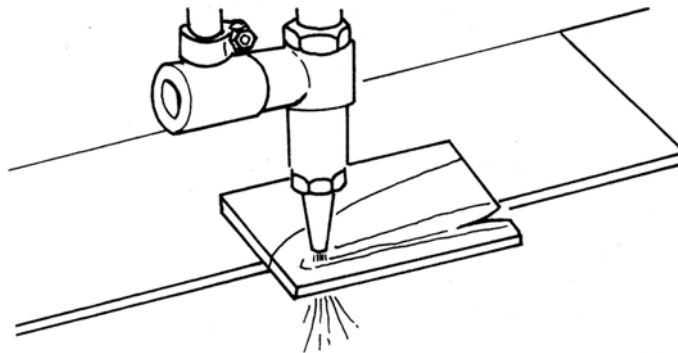




**Gambar I.116 Pengaturan posisi pucuk alat potong ke garis potong**

6. Pastikan bahwa kopeling kereta berada dalam posisi netral, kemudian hidupkanlah motor penggerak.
7. Letakkanlah ujung alat potong diatas logam dasar dan panaskanlah. Bila bagian ini telah dipanaskan sampai berwarna merah membara, bukalah katup tabung gas oksigen dan sekaligus putarlah ke posisi "on". Lanjutkan dengan pemeriksaan apakah gas oksigen sudah menembus ke dalam plat baja dan terak lelehan sudah terhembus bebas. (Gambar I.119)

Jika gejala-gejala ini tidak terbukti, periksalah percikan gas oksigen pemotong dan tekanan gas oksigen.



**Gambar I.119 Gas oksigen menembus plat baja**

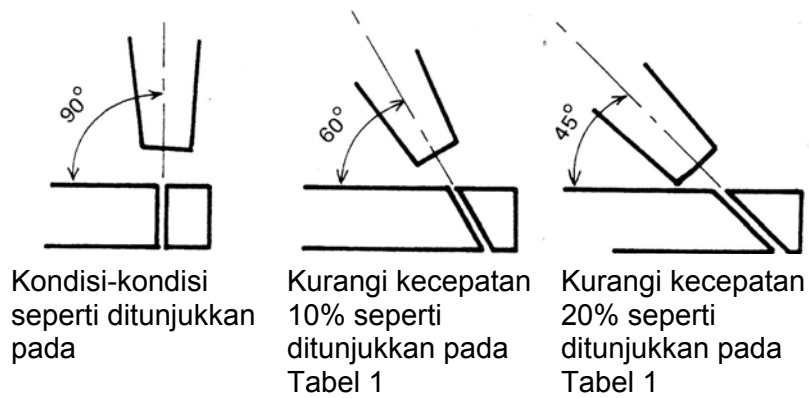
8. Bersihkan dan periksalah hasil pemotongan. (Periksa potongan sepanjang garis potong, lubang-lubang di permukaan potongan, sudut potong  $90^\circ$ , kehalusannya dsb.)
9. Ulangi praktik tersebut di atas.

**Tabel I.16 Kapasitas Standar Ujung Alat Potong  
(Menggunakan Gas Asetilin)**

No. Ujung	Diameter perecik oksigen alat potong	Ketebalan potongan (mm)	Kecepatan potongan lurus (mm/mnt)	Tekanan (kg/cm <sup>2</sup> )			Tingkat arus aliran (lt/jam)			Lebar jarak potong
				Oksigen alat potong	Oksigen pra potong	Asetilin	Oksigen alat potong	Oksigen pra potong	Asetilin	
000	0.6	3	700	1.0	1.0	0.15	240	275	250	0.8
	0.8	3	700							1.0
	4	680	1.5							1.0
00	1.0	5	660	2.0	1.0	0.2	1,250	510	460	1.2
		5	660							1.3
		6	630							
0	1.0	7	600	2.0	1.0	0.2	1,250	510	460	
		8	570							
		10	550							
1	1.2	10	550	2.5	1.0	0.2	2,000	590	540	1.5
		12	530							1.7
		15	490							
2	1.4	15	490	3.0	1.0	0.2	3,400	590	540	1.8
		20	460							2.0
		25	430							
3	1.6	30	400	3.0	2.0	0.2	4,300	825	750	2.1
		30	400							2.3
		35	370							
4	1.8	40	350	3.0	2.0	0.25	5,400	950	860	2.4
		40	350							2.6
		50	320							2.8
5	2.1	50	320	4.0	2.0	0.3	9,500	1,050	960	3.1
		60	290							
		75	260							
6	2.4	100	200	4.0	2.0	0.35	12,400	1,155	1,050	3.2
		100	200							3.5
		125	170							
7	2.8	150	150	4.5	3.0	0.4	17,000	1,430	1,300	3.6
		150	150							4.0
		200	120							
8	3.2	250	80	4.5	3.0	0.4	19,800	1,430	1,300	4.8
		250	80							5.5
		300	45							6.5

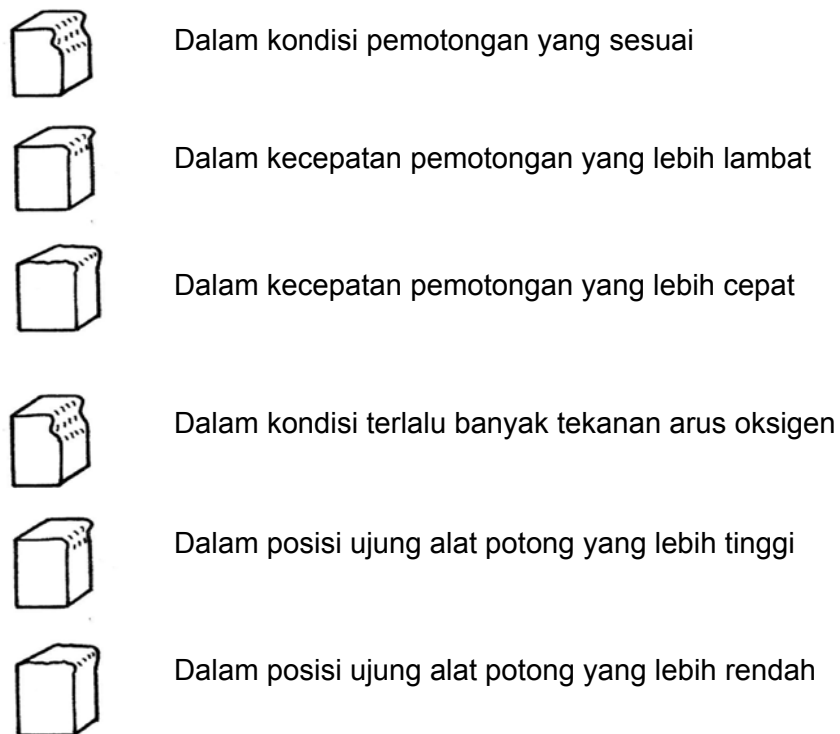
### 1. Kondisi-kondisi pemotongan :

- Tabel I.16 menunjukkan kondisi-kondisi pemotongan siku-siku menggunakan gas asetilin. Karena tekanan yang ditunjukkan pada Tabel I.16 merupakan tekanan arus masuk, perlu dilakukan koreksi sesuai dengan ukuran panjang dan diameter selang.
- Dalam pemotongan pinggiran miring, naikan tingkat arus aliran gas asetilin 2 x lipat dari kondisi normal dan kurangi kecepatan 10~20%. Pada saat yang sama, peningkatan tekanan arus oksigen dapat menyebabkan hasil pemotongan yang kurang baik, maka pertahankanlah kecepatan yang sama (Gambar I.118)



**Gambar I.120 Pemotongan pinggiran miring**

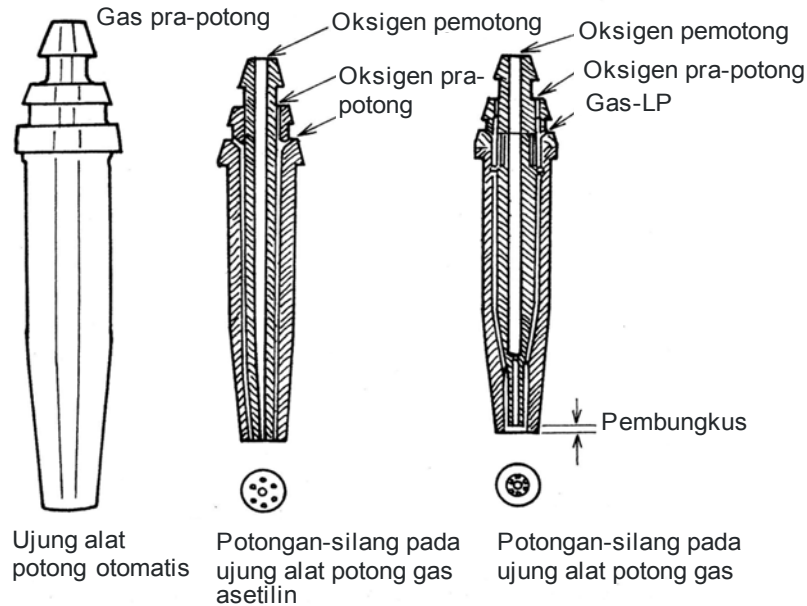
**2. Hubungan antara kondisi-kondisi pemotongan dengan permukaan pemotongan (Gambar I.21)**



**Gambar I.121 Hubungan antara kondisi pemotongan dengan permukaan potong**

### 3. Pemotongan dengan gas propan

Dalam pemotongan dengan gas-LP, ujung alat potong gas-LP harus digunakan seperti terlihat pada "Pemotongan dengan gas manual". (Gambar I.122)



Gambar I.122 Ujung alat potong otomatis

### I.5. KUALIFIKASI PENGELASAN

Perusahaan pembuat kapal bertanggung jawab terhadap pengelasan yang terjadi dan suatu pengelasan konstruksi kapal tidak diperbolehkan dilas sebelum prosedur pengelasan (welding procedure) dan weldernya dikualifikasi sesuai suatu kode yang diakui oleh pihak-pihak yang berkepentingan dengan suatu produk.

- Ada 2 hal kualifikasi pengelasan yang harus dipenuhi yaitu :
- (1) Kualifikasi prosedur las (Welding Procedure Qualification) atau biasa disingkat dengan WPS.
  - (2) Kualifikasi juru las / operator las ( Welder / Welding Operator Qualifikation ).

Qualifikasi tersebut meliputi proses las, posisi las, material dan batas jangkauan tebal pelat atau diameter material yang dilas.

Standar yang dipakai untuk uji kualifikasi juru dan operator las biasa mengikuti standar ASME.

### I.5.1. Spesifikasi Prosedur Pengelasan

Spesifikasi prosedur pengelasan (Welding Procedure Specification ) disingkat WPS yaitu sebuah dokumen tentang prosedur pengelasan berkualifikasi tertulis yang harus disiapkan untuk dijadikan petunjuk pengelasan sesuai dengan persyaratan Codes, Rules dan standart konstruksi lainnya. Prosedur ini dibuat mulai dari pembuatan konsep, review konsep, persiapan dan pelaksanaan pra kualifikasi prosedur, pengujian sampai disetujui oleh badan klasifikasi yang berkenan, sehingga WPS tersebut dapat diberlakukan sebagai acuan dalam pekerjaan pengelasan sesuai dengan persyaratan code atau Rules yang digunakan, hal ini untuk mendapatkan rekomendasi pelaksanaan pengelasan produk. selanjutnya

Dalam membuat kualifikasi sebuah WPS dapat diikuti urutan kegiatan sebagai berikut :

1. Pembuatan konsep WPS dan review konsep bila terjadi
2. Pengelasan sebuah contoh uji berpedoman pada WPS yang direncanakan dengan memperhatikan ukuran Test Piece, menyiapkan mesin las yang telah terkalibrasi, penyiapan kawat las yang sesuai dengan logam induk, gas pelindung yang disesuaikan dengan proses, peralatan ukur dan peralatan pendukung lainnya serta menunjuk juru las yang berkualifikasi untuk melaksanakan pengelasan pada pembuatan WPS tersebut.
3. Melaksanakan pengujian , mengamati selama proses berlangsung dan mengevaluasi hasil pengujian.
4. Mendokumentasikan hasil pengujian pada catatan prosedur kualifikasi ( Procedure Qualification Record ) atau PQR.

Catatan prosedur kualifikasi ( PQR ) adalah catatan atau rekaman hasil kualifikasi prosedur pengelasan sejak awal hingga hasil uji NDT / DT beserta data pendukung sesuai dengan persyaratan Code, Rules dan standart konstruksi lainnya.

Data - data yang perlu dicatat hanyalah informasi aktual yang biasa terdapat pada Contoh Format ( lihat Format I.2 ). Sedangkan Form WPS dapat dilihat pada Contoh Format I.1

<b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)</b>							
Company's Name :		Examiner of Test Body :					
WPS No :		Date :					
Revision No :							
Welder's Name :							
Joint Type :							
Reference Code :		Type					
Welding Process :		<input type="checkbox"/> Automatic		<input type="checkbox"/> Manual		<input type="checkbox"/> Machine of Semi Auto	
<b>Joint</b>		<b>Filler Metal</b>					
Joint Design :		Classification :					
Backing Yes / No :		Trade Name :					
Backing Material :		Wire Size :					
		Consumble Insert :					
<b>Base Material</b>		<b>Technique</b>					
Specification :		String / Weave :					
Plate Thickness :		Single / Multi pass :					
Type Grade :		Single / Multi Elect :					
Plate Thickness Range :		Interpass Cleaning :					
Pipe Outside dia Range :		Back Cleaning :					
Preheat Temp :							
Interpass Temp :							
PWHT :		<b>Shielding</b>					
		Type of gas :					
		Percent Composition (Mixture) :					
<b>Position</b>		Flow Rate :					
Position :		Flux :					
Welding Progression :		Other :					
Current Type :							
<b>Joint Detail</b>							
Joint Design		Unit : mm		Welding Sequence			
<b>Welding Detail</b>							
Run	Process	Size Filler Metal	Current A	Voltage V	Type of Current / Polarity	Travel Speed Cm/min	HI* Kj/cm
Manufacturer PT .....				Examiner of Test Body			
Date :				Date :			

**Format I.1 Contoh Welding Procedur Spesifikasi (WPS)**

<b>WELDING PROCEDUR QUALIFCATION RECORD (PQR)</b>								
<b>PROCEDURE SPECIFICATION</b>				<b>GROVE WELD TEST RESULT</b>				
Procedure No. :				Reduction Section Tension Test				
Revision No :				Tensile Streng / Report No				
Material Specification :				1. _____				
Welding Process :				2. _____				
Manual or Machine :								
Position of Welding :				Guided-bend Test (2 root, 2 face, or 4 side)				
Filler Metal Specification :				Root / Side-bend		Face / Side- bend		
Filler Metal Classification :				1. _____		1. _____		
Weld Metal Grade :				2. _____		2. _____		
Shielding Gas :				Radiographic-Ultrasonic Examination :				
Single / Multi pass :				RT report no : _____				
Single / Multi Arc :				UT report no : _____				
Welding Current :								
Welding Progesion :				<b>FILLET WELD TEST RESULT</b>				
Preheat Temp :				Minimum Size Multiple Pass				
Interpass Temp :				Macroetch-Break				
Welder's Name :				1. _____		1. _____		
Reference Code :				2. _____		2. _____		
				3. _____		3. _____		
<b>VISUAL INSPECTION</b> :								
Appearance :				MACRO EXAMINATION / REPORT NO				
Undercut :								
Piping Porosits :								
Test Date :								
Witnessed by :								
<b>JOINT DETAIL</b>								
Joint Design				Unit : mm		Welding Sequence		
Welding Detail								
Run	Process	Size of Filler Metal	Current A	Voltage V	Type of Current /Polarity	Travel Sped Cm/min	Heat Input Kj/cm	
MANUFACTURER PT .....			CLASSIFICATION APROVAL			WINESED BY		

Format I.2 Contoh Procedure Qualification Record (PQR)



### 1.5.2. Juru Las / Operator Las

Juru las atau operator las yang akan melaksanakan pengelasan konstruksi harus lulus dari uji kualifikasi sesuai dengan yang disyaratkan dalam standar serta yang diakui dan disepakati bersama .

Selain juru las peran supervisor las sangat diperlukan untuk menjamin pengawasan yang sistematis serta efektif pada setiap tahap proses pengelasan dari bagian-bagian konstruksi kapal.

Registrasi ketrampilan juru las dan operator las perlu selalu ditingkatkan dan dipertahankan validasinya dengan selalu mengisi format keaktifan juru las dan operator las. Untuk setiap pengelasan yang dilakukannya / registrasi tersebut paling tidak harus memuat data-data sebagai berikut :

1. Nama juru / operator las
2. Tanda pengenal / identifikasi
3. Material yang dilas beserta pengisinya
4. Data dari diameter elektroda, tebal dinding, groove
5. Referensi dari WPS

Kualitas pengelasan sangat tergantung pada ketrampilan juru las dan operator las, oleh karena itu untuk bidang perkapalan badan klasifikasi mensyaratkan kualifikasi tertentu dari juru dan operator las

#### 1.5.2.1. Uji Kualifikasi Ketrampilan Juru Las Kapal

Galangan-galangan kapal dan perusahaan perbengkelan bertanggung jawab dalam mempekerjakan juru-juru las yang memenuhi syarat dan telah diuji untuk tingkat ketrampilan khusus yang diakui Badan klasifikasi.

Untuk Biro Klasifikasi Indonesia ( BKI ) dalam melaksanakan uji ketrampilan juru las pelat (simbol penggolongan B ), untuk proses las busur listrik tangan yang menggunakan elektrode batangan ( simbol penggolongan E ) dan untuk proses las busur listrik tangan semi automatic dengan selubung gas (simbol penggolongan SG ).

Pengujian ketrampilan (pengujian permulaan dari para juru las) dan pengujian ulang merupakan pembuktian tentang kecakapan yang sebenarnya dari para juru las. Pengujian ketrampilan harus dilaksanakan dalam pengawasan. Dalam pengujian juru las yang diawasi BKI , surveyor yang bersangkutan memberikan pengesahan yang sama. Selama pengelasan percobaan, perlengkapan perbengkelan, sumber tenaga listrik, bahan-bahan pengisi las haruslah sama dengan yang dipakai dalam pekerjaan yang normal dari para juru las.

Para pengelas yang gagal dalam test tidak boleh mengulangi hingga mendapatkan kembali training lanjutan yang cukup. Untuk pengeluaran sertifikat pengujian individu, nama-nama pertama dan nama kontrol pengelas dari perusahaan haruslah dituliskan, disamping tanggal dan tempat kelahiran dalam dokumen-dokumen tersebut.

Juru las bangunan lambung kapal dikenai test-test kualifikasi ulangan setiap setahun sekali (ketentuan BKI) dimana secara demonstratif, pengelasan-pengelasan secara terus menerus diawasi ( misal dengan test radiografi atau ultrasonic ), tes-tes ulangan tidak dibutuhkan, perusahaan harus menambahkan catatan-catatan pengawasan kontinyu dalam daftar-daftar para pengelas dan menyerahkan pula pada surveyor bila diminta.

Untuk juru las dan operator las harus memenuhi uji kualifikasi keterampilan juru las kapal klas BKI untuk pengelasan baja mengacu pada rules volume VI sec. III-1996/DIN850, DIN-EN287 dan terdiri dari beberapa kualifikasi/kategori yaitu B II KI, B III S KI, B IV KI dan R II KI, R III KI dan seterusnya.

## 1. Pelaksanaan Pengelasan

- (1) Pengelasan dari satu sisi dengan tembusan penuh, las balik pada posisi lain tidak diperbolehkan.
- (2) Pengelasan dari lapisan pertama (akar) sampai lapisan akhir dilaksanakan sesuai dengan posisi pengelasan yang sama.
- (3) Pengelasan ulang pelat uji pada satu sisi pengelasan hanya boleh dilaksanakan dua kali.
- (4) Dianjurkan untuk pengelasan lapisan pertama (akar) menggunakan kawat las diameter 3,2 mm dan lapisan selanjutnya dengan diameter 4,0 atau 5,0 mm
- (5) Pengujian pengelasan dengan posisi vertikal turun (v-d) harus dengan persetujuan surveyor BKI dan dicatat dalam sertifikat juru las

## 2. Masa Berlaku Sertifikat

Masa berlakunya sertifikat adalah 2 tahun dengan syarat :

- (1) Si pemegang sertifikat harus melaksanakan pekerjaan las minimal sekali dalam 3 bulan
- (2) Juru las yang diuji untuk lebih dari 1 posisi harus melakukan pekerjaan las sesuai posisi yang diuji minimal sekali dalam 6 bulan dengan ketentuan bila point a dan b tidak dipenuhi harus dilakukan uji ulang.

### 3. Perpanjangan Sertifikat

- (1) Perpanjangan sertifikat dapat dilakukan tanpa uji ulang bila :
  - a. Pekerjaan las sesuai dengan kualifikasi yang tercantum dalam sertifikat, harus dilaksanakan secara kontinu dibawah pengawasan surveyor BKI dan supervisor galangan dan tidak boleh terhenti selama 3 (tiga) bulan.
  - b. Paling kurang untuk setiap 3 (tiga) bulan harus ada hasil pengelasan seauai kualifikasi juru las yang bersangkutan, pengelasannya harus diuji radiografi.

Dalam radiografi harus tercantum :

- Nama juru las, nama galangan / welding shop, tanggal radiografi, nama kapal / barang yang diuji, tebal pelat, posisi pengelasan sesuai kualifikasi yang diuji.
- Sebelum berakhir masa berlaku sertifikat, pemakai jasa / galangan harus membuat laporan pekerjaan juru las berdasarkan catatan pekerjaan (welding record) dari tiap juru las yang ditandatangani oleh suoervisor galangan / welding shop dan disahkan oleh surveyor BKI . Laporan tersebut harus dikirim ke BKI untuk dievaluasi.

Laporan pekerjaan juru las harus berisi :

Nama juru las, tanggal pekerjaan las, nama kapal / barang yang dilas, posisi pengelasan serta dilampiri film radiografinya. Jika hasil eveluasi dari laporan pekerjaan juru las serta film radiografi memenuhi persyaratan, maka akan dikeluarkan perpanjangan sertifikat ketrampilan juru las untuk masa berlaku 2 (dua) tahun.

- (2) Jika syarat tersebut tidak dilaksanakan atau hasil evaluasi dari laporan pekerjaan juru las dan film radiografi tidak memenuhi persyaratan maka harus dilakukan uji ulang.

1.5.2.2. Posisi pengelasan

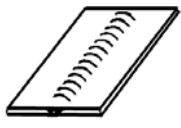
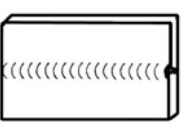
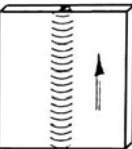
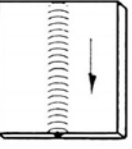
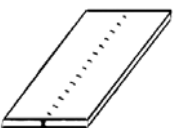
Tabel I.17 Jenis Pengelasan dan Posisi Las

Jenis Pengelasan		Simbol		Posisi
		BKI	EN 287-2	
Pelat (Plate)	Las tumpul (butt weld)	1G	PA	Datar
		2G	PC	Horisontal
		3G	PG	Vertikal ke atas
		(v-d)G	PF	Vertikal ke bawah
		4G	PE	Atas kepala
	Las sudut (fillet weld)	1F	PA	Datar
		2F	PB	Horisontal
		3F	PG	Vertikal ke atas
		(v-d)F	PF	Vertikal ke bawah
		4F	PD	Horisontal atas kepala
Pipa (Pipe)	Las tumpul (butt weld)	1G	PA	Pipa : berputar Sumbu : horisontal Las : datar
		2G	PC	Pipa : tetap Sumbu : vertikal Las : horisontal vertikal
		5G	PG	Pipa : tetap Sumbu : horisontal Las : vertikal ke atas
		(v-d)G	PF	Pipa & Sumbu : sama dng 5G Las : vertikal ke bawah
		6G	H-LO 45	Pipa : tetap Sumbu : miring Las : ke atas (Pipa miring tetap (45 <sup>0</sup> +5 <sup>0</sup> ) dan tidak berputar)
	Las sudut (fillet weld)	1F	PA	Pipa : tetap Sumbu : miring Las : datar (Pipa miring tetap (45 <sup>0</sup> +5 <sup>0</sup> ) dan tidak berputar)
		2F	PB	Pipa : tetap Sumbu : vertikal Las : vertikal horisontal
		3F	PF	Pipa : tetap Sumbu : horisontal Las : vertikal ke atas
		(v-d)F	PG	Pipa & Sumbu : sama dng 3F Las : vertikal ke bawah
		4F	PD	Pipa : tetap Sumbu : horisontal Las : vertikal ke atas

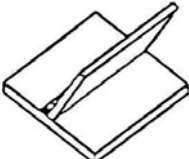
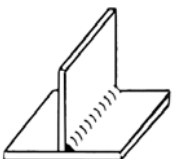
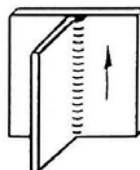
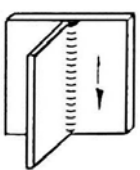
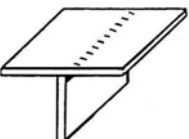
1.5.2.3. Gambar Posisi Pengelasan

1. PELAT

(1) Las tumpul (Butt weld)

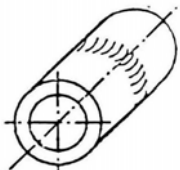
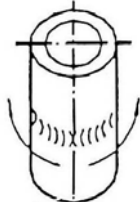
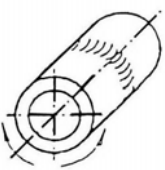
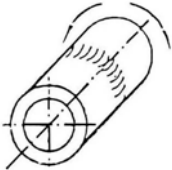
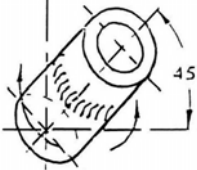
Posisi 1G	Posisi 2G	Posisi 3G	Posisi (v-d)G	Posisi 4G
				
Datar	Horisontal	Vertikal ke atas	Vertikal ke bawah	Atas kepala

(2) Las sudut (Fillet weld)


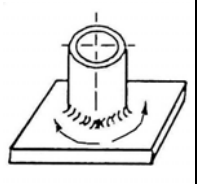
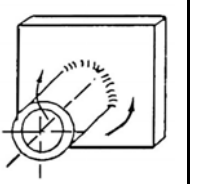
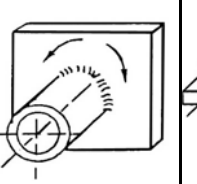
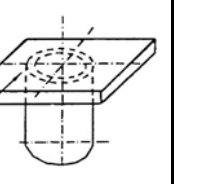
Posisi 1F	Posisi 2F	Posisi 3F	Posisi (v-d)F	Posisi 4F
				
Datar	Horisontal	Vertikal ke atas	Vertikal ke bawah	Atas kepala

2. PIPA

(1) Las tumpul (Butt weld)

Posisi 1G	Posisi 2G	Posisi 5G	Posisi (v-d)G	Posisi 6G
				
Pipa : berputar Sumbu: horisontal Las : datar	Pipa : tetap Sumbu: vertikal Las : horisontal vertikal	Pipa : tetap Sumbu: horisontal Las : vertikal ke atas	Pipa : tetap Sumbu: horisontal Las : vertikal ke bawah	Pipa : tetap Sumbu: miring Las : ke atas

**(2) Las sudut (Fillet weld)**

Posisi 1F	Posisi 2F	Posisi 3F	Posisi 3F	Posisi 4F
				
Pipa : berputar Sumbu: horisontal Las : datar	Pipa : tetap Sumbu: vertikal Las : horisontal vertikal	Pipa : tetap Sumbu: horisontal Las : vertikal ke atas	Pipa : tetap Sumbu: horisontal Las : vertikal ke bawah	Pipa : tetap Sumbu: vertikal Las : horisontal atas kepala

**I.5.3. Supervisi Las**

Peranan Supervisor pengelasan dalam aktifitas proses produksi sangat besar perannya, terutama terkait dengan kelancaran proses produksi dan kualitas hasil produksinya khususnya hasil pengelasan sampai diterima oleh quality Control, Class dan Owner Surveyor (OS).

Oleh karena itu setiap Supervisor harus memahami:

- Persiapan sebelum kerja
- Aliran proses produksi dan
- Pengendalian kualitas dari hasil kerja / produk las-lasan yang dihasilkan , termasuk norma-norma yang harus diikuti .

Di dalam hal ini seorang Supervisor pengelasan perlu memperhatikan kualitas hasil kerja / produk las yang dihasilkan agar dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan serta mengendalikan terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja.

Dengan mengikuti standar prosedur operasional yang berlaku ditempat kerja maka diharapkan para Supervisor dapat memahami dan melaksanakan peranannya untuk mengendalikan proses produksi untuk mencapai kualitas yang baik, biaya yang efisien dan penyerahan hasil kerja sesuai target serta memperhatikan keselamatan dan kesehatan kerjanya.

**(1) Tugas Supervisor**

- Sebagai perencana dan pengawas kerja bagi bawahannya serta pelaksana konsep kerja atasannya.
- Mengelola sumber daya yang ada secara tepat & menguntungkan

- Sebagai mediator antara pekerja dan manajemen baik bersifat kewajiban dan hak pekerja
- Mengawasi atas pekerjaan sekaligus pekerjanya

## **(2) Tugas & Tanggung Jawab Supervisor Las**

- Mampu menginterpretasikan gambar dan spesifikasi
- Memeriksa material dan spesifikasi untuk plat dan konsumabel memeriksa peralatan las
- Memeriksa persiapan sambungan (permukaan)
- Memeriksa penyetelan sambungan
- Mengikuti test NDT dan DT serta memahami hasil pengetesan
- Memeriksa cacat pada base metal (plat, pipa, profil, tempa, cor)
- Memahami wps yang digunakan
- Memahami jenis jenis kualifikasi welder & operator
- Memelihara catatan dan laporan

## **(3) Kualifikasi untuk Menjadi Seorang Supervisor Las**

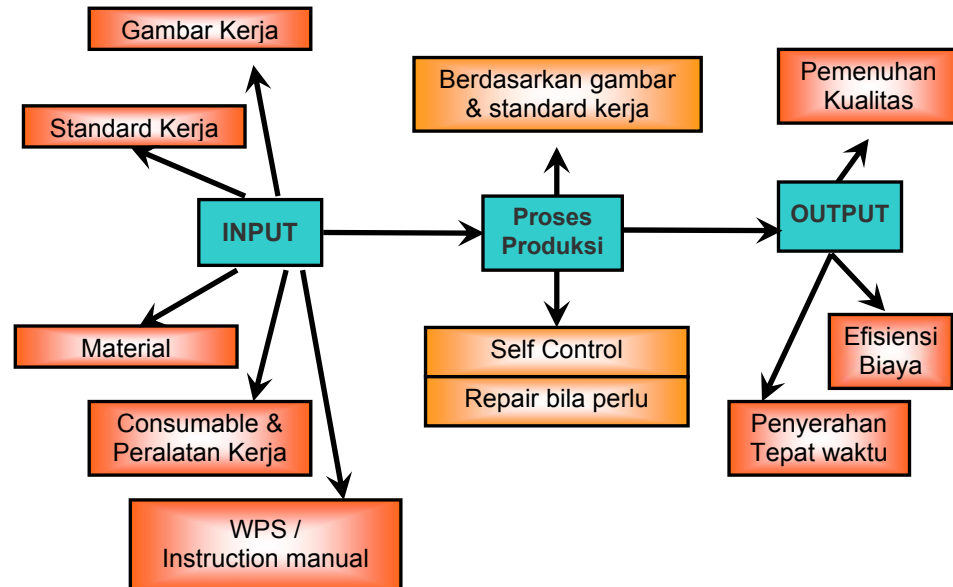
- Kondisi fisik yang baik
- Penglihatan yang baik mental yang professional
- Mempunyai pengetahuan tentang pengelasan
- Mempunyai pengetahuan tentang gambar, spesifikasi dan prosedur
- Mempunyai pengetahuan tentang metoda pengetesan
- Mempunyai pengetahuan untuk memelihara catatan
- Mempunyai pengalaman mengelas
- Mendapatkan pendidikan dan pelatihan dasar teknik las dan metalurgi
- Mempunyai pengalaman dibidang pemeriksaan

## **(4) Kode Etik Seorang Supervisor Las**

- Integritas yang tinggi (kejujuran)
- Tanggung jawab dengan tugasnya
- Tidak boleh dipengaruhi oleh kepentingan sepihak dalam membuat suatu keputusan, pernyataan, mengkritisi dalam membuat argumen
- Harus menghindari conflict of interest
- Tidak ada tawar menawar
- Menjadi seorang praktisi yang mewakili perusahaan

### I.5.3.1. Kualitas, Biaya dan Waktu Penyerahan untuk Supervisor

Diagram I.1 Pengendalian QCD oleh Supervisor Las



### I.5.3.2. Perangkat untuk Supervisor

#### 1. Gambar Kerja

Sebelum melaksanakan pekerjaan seorang Supervisor wajib memiliki dan memahami gambar kerja beserta simbol-simbol pengelasan. Gambar kerja yang dimaksud harus mengacu pada :

- Revisi terakhir dari keadaan yang ada
- Dipahami secara detail
- Dikoordinasikan dengan bagian yang terkait bila diprediksi terjadi masalah dengan pekerjaan yang lainnya
- Menulis laporan bila ditemukan ketidaksesuaian gambar dengan kondisi lapangan

#### 2. Standard Kerja

Sebelum melaksanakan pekerjaan seorang Supervisor las wajib memahami standard kerja dan pelaksanaannya harus mengikuti / sesuai dengan standard kerja tersebut.

Contoh : Standard kerja Fit-up, Welding, Firing



### 3. Material

Supervisor las harus dapat memastikan bahwa material yang diperlukan telah tersedia dan sesuai dengan persyaratan antara lain:

- (a) Bersertifikat bila diperlukan dan sudah teridentifikasi
- (b) Jumlahnya sesuai dengan kebutuhan
- (d) Jenisnya dan spesifikasinya sama dengan yang seharusnya diperlukan

Apabila material yang diperlukan tidak tersedia atau tidak sesuai persyaratan, maka Supervisor harus berkoordinasi dengan bagian yang mempunyai peran penentu keputusan (bisa atasan langsung atau bagian lain ) yang bertanggung jawab tentang material

### 4. Consumable & Peralatan Kerja

Consumable harus sudah tersedia dan sesuai dengan kebutuhan. Contohnya : Elektrode dibawa dengan box electrode.

Demikian juga peralatan kerja harus tersedia lengkap. Contohnya : untuk welder harus membawa palu/tetek & sikat las, lampu dan alat pengukur ketinggian lasan (welding goggle).

Apabila consumable & peralatan kerja yang diperlukan tidak tersedia atau tidak sesuai persyaratan, maka Supervisor las harus dapat memecahkan permasalahan tersebut.

### 5. WPS / Instruction Manual

Sebelum memulai melaksanakan pekerjaan seorang Supervisor las harus memastikan bahwa WPS / Instruction Manual telah ada dan dipahami secara detail

Seorang welder sebelum memulai mengelas harus mengerti WPS yang digunakan dan parameter-parameter yang tertulis dalam WPS tersebut harus diikuti.

Seorang fitter sebelum memulai menginstall komponen harus mengerti dan memahami ketentuan-ketentuan dalam instruksi dari Pabrik pembuatnya (maker ).

#### I.5.3.3. Acuan dalam Proses Produksi

##### 1. Berdasarkan Gambar & Standard Kerja

Didalam pelaksanaan pekerjaan harus tetap mengacu kepada gambar kerja (revisi terakhir) dan berdasarkan standard kerja yang dikeluarkan oleh bagian yang berhak mengeluarkan revisi agar tidak terjadi kesalahan dalam mengacu standar. Juga agar dihindari bekerja seperti kebiasaan yang lalu padahal setiap kapal mempunyai proses las yang berbeda.

## 2. Self Control

Seorang Supervisor harus bisa memberikan contoh dan membina anak buahnya untuk melakukan pemeriksaan sendiri terhadap setiap hasil kerjanya. Sehingga apabila diketahui sendiri terdapat ketidaksesuaian maka segera diperbaiki tanpa menunggu rekomendasi dari Quality Control (QC) dan Quality Assurance (QA).

Self control bukan pemborosan waktu tapi sebaliknya dengan self control akan menghemat banyak waktu dan biaya yang bisa terbuang akibat kesalahan lanjut, dimana self kontrol ditujukan untuk mengurangi tingkat kesalahan yang lebih besar sehingga peran QC dan QA akan lebih aman dari kesalahan dan keteledoran, mengingat QC dan QA biasanya jumlahnya sedikit. Bila dibanding jumlah pengelasan yang ada dalam suatu kapal.

Tiga hal penting untuk pemenuhan target pekerjaan yaitu :

### (1) Pemenuhan Kualitas ( Quality )

Suatu pekerjaan apabila telah dilakukan dengan inputan yang benar dan proses produksi yang benar maka dapat diyakini akan menghasilkan produk/hasil kerja dengan kualitas yang memenuhi persyaratan, spesifikasi teknis, Rules Class dan Regulasi yang berlaku. Dengan pemenuhan kualitas maka owner akan lebih puas dan yakin akan produk yang dihasilkan.

### (2) Pemenuhan akan Efisiensi Biaya ( Cost )

Hasil kerja yang tepat dan tidak banyak mengalami perbaikan atau pekerjaan ulang merupakan kinerja produksi yang mengarah kepada efisiensi biaya disini peran welder sangat besar untuk dapat membantu mengurangi biaya yaitu dengan berperan sebagai juru las yang mempunyai kecepatan pengelasan yang tinggi dan tidak banyak mengalami pekerjaan ulang serta bermutu tinggi.

### (3) Pemenuhan akan Penyerahan Pekerjaan Tepat Waktu ( Delivery )

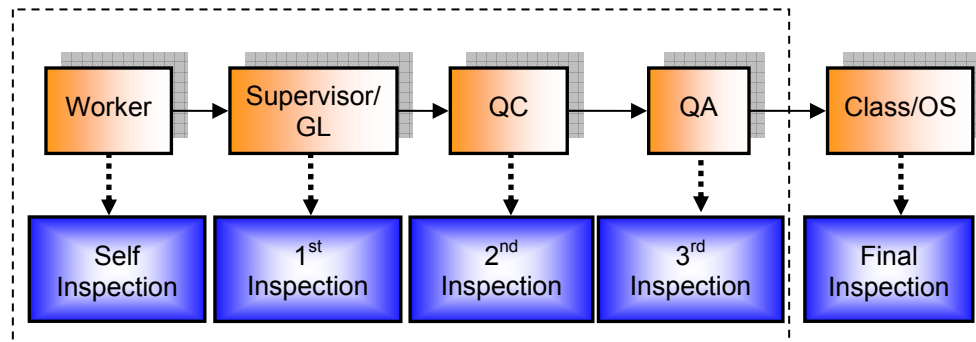
Penyelesaian item-item pekerjaan yang sesuai dengan schedule memberikan kontribusi terhadap penyerahan kapal yang tepat waktu (On Time Performance). Sedapat mungkin pihak galangan kapal menghendaki penyerahan yang tepat waktu bila mungkin penyerahan dapat dilakukan sebelum waktu yang ditentukan (Ahead Schedule)

## 3. Alur Pengendalian Kualitas

Dalam rangka untuk menghasilkan produk yang berkualitas sesuai dengan persyaratan pelanggan, perlu diterapkan kebijakan pengendalian kualitas secara terpadu yang meliputi aspek perencanaan, pengadaan, produksi dan purna jual (after sales).

Adapun pengendalian kualitas dari aspek pelaksanaan produksi dapat digambarkan seperti diagram dibawah ini :

**Diagram I.2 Alur pengendalian kualitas**



#### 4. Alat Bantu Pengendalian Kualitas

Untuk memudahkan proses pengendalian kualitas pengelasan maka dapat digunakan alat bantu berupa pengisian format-format yang telah dipersiapkan, alat bantu ini diisi oleh juru las maupun supervisor las serta bagian lain yang bertanggung jawab.

Format pengendali kualitas berupa :

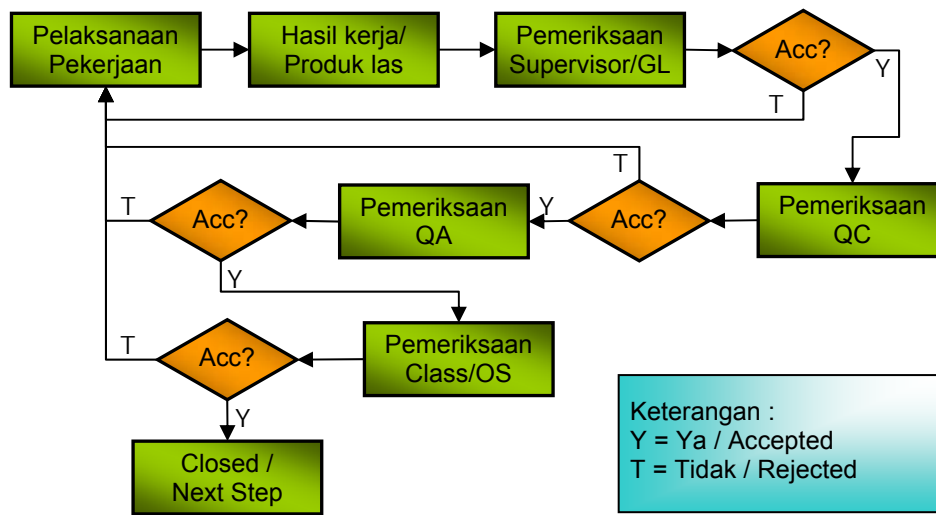
- UPP (Undangan Pemeriksaan & Pengujian)
- QC Check Sheet
- UPM (Undangan Pemeriksaan Material)
- PCCL (Process Control Check List)
- NCR (Non Conformity Report)
- HPP (Hasil Pemeriksaan & Pengujian)

#### 5. Urutan Pemeriksaan & Pengujian

Untuk menjamin kelangsungan proses produksi dengan hasil kerja yang berkualitas, realisasi biaya yang efisien dan penyerahan tepat waktu (QCD), maka diatur urutan pemeriksaan dan pengujian.

Urutan pemeriksaan & pengujian dimaksudkan agar setiap tahapan proses produksi telah memenuhi persyaratan sebelum dilanjutkan pada tahapan proses produksi berikutnya.

Diagram I.3 Urutan Pemeriksaan hasil pengelasan



**I.5.4. Inspektur Las**

**I.5.4.1. Pedoman Untuk Menjadi Inspektur Las**

Seorang Inspektur Las secara yuridis dapat berfungsi sebagai wakil dari pemerintah, badan asuransi konsumen atau produsen. Seorang Inspektur Las bertanggung jawab untuk menilai kualitas sesuatu produk disesuaikan dengan spesifikasi tertulis dan harus mampu menginterpretasi spesifikasi tersebut (limitasi dan tujuannya).

Meskipun seorang Inspektur Las harus berusaha untuk mendapatkan hasil dengan mutu sebaik mungkin, akan tetapi sedapat mungkin jangan sampai menghambat penyelesaian suatu pekerjaan harus dan mengambil tindakan (memutuskan sesuatu) yang tepat dan cepat.

Seorang Inspektur Las adalah seorang "Specialist", berkualifikasi dalam bidang pengelasan. Seorang Inspektur harus memiliki kualifikasi - kualifikasi yang diperlukan dan mampu untuk melaksanakan inspeksi suatu konstruksi las dan dapat memberikan penilaian atas hasil pengelasan serta menguasai aturan, standar yang berlaku .

**I.5.4.2. Kualifikasi Untuk Seorang Inspektur Las**

Untuk seorang Inspektur Las, diperlukan kualifikasi - kualifikasi di bawah ini :

### 1. Kondisi Fisik

Untuk dapat melakukan tugasnya, kondisi fisik seorang Inspektur harus baik. Pekerjaan Inspeksi Las termasuk inspeksi sebelum pengelasan (persiapan), pada saat pengelasan dan setelah pengelasan. Sering seorang Inspektur harus naik ke atas suatu konstruksi yang tinggi atau masuk ke dalam ketel-uap atau bejana tekan untuk melakukan inspeksi. Kondisi inspeksi sering dalam keadaan sulit.

Ingat bahwa posisi pekerjaan adalah untuk memudahkan seorang Juru Las atau Operator Las, bukan Inspektur las.

### 2. Daya Penglihatan

Daya Penglihatan adalah penting. Seorang Inspektur Las harus mampu memeriksa sambungan – sambungan las secara visual dan mampu memeriksa hasil radiografik atau uji tak merusak lain (NDT). Apabila seorang Inspektur berkacamata, maka pada waktu melakukan inspeksi kacamatanya harus dipakai.

### 3. Sikap

Sikap dari seorang Inspektur adalah penting, dapat menentukan apakah seorang Inspektur berhasil atau gagal untuk melakukan tugasnya. Keberhasilan seorang Inspektur tergantung dari kerjasama dengan petugas-petugas dari bagian - bagian yang berhubungan dengan pekerjaan las yang diperiksa, harus bisa bergaul, jangan angkuh tapi berwibawa.

Dalam mendiskusikan sesuatu pekerjaan seorang Inspektur harus toleran terhadap pendapat orang lain, tidak boleh memihak, tetapi harus konsekuen atas keputusannya. Ikuti dengan seksama prosedur inspeksi yang ditetapkan, tidak boleh terpengaruh oleh debat - debat yang menekan.

Ingatlah bahwa dalam dokumen kontrak telah tercantum syarat - syarat yang ditentukan termasuk tugas, kewenangan dan pertanggung jawaban seorang Inspektur.

Seorang Inspektur Las harus jujur, tangkas, teliti, kritis, tegas dan kreatif.

### 4. Pengetahuan Las

Seorang Inspektur Las harus memiliki cukup pengetahuan mengenai proses - proses pengelasan, mengetahui kesalahan - kesalahan atau cacat - cacat las dan tempat - tempat yang sering terdapat cacat - cacat las. Apa yang menyebabkan terjadinya cacat - cacat las dan bagaimana cara mencegahnya dan membetulkannya (reparasi).

Harus mengetahui spesifikasi prosedur pengelasan dan harus mengetahui kelemahan - kelemahan karakteristik dari Juru Las atau Operator Las.

## **5 Pengetahuan Gambar Teknik, Spesifikasi dan Prosedur Pengelasan**

Sebagai seorang Inspektur harus dapat membaca gambar teknik terutama gambar konstruksi las termasuk simbol - simbol las, simbol – simbol uji tak merusak. Harus dapat menginterpretasi dengan benar suatu spesifikasi dan prosedur pengelasan.

## **6. Pengetahuan Cara - Cara Uji**

Untuk menentukan apakah suatu pekerjaan las dapat memenuhi syarat menurut Standar tertentu, diperlukan berbagai cara uji. Setiap cara uji ada limitasinya.

Seorang Inspektur harus mengetahui cara - cara uji dan harus dapat mengevaluasi hasil - hasil uji berdasarkan standar yang ditentukan.

## **7. Rekaman (Records)**

Inspektur harus memelihara rekaman dengan baik. Dia harus dapat menulis laporan yang ringkas dan mudah dimengerti. Laporan harus cukup lengkap sehingga alasan pengambilan keputusan adalah jelas meskipun setelah beberapa lama kemudian.

Rekaman tidak hanya mencakup semua hasil inspeksi dan tes, tapi juga prosedur las, kualifikasi prosedur las dan pengendalian bahan - bahan pengelasan. Rekaman yang baik melindungi reputasi sebagai Inspektur membantu dalam hal penulisan laporan yang ringkas dan lengkap.

## **8. Pengalaman Las**

Pengalaman las untuk seorang Inspektur Las bukan suatu persyaratan yang penting, akan tetapi seorang Inspektur Las yang mempunyai pengalaman sebagai Juru Las atau Operator Las sangat menguntungkan, oleh karena akan lebih mudah memberi saran - saran untuk mencegah atau membetulkan kesalahan – kesalahan las.

## **9. Pendidikan**

Dasar pendidikan atau latihan khusus dalam bidang keteknikan dan metalurgi akan sangat membantu meningkatkan mutu seorang Inspektur Las. Kebanyakan Inspektur mendapatkan pengetahuannya dari pengalaman dan belajar sendiri. Lebih banyak memiliki pengetahuan dan pengalaman seorang Inspektur akan lebih trampil membuat keputusan.

### **I.5.4.3. Kode Etik**

Seorang Inspektur Las harus sadar bahwa dia mempunyai kewajiban tidak hanya terhadap pemberi kerja saja, akan tetapi juga terhadap umum yang keamanannya atau keselamatannya tergantung dari efektifnya tugas yang dia lakukan.

Untuk memelihara integritas dan kemampuan / keterampilan dalam melakukan inspeksi las, Inspektur Las harus mengetahui dan sadar atas prinsip - prinsip sebagai berikut dan ruang-lingkupnya yang diterapkan.

#### **1 Integritas**

Seorang Inspektur Las berkewajiban untuk bertindak dengan integritas penuh dalam hal-hal yang profesional, berpendapat dengan jujur dan terus terang pada hal-hal yang berkaitan dengan tugasnya.

#### **2. Pertanggung jawaban terhadap Umum**

Seorang Inspektur Las berkewajiban untuk melakukan tugas yang disyaratkan untuk inspeksi las dengan sungguh-sungguh tidak memihak dengan moral, pertanggung jawaban dan kualifikasi yang tinggi.

Peran Inspektur Las yaitu :

- (1) Melaksanakan tugas hanya bila berkualifikasi oleh pendidikan dan latihan (training) pengalaman dan kemampuan.
- (2) Dalam pernyataan resmi harus obyektif, cermat dan dalam setiap laporan tertulis, pernyataan atau kesaksian pada pekerjaan termasuk semua informasi yang berkaitan.
- (3) Hanya menandatangani untuk pekerjaan yang dia inspeksi atau untuk pekerjaan yang dia ketahui melalui pengendalian teknis langsung.
- (4) Jangan bersekutu atau berpartisipasi dalam transaksi – transaksi curang atau perbuatan yang tidak jujur.

#### **3. Pernyataan untuk Umum**

Inspektur Las tidak boleh mengeluarkan pernyataan, kritik atau argumentasi pada persoalan inspeksi lasan yang bertautan dengan kebijaksanaan umum, yang untuk itu dibayar oleh Pihak yang menginginkan tanpa terlebih dahulu mengidentifikasi pihak tersebut dan menyingkap kemungkinan minat yang berkenaan dengan uang.

Inspektur Las tidak boleh mengumumkan pendapat mengenai persoalan inspeksi lasan, kecuali didapatnya berdasarkan kemampuan teknis yang bersangkutan dengan persoalan dan berdasarkan keyakinan dari ketelitian pernyataan yang jujur.

#### 4. Perselisihan Kepentingan

Inspektur Las harus mencegah perselisihan kepentingan dengan pemberi kerja atau rekanan yang akan menyingkap hubungan bisnis, kepentingan atau keadaan yang mungkin harus dipertimbangkan. Inspektur Las tidak boleh menerima imbalan dalam bentuk uang atau lainnya dari lebih dari satu pihak untuk proyek yang sama, kecuali keadaannya telah tersingkap dan disetujui oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Inspektur Las tidak boleh meminta atau menerima persenan langsung atau tidak langsung dari pihak rekanan atau pemberi kerja yang berhubungan dengan pekerjaan dari Inspektur Las. Inspektur Las menginspeksi, mereview atau menyetujui pekerjaan untuk pihak yang memberi kerja. Inspektur Las tidak boleh menginspeksi, mereview atau menyetujui pekerjaan yang sama seperti tersebut diatas atas nama pihak lain.

#### I.5.4.4. Komunikasi

Seorang Inspektur tidak hanya harus memiliki kualifikasi fisik, teknikal dan etikal saja, tetapi juga harus memiliki keterampilan berkomunikasi. Inspektur Las harus mampu berkomunikasi dengan bagian atau orang yang berkaitan untuk menyempurnakan tugasnya dengan penuh tanggung jawab dan profesional. Orang-orang yang ada hubungannya dengan Inspektur adalah Pengawas Fabrikasi (Supervisor), Juru Las/Operator Las, Kepala Las (Welding Foreman), Pemimpin bengkel atau lapangan, Manager proyek, Engineer Proyek dan Engineer las (Welding Engineer).

##### 1. Pelaporan

Setiap Inspektur harus membuat laporan untuk pihak tertentu seperti Inspektur Kepala (Chief Inspector), Engineer Proyek, Manager Pabrik, Petugas Pemerintah atau Manager Pengendalian Mutu (Quality Control) atau Kepastian Mutu (Quality Assurance).

##### 2. Juru las

Keterkaitan antara Inspektur dan Juru Las adalah sangat penting. Juru Las mengetahui lasan yang meragukan dan bila penyetelan sambungan (Joint fit-up) kurang tepat atau tidak seperti yang dispesifikasikan. Juru Las yang menganggap seorang inspektur sebagai penghambat adalah tidak dibenarkan. Inspektur ditugaskan membantu Juru Las untuk membuat lasan yang berkualitas. Hubungan kerja antara Inspektur dan Juru Las harus baik.



### **3. Kepala Las (Welding Foreman)**

Kepala Las adalah orang yang penting bagi seorang Inspektur. Berdasarkan daftar Juru Las berkualifikasi dan karakter Juru Las, Kepala Las dapat menentukan Juru Las mana yang ditugaskan untuk pekerjaan las yang sulit.

Inspektur dan Kepala Las harus dapat mengetahui Juru Las yang mampu untuk pekerjaan las yang akan dilakukan. Harus diperhatikan bahwa Inspektur berwenang untuk menyatakan apakah lasan dapat diterima apakah harus ditolak. Hubungan yang baik antara Inspektur dan Kepala Las memberi jalan untuk membuat lasan yang acceptable/ dapat diterima.

### **4 Pemimpin Bengkel atau Lapangan**

Pemimpin Bengkel atau Lapangan mendesak Kepala Las agar produksi selesai pada waktunya. Inspektur harus melakukan tugasnya dengan baik, tetapi jangan sampai menghambat pekerjaan Inspektur dan Pemimpin Bengkel atau Lapangan harus menanamkan saling pengertian demi lancarnya pekerjaan.

### **5. Manager pabrik**

Manager Pabrik juga menginginkan agar pekerjaan selesai pada waktunya. Inspektur harus selalu memberi informasi untuk memungkinkan bahwa pekerjaan memenuhi ketentuan jadwal.

### **6. Engineer Proyek**

Engineer proyek adalah penafsir utama dari gambar dan spesifikasi untuk pekerjaan yang dilakukan. Biasanya dokumen ini menunjukkan rincian untuk setiap sambungan untuk memenuhi tujuan dari Engineer Desain. Peninjauan yang luas dari pekerjaan dengan berkonsultasi dengan Engineer Proyek akan menghasilkan tugas yang memerlukan perencanaan ekstra. Misalnya pada tautan multiple, urutan pengelasan diperlukan untuk menjamin sambungan yang mulus, atau untuk revisi desain dan perincian dapat memudahkan inspeksi yang berarti.

### **7. Engineer Las**

Engineer Las menyetujui bahan yang dipilih oleh Engineer Desain. Inspektur perlu mendapatkan informasi dari Engineer sehingga bila ada kemungkinan masalah konstruksi dapat disampaikan kepada Engineer Las (Welding Engineer ) untuk mendapatkan perhatian sebelum menjadi masalah dalam inspeksi.

Komunikasi adalah penting untuk proses inspeksi. Fungsi utama adalah untuk menginspeksi pekerjaan fabrikasi apakah memenuhi persyaratan dari kontrak. Fabrikator bertanggung jawab penuh untuk mutu dari produk akhir.

Komunikasi yang baik akan memudahkan inspektur tetap berhubungan dengan aktifitas dari organisasi produksi. Pembetulan kesalahan yang dini akan menghasilkan produk yang memuaskan daripada kemungkinan produk yang mungkin harus ditolak.

#### **I.5.4.5. Tugas Dan Tanggung Jawab Inspektur Las**

Inspektur Las mempunyai kedudukan yang bertanggung jawab. Pertanggungjawaban ini menuntut orang yang profesional dengan karakter yang baik, mampu dan berpikiran sehat. Seorang Inspektur Las bekerja pada berbagai bengkel fabrikasi dan melakukan berbagai tugas lapangan. Dia harus mematuhi Jam-kerja Organisasi Fabrikasi, mematuhi peraturan khususnya yang berkaitan dengan keselamatan kerja dan keamanan. Inspektur Las tidak boleh menganggap bahwa dirinya mempunyai hak yang istimewa.

Menghadapi organisasi fabrikator, seorang Inspektur Las harus berpihak mengambil keputusan yang tegas tetapi harus toleran terhadap pendapat orang lain pada saat berkomunikasi.

Fungsi utama dari seorang Inspektur adalah untuk menginspeksi pekerjaan dari fabrikator untuk menjamin pekerjaan tersebut memenuhi persyaratan menurut kontrak. Untuk itu Inspektur harus selalu mengikuti kegiatan organisasi produksi dari fabrikator.

Tugas dari seorang Inspektur adalah mengikuti urutan dari proses fabrikasi. Seorang Inspektur Las bertanggung jawab terhadap :

- (1) Menginterpretasikan gambar rakitan las dan spesifikasi
- (2) Mengecek order pembelian (purchase order) untuk meyakinkan bahwa bahan rakitan las dan bahan las betul-betul berspesifikasi
- (3) Mengecek dan mengidentifikasi bahan-bahan yang diterima apa sesuai dengan spesifikasi pembelian
- (4) Mengecek komposisi kimia dan sifat mekanis yang ditunjukkan pada laporan tes pabrik (mill test report) apakah sesuai dengan persyaratan yang dispesifikasi
- (5) Memeriksa ketidakterampilan logam dasar dan penyimpangan ukuran dan bentuk
- (6) Mengecek penyimpanan bahan pengisi
- (7) Mengecek peralatan yang digunakan
- (8) Mengecek persiapan sambungan lasan

- (9) Mengecek penyetulan sambungan (joint fit-up)
- (10) Verifikasi penerapan prosedur las yang telah disetujui
- (11) Verifikasi rekaman kualifikasi untuk prosedur las, juru las dan operator las
- (12) Memilih contoh tes produksi bila diperlukan
- (13) Mengevaluasi hasil tes terhadap spesifikasi
- (14) Memelihara rekaman-rekaman
- (15) Menyiapkan laporan

Dalam beberapa hal Inspektur Las ( in house ) tidak perlu melakukan semua tugas tersebut diatas. Inspektur Kepastian Mutu bertanggung jawab untuk melakukan sebagian besar dari tugas-tugas tersebut. Pada setiap pabrik atau lapangan dimana Inspektur Las ditempatkan, Inspektur las harus mempelajari program proses inspeksi (flow process inspection plan) dari bagian pengendalian mutu perusahaan yang bersangkutan dan jadwal fabrikasi.

### **1. Review Gambar Rakitan Las dan Spesifikasi**

Inspektur Las terlebih dahulu harus mempelajari gambar dan desain untuk lebih mengetahui rincian konstruksi dan hal - hal yang khusus dari operasi pengelasan.

Inspektur Las harus mempelajari spesifikasi bahan yang akan dipakai dan perlakuan khusus untuk mendapatkan lasan yang memenuhi persyaratan. Informasi itu harus jelas dicantumkan dalam Spesifikasi Prosedur Las.

Pada waktu fabrikasi, Inspektur Las dapat menginterpretasi gambar dan spesifikasi. Mempelajari gambar dan spesifikasi terlebih dahulu akan menambah kemampuan mengambil keputusan yang jelas dan ringkas. Keputusan yang jelas dan ringkas akan mempercepat penyelesaian pekerjaan, meningkatkan profesionalitas dan sangat membantu dalam melakukan tugasnya. Bila ada hal-hal yang kurang jelas harus ditanyakan kepada bagian desain dan bila ada sesuatu yang menurut pendapat inspektur kurang sesuai sebaiknya diusulkan atau didiskusikan dengan pendesain.

Adakalanya pada waktu fabrikasi terjadi penyimpangan dari gambar atau spesifikasi. Apakah penyimpangan dapat diterima atau menyebabkan penolakan ?

Penyimpangan sebaiknya didiskusikan dengan pendesain untuk mendapatkan akseptabilitas atau penolakan. Penentuan bentuk sambungan las dan cara pengetesannya harus berdasarkan suatu Standar atau "Code" yang digunakan (AWS - Structural Welding Code, ASME - Boiler and Pressure Vess Code, AFI dan lain-lain).

## 2. **Review Spesifikasi Prosedur Las (SPL) dan Rekaman Kualifikasi Prosedur (RKP)**

(Welding Procedure Specification = WPS dan Procedure Qualification Record = PQR)

Inspektur Las harus mereview SPL dan RKPnya. SPL dibuat oleh pihak pamanufaktur atau fabrikator berdasarkan gambar, spesifikasi bahan dasar, elektrode las, "Welding Consumables" lainnya dan proses las.

SPL harus dibuktikan kebenarannya dengan mengkualifikasi SPL tersebut. Hasil kualifikasi SPL dicatat pada RKP. SPL yang lama dan RKPnya boleh digunakan untuk pekerjaan yang baru asalkan bentuk sambungan las, spesifikasi bahan dasar, elektrode las dan "Welding Consumables" lainnya, proses las dan lain – lainnya adalah sama.

## 3. **Review Rekaman Kualifikasi Unjuk Kerja (RKU)**

(Welder/Welding Operator Performance Qualification = WPQR)

Perusahaan yang melakukan pekerjaan las untuk konstruksi bangunan baja ketel uap, bejana tekan, tangki penimbun, pemipaan dan lain-lain yang harus diperhatikan soal keselamatan kerjanya, diharuskan memiliki Juru Las atau Operator Las yang berkualifikasi.

Inspektur Las harus memeriksa RKU Juru Las/Opertor Las, apa rekaman tersebut masih berlaku dan apakah sesuai dengan SPL yang akan digunakan.

## 4. **Memeriksa Order - Pembelian (Purchase Order)**

Untuk meyakinkan bahwa spesifikasi logam dasar elektrode las dan "Welding Consumbles" lainnya yang disyaratkan dicantumkan pada order pembelian, maka order pembelian perlu diperiksa. Pada order pembelian harus dicantumkan spesifikasi menurut standar yang digunakan dan disebut pula "Grade" atau kelasnya. Umpamanya sebagai contoh dipakai bahan dasar pelat baja menurut ASTM, maka harus dicantumkan nomor ASTM, misalnya ASTM-A 515 M, Grade 415, dan tebalnya harus dicantumkan.

Sebagai contoh lainnya, misalnya untuk elektrode las menggunakan Standar AWS maka harus dicantumkan nomor AWS-A 5.1 dan nomor klasifikasi umpamanya a.7018 dan juga ukurannya.

## 5. **Memeriksa Laporan – Uji (Mill Test Sheet) dari bahan (Logam Dasar) yang diterima**

Pemasok bahan harus menyertakan laporan-uji dari bahan. Dalam laporan uji tercantum nomor leburan (heat number), komposisi kimia, sifat

- sifat mekanis dan kondisi bahan (as rolled, normalized dan sebagainya). Laporan uji diperiksa apakah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan.

**6. Memeriksa dan Mengidentifikasi Bahan yang Diterima Apakah sesuai dengan Laporan Uji dan dengan Spesifikasi yang Disyaratkan**

Identifikasi dari bahan umpamanya bahan pelat untuk bejana tekan menurut ASTM - A 20/A 20 M - 84a atau ASME Code Section II Part A-SA-20 "General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessel" dilakukan dengan penyetempelan (Stamped) atau dicap (Stenciled), yang mencantumkan nama atau markah pabrik pembuat, nomor leburan dan nomor "Slab", nomor Spesifikasi dan "Grade".

Apabila suatu pelat dipotong untuk sesuatu keperluan, sehingga pada sisa potongan pelat tidak terdapat tanda-tanda identifikasi lagi, maka sisa potongan pelat harus diberi tanda – tanda identifikasi yang sesuai dengan aslinya.

**7. Memeriksa Kemungkinan Adanya Ketidakterpenuhiannya seperti Cacat - Cacat Permukaan Laminasi dan sebagainya atau Terdapat Penyimpangan Ukuran pada Bahan.**

Cacat permukaan dan laminasi pada batas-batas tertentu menurut standar spesifikasi masih diperkenankan atau harus direparasi, pula penyimpangan ukuran dan toleransinya. Oleh karena itu pemeriksaan cacat - cacat tersebut harus selalu menggunakan standar spesifikasi yang disyaratkan.

**8. Memeriksa Cara Penyimpanan Bahan Pengisi Las (Filler Materials)**

Elektroda terbungkus (Covered Arc Welding Elektrodes) sangat peka terhadap lembab, maka dari itu tempat penyimpanan harus kering.

Menurut AWS Spesifikasi A 5.1 kondisi penyimpanan untuk elektrode las terbungkus baja karbon rendah (Mild Steel Covered Arc Welding Elektrodes) adalah seperti pada tabel I.10 di bawah ini :

**Tabel I.18 Kondisi Penyimpanan dan Pemanasan Ulang (Rebake) untuk Elektroda Las Terbungkus Baja Karbon Rendah**

Klasifikasi A W S	Kondisi Penyimpanan		Pemanasan Ulang
	Kondisi Ruang (Normal)	Peti Pemas	
E 6010, E 6011	27 <sup>0</sup> C ± 11 <sup>0</sup> C (80 <sup>0</sup> F ± 20 <sup>0</sup> F) 20-60% kelembaban relatif	Untuk kondisi penyimpanan dan pemanasan ulang harus dikonsultasikan pada pemasok.	
E 6012, E 6013 E 6020, E 6027 E 7014, E 7024	27 <sup>0</sup> C ± 11 <sup>0</sup> C (80 <sup>0</sup> F ± 20 <sup>0</sup> F) 50% maksimum kelembaban relatif	11 <sup>0</sup> C - 22 <sup>0</sup> C 20 <sup>0</sup> F - 40 <sup>0</sup> F) diatas suhu ruang	135 <sup>0</sup> C ± 14 <sup>0</sup> C (275 <sup>0</sup> F ± 25 <sup>0</sup> F) selama 1 jam
E 7018, E 7028	27 <sup>0</sup> C ± 11 <sup>0</sup> C (80 <sup>0</sup> F ± 20 <sup>0</sup> F) 50% maksimum kelembaban relatif	27 <sup>0</sup> C - 138 <sup>0</sup> C 50 <sup>0</sup> F - 250 <sup>0</sup> F) diatas suhu ruang	343 <sup>0</sup> C ± 28 <sup>0</sup> C (650 <sup>0</sup> F ± 50 <sup>0</sup> F) selama 1 jam
E 7015, E 7016	27 <sup>0</sup> C ± 11 <sup>0</sup> C (80 <sup>0</sup> F ± 20 <sup>0</sup> F) 50% maksimum kelembaban relatif	27 <sup>0</sup> C - 138 <sup>0</sup> C 50 <sup>0</sup> F - 250 <sup>0</sup> F) diatas suhu ruang	288 <sup>0</sup> C ± 28 <sup>0</sup> C (550 <sup>0</sup> F ± 50 <sup>0</sup> F) selama 1 jam

Pemanasan ulang atau “Rebake” dilakukan apabila pengemas elektrode las telah terbuka. Biasanya dilakukan sebelum dipakai.

### 9. Pengawasan Kualifikasi Unjuk Kerja Juru Las atau Operator Las

Apabila perusahaan yang bersangkutan tidak dapat menunjukkan Kualifikasi Juru Las / Operator Las, maka perusahaan harus melakukan kualifikasi tersebut diawasi oleh Inspektur Las.

### 10. Pengawasan Kualifikasi Prosedur Pengelasan

Untuk meyakinkan kebenaran Spesifikasi Prosedur Pengelasan yang telah disetujui, perusahaan harus melakukan Kualifikasi Prosedur Pengelasan diawasi oleh Inspektur Las berdasarkan hasil uji kualifikasi, dibuat RKPnya.

## 11. Pengawasan Pengujian Bahan dan Mengevaluasi Hasil Uji Bahan

Apabila perusahaan yang bersangkutan tidak dapat menunjukkan laporan uji bahan (mill test sheet) atau identifikasi bahan yang diterima tidak sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan maka harus dilakukan pengujian bahan dengan pengawasan Inspektur Las.

Inspektur Las harus mengevaluasi hasil uji dan apabila sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan, maka Inspektur Las harus menyetujui (approved) untuk dapat dipakai.

## 12. Inspeksi Visual

Inspeksi visual mencakup pemeriksaan rakitan las terhadap kelulusan pengerjaan (Workmanship) dan keseluruhan dimensi. Lasan diperiksa untuk meyakinkan bahwa lokasi dan ukurannya sesuai Inspeksi Visual dengan yang dispesifikasikan pada gambar rekayasa dan penampakannya sesuai dengan spesifikasi.

Gambar rekayasa pada umumnya menunjukkan dimensi rakitan las dan dimensi serta lokasi dari setiap lasan. Akseptabilitas dari rakitan las berdasarkan pemenuhan setiap lasan menurut gambar yang dapat ditentukan oleh inspektur pada waktu inspeksi visual.

Mutu dari lasan banyak ditunjukkan oleh tampak permukaan. Bila persiapan sambungan lasan adalah baik dan juru-lasnya mampu (berkualifikasi), akan mendapatkan lasan yang mulus dan memenuhi spesifikasi.

Inspeksi visual adalah mudah dilakukan cepat dan murah serta tidak memerlukan peralatan khusus selain kaca pembesar, "Gage", skala mistar insut (Calipers), mikrometer, borescope dan cermin dokter gigi. Inspeksi visual dilakukan sebelum, pada waktu dan setelah pengelasan .

### 12.1 Inspeksi Sebelum Pengelasan

Inspeksi dimulai dengan pemeriksaan bahan sebelum fabrikasi "Seams" dan "Laps" atau ketidaksempurnaan permukaan lainnya dapat dideteksi dengan pemeriksaan visual. Laminasi dapat dilihat pada sisi potongan. Dimensi pelat dan pipa dapat ditentukan dengan pengukuran. Setelah bagian - bagian yang akan dilas dirakit, inspektur harus memperhatikan celah akar las yang salah, persiapan sisi-sisi yang akan dilas yang tidak sesuai dan persiapan sambungan lainnya yang akan mempengaruhi mutu dari sambungan las.

Inspektur harus mengecek kondisi-kondisi berikut ini untuk pemenuhan spesifikasi yang digunakan :

- (1) Persiapan pinggiran yang akan dilas (sudut bevel, sudut galur, muka akar) dimensi dan penyelesaiannya
- (2) Ukuran strip, cincin atau logam pengisi penahan balik
- (3) Kesetangkupan (alignment) dan penyetulan (fit-up) dari bagian - bagian yang akan dilas
- (4) Pembersihan (harus tidak terdapat kotoran-kotoran seperti lemak, minyak, cat dan lain-lain pada sisi yang akan dilas dan sekitarnya)

Inspeksi yang teliti sebelum pengelasan dapat meniadakan atau mengurangi kondisi yang mengakibatkan lasan mengandung diskontinuitas.

## 12.2 Inspeksi Pada Waktu Pengelasan

Inspeksi visual mengecek rincian pekerjaan pada waktu jalannya pengelasan, rincian pekerjaan pengelasan yang harus dicek adalah :

- (1) Proses las
- (2) Logam pengisi
- (3) Fluks atau gas pelindung
- (4) Suhu pemanasan awal (preheat) dan suhu antar jalur (interpass)
- (5) Pembersihan
- (6) Pemahatan penggerindaan atau penakukan (gouging)
- (7) Persiapan sambungan untuk pengelasan sisi kebalikannya
- (8) Pengendalian distorsi
- (9) Suhu dan waktu perlakuan panas pasca las.

Inspektur harus paham dengan semua persoalan yang menyangkut spesifikasi prosedur las berkualifikasi. Harus mengecek dengan teliti, khususnya pada tingkat - tingkat awal dari produksi dan harus memverifikasi pemenuhan semua rincian dari prosedur.

Lapisan pertama atau jalur akar (rootpass) adalah yang paling penting untuk mencapai kemulusan final jalur akar akan cepat membeku oleh karena konfigurasi dari sambungan volume logam dasar yang relatif besar dibandingkan dengan logam lasan jalur akar, pelat yang dingin dan kemungkinan busur tidak dapat mencapai akar. Jalur akar cenderung akan menjebak terak atau gas yang pada waktu pengelasan jalur-jalur selanjutnya tidak akan hilang. Pula logam yang mencair pada waktu pengelasan jalur akar ini peka terhadap keretakan. Retakan ini dapat menjalar ke lapisan - lapisan selanjutnya. Oleh karena itu inspeksi dari jalur akar ini harus betul - betul teliti.

Pada lasan jalur berganda (double groove welds), terak dari jalur akar pada satu sisi pelat akan menetes melalui celah akar dan membentuk deposit terak pada sisi kebalikannya.



Oleh karena itu, sebelum pengelasan sisi kebalikannya harus dilakukan pemahatan, penggerindaan atau penakukan balik (back gouging).

### **12.3. Inspeksi Setelah Pengelasan**

Inspeksi visual setelah pengelasan adalah berguna untuk verifikasi produk yang selesai :

- (1) Pemenuhan persyaratan gambar
- (2) Tampak rakitan las
- (3) Adanya diskontinuitas struktural
- (4) Tanda – tanda oleh karena kesalahan penanganan (markah Inspeksi yang terlalu dalam atau penggerindaan yang berlebihan dan sebagainya)

## RANGKUMAN

1. Pengelasan pada konstruksi kapal mempunyai aturan tersendiri yang dipersyaratkan oleh Badan Klasifikasi dimana Badan Klasifikasi yang dipercaya mengawasi pembangunan kapal berasal dari dalam negeri maupun luar negeri.
2. Memperhatikan persyaratan pembangunan kapal sangat ketat maka juru las mempunyai peran yang sangat besar dan untuk pembangunan konstruksi utama kapal juru las harus terqualifikasi.
3. Jenis proses pengelasan yang digunakan pada kapal dipengaruhi oleh posisi dan sifat pekerjaan yang ada pada kapal, diman posisi konstruksi bersifat datar, horisontal, vertikal dan diatas kepala sedangkan sifat pekerjaan dapat berupa sambungan tumpul, sambungan sudut, sambungan tumpang, sambungan ujung dan lain – lain.
4. Istilah – istilah penting tentang logam :
 

Logam	=	Adalah mineral yang tidak tembus pandang dan dapat menghantarkan aliran panas atau aliran listrik
Besi	=	Logam yang keras, yang dihasilkan dari proses pengolahan biji besi pada dapur tinggi
Baja	=	Logam yang keras dan kuat, yang dihasilkan dari proses pengolahan lanjut logam besi melalui dapur Siemens Martin, Bessemer, Open Heart atau dapur listrik
Logam Ferrous	=	Logam yang terbuat dari unsur dasar besi (Fe) dan Carbon (C)
Logam Non Ferrous	=	Logam yang terbuat dari unsur dasar bukan besi (Fe) dan Carbon (C)
Baja Carbon Rendah	=	Baja yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,1 % sampai dengan 0,3 %
Baja Carbon Sedang	=	Baja yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,3 % sampai dengan 0,6 %

Baja Carbon Tinggi	=	Logam yang mempunyai kandungan karbon 0,7 % sampai dengan 1,3 %
Baja campuran	=	Logam baja yang telah mengalami proses penambahan unsur – unsur paduan
Baja Tahan Karat	=	Logam baja yang mempunyai sifat tahan terhadap karat
Unsur Paduan	=	Adalah unsur – unsur kimia yang ditambahkan pada logam untuk memperbaiki sifat – sifat logam tersebut
Heat Treatment	=	Proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat – sifat tertentu
Hardening	=	Proses pemanasan logam yang bertujuan untuk menambah sifat kekerasan logam
Tempering	=	Proses pemanasan logam yang bertujuan untuk mengurangi sifat kekerasan
Annealing	=	Proses pemanasan dan pendinginan logam yang bertujuan untuk melunakkan kekerasan logam
Klasifikasi baja	=	Penggolongan logam baja berdasarkan komposisi unsur paduan
Klasifikasi Aluminium	=	Penggolongan logam aluminium berdasarkan komposisi unsur paduan
Aluminium	=	Logam yang lunak, yang dihasilkan dari proses elektrolitik oksid aluminium
Oksid Aluminium	=	Unsur senyawa bahan aluminium, yang dihasilkan dari proses pemisahan biji bauksit dari unsur – unsur kimia yang lain dengan mempergunakan larutan tawas murni
Hyronalium	=	Adalah aluminium murni yang ditambahi unsur paduan jenis Magnesium (Mg) sebesar 4% sampai dengan 10%
Silumin	=	Adalah aluminium murni yang ditambahi unsur paduan jenis Silisium (Si) sebesar 12% sampai dengan 13%

Duralumin = Adalah aluminium murni yang ditambahi unsur paduan jenis Cuppri (Cu) sebesar 5%, Silisium (Si) sebesar 1,5%, Mangan (Mn) sebesar 1,5% dan Magnesium (Mg) sebesar 2,5%

5. Kualitas pemotongan dengan gas oxy acetilyn dipengaruhi oleh :
  - a) Kecepatan pemotongan
  - b) Tekanan oksigen potong
  - c) Kekuatan nyala pemanasan awal
  - d) Jarak antara nosel dengan material yang dipotong serta kebersihan cumcum potong
6. Spesifikasi prosedur pengelasan (Welding Procedure Specification) disingkat dengan WPS merupakan sebuah dokumen tentang prosedur pengelasan berkualifikasi tertulis yang harus dipersiapkan untuk dijadikan petunjuk pengelasan sesuai persyaratan yang diacu.
7. Pemotongan dengan menggunakan peralatan potong skator dapat dilakukan dengan urutan proses sebagai berikut :
  - a) Tandai plat yang akan dipotong
  - b) Pasangkan ujung alat potong dan aturlah tekanan gas oksigen sampai  $2,5 \text{ kg/cm}^2$
  - c) Setel nyala api netral antara 4 – 5 mm
  - d) Atur jarak potong antara logam dan kerucut nyala api kira – kira 3 mm
  - e) Letakkan ujung alat potong diatas logam yang akan dipotong dan panaskan sampai berwarna merah
  - f) Buka katup tabung gas oksigen dan dilanjutkan dengan menjalankan (memutar saklar posisi "ON" )
8. Yang harus diperhatikan dalam perangkat kerja untuk seorang supervisor las antara lain gambar kerja, standar kerja, daftar material, peralatan dan instruksional manual.

**LATIHAN SOAL**

- I. Berilah tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d dan e pada jawaban yang benar !
- Plat mild steel termasuk dalam kelompok baja .....
    - Baja karbon tinggi
    - Baja karbon rendah
    - Baja karbon sedang
    - Baja tuang
    - Baja tempa
  - Alat yang digunakan untuk mengukur arus las dinamakan .....
    - Flow meter
    - Manometer
    - Tang ampere
    - Tacho meter
    - Spidometer
  - Nozle Welding Gun Las Tig dibuat dari .....
    - Tembaga
    - Tungsten
    - Wolfram
    - Ceramic
    - Kuningan
  - Plat ukur yang digunakan untuk mengukur diameter luar dan dalam dari suatu pipa adalah dengan menggunakan .....
    - Mistar
    - Micrometer
    - Jangka sorong
    - Busur bevel universal
    - Calipers
  - Alat yang digunakan untuk menahan bagian yang akan disambung untuk sementara waktu, dengan menggunakan .....
    - Tang potong
    - Tang biasa
    - Tang mulut bulat
    - Tang catok
    - Tang mulut datar
  - Baja yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,1% s/d 0,3% disebut .....
    - Baja karbon rendah
    - Baja karbon sedang
    - Baja karbon tinggi
    - Baja campuran
    - Baja tahan karat

7. Proses pemanasan logam yang bertujuan untuk menambah sifat kekerasan logam disebut proses .....
  - a. Heat treatment
  - b. Hardening
  - c. Tempering
  - d. Anneling
  - e. Preheating
  
8. Jenis material manakah yang biasa digunakan untuk konstruksi lambung kapal ?
  - a. Baja karbon
  - b. Baja perkakas
  - c. Besi tuang
  - d. Baja tempa
  - e. Baja tahan karat
  
9. Material manakah yang langsung dapat bereaksi dengan oksigen ?
  - a. Baja
  - b. Tembaga
  - c. Timah
  - d. Aluminium
  - e. Magnesium
  
10. Dengan tanda warna apakah botol oksigen dapat dikenali ?
  - a. Strip kuning
  - b. Strip merah
  - c. Strip biru
  - d. Strip hijau
  - e. Strip abu - abu
  
11. Berikut ini adalah peralatan yang perlu dipersiapkan pada proses pemotongan dengan gas oksigen dan asetilin, kecuali .....
  - a. Slang, regulator asetilin & oksigen jet coupling
  - b. Brander tangan, jarum pembersih (tip cleaner)
  - c. Pematik (korek)
  - d. Kunci botol
  - e. Tabung oksigen dan asetilin
  
12. Berikut ini adalah jenis gas untuk digunakan dalam proses pemotongan pelat, kecuali .....
  - a. Oksigen
  - b. LPG
  - c. Propana
  - d. Nitrogen
  - e. Halogen

13. Alat yang paling tepat untuk mengukur gap pada kampuh pengelasan adalah .....
- a. Sketmat
  - b. Roll meter
  - c. Tapper gauge
  - d. Mikrometer
  - e. Filler gauge
14. Pekerjaan pemotongan plat harus memperhatikan hal – hal berikut :
- a. Posisi slang gas ada di depan tukang potong
  - b. Posisi slang gas ada di belakang tukang potong dan mengamankan lokasi jatuhnya percikan api
  - c. Posisi slang gas besar dimana saja asal tidak mengganggu pekerjaan
  - d. Melilitkan slang pada tubuh untuk memudahkan gerakan
  - e. Arah pemotongan bergerak maju
15. Sebuah dokumen yang disiapkan dan dikualifikasikan untuk mendapatkan langkah dalam melaksanakan pengelasan produk dinamakan .....
- a. Welding Procedure Specification
  - b. Welding Performance Qualification
  - c. Welding Operator Qualification Test
  - d. Welding Procedure Qualification
  - e. Manufacturers Record of Welding

**II. Jawablah pertanyaan – pertanyaan dibawah ini dengan jelas dan benar !**

- 1. Sebutkan jenis hasil pemotongan dan gambarkan bentuk penampang permukaan hasil pemotongan dengan gas !
- 2. Apa yang dimaksud dengan baja karbon rendah, jelaskan !
- 3. Apa yang dimaksud dengan baja karbon tinggi, jelaskan !
- 4. Apa yang dimaksud dengan logam ferrous, jelaskan !
- 5. Sebutkan macam – macam alat ukur yang anda kenal untuk pekerjaan logam !

## BAB II PROSES PENGELASAN SECARA UMUM

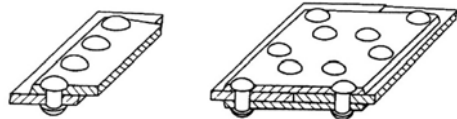
### II.1 PENGERTIAN PENGELASAN

#### II.1.1 Penyambungan Logam

##### II.1.1.1 Penyambungan mekanis dan penyambungan metalurgi

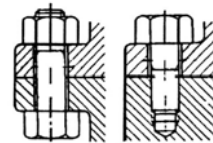
Beragam-macam metode telah ditemukan untuk penyambungan bagian-bagian dari logam. Semuanya ini termasuk metode mekanis misalnya dengan mur dan baut, keling, pasak, sambungan pres/kempa dan pengkerutan; serta metode metalurgi dengan cara mendekatkan permukaan sebisa mungkin. Tipe dari metode ini adalah dengan membuat/memberikan gaya pada penyambungan dalam berbagai cara : penyambungan mekanis langsung dengan menggesekkan permukaan, sementara itu penyambungan metalurgi terjadi sebagaimana dengan pengelasan, gaya tarik terjadi antar atom dari logam tersebut.

- Sambungan keling

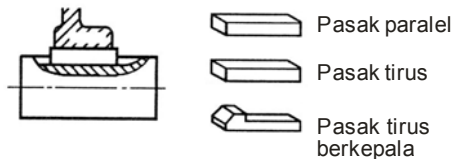


(a) Sambungan tumpang (b) Sambungan tumpul

- Sambungan mur dan baut



- Sambungan pasak



- Sambungan poros



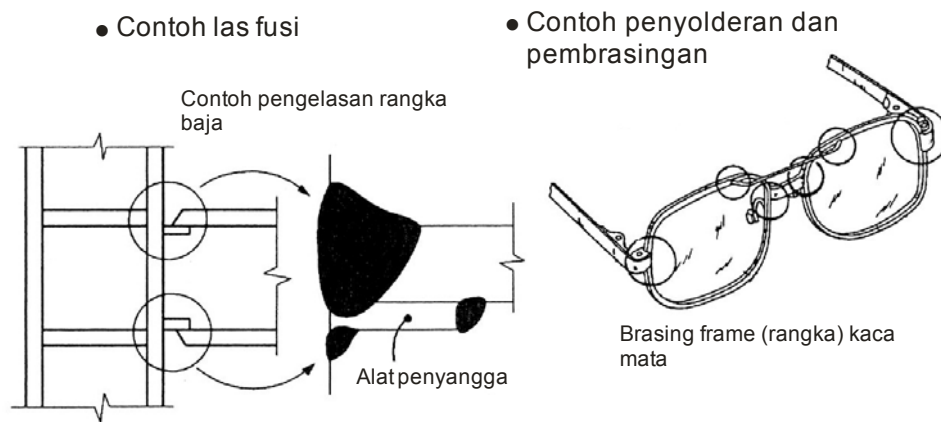
**Gambar II.1 Contoh-contoh penyambungan mekanis**

Dengan penyambungan mekanis, lubang atau alur pasak harus disiapkan pada bagian yang disambung dan biasanya keduanya harus bertumpukan. Bagaimanapun juga jika kedua bagian ini harus dipisah atau dilepas maka semuanya ini akan mudah dilaksanakan. Pada masalah pengelasan, bagian-bagian yang disambung akan menjadi satu (menyatu) selamanya, yang mana setelah disambung tidak mudah untuk dipisahkan satu dengan yang lain.



Dengan melihat keunggulan dari perkembangan teknologi pada berbagai industri, misalnya rel kereta, otomotif, bangunan kerangka baja, bejana tekan, bangunan kapal, jembatan, industri permesinan, industri kimia, tenaga nuklir sampai untuk kerangka kaca dan produksi barang-barang hias, teknik pengelasan telah membuat suatu kemajuan yang pesat.

Pengembangan las mempunyai sejarah yang panjang. Jika teknologi pengelasan ini tidak dikembangkan, industri-industri tersebut di atas tidak bisa menikmati kemajuan teknologi. Walaupun sebagian besar material yang disambung dengan pengelasan adalah logam, pada saat ini telah memungkinkan untuk menyambung keramik, plastik, dan material-material lain dengan pengelasan, dan sekarang ini memungkinkan melaksanakan pengelasan di luar angkasa.




**Gambar II.2 Penyambungan dengan pengelasan**

Pada proses pengelasan terjadi beberapa problem yang disebabkan oleh lokalisasi panas dari material yang disambung, problem tersebut antara lain :

1. Terjadinya perubahan kualitas pada material setempat
2. Terjadi regangan dan tegangan sisa
3. Dapat menimbulkan cacat pada pengoperasiannya

Problem-problem ini dapat menimbulkan cacat atau merusak konstruksi pengelasan. Bagaimanapun juga, pengelasan digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga untuk menjamin kualitas pengelasan, problem-problem tersebut harus dapat diatasi.

## II.1.2 Prinsip Pengelasan

 **Metode penyambungan logam dengan cara tarik-menarik antar atom dinamakan pengelasan**

Ketika permukaan logam menjadi aktif, dengan kata lain ketika permukaan benar-benar bersih dan dalam kondisi energi potensialnya tinggi, jika atom dari salah satu logam berisikan sekitar ratusan juta atom tiap centimeter demikian juga dengan atom dari logam yang lainnya, atom-atom dari salah satu logam secara alami menyatu/menyampur dengan atom-atom dari logam lainnya. Permukaan dari kedua logam ini sama dengan permukaan dari patahan/retakan logam dalam kondisi mendekati hampa/vakum seperti di luar angkasa. Jika permukaan-permukaan tersebut bersih dan rata, didekatkan satu sama lain sampai bersentuhan, kedua logam tersebut bisa tersambung

karena tarik-menarik antara atom-atomnya tersebut. Metode penyambungan logam dengan cara tarik-menarik antar atom ini dinamakan **pengelasan**.

### II.1.2.1 Dua kondisi keberhasilan pengelasan

Kenyataannya permukaan logam-logam secara normal terlapis dengan lapisan film oksida yang tipis dan berkontaminasi dengan gas, utamanya gas oksigen atau nitrogen, uap atau minyak. Dalam kasus-kasus seperti ini, bahkan jika logam didekatkan sampai bersentuhan pun penyambungan secara atom kedua logam tersebut tidak dapat terjadi. Meskipun permukaan dipoles/digosok, permukaan logam-logam tersebut secara mikroskopis tetap tidak sama, mencegah/menghalangi atom-atom logam tersebut berdekatan satu sama lain disebabkan adanya tonjolan-tonjolan mikroskopis.

**Keberhasilan sebuah pengelasan mensyaratkan beberapa kondisi seperti :**

- (a) Hilangkan lapisan film oksida, karat dan kotoran yang dapat menghalangi kontak (sentuhan) antar atom dari logam sehingga bersih dan mengaktifkan permukaan
- (b) Meluaskan areal permukaan kontak atom dari kedua logam tersebut

### II.1.2.2 Permukaan patahan logam dalam merkuri (air raksa)

Kedua kondisi diatas digambarkan secara jelas dengan contoh berikut. Celupkan sebuah batang logam yang getas/rapuh kedalam merkuri (air raksa) dan patahkan batang tersebut. Permukaan patahan dari batang tersebut secara cepat dilapisi dengan lapisan merkuri (air raksa). Hal ini tidak akan terjadi jika batang patah di udara kemudian dicelupkan ke dalam merkuri (air raksa). Permukaan batang yang patah

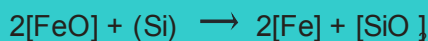
di dalam merkuri (air raksa) adalah sama seperti batang yang patah pada kondisi ruang vakum (hampa); patahan tidak terkontaminasi sama sekali dan aktif. Karena merkuri (air raksa) merupakan zat cair, semua atom merkuri mendekati atom logam pada permukaan patahan dan bersenyawa (bereaksi) dengan logam tersebut, meskipun hanya pada permukaan. Tentu saja, percobaan ini berbahaya dan tidak harus dicoba, tetapi merupakan suatu contoh yang menarik dari persyaratan kondisi untuk pencapaian sebuah pengelasan.

### II.1.2.3 Persyaratan untuk memenuhi dua kondisi keberhasilan pengelasan

1. Kondisi pertama, minyak harus dibersihkan dari permukaan logam dengan cara menyikat dengan sikat baja.

Ketika baja akan dilas, flux (pelapis material) dari pada elektrode SMAW atau kawat GMAW berisi elemen-elemen (disebut dengan **deoksidan** misalnya silikon, mangan, titanium atau aluminium yang mana elemen-elemen tersebut daya tarik-menarik secara kimia yang lebih tinggi dari pada besi/baja. Semua ini digunakan untuk menyiapkan permukaan menjadi aktif dan menjadikan logam las yang baik dengan menjaga kontaminasi gas-gas terutama oksigen dan dengan menghilangkan lapisan film oksida dari permukaan logam. Reaksi dimana oksigen dibuang/dibersihkan dari oksida besi dinamakan sebagai **deoksidasi**.

Rumus kimia dari reaksinya adalah :



Tanda dalam kurung [ ] pada rumus diatas menunjukkan molekul dalam logam cair, sedangkan tanda dalam kurung ( ) menunjukkan molekul yang terdapat pada cairan slag/terak. Sehubungan dengan hal tersebut, oksida besi di-deoksidasi dengan penambahan silikon dan mangan, dan oksida-oksida ( $\text{SiO}_2, \text{MnO}$ ) membeku menjadi bentuk terak, sesudah pembekuan logam cair akan melindungi permukaan dari logam las dari udara sekitar dan menjaga logam las dari pendinginan yang terlalu cepat.

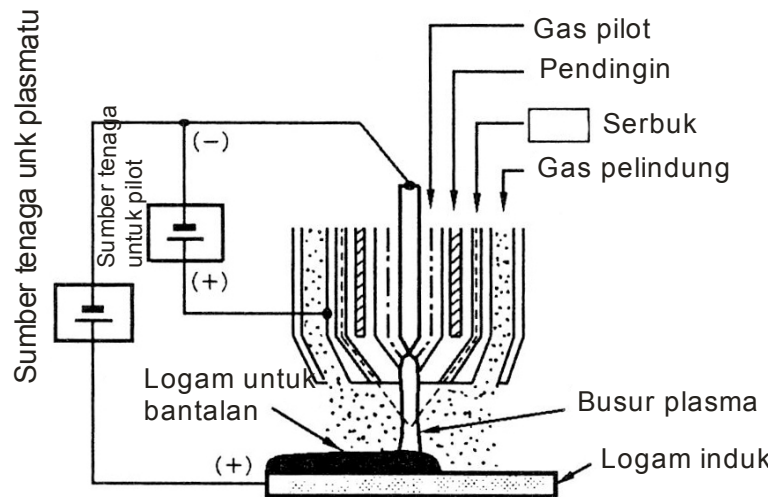
Ini adalah metode thermal yang menurunkan fluks (terak) untuk membentuk pembakaran deoksidasi gas yang terjadi sebagai penahan dari udara sekitar dan menjaga masuknya nitrogen, jadi melindungi logam las saat pengelasan dan menjamin kebersihan dan permukaan aktif.

Jika nitrogen yang ada di udara masuk ke logam las maka akan membentuk lubang cacing (blow holes). Oksigen juga bisa masuk ke logam las. Bagaimanapun juga metode oksidasi ini sering mengatasi masalah-masalah tersebut. Dengan proses SMAW, terak dan pembakaran gas membantu dalam menjamin keberhasilan pengelasan, dan metode ini menggunakan jenis fluks yang dilindungi gas-slag (terak).

Dengan GMAW, las busur berpelindung gas dilaksanakan dengan melindungi logam las dengan cara menutupi logam las dengan gas CO<sub>2</sub> atau gas campuran CO<sub>2</sub> dan argon atau gas mulia misalnya argon atau helium seperti pada las GTAW. Gas-gas tersebut adalah sebagai gas pelindung. Bagaimanapun, gas-gas tersebut merupakan penahan terhadap udara dan hanya menjaga masuknya oksigen atau nitrogen di udara dan tidak mempunyai efek deoksidasi. Dengan metode proses GMAW untuk pengelasan baja yang disebutkan sebelumnya, sejumlah besar dari mangan dan silikon yang terkandung dalam kawat las berperan sebagai deoksidan, membantu untuk menjamin mutu logam las.

2. Kondisi kedua dicapai baik dengan saling mendekati maupun kontak dari atom-atom logam dengan melebur kedua logam yang akan dilas, menggunakan berbagai sumber panas (disebut dengan las fusi/cair, atau penyolderan dan pembrasingan) atau dengan melakukan tekanan ke logam pada kondisi plastis untuk menimbulkan kontak secara atomik (disebut dengan pengelasan dengan tekanan/las solid).

Pengelasan digunakan tidak hanya menyambung dua atau lebih bagian, tetapi juga untuk meningkatkan mutu permukaan seperti pengerasan (hardening), pelapisan, pengerasan permukaan (hard facing) atau penyemprotan (spraying) teknik/cara tersebut juga dianggap sebagai pengelasan, dan digunakan untuk memperbaiki bagian yang aus atau rusak, atau untuk membuat bagian-bagian tersebut tahan aus, untuk memperpanjang umur atau penghematan material, khususnya pada bagian-bagian mesin dalam bidang produksi baja, teknik sipil dan konstruksi termasuk konstruksi kapal laut.



**Gambar II.3 Pengelasan plasma dengan bantalan serbuk**

### II.1.3 Kelebihan Dan Kekurangan Pengelasan

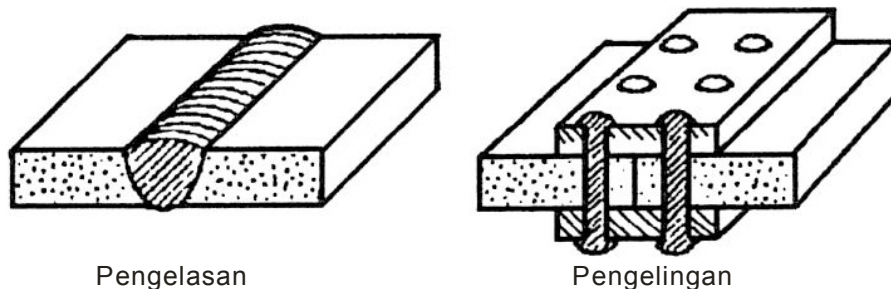
Serupa dengan penyambungan mekanis menggunakan mur baut, pasak atau sambungan kerut, dan pengeleman menggunakan bahan perekat, pengelasan adalah metode umum manufaktur produk-produk dengan cara penyambungan atau perakitan material. Peran utama dari pengelasan telah berubah seiring perkembangan teknologi dari waktu ke waktu. Pengelasan dahulu digunakan untuk fabrikasi produk sederhana atau bentuk yang kompleks menggunakan satu tipe material dengan menekankan faktor keselamatan. Bagaimanapun juga, dengan meningkatnya keragaman penggunaan produk-produk, material kompon (campuran) yang berisi bermacam-macam kandungan makin banyak digunakan, sehingga keuntungan dan kerugian pengelasan untuk penyambungannya harus lebih dimengerti/dipahami.

Secara umum saat ini disadari bahwa, jika kekuatan sambungan, pengikatan yang sempurna, atau nilai ekonomis sangat penting, pengelasan menjadi satu-satunya pilihan dibandingkan dengan metode penyambungan lain seperti pengelingan, mur baut, pasak atau pengeleman.

#### II.1.3.1 Kelebihan-kelebihan pengelasan

1. Bentuk geometri yang sederhana dari bagian yang disambung memungkinkan penurunan biaya dan berat material, jam orang pelaksanaan, meningkatkan nilai ekonomis dan produktivitas.

Jika dua buah plat akan disambung, seperti ditunjukkan gambar II.4, perubahan bentuk geometri penyambungan tidak banyak pengaruhnya dibandingkan dengan penyambungan dengan mur baut atau pengeleman. Gambar tersebut adalah contoh sambungan tumpul dari dua buah pelat. Jika baut-baut atau keling digunakan, diperlukan dua plat sirip dan lubang harus dibor. Lubang-lubang mengurangi daerah penerus beban sepanjang bagian yang terkonsentrasi menerima tegangan sekeliling lubang. Sambungan tumpul dan tumpang adalah bentuk penyambungan yang tidak hanya dipakai untuk dua material yang sama tetapi juga digunakan untuk material yang berbeda.

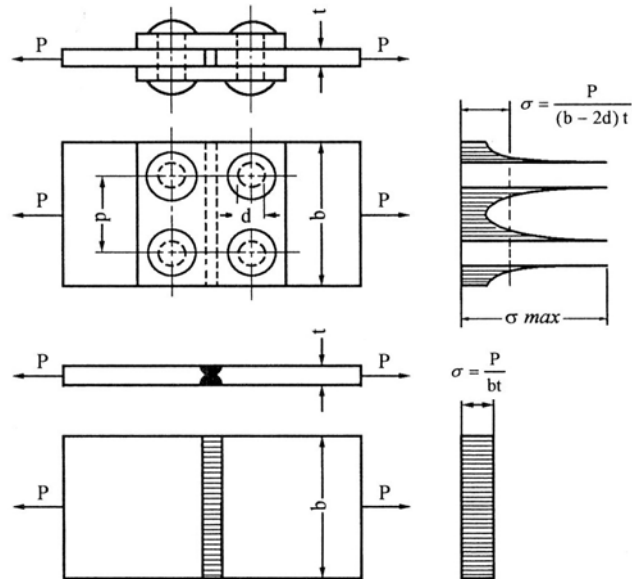


**Gambar II.4 Perbedaan antara sambungan las dan sambungan tumpul yang dikeling**

Walaupun kekuatan sambungan tidak dapat dipelihara pada bentuk/konfigurasi tersebut, sehingga digunakan penyambungan selendang untuk menambah kekuatan sambungan, dengan penumpukan bagian yang rata membuat bertambahnya permukaan sambungan tersebut. Fluktuasi (naik turun) pada kekuatan sambungan akan terlihat sesuai dengan test uji kekuatan tarik, patahan dari sambungan las tidak pernah terjadi pada sambungan tetapi di logam induk, substansinya bahwa daerah sambungan lebih kuat dari logam induk.

2. Efisiensi sambungan yang baik (kekuatan dari sambungan las dan logam induk) dapat digunakan pada temperatur tinggi dan tidak ada batas ketebalan logam induk.

Gambar II.5. memperlihatkan distribusi tegangan tarik dari sambungan keling dan sambungan las tumpul dengan penguatan (reinforcement) las. Dibandingkan dengan sambungan keling, efisiensi penyambungan dengan las lebih tinggi dan distribusinya merata, bila ditinjau pada tidak ratanya penurunan penampang efektif dari logam induk. Jika efisiensi dari sambungan keling sebesar 30-80% maka sambungan las tumpul sebesar 100% penuh, bila ditinjau dari tebal material yang sama.



**Gambar II.5 Perbandingan distribusi tegangan antara sambungan keling dan las**

Rumus perbandingan distribusi tegangan antara sambungan keling dan las :

$$\sigma = \frac{P}{(b - 2d) t}$$

$$\sigma = \frac{P}{bt}$$

3. Geometri sambungan lebih sederhana dengan tingkat kedekatan terhadap udara, air dan minyak lebih sempurna.

Jika geometri sambungan yang kompleks pada material yang homogen, teknik pengecoran atau penempaan bisa digunakan. Bagaimanapun juga pengelasan memberikan keuntungan-keuntungan seperti pada point 4.

4. Fasilitas produksi lebih murah, berat yang lebih ringan dan batas mulur ( yield ) yang lebih baik.

Proses penyambungan dapat diselesaikan sangat cepat dengan cara pemanasan setempat dan bergerak sepanjang sambungan mengikuti material untuk melebur dan membeku, yang mana akan disertai dengan berbagai problem.

### Kelebihan-kelebihan pengelasan

1. Bentuk geometrinya sederhana dari bagian yang disambung memungkinkan penurunan biaya dan berat material, jam orang pelaksanaan, meningkatkan nilai ekonomis dan produktivitas.
2. Efisiensi sambungan yang baik (kekuatan dari sambungan las dan logam induk) dapat digunakan pada temperatur tinggi dan tidak ada batas ketebalan logam induk.
3. Geometri sambungan yang lebih sederhana dengan kedekatan udara, air dan minyak yang sempurna.
4. Fasilitas produksi lebih murah, berat yang lebih ringan dan batas mulur ( yield ) yang lebih baik.

### II.1.3.2 Kekurangan-kekurangan pengelasan

1. Kualitas logam las berbeda dengan logam induk, dan kualitas dari logam induk pada daerah yang tidak terpengaruh panas ke bagian logam las berubah secara kontinyu.

Sebagian besar material yang dilas, yang telah mendapatkan energi thermal/panas dari busur api sebesar 5.000-6.000°C, terpengaruh panas.

#### Pada area las :

- (1) Logam induk dilebur dengan sumber panas las, melebur hampir sama dengan butiran logam yang lepas dari elektrode las terbungkus atau kawat las, membeku dengan pendinginan cepat seperti pengecoran dari baja cair, dan membentuk serpihan kristal berbentuk pilar.
- (2) Daerah dekat dengan logam las yang tidak ikut mencair tetapi terkena pengaruh panas, mengalami perubahan suhu setempat dari pemanasan dan pendinginan cepat (disebut **siklus panas**). Sementara kecepatan pendinginan dan temperatur pemanasan maksimal terus menerus berubah sesuai dengan masukan panas las dan jarak dari daerah logam cair, struktur logam dan kekerasannya bervariasi/berubah dalam hitungan menit.



- (3) Daerah logam induk hampir semua tidak kena pengaruh panas. Batas antara logam las dan daerah kena pengaruh panas dinamakan **garis las**. Pada daerah ini, disebabkan oleh pemanasan sampai titik lebur atau temperatur pembekuan, penghilangan dan peleburan elemen-elemen terjadi antara logam las dan daerah kena pengaruh panas. Oleh karena itu problem-problem cenderung terjadi pada struktur logam di area ini, dan area ini sangat penting karena mempengaruhi sifat-sifat mekanis dari area las.

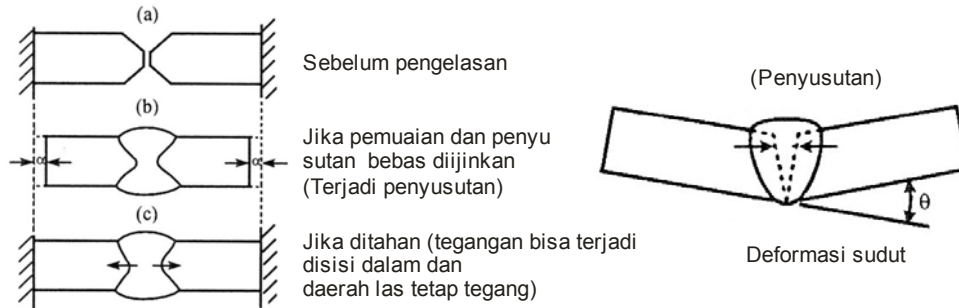
Logam yang dilas pada umumnya lebih kuat dari logam induk, tetapi daya tempangnya rendah. Kekuatan dari daerah terkena pengaruh panas, yang juga tergantung pada struktur logam, tergantung pada bentuk dan lokasi masuknya panas, yang dipengaruhi oleh temperatur pemanasan maksimum, waktu penahan panas dan kecepatan pendinginan. Sifat-sifat dari daerah pengelasan ditentukan secara metalurgi dimana daerah pengelasan dibentuk, penamaan, reaksi kimia antara cairan terak dan cairan logam, perubahan struktur dan sifat-sifat mekanis yang disebabkan oleh penyerapan gas dari peleburan logam dan pengaruh dari panas pengelasan dan terjadinya cacat-cacat las.

☞ Logam yang dilas pada umumnya lebih kuat dari logam induk, tetapi daya tempangnya rendah.

2. Terjadinya distorsi dan perubahan bentuk (deformasi) disebabkan oleh pemanasan yang menyebabkan pemuaian dan pendinginan cepat yang menyebabkan penyusutan.

Bila areal pemanasan dipanasi dengan cepat maka areal tersebut akan mengembang (memuai). Bagaimanapun juga deformasi dari areal las disebabkan oleh penyusutan pada saat areal las menjadi dingin. Sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar II.6 (a) pemuaian bebas atau penyusutan menyebabkan deformasi.

Deformasi yang disebabkan bentuk tidak simetris pada penampang melintang disebut sebagai “**deformasi angular**” (**perubahan bentuk melengkung/menyudut**). Besarnya penyusutan adalah proporsional dengan volume logam las, semakin besar volume logam las semakin besar pula deformasinya. Sehingga perlu dipertimbangkan sudut kampuh, antara pass dan besarnya masukan panas las.

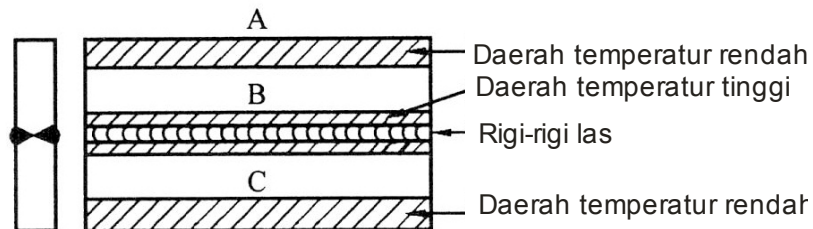


**Gambar II.6 Deformasi dan deformasi sudut yang disebabkan oleh penyusutan**

3. Tegangan sisa termal dari pengelasan dapat menyebabkan kerusakan atau retak pada bagian las.

Bagian las secara cepat dipanasi setempat dan didinginkan secara cepat oleh konduksi panas ke logam induk, udara dan dengan radiasi. Sebagaimana pemanasan ini setempat, pengembangan panas terbatas pada daerah sekitarnya dengan daerah pengembangan (pemuaian) yang kecil (sempit) menghasilkan tegangan panas. Tidak ada masalah yang terjadi disiapkan pada tegangan panas ini di antara batas elastis dari material. Walaupun/bagaimanapun juga tegangan yang melebihi batas bisa terjadi karena daerah panas kebatas mulur. Gambaran yang sama terjadi selama proses pendinginan, timbulnya tegangan yang kompleks dan menimbulkan distorsi atau deformasi seperti yang terlihat pada gambar II.6 (c), jika daerah las dibatasi dengan logam induk sementara itu terjadi pemuaian atau penyusutan, tegangan terjadi pada daerah las. Tegangan tarik tersebut adalah tegangan sisa.

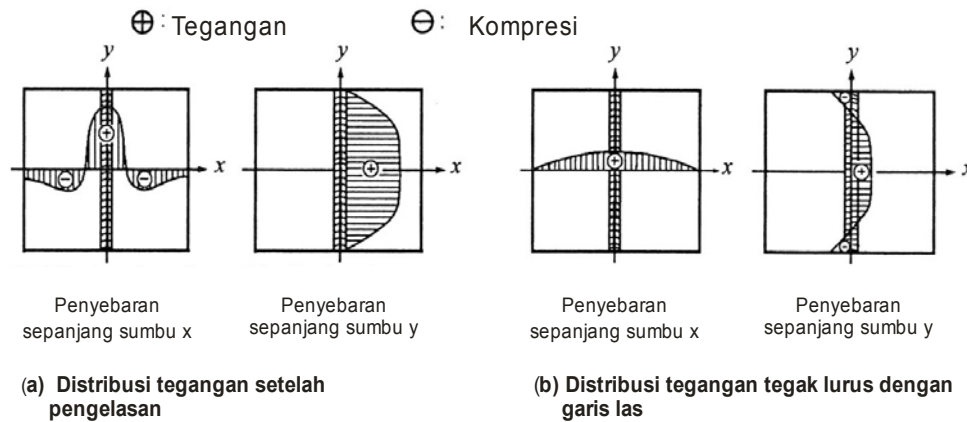
Sebagaimana yang terlihat pada gambar II.7, jika dua buah plat dilas tumpul, tegangan tarik (+) terjadi sepanjang garis las pada daerah las, tarikan pada daerah temperatur rendah A dan C, sementara itu keseimbangan tegangan tekan (-) terjadi pada dua sisi pinggir dari plat.



**Gambar II.7 Pengelasan tumpul plat**

Gambar II.8 menunjukkan distribusi dari tegangan sisa pada pengelasan tumpul plat. Tegangan tarik pada arah pengelasan agak tinggi dan dekat ke tegangan mulur sebagaimana terlihat pada diagram.

- (a) Penyusutan pada arah lateral terjadi relatif bebas, tegangan sisa pada arah ini sangat kecil seperti yang terlihat pada diagram.
- (b) Deformasi pengelasan dan tegangan sisa las terhubung. Ketika deformasi pengelasan terjadi, tegangan sisa tidak terjadi. Ketika daerah pengelasan terbatas dan menahan deformasi pengelasan, tegangan sisa akan terjadi.



**Gambar II.8 Distribusi tegangan sisa pada plat las tumpul**

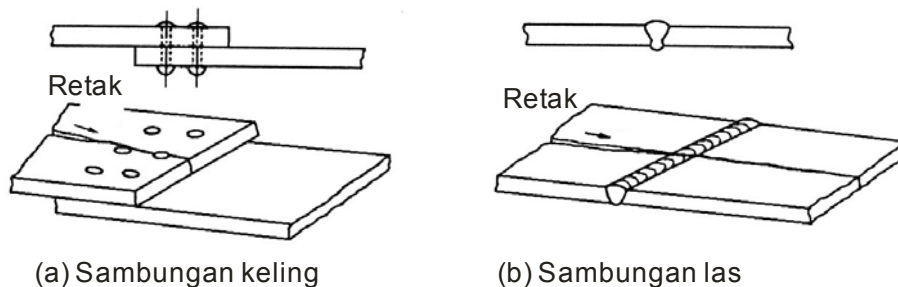
Percobaan telah menegaskan bahwa deformasi pada pengelasan menurunkan keakuratan produk, sementara tegangan sisa pengelasan dalam bentuk galur seperti retak las, takik atau tidak melebur, cenderung mengurangi ketahanan sambungan las dan menyebabkan pecah yang diakibatkan oleh kerapuhan. Ketahanan terhadap korosi juga berkurang, seperti ditunjukkan dengan adanya keretakan dari baja tahan karat austenitik oleh ion-ion chlorida (air laut).

4. Kerentanan terhadap retak rapuh dari sambungan las lebih besar dibandingkan dengan sambungan keling yang disebabkan metode konstruksi.

➡ Walaupun sambungan keling menerima konsentrasi tegangan yang lebih tinggi dan mempunyai efisiensi sambungan yang lebih rendah dibandingkan dengan sambungan las, retak pada material akan terhenti pada sambungan keling

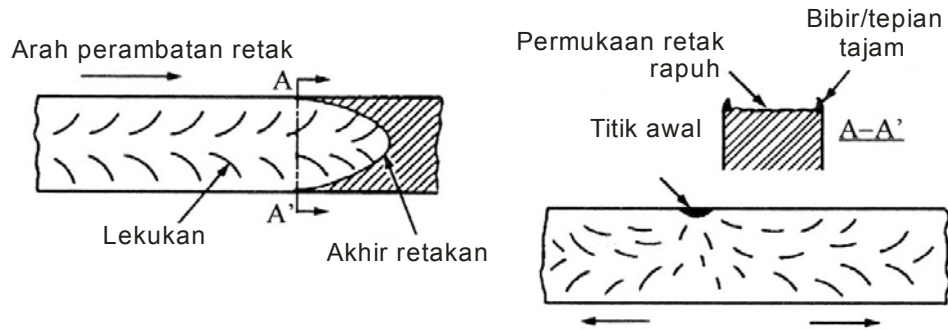
Sebelum pengelasan dikenal, baja disambung dengan pengelingan. Walaupun sambungan keling menerima konsentrasi tegangan yang lebih tinggi dan mempunyai efisiensi sambungan yang lebih rendah dibandingkan dengan sambungan las, retak pada material akan terhenti pada sambungan keling seperti yang terlihat pada gambar II.9. Hal ini disebabkan perlu energi yang lebih besar dari retak tersebut untuk melintang dari salah satu material induk ke material lainnya dan energi ini lebih besar dari persyaratan untuk retak yang menyebar pada logam induk. Dengan kata lain, pada kasus pengelasan sambungan tumpul, retak terjadi merambat melintang lewat sambungan logam material induk yang telah tersambung secara metalurgi menjadi sebuah

kesatuan. Jadi retak terjadi bila pada sebuah/selembar material induk dan sambungan lasnya tidak dapat menghentikan rambatan sebuah retakan. Problem ini berhubungan dengan karakteristik desain dari konstruksi dan kualitas dari material logam (baja).



**Gambar II.9 Perbandingan terjadinya retak pada sambungan keling**

Selama baja meregang, dia menjadi rapuh seperti kaca pada temperatur rendah dan retak rapuh ini akan menyebar. Hal ini disebut **kerapuhan pada temperatur rendah**. Bila sambungan las terjadi rongga misalnya retak las, takik atau tidak melebur yang disebabkan oleh tegangan tarik, retak rapuh dapat terjadi tanpa terjadi deformasi regangan. Dengan struktur baja misalnya baja lunak, retak rapuh merambat dengan kecepatan 2000 m/detik. Sebagaimana yang terlihat pada gambar II.10, permukaan patah mempunyai bentuk berlekuk-lekuk. Permukaan patah sejajar dengan permukaan plat dan disana hampir tidak ada pengurangan ketebalan plat. Disebabkan oleh pembelahan pecahan kristal, maka permukaannya menjadi berkilauan.



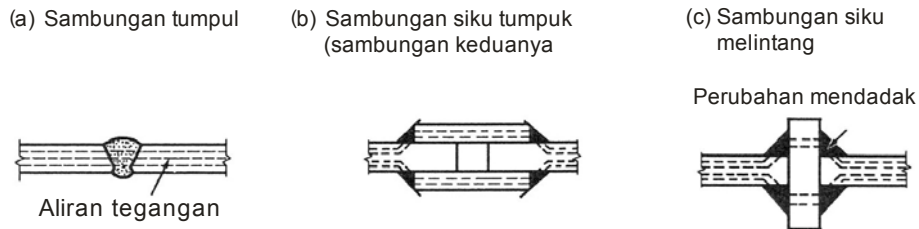
**Gambar II.10 Permukaan retak rapuh (Panah menunjukkan arah perambatan retak)**

Untuk mencegah terjadinya retak rapuh, material baja yang digunakan harus mempunyai ketahanan terhadap kerapuhan, dinamakan **material baja tangguh**. Baja yang meregang pada temperatur tinggi akan menjadi rapuh pada temperatur rendah. Pada temperatur yang mana terjadi perubahan sifat-sifat dinamakan sebagai temperatur transisi. Material baja yang daya regang baik mempunyai temperatur transisi yang baik dibawah temperatur operasionalnya, sehingga menjaga terjadinya retak rapuh dan menjamin keselamatan.

Ketika sambungan keling lebih banyak digunakan, persyaratan sifat-sifat material baja adalah kekuatan tarik, batas mulur dan perpanjangannya. Ketangguhannya diabaikan.

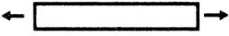

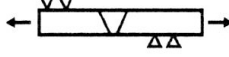
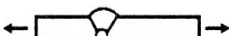
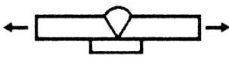
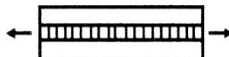
5. Bentuk yang kompleks dari daerah pengelasan menyebabkan konsentrasi tegangan dan akan sering mempercepat kerusakan.

Bila gaya terjadi dengan arah seperti yang terlihat pada gambar II.11, aliran gaya dalam keadaan rata hilang dan terkonsentrasi pada titik yang spesifik, akan sering mempercepat kerusakan. Hal ini dinamakan **konsentrasi tegangan**. Sebuah aliran tegangan yang lurus dan rata seperti terlihat pada gambar II.11 (a); perubahan mendadak dari aliran tegangan terlihat pada (b) dan (c).



**Gambar II.11 Aliran Tegangan Sambungan**

Bagaimanapun juga, bila pengisian rigi-rigi las berlebihan atau terjadi takik pada kasus gambar (a), konsentrasi tegangan maupun penurunan kekuatan lelah ( fatik ) akan terjadi, karena itu sebuah gaya yang kecil bisa saja menyebabkan sebuah kerusakan (gambar II.12).

Bentuk	Area yang dilas	Tegangan Tarik
	Di-rol dengan permukaan hitam	226 – 235
	Kondisi dilas	118 – 127
	Kedua permukaan diratakan	216 – 226
	Pengelasan pada permukaan baliknya	157 – 177
	Pengelasan dengan plat penyangga dibaliknya	157 – 177
	Kondisi dilas	179

**Gambar II.12 Pengaruh ketinggian pengisian las pada kekuatan fatik (lelah) dari las sambungan tumpul (baja lunak :  $2 \times 10^6$  cycle)**

6. Kerusakan bagian dalam sambungan las sukar dideteksi, jadi kualitas sambungan las tergantung pada ketrampilan tukang las.

Walaupun pengelasan adalah teknik penyambungan yang sempurna sebagaimana telah dijelaskan, masalah-masalah seperti tegangan sisa yang terjadi masih harus dipecahkan. Maka dari itu sangat penting untuk mengerti keistimewaan - keistimewaan dari teknik - teknik pengelasan sehingga dapat digunakan untuk mendapatkan keuntungan yang lebih besar.

**Kekurangan-kekurangan pengelasan**

1. Kualitas logam las berbeda dengan logam induk, dan kualitas dari logam induk pada daerah yang tidak terpengaruh panas ke bagian logam las berubah secara kontinyu
  2. Terjadinya distorsi dan perubahan bentuk (deformasi) disebabkan oleh pemanasan dan pendinginan cepat.
  3. Tegangan sisa termal dari pengelasan dapat menyebabkan kerusakan atau retak pada bagian las.
  4. Kerentanan terhadap retak rapuh dari sambungan las lebih besar dibandingkan dengan sambungan keling yang disebabkan metode konstruksi..
  5. Bentuk yang kompleks dari daerah pengelasan.
  6. Kerusakan bagian dalam sambungan las sukar dideteksi, jadi kualitas sambungan las tergantung pada ketrampilan tukang las.
-

## II.2. PERALATAN PENGELASAN

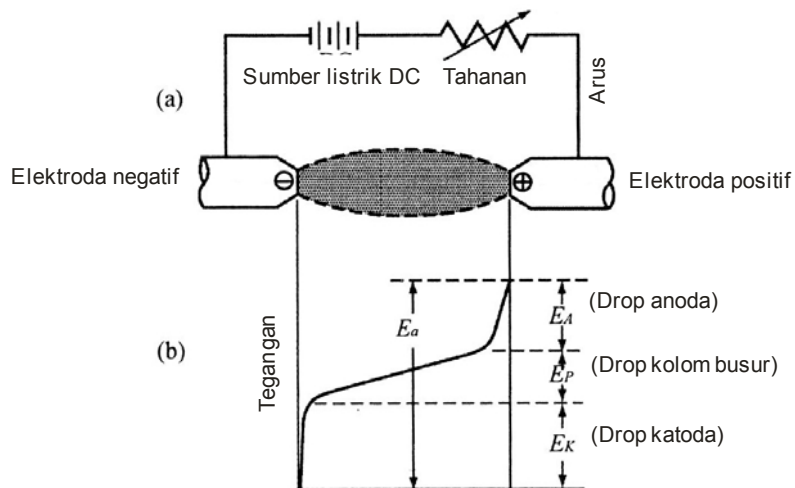
Teknik penyambungan logam dengan pengelasan mulai dikembangkan pada abad ke 19. Dimulai dengan penemuan busur api oleh Davy di Inggris tahun 1800, usahanya dikonsentrasikan pada pengembangan sinar busur api dan teknik tersebut tidak digunakan untuk pengelasan. Sebuah sumber tenaga listrik yang dapat menjaga nyala busur api untuk beberapa jam perlu dikembangkan. Baru pada tahun 1892 teknik tersebut mulai digunakan untuk keperluan industri ketika Slavianov seorang peneliti dari Rusia menemukan metode las busur logam. Ini adalah penemuan yang unik yang menjadi dasar pengelasan busur sampai saat ini.

Metode pengelasan telah diterangkan sebelumnya. Las busur merupakan teknik yang sangat diperlukan dalam industri manufaktur logam. Teknik ini mempergunakan fenomena elektrik busur; bab ini menjelaskan berbagai gambaran tentang mesin las busur.

### II.2.1 Fenomena Las Busur

Beragam-macam sumber energi digunakan sebagai sumber panas untuk pengelasan, namun busur itu sendiri adalah sumber panas yang esensial untuk las busur. Fenomena busur diuraikan di bawah ini untuk memperjelas bagian-bagian detail busur.

#### 1. Bagian-bagian umum dari las busur



Gambar II.13 Struktur busur dan distribusi tegangannya



Gambar II.13. menunjukkan, dua buah elektroda diletakkan secara horisontal di udara terbuka dan dihubungkan ke sumber listrik DC dengan tegangan yang cukup. Jika elektroda-elektroda ini didekatkan sampai terjadi kontak dengan seketika dan kemudian dipisahkan, sebuah busur terbentuk diantara mereka karena efek pelepasan listrik. Busur tersebut menaikkan temperatur pada udara disekitarnya dan menunjukkan gambar kurva yang melengkung keatas yang disebabkan oleh buoyansi (kemampuan mengapung). Perkataan " Busur listrik, Denko " yang digunakan di Jepang berasal dari perwujudan ini. Pelepasan busur terjadi pada tegangan rendah dengan aliran arus listrik yang tinggi.

Elektroda yang dihubungkan dengan terminal positif (+) disebut **elektroda positif**, sementara elektroda yang dihubungkan dengan terminal minus (-) disebut **elektroda negatif**. Diantara keduanya, terdapat daerah energi bertemperatur tinggi sekitar  $5000^{\circ} - 6000^{\circ} \text{ C}$  yang disebut kolom busur, plasma atau busur plasma.

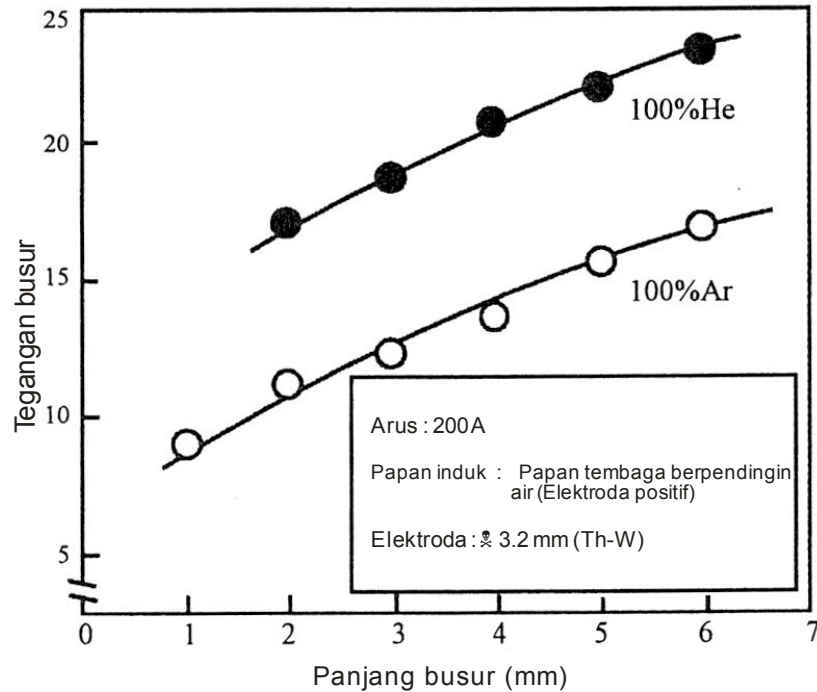
Tegangannya tidak terdistribusi secara sama/seragam ke antara dua elektroda tersebut, tetapi terjadi penurunan yang besar pada elektroda positif dan elektroda negatif yang disebut penurunan anoda (EA) dan penurunan katoda (EK). Sepanjang kolom busur terjadi penurunan secara gradual, disebut penurunan kolom busur (EP). Hal ini disebabkan oleh kehilangan panas ke udara di sekitar busur. Ini proporsional dengan panjang dari busur dan juga dipengaruhi oleh arus pengelasan dan jenis gas yang ada disekitarnya. Jumlah tegangan (voltage) diantara dua elektroda tersebut disebut tegangan (voltage) busur ( $E_a$ ).

Energi dari busur (P) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus untuk menghitung daya listrik. Bila tegangan busur adalah  $E_a$ , arus pengelasan  $I_a$ , maka :

$$P = E_a \times I_a \text{ (W)}$$

Energi ini digunakan untuk melelehkan elektrode bersalut atau kawat las. Telah diketahui dengan jelas bahwa laju pelelehan adalah proporsional (sebanding) dengan arus pengelasan.

Apa efek dari tegangan busur ? Seperti yang terlihat pada Gambar II.14, panjang busur dan tegangan busur adalah proporsional secara linier. Semakin tinggi tegangan busur, semakin panjang pula panjang busur. Gambar II.14 adalah contoh pengelasan TIG, yang menunjukkan bahwa bahkan untuk panjang busur yang sama, perubahan jenis gas merubah tegangan busur.



**Gambar II.14 Hubungan antara panjang busur dan tegangan busur**

Meskipun demikian, dari rumus diatas, perpanjangan busur tidak menaikkan laju pelelehan. Jadi ,

$$P = E_a \times I_a = (E_A + E_K + E_P) \times I_a \text{ (W)}$$

Yang dapat dirumuskan lagi menjadi :

$$P = (E_A + E_K) \cdot I_a + E_P \cdot I_a \text{ (W)}$$

👉 Rasio antara energi termal yang disuplai ke logam induk dan energi listrik yang disuplai dinamakan Efisiensi Termal.

Persamaan ini menunjukkan bahwa untuk melelehkan batang elektrode las atau kawat elektrode las,  $[(E_A + E_K) \times I_a]$  dapat digunakan, sehingga jenis material elektroda dan gas disekitarnya mempunyai pengaruh, sementara panjang busur tidak berpengaruh. Rumus  $[E_P \times I_a]$  menyeimbangkan kehilangan panas yang disebabkan oleh gas disekitar busur dan dipengaruhi oleh panjang busur, arus pengelasan dan gas disekitarnya.

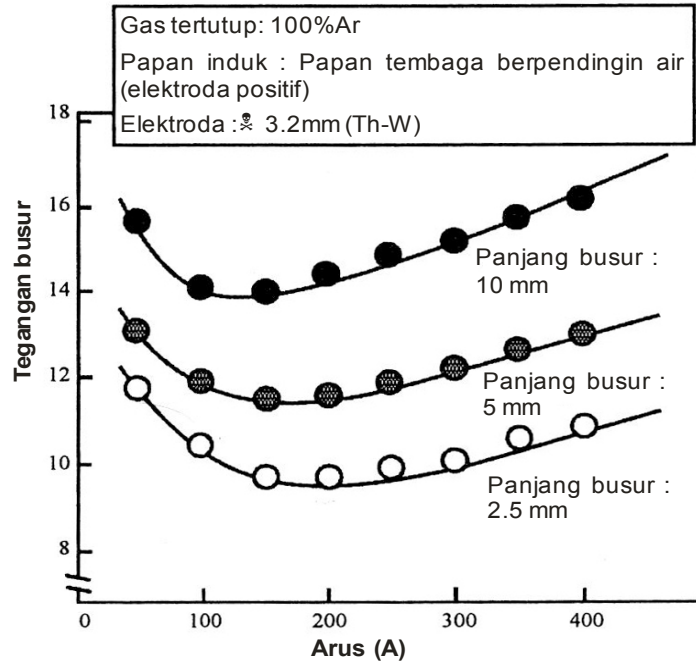
Dengan kata lain, temperatur tinggi dari kolom busur, yang diturunkan oleh gas disekitarnya, hanya memanaskan udara disekitarnya. Rasio antara energi termal yang disuplai ke logam induk dan energi listrik yang disuplai dinamakan **efisiensi termal**. Efisiensi termal las busur, tergantung pada metode pengelasan, nilainya sekitar 50% hingga 95%.

Rumus Kecepatan pengelasan :

$$\frac{\text{Panjang dari lelehan batang/kawat elektroda las atau berat}}{\text{Waktu penyalaan busur}} \quad \left( \begin{matrix} \text{mm/menit} \\ \text{g/menit} \end{matrix} \right)$$

Substansi terjadi pada satu dari tiga kondisi : fase padat, cair atau gas. Walaupun demikian, sebuah busur dianggap menjadi sebuah gas pada kondisi tidak jelas pengisiannya, atau mungkin kondisi keempat, misalnya percikan api yang berhubungan dengan kereta listrik atau trem atau kilatan dari penyinaran. Untuk menjaga pelepasan busur, perlu mengionisasi gas dalam ruang busur untuk menimbulkan elektron dan ion positif, dan pada saat yang sama melepaskan elektron dari elektroda negatif. Kolom busur terdiri dari 99,9% elektron dan 0,1% ion positif dibentuk oleh tubrukan ionisasi yang terjadi melalui ionisasi termal oleh busur plasma dan percepatan berulang dan tubrukan dari elektron. Ini sangat mirip dengan aliran arus listrik, tetapi ada perbedaan bentuk kondisinya yang mana arus listrik mengalir pada sebuah logam.

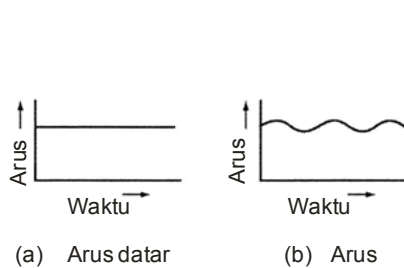
Bila arus listrik mengalir pada konduktor logam, sebuah tegangan yang proporsional dengan arus timbul antara 2 terminal sesuai dengan Hukum Ohm. Walaupun demikian, bila sebuah busur yang ditimbulkan antara plat tembaga berpendingin air dan elektroda tungsten sementara perubahan jarak (panjang busur) diantara plat tembaga dan elektroda tungsten tersebut dalam sebuah atmosfer argon (las TIG), didapatkan karakteristik arus - tegangan dari busur seperti pada Gambar II.15. Pada range arus rendah, terjadi suatu "karakteristik tahanan negatif" yang mana tegangan busur menurun dengan adanya kenaikan dari arus, sementara itu pada range arus menengah, tegangan pada Terminal tetap konstan karena kenaikan arus, yang disebut "**karakteristik tegangan konstan**".



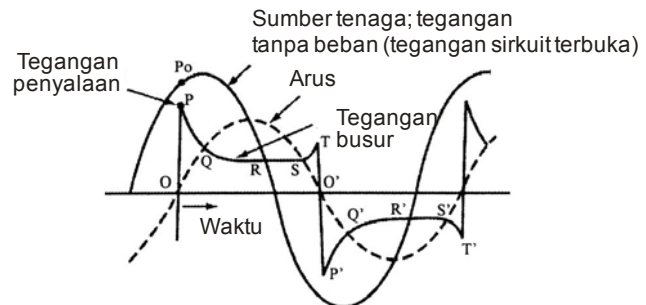
**Gambar II.15 Karakteristik arus - tegangan pada busur**

Walaupun demikian, bila arus melebihi nilai tertentu, tegangan busur naik secara bertahap bersamaan dengan arus, menunjukkan sebuah "karakteristik naik (positif)". Suatu tendensi yang sama diketahui bersamaan dengan pertambahan panjang busur. Dengan cara yang sama, jika arus dijaga konstan dan panjang busur naik, tegangan busur juga naik. Fenomena tersebut adalah untuk mesin las busur dan kontrol las otomatis.

**2. Bagian-bagian busur AC**



**Gambar II.16 Busur DC**



**Gambar II.17 Busur AC**

Seperti ditunjukkan pada gambar II.17, dengan sebuah busur AC polaritas berubah pada setiap setengah panjang gelombang, dan busur berubah/berselang sesaat ketika arus menjadi nol. Dengan kata lain, jika digunakan sebuah sumber daya AC 50 Hz, busur mempunyai selang waktu 100 kali per detik. Bila dinyalakan kembali pada setengah gelombang berikutnya, tegangan busur naik ke titik P. Tegangan P ini disebut **tegangan penyalaan kembali**, dan tegangan pada P pada umumnya lebih tinggi dari tegangan tengah Q. Jadi, walaupun busur AC pada dasarnya sama dengan busur DC, terjadi selang waktu pada waktu penyalaan kembali. Sehubungan dengan itu, untuk menjaga busur AC tetap stabil, tegangan tanpa beban P0 dari sumber daya listrik harus lebih tinggi daripada P pada diagram. Untuk mencapai hal ini, tegangan tanpa beban dari mesin las busur AC didesain sehingga berlanjut/maju sesuai waktu, relatif terhadap arus pengelasan.

☞ Semakin tinggi tegangan tanpa beban, semakin mudah terjadi penyalaan busur, dengan demikian makin besar pula stabilitasnya

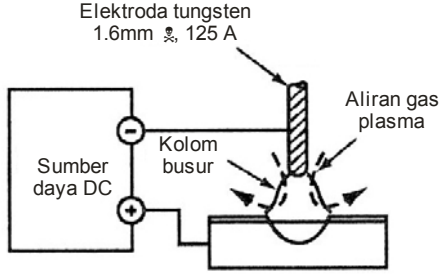
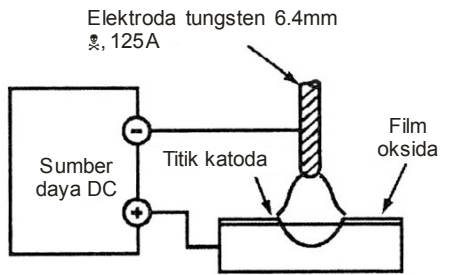
Semakin tinggi tegangan tanpa beban, semakin mudah terjadi penyalaan busur, dengan demikian makin besar pula stabilitasnya. Hal ini, bagaimanapun juga, menambah resiko bahaya sengatan listrik pada operator (tukang las). Sebagaimana arus dari busur AC berubah bersamaan dengan waktu, hal ini lebih tidak stabil dibandingkan dengan busur DC sebagaimana yang terlihat pada Gambar II.16.

### 3. Efek polaritas

Dengan mesin las busur DC misalnya mesin las TIG, elektroda dan sumber daya las dihubungkan dengan satu dari dua cara. Bila batang atau kawat elektroda las dihubungkan ke terminal plus (+) mesin, hubungan ini disebut **DC elektroda positif (DCEP)**. Bila dihubungkan ke terminal minus (-), hubungan ini disebut **DC elektroda negatif (DCEN)**. Material yang dilas (material induk) dihubungkan dengan terminal yang lainnya. Ini disebut **polaritas**.

Kondisi penyalaan busur, jenis transfer (pemindahan) butir-butir logam cair, jumlah/nilai masukan panas ke elektroda dan logam induk, dan peleburannya berbeda-beda tergantung jenis polaritasnya. Karakteristik-karakteristik tersebut disebut **efek polaritas**.

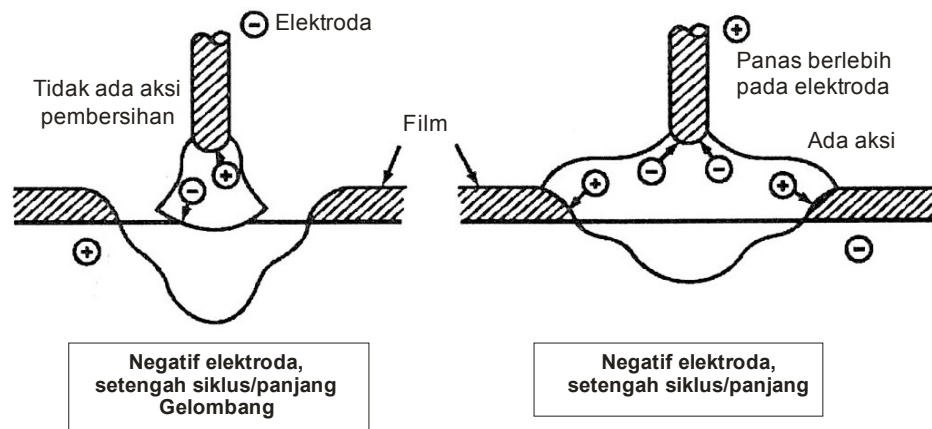
Untuk las busur dengan elektroda pengisi seperti las MAG atau las MIG, dipakai sistem elektroda DC (kawat las) positif. Gambar II.18. memperlihatkan efek polaritas dari las TIG-DC.

<p>DC elektroda negatif (DCEN)</p> 	<p>DC elektroda positif (DCEP)</p> 
<p>Direktivitas dan konsentrisitas yang bagus</p>	<p>Rigi-rigi las lebar</p>
<p>Terjadi aliran gas plasma</p>	<p>Penetrasi kurang</p>
<p>Rigi-rigi las sempit</p>	<p>Terjadi panas yang besar pada elektroda</p>
<p>Proporsi panas busur (material induk : elektroda = 7 : 3)</p>	<p>Proporsi panas busur (material induk : elektroda = 3 : 7)</p>
<p>Penetrasi bagus/kaya</p>	<p>Aksi pembersihan</p>

**Gambar II.18 Efek Polaritas pada Las TIG**

Arah dari perpindahan elektron pada busur DC berubah sesuai dengan penyambungannya, elektron bergerak dari elektroda ke logam induk untuk elektroda DC sambungan negatif, masukan panas ke logam induk naik, sementara panas pada elektroda menurun. Elektroda tungsten kecil penggunaannya sangat sedikit, arus yang besar dapat dipakai dan konsentrisitas (pemusatan) busur sangat sempurna. Dengan kata lain, arah dari gerakan elektron dibalik dan masukan panas pada elektroda besar, dengan rangkaian elektroda DC (batang positif), sebuah elektroda tungsten yang lebih tebal dari sambungan elektroda DC negatif harus digunakan.

Walaupun demikian, dengan polaritas elektroda DC positif (logam induk negatif) ini, gas argon digunakan sebagai gas pelindung pada kasus las TIG, terjadi aksi pembersihan pada logam induk. Hal ini sangat cocok untuk pengelasan aluminium (campuran) yang mana tertutup oleh lapisan film oksida yang menghalangi pengelasan. Jenis penyambungan ini tidak digunakan untuk pengoperasian sesungguhnya disebabkan masalah overheating (panas yang berlebihan) dari elektroda. Las TIG-AC mempunyai karakteristik antara penyambungan elektroda negatif dan elektroda positif. Gambar II.19 menunjukkan penyambungan elektroda positif dan negatif.



- Tidak seperti las TIG DC, negatif elektroda dan positif elektroda muncul bergantian, sehingga terdapat (bersamaan) aksi pembersihan yang cukup dan pelelehan sedang/intermediate, yang membuatnya ideal untuk pengelasan aluminium (campuran).

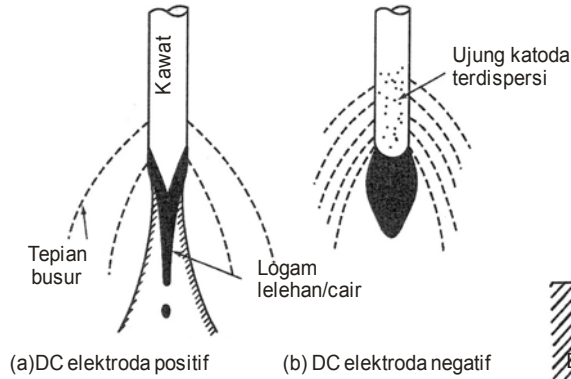
**Gambar II.19 Las TIG AC**

Untuk elektrode bersalut las busur DC dari baja tahan karat (stainless steel) yang mencegah/ menghalangi peleburan yang banyak/besar, elektroda (batang) polaritas positif dapat digunakan untuk peleburan yang dangkal/sedikit.

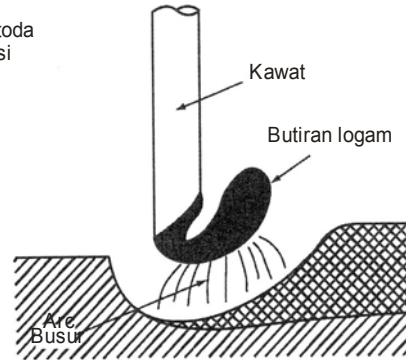
#### 4. Polaritas kawat las

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, dengan las busur jenis elektroda pengisi seperti las MAG atau MIG, digunakan hubungan DC elektroda positif, dengan pertimbangan stabilitas transfer butiran logam dan busur. Dengan DC elektroda negatif, apabila kawatnya negatif, ujung katoda tempat elektron dialirkan terdapat pada kawat. Ini menyebabkan ujung katoda bergerak seputar gas inert/mulia, menimbulkan kondisi busur yang sangat tidak stabil. Hubungan DC elektroda positif menstabilkan masukan panas pada kawat, sebagaimana hubungan tersebut mempengaruhi stabilitas busur, masukan panas, situasi permukaan busur, dan komposisi gas pelindung.

Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar II.20, las MIG dari hubungan DC elektroda positif menyebabkan transfer butiran logam yang stabil dan disebut **spray transfer**, hal ini disebabkan oleh efek drag dari aliran plasma yang akan dijelaskan selanjutnya. Dengan hubungan DC elektroda negatif, ujung katoda merangkak naik sampai dengan daerah atas dari kawat, mengurangi efek menjepit yang disyaratkan untuk memisahkan butiran logam, disebabkan oleh tidak cukupnya aliran arus ke daerah pencairan kawat, menyebabkan sulitnya penyemprotan butiran logam.



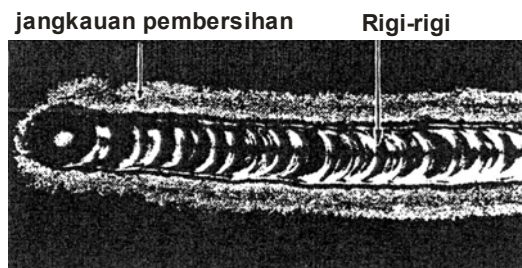
**Gambar II.20 Bentuk tip kawat las MIG**



**Gambar II.21 Las MAG (100% CO<sub>2</sub>)**

Bila Gas CO<sub>2</sub> digunakan sebagai gas pelindung untuk las MAG seperti yang terlihat pada Gambar II.21, busur mengerucut lebih tajam daripada apabila berpelindung gas argon, menyebabkan busur mengumpul pada butiran dari kawat untuk mendorong butiran tersebut, jadi butiran tidak segera berpindah tapi mengumpul menjadi lebih besar. Hal ini adalah mekanisme transer globular. Sebagaimana arus listrik mengalir pada butiran, gaya jepit elektromagnetik dan gaya dari busur menyebabkan butiran-butiran menjadi berbentuk tidak simetris.

## 5. Pembersihan



**Gambar II.22 Pembersihan (contoh pada aluminium (campuran))**



☞ Adalah tidak mungkin membentuk rigi-rigi las dengan baik bila mengelas dengan menggunakan elektroda maupun las gas yang tertutup lapisan oksida, lapisan tersebut harus dibuang secara kimiawi dengan menggunakan flux.

Permukaan aluminium tertutup dengan aluminium oksida yang mana titik leburnya sangat tinggi sekitar 2020°C, yang jauh lebih tinggi daripada titik lebur logam dasarnya. Maka, bila logam dasar tersebut dicairkan dengan pengelasan, oksida film tersebut tetap berada seperti sebelumnya pada logam las. Adalah tidak mungkin membentuk rigi-rigi las dengan baik bila mengelas dengan menggunakan elektroda maupun las gas yang tertutup, lapisan oksida tersebut harus dibuang secara kimiawi dengan menggunakan flux. Las TIG DC dan Las MIG yang menggunakan argon sebagai gas pelindung dapat membuang lapisan film oksida dengan baik menggunakan sambungan DC elektrode positif. Hal ini disebut **Pembersihan**.

Bila elektroda dihubungkan sebagai positif, sebuah titik katode kecil yang cerah terjadi pada lapisan film oksida, yang bergerak disekitar lapisan film. Titik katode ini, yang mempunyai pemusatan arus yang intens, akan membongkar lapisan film oksida dengan cara peleburan dan penguapan, dan elektron diemisikan (dipancarkan) ke kolom busur dari titik Katoda permukaan logam induk. Pada saat yang sama, ion positif yang berat dari gas argon yang terionisasi dipercepat dengan turunnya katoda dan bertubrukan dengan permukaan logam induk, merusak dan menghilangkan lapisan film oksida. Titik-titik katoda cenderung timbul pada titik dimana oksida ada, titik-titik katoda bergerak disekitarnya yang disebabkan oleh pukulan/benturan dari ion positif, ke sebuah titik dimana oksida muncul, lalu membersihkan permukaan logam induk.

Seperti diperlihatkan gambar II.22, titik lebih yang dilalui busur digaris oleh lapisan film oksidanya, dan memperlihatkan permukaan memutih dekat rigi las. Metode ini juga dapat dipakai untuk las aluminium. Jangkauan dari aksi pembersihan hampir selalu tidak tergantung pada arus las, panjang busur dan kecepatan las. Bagaimanapun juga jumlah aliran gas dan jenis gas pelindung mempunyai pengaruh/efek : bila jumlah aliran tidak mencukupi atau jika sebuah gas mulia ringan misalnya helium yang digunakan, aksi pembersihannya lemah, bila argon dicampur udara yang digunakan hampir tidak ada aksi pembersihan. Penambahan hidrogen mengintensifkan aksi pembersihan. Bila permukaan akar dari sambungan tanpa bevel/galur atau galur v tunggal atau sudut galur terlalu kecil, bagian bawah dari galur tersebut tidak mudah dibersihkan. Maka dari itu perawatan/perlakuan sebelum pengelasan harus dilakukan atau radius/ jari-jari dari galur bagian bawah harus dibuat kecil.

Bagaimanapun juga seperti yang dijelaskan sebelumnya, dengan sambungan elektroda DC positif untuk las TIG DC, masukan panas yang besar ke elektroda cenderung membuat elektroda meleleh, yang akan menyebabkan kontaminasi dari logam induk oleh inklusi/masuknya tungsten ke material. Oleh sebab itu las TIG AC lebih sesuai, yang menyediakan aksi pembersihan disebabkan oleh bolak-baliknya polaritas pada setiap setengah gelombang.

Bila baja tahan karat dilas dengan las MIG, sehingga kondisi tidak stabil dari titik katoda yang mengganggu perpindahan butiran logam, 2% oksigen harus ditambahkan ke argon.

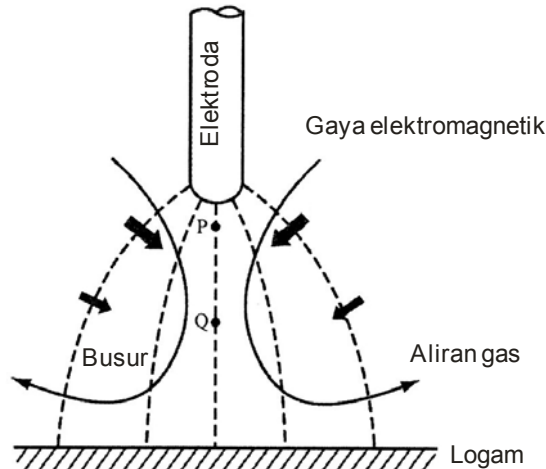
## 6. Aliran gas plasma dan gerak menembus dari busur

Jika kerapatan arus dalam busur tinggi, gaya elektromagnetik mendorong untuk menyebarnya busur, yang mana disertai dengan arus, pada arah panah Gambar II.23, yang menyebabkan aliran gas plasma terjadi. Dikarenakan oleh gaya ini, tekanan pada titik P meningkat naik lebih tinggi dari pada tekanan pada titik Q.

Kecepatan alir dari aliran gas plasma meningkat seiring naiknya arus las. Dengan arus 100 Amp. dari las TIG, kecepatannya sebesar sekitar 100 m/detik. Karena kecepatan ini, butiran logam yang jatuh dalam busur dipercepat seperti semprotan air yang keluar dari selang, menimbulkan adanya gelembung pada logam cair dan mempengaruhi bentuk dari rigi dan penetrasinya. Hal ini disebut "**aksi penggalian dari busur**".

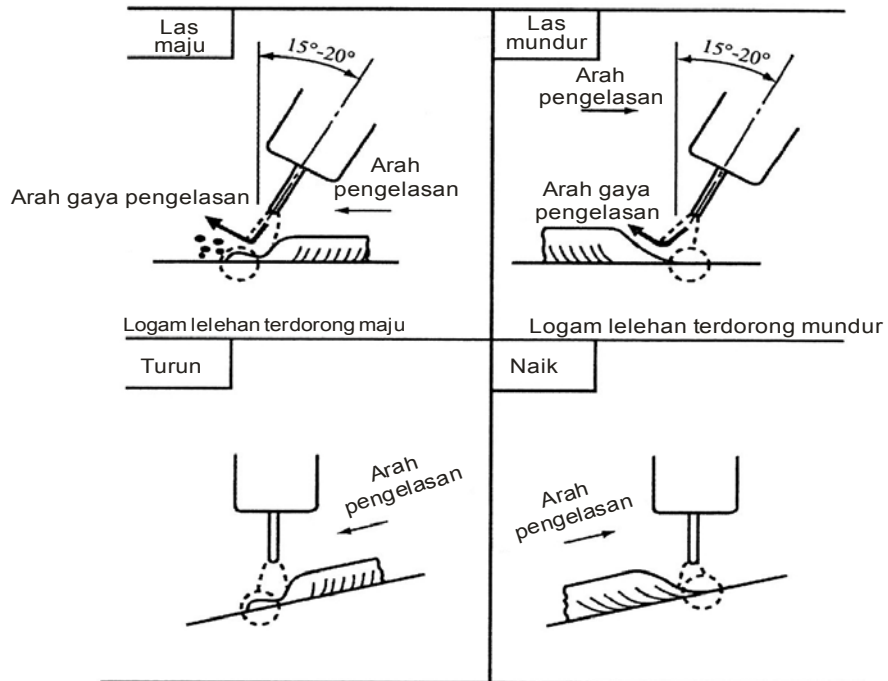
Pada las MAG atau MIG penetrasi dalam juga dilakukan. Walaupun penetrasi dalam ini tidak dihasilkan melalui pelelehan oleh panas yang ditimbulkan secara langsung, tetapi dicapai langsung dari aksi penggalian dari busur.

Penetrasi pada las MAG atau MIG sangat dipengaruhi oleh arus las, tegangan busur dan kecepatan las, namun juga sangat dipengaruhi oleh arah pengelasan dan kemiringan dari permukaan las. Dengan kata lain, penetrasi akan dalam bila pengelasan secara mundur (backhand) atau naik (upward) dan penetrasi akan dangkal bila pengelasan maju (forehand) atau turun (downward).



**Gambar II.23 Aliran gas**

Hal ini karena pada pengelasan maju (fore hand) atau pengelasan turun (down ward), logam yang melebur masuk dibawah busur dan berlaku sebagai dasar logam las seperti yang terlihat pada Gambar II.24, sehingga gerak menggali dari busur dihalangi. Gerak menggali dari pengelasan turun dihubungkan ke polaritas dari kawat las. Bila polaritas dari kawat las adalah negatif, busur tidak menekan dan gas plasma mengalir lemah, penetrasi dangkal dan sebab itu hasilnya berlawanan dengan proses SMAW atau GTAW.

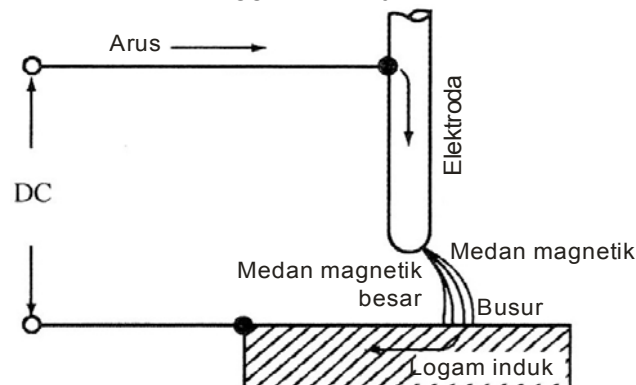


**Gambar II.24. Las maju (turun), las mundur (naik)**

## 7. Hembusan busur

☞ Untuk mencegah terjadinya hembusan busur, medan magnet harus dibuat sesimetris mungkin dengan cara merubah posisi dan metode/cara menghubungkan kabel ke logam induk atau menggunakan ukuran yang memadai.

Busur adalah konduktor yang dapat berubah bebas seperti pada gas umumnya. Arah dari busur berubah meskipun dengan gaya listrik yang kecil. Pada keliling seputar busur medan magnet muncul yang disebabkan oleh arus las yang mengalir langsung pada kabel, logam induk dan torch. Jika medan magnet bergerak tidak simetris pada kolom busur, busur tersebut mungkin ditarik dalam beberapa arah atau dihembus keluar dan hilang. Hal ini diindikasikan dalam Gambar II.25. Kejadian (fenomena) ini disebut **"hembusan busur"** dan cenderung terjadi pada las busur DC dititik awal atau akhir pengelasan. Untuk mencegah terjadinya hembusan busur, medan magnet harus dibuat sesimetris mungkin dengan cara merubah posisi dan metode/cara menghubungkan kabel ke logam induk atau menggunakan ukuran yang memadai. Pada kasus sebuah busur AC arah aliran arus berubah setiap setengah gelombang dimana tidak ada waktu untuk hembusan busur timbul sehingga sulit terjadi.

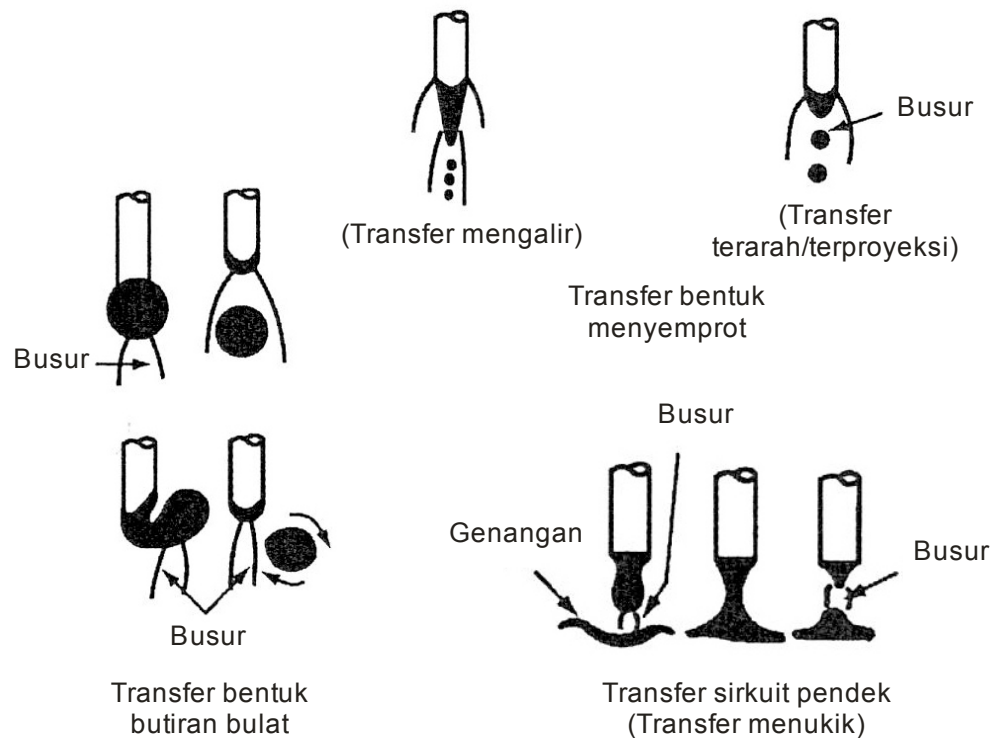


Gambar II.25 Hembusan busur

## 8. Tiga bentuk dari perpindahan butiran logam cair

Bila jenis elektrode terumpan dari las busur digunakan seperti SMAW, las MAG atau las MIG, logam las ditransfer dari ujung kawat elektroda ke logam induk dalam bentuk butiran logam kecil. Hal ini disebut **"perpindahan butiran logam las"**. Pemanasan dan peleburan butiran logam ditransfer tidak disebabkan oleh gravitasi, tegangan permukaan, efek jepitan elektromagnetik, tenaga dari busur dan tenaga aliran gas plasma, tergantung pada polaritas kawat, material kawat, jenis gas pelindung dan pembesaran arus las.

Dari seluruh tenaga/gaya yang terjadi, gravitasi dan gaya jepit elektromagnetik memisahkan butiran logam diujung kawat, sementara itu tegangan permukaan dan gaya dari busur menghalangi pemisahan dari butiran logam yang jatuh. Sebagaimana terlihat pada Gambar II.26 perpindahan (transfer) butiran logam terjadi dalam tiga cara.



**Gambar 3.16 Tiga jenis perpindahan butiran logam**

a) Transfer bentuk butiran bulat

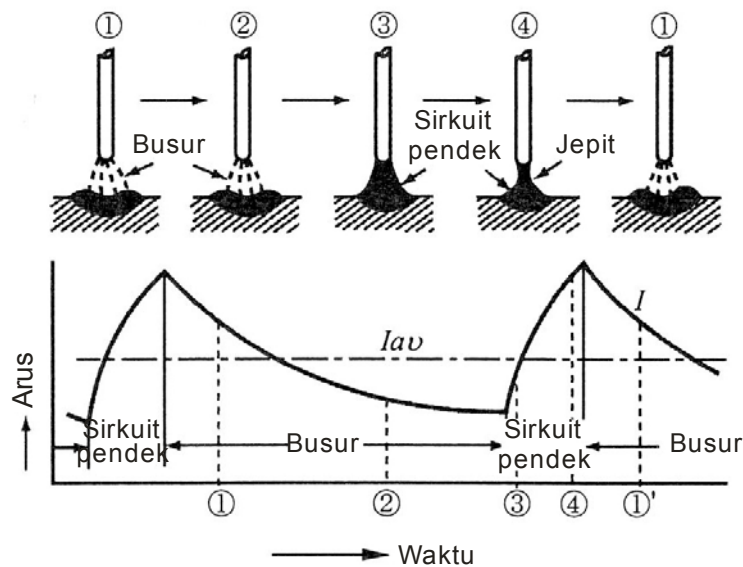
Pada jenis transfer butiran logam ini, butiran logam yang mempunyai diameter yang lebih besar dari busur atau kawat ditransfer (dipindahkan). Sebagaimana yang telah dibahas dalam polaritas kawat las, jenis transfer ini dilakukan pada las busur CO<sub>2</sub> dengan arus yang besar, arus yang kecil pada las MIG dan jenis hidrogen rendah pada SMAW. Secara umum, percikan cenderung menjadi besar.

(b) Transfer bentuk menyebar (menyemprot)

Pada jenis pengelasan ini, logam cair pada ujung kawat diregangkan menurut panjangnya dan bergerak langsung dalam bentuk butiran jauh lebih kecil dari diameter kawat.

Jenis ini dilakukan pada las MIG dengan arus besar. Bila arus yang besar digunakan pada kawat berdiameter kecil, gaya jepit elektromagnetik yang proporsional dengan kuadrat arus adalah besar, gaya gerak resultan pada ujung kawat memotong/menyobek logam cair dan mendorong butiran-butiran kecil jatuh dari tegangan permukaan. Bila arus kecil dibandingkan dengan diameter kawat, gaya jepit tidak cukup kuat untuk memisahkan butiran logam cair, butiran logam yang besar terjadi pada las MIG. Aliran perpindahan bila ditinjau dengan las MIG dan proyeksi perpindahan ditinjau dengan las MAG menggunakan gas campuran.

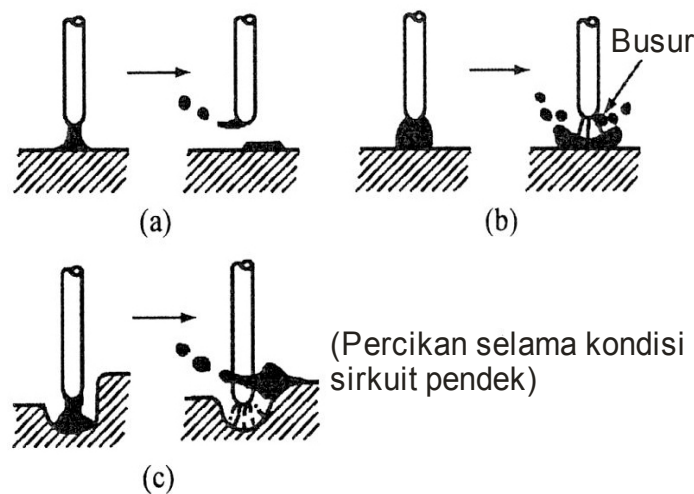
(c) Transfer sirkuit pendek (transfer menukik)



**Gambar II.27 Transfer sirkuit pendek dan perubahan arus**

Tidak seperti (a) dan (b), jenis transfer dari perpindahan logam menggerakkan butiran logam yang terjadi pada ujung kawat langsung ke sirkuit pendek dari kawat dan logam cair. Sehubungan dengan itu, panas masukan ke logam induk kecil, temperatur dari logam cair rendah, melakukan pengelasan pada plat tipis sangat bagus dilakukan pada seluruh arah termasuk posisi vertikal, horizontal dan atas kepala dapat dilakukan. Jadi ini adalah bentuk perpindahan logam yang penting untuk pelelehan pada pembentukan rigi las. Apabila arus relatif kecil dan tegangan pada busur rendah dengan pengelasan MIG atau MAG yang menggunakan sistem pemakanan kawat konstanta, sirkuit pendek dan busur berputar ulang seperti Gambar II.27, dan butiran logam bergerak jatuh ke logam induk bila terjadi sirkuit pendek.

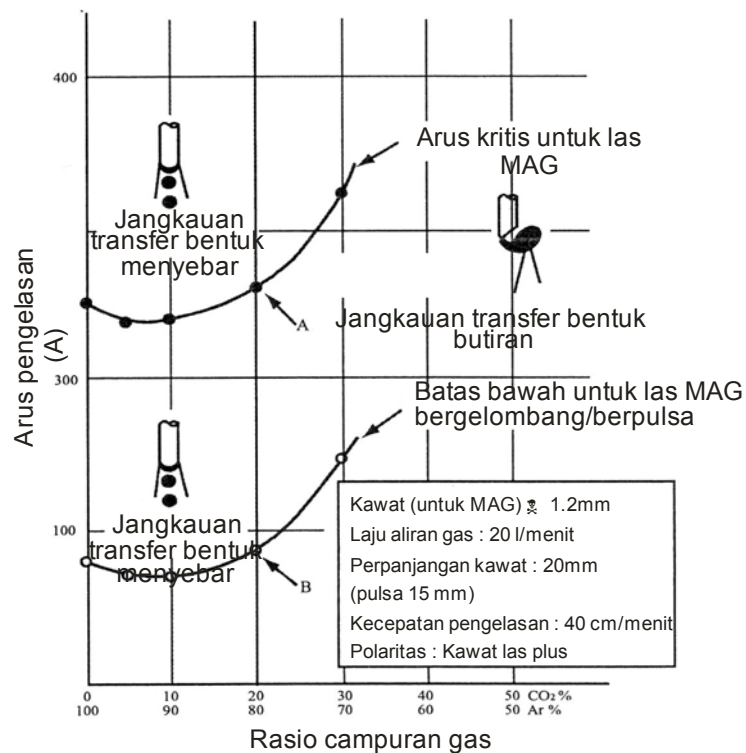
Kondisi dari sirkuit pendek adalah terputusnya secara cepat/segera sesudah leburan logam bergerak ke logam cair. Pada kasus pengelasan MAG dengan menggunakan sumber daya tegangan tetap/konstan sebagaimana yang terlihat pada diagram, tegangan turun dengan tiba-tiba dan arus naik dengan sirkuit pendek. Kenaikan arus ini ditentukan oleh reaksi dari sumber daya las atau sirkuit. Kenaikan arus dikonsentrasikan pada sirkuit pendek dari logam cair, hal ini menyebabkan efek jepit elektromagnetik ke daerah sirkuit pendek yang sempit, menyebabkan logam cair terpisah dari kawat las seketika itu juga. Gaya jepit elektromagnetik naik bersama arus. Bila sirkuit pendek diputus, busur dibangkitkan, dengan cepat menghasilkan busur plasma. Gaya busur ini mempunyai dorongan/tekanan yang kuat yang meniup logam cair menimbulkan percikan. Khususnya untuk pengelasan MAG dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindung, timbulnya percikan ini merupakan sebuah problem/masalah. Gambar II.28, menunjukkan terjadinya percikan, dan penyebab percikan dari las MAG yang menggunakan gas CO<sub>2</sub>.



**Gambar II.28 Kondisi terjadinya percikan pada las MAG (100% Co<sub>2</sub>)**

Komposisi gas pelindung atau arus las terutama menentukan jenis perpindahan butiran logam. Untuk las GMAW, argon digunakan untuk menambah kualitas dari rigi las, mengurangi percikan, menaikkan ketangguhan dari logam las dan mengurangi jumlah oksigen dalam logam las. Bila mengelas baja lunak, sekitar 2% dari oksigen atau gas CO<sub>2</sub> dicampurkan untuk menstabilkan busur dan titik katode pada logam induk. Oksigen ini juga menambah masukan panas ke dalam logam induk dan mempertinggi kebasahan logam cair. Dibandingkan dengan argon, helium lebih ringan, konduktivitas panasnya lebih tinggi dan tidak mudah terionisasi, bagaimanapun juga gas cenderung menekan busur dan menaikkan masukan panas ke logam induk.

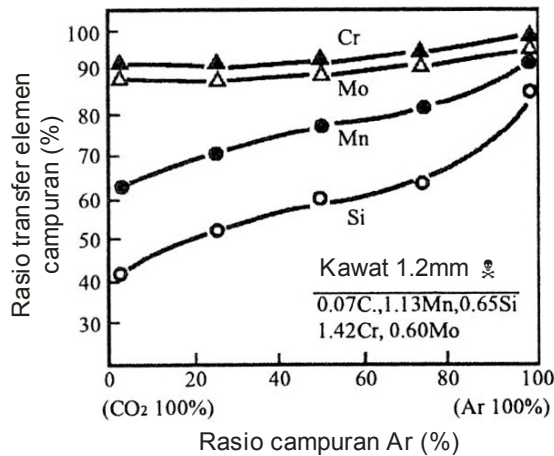
Bila rasio campuran dari argon dan CO<sub>2</sub> dirubah sebagaimana terlihat pada Gambar II.29, bentuk perpindahan logam berubah. Proporsi argon yang lebih besar, arus yang lebih rendah bentuknya berubah menjadi semprotan dan menurunkan kemungkinan terjadinya percikan.



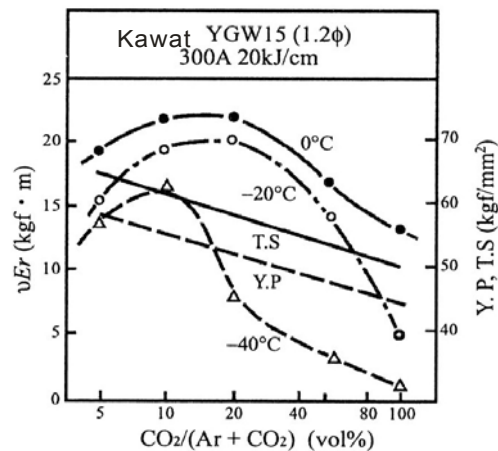
**Gambar II.29 Hubungan rasio campuran gas argon, CO<sub>2</sub> dengan transfer butiran logam**



Arus pengelasan A dan B pada gambar disebut "arus kritis". Bila campuran gas CO<sub>2</sub> pada argon ditambah, arus kritis untuk perpindahan ke bentuk semprotan meningkat, membuatnya lebih sulit bergerak ke daerah rentang bentuk semprotan. Hal ini disebabkan oleh pendekatan karakteristik busur dari rentang las gas CO<sub>2</sub>. Bila las MAG dilaksanakan dengan menggunakan campuran gas argon dan CO<sub>2</sub>, percikan dan asap las berkurang, dan bentuk gelombang dari rigi las yang halus dan cantik dapat dihasilkan. Bagaimanapun juga penetrasinya menjadi berkurang, kecuali standar dan jenis kawat las yang tepat dipilih, beberapa material deoksidan seperti Mn atau Si yang merupakan elemen campuran utama dari kawat las, bila tetap tinggal di dalam logam las, menyebabkan tegangan tarik dari logam las menjadi sangat tinggi. Maka kawat yang dapat dipakai untuk pengelasan dengan gas campuran harus digunakan.



Gambar II.30 Kemuluran Mn dan Si pada kawat las



Gambar II.31 Perubahan sifat mekanis dari logam las

## II.2.2 Mesin Las busur

Saat ini, banyak pengelasan busur dilaksanakan dengan menggunakan mesin las busur. Bagaimanapun, meski teori dari las busur dimengerti dengan baik, pengetahuan dari tenaga ahli tentang perangkat keras juga sangat perlu.

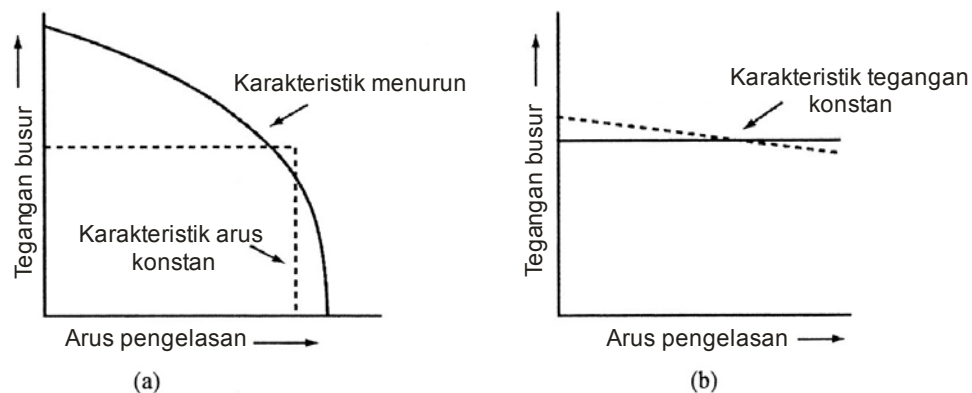
### 1. Karakteristik dari sumber tenaga listrik dari mesin las busur

Busur mempunyai karakteristik arus - tegangan yang sangat berbeda dengan tahanan dari beban peralatan listrik rumah tangga biasa. Mesin las busur harus mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut ini sehubungan dengan penimbulan busur secara mudah dan tetap stabil.

#### Karakteristik mesin las busur :

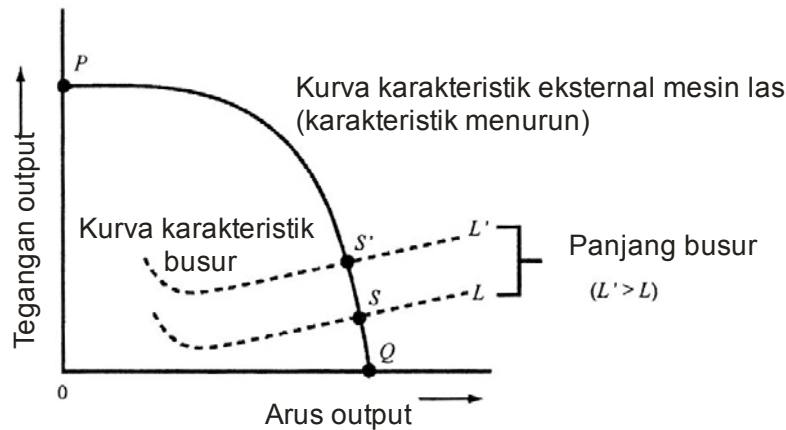
- (1) Mudah terbentuknya busur dan kelanjutannya
- (2) Fluktuasi arus las kecil karena perubahan panjang busur
- (3) Kenaikan tegangan yang cepat untuk mengganti penurunan arus las untuk mencegah selang waktu dari busur
- (4) Tegangan tanpa beban yang cukup (tegangan sirkuit terbuka yang terjadi antara sisi luar elektrode yang perlu untuk menimbulkan dan memelihara busur. Jika tegangan terlalu tinggi, kemungkinan disebabkan oleh kejutan listrik)

Agar supaya karakteristik ini tercapai mesin las busur yang dioperasikan secara manual harus mempunyai penurunan karakteristik dan karakteristik arus konstan, sementara itu mesin las busur semi otomatis mensyaratkan karakteristik tegangan konstan. Gambar II.32 (a). menunjukkan penurunan karakteristik dan Gambar II.32 (b). menunjukkan karakteristik arus konstan. Garis lengkung dan garis lurus menunjukkan hubungan antara arus output dan tegangan output dari mesin las busur ditunjukkan pada gambar tersebut disebut **kurva karakteristik eksternal**.



**Gambar II.32 Karakteristik eksternal dari mesin las busur**

## (a) Karakteristik menurun (drooping)



Gambar II.33 Karakteristik menurun dan titik aksi busur

Sebuah karakteristik dari busur yang mana ketika arus meningkat, tegangan output (tegangan terminal) menurun secara tiba-tiba. Hal ini disebut **karakteristik menurun (drooping)**, dan sebab itu perubahan tegangan busur tidak berpengaruh besar terhadap arus las. Kurva PQ pada diagram adalah kurva karakteristik eksternal dari mesin las yang mempunyai karakteristik menurun (drooping). Garis putus-putus L - L' menunjukkan karakteristik arus - tegangan dari busur. Titik P pada kurva disebut tegangan tanpa beban yang diperlukan untuk penyalaan busur dan menjaga kelanjutan busur, sementara titik Q disebut **arus sirkuit pendek**.

Titik S yang merupakan perpotongan antara kurva karakteristik eksternal dengan kurva karakteristik busur disebut **titik aksi (gerak) dari busur**. Hal ini menunjukkan kondisi dimana panjang busur L timbul terus menerus dengan stabil. Jika panjang busur diperpanjang dari L ke L', titik gerak dari busur berpindah dari S ke S' dan tegangan busur meningkat, tetapi sehubungan dengan itu penurunan arus sangat kecil. Bila tegangan output yang diaplikasikan sangat tinggi dibandingkan dengan tegangan busur, busur tidak hilang tetapi tersisa dengan stabil. Perubahan arus las sangat mempengaruhi penetrasi dan laju pelelehan dari elektrode serta kualitas dari operasi pengelasan. Bagaimanapun juga, karakteristik dari sumber daya las mengikuti arus pengelasan dijaga hampir konstan, walaupun perubahan dari panjang busur yang disebabkan oleh perubahan jarak antara elektrode dan logam induk tergantung pada ayunan tangan tukang las.

Mesin las busur AC untuk SMAW dan mesin las TIG mempunyai karakteristik penurunan (drooping) dan dapat dipergunakan untuk las manual. Mesin las busur untuk las busur berpelindung sendiri, SAW dan las elektro slag AC yang menggunakan mesin las otomatis

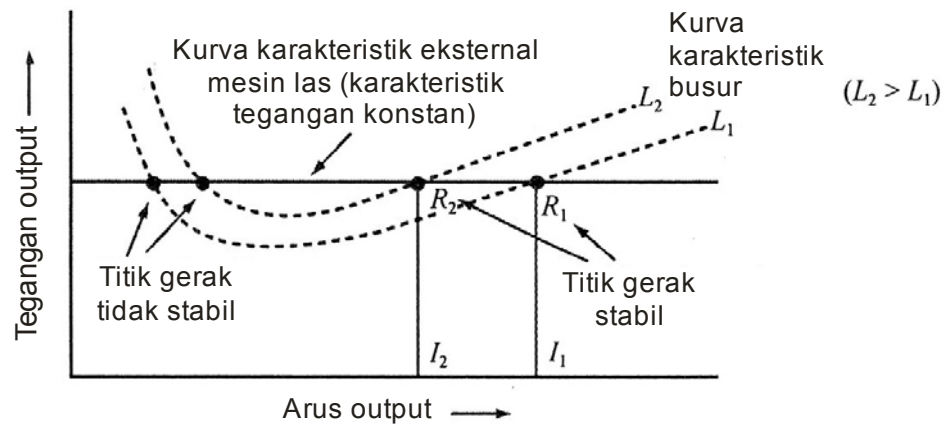
dikombinasikan dengan sistem kontrol pengumpan kawat (sistem untuk mengontrol tegangan busur konstan dengan cara mengatur kecepatan pengumpanan kawat) untuk mengontrol kecepatan pengumpan kawat sesuai dengan tegangan busur dan menjaga panjang busur tetap konstan, semuanya ini mempunyai karakteristik penurunan (drooping).

**(b) Karakteristik arus konstan**

Ini adalah karakteristik dari sumber daya untuk mesin las busur yang mana arus output tetap hampir konstan meskipun ada perubahan tegangan output. Dengan kata lain, arus pengelasan tetap konstan tanpa memperhatikan perubahan dari panjang busur.

Sama dengan mesin las busur yang mempunyai karakteristik menurun (drooping), sumber daya ini digunakan untuk mesin las busur manual seperti mesin las TIG.

**(c) Karakteristik tegangan konstan**



**Gambar II.34 Titik gerak busur dari sumber daya tegangan konstan**

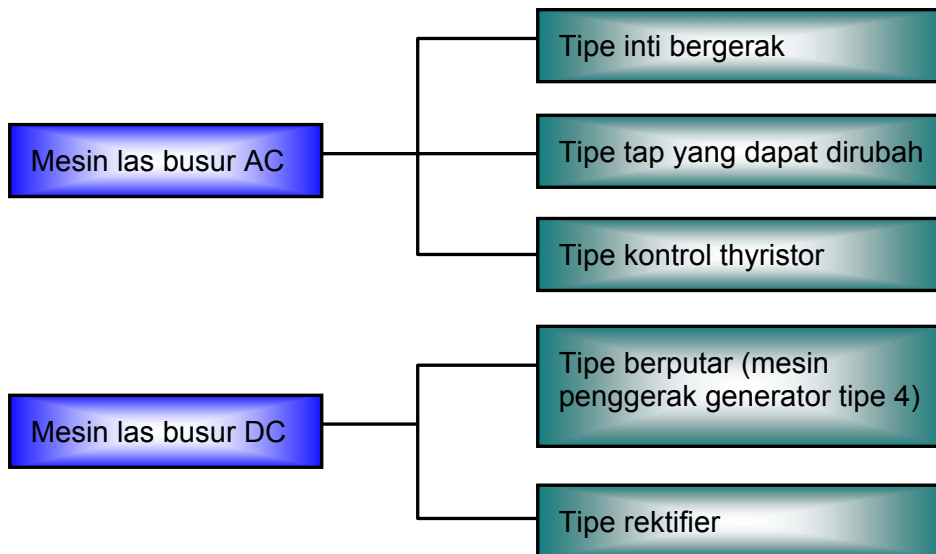
Dengan sumber daya yang menyediakan listrik untuk peralatan listrik rumah tangga atau motor, tegangan yang terjadi secara khusus tetap hampir konstan walaupun terjadi perubahan arus. Karakteristik dari sumber daya listrik ini disebut **karakteristik tegangan konstan**. Peralatan untuk pengumpan kawat las kecil/tipis pada kecepatan tinggi sesuai dengan arus las yang digunakan dikombinasikan dengan mesin las MAG, MIG atau kawat kecil untuk mesin las SAW. Bila panjang busur diperpanjang dari  $L_1$  ke  $L_2$  pada Gambar II.34, arus pengelasan tiba-tiba menurun dari  $I_1$  ke  $I_2$  dan laju peleburan kawat berkurang banyak.

Walaupun kawat las diumpankan pada kecepatan konstan tanpa memperhatikan panjang busur, panjang busur seketika itu juga dikembalikan ke panjang mulanya. Jika panjang busur berkurang, arus las meningkat. Bagaimanapun, bila laju pelelehan kawat ditambah secara mendadak, pelelehan kawat membawa busur kembali ke panjang awalnya. Karakteristik ini disebut **karakteristik pengaturan sendiri dari karakteristik tegangan konstan**.

## 2. Tipe mesin las busur

Mesin las busur yang digunakan untuk tegangan rendah, pengoperasian dengan arus besar dapat dipakai untuk pekerjaan pengelasan dan dibagi menjadi mesin las busur AC dan mesin las busur DC sebagaimana yang terlihat pada Tabel II.1.

**Tabel II.1 Jenis mesin las busur**



Tabel II.2. menunjukkan gambaran dan perbandingan dari mesin las busur AC dan mesin las busur DC.

**Tabel II.2 Perbedaan antara mesin busur AC dan mesin las busur DC**

Jenis perbedaan	Mesin las busur DC	Mesin las busur AC
Stabilitas busur	Sempurna	Sedikit kurang stabil
Perubahan polaritas	Memungkinkan	Tidak mungkin
Hembusan busur	Terjadi	Jarang terjadi
Tegangan tanpa beban	Relatif rendah	Tinggi
Bahaya kejutan listrik	Relatif tidak ada	Sering terjadi
Konstruksi	Kompleks	Sederhana
Perawatan	Kompleks pada beberapa bagian	Mudah
Pembongkaran	Agak sering untuk tipe berputar (rotating)	Minimal
Kebisingan	Tipe berputar agak bising, tetapi tipe rektifier tidak	Tidak bising
Harga	Mahal	Lebih murah

(a) Mesin las busur AC

Mesin busur las AC dioperasikan dengan fase tunggal 200 V untuk tegangan input 70 sampai 90 V untuk tegangan tanpa beban dari output, sementara arus pengelasan diberikan dengan rumus sebagai berikut :

$$I = \frac{E}{R + jX}$$

Dimana

I : Arus pengelasan

R : Tahanan pada sisi output

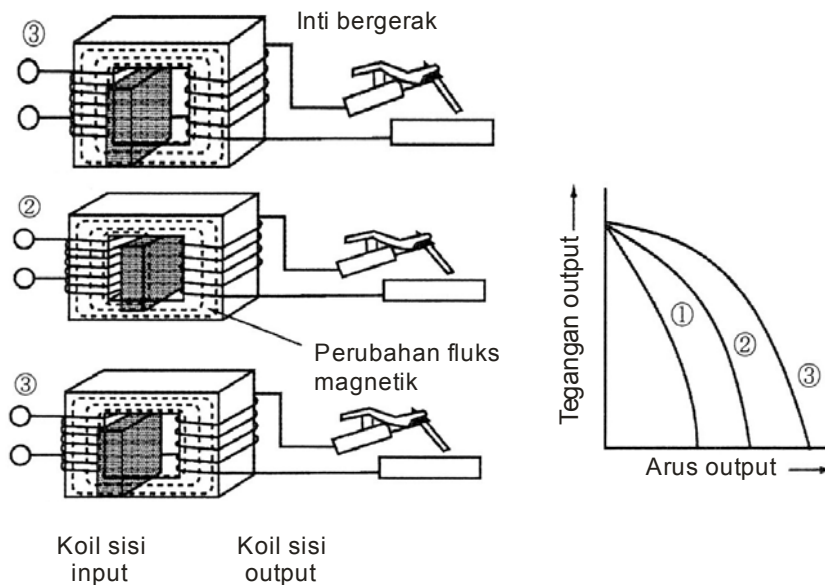
E : Tegangan tanpa beban

jX : Reaktansi pada sisi output

Arus pengelasan diatur dengan mengatur  $E_{20} \cdot R \cdot jX$ . Walaupun bila tegangan tanpa beban disetel sangat rendah, memungkinkan selang waktu dari busur membuat pengelasan menjadi sulit, sementara tahanan  $R$  meningkatkan kehilangan internal dari mesin las, maka pengaturan dilakukan dengan menggunakan reaktansi sisi output misalnya dengan menggerakkan inti. Mesin las busur AC yang tipe inti bergerak sangat populer di Jepang dijelaskan sebagaimana dibawah ini.

(a.1) Mesin las busur AC tipe inti bergerak

Sebagaimana yang terlihat pada Gambar II.35, inti bergerak M3 disediakan antara besi inti utama M1 dan M2 yang mana kebocoran fluks magnetik dapat melalui diantaranya. Dengan menggerakkan M3 maju mundur dengan tuas engkol, kebocoran fluks magnetik dapat bervariasi. ① dari gambar terlihat bahwa sebagian besar dari fluks magnetik ditimbulkan oleh sisi input melewati langsung inti bergerak sebagai kebocoran fluks magnetik seperti yang terlihat pada garis patah-patah, pengurangan fluks magnetik yang bergerak langsung pada sisi output. Hal ini adalah kondisi kebocoran reaktansi maksimum, sementara arus output las adalah yang terakhir. Jika inti bergerak keluar dari besi inti utama seperti yang terlihat pada ③, kebocoran fluks magnetik menurun, memaksimalkan arus las. Pada kondisi yang terlihat pada ②, inti bergerak pada posisi tengah-tengah, diikuti oleh arus antara ① dan ③ dikontrol. Sehubungan dengan kemungkinan dari pengaturan tanpa tahapan dari arus las dengan menggeser posisi dari inti bergerak dengan menggunakan tuas tangan, tipe mesin ini mudah dirawat dan sangat tahan lama.



**Gambar II.35 Mesin las busur AC tipe inti bergerak**

(b) Mesin las busur DC

Mesin las busur DC sangat luas digunakan untuk pengelasan plat, baja tahan karat dan tembaga yang mensyaratkan kestabilan busur. Beberapa mesin dikombinasikan dengan karakteristik penurunan digunakan untuk SMAW, sementara itu mesin las dengan karakteristik tegangan konstan dan sistem untuk pengumpan kawat las pada kecepatan konstan digunakan untuk mesin las semi otomatis seperti las MIG atau MAG. Mesin-mesin yang mempunyai polaritas dari elektrode dan logam induk dapat dirubah, misalnya penombolan antara DC elektrode negatif dan DC elektrode positif. Bagaimanapun juga untuk ini digunakan secara umum untuk menghubungkan kawat las (elektrode) ke plus (DCEP) untuk las MIG dan MAG. Mesin las busur DC mempunyai beberapa problem pencairan satu sisi dari logam induk yang disebabkan oleh hembusan busur termasuk penetrasi yang tidak sempurna, kurang pencairan dan terperangkapnya terak.

(b.1) Mesin las busur AC tipe rotasi/berputar (type mesin penggerak generator)

Mesin las busur dioperasikan dengan mesin penggerak bensin atau diesel dihubungkan dengan generator sering digunakan di lapangan dimana tenaga listrik tidak tersedia. Disebabkan dengan penggunaan mesin penggerak, mesin las ini secara konvensional besar dan bising, tetapi isolasi kebisingan dan tipe peredamnya telah diperkenalkan baru-baru ini.

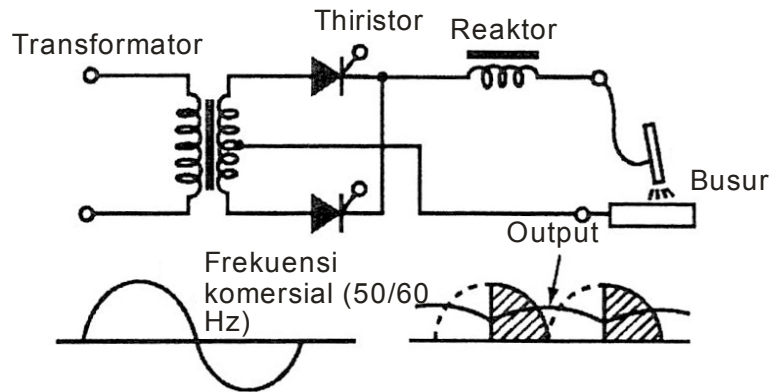
(b.2) Mesin las busur DC tipe rektifier

Rektifier dengan kapasitas besar dan tahan lama telah digunakan, tipe dari mesin las busur DC ini telah diperkenalkan secara luas.

(i) Mesin las busur DC tipe thyristor

Sebagaimana yang terlihat pada Gambar II.36, tegangan dari sumber tenaga komersial ditransformasikan ke tegangan tanpa beban dari mesin las dan dirubah dari AC ke DC dengan sebuah thyristor pada sisi output. Tegangan output diatur dengan merubah waktu penyalaan thyristor. Penggunaan thyristor membuatnya lebih mudah untuk menjaga output konstan, meskipun tegangan dari sumber daya bervariasi secara bebas dan outputnya berubah secara mendadak. Bentuk struktur dari mesin sederhana, pengaturan jarak jauh dapat dikontrol dan dapat diatur secara baik, dengan bagian yang bergerak sangat minim dan daya tahan yang sempurna.

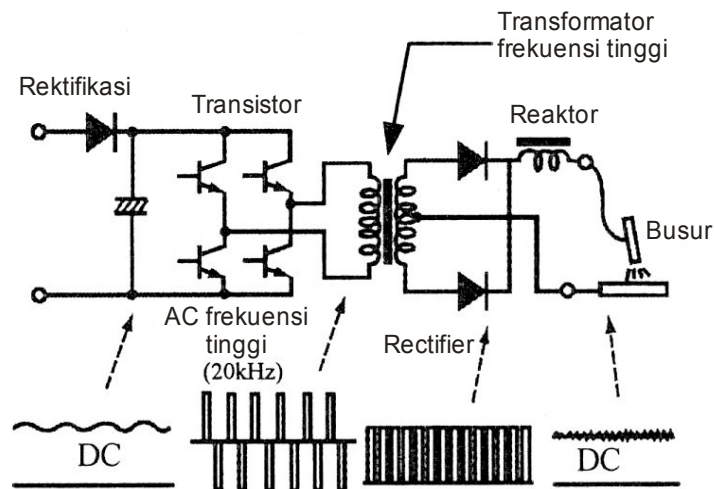




Gambar II.36 Kontrol Thyristor

(ii) Mesin las busur DC dengan inverter terkontrol

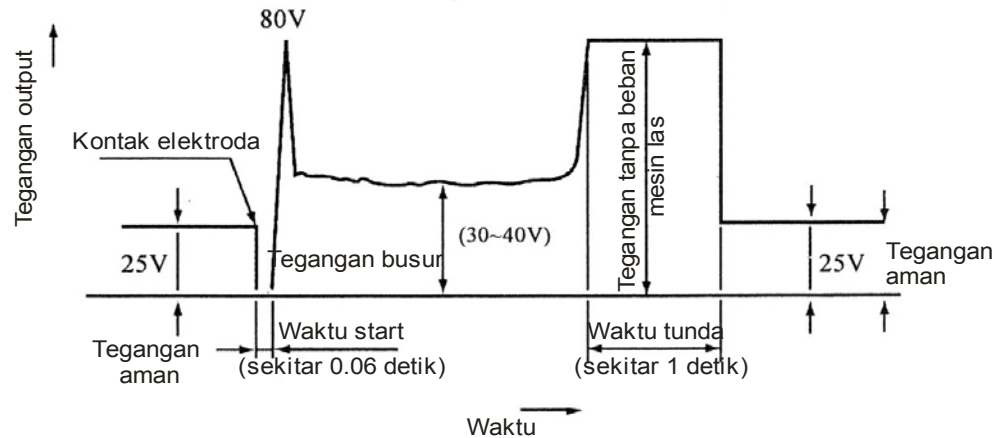
Output DC pertama-tama disiapkan dengan merubah AC ke DC, tersedia AC frekwensi tinggi 2 - 20 kHz dengan merubah fungsi dari transistor, mengurangi tegangan langsung pada transformer dan menyearahkan output dengan silikon rektifier (penyearah). Kecepatan respon sangat cepat dan penggunaan frekwensi tinggi memungkinkan berat dan ukuran dari transformer dan reaktor berkurang dan tenaga/daya dihemat. Tipe mesin las ini sering digunakan untuk las MAG atau TIG. Cepatnya karakteristik respon dapat digunakan untuk merubah start dari busur, mesin las busur DC dengan kontrol inverter akan digantikan dengan tipe kontrol thyristor dimasa mendatang.



Gambar II.37 Kontrol inverter

### 3. Mesin tambahan dari mesin las busur

#### (a) Alat penurun tegangan otomatis



**Gambar II.38 Prinsip operasi dari alat penurun tegangan otomatis**

Selama pengelasan busur AC, arah dari busur berubah - ubah pada setiap setengah siklus dan sehubungan dengan frekwensi dari tegangan busur nol adalah dua kali dari besarnya sumber daya listrik. Maka selang waktu busur yang pertama dan ditimbulkan kembali dengan tegangan pada arah yang berlawanan. Tegangan ini disebut **tegangan penyalan ulang**.

Sebagaimana hal ini terjadi terus menerus dengan las busur AC, tegangan tanpa beban dari mesin las harus selalu lebih tinggi daripada tegangan penyalan ulang. Sehubungan dengan hal ini tegangan tanpa beban dari mesin las busur AC disetel pada sekitar 85 - 95 V. Walaupun tegangan ini baik sekali untuk penyalan busur, perawatan operasional dan stabilitasnya sangat bagus, tegangan tersebut menyebabkan kejutan listrik yang berbahaya, maka alat penurun tegangan otomatis perlu dipasang. Sebagaimana terlihat pada Gambar II.38, tegangan tanpa beban disetel dibawah 25 V pada alat ini. Bila elektrode dikontakkan dengan logam induk, kontak utama dari kontaktor elektromagnetik pada alat ini menutup sekitar 0,06 detik (disebut **waktu start**), menurunkan tegangan ke tegangan tanpa beban aslinya dari mesin, dan memungkinkan untuk busur ditimbulkan. Selama penyalan busur, tegangan normal dari busur dijaga. Jika busur dimatikan, keadaan tegangan tanpa beban asal dari mesin dijaga selama sekitar satu detik, kemudian tegangan diturunkan ke tegangan tanpa beban dari alat penurun tegangan otomatis. Waktu tersebut dinamakan **waktu penundaan**. Metode ini diambil pada beberapa problem dari penurunan produktivitas dan keausan dari kontaktor utama ketika busur sering terputus pada kasus las ikat. Bagaimanapun juga penyetelan waktu tunda yang terlalu panjang akan meningkatkan bahaya listrik kejut, waktu tunda maksimum dibatasi sampai 1,5 detik.

#### 4. Informasi spesifikasi listrik dari mesin las busur

Plat nama yang tercantum pada depan panel dari mesin las menyatakan properti listrik dari mesin las busur. Tabel II.3 memperlihatkan sebuah contoh dari plat nama sebuah mesin las busur AC.

**Tabel II.3 Contoh keterangan yang ditampilkan pada papan nama**

(a)	Tipe	AW300	(f)	Tegangan beban terukur	35 V
(b)	Tegangan input terukur	200 V	(g)	Daya input terukur	24 kVA – 13 kW
(c)	Frekuensi terukur	50 Hz	(h)	Tegangan tanpa beban maksimum	80 V
(d)	Siklus kerja terukur	40%	(i)	Kenaikan temperatur	160 <sup>0</sup> C
(e)	Arus output	300 A			

##### (a) Tipe

AW menunjukkan standar tipe mesin las busur AC dan 300 menunjukkan besarnya arus output dari mesin las, artinya maksimum arus las yang dapat digunakan adalah 300 A. Bila mesin las busur AC tipe kecil, diindikasikan dengan AWL yang berarti tipe siklus kerja rendah dari besarnya arus output.

##### (b) Tegangan input terukur

Sumber tegangan yang dihubungkan ke sisi input (primer) dari mesin las adalah 200V. Tegangan diatas nilai tersebut mengurangi umur dan fungsi dari transformer dan bagian-bagian listrik yang lain pada mesin, sementara tegangan input dibawah 200V akan mengurangi arus output dan dapat menyebabkan mesin las menjadi tidak bisa dipakai (tidak berfungsi). Tegangan  $200 \pm 20V$  dapat ditoleransikan untuk mesin las normal. Jumlah fase bisa satu (fase tunggal) atau tiga (tiga fase). Mesin las busur AC secara normal menggunakan arus fase tunggal 200V. Mesin las busur tiga fase tidak dapat dioperasikan dengan input fase tunggal.

##### (c) Frekuensi terukur

Penggunaan umum untuk mesin las busur AC harus dioperasikan pada frekwensi yang spesifik.

- (i) Bila mesin las busur AC untuk input 60Hz digunakan pada daerah 50Hz, arus output meningkat sebesar 1,2 kali,

kenaikan dari rapat fluks magnetik pada inti besi dari transformer dan juga kenaikan arus yang sangat tinggi bila magnet telah menjadi jenuh/penuh. Hal ini mendorong temperatur dari isolasi material dalam mesin las melebihi batas toleransi, membakar kumparan/lilitan primer dari transformer. Sebuah mesin 60Hz tidak dapat dioperasikan pada daerah 50Hz.

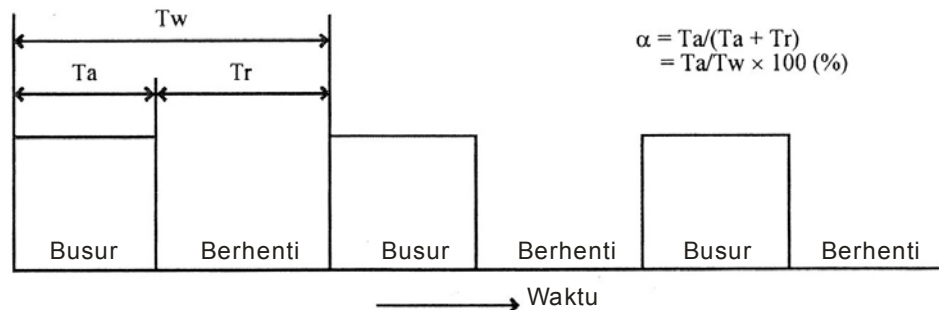
- (ii) Bila mesin las busur AC dengan input 50Hz digunakan pada daerah 60Hz, arus outputnya berkurang 20%. Walaupun dengan kondenser dimasukkan pada model faktor daya tinggi, 20% kelebihan arus mengalir kedalam lilitan/kumparan dan menaikkan tegangan dari kondenser pada mesin, jadi lilitan/kumparan akan terbakar.

Tetapi mesin las busur DC (model thyristor dan model inverter) dapat dioperasikan pada kedua frekwensi tersebut (50/60 Hz).

(d) Siklus kerja terukur

Siklus kerja terukur adalah rasio perbandingan dari waktu penyalaan dengan total waktu pengoperasian.

Secara umum, hal ini dinyatakan dengan rasio waktu (") selama nilai arus output yang dapat digunakan pada periode 10 menit.



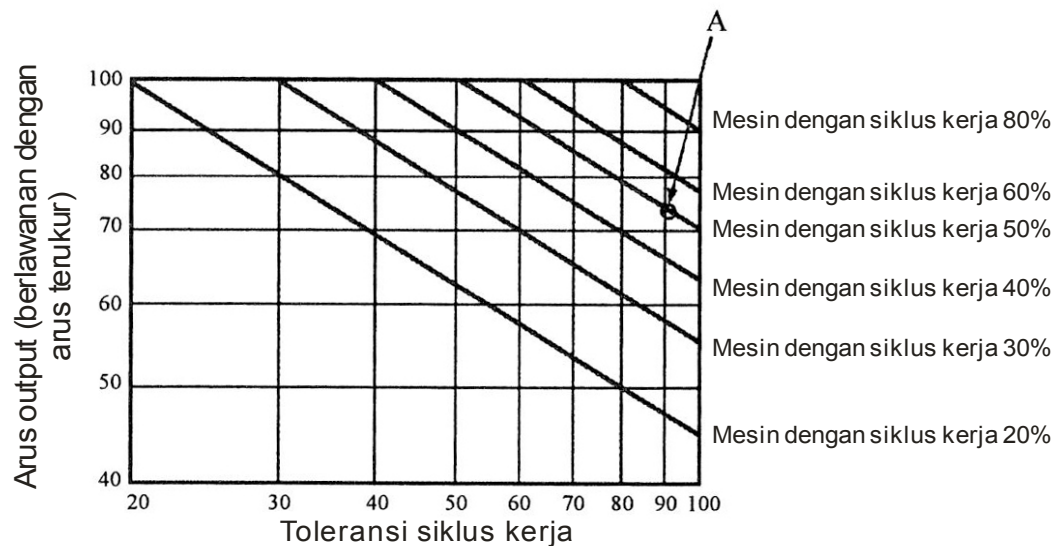
Jadi, nilai siklus kerja 40% artinya pengoperasian selama 4 menit pada besarnya arus output dan berhenti 6 menit. Hal ini memerlukan kenaikan temperatur pada transformer didalam mesin las harus dipertimbangkan. Dijamin bila kenaikan temperatur dari kumparan transformer dan komponen lainnya dalam mesin las masih dalam toleransi (160°C), bila mesin las dioperasikan pada nilai siklus kerja dan nilai arus output.

(i) Toleransi siklus kerja

Secara umum, mesin las dioperasikan dibawah nilai arus output. Dalam sebuah kasus, mesin dapat digunakan dengan siklus kerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilainya, yang disebut **Siklus kerja yang dapat ditoleransi**, yang mana diberikan dengan rumus berikut :

$$\text{Toleransi siklus kerja} = \left[ \frac{\text{Arus output terukur}}{\text{Arus pengelasan yang dipakai}} \right]^2 \times \text{Siklus kerja terukur (\%)}$$

Bila mesin las dengan arus output 350A dan siklus kerja 50% digunakan dengan siklus kerja 90% pada aktual operasinya, arus output sesuai dengan titik A pada Gambar II.39 adalah sekitar 75%. Jadi jika mesin digunakan pada 75% dari arus output, siklus kerja-nya tetap 90%. Hal ini dapat diterima.



Gambar II.39 Tabel toleransi siklus kerja

(ii) Arus las yang dapat digunakan terus menerus

Disebut arus yang dapat dipakai dengan siklus kerja 100% dapat diberikan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Arus las yang terus menerus} = \text{Arus output terukur} \times \sqrt{\frac{\text{Siklus kerja terukur (\%)}}{100}} \text{ (A)}$$

Dalam kasus ini arus yang dapat dipakai adalah 189A. Walaupun dengan mesin las busur DC seperti mesin las semi otomatis, arus tidak dapat dinaikkan lebih dari arus outputnya meski untuk periode pendek, seperti mesin yang mempunyai kapasitas termal kecil, misalnya thyristor dan diode.

(e) Arus output

Ini adalah nilai arus output, nilai yang tercantum untuk menunjukkan kapasitas dari mesin las. Arus output 300A ini adalah arus output maksimum yang dapat digunakan pada nilai tegangan input, frekwensi dan tegangan beban yang ada.

(f) Tegangan beban terukur

Ini menunjukkan tegangan busur antar terminal output dari mesin las ketika nilai arus output dipakai/digunakan. Dengan kata lain tegangan busur 35V bila busur tetap dinyalakan dengan 300A. Dengan tegangan beban dan arus output ini, output sekunder dari mesin las dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Output sekunder} = \text{Tegangan beban terukur (V)} \times \text{Arus output terukur (A)} \times \frac{1}{1000} \text{ (kW)}$$

Dalam hal mesin las ini, output sekundernya adalah 10,5 kW.

(g) Daya input terukur

Ini adalah input primer dari mesin las yang digunakan dengan besarnya arus outputnya. Hal ini dinyatakan dengan dua cara untuk mesin las busur AC. Satu 24kVA disebut daya listrik nyata yang disuplai ke mesin las, sementara yang lainnya adalah 13 kW merupakan daya listrik sebenarnya yang dikonsumsi oleh mesin las. Hal ini disebut **daya listrik efektif**. Hal ini menurut arus yang mengalir dalam kabel yang dihubungkan ke sisi input mesin las dihitung sesuai dengan ukuran kabel yang dihubungkan ke sisi input (primer) yang ditetapkan.

$$\text{Arus input kabel sisi primer} = \frac{\text{Input terukur (kVA)} \times 1000}{\text{Tegangan input terukur (V)} \times \sqrt{N}} \text{ (A)}$$

Dalam hal ini input fase tunggal  $N = 1$ , sedangkan pada input tiga fase  $N = 3$ . Dengan mesin las ini, bila pengelasan dilakukan dengan arus 300A, arus 95A mengalir dalam kabel input primer.

Ukuran dari kabel sisi input, logam induk dan stang elektrode dapat dipilih dengan melihat pada Tabel II.4 dan menambahkan beberapa kelonggaran.

**Tabel II.4 Standar untuk pemilihan arus dan ukuran kabel**

Arus (A)	50	100	150	200	250	300	400	500
Ketebalan kabel (mm <sup>2</sup> )	8~14	22	30	38	50	60	80	100

(h) Tegangan tanpa beban maksimum

Ini adalah tegangan dari terminal antar output sebelum penyalaan busur, bila tegangan input digunakan ke mesin las. Ini adalah tegangan yang diperlukan untuk penyalaan, menstabilkan dan menjaga busur. Nilai yang lebih besar menjadikan busur lebih stabil, tetapi resiko listrik kejut lebih besar dan input daya lebih besar (kVA), mengharuskan kapasitas transformer lebih besar untuk mesin las. Hal ini tidak perlu.

Daya input dapat secara kasar diestimasikan dari nilai ini dan arus output.

$$\text{Daya input terukur} = \text{Tegangan tanpa beban maksimum (V)} \times \text{Arus output terukur (A)} \times \frac{1}{1000} \text{ (kVA)}$$

(i) Kenaikan temperatur

Selama operasi, temperatur dari inti besi dan gulungan dalam mesin las naik. Temperatur ini dimana isolasi material yang digunakan pada mesin las diutamakan.

Walaupun informasi listrik digaris bawah lebih dahulu sehubungan dengan plat nama dari mesin las busur AC, beberapa hal yang terkait tercantum disini.

(j) Faktor daya

Faktor daya diperoleh dari daya input dan mengindikasikan bagaimana daya digunakan secara efektif.

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya input terukur (kW)}}{\text{Daya input terukur (kVA)}} \times 100 \text{ (\%)}$$

Dengan contoh mesin las ini, faktor dayanya adalah 54,2%. Juga dimungkinkan untuk memperoleh efisiensi dari mesin las dari rasio perolehan awal output sekunder (kW) dan daya input (kW) dan [Daya

input (kW) - output sekunder (kW)] disebut **kerugian daya listrik**. Kerugian internal ini disebabkan oleh kehilangan panas dalam mesin las. Pada kasus terpisah, efisiensinya 80,8% dan kerugian internal 2,5 kW.

(k) Perhitungan daya listrik dari arus

Mesin las yang jarang digunakan pada arus output, daya listriknya sebanding dengan arus yang digunakan. Hubungan berikut terjadi.

Adalah tidak mungkin untuk menghitung daya input (kW) secara akurat dengan menggunakan daya input (kVA) dan arus yang digunakan, karena variasi dari faktor daya antara 30 - 50% yang dikarenakan oleh perubahan arus output.

$$\text{Input} = \text{Tegangan tanpa beban maksimum (V)} \times \text{Arus yang digunakan (A)} \times \frac{1}{1000} \text{ (kVA)}$$

Dari mesin las busur AC dipertimbangkan sekitar 50%, daya listrik yang dikonsumsi oleh mesin las ini untuk bekerja dengan menggunakan arus 200A adalah :

$$\text{Input} \Leftrightarrow 80 \text{ (V)} \times 200 \text{ (A)} \times \frac{1}{1000} = 16 \text{ (kVA)}$$

$$\text{Input} = \text{Input (kVA)} \times \text{Faktor daya} = 16 \text{ (kVA)} \times 0,5 = 8,0 \text{ (kW)}$$

Daya input (kVA) mesin las busur DC juga dapat dihitung secara kasar dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Daya input terpakai (kVA)} = \frac{\text{Arus terpakai (A)}}{\text{Arus output terukur (A)}} \times \text{Arus input terukur (kVA)}$$

Daya input (kVA) dan arus output diberikan pada plat nama di mesin las, sementara arus yang digunakan dapat dibaca pada amperemeter, daya input yang digunakan (kVA) juga dapat dihitung dengan mudah. Daya input yang digunakan (kW) juga dapat diperoleh dengan rumus yang sama dengan diatas ke daya input yang digunakan :

$$\text{Daya input terpakai (kW)} = \frac{\text{Arus terpakai (A)}}{\text{Arus output terukur (A)}} \times \text{Arus input terukur (kW)}$$

Daya input yang digunakan (kW) juga dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut :



$$\text{Daya input terpakai (kW)} = \frac{\text{Arus terpakai (A)} \times \text{Tegangan busur (V)}}{\text{Efisiensi mesin las}} \times \frac{1}{1000}$$

Sebagaimana yang dijelaskan pada permulaan, efisiensi mesin las pada umumnya 75 - 85%. Hal ini naik sebagai pendekatan arus las dari arus output. Efisiensi mesin las dapat dihitung dengan menggunakan daya input (kW) yang tercantum pada plat nama sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi mesin las dengan arus output terukur} = \frac{\text{Arus output terukur (A)} \times \text{Tegangan beban terukur (V)}}{\text{Daya input terukur (kW)} \times 1000} \times 100(\%)$$

Effisiensi mesin las adalah 80,8%

(l) Konsumsi daya listrik

Konsumsi daya listrik perlu untuk menentukan pengisian listrik diperoleh dengan mengalikan daya input yang digunakan aktual (kW) dan waktu (h) selama pengelasan dilaksanakan :

$$\text{Konsumsi daya listrik (kWh)} = \text{Daya input (kW)} \times \text{Jumlah waktu selama pengelasan dilaksanakan (h)}$$

(m) Kapasitas dari peralatan penerima listrik

Kapasitas rasional dari peralatan penerima listrik dengan beban pada mesin las busur diberikan dengan rumus berikut :

$$Q = \beta \cdot P_a \cdot \sqrt{n\alpha + (n+1)\alpha^2} \text{ (kVA)}$$

n : Jumlah mesin las

$\alpha$  : Siklus kerja mesin las

$\beta$  : Arus terpakai rata – rata / Arus output terukur

$P_a$  : Daya input terukur (kVA) mesin las

Bila 10 buah mesin las dipasang dan dioperasikan dengan siklus kerja 40% dan arus rata-rata 200A, kapasitas daya listrik yang diterima adalah 68,6 kVA. Kapasitas ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan total kapasitas input dari seluruh mesin las yang terpasang.

5. Penanganan mesin las busur

(a) Pemasangan mesin las

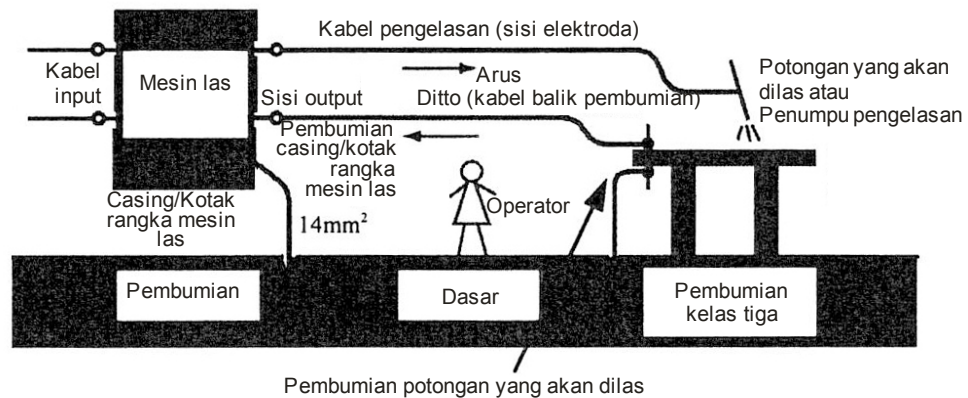
Ketika memasang mesin las, hindari lokasi bagian yang bocor, air, lembab atau berdebu. Bila pemasangan didalam ruang, yakinkan bahwa ruang yang diijinkan sekitar 30 cm dari jendela dan dinding untuk menghindari gangguan ventilasi karena efek pendinginan. Bila mesin las busur AC digunakan, pastikan bahwa rektifier didinginkan dengan menggunakan kipas pendingin. Bila dua buah mesin dioperasikan berdampingan, ruang diantara mesin - mesin tersebut yang diijinkan adalah 30 cm.

(b) Pengkabelan sisi output dan pembumian

(i) Pembumian atau arder perlu dilakukan untuk pengoperasian peralatan listrik dengan aman, dan harus dilakukan dengan tepat. Tidak hanya kasus mesin yang harus dibumikan, tetapi material yang dilas dan penumpu las juga harus dibumikan untuk melindungi operator dari sengatan listrik.

Pada kasus mesin las yang tidak dibumikan, potensial listrik dari mesin tersebut relative terhadap bumi akan naik dikarenakan induksi atau penyebab lainnya, kemungkinan menyebabkan sengatan listrik, walaupun rangkaian didalam mesin las disiapkan dengan tepat/benar.

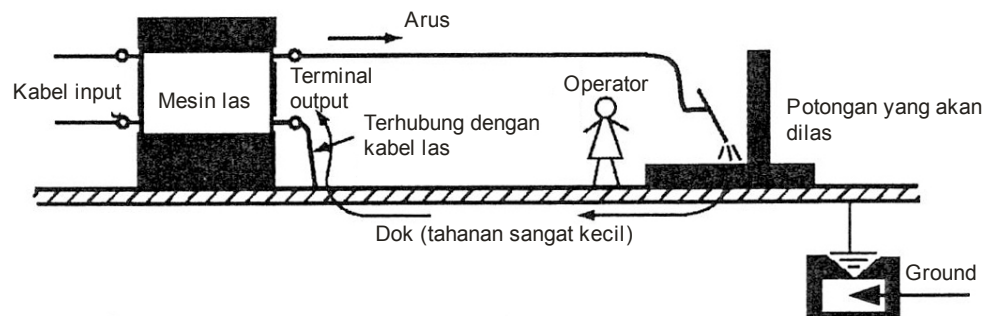
Peralatan listrik yang dihubungkan dengan mesin las juga harus dibumikan untuk menjamin keselamatan. Gambar II.40 menunjukkan bagaimana melaksanakan pembumian dan pengkabelan yang benar. Kecuali kalau mesin las dan material yang dilas letaknya sangat berdekatan satu dengan yang lainnya, mereka harus dibumikan secara terpisah.



Gambar II.40 Pembumian yang benar dan pengkabelan sisi output

- (ii) Sebagaimana arus yang sama mengalir langsung kesisi kabel stang elektroda dan sisi kabel balik, pastikan untuk menggunakan kabel dengan kapasitas yang cukup.

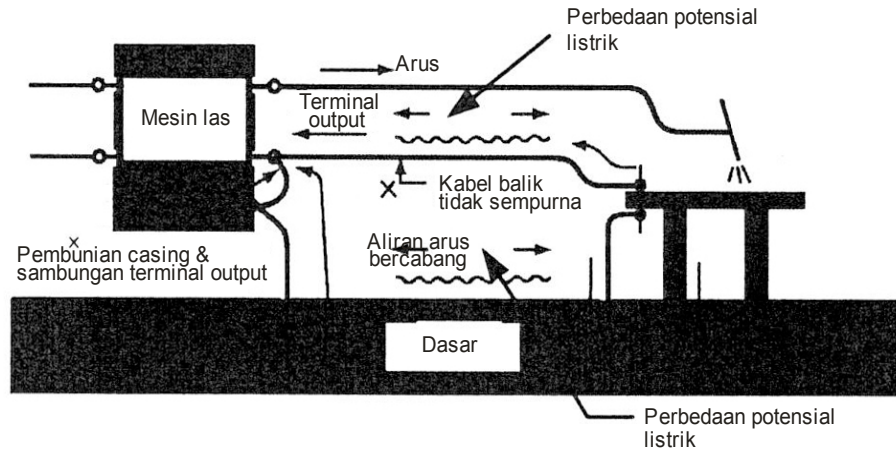
Sisi kabel balik harus dihubungkan langsung ke material yang dilas dan tidak dicat atau permukaan yang dapat bergerak. Pada umumnya dihubungkan ke meja kerja atau jig las. Walaupun sisi kabel balik harus disambung dengan rapat kerangka besi yang ditentukan, misalnya ketika membumikan bagian yang dilas pada galangan kapal besar dimana potensi pembumian telah ditentukan.



**Gambar II.41 Contoh sisi pengkabelan output untuk dok galangan kapal**

Jika bumi dan kabel sisi balik dihubungkan ke terminal yang sama sebagaimana yang ditulis diatas untuk pabrik konvensional, kebakaran bisa terjadi yang disebabkan oleh arus tidak terduga yang mengalir bercabang dibawah tanah. Pengkabelan dengan kondisi tersebut harus dihindari. Berbagai problem bisa terjadi jika sebuah batang plat yang kelistrikannya tidak dihubungkan dengan baik digunakan untuk pembumian, atau jika kabel yang digunakan mempunyai tahanan listrik yang tinggi karena luasan penampangannya tidak memadai.

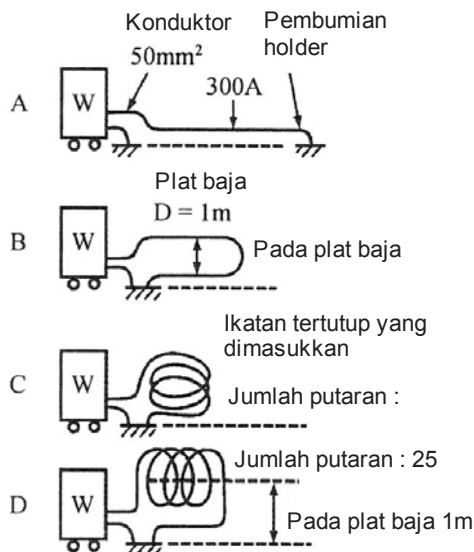
Problem-problem ini termasuk selang waktu dari busur karena arus atau tegangan las tidak memadai, kehilangan daya listrik atau tidak berfungsi bila peralatan penurun tegangan atau peralatan bantu seperti alat pengendali jarak jauh (remote control) digunakan. Jika sambungan pengkabelan tidak sempurna, maka akan mengandung resiko terbakar dikarenakan oleh variasi arus las atau panas yang berlebihan. (lihat Gambar II.42)



Gambar II.42 Pembunian dan pengkabelan sisi output yang buruk

(iii) Bila kabel panjang digunakan untuk sisi output dari mesin las busur AC dan kabel melilit membentuk gulungan, arus/amper yang ada pada kabel yang tergulung lebih rendah dibandingkan dengan kabel yang lurus.

Menunjuk ke Gambar II.43, perbedaan arus antara kabel-kabel ini disebabkan karena tahanan oleh reaktansi yang menghalangi aliran arus las, kejadian ini harus diperhatikan untuk pertimbangan.



Penurunan tegangan dalam penghantar (Penghantar 25m)

Gambari kiri	Penurunan tegangan (V)
A	3-9
B	3-4
C	21-22
D	13-14

Gambar II.43 Kondisi kabel las dan penurunan tegangan

## 6. Pemeriksaan dan pemeliharaan mesin las busur

Mesin las busur dan peralatan disekelilingnya mempunyai banyak bagian yang bergerak yang cenderung aus. Pemeriksaan dan pemeliharaan harian menolong untuk memperpanjang umur peralatan dan membuat mesin menghasilkan kapasitas maksimum. Secara struktur dibedakan antara mesin las busur AC dan mesin las busur DC, metode inspeksinya bervariasi. Berbagai pekerjaan dijelaskan dibawah.

1. Periksa apakah tombol sumber listrik dan tombol inspeksi berfungsi dengan benar dan apakah terjadi getaran atau suara berisik pada bagian yang bergerak, bagian penggerak dan kipas pendingin.
2. Lumasi daerah yang berputar dari tuas pengatur arus dan permukaan gesek untuk menghindari keausan.
3. Jika terkumpul debu didalam, fungsi pendinginan dan kapasitas isolasi dari kumparan transformer akan menurun. Bersihkan kumparan dengan meniup debu dengan udara kompresi. Ukur tahanan isolasi dan tahanan pembumian dari kumparan secara reguler/tetap dan dinyatakan bahwa pengukurannya memuaskan.
4. Periksa sisi kabel input dan output, apakah bungkusnya mengelupas, penyambungannya kendur dan kondisi isolasinya.

Pemeriksaan dan pemeliharaan harian adalah penting untuk keamanan dan pengoperasian yang efisien dari mesin las busur. Mengikuti rincian instruksi dari petunjuk operasional Tabel II.5 memperlihatkan sebuah contoh pemeriksaan mesin las busur MAG. Adalah penting untuk menegaskan sebelum mulai pemeriksaan, apakah sumber dayanya sudah hidup. Catat bahwa test tekanan atau pengukuran tahanan isolasi dari mesin las sehubungan dengan berbagai bagian elektronik, misalnya IC tidak boleh dilaksanakan dengan sembrono, kalau tidak pelindung kondensor bisa rusak.

Tabel II.5 Contoh pemeriksaan mesin las MAG

Periode	Bagian yang diperiksa	Lokasi pemeriksaan
Harian	Apakah kipas pendingin mulai jalan ketika saklar utama dinyalakan	Angin dari bawah sumber daya
	Sambungan kabel dan isolasinya	Digerakkan dengan tangan
	Getaran dan bau yang tidak normal ketika arus dinyalakan	Lebih dari $M\Omega$ menggunakan meger 500 V
Setiap 3 atau 6 bulan	Apakah isolasinya memadai	Kencangkan kembali semua sambungan
	Kelonggaran dari sekrup pada sambungan listrik (sebelah dalam)	
	Penumpukan debu di dalam	Bersihkan dengan menggunakan udara tekan kering (jangan lupa membersihkan permukaan belakang papan panel)
	Pembumian kotak rangka	Periksa klem kendor dan rusak
Tahunan	Saklar / tombol dan relai	Periksa keausan kontraktor

### II.3. MATERIAL LAS

#### II.3.1 Baja roll untuk struktur umum ( Baja SS )

Baja karbon rendah (baja lunak) yang mengandung karbon sekitar 0.1% - 0.3% adalah baja yang umum dan digunakan dengan sangat luas untuk struktur umum. Kecuali untuk jenis - jenis tertentu dari baja karbon rendah, JIS menspesifikasikan rentang kandungan fosfor (P) dan belerang (S) tersendiri, tetapi bukan kandungan karbon. Kandungan karbon yang tepat ditentukan secara otomatis oleh persyaratan tegangan tarik. JIS menggunakan simbol "SS" untuk membedakan baja roll untuk struktur umum. SS 330 dan SS 400 adalah baja khusus dan digunakan secara luas dalam berbagai struktur. SS 490 dan SS 540 digunakan dimana kekuatan dipersyaratkan. Dikarenakan kandungan karbon tinggi, SS 490 dan SS 540 memberikan tegangan tarik tinggi, tetapi perpanjangannya rendah dan menjadi sangat rentan terhadap retak las.

Disamping itu umumnya mutunya rendah dalam ketangguhan takik. Jadi tidak bisa dipakai untuk struktur las utama yang besar. Untuk alasan ini, JIS menspesifikasikan kandungan elemen karbon, mangan dan kandungan elemen yang membahayakan dari SS 540, sebagaimana yang diberikan pada tabel II.8.

**Tabel II.8 Baja roll untuk struktur umum  
(JIS G 3101)**

Simbol	Kandungan elemen kimia				Kekuatan tarik (N/mm)	Perpanjangan
	C	Mn	P	S		
SS330			Maks. 0.050	Maks. 0.050	330 - 430	21 s/d 30 atau lebih
SS400					400 - 510	17 s/d 24 atau lebih
SS490					490 - 610	15 s/d 21 atau lebih
SS540	Maks. 0.30	Maks. 1.60	Maks. 0.040	Maks. 0.040	540 atau lebih	13 s/d 17 atau lebih

### II.3.2 Baja roll untuk struktur las ( SM Stell )

Plat baja pada kapal laut dan rangka bangunan selalu disambung dengan las. Baja roll untuk struktur umum juga bisa digunakan untuk struktur las. Walaupun ada baja roll khusus yang lebih dapat dipakai untuk struktur las, komposisi kimia dan sifat mekanis yang spesifik disiapkan untuk mampu las yang baik dan kekuatan tarik tinggi. JIS menggunakan simbol "SM" untuk membedakan baja roll untuk struktur las yang mempunyai rentang dari 400 sampai dengan 570 N/mm<sup>2</sup>.

Karbon mempertinggi tegangan tarik dari baja tetapi mengurangi sifat mampu lasnya. Untuk menjamin mampu las yang baik dari baja roll untuk struktur las maka kandungan karbon harus serendah mungkin atau sekitar 0.18% - 0.25%. Untuk menjamin kekuatan yang cukup, mangan (0.6% - 1.6%) dan silikon (0.35% - 0.55%) harus ditambahkan pada baja karbon. Sebagai contoh, SS 490 dan SM 490 mempunyai kekuatan tarik yang sama tetapi komposisi kimianya berbeda; untuk Baja SM, kandungan C, Si, Mn, P dan S dan kekuatan pukulnya dispesifikasikan. Baja SM dapat dipakai untuk struktur las yang besar yang mana mampu las dan ketanggahan notch (tariknya) sangat penting sekali.

**Tabel II.9 Baja roll untuk struktur las  
( JIS G 3106 )**

Simbol	Kandungan elemen kimia (maks) (%)				Kekuatan tarik (ketebalan plat maks 100 mm) (N/mm <sup>2</sup> )	Titik mulur atau kekuatan (N/mm <sup>2</sup> )			Penyerapan energi Charpy	
	C		Si	Mn		<16mm	16~40mm	>40mm	Suhu (°C)	Batas rata rata terendah (J)
	<50mm	>50mm								
SM400A	0.23	0.25	--	2.5xC	400~510	>245	>236	>215	--	--
SM400B	0.20	0.22	0.35	0.60~1.40	400~510	>245	>235	>215	0	27
SM400C	0.18	--	0.35	1.40					0	47
SM490A	0.20	0.22	0.55	1.6	490~610	>325	>315	>295	--	--
SM490B	0.18	0.20							0	27
SM490C	0.18	--							0	47
SM490YA	0.20	--	0.55	1.6	490~610	>365	>355	>355	--	--
SM490YB									0	27
SM520B	0.20	--	0.55	1.6	520~610	>365	>355	>355	0	27
SM520C									0	47
SM570	0.18	--	0.55	1.6	570~720	>460	>450	>430	-5	47

Note : (l) P and S < 0.040%



### II.3.3 Baja berkekuatan tarik tinggi

Baja berkekuatan tarik tinggi adalah baja struktur yang diproduksi dengan menambahkan sejumlah kecil elemen campuran ke baja karbon rendah untuk mempertinggi kekuatannya. Memberikan tegangan tinggi 490 N/mm<sup>2</sup> atau lebih dan mempunyai mampu las yang baik. Baja struktur ini mengurangi berat struktur las dan biaya las dan merubah ekonomi material dan unjuk kerja dari struktur las.

Baja berkekuatan tarik tinggi diklasifikasikan sesuai dengan metode perlakuan panas menjadi dua kelas: Kelas HT 50 (tegangan tarik = 490 N/mm<sup>2</sup> atau lebih) dan Kelas HT 60 (tegangan tarik = 570 N/mm<sup>2</sup> atau lebih). Kekuatan dari baja berkekuatan tarik tinggi kelas HT 50, baja yang berkekuatan tarik tinggi konvensional ditingkatkan dengan menambahkan elemen campuran. Dibuat dengan diroll atau dinormalising dan juga disebut **Baja Normalising**. Kekuatan dari baja berkekuatan tarik tinggi kelas HT 60 telah ditingkatkan dengan perlakuan panas hardening dan tempering seperti dengan menambahkan elemen campuran, mampu lasnya akan terganggu bila kekuatan ditingkatkan hanya dengan penambahan elemen campuran. Baja HT 60 yang juga disebut Baja Quench Temper mensyaratkan jumlah elemen campurannya lebih kecil untuk meningkatkan kekuatan dan mudah dilas tetapi tidak bisa dipakai untuk pekerjaan panas. Bila mengelas baja yang dihaluskan dengan masukan panas tinggi, perlu dikontrol masukan panasnya, dimulai dari daerah terkena pengaruh panas (HAZ) dapat menjadi lunak dan sehingga mengurangi ketangguhan dari sambungan las.

SM 490 dari JIS dapat disamakan dengan baja berkekuatan tarik tinggi kelas HT 50, SM 520 dengan kelas HT 55 dan SM 570 dengan kelas HT 60. Walaupun baja berkekuatan tarik tinggi HT 55 atau kelas yang lebih tinggi dispesifikasikan oleh Standar Teknik Las (Welding Engineering Standards / WES) Jepang bukan oleh JIS. WES yang membedakan baja berkekuatan tarik tinggi dengan berbagai kelas, menggunakan simbol "HW" diikuti dengan batasan nilai terendah dari titik mulurnya (Yield Point).

Tabel II.10 WES Plat Baja berkekuatan tarik tinggi untuk struktur las (WES) 3001)

Simbol	Pengujian tarik				P <sub>CM</sub> (%) <sup>(2)</sup>					Pengujian Impact Charpy	
	Kekuatan Mutur (N/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Spesimen	Kemuluran (min) (%)	Kelas A			Kelas B		Pengujian temperatur (°C)	Penyerapan energi (Min)
					Plat baja yang diquenching & ditemper			Plat baja normal			
					≤ 50 mm	50-70 mm	≤ 50 mm	≤ 50 mm	50-70 mm		
HW36	> 353	520-637	No 1A No 1A No 4	14 17 23	-	-	0.32	-	-	+15 0 -5	47
HW40	≥ 392	559-677	No 5 No 5 No 4	22 30 22	-	-	0.34	-	-	+15 0 -5	47
HW46	≥ 451	588-706	No 5 No 5 No 4	20 28 20	0.28	0.30	0.35	0.26	0.28	+10 -5 -10	47
HW50	≥ 490	608-726	No 5 No 5 No 4	18 27 19	0.28	0.30	0.35	0.26	0.28	+5 -10 -15	47
HW56	≥ 549	667-804	No 5 No 5 No 4	18 26 18	0.30	0.32		0.28	0.30	+5 -10 -15	47
HW63	≥ 618	706-843	No 5 No 5 No 4	17 25 17	0.31	0.33		0.29	0.31	0 -15 -20	39
HW70	≥ 686	785-932	No 5 No 5 No 4	16 24 16	0.33	0.35		0.30	0.32	-5 -15 -20	35
HW80	≥ 785	883-1030	No 5 No 5 No 4	14 21 14	0.35	0.37		0.33	0.35	-5 -20 -25	27
HW90	≥ 883	951-1128	No 5 No 5 No 4	12 19 12	0.36	0.38		0.34	0.36	-10 -25 -30	27

Catatan : (1) Ketebalan bahan pengujian (mm) : Atas = 16 kurang; Tengah = lebih dari 16; Bawah = lebih dari 20

$$(2) P_{cm} (\%) = C + \frac{S_1}{30} + \frac{M_n}{20} + \frac{C_u}{20} + \frac{N_i}{60} + \frac{C_r}{20} + \frac{M_o}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

(3) Ketebalan bahan pengujian (mm) : Atas = lebih dari 13 sampai sama dengan 20; Tengah = lebih dari 20 sampai dengan 32; Bawah = lebih dari 32

**II.3.4. Baja untuk servis temperatur rendah**

☞ Ketahanan terhadap retak rapuh pada temperatur rendah dan mampu las yang tinggi adalah persyaratan yang penting untuk baja temperatur rendah.

Baja untuk penggunaan temperatur rendah digunakan untuk struktur las pada temperatur jauh dibawah temperatur biasa. Baja ini telah dikembangkan untuk pembuatan kontainer besar atau peralatan untuk menyimpan atau mengangkut utamanya gas cair. Tipe baja temperatur rendah adalah baja aluminium killed, baja kekuatan tarik tinggi campuran rendah quenched temper, baja nikel rendah, baja Ni 9%, baja tahan karat austenit dan sebagainya. Ketahanan terhadap retak rapuh pada temperatur rendah dan mampu las yang tinggi adalah persyaratan yang penting untuk baja temperatur rendah. JIS menspesifikasikan sifat dari baja Si-Mu karbon rendah aluminium killed ditunjukkan pada Tabel II.11 Untuk baja temperatur rendah dilakukan perlakuan panas hardening (pengerasan) dan tempering, JIS menspesifikasikan temperatur kerja -60°C. Penghalusan baja campuran rendah kekuatan tarik tinggi dapat dibuat dengan metode yang sama dengan metode baja aluminium killed, kecuali yang mempunyai variasi elemen campuran yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan. Tentang separuh dari nilai yang dapat dipakai pada tipe baja temperatur rendah adalah baja kekuatan tarik tinggi, disiapkan untuk kekuatan tinggi dan ketangguhan tinggi pada temperatur rendah.

**Tabel II.11 Plat baja karbon untuk bejana tekan untuk servis temperatur rendah**

Simbol	Titik atau kekuatan mulur (N/mm <sup>2</sup> )		Kekuatan tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Temperatur kerja minimum (°C)	Perlakuan panas	Temperatur Pengujian Impact Charpy (°C)			
	T<40	40>t				6<t<8.5	8.5<t<11	11<t<20	20<t
SLA235A	>235	>215	400~510	-30	Normalisir	-30	-20	-15	-30
SLA235B				-45		-30	-20	-15	-30
SLA325A	>325	440~560	-45	Pengerasan dgn quenching & temper		-40	-30	-25	-35
SLA325B			-60		-60	-50	-45	-55	
SLA360	>360	490~610	-60		-60	-50	-45	-55	
SLA410	>410	520~640	-60		-60	-50	-45	-55	
Ukuran Spesimen [Ketebalan (t) x Lebar (mm)]						10 x 5	10 x 7.5	10x 10	10 x 10

### II.3.5 Perubahan Sifat Material pada Daerah Kena Pengaruh Panas Las

#### 1. Perubahan material disebabkan oleh panas

Gambar II.44 menunjukkan bagian mikroskopik dari daerah lasan dari baja karbon atau baja campuran rendah yang mana membedakan logam las ke dalam bagian logam induk dan logam deposit yang mencair dan membeku, daerah terkena pengaruh panas dari logam induk yang telah dipanaskan ke suhu yang lebih rendah dari temperatur lebur dan strukturnya telah berubah, dan bagian logam induk yang tidak terpengaruh oleh panas.

Batas antara logam las dan daerah terkena pengaruh panas disebut **Garis Las (Garis Fusi)**.



**Gambar II.44 Nama-nama dari bagian-bagian sambungan las**

#### 2. Masukan panas las dan laju pendinginan

Temperatur maksimum dari Shielded Metal Arc Welding (SMAW) sekitar 6000°C. Energi panas dari las busur dapat dihitung dari input listrik dan diekspresikan dalam bentuk jumlah dari panas las per unit panjang las, sebagai berikut:

Dimana

$$H = \frac{I \cdot V}{v} \times 60 (\text{J/cm})$$

I : Arus las (A)

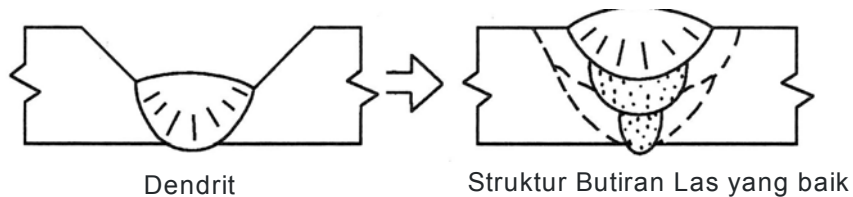
V : Tegangan busur (V)

v : Kecepatan las (cm/menit)

Pada las busur, daerah pengelasan dipanaskan dan didinginkan secara cepat. Laju pendinginan bervariasi dengan sangat besar tergantung pada jumlah masukan panas las, ketebalan plat dan dilaksanakan atau tidak dilaksanakannya pemanasan awal. Sehubungan dengan itu, struktur dan sifat mekanis dari las baja bervariasi bila perlakuan panas dilaksanakan pada temperatur yang berbeda.

### 3. Logam las dan sifatnya

Sebagai logam las yang membeku, dendrite berkembang dari cairan sebelah bawah maju menuju tengah, sesuai dengan gradien temperatur dari cairan. Sebagai dendrite yang tumbuh, butiran kristal menjadi lebih besar, menghasilkan kekuatan dan ketangguhan yang rendah. Bagaimanapun bila las busur dilakukan pada banyak lapis, pertumbuhan kristal dari pembekuan logam las dalam struktur dendrite menjadi lebih halus sebagaimana terlihat pada Gambar II.45, Jadi ketangguhan pukul (impak) nya berubah. Sifat dari logam las juga dapat dirubah yang disebabkan oleh ikut mencairnya logam induk. Secara spesifik pada pengelasan dengan logam yang berbeda, penembusan las adalah gabungan dari perbedaan komposisi antara logam induk dan logam las, menghasilkan kekuatannya berubah.



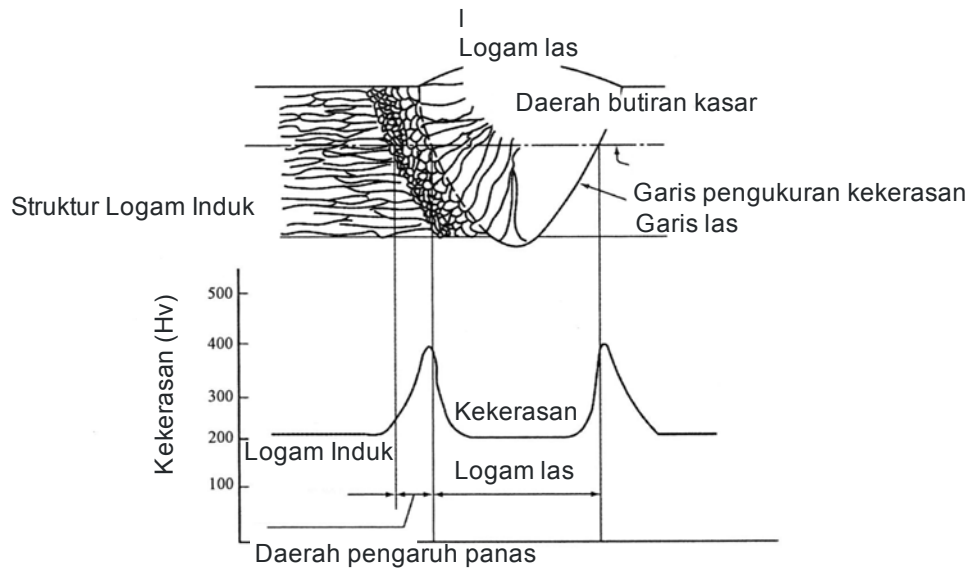
**Gambar II.45 Pertumbuhan dendrit pada las lapis banyak**

### 4. Daerah terkena pengaruh panas dan kekerasan maksimum

Daerah terkena pengaruh panas las dipanaskan mendekati titik lebur dan didinginkan ke temperatur ruang. Pemberian komposisi yang sama, daerah terkena pengaruh panas menghasilkan berbagai kekerasan dan ukuran butir kristal sejak temperatur pemanasan maksimum dan laju pendinginan berubah dengan jarak dari logam las. Tabel II.12 mengklasifikasikan struktur dari daerah terkena pengaruh panas las dari baja. Gambar II.46 menunjukkan struktur dan distribusi kekerasan dari baja kekuatan tarik tinggi.

**Tabel II.12 Klasifikasi struktur dari daerah terkena pengaruh panas las dari baja**

Nama	Rentang temperatur pemanasan	Pengertian
Logam las	1500°C atau lebih tinggi (temperatur lebur)	Daerah yang telah membeku setelah peleburan lengkap, membentuk struktur dendrite.
Daerah lebur	1400°C atau lebih tinggi	Bagian logam induk yang sebagian melebur dengan mensisakan bagian yang padat, membentuk struktur Weidemann yang sangat kasar.
Daerah Butiran Kasar	1250°C atau lebih tinggi	Daerah dimana butiran kristal kasar telah membentuk karena panas yang berlebihan. Daerah ini cenderung keras dan retak.
Daerah Butiran Campur	1250°~1100°C	Daerah dengan campuran butiran halus dan kasar, Mempunyai sifat diantara daerah butiran kasar dan Halus.
Daerah Butiran Halus	1100~900°C	Daerah yang dipanasi diatas titik transformasi AC3 dan Daerah ini dapat membentuk martensit karena quenching Menghasilkan ketangguhan yang rendah.
Daerah Globular pearlite	900~750°C	Daerah ini pear ini sebagai pengantar atau menjadi globular. Daerah ini dapat berbentuk diatas matensit, dengan menghasilkan ketangguhan yang rendah
Daerah Logam Induk yang Tidak berubah	200°C ke temperatur ruang	Bagian logam induk yang tidak dipengaruhi oleh panas.



**Gambar II.46 Struktur dan kekerasan maksimum dari daerah las ( SM 490 A )**

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar II.49, daerah butiran kasar pada daerah las dari baja kekuatan tarik tinggi menghasilkan struktur martensit yang keras dengan butiran kristal besar. Sehingga daerah ini sangat keras dan cenderung retak atau rapuh. Puncak kekerasan dari daerah kena pengaruh panas las ditunjuk sebagai "Kekerasan Maksimum" (Hv maks). Kekerasan maksimum adalah ukuran penting untuk menentukan sifat mampu las dan keperluan untuk preheating baja. Kekerasan maksimum dari daerah kena pengaruh panas sangat berbeda tergantung dengan komposisi dari baja dan kondisi pengelasan seperti laju pendinginan. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, untuk baja karbon yang elemen utamanya adalah karbon, mangan dan silikon, kekerasan maksimumnya banyak dipengaruhi oleh kandungan karbonnya. Bagaimanapun juga pengaruh dari kandungan elemen - elemen yang lainnya tidak dapat dihilangkan. Kandungan dari elemen yang lainnya dihitung dengan dasar karbon disebut "**Ekivalen Karbon**" atau "**Komposisi yang sensitive terhadap retak dingin**".

### II.3.6 Perlakuan Panas Dari Daerah Las

Pemanasan awal dan paska panas dan perlakuan panas paska las (PWHT) yang dilakukan pada pengelasan dilakukan untuk menghindari pengerasan dan keretakan dari daerah kena pengaruh panas las dan melepas tegangan sisa.

## 1. Pemanasan awal

Pemanasan awal adalah pemanasan logam induk pada temperatur yang tepat sehubungan dengan pengelasan.

Hal ini memungkinkan laju pendinginan dari daerah las turun, sehingga mengurangi kekerasan dari daerah kena pengaruh panas dan mempercepat pelepasan hidrogen yang tercampur pada daerah las. Sebagai hasilnya, retak dingin dapat dihindari. Pemanasan dengan api gas sering digunakan untuk pemanasan awal. Daerah dari 50-100 mm (enam kali ketebalan plat) pada kedua sisi sambungan las dipanaskan dengan merata. Termometer thermocouple atau kapur temperatur digunakan untuk pengukuran temperatur pemanasan.

Temperatur pemanasan awal yang tepat ditentukan dengan masukan panas las sesuai dengan laju pendinginan, tebal plat, bentuk sambungan, ekivalen karbon dari baja yang berhubungan dengan retak las, kandungan hidrogen yang masuk dalam logam, derajat regangan dari sambungan dan lain-lain. Tabel II.13 memberikan saran umum tentang hubungan antara ekivalen karbon dengan temperatur pemanasan awal.

**Tabel II.13 Hubungan antara ekivalen karbon dan temperatur pemanasan awal**

Jenis Baja	Kandungan karbon (%)	Suhu pemanasan awal (%)
Baja karbon / Baja paduan rendah	$\leq 0.3$	$\geq 100$
	$\leq 0.4$	$\leq 100$
	$\leq 0.5$	$\geq 150$
	$\leq 0.6$	$\leq 200$
	$\leq 0.7$	$\geq 250$
	$\leq 0.8$	$\leq 300$
	$\geq 0.8$	$\geq 350$
Baja dengan kandungan Mn tinggi		Pemanasan awal tidak diperlukan
Baja tahan karat Austenitic		
Baja paduan tinggi		>400



## 2. Pemanasan akhir

Pemanasan akhir termasuk pemanasan kembali daerah las dengan segera setelah pengelasan selesai. Tujuannya adalah melepas hidrogen dari daerah las. Pelunakan dari daerah las tidak dapat terjadi jika pemanasan akhir dilakukan pada temperatur relatif rendah sekitar 300°C. Bila pemanasan akhir dilakukan pada temperatur lebih tinggi dan pada periode waktu yang lebih panjang, pengurangan kandungan hidrogen yang lebih besar dapat dicapai.

## 3. Perlakuan panas paska pengelasan (PWHT)

Tujuan dari PWHT adalah untuk melunakkan daerah kena pengaruh panas las, meningkatkan mampu tempa dan ketangguhan notch dari daerah las, menghindari retak tegangan korosi dan menghilangkan tegangan sisa las.

Meskipun demikian, harus dilakukan dengan hati-hati bila melaksanakan PWHT, karena perlakuan panas ini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan atau ketangguhan dari daerah las dan retak tegangan. Metode PWHT dari baja karbon dan baja campuran rendah dispesifikasikan dalam JIS Z 3700.

### II.3.7 Logam pengisi

Desain yang tepat, material yang baik dan teknik yang baik adalah tiga faktor untuk menjamin pengelasan yang bagus. Bila salah satu dari faktor ini tidak ada, hasil yang memuaskan tidak dapat dicapai. Untuk melaksanakan pengelasan dengan kualitas yang dipersyaratkan adalah penting untuk dimengerti sifat-sifat dari tiap-tiap material las (elektrode las, kawat, fluks).

Pemilihan logam pengisi las berupa elektroda las / filler metal electrode sebagai logam pengisi dalam proses pengelasan sangat berpengaruh dalam menentukan mutu hasil pengelasan, begitu juga fluks dan gas sebagai pelindung (shielding) .Berkaitan dengan sifat mekanis logam las yang dikehendaki maka apabila salah dalam pemilihan akan menyebabkan kegagalan pengelasan.

Pemilihan logam pengisi banyak ditentukan oleh keterkaitannya dengan:

- Jenis proses las yang akan digunakan.
- Jenis material yang akan di las.
- Desain sambungan las.
- Perlakuan panas (preheat, post heat)

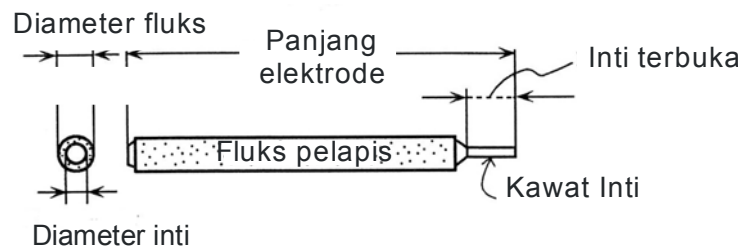
Agar dapat memilih elektroda / filler metal yang tepat sesuai dengan standar / code, dan dapat menghasilkan sambungan las yang dapat diterima sesuai dengan persyaratan standar / code maka logam pengisi yang dipilih sesuai dengan sifat logam induknya.

Fungsi, jenis, klasifikasi, karakteristik dan pengujian dari elektroda / filler metal pada proses pengelasan SMAW, GMAW, FCAW, GTAW dan SAW harus mendapatkan jaminan dari perusahaan pembuat logam pengisi tersebut dalam bentuk sertifikat atau data spesifikasi teknik .

### II.3.7.1 Elektrode Bersalut

Seperti yang terlihat pada Gambar II.47, logam pengisi las berupa elektroda terbungkus fluk untuk proses las SMAW terdiri dari bagian :

- Kawat inti (core wire rod) yang berfungsi sebagai logam pengisi
- Coating (pembungkus) berupa fluk berfungsi sebagai pelindung pada proses pengelasan dan pada saat penyimpanan.



**Gambar II.47 Konstruksi dari elektrode bersalut**

#### 1. Kawat Inti

Material kawat inti bervariasi dengan tipe dari salutan elektrodenya, seperti yang terlihat pada Tabel II.14.

Tabel II.14 Elektrode bersalut dan kawat inti

Tipe elektroda bersalut	Material kawat inti	Keterangan
Elektroda untuk baja lunak	Baja lunak	Campuran ditambahkan dari fluks
Elektroda untuk baja kuat tarik tinggi	Baja lunak	Sama dengan diatas
Elektrode untuk baja temperatur rendah dan baja campuran rendah	Baja lunak atau baja campuran rendah	Untuk kawat inti baja lunak campuran ditambahkan dari fluks
Elektrode untuk baja tahan karat	Baja tahan karat	
Elektrode untuk nikel dan Baja campuran Ni	Ni atau campuran Ni	
Elektrode untuk tembaga dan campuran tembaga	Cu atau campuran Cu	
Elektrode las pengerasan permukaan	Baja lunak atau baja campuran	Untuk kawat inti baja lunak campuran ditambahkan dari fluks
Elektrode las untuk besi tuang	Nikel, Ni campuran atau baja lunak	

Kawat inti yang berfungsi sebagai logam pengisi ini terbuat dari bahan logam yang disesuaikan dengan logam induk yang akan di las, bisa mild steel, low carbon steel, alloy steel dll. Yang mempunyai ukuran diameter antara 1,2 ÷ 6 mm dengan panjang antara 250 ÷ 450 mm. Komposisi kimia dari kawat inti ini cukup berpengaruh terhadap sifat mekanis dari logam las yang terbentuk, dan yang paling berpengaruh terhadap sifat mekanik logam las ini adalah material dari coating (pembungkus) yaitu fluksnya.

## 2. Coating (Pembungkus)

Dalam proses pengelasan, pembungkus elektroda ini akan terbakar dan membentuk terak (slag) cair yang kemudian membeku sehingga melindungi logam las dari pengaruh atmosfer atau mencegah terhadap kontaminasi dari udara sekitarnya.

Jika pengelasan busur dilakukan dengan elektrode telanjang, elektrode akan menempel pada logam induk, menghalangi penyalaan busur atau menyebabkan busur mati. Hal ini menghasilkan rigi yang tidak teratur dan lubang-lubang cacing.

Fungsi utama dari salutan fluks adalah sebagai berikut :

- a. **Fluks memfasilitasi penyalaan busur dan meningkatkan intensitas dan stabilitas busur**
- b. **Fluks menimbulkan gas untuk melindungi busur**, fluks akan terurai dan menimbulkan gas (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, dan sebagainya) yang mengelilingi busur. Hal ini menjaga bentuk butiran logam dan cairan teroksidasi atau nitridasi yang disebabkan oleh kontak dengan atmosfer.
- c. **Slag / terak melindungi logam las dan membantu pembentukan rigi**, selama pengelasan, fluks mencair menjadi terak yang melindungi cairan dan rigi las dengan cara menutupinya. Dengan berbagai kekentalan (viskositas) dari terak, memungkinkan untuk melaksanakan pengelasan dalam berbagai posisi dan memperbaiki bentuk dari rigi las.
- d. **Fluks menghaluskan kembali logam las dengan deoksidasi**, bila pengelasan dilaksanakan pada udara terbuka, logam las tidak bisa terhindar dari oksidasi walau penimbul gas dan pembentuk terak digunakan. Elemen deoksidasi seperti Mn dan Si telah ditambahkan pada fluks, melindungi pembentukan lubang cacing dan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dari logam las.
- e. **Fluks perlu ditambahi elemen campuran ke logam deposit**, elemen campuran yang tepat yang ditambahkan dari fluks untuk endapan logam akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, panas dan abrasi.
- f. **Serbuk besi dalam fluks meningkatkan laju pengendapan dan efisiensi pengoperasian**, laju pengendapan dapat ditingkatkan dengan arus las yang tinggi atau diameter elektrode las yang besar. Metode yang lain adalah menambahkan serbuk besi ke salutan fluks pada elektrode las. Contoh khususnya adalah elektroda oksida serbuk besi.
- g. **Fungsi isolasi**, fluks memberikan isolasi listrik yang baik. Dalam hal elektrode las dengan kurang hati-hati disentuh ke permukaan las selama pengelasan, fluks mencegah getaran busur yang tidak terduga, dengan demikian mencegah kerusakan las dan juga kecelakaan terhadap manusia.

Fluks terdiri dari biji alam, serbuk dan oksida perekat, karbonat, silikat, zat organik dan berbagai zat bubuk lainnya kecuali untuk logam, dicampurkan pada perbandingan yang spesifik. Campuran ini ditempelkan / disalutkan ke kawat inti dengan menggunakan air kaca sebagai perekat dan dikeringkan.

Tabel II.15 memberikan komponen utama dari fluks dan fungsinya.

**Tabel II.15 Komponen utama dari fluks dan fungsinya**

Fungsi Komponen	Menstabilkan busur	Pembentukan terak	Pengurangan (De-oksidasi)	Oksidasi	Penyalakan gas	Penambahan elemen paduan	Penguatan fluks	Daya ikat fluks
Selulosa			○		⊙		○	
Tanah liat		⊙						
Talek		⊙						
Titanium oksida	⊙	⊙						
Ilmenite	○	⊙						
Oksida besi	○	⊙		⊙				
Kalsium Karbonat	○	○		○	⊙			
Ferro Mangan		○	⊙			⊙		
Ferro Silikon		○	⊙			⊙		
Mangan Dioksida		⊙		○				
Pasir Kuarsa		⊙						
Potasium Silikat	⊙	⊙						⊙
Sodium Silikat	⊙	⊙						⊙

Keterangan

⊙ = Fungsi utama

○ = Fungsi kedua

Elektrode bersalut diklasifikasikan secara garis besar dengan komponen utama dari fluks. Kecuali untuk elektrode hidrogen rendah, seluruh elektrode bersalut diberi nama sesudah komponen utama dari fluks. Tabel II.16 memberikan perbandingan campuran khusus dari fluks pada beberapa elektrode bersalut khusus untuk baja lunak. Oleh karena komposisi fluks mempengaruhi sifat mekanis dari logam las, mampu operasi las, mampu las dan lain-lain, adalah perlu untuk menggunakan perbandingan campuran yang tepat, membawa ke nilai kekuatan las yang disyaratkan.

**Tabel II.16 Contoh perbandingan komposisi campuran fluks dari elektrode bersalut untuk baja lunak**

D4301 (Elektroda Ilmenite)	Ilmenite 35	Karbonat 6	Karbon Ferro Mangan Medium 15	Mangan Dioksida 5	Pasir Kuarsa 10	Potasium Feldspar 16	Kanji 5	Talek 8
D4303 (Elektroda Lime Titania)	Rutile 34	Dolomit 32	Pasir Kuarsa 10	Feldspar 10	Mika 6	Ferro Mangan 10	Kanji 4	
D4311 (Elektroda Selulosa Tinggi)	Selulosa 21	Oksida Titanium 11	Asbestos 11	Karbon Ferro Mangan Medium 8	Talek 10			
D4311 (Elektroda Selulosa Tinggi)	Rutile 45	Karbon Ferro Mangan Medium 13	Kanji 2	Talek 12	Selulosa 5	Feldspar 20	Karbonat 4	
D4316 (Elektroda Hidrogen Rendah)	Karbonat 50	Fluorite 20	Ferro Silikon 10	Karbon Ferro Mangan Medium 2	Serbuk Besi 10	Mika 7		
D4327 (Elektroda Oksida Serbuk Besi)	Selulosa 3	Talek 10	Karbon Ferro Mangan Medium 16	Potasium Feldspar 10	Pasir Kuarsa 20	Biji Besi 30	Serbuk Besi 50	

**Karakteristik pembungkus (coating) :**

- Menambah konduktivitas (conductivity) pada panjang busur
- Menghasilkan gas ( H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ), asap metalik, asap organik
- Menyebabkan slag sebagai proteksi, isolasi melawan panas, reaksi metalurgi penghasil komposisi yang pasti, berpengaruh pada kristalisasi

**3. Bahan / Material Pembungkus ( Coating )**

**Oksida Logam ( Oksida Besi )**

Oksida besi	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Micaceous iron ore
Oksida besi	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Magnetite
Oksida Mangan	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Hausmanite
Oksida Fe-Ti	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Ti O <sub>2</sub>	Biji Titanium
Oksida Titanium	Ti O <sub>2</sub>	Rutile

**Karbonat**

Karbonat besi	Fe CO <sub>3</sub>	Siderite
Kalsium karbonat	Ca CO <sub>3</sub>	Limestone
Kalsium magnesium	Ca CO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Dolomite
Karbonat	Mg CO <sub>3</sub>	
Magnesium karbonat	Mg CO <sub>3</sub>	Magnesite

**Quartz & Complex Silicates**

Aluminium Silicate		Caoline
Calcium Silicate		Wallastonite
Kalium Aluminium Silicate		Potassium feldspar
Magnesium Aluminium Silicate		Asbestos
Si O <sub>2</sub> – Silicate acid		Quartz
Zr – Silicate		Zirconium

**Besi paduan**

Ferro manganese		Fe – Mn
Ferro silicon		Fe – Si
Ferro titanium		Fe – Ti
Ferro silicon manganese		Fe – Si – Mn
Ferro silicon titanium		Fe – Si – Ti
Ferro chromium		Fe – Cr
Ferro molybdenum		Fe – Mo
Ferro titanium colombium		Fe – Ti – Cb

**Logam Murni**

Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Ti, Cb, V, Wo

**Garam logam**

Calcium fluoride	Ca F <sub>2</sub>	Fluorspar
Sodium aluminium fluoride	Na <sub>3</sub> Al F <sub>3</sub>	Cryolite

**Pengisi & Pengikat Organik**

Wood flour		Silicate of potasium
Cellulose		Silicate of sodium

**4. Persyaratan Electrode Coating**

- a. Persyaratan teknologi pengelasan :
- Karakteristik striking dan restriking baik
  - Kemampuan menutup jarak baik
  - Posisi mampu las
  - Stabilitas busur
  - Elastisitas Coating, resistansi
  - Kemungkinan menimbulkan pembakaran kecil

- b. Ekonomi :
- Tingkatan endapan tinggi
  - Daya pembentukan kembali tinggi
  - Percikan yang terbentuk rendah
  - Penghilangan terak/slag mudah
  - Kapasitas melebihi batas
  - Kecepatan pengelasan tinggi
  - Panjang endapan rigi las besar
  - Kemampuan untuk upset baik
  - Permukaan rigi las baik
- c. Metalurgi :
- Sifat-sifat mekanik sangat baik
  - Tidak menimbulkan keropos ketika mengelas
  - Tidak sensitif terhadap debu, kotoran, minyak pada permukaan logam induk
  - Insensitive to segregation
  - Daya tahan terhadap retak panas dan retak dingin
  - Coating tidak sensitif terhadap kelembaban

## 5. Tipe Elektrode ( EN classification )

### 5.1. Tipe elektrode bersalut menurut AWS

#### Symbol :

A	: Acid
R	: Rutile (tipis, medium)
RR	: Rutile (tebal)
AR	: Rutile / acid (mixed type)
C	: Cellulose
R (c)	: Rutile cellulose (medium)
RR (c)	: Rutile cellulose (tebal)
B	: Basic
B (R)	: Basic dengan non basic (R)
RR (B)	: Rutile basic (tebal)

#### Dasar memilih coating

- Pembentukan gas pelindung terak/slag (lime, rutile)
- Proses deoksida ( Fe Si – B, Fe Mn – A, R )
- Pengikat (Potassium silikat dan perbedaan viskositas sodium)
- Alat extrusi ( pada proses pembuatan )



Sifat mekanik weld deposit dipengaruhi oleh :

- Type coating
- Ketebalan coating
  - Tipis : 120 % dari diameter kawat inti
  - Medium : 20 ÷ 155 % dari diameter kawat inti
  - Tebal : > 155 % dari diameter kawat inti

#### **Acid Coating ( A )**

Mempunyai komposisi :

- 40 % Fe O + Mn O ( biji besi + mangan )
- 20 % Si O ( silicate )
- 30 % Fe Mn ( ferro manganese )
- 10 % Plasticizer

- Ke Acid coating biasanya tebal
- Sifat mekanik yaitu kuat mulur dari logam las lebih baik yang tebal daripada yang tipis untuk type yang sama
- Metal transfer membentuk spray
- Sangat cocok untuk posisi horizontal
- Bead surface smooth
- AC / DC
- Elektroda hot running dapat digunakan untuk pemotongan jika amper tinggi
- Beresiko terhadap keropos dan retak panas jika digunakan pada material karbon tinggi > 0,25 %, juga phospor dan sulphur tinggi

#### **Rutile Coating ( R )**

Mempunyai komposisi :

- 50 % Ti O<sub>2</sub> ( Rutile )
- 15 % Si O<sub>2</sub> ( Silicate )
- 10 % Ca CO<sub>2</sub> ( Limestone )
- 15 % Fe Mn ( Ferro manganese )
- 10 % Plasticizer

- Coating didominasi Ti O<sub>2</sub> berbentuk rutile
- Coating tebal berpengaruh pada metal transfer dan arc ( busur )
- Coating tipis droplet besar dan sebaliknya
- DC / AC
- All position
- Sangat baik bila coating tipis dan medium
- Lebih baik untuk setiap kasus untuk tebal coating yang sama
- Bead smooth
- Slag lebih mudah untuk dibuang
- Sangat kecil terjadinya retak panas dari pada Acid
- Slag yang dihasilkan memiliki konduktifitas yang baik

**Basic Coating (B)**

Mempunyai komposisi :

40 % Ca CO <sub>2</sub>	( Lime )
35 % Ca F <sub>2</sub>	( Calcium fluoride )
5 % Si O <sub>2</sub> / Ti O <sub>2</sub>	
10 % Fe Si	( Deoxydixer )
3 % Fe Mn	
7 % Plasticizer	

- Elektroda coatingnya biasanya tebal
- DCEP
- Untuk semua posisi pengelasan
- Metal transfer medium droplet
- Lebih susah melepas slag
- Sifat mekanik lebih baik dari pada coating yang lain dan impact strength pada temperatur dibawah 0° C
- Lebih cocok untuk komponen yang besar, berat dan struktur rigid (konstruksi)
- Hygroscopies, harus disimpan di tempat kering dan dikeringkan di oven (rebake)
- Mudah terkena hydrogen micro crack
- Untuk spesial teknik : arc / busur harus pendek, excessive weaving, high welding speed
- Untuk posisi vertical down dapat dilakukan dengan high speed

**Cellulosic coating (C)**

Mempunyai komposisi :

40 % Cellulose	
20 % Ti O <sub>2</sub>	( rutile )
15 % Si O <sub>2</sub>	( silicate )
10 % Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	( magnetite )
15 % Fe Mn	( ferro manganese )

- Dibuat untuk posisi vertical down, Ø elektroda yang dipakai besar Ø > 5 mm, amper tinggi dan welding speed tinggi, dengan coating khusus

**Type Elektroda Spesial**

Elektroda dibuat khusus, misalnya :

- Untuk Hardfacing / pelapisan untuk tahan aus
- Untuk pelapisan tahan korosi
- Untuk besi tuang / baja tuang

Dibuat dengan komposisi coating berbeda sesuai kebutuhan

**Tabel II.17 Tipikal seluruh sifat-sifat logam las dari  
bermacam-macam jenis Elektroda**

Tipe	Sifat-sifat Mekanik				
	Y <sub>s</sub> (MPa)	T <sub>s</sub> (Mpa)	E (%)	Impact Strength ( Joule )	
				+ 20 <sup>0</sup> C	- 20 <sup>0</sup> C
Basic	420	530	30	140	102
Rutile	360	500	28	94	39
Cellulose	400	500	28	78	63

Type	Komposisi Kimia Seluruh Logam Las				
	C (%)	Si (%)	Mn (%)	O <sub>2</sub> (%)	H D M (% per ml)
Basic	0,08	0,04	1,00	0,03	4
Rutile	0,08	0,35	0,60	0,08	25
Cellulose	0,12	0,20	0,40	0,05	60
H D M : Hydrogen Deposite Metal					

## 5.2 Tipe elektrode bersalut menurut JIS

### 5.2.1 Elektrode bersalut untuk baja lunak

#### (a) Elektrode tipe ilmenite (D4301)

Elektrode las ini dikembangkan di Jepang mengandung 30% biji ilmenite dalam fluks. Elektrode ini memproduksi busur yang kuat dan butiran logamnya menyembur serta tembusannya dalam. Teraknya mencair dengan baik dan tampilan rigi las bagus. Pengelasan dapat dilakukan pada seluruh posisi. Elektrode ini memberikan ketahanan terhadap retak tertinggi yang kedua setelah elektrode hidrogen rendah dan mempunyai keseimbangan yang bagus pada kekuatan mekanisnya, dapat dioperasikan dengan baik dan mampu las yang baik. Elektrode ini dapat dipakai untuk mengelas plat dengan ketebalan kurang dari 25 mm dan secara luas dipakai tidak hanya untuk konstruksi umum tetapi juga berbagai bejana tekan dan kapal samudra.

**(b) Elektrode tipe kapur titania (D4303)**

Elektrode las ini menggunakan fluks yang mengandung titanium oksida (rutile) 30% dan batu kapur 20% sebagai komponen utama. Elektrode menghasilkan tampilan rigi yang lebih baik, lebih mudah penggunaannya daripada elektrode ilmenite dan teraknya sangat mudah dibuang dibandingkan dengan elektrode bersalut lainnya. Elektrode ini menghasilkan hampir tidak ada takik dan dapat dipakai untuk pengelasan vertikal naik. Pengelasan dengan elektrode ini memberikan tembusan yang hampir sama (merata) dan tahan terhadap retak, tetapi ketahanan terhadap terjadinya lubang cacung sangat buruk dibandingkan dengan elektrode ilmenite.

**(c) Elektrode tipe selulosa tinggi (D4311)**

Elektrode las ini menggunakan fluks yang mengandung selulosa (zat organik) 30%. Selulosa yang terbakar menimbulkan gas pelindung dalam jumlah yang besar, melindungi logam cair selama pengelasan. Elektrode ini juga disebut **Elektrode Berpelindung Gas** dan digunakan dengan sangat luas di Amerika. Bila udara panas dan lembab seperti musim panas di Jepang, fluks elektrode ini sangat mudah diserap, sehingga menghasilkan unjuk kerja yang jelek. Di samping itu membentuk sedikit terak dan tampilan rigi las yang jelek dan menimbulkan banyak percikan. Karena alasan ini, elektrode ini sangat jarang digunakan di Jepang.

**(d) Elektrode tipe titania tinggi (D4303)**

Elektrode las ini menggunakan fluks yang mengandung titanium oksida 30%. Elektrode menghasilkan semburan butiran logam cair, busurnya stabil dan percikan sedikit. Terak dapat dibuang dengan mudah. Bagaimanapun juga, penembusannya dangkal dan logam las yang terbentuk mampu tempa, ketangguhan dan ketahanan terhadap retak rendah. Sehingga elektrode ini tidak dapat dipakai untuk struktur yang penting. Digunakan untuk pengelasan plat tipis atau pengelasan permukaan dimana tampilan rigi las diutamakan.

**(e) Elektrode tipe hidrogen rendah (D4316)**

Elektrode ini menggunakan fluks yang mengandung batu kapur sebagai komponen utama. Nama dari elektrode ini tidak berdasarkan pada komponen utamanya, tetapi pada karakteristik logam depositnya kandungan hidrogen rendah. Zat organik atau mineral yang mengandung kristal air tidak dicampurkan ke fluks. Sehingga elektrode dikeringkan pada temperatur tinggi sekitar 400°C sebelum digunakan untuk menghilangkan kandungan hidrogennya.

Kandungan hidrogen dalam logam las yang dihasilkan oleh elektrode ini jauh lebih rendah (15 ml/100g) dibanding dengan

elektrode bersalut tipe yang lain, sehingga sangat sulit terjadi retak. Karena logam las yang terjadi memberikan sifat mekanis yang baik, seperti ketangguhan yang tinggi, ketahanan terhadap retak tinggi, elektrode ini dapat dipakai untuk pengelasan plat tebal, struktur yang penting dengan batasan yang ketat, baja dengan kandungan karbon tinggi, baja tegangan tarik tinggi dan lain-lain. Kerugian dari elektrode ini adalah pengoperasiannya lebih sulit dibandingkan dengan elektrode yang lainnya dan busurnya tidak stabil. Bila busurnya panjang ketika penggoresan, parit dan lubang akan terbentuk. Untuk menghindari problem ini, beberapa cara harus dilakukan seperti melakukan metode langkah mundur (back step), menggunakan plat tambahan diawal dan akhir las, merubah ujung elektrode untuk menaikkan kerapatan arus pada saat penggoresan busur atau salutan ujung elektrode ditambahkan bahan konduksi untuk membentuk gas.

**(f) Tipe elektrode serbuk besi titania (D4324)**

Fluks dari elektrode ini sama seperti elektrode D4313 selama itu mengandung serbuk besi. Elektrode ini ciri-cirinya bagus, mudah digunakan seperti elektrode titanium oksida tinggi dan efisiensi lasnya tinggi seperti elektrode serbuk besi. Sifat mekanis dari logam las hampir sama seperti bila menggunakan elektrode D4313. Penggunaan elektrode ini terbatas pada pengelasan posisi datar dan horisontal sudut.

**(g) Tipe elektrode serbuk besi hidrogen rendah (D4326)**

Fluks dari elektrode ini sama dengan elektrode D4316 selama itu mengandung serbuk besi untuk memperbaiki efisiensi las dan bentuk riginya. Elektrode ini menghasilkan logam las yang hampir sama sifat mekanisnya dengan D4316. Meskipun demikian pembersihan teraknya lebih bagus dan permukaan riginya lebih halus. Penggunaan elektrode ini terbatas untuk pengelasan posisi datar dan datar sudut (Horisontal Fillet).

**(h) Tipe elektrode oksida serbuk besi (D4327)**

Elektrode las ini disalut dengan lapisan fluks tebal yang mengandung oksida besi sebagai komponen utamanya dan serbuk besi sebagai campurannya. Prosentase salutannya (berat fluks/berat elektrode) lebih dari 50%. Elektrode ini digunakan untuk pengelasan datar dan datar sudut satu lajur dan paling dapat dipakai untuk satu lapis las sudut dengan panjang kaki las 5-9 mm. Menghasilkan semprotan logam cair dan percikannya sedikit.

Tembusannya lebih dalam dibandingkan dengan elektrode D4324. Terak dapat dibuang dengan mudah. Kontak pengelasannya mudah dengan elektrode ini. Bila elektrode panjang (550-990 mm) digunakan, memungkinkan untuk melaksanakan pengelasan dengan

menggunakan jig gravitasi atau jig las sudut miring. Dengan metode ini, beberapa peralatan las ini dapat dioperasikan dengan satu orang, efisiensi las sangat tinggi.

**(i) Tipe elektrode khusus (D4340)**

Elektrode khusus ini merujuk pada elektrode yang menggunakan fluks yang sama dengan kategori elektrode yang telah disebut diatas atau sebuah elektrode dengan unjuk kerja khusus.

### **5.2.2 Elektrode bersalut untuk baja kekuatan tarik tinggi**

Elektrode las untuk baja kekuatan tarik tinggi disyaratkan untuk menghasilkan unjuk kerja berikut :

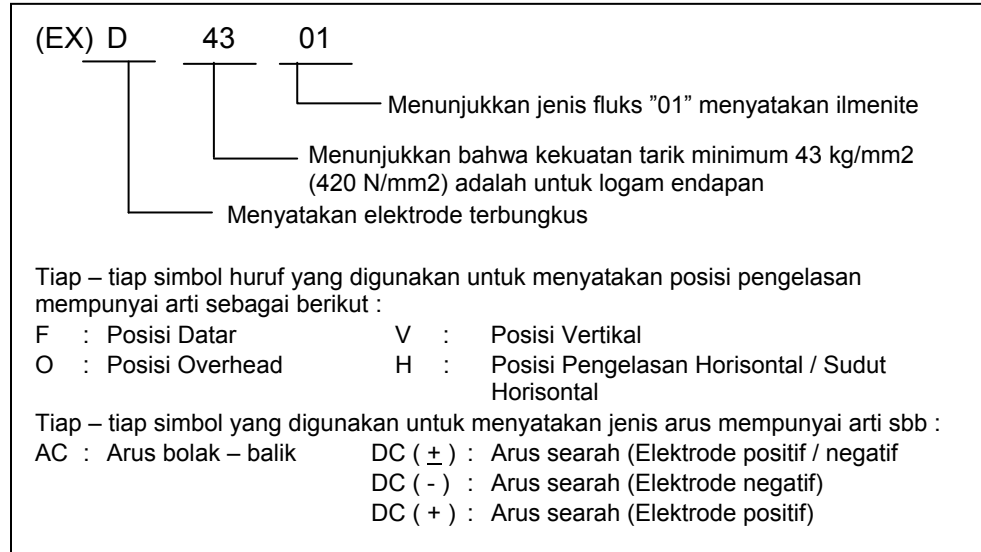
- (a) Logam las harus mempunyai kekuatan dan mampu tempa yang sama dengan logam induk.
- (b) Ketangguhan notch harus tinggi dan harus tidak memburuk secara signifikan selama perlakuan panas paska las.
- (c) Sensitivitas terhadap retak las sangat rendah. Kandungan hidrogen pada logam las harus rendah, karena baja kekuatan tarik tinggi cenderung mempunyai rambatan untuk retak yang disebabkan oleh hidrogen.
- (d) Pekerjaan pengelasan harus mudah.

Dari seluruh persyaratan ini, unjuk kerja nomor 3 adalah yang paling penting. Retak las terjadi dengan mudah pada baja kekuatan tarik tinggi. Untuk baja dengan kekuatan yang lebih tinggi, elektrode las dengan kandungan hidrogen rendah harus digunakan. Untuk alasan ini, JIS menyediakan nilai kandungan hidrogen yang rendah, untuk pembentukan logam las yang kekuatan tariknya tinggi.

Selama pengelasan, jika temperatur pemanasan awal atau temperatur antar jalur tidak mencukupi, retak merambat yang disebabkan oleh hidrogen dapat terjadi. Untuk menghindari keretakan, adalah perlu untuk memilih temperatur yang digunakan untuk metode pengelasan yang digunakan, ketebalan dan jenis bajanya. Secara umum, pemanasan awal dan temperatur antar jalur yang lebih tinggi harus dipilih untuk baja kuat tarik yang lebih tinggi.

Dalam pengelasan dengan kecepatan rendah menyebabkan kelebihan masukan panas, atau pengelasan dengan kelebihan arus, atau pengelasan yang mensyaratkan pengisian logam las dalam jumlah besar untuk tiap-tiap jalur, sifat-sifat mekanis (termasuk ketangguhan) dari logam las dapat memburuk. Maka perlu melaksanakan pengelasan dengan arus rendah dan masukan panas yang rendah dan penggunaan elektrode las pada kecepatan yang tepat. Setiap elektrode las didesain untuk penyambungan dengan polaritas yang spesifik dari sumber tenaga. Bila menggunakan elektrode DC, maka pastikan untuk mengecek polaritasnya.

JIS Z 3212 memberikan standar elektrode bersalut untuk baja kuat tarik tinggi dimana kekuatannya antara 490 dan 780 N/mm<sup>2</sup>. Semuanya adalah tipe hidrogen rendah. Elektrode ilmenite dan elektrode titania kapur juga dispesifikasikan untuk pengelasan baja dengan kuat tarik 490 N/mm<sup>2</sup>.



**Tabel II.18 Standar elektroda bersalut untuk baja kuat tarik tinggi (JIS Z 3212)**

Jenis elektroda pengelasan			
Klasifikasi	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan	Jenis Arus
D5001	Ilmenite	F, V, O, H	AC atau DC ( + )
D5003	Lime Titania	F, V, O, H	AC atau DC ( + )
D5016 D5316 D5816 D6216 D7016 D7616 D8016	Hidrogen rendah	F, V, O, H	AC atau DC ( + )
D5026 D5326 D5826 D6226	Serbuk besi hidrogen rendah	F H	AC atau DC ( + )
D5000 D8000	Khusus	F,V,O dan H atau Posisi pengelasan selain posisi tersebut	AC atau DC ( + )

Klasifikasi	Pengujian Tarik			Pengujian Impact		Kandungan hidrogen dalam endapan logam
	Kekuatan tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Titik mulur / kekuatan mulur 0,2% (N/mm <sup>2</sup> )	Kemuluran (%)	Temperatur pengujian (°C)	Penyerapan energi Charpy (J)	Kandungan hidrogen (ml/100g)
D5001	≥ 490	≥ 390	≥ 23	0	≥ 47	--
D5003						--
D5016						≤ 15
D5316	≥ 520	≥ 410	≥ 20	-5	≥ 47	≤ 12
D5816	≥ 570	≥ 490	≥ 18			≤ 10
D6216	≥ 610	≥ 500	≥ 17			-20
D7016	≥ 690	≥ 550	≥ 16	≤ 7		
D7616	≥ 750	≥ 620	≥ 15	≤ 6		
D8016	≥ 780	≥ 665		≤ 15		
D5026	≥ 490	≥ 390	≥ 23	0	≥ 47	≤ 15
D5326	≥ 520	≥ 410	≥ 20			≤ 12
D5826	≥ 570	≥ 490	≥ 18			-5
D6226	≥ 610	≥ 500	≥ 17	-20	≥ 39	≤ 9
D5000	≥ 490	≥ 390	≥ 20	0	≥ 47	--
D8000	≥ 780	≥ 665	≥ 13		≥ 34	≤ 6

Catatan : Salah satu nilai apakah titik mulur atau kekuatan mulur 0.2 %, harus ditentukan

## 6. Klasifikasi dan kodifikasi elektroda

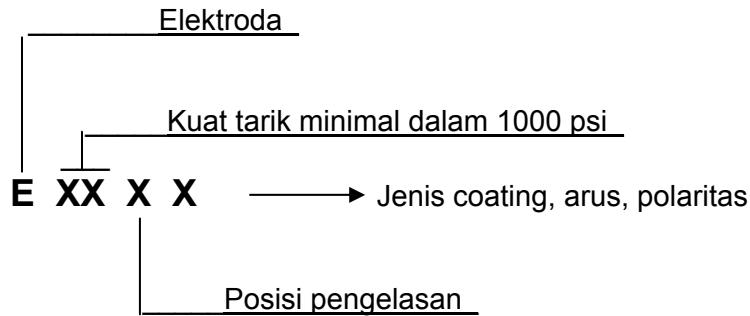
Menurut Klasifikasi sistem Amerika ( A W S )

Misal :

A W S A 5.1 , ASTM 233 untuk Mild Steel  
 A W S A 5.5 , ASTM 316 untuk Low Alloy Steel



Tabel II.19 Arti simbol yang digunakan dalam standar



E 60 XX	:	Kuat tarik logam las 60.000 psi
E 70 XX	:	Kuat tarik logam las 70.000 psi
E XX 10	:	Semua posisi, DC EP, Selulosa, penetrasi dalam
E XX 11	:	Semua posisi, AC, DC EP, Selulosa
E XX 12	:	Semua posisi, AC, DC EN, Rutile
E XX 13	:	Semua posisi, AC, DC, Rutile
E XX 14	:	Semua posisi, AC, DC, Iron Powder Rutile
E XX 15	:	Semua posisi, DC EP, Basic Hydrogen Rendah
E XX 16	:	Semua posisi, AC, DC EP, Basic Hydrogen Rendah + garam potasium
E XX 18	:	Semua posisi, AC, DC EP, Basic Hidrogen Rendah + 30% Serbuk besi
E XX 20	:	Posisi F,H, AC, DC EN, Mineral + oksida besi / Silikat
E XX 24	:	Posisi F,H, AC, DC, Typical Mineral, Rutile, Serbuk besi
E XX 27	:	Posisi F,H, AC, DC EN, Mineral + Serbuk besi
E XX 28	:	Posisi F,H, AC, DC EP, Hydrogen Rendah, Basic + 50% Serbuk besi
E XX 30	:	Posisi F only, Mineral + Serbuk besi / Silikat
E XX 48	:	Khusus Vertikal turun, AC, DC EP, Kalium Hydrogen Rendah, Serbuk besi

## 7. Pemilihan Elektroda

Pemilihan elektroda berdasarkan :

- Material (base metal) composition
- Posisi pengelasan
- Bentuk desain sambungan
- Arus las, AC atau DC polaritas EP / EN
- Persyaratan penetrasi, Heat Input
- Biaya operasional, deposition rate
- Juru las (welder qualification) untuk spesial proses

## 8. Pengaruh Kebasahan dan Kandungan H<sub>2</sub>

Apabila elektroda mengandung Hydrogen ( H<sub>2</sub> ) akan merugikan hasil las, humidity lebih besar dari 50% pada temperatur kamar akan mengakibatkan cold cracking (retak dingin) hasil las

### Penyimpanan Elektroda Las

Penyimpanan elektroda untuk mendapatkan hasil las yang baik adalah essential

- Disimpan ditempat kering, terutama untuk low hydrogen basic elektrode
- Pengepakan dari pabrik sebagai proteksi untuk menghindari pengaruh humidity harus baik
- Elektroda yang mempunyai humidity > 50 % diharuskan disimpan di oven (sesuai dengan rekomendasi pabrik)
- Elektroda hydrogen rendah sangat kritis dan sangat mudah menyerap kelembaban
- Jika container / pack dibuka, hanya untuk digunakan periode 8 jam, apabila masih ada sisa harus disimpan di oven dengan temperatur 300<sup>o</sup> – 350<sup>o</sup> C selama 2 jam
- Jika container dibuka, elektroda basic harus disimpan pada oven dengan temperatur 100<sup>o</sup> – 150<sup>o</sup> C selama minimum 4 jam
- Ruang penyimpanan elektroda basic harus dikontrol dengan humidity < 50 %
- Electrode selulosa tidak harus selalu di oven (rebaking), karena mempunyai level kelembaban 3 ÷ 7 %, sehingga tidak mempunyai efek dalam proses las

## 9. Pengeringan elektrode bersalut

Ketika dalam pembuatan, setiap elektrode bersalut dikeringkan pada temperatur tinggi untuk menghilangkan kandungan air dari fluks. Temperatur pengeringan dipilih secara hati-hati sehingga unjuk kerja fluks tidak memburuk oleh panas. Walaupun air kaca dalam kondisi kering dapat menyerap kandungan air, elektrode bersalut bisa menjadi lembab sebelum digunakan, tergantung dengan temperatur penyimpanan, kelembaban dan waktu pada kondisi pengepakan. Untuk menjaga terjadinya cacat las, elektrode yang lembab harus dibersihkan sebelum dipakai. Temperatur pengeringan ulang berbeda untuk masing-masing tipe elektrode. Jika temperatur pengeringan ulang yang dispesifikasikan untuk elektrode hidrogen rendah digunakan untuk pengeringan ulang elektrode tipe umum lainnya, unjuk kerja fluks akan menurun. Untuk persyaratan

penanganan spesifik dan temperatur pengeringan merujuk ke "Pelaksanaan Pengelasan".

**10. Gas Pelindung**

Tabel II.18 adalah daftar material las untuk berbagai metode las busur semi otomatis. Las busur semi otomatis dari baja karbon secara khusus menggunakan karbon dioksida rendah (CO<sub>2</sub>) atau campuran gas dari CO<sub>2</sub> dan argon sebagai gas pelindung.

Gas argon mahal tetapi menjamin terjadinya sedikit percikan, busur stabil dan tampilan rigi las yang baik. Sehingga gas argon telah digunakan dengan sangat luas sampai saat ini. Pada umumnya CO<sub>2</sub> cair digunakan sebagai gas pelindung pengelasan. CO<sub>2</sub> cair untuk penggunaan ini harus mempunyai kandungan air rendah, karena kandungan air memberikan pengaruh yang merugikan pada pengelasan. Direkomendasikan untuk menggunakan CO<sub>2</sub> cair kelas 3 yang dispesifikasikan dalam JIS K 1106 atau spesial CO<sub>2</sub> untuk pengelasan. Untuk campuran gas pelindung, WES 5401 menyediakan gas premixed Ar-CO. Premixed gas argon dan CO<sub>2</sub> 20% sangat luas digunakan di pasaran.

**Tabel II.20 Metode las busur semi otomatis dan material las**

Metode pengelasan			Karakteristik statis / tetap dari pengelasan busur	Kawat las		Gas pelindung
				Kawat solid	Inti kawat fluks	
Las busur logam dengan pelindung gas	Jenis elektroda habis pakai	MAG	Tegangan konstan / tetap (DC)	○	○	CO <sub>2</sub> , Ar-CO <sub>2</sub>
			Denyut (DC)	○	--	Ar-CO <sub>2</sub>
		MIG	Tegangan konstan / tetap (DC)	○	--	Ar, Ar-CO <sub>2</sub>
			Denyut (DC)	○	--	
	Jenis elektroda tidak habis pakai	TIG	Meredup (DC, AC)	○		Ar
	Las busur tanpa pelindung	Jenis elektroda habis pakai		Meredup (DC, AC)	--	○
			Tegangan konstan / tetap (DC)			



Tabel II. 21 Karbon dioksida cair (JIS K 1106)

Klasifikasi	Kualitas / Mutu		
	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Item			
Karbon dioksida (di dalam gas kering)	Min 99.5		
Kelembaban volume %	Maks 0.12	Maks 0.012	Maks 0.005
Bau	Dilarang ada bau	Dilarang ada bau	Dilarang ada bau

Tabel II.22 Standar untuk gas campuran (WES 5401)

Klasifikasi	Konsentrasi dan toleransi CO <sup>2</sup> (v/v %)	N <sub>2</sub> (v/v %)	O <sub>2</sub> (v/v %)	H <sub>2</sub> (v/v %)	Kelembaban (mg/l)	Konsentrasi Ar + CO <sub>2</sub> (v/v %)
AT-5	5 ± 1.0					
AT-10	10 ± 1.0	0.1	0.1	0.01	0.01	Min 99.8
AT-15	15 ± 2.0	Tidak lebih tinggi dari harga diatas	Tidak lebih tinggi dari harga diatas	Tidak lebih tinggi dari harga diatas	Tidak lebih tinggi dari harga diatas	Tidak lebih tinggi dari harga diatas
AT-20	20 ± 2.0					

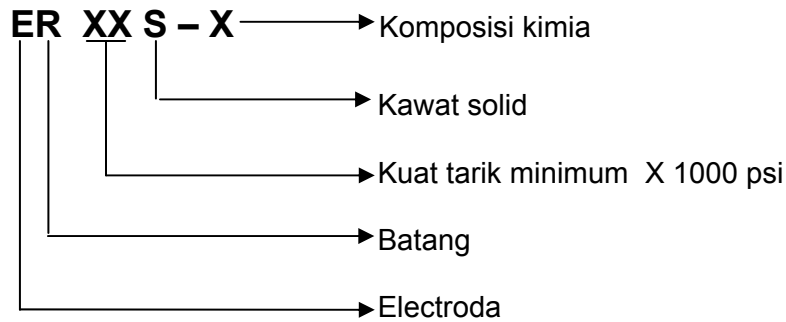
### II.3.7.2 Wire Filler Metal

Wire filler metal adalah logam pengisi dalam proses pengelasan selain SMAW dimana bentuknya berupa :

- Kawat batangan ( wire rod )
- Kawat gulungan ( wire roll )
- Pita gulungan ( wire strip )

#### 1. Elektrode proses las G M A W

Berdasarkan komposisi kimia dan persyaratan sifat mekanis logam las, elektroda untuk proses las GMAW diklasifikasikan dengan formula :



Contoh :

ER 70 S – 2

70 → Kuat tarik minimum logam las = 70.000 psi

2 → Komposisi kimia :

0,07 % C	0,9 – 1,4 % Mn	0,4 – 0,7 % Si
0,05 – 0,15 % Ti	0,02 – 0,12 % Zr	0,05 – 0,15 % Al

ER 70 S – 4

70 → Kuat tarik minimum 70.000 psi

4 → Komposisi kimia :

0,07 – 0,15 % C	1,0 – 1,5 % Mn	0,65 – 0,85 % Si
0,025 % P	0,035 % S	0,50 % Cu

Kawat untuk las GMAW sesuai dengan bentuk penampangnya dapat dibagi menjadi dua tipe :

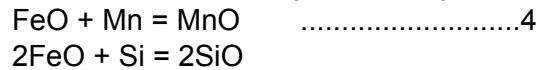
1. Kawat Padat (Solid) dan
2. Kawat Inti Fluks

Karena panas dari busur, karbon dioksida bereaksi sebagai berikut :  
 $2CO_2 = 2CO + O_2$  .....1

Jika logam cair terjadi pada oksidasi atmosfer, terjadi reaksi berikutnya :  
 $2Fe + O = 2FeO$  .....2

Karena karbon dalam baja cenderung berikatan dengan oksigen dibanding dengan Fe, terjadi reaksi berikutnya  
 $FeO+C=Fe+CO$ .....3

CO diproduksi sebagai hasil dari reaksi 1 dan 3 menyebabkan lubang cacing. Untuk mencegah terbentuknya CO, deoksidan seperti Mn dan Si ditambahkan dalam jumlah banyak ke kawat padat.



Melalui reaksi 4, terak dari MnO dan SiO dibentuk dalam permukaan rigi, menghasilkan logam las kualitas tinggi.

Untuk kawat inti fluks, deoksidan ditambahkan ke fluks untuk mencegah terbentuknya CO.

### 1.1. Kawat padat (solid) untuk las MAG (Metal Active Gas)

Kawat padat seluruhnya dibuat dari logam dan dilapisi dengan lapisan tembaga dengan ketebalan 1 mikron atau kurang untuk mencegah karat dan merubah konduktivitas. Diameter dari kawat padat khusus ini sekitar 0.8-1.6 mm. Kawat padat dari komposisi kimia yang berbeda digunakan sesuai dengan tipe baja, komposisi gas pelindung, jenis arus yang digunakan dan lain-lain. JIS mengklasifikasikan kawat lunak menjadi empat kelompok : kawat untuk baja lunak dan baja kuat tarik tinggi; kawat untuk anti cuaca; kawat untuk baja Mo dan baja Cr Mo; dan kawat untuk baja tahan karat.

YGW 11 dan YGW 12 adalah yang paling banyak digunakan pada kawat solid untuk las MAG. YGW 11 dirancang untuk pengelasan dengan arus besar. Mengandung sejumlah kecil dari A dan Ti + Zr, untuk menjamin kestabilan busur dalam daerah arus besar dan menaikkan deoksidasi. YGW 12 dirancang untuk pengelasan dengan arus rendah. Digunakan untuk pengelasan sirkuit pendek. Dapat digunakan untuk pengelasan plat tipis dan semua posisi. Karakteristik dari YGW 15 dan YGW 16 secara berturut-turut sama dengan karakteristik dari YGW 11 dan YGW 12. YGW 15 dapat dipakai terutama sekali untuk pengelasan arus besar dengan busur semprot (arc spray). YGW 21 sampai dengan YGW 24 dispesifikasikan sebagai kawat solid dapat dipakai untuk 590 N/mm<sup>2</sup> baja kelas kuat tarik tinggi.

### 1.2. Kawat inti fluks

Kawat inti fluks terdiri dari deoksidan, pembentuk terak, penstabil busur dan lain-lain yang semuanya dibungkus didalam selubung logam. Tidak seperti untuk las busur berpelindung sendiri, kawat inti fluks untuk las MAG tidak mengandung zat pembentuk gas, maka pada umumnya mensyaratkan gas pelindung. JIS Z 3313 menyediakan berbagai tipe kawat inti fluks, termasuk untuk baja lunak, baja kuat tarik tinggi dan baja temperatur rendah, baja Mo dan baja Cr Mo serta baja tahan karat. Saat ini kawat inti fluks untuk baja lunak dan baja kuat tarik tinggi kelas 490 N/mm<sup>2</sup> adalah yang paling luas digunakan dalam industri. Kawat - kawat ini dibagi ke dalam tipe fluks dan tipe logam sesuai dengan komponen

utama dari fluks. Jenis kawat terak penting dalam pengoperasian pengelasan dan menjamin tampilan bentuk rigi yang halus dengan percikan yang kecil. Bahan tersebut memudahkan dalam pengelasan dengan arus tinggi pada berbagai posisi. Perbedaannya, jenis kawat logam mengandung sejumlah besar serbuk besi sebagai pengganti dari pembentuk terak, sehingga tidak hanya mempunyai keistimewaan pada terak dari tipe kawat inti fluks yang menjamin laju pendepositan tinggi tetapi juga kawat solid yang membentuk sedikit terak.

Karena kawat inti fluks lebih lunak dibandingkan dengan kawat solid, harus diperhatikan untuk penyetulan tekanan kawat pengumpan (wire feeder) tidak boleh terlalu tinggi.

Tabel II.23 membandingkan karakteristik - karakteristik dari bermacam - macam kawat las MAG.

**Tabel II.23 Perbandingan karakteristik dari berbagai kawat las MAG**

Metode Pengelasan Item	Pengelasan busur CO <sub>2</sub> dengan kawat padat	Pengelasan busur CO <sub>2</sub> dengan inti kawat fluks		Pengelasan busur Ar-CO <sub>2</sub> dengan kawat padat
		Kawat terak (titania)	Kawat logam	
Stabilitas busur	×	⊙	△	○
Jumlah percikan	×	⊙	△	○
Jumlah terak	Kecil	Besar	Relatif besar	Paling kecil
Kedalaman tembusan	⊙	△	○	⊙ Sempit
Tampilan rigi	△	⊙	○	⊙
Kemampuan las vertikal - naik	○	⊙	×	○ Sempit sesuai dengan rentang arusnya
Kemampuan las vertikal - turun	Sempit sesuai dengan rentang arusnya			
Ketahanan terhadap retak las	⊙	○	⊙	⊙
Nilai impact logam endapan	○	△	○	⊙
Jumlah hidrogen yang dapat menyebar (ml/100g)	< 2	< 5	< 3	< 2
Baja yang digunakan	- Baja karbon - Baja paduan rendah - Baja dengan permukaan keras	- Baja karbon - Baja paduan rendah - Baja tahan karat Baja dengan permukaan keras	- Baja karbon - Baja paduan rendah - Baja tahan karat	- Baja karbon - Baja paduan rendah - Baja suhu rendah

Catatan : ⊙ = Sangat baik    ○ = Baik    △ = Rata - rata    × = Buruk



## 2. Elektrode Las G T A W

Elektrode untuk proses las GTAW merupakan elektrode non filler metal (bukan logam pengisi) yang terbuat dari bahan Tungsten atau Tungsten Alloy

Tabel II.24 Elemen campuran untuk elektroda tungsten

Klasifikasi A W S	Elemen Paduan	Klasifikasi Warna
EWP	Tungsten murni	Hijau
EWTH – 1	0,8 ÷ 1,2 % Thorium	Kuning
EWTH – 2	1,7 ÷ 2,2 % Thorium	Merah
EWTH – 3	0,35 ÷ 0,55 % Thorium	Biru
EWZR – 1	0,15 ÷ 0,4 % Zirconium	Coklat
EWCe – 2	1,8 ÷ 2,2 % Cerium	Orange
EWL <sub>a</sub> – 1	± 1,0 % Lanthanum	Hitam
EWG	tidak di spesifikasikan	Abu-abu

### 2.1. Batang Pengisi

Kawat logam pengisi las TIG dan baja yang dapat digunakan disediakan dalam JIS Z 3316 "Elektroda Las TIG dan kawat untuk baja lunak dan baja campuran rendah" seperti yang diperlihatkan pada Tabel II.25 Kawat logam pengisi mempunyai panjang 1 meter, elektrode las lurus telanjang, dilapisi dengan lapisan tipis tembaga untuk melindungi dari karat. Kawat logam pengisi yang berkarat atau berminyak menyebabkan cacat las. Sehingga kawat logam pengisi tidak boleh tersentuh oleh tangan telanjang atau oleh sarung tangan kotor. Yakinkan untuk menggunakan sarung tangan yang bersih bila membawa kawat logam pengisi.

**Tabel II.25 Kawat las TIG dan kawat untuk baja lunak dan baja campuran rendah (JIS Z 3316)**

Klasifikasi	Baja yang dipakai	Penggunaan terbesar
YGT50	Baja lunak dan baja kekuatan tarik tinggi	Pengelasan baja lunak dan baja kekuatan tarik tinggi kelas 490 N/mm <sup>2</sup>
YGT60		Pengelasan baja kekuatan tarik tinggi kelas 590 N/mm <sup>2</sup>
YGT62		Pengelasan baja kekuatan tarik tinggi kelas 590 N/mm <sup>2</sup>
YGT70		Pengelasan baja kekuatan tarik tinggi kelas 690 N/mm <sup>2</sup>
YGT80		Pengelasan baja kekuatan tarik tinggi kelas 780 N/mm <sup>2</sup>
YGTM	Baja Mo dan Baja Cr Mo	Pengelasan baja dengan 0.5 % Mo
YGTML		Pengelasan baja dengan 0.5 % Mo (karbon rendah)
YGTICM		Pengelasan baja Cr Mo (Cr = 1.25%; Mo = 0.5 %)
YGTICML		Pengelasan baja Cr Mo (Cr = 1.25%; Mo = 0.5 %) (karbon rendah)
YGT2CM		Pengelasan baja Cr Mo (Cr = 2.25 % ; Mo = 0,5 %)
YGT2CML		Pengelasan baja Cr Mo (Cr = 2.25%; Mo = 0.5 %) (karbon rendah)
YGT3CM		Pengelasan baja Cr Mo (Cr = 3 %; Mo = 1 %)
YGT5CM		Pengelasan baja Cr Mo (Cr = 5 %; Mo = 0.5 %)

## 2.2. Elektrode Tungsten

Elektrode tungsten disiapkan dalam JIS Z 2233 " Elektrode Tungsten Las TIG ". Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel II.26, standar JIS mengklasifikasikan elektrode tungsten sesuai dengan komposisi kimianya. Pada ujung masing-masing tungsten diwarnai untuk membedakan komposisi kimianya. Rentang diameter elektrode mulai dari 0.5 mm sampai dengan 6.4 mm dan panjangnya antara 75 mm sampai dengan 150 mm. Sebagai contoh elektrode tungsten, las TIG DC dengan elektrode positif menggunakan elektrode tungsten yang mengandung

oksida, misalnya elektrode yang 2% thoria, yang mana menjamin goresan busur yang baik, terkonsentrasi dan stabil. Las TIG AC menggunakan elektrode tungsten murni yang mempunyai sedikit komponen DC disebabkan oleh rektifikasi dan menjadikan unjuk kerja pembersihan yang baik. Bila konsentrasi busur disyaratkan, bagaimanapun juga elektrode 2% ceria lebih efektif. Tabel II.28 menunjukkan hubungan antara diameter elektrode dan arus yang digunakan untuk elektrode tungsten murni dan elektrode tungsten thoria. Hubungan untuk elektrode tungsten lanthanum oksida atau elektrode tungsten cerium oksida menyesuaikan dengan yang untuk elektrode tungsten thoria.

**Tabel II.26 Jenis elektrode tungsten dan komposisi kimianya**

Klasifikasi	Simbol	Komposisi Kimia (%)		
		W	Oxide	Lainnya
Elektrode tungsten murni	YWP	> 99.90	--	< 0.1
Elektrode tungsten 1% thoria	YWTh-1	Tetap	ThO <sub>2</sub> 0.8-1.2	< 0.1
Elektrode tungsten 2% thoria	YWTh-2	Tetap	ThO <sub>2</sub> 1.7-2.2	< 0.1
Elektrode tungsten 1% Lanthanum Oksida	YWLa-1	Tetap	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.9-1.2	< 0.1
Elektrode tungsten 2% Lanthanum Oksida	YWLa-2	Tetap	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.8-2.2	< 0.1
Elektrode tungsten 1% Cerium Oksida	YWCe-1	Tetap	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.9-1.2	< 0.1
Elektrode tungsten 2% Cerium Oksida	YWCe-2	Tetap	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.8-2.2	< 0.1

Tabel II.27 Perbedaan warna dari elektrode tungsten

Simbol	Warna
YWP	Hijau
YWTh – 1	Kuning
YWTh – 2	Merah
YWL a – 1	Hitam
YWL a – 2	Hijau Muda
YWCe – 1	Merah Muda
YWCe – 2	Abu - abu

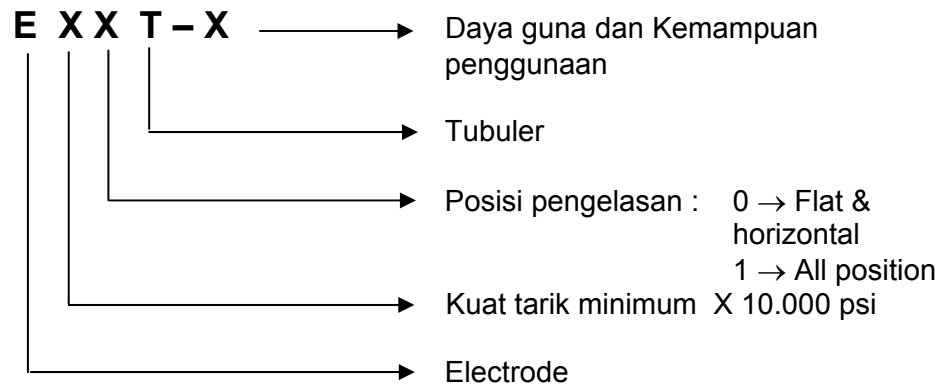
Tabel II.28 Diameter elektrode tungsten dan arus yang dapat dipakai

Diameter elektrode mm	Arus las			
	AC		Elektrode negatif	Elektrode positif
	YWP	YWth	Ywp, YWth	Ywp, YWth
0.5	5 ~ 15	5 ~ 20	5 ~ 20	--
1.0	10 ~ 60	15 ~ 80	15 ~ 80	--
1.6	50 ~ 100	70 ~ 150	70 ~ 150	10 ~ 20
2.4	100 ~ 160	140 ~ 235	150 ~ 250	15 ~ 30
3.2	150 ~ 210	225 ~ 325	250 ~ 400	25 ~ 40
4.0	200 ~ 275	300 ~ 425	400 ~ 500	40 ~ 55
4.8	250 ~ 350	400 ~ 525	500 ~ 800	55 ~ 80
6.4	325 ~ 475	500 ~ 700	800 ~ 1100	80 ~ 125

### 3. Elektroda Las F C A W

Elektroda berinti fluks adalah logam pengisi dalam proses las berupa wire roll, diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia dan persyaratan sifat mekanis logam las untuk proses FCAW ( Flux Cored Arc Welding ).

Elektrode untuk baja lunak :



Elektroda baja paduan rendah

**E X X T - X** → Komposisi kimia

Elektroda baja tahan karat

**E X X X T - X** → 1 = CO<sub>2</sub> DCEP  
2 = Ar + 2 % O<sub>2</sub> DC EP  
3 = non DC EP

→ AISI type 308; 316; 314 dll

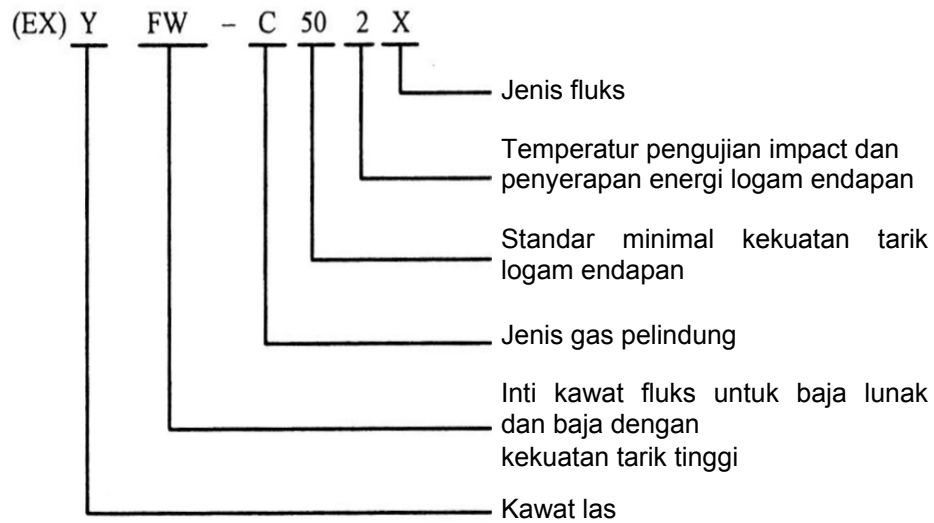
Las busur berpelingung sendiri tidak mensyaratkan gas pelindung dan dapat mengadakan sendiri meskipun terjadi hembusan angin. Metode pengelasan ini sesuai penggunaan di lapangan. Kawat untuk las busur berpelingung sendiri mengandung fluks 20% dari seluruh berat kawat dalam bentuk deoksidan, denitrasi, penstabil busur, pembentuk terak dan sebagainya. Bila kawat tebal ( $\varnothing$  2.4 -3.2 mm) maka memungkinkan untuk melaksanakan pengelasan dengan sumber daya DC maupun AC. Dengan memberikan fluoride, magnesium dan aluminium yang diisikan ke dalam fluks, kawat ini mengeluarkan sejumlah banyak asap las. Sehingga pengelasan dapat dilaksanakan meskipun berangin dengan kecepatan angin sekitar 10m/detik. Meskipun pengelasan dilakukan di dalam gedung, diperlukan ventilasi untuk asap. Ketahanan panas dari arus yang mengalir dalam kawat juga digunakan untuk membentuk gas. Sehingga perpanjangan kawat yang keluar terlalu pendek dapat menyebabkan cacat alur dan lubang cacing. Adalah perlu untuk menjaga panjang kawat yang keluar secara benar sesuai dengan diameter kawat.

Kawat tidak memerlukan pengeringan sebelum dipakai, tetapi harus digunakan sesegera mungkin setelah dibuka dari bungkusnya.

**Tabel II.29 Kawat inti fluks las busur berpelindung sendiri (JIZ Z 3313)**

Klasifikasi	Gas Pelindung	Jensi baja yang dipakai
YFW – S430X	Tidak memakai gas pelindung (perlindungan sendiri)	Baja lunak
YFW – S500X		Baja lunak dan baja berkekuatan tarik tinggi 490 N/mm <sup>2</sup>
YFW – S50DX		
YFW – S502X		
YFW – S50GX		

**Keterangan :** 1. Setiap simbol angka atau huruf yang digunakan dalam klasifikasi kawat mempunyai arti sebagai berikut :



2. Simbol simbol untuk gas pelindung berdasarkan berikut ini :  
C: CO<sub>2</sub>, A: Ar-CO<sub>2</sub>, S: Perlindungan sendiri
3. Penomoran untuk standar minimal kekuatan tarik logam endapan berdasarkan berikut ini :  
43: 420N/mm<sup>2</sup>, 50: 490N/mm<sup>2</sup>, 60: 590N/mm<sup>2</sup>

#### 4. Elektrode & Flux Las S A W

Dalam pengelasan proses SAW, logam pengisi ( filler metal ) dengan pelindung powder flux

Elektroda SAW ini ada 2 jenis, yaitu :

1. Berbentuk kawat
2. Berbentuk plat strip

Pada proses SAW ini elektroda selalu diklasifikasikan bersama flux, sedangkan flux ini diklasifikasikan sesuai dengan persyaratan sifat mekanis logam las

**F XXX - E XXX**  
 1    2 3 4    5    6

1. Menyatakan flux
2. Kuat tarik minimum X 10.000 psi
3. Kondisi perlakuan panas : A = as welded; P = P W H T
4. Suhu terendah X – 10<sup>0</sup> F, Impact strength 20 ft-lb ( 27 Joule ) atau lebih
5. Menyatakan Elektroda ( filler metal )
6. Kelas elektroda / spesifikasi

Contoh : **F 7 A 6 – E M 12 K**

- Kuat tarik minimum 70.000 psi
- Perlakuan panas as welded
- Impact strength 27 Joule pada temperatur – 60<sup>0</sup> F
- Bila dilas, dengan kondisi spesifikasi EM12K

**Tabel II.30 Spesifikasi Elektroda berdasarkan komposisi kimia**

AWS A5.17 : Carbon Steel

Kelas Elektroda	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %
Baja Karbon Mn rendah :						
EL 8	0,1	0,25÷0,6	0,07	0.035	0.035	0,35
EL 8K	0,1	0,25÷0,6	0,1÷0,25	0.035	0.035	0,35
EL 12	0,05	0,25÷0,6	0,07	0.035	0.035	0,35

Baja Karbon Mn menengah :						
EM 12	0,06÷0,15	0,8÷1,25	0,10	0,035	0,035	0,35
EM 12K	0,05÷0,15	0,8÷1,25	0,10÷0,35	0,035	0,035	0,35
EM 13K	0,07÷0,19	0,9÷1,40	0,35÷0,75	0,035	0,035	0,35
EM 15K	0,10÷0,20	0,8÷1,25	0,10÷0,35	0,035	0,035	0,35
Baja Mangan 2 % ( Mn tinggi ) :						
EH 14	0,10÷0,20	1,70÷2,20	0,10	0,035	0,035	0,35

AWS A5.23 Low Alloy Steel :

EF 6	0,15% C, 0,20% Si, 1,70% Mn, 0,30% Cr, 0,3% Mo, 2,20% Ni
E Ni 2	0,11% C, 0,10% Si, 1,00% Mn, 2,20% Ni
EA 2	0,12% C, 0,10% Si, 1,10% Mn, 0,50% Mo
EA 3	0,12% C, 0,15% Si, 2,00% Mn, 0,55% Mo
EB 2	0,12% C, 0,15% Si, 0,80% Mn, 1,20% Cr, 0,50% Mo
ER 307	0,08% C, 0,90% Si, 7,00% Mn, 19,20% Cr, 9,00% Ni
ER 309L	< 0,02% C, 0,50% Si, 1,70% Mn, 23,50% Cr, 12,6% Ni
ER 312	0,14% C, 0,40% Si, 2,00% Mn, 29,50% Cr, 9,00% Ni
ER 410 Ni Mo	< 0,02% C, 0,50% Si, 0,60% Mn, 12,30% Cr, 9,00% Ni
ER 347	0,035% C, 0,50% Si, 1,40% Mn, 19,40% Cr, 9,50% Ni + Nb
ER 308L	< 0,02% C, 0,50% Si, 1,70% Mn, 20,10% Cr, 9,80% Ni
ER 318	0,35% C, 0,50% Si, 1,70% Mn, 19,60% Cr, 2,7% Mo, 11,4%Ni
ER 316L	< 0,02% C, 0,50% Si, 1,70% Mn, 18,60% Cr, 2,8% Mo, 11,3%Ni

Pada las busur terendam, kawat inti dan fluks dari elektrode terlapis digunakan secara terpisah. Kombinasi dari kawat dan fluks menentukan sifat dari logam las, tampilan rigi dan mampu pengoperasiannya.

Dalam pengelasan khususnya dengan arus tinggi, karena logam induk melebur secara signifikan, sifat dari logam induk bisa berubah secara luas dibawah pengaruh komposisi baja. Perlu berhati-hati dalam pemilihan kawat dan fluks, dengan memperhitungkan sifat dari baja yang digunakan sebagai logam induk, sifat dari daerah las, konfigurasi sambungan las dan kondisi pengelasan (arus las dan kecepatan serta jumlah lapisan las).



**4.1. Kawat**

Kawat untuk las busur terendam terdiri dari tiga tipe : solid, inti fluks dan pita (strip). Yang paling terkenal adalah kawat solid dilapisi dengan tembaga tipis untuk mencegah karat dan untuk merubah kontak listrik pada bagian yang terhubung. JIS mengklasifikasikan kawat las busur terendam untuk baja lunak dan baja campuran rendah (baja kuat tarik tinggi, baja tahan panas, baja temperatur rendah, dan baja tahan korosi udara), berdasarkan komposisi kimia, ke dalam tujuh kelompok seperti yang terlihat pada Tabel II.31. Lagipula kawat-kawat ini juga adalah kawat untuk baja tahan karat.

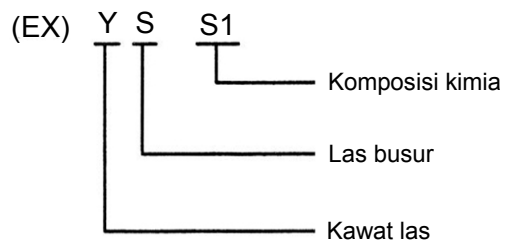
**Tabel II.31 Kawat las busur terendam untuk baja karbon dan baja campuran rendah (JIS 3351)**

Klasifikasi	Komposisi
YS-S1 sampai YS-S8	Si-Mn
YS-M1 sampai YS-M1	Mo
YS-CM1 sampai YS-5CM2	Cr-Mo
YS-N1 sampai YS-N2	Ni
YS-NM1 sampai YS-NM6	Ni-Cr-Mo
YS-CuC1 sampai YS-CuC2	Cu-Cr

**Diameter dan toleransi kawat las**

Diameter	1.2	1.6,2.0	2.4,3.2,4.0 ,4.8,6.4
Toleransi	+ 0.02 - 0.03	+ 0.03 - 0.05	± 0.05

Tiap simbol untuk klasifikasi mempunyai arti sbb :



## 4.2. Fluks

Seperti pada elektrode bersalut, fluks untuk las busur terendam membantu untuk menstabilkan busur, melindungi daerah sekitar busur, menghaluskan kembali logam cair, penambahan elemen campuran yang diperlukan ke logam las, dan membentuk rigi. Fluks diklasifikasikan menurut metode pembuatannya ke dalam dua tipe : Fluks Fused dan Fluks Bonded

Fluks fused dibuat dengan metode berikut: Berbagai material mineral dilebur pada suhu sekitar 1300°C, dibekukan ke dalam bentuk seperti kaca, kemudian ditumbuk menjadi partikel - partikel dan diukur dengan pengayakan. Sejak material - material dilebur, sebagian besar komponen logam yang terdapat dalam fluks timbul dalam bentuk oksida. Sehingga deoksidasi dari logam cair dan penambahan dari elemen campuran yang diperlukan ke logam las harus diandalkan pada kawat las. Karena fluks seperti kaca dan menyerap uap air secara besar, fluks dapat digunakan berulang kali dan menjamin kemampuan pengoperasian yang tinggi dan pengelasan kecepatan tinggi. Fluks dengan ukuran partikel yang berbeda digunakan sesuai dengan arus pengelasan. Partikel fluks yang lebih halus dipilih untuk pengelasan dengan arus yang lebih tinggi. Penggunaan fluks dengan partikel kasar untuk pengelasan dengan arus tinggi akan menghasilkan tampilan rigi yang buruk. Sebaliknya, penggunaan fluks dengan partikel halus untuk pengelasan arus rendah akan merintang penghilangan gas dan kemungkinan menghasilkan bopeng / burik. Sebelum digunakan, fluks fused harus dipanasi hingga kering selama kira - kira satu jam pada temperatur antara 150° ~350°C.

Fluks bonded dibuat dengan cara berikut. Berbagai material mineral, dioksidan, elemen campuran yang tepat dan lain-lain dijadikan bubuk kemudian dijadikan butiran dengan menambahkan pengikat, misalnya air kaca dan dioven pada temperatur antara 400° dan 600°C. Komposisi kimia dan sifat - sifat mekanis dari logam las dapat dikontrol dengan mudah bila fluks bonded digunakan, karena mengandung deoksidan dan campuran elemen yang tepat ditambahkan ke logam las. Kebutuhan konsumsi fluks sedikit. Lagipula fluks bonded menjamin kemampuan pengoperasian yang tinggi meskipun pengelasan menggunakan masukan panas yang besar. Bagaimanapun juga, karena fluks ini mudah menyerap kelembaban, disyaratkan pengeringan ulang selama satu jam pada suhu 200°~300°C sebelum digunakan.

Pada umumnya, fluks tidak boleh didistribusikan dalam jumlah banyak, sebab kelebihan jumlah fluks merintang penghilangan gas, menghasilkan tampilan rigi yang buruk. Jumlah fluks harus dijaga sesedikit mungkin, agar cacat las tidak terjadi. Apabila fluks digunakan secara berulang, jumlah kotoran, debu dan sebagainya yang terkandung dalam fluks akan meningkat dan ukuran partikel yang tidak sama

bentuknya akan hilang, menghasilkan tampilan rigi yang jelek. Dalam kasus ini fluks harus diganti baru.

Tabel II.32 memperlihatkan Standar JIS untuk fluks las busur terendam.

**Tabel II.32 Fluks las busur terendam untuk baja karbon dan baja campuran rendah (JIS Z 3352)**

Klasifikasi	Jenis Fluks	Komposisi Kimia (%)			
		SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> + MnO+ TiO <sub>2</sub>	CaO+ MgO	Fe
FS-FG1	Fluks melebur	> 50	--	--	0
FS-FG2		< 55	> 60	--	0
FS-FG3		< 55	30~80	12~45	0
FS-FG4		--	< 50	> 22	0
FS-FP1	Fluks melebur (mengambang)	--	> 50	--	0
FS-DN1	Fluks terikat	--	--	< 50	< 10
FS-DN2		--	--	40~80	< 10
FS-DT1	Fluks terikat (jenis serbuk besi)	--	--	< 50	15~60
FS-DT2		--	--	40~80	15~60

Tiap simbol untuk klasifikasi mempunyai arti sebagai berikut

(EX)

P

S

F

G1

\_\_\_\_\_ Komposisi kimia

\_\_\_\_\_ Jenis Fluks

\_\_\_\_\_ Las Busur

\_\_\_\_\_ Fluks las

**II.3.7.3 Spesifikasi Elektroda menurut AWS**

A5.1 Elektroda las busur bersalut baja karbon

- A5.2 Kawat las gas dari besi dan baja
- A5.3 Elektrode las busur dari aluminium dan aluminium paduan
- A5.4 Elektroda bersalut baja kromium dan kromium nikel tahan karat
- A5.5 Elektrode las busur bersalut baja paduan rendah
- A5.6 Elektrode bersalut tembaga dan tembaga paduan
- A5.7 Elektroda lempengan dan kawat las dari tembaga dan tembaga paduan
- A5.8 Logam pengisi Brazing
- A5.9 Kawal las & elektroda las busur dari lempengan baja kromium & kromium nikel tahan karat dan campuran logam inti dan serat
- A5.10 Elektroda lempengan dan kawat las dari aluminium dan aluminium paduan
- A5.11 Elektrode las bersalut nikel dan nikel paduan
- A5.12 Elektrode untuk pemotongan dan elektrode las busur dari tungsten dan tungsten paduan
- A5.13 Elektroda dan kawat las berlapis
- A5.14 Elektroda lempengan dan kawat las dari nikel dan nikel paduan
- A5.15 Kawat las dan Elektrode bersalut untuk pengelasan besi tuang
- A5.16 Elektroda lempengan dan kawat las dari titanium dan titanium paduan
- A5.17 Elektroda lempengan dari baja karbon dan fluks untuk las SAW
- A5.18 Logam pengisi i baja karbon untuk las busur berpelindung gas
- A5.19 Elektroda lempengan dan kawat las dari Magnesium paduan
- A5.20 Elektrode dari baja karbon untuk Flux Cored Arc Welding ( FCAW)
- A5.21 Elektroda dan kawat las berlapis bahan campuran
- A5.22 Elektroda Flux berinti baja kromium dan kromium nikel tahan karat
- A5.23 Elektroda lempengan dan fluks dari baja paduan rendah untuk las SAW
- A5.24 Elektroda lempengan dan kawat las dari Zirconium dan Zirconium paduan
- A5.25 Consumable dari baja karbon dan baja paduan rendah berkekuatan tinggi (HSLA) untuk Electro Slag Welding (ESW)
- A5.27 Kawat las gas dari tembaga dan tembaga paduan
- A5.28 Logam pengisi dari baja paduan rendah untuk las busur berpelindung gas
- A5.29 Elektroda dari baja paduan rendah untuk Flux Cored Arc Welding (FCAW)
- A5.30 Consumable insert
- A5.34 Elektroda Flux berinti nikel

## II.4. PERENCANAAN KONSTRUKSI LAS










### II.4.1 Simbol Pengelasan

Agar para insinyur disainer pengelasan dapat menyampaikan idenya mengenai disain struktur pengelasan secara mudah dan akurat kepada pihak pembangun, maka simbol-simbol pengelasan umum, simbol-simbol akhir, simbol-simbol proses pengerjaan metal, simbol-simbol pengujian tak merusak (NDT) dan sebagainya perlu untuk digunakan. Simbol-simbol tersebut telah dibuat dan ditetapkan dalam JIS, dan akan disampaikan dalam bab ini.

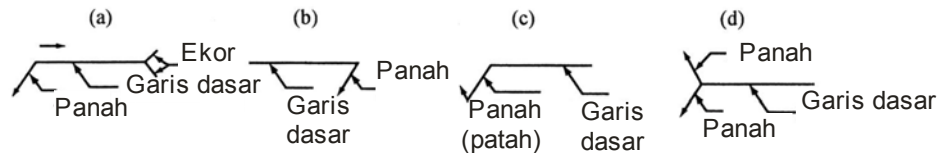
Simbol-simbol pengelasan terdiri dari simbol-simbol dasar yang ditunjukkan pada tabel II.33 dan simbol-simbol tambahan yang ditunjukkan pada tabel II.34 Simbol-simbol tersebut dapat diaplikasikan pada seluruh metode pengelasan. Kecuali pada simbol-simbol rigi las dan las buildup, seluruh simbol dasar menyatakan bentuk dari daerah pengelasan antara dua logam las. Setiap simbol pengelasan harus dicantumkan, bersama dengan pernyataan ukuran, disekitar garis keterangan seperti ditunjukkan pada gambar II.51 Setiap garis keterangan terdiri dari sebuah garis dasar dan garis penunjuk yang terdiri atas sebuah tanda panah dan ekor. Sebagai aturannya garis dasar harus horisontal.

**Tabel II.33 Simbol dasar pengelasan**

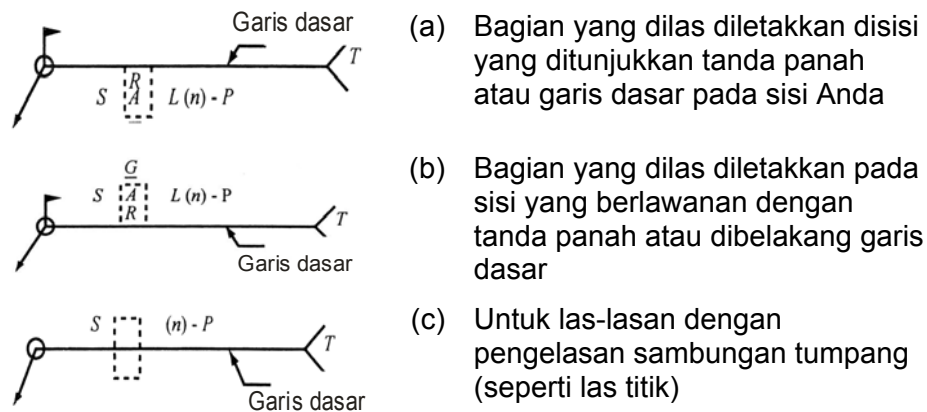
Bentuk daerah las	Simbol dasar	Keterangan
Flens ganda		--
Flens tunggal		--
Kampuh persegi		Meliputi Las dengan pengelasan dibaliknya, las flash, las friksi dsb
Kampuh V tunggal, bentuk X (kampuh V ganda)		Untuk pengelasan dengan kampuh V ganda, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar. Meliputi las dengan pengelasan dibaliknya, las flash, las friksi dsb.
Kampuh serong tunggal, bentuk K (kampuh serong ganda)		Untuk pengelasan dengan kampuh serong ganda, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar. Garis vertikal simbol harus terletak di sebelah kiri. Meliputi las dengan pengelasan dibaliknya, las flash, las friksi dsb.

Kampuh J tunggal, kampuh J ganda		Untuk pengelasan dengan kampuh J ganda, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar. Garis vertikal simbol harus terletak di sebelah kiri
Kampuh U tunggal, bentuk H (kampuh U ganda)		Untuk pengelasan dengan kampuh U ganda, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar
Bentuk V melebar, bentuk X melebar		Untuk pengelasan dengan bentuk X melebar, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar
Bentuk-V melebar, bentuk-K melebar		Untuk pengelasan dengan bentuk K melebar, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar. Garis vertikal simbol harus terletak di sebelah kiri
Sudut		Garis vertikal simbol harus terletak di sebelah kiri Untuk rangkaian las sudut terputus-putus, cantumkan simbol ini secara simetris pada kedua sisi garis dasar Untuk las sudut terputus-putus yang berselang-seling, bagaimanapun, simbol-simbol di sebelah kanan dapat digunakan 
Plug, Slot		--
Rigi las, las buildup		Untuk las buildup, letakkan dua simbol ini bersisian
Titik, Proyeksi, Lapisan		Simbol ini menyatakan las-lasan dengan pengelasan sambungan tumpang, las busur listrik, pengelasan elektron dsb. Tidak termasuk pengelasan sudut. Untuk pengelasan lapisan, letakkan dua simbol ini bersisian.

Gambar II.48 menunjukkan beberapa contoh cara mencantumkan simbol dalam hubungannya dengan garis dasar. Ketika satu bagian yang dilas diletakkan pada sisi yang ditunjukkan dengan tanda panah atau garis dasar pada sisi Anda, satu simbol pengelasan dan pernyataan ukuran harus diletakkan dibawah garis dasar. Ketika satu bagian yang dilas diletakkan pada sisi yang berlawanan dengan tanda panah atau dibelakang garis dasar, simbol pengelasan dan pernyataan ukuran harus diletakkan diatas garis dasar.



**Gambar II.48** Garis keterangan



- (a) Bagian yang dilas diletakkan disisi yang ditunjukkan tanda panah atau garis dasar pada sisi Anda
- (b) Bagian yang dilas diletakkan pada sisi yang berlawanan dengan tanda panah atau dibelakang garis dasar
- (c) Untuk las-lasan dengan pengelasan sambungan tumpang (seperti las titik)

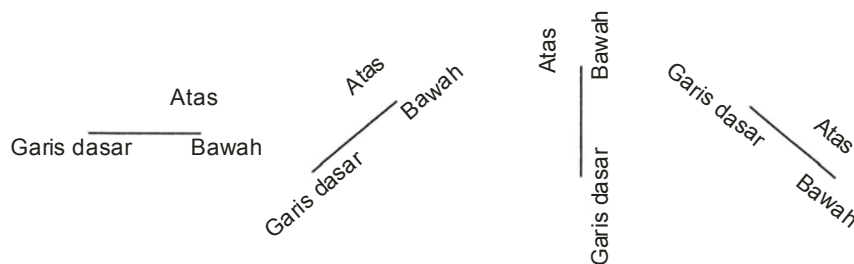
**Keterangan tulisan**

- = Simbol dasar
- S = Ukuran per bagian atau kekuatan daerah las (kedalaman kampuh/alur, panjang kaki sudut, diameter lubang isian, lebar celah/alur, lebar lapisan, diameter gumpalan atau kekuatan satu titik pada las titik, dsb)
- R = Jarak akar
- A = Sudut kampuh
- L = Panjang pengelasan pada las sudut terputus-putus, atau panjang celah atau, jika perlu, panjang pengelasan pada las celah

- n = Jumlah las sudut terputus-putus, las lubang, las celah, las titik, dsb
- P = Jarak dari las sudut terputus-putus, las lubang, las celah, las titik, dsb
- T = Perintah-perintah khusus (jari-jari akar pengelasan kampuh J, pengelasan kampuh U, dsb, metode pengelasan, simbol NDT tambahan, dan lain-lainnya)
- = Simbol tambahan yang menyatakan kondisi permukaan
- G = Simbol tambahan yang menyatakan metode/cara penyelesaian
- ♂ = Simbol tambahan untuk seluruh bagian pengelasan
- = Simbol tambahan untuk semua pengelasan

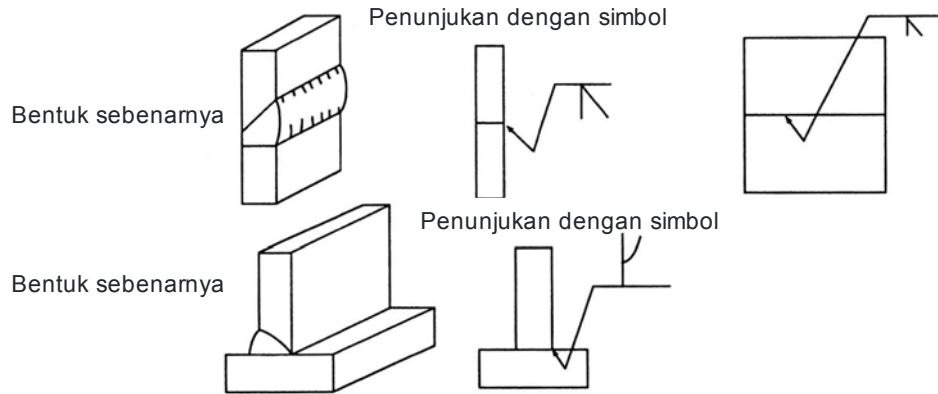
**Gambar II.49 Contoh perintah pengelasan dengan simbol**

Jika terjadi garis dasar tidak dapat digambar secara horisontal, terdapat aturan khusus untuk menentukan sisi atas dan bawah garis dasar, seperti ditunjukkan pada gambar II.50. Bubuhkan garis penunjuk ke ujung lain dari garis dasar, dan sebuah panah ke ujung garis penunjuk, untuk menunjukkan daerah las. Garis penunjuk biasanya lurus. Untuk menunjukkan permukaan yang dikampuh pada bevel/alur tunggal, bevel/alur ganda atau bentuk-bentuk sejenis, gambarlah sebuah garis dasar disisi bagian logam induk yang dikampuh, dan gambar sebuah garis penunjuk yang patah dengan panah terarah pada permukaan yang dikampuh, seperti ditunjukkan pada gambar II.51.



**Gambar II.50 Sisi atas dan sisi bawah dari garis dasar**





**Gambar II.51 Penunjukan dengan menggunakan garis penunjuk yang patah**

Terdapat sepuluh simbol pengelasan tambahan berbeda yang menyatakan kondisi permukaan, metode/cara penyelesaian, dsb dari daerah las seperti ditunjukkan pada tabel II.34 Simbol-simbol tambahan ini harus digunakan jika diperlukan

**Tabel II.34 Simbol pengelasan tambahan**

Bagian		Simbol	Keterangan
Kondisi permukaan las	Datar	—	
			Gambarlah simbol ini dengan sisi cembung terarah pada sisi yang berlawanan dengan garis dasar
	Cekung		Gambarlah simbol ini dengan sisi cekung terarah pada garis dasar
Metode penyelesaian daerah pengelasan	Pemukulan	C	
	Pengerindaan	G	Diselesaikan dengan pengerindaan
	Pemesinan	M	Diselesaikan dengan pemesian
	Tidak ditentukan	F	Metode penyelesaian tidak ditentukan
Bagian pengelasan			Simbol ini dapat diabaikan jika pengelasan keseluruhan telah jelas
Pengelasan keseluruhan			
Pengelasan keseluruhan bagian			

## II.4.2 Disain Sambungan Las

Disaat pembuatan produk-produk pengelasan, penting untuk merencanakan material pengelasan dan sambungan-sambungan las secara hati-hati agar hasilnya sesuai dengan yang diharapkan, menampilkan fungsi-fungsi disain, dan tersedia dengan harga yang pantas. Disaat merancang sebuah sambungan las, tentukan rencana-rencana tersebut didalam format gambar.

Retak-retak pada struktur las disebabkan karena material, prosedur pengelasan dan disain yang kurang baik, dsb. Dari penyebab-penyebab tersebut, disain yang kurang baik menyebabkan hampir 50% keretakan.

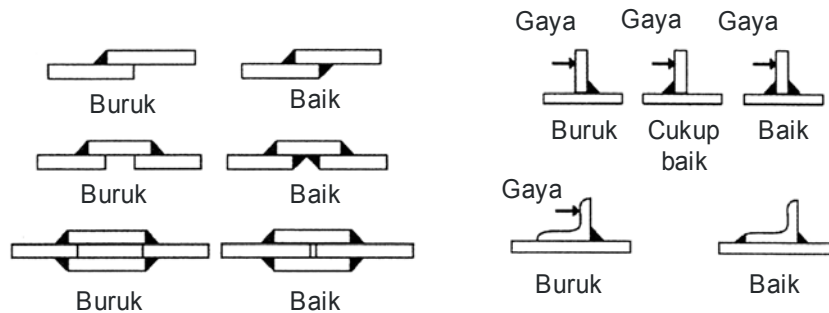
Disain yang kurang baik yang menyebabkan retak dapat disebabkan perhitungan kekuatan yang salah (perhitungan penentuan muatan dan tegangan), disain struktur yang tidak tepat (jenis sambungan yang tidak tepat, garis bentuk yang terputus, dan material yang tidak tepat), dsb. Berikut ini adalah hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam disain dan yang harus diperhatikan ketika merancang sambungan

Pertimbangan-pertimbangan dalam perancangan		
1. Perencanaan struktur (penggunaan, kondisi, efisiensi ekonomis, periode kerja pengelasan)		Perhitungan struktur
2. Perhitungan tegangan, dan karakteristik tegangan dari tiap-tiap bagian (perencanaan dasar)		Gambar disain
3. Penentuan bentuk tertentu dari tiap-tiap bagian, dan daerah geometris las beserta ukurannya (kondisi pekerjaan)		Prosedur pengelasan
4. Pemilihan material		
5. Kondisi-kondisi dan metode pengelasan		
6. Perlakuan pasca pengelasan dan metode-metode pemeriksaan		

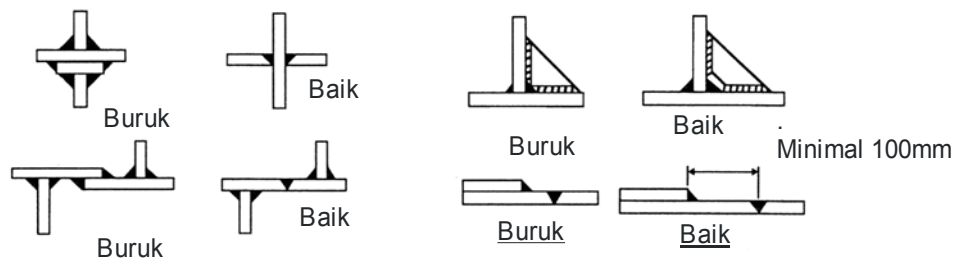
Yang harus diperhatikan ketika merancang/mendisain sambungan las :

1. Agar diantisipasi bahwa tegangan sisa dapat mempercepat retak rapuh, pilihlah material yang memiliki sifat mampu las dan kekuatan tarik yang baik, gunakan disain yang mudah untuk dilas dan lakukan pengurangan tegangan
2. Untuk menghasilkan sambungan dengan deformasi kecil dan tegangan sisa minimum, kurangi jumlah titik las dan jumlah endapan sebanyak mungkin

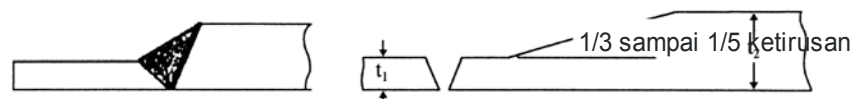
3. Minimalkan bending momen pada tiap-tiap daerah las (lihat gambar II.52)
4. Hindari disain sambungan las dimana terjadi konsentrasi garis las, berdekatan satu sama lain atau berpotongan satu sama lain (lihat gambar II.53)
5. Untuk mencegah konsentrasi tegangan, hindari struktur yang terpotong/terputus, perubahan tajam pada bentuk-bentuk tertentu, dan takik-takik (lihat gambar II.54)
6. Pilihlah metode pemeriksaan dan kriteria cacat las yang dapat diterima, karena cacat las menyebabkan konsentrasi tegangan



**Gambar II.52 Sambungan las yang baik atau buruk berdasarkan bending momen**



**Gambar II.53 Sambungan las yang baik atau buruk berdasarkan konsentrasi garis las**

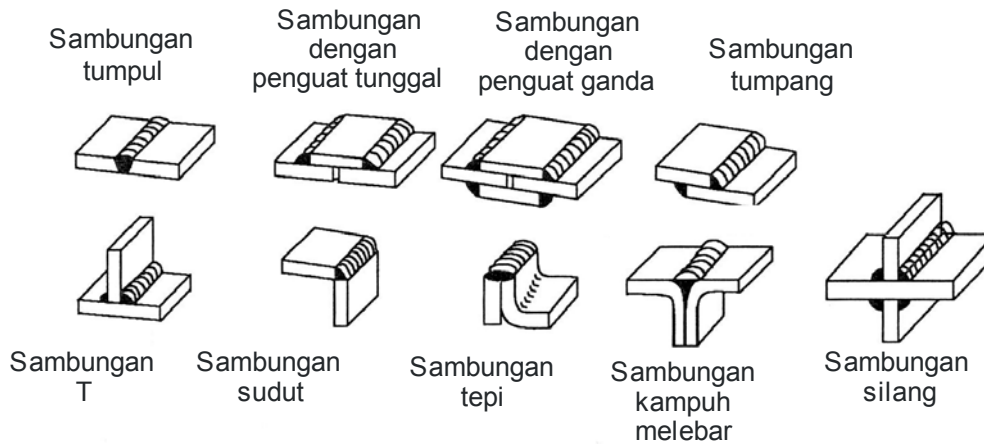


**Gambar II.54 Sambungan las tumpul antara dua logam yang berbeda ketebalan**

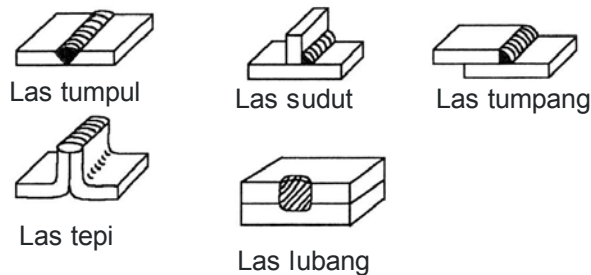
### II.4.3 Sambungan Las

Pembuatan struktur las meliputi proses pemotongan material sesuai ukuran, melengkungkannya, dan menyambungannya satu sama lain. Tiap-tiap daerah yang disambung disebut "**sambungan**".

Terdapat beberapa variasi sambungan las sebagai pilihan berdasarkan ketebalan dan kualitas material, metode pengelasan, bentuk struktur dsb. Berdasarkan bentuknya, sambungan las diklasifikasikan antara lain sambungan tumpul, sambungan dengan penguat tunggal, sambungan dengan penguat ganda, sambungan tumpang, sambungan T, sambungan sudut, sambungan tepi, sambungan kampuh melebar dan sambungan bentuk silang, seperti ditunjukkan pada gambar II.55 Sambungan-sambungan kampuh las dapat juga diklasifikasikan berdasarkan metode pengelasan, antara lain las tumpul, las sudut, las tepi, las lubang, dan las buildup, seperti ditunjukkan pada gambar II.56.

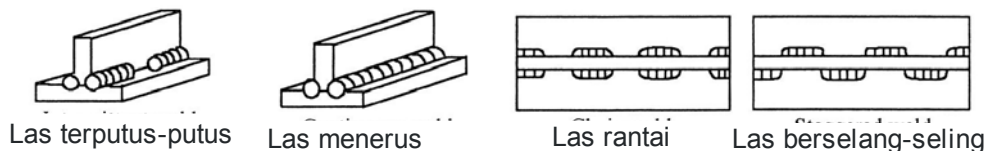


**Gambar II.55 Sambungan las**



**Gambar II.56 Macam-macam las**

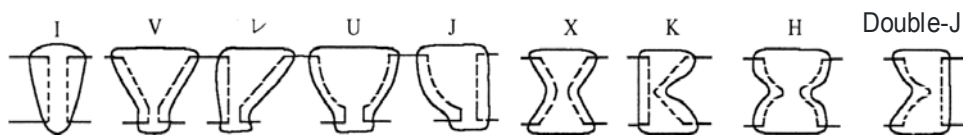
Pengelasan sudut digunakan untuk mengelas sudut dari sambungan T atau sambungan tumpang. Las sudut pada sambungan T membutuhkan persiapan kampuh alur tunggal atau alur ganda jika diperlukan penetrasi yang lengkap. Las sudut dapat diklasifikasikan menurut bentuk las, antara lain las terputus-putus, las menerus, las rantai dan las berselang-seling, seperti ditunjukkan pada gambar II.57.



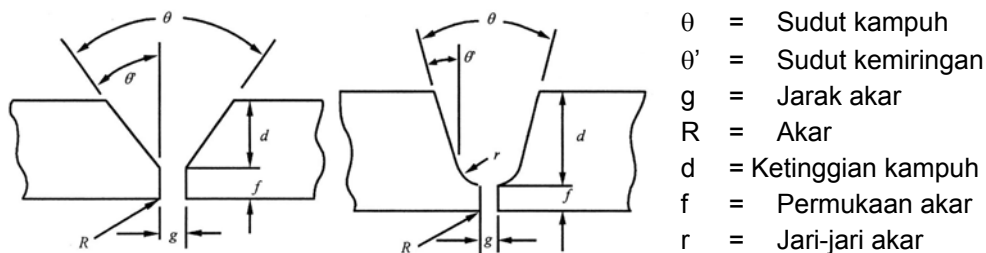
Gambar II.57 Macam-macam las sudut

1. Bentuk geometri kampuh las

Alur pengelasan dinyatakan oleh sepasang sisi ujung dari dua logam yang akan disambung dengan pengelasan seperti ditunjukkan pada gambar II.58. Persiapan kampuh las meliputi persiapan ujung-ujung permukaan. Sebuah kampuh las harus dirancang untuk pengelasan yang efisien secara ekonomis dan mudah pelaksanaannya dan untuk meminimalkan jumlah endapan tanpa menyebabkan cacat las. Ubah bentuk geometri kampuh, sesuaikan dengan ketebalan logam yang akan disambung : kampuh I, V, X, U atau H harus dipilih sesuai penambahan ketebalan. Tabel II.34 menyajikan bentuk geometri kampuh standar untuk sambungan tumpul seperti yang ditetapkan oleh Asosiasi Struktur Baja Jepang (JSS103). Gambar II.59 menunjukkan nama dari tiap-tiap bagian kampuh untuk sambungan tumpul.



Gambar II.58 Bentuk geometri kampuh



Gambar II.59 Nama dari tiap-tiap bagian kampuh untuk sambungan tumpul

(2) Persiapan kumpuh

Kumpuh las dapat dipersiapkan dengan pemesian atau pemotongan panas lainnya. Metode pemotongan panas yang dapat dipakai meliputi : pemotongan gas, pemotongan busur plasma, pemotongan busur udara, pemotongan laser, dsb. Yang paling umum dilakukan adalah metode pemotongan gas. Jika kumpuh dipersiapkan dengan menggunakan pemotongan gas atau pemotongan busur plasma, serpihan-serpihan kotoran pada permukaan harus dibuang. Karena permukaan yang dipotong secara kasar dan takik-takik pada permukaan kumpuh dapat menyebabkan cacat las, maka hal-hal tersebut harus diperbaiki dengan penggerindaan atau dengan metode-metode lain yang tepat. Jika kumpuh dipersiapkan dengan penyekrapan dan pemesian, minyak harus dibuang.

**Tabel II.35 Bentuk geometri kumpuh standar untuk las tumpul busur terlindung (Asosiasi Struktur Baja Jepang)**

Ilustrasi	Ketebalan plat	Posisi pengelasan	Ukuran		Ilustrasi	Ketebalan plat	Posisi pengelasan	Ukuran	
			G	T				G	R
	≥6	F H V O	G	$\frac{1}{2}T$		≥6	F H V O	G	6
	≥6	F H V O	G	T		≥12	F H V O	R	2
	≥6	F H V O	G	0		≥16	F H V O	a1	45°
	≥6	F H V O	R	2		≥16	F H V O	G	9
	≥12	F H V O	a1	60°		≥16	F H V O	R	2
	≥12	F H V O	G	6		≥16	F	a1	45°
	≥12	F H V O	R	2		≥16	F	a2	60°
	≥12	F H V O	a1	45°		≥16	F	G	0
	≥12	F H V O	G	9		≥16	F	R	2
	≥12	F H V O	R	2		≥16	F	a1	20°
	≥12	F H V O	a1	35°		≥16	H V O	r1	6
	≥12	F H V O	G	0		≥16	H V O	G	0
	≥12	F H V O	D1	$\frac{2}{3}(T-R)$		≥16	H V O	R	2
	≥12	F H V O	R	2		≥16	H V O	a1	45°
	≥12	F H V O	D2	$\frac{1}{3}(T-R)$		≥16	H V O	r1	6
	≥12	F H V O	a1	60°		≥16	H V O	G	0
	≥12	F H V O	a2	60°		≥16	H V O	R	2
	≥12	F H V O	G	0		≥16	H V O	a1	30°
	≥12	F H V O	R	2		≥16	H V O	r1	9
	≥12	F H V O	a1	45°		≥16	H V O	G	0
	≥12	F H V O	G	0		≥16	H V O	R	2
	≥12	F H V O	R	2		≥16	H V O	a1	45°
	≥12	F H V O	a1	45°		≥16	H V O	r1	9

#### II.4.4 Penumpu Las

Penumpu las digunakan untuk menahan logam-logam yang disambung agar memperoleh hasil pengelasan dengan ukuran yang presisi. Desain penumpu las harus sedemikian rupa sehingga logam-logam yang disambung dapat dipasang dan dilepaskan dengan mudah.

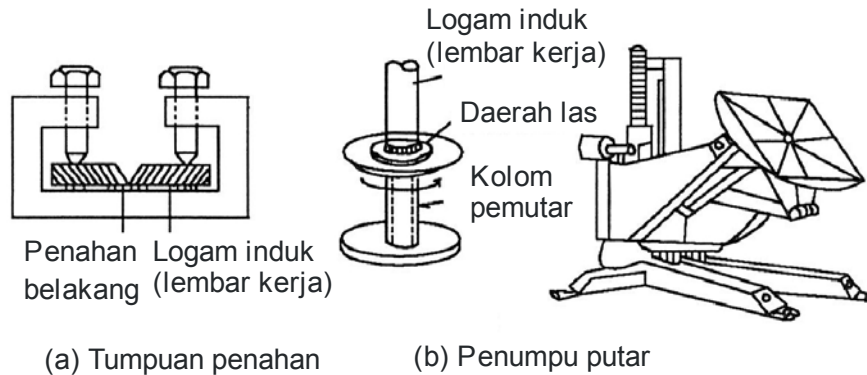
Penumpu-penumpu las diklasifikasikan kedalam penumpu las ikat, penumpu untuk mencegah terjadinya tegangan, dan penumpu-penumpu khusus. Penumpu las dimana logam-logam yang disambung dapat diputar ke posisi yang diinginkan untuk memudahkan pengelasan dinamakan "**posisioner**".

Penumpu las harus dipilih untuk memberikan hasil terbaik sesuai yang diharapkan dalam operasional pengelasan.

Penumpu las memiliki fungsi-fungsi sebagai berikut :

1. Menambah ketepatan ukuran dan keseragaman hasil akhir dari produk-produk pengelasan
2. Mendapatkan operasional pengelasan terbaik untuk digunakan pada posisi datar, dan selain itu untuk memastikan adanya efisiensi kerja yang tinggi dan dapat diandalkan.
3. Menekan tegangan pengelasan pada lembar kerja dengan menahannya pada permukaan plat, atau pencegahan deformasi pada lembar kerja dengan memberikan tegangan yang berlawanan.
4. Memperbesar volume pekerjaan dan juga pengurangan biaya

Bagaimanapun, untuk volume pekerjaan yang kecil dari beberapa produk, atau untuk pekerjaan dimana ketepatan ukuran tidak diperlukan, pembuatan penumpu malah menyebabkan bertambahnya biaya keseluruhan dari pekerjaan. Efektivitas biaya dalam penggunaan penumpu las sebelumnya harus dipelajari secara hati-hati di tingkat lanjut. Sebagai tambahan, jika daya tahan dari penumpu las berlebihan, dapat terjadi retakan atau tegangan sisa yang besar. Disain penumpu harus memperhitungkan deformasi yang bekerja selama pengelasan dan penyusutan pasca pengelasan serta tegangan sisa, dan lembar kerja yang ditumpu/ditahan harus dapat melepaskan gaya-gaya yang menyimpang. Gambar II.60 menunjukkan contoh-contoh dari beberapa jenis penumpu las.



**Gambar II.60 Contoh-contoh penumpu las**

#### II.4.5 Las Ikat

Las ikat digunakan untuk membuat las sementara pada benda kerja, dimana secara sementara menahan benda kerja agar tidak bergeser sebelum pengelasan utama dilakukan.

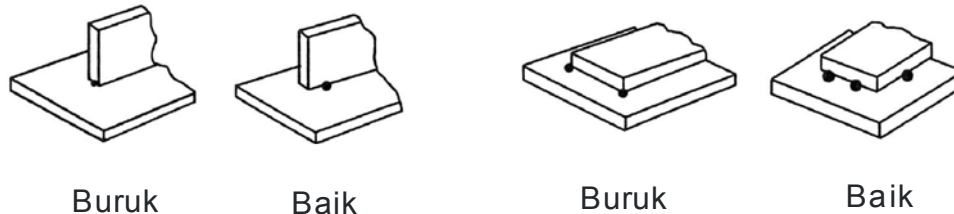
Las ikat meliputi peletakan rigi-rigi las pendek dan dengan masukan panas rendah. Cacat-cacat las, seperti kurang penembusan, lubang cacing, retak dan terak terperangkap, lebih sering terjadi pada las ikat daripada pengelasan utama. Dikarenakan tujuan tersebut (sebagai penahan sementara), las ikat sering tidak dikerjakan dengan serius. Bagaimanapun, las ikat memerlukan tingkat ketrampilan yang sama dengan pengelasan utama.

Hal-hal yang harus diperhatikan pada pengelasan ikat adalah sebagai berikut :

1. Las ikat tidak boleh dibuat pada ujung, sudut atau bagian penguatan penting dimana terjadi konsentrasi tegangan, seperti ditunjukkan pada gambar II.61.
2. Secara umum rigi-rigi las ikat harus pendek seperti titik pada lembaran yang dilas, dan dengan panjang sekitar 35 mm pada plat atau batangan logam. Untuk baja kuat tarik tinggi (high tensile steel) atau plat khusus dengan kemampuan kekerasan yang tinggi, rigi-rigi las ikat tidak boleh lebih pendek dari 50 mm.
3. Seperti pada pengelasan utama, las ikat juga harus menggunakan material las yang sesuai dengan material logam induk.
4. Las ikat pada batangan logam atau baja khusus dan las ikat pada suhu udara dingin memerlukan pemanasan awal. Temperatur pemanasan awal harus 20°C sampai 30°C lebih tinggi daripada suhu pemanasan awal pada pengelasan utama.



5. Jika ditemui retak pada las ikat, atau jika bagian dengan penguatan penting harus dilas ikat, logam las ikat harus dibuang sebelum pengelasan utama.
6. Las ikat harus dilaksanakan dengan sangat hati-hati sehingga tidak menyebabkan cacat las, seperti terak yang terperangkap.



**Gambar II.61 Daerah las ikat yang benar**

#### II.4.6 Persiapan Pengelasan

Untuk menjamin pengelasan dengan kualitas tinggi, pemeriksaan dalam segala hal seperti ditunjukkan pada gambar II.65 tidak dapat diabaikan. Pelaksanaan pengelasan terdiri dari banyak proses, termasuk persiapan, operasional pengelasan dan perlakuan pasca pengelasan. Meskipun persiapan cenderung diabaikan, hal ini sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Jika persiapan dilakukan secara tepat, pengelasan akan mencapai tingkat sukses 90%.

Persiapan-persiapan berikut ini harus dilakukan sebelum pengelasan.

- (a). Gambar-gambar pengelasan, perintah-perintah pengelasan dan lain - lain.

Sebagai langkah pertama dari perencanaan pelaksanaan pengelasan, sangatlah diperlukan untuk memeriksa gambar-gambar pengelasan dan menuliskan perintah-perintah pengelasan secara seksama.

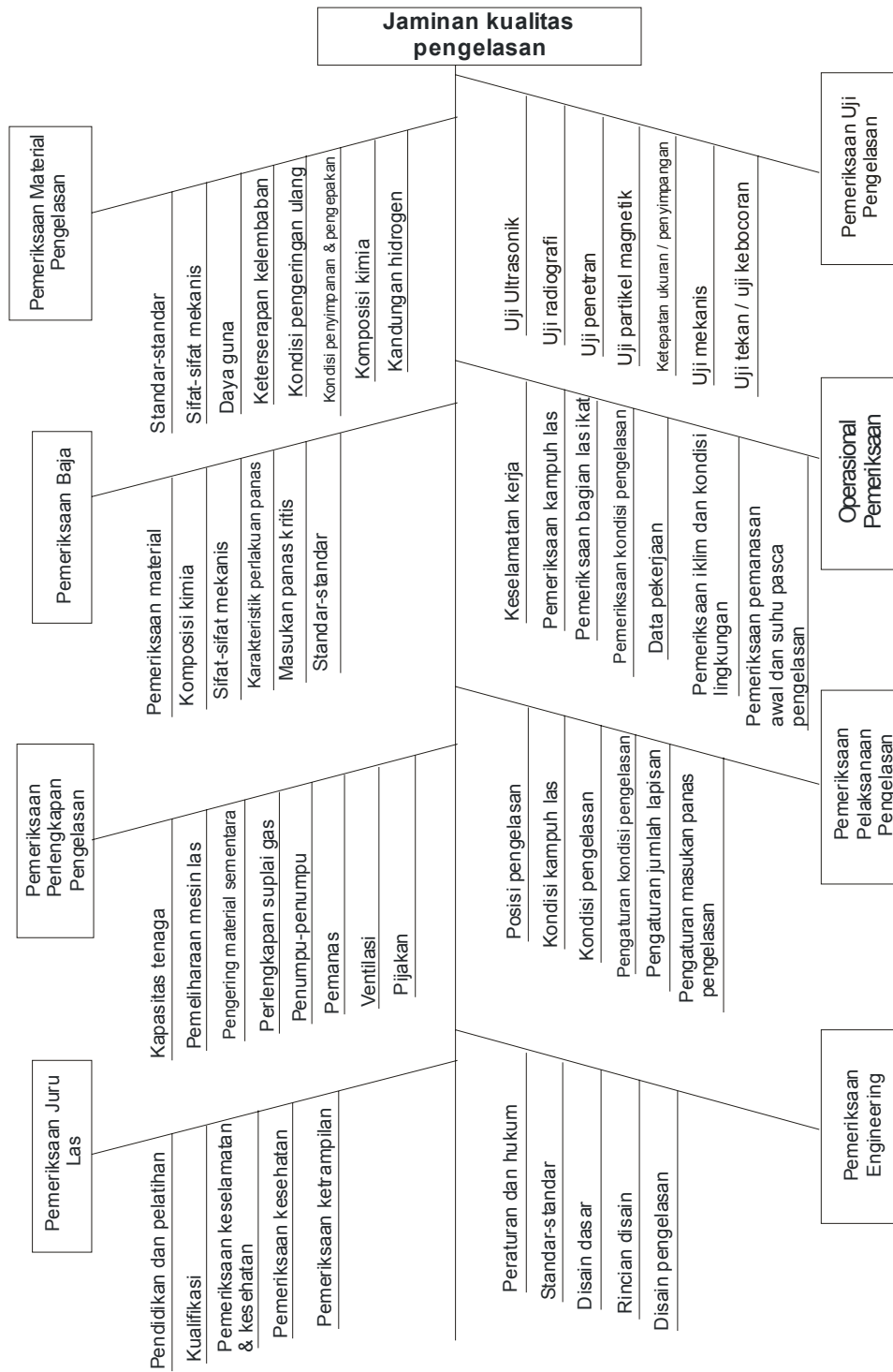
Jika terdapat beberapa pertanyaan, hal tersebut harus didiskusikan diantara pihak-pihak yang terkait, untuk menegaskan bahwa setiap operasional pengelasan dapat dilakukan tanpa masalah. Kualifikasi dan ketrampilan dari para insinyur dan teknisi juga harus diperiksa.

- (b). Metode pengelasan, perlengkapan las dan perlengkapan terkait, serta perlengkapan-perlengkapan pelindung.  
 Perlu untuk memeriksa catu daya dan catatan pemeliharaan dari perlengkapan pengelasan dan perlengkapan lainnya, catatan perlengkapan terkait seperti pemanas dan pemindah posisi, dan pijakan serta kondisi tempat kerja untuk memastikan bahwa operasional pengelasan dapat dilakukan dengan aman.  
 Perlu untuk memeriksa metode-metode kontrol dan
- (c). Kontrol terhadap baja dan material pengelasan, serta pencegahan terhadap penyerapan kelembaban. penanganan baja dan elektrode las, seperti kesesuaian elektrode las terhadap bajanya. Elektrode terbungkus dan fluks memerlukan pemeriksaan secara hati-hati dan teliti atas penanganan, pengeringan dan kondisi penyimpanan, untuk mencegah penyerapan kelembaban. Elektrode terbungkus harus dikeringkan didalam kondisi-kondisi berikut ini sebelum digunakan.

Elektrode jenis hidrogen rendah	300 ~ 400 <sup>0</sup> C	1 sampai 2 jam
Elektrode selain jenis hidrogen rendah	80 ~ 150 <sup>0</sup> C	30 menti sampai 1 jam

Elektrode terbungkus harus digunakan dalam waktu tertentu setelah pengeringan. Jika elektrode yang telah dikeringkan dibiarkan lama berada di udara terbuka, elektrode tersebut harus dikeringkan kembali sebelum digunakan.

- (d). Kondisi pengelasan  
 Perlu untuk memeriksa las ikat dan kondisi-kondisi penyambungan benda kerja, seperti posisi pengelasan, pemanasan awal dan kondisi pasca pemanasan, arus las, metode penggunaan elektrode, kecepatan pengelasan, urutan pengelasan, suhu antar lajur pengelasan, jumlah lapisan rigi-rigi las dan lain-lain, untuk melihat jika hal-hal tersebut telah sesuai.
- (e). Geometri kampuh  
 Perlu untuk memeriksa bentuk sambungan dan geometri kampuh las, dan memeriksa bahwa permukaan kampuh bersih, bebas minyak, lemak, kotoran dan kelembaban.



**Gambar II.62** Diagram karakteristik sebagai jaminan kualitas pengelasan

#### II.4.7 Kondisi-Kondisi Pengelasan

Kondisi-kondisi pengelasan meliputi metode pengelasan, macam-macam arus yang digunakan (AC, DC elektrode positif, atau DC elektrode negatif), arus las, tegangan busur, kecepatan las, kondisi pemanasan awal, jumlah lajur, jumlah lapisan, suhu antar lajur pengelasan, dan perlakuan panas pasca pengelasan. Bagaimanapun, secara khusus, kondisi-kondisi pengelasan mengacu pada arus las, tegangan busur dan kecepatan las.

Rentang arus las yang tepat ditentukan berdasarkan ketebalan logam induk, macam-macam dan diameter elektrode las, macam-macam sambungan, dan posisi pengelasan. Nilai-nilai standar dari parameter-parameter tersebut disediakan dalam katalog-katalog untuk elektrode las dan dalam buku-buku petunjuk untuk pemesinan las. Pada umumnya, pengelasan posisi datar menggunakan arus yang relatif tinggi. Arus untuk pengelasan posisi vertikal lebih rendah 20% sampai 30%, dan arus untuk pengelasan posisi diatas kepala (overhead) lebih rendah 10% sampai 20% dari arus untuk pengelasan posisi datar. Efisiensi pengelasan dapat ditambah dengan menambah arus las. Bagaimanapun, arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kawat inti elektrode las mengalami kelebihan panas selama proses pemanasan, dan bahan-bahan fluks akan memburuk, menyebabkan takikan dan tampilan rigi-rigi las yang buruk. Sebaliknya, arus las yang terlalu rendah cenderung menyebabkan penumpukan, memungkinkan terjadinya cacat-cacat las, seperti kurang penembusan dan pemasukan terak. Tabel II.36 meringkas pengaruh arus las terhadap hasil pengelasan.

**Tabel II.36 Pengaruh arus las**

Arus las terlalu tinggi		Arus las terlalu rendah	
1.	Kemungkinan terjadi takikan tinggi	1.	Kurang penembusan
2.	Percikan sangat banyak	2.	Kemungkinan terjadi penumpukan tinggi
3.	Elektrode las panas kemerahan	3.	Kemungkinan terak terperangkap tinggi
4.	Penutupan terak tidak cukup dan tampilan rigi las buruk	4.	Pengurangan kecepatan las
5.	Kemungkinan terjadi lubang cacing dan retak tinggi	5.	Rigi las sempit dan menggebu
6.	Daerah las rapuh akibat panas berlebih		

Tegangan busur dapat diperiksa secara tidak langsung dengan pemeriksaan panjang busur, dan lain-lain. Tegangan busur yang dianjurkan untuk las busur elektrode terbungkus (SMAW) adalah sekitar 30V. Panjang busur harus diatur menjadi kira-kira sama dengan diameter inti kawat elektrode las yang digunakan. Bila panjang busur bertambah, tegangan busur bertambah besar dan busurnya menjadi tidak stabil, menghasilkan kurang penembusan. Tabel II.37 meringkas pengaruh panjang busur terhadap hasil pengelasan.

**Tabel II.37 Pengaruh panjang busur**

Panjang busur terlalu panjang		Panjang busur terlalu pendek	
1.	Kurang penembusan	1.	Kurang penembusan
2.	Kemungkinan terjadi terak terperangkap tinggi	2.	Tampilan rigi las buruk
3.	Konsentrasi busur kurang	3.	Rigi las sempit dan menggebu
4.	Pengurangan kekuatan logam las karena oksidasi dan nitridasi	4.	Terak terperangkap
5.	Rigi las lebar dan kekuatan rendah		

Kecepatan pengelasan yang sesuai ditentukan oleh macam-macam dan diameter elektrode las yang digunakan, macam-macam sambungan, dan metode ayunan. Untuk las busur elektrode terbungkus (SMAW), kecepatan las dinyatakan sesuai jika dihasilkan penutupan terak yang tepat. Jika kecepatan las ditambah dengan arus las dan panjang busur tetap, lebar rigi-rigi las akan berkurang. Jika kecepatan las dikurangi, lebar rigi las dan ketinggian penguat akan bertambah, dan akan terbakar jika logam induk tipis. Tabel II.38 meringkas pengaruh kecepatan las terhadap hasil pengelasan.

**Tabel II.38 Pengaruh kecepatan pengelasan**

Kecepatan las terlalu tinggi		Kecepatan las terlalu rendah	
1.	Rigi las sempit dengan permukaan yang sangat kasar	1.	Efisiensi las buruk
2.	Kemungkinan terjadi takikan tinggi	2.	Rigi las lebar dan penguatan tinggi
3.	Bentuk gelombang rigi las runcing		

Jumlah lapisan las dan ketebalan rongga pada tiap-tiap lajur mempengaruhi perubahan struktur daerah las diakibatkan oleh masukan panas pengelasan, dan sifat-sifat mekanis daerah las. Dalam hal ini, penting untuk memilih arus las yang tepat dan kecepatan las yang tepat pula.

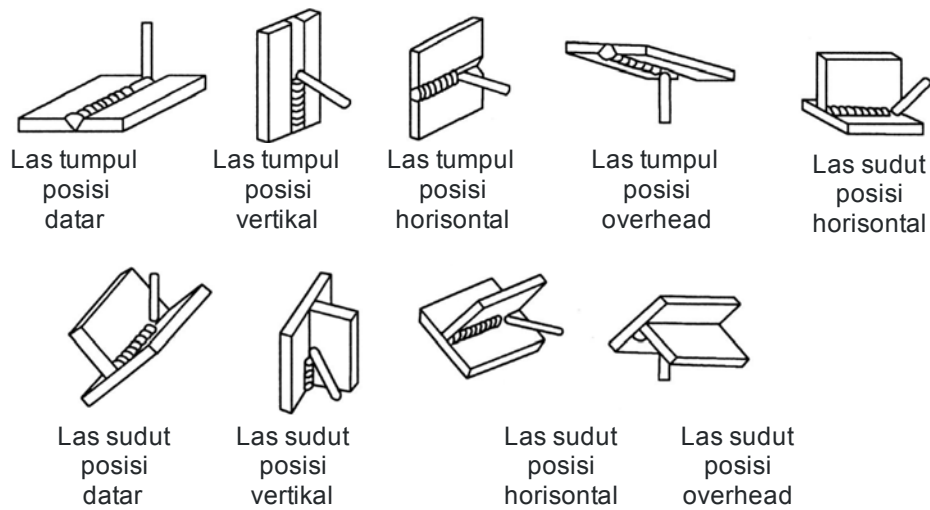
#### II.4.8 Lingkungan Kerja Pengelasan

Disaat pengelasan dilakukan diluar ruang / bengkel, hasil pengelasan sangat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan (suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan lain-lain). Oleh karena itu, cara-cara berikut harus diambil ketika melakukan pengelasan diluar ruangan/bengkel.

- (a) Ketika daerah pengelasan basah oleh hujan atau salju, sebelum melakukan pengelasan keringkan dahulu dengan menggunakan pembakar gas atau kompresor udara.
- (b) Jika pengelasan busur elektrode terbungkus (SMAW) dilakukan di udara terbuka dan berangin dengan kecepatan angin 10 m/detik atau lebih, gas yang dinyalakan dari lapisan fluks dapat tertiuap padam sehingga efek perlindungan berkurang. Oleh karena itu, dalam beberapa hal, perlu untuk mendapatkan / mengambil cara-cara pencegahan terhadap angin yang sesuai, seperti pemasangan sekat angin.
- (c) Pada suhu rendah, daerah pengelasan menjadi dingin secara cepat, memungkinkan untuk menghasilkan cacat-cacat las seperti retak-retak. Ketika suhu udara luar dibawah 0°C, perlu untuk memberi pemanasan awal pada daerah las sampai mencapai suhu yang diperlukan.
- (d) Ketika suhu udara sangat lembab, daerah pengelasan harus diberi pemanasan awal secara cukup sampai kelembaban hilang. Tindakan operasional ini dipandang perlu tanpa memperhatikan suhu udara luar, ketebalan pelat dan kualitas material las. Perlu juga untuk mendapatkan cara-cara yang sesuai untuk mencegah elektrode las dari penyerapan kelembaban.

#### II.4.9 Posisi Pengelasan

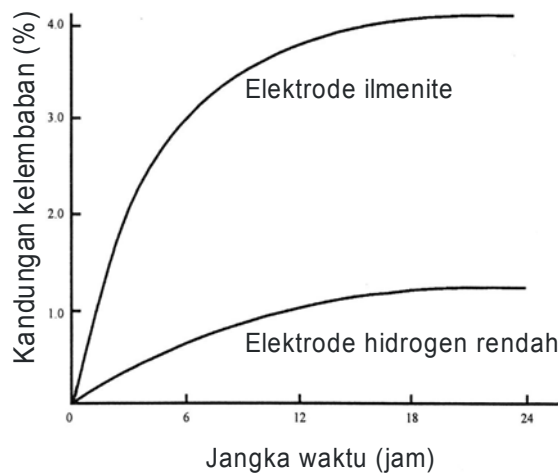
Terdapat empat posisi pengelasan : datar, vertikal, horisontal dan diatas kepala (overhead), seperti ditampilkan pada gambar II.63. Ketinggian meja dan bangku kerja harus disetel untuk memudahkan pengelasan dilakukan pada posisi yang nyaman dan untuk mempertinggi efisiensi. Pengelasan overhead dan pengelasan pipa sangat sulit sehingga sambungan-sambungan yang sangat dapat diandalkan dan efisiensi pengelasan yang tinggi belum dapat diharapkan meskipun dengan juru las terlatih. Oleh karena itu sedapat mungkin pengelasan dilakukan dalam posisi datar dengan menggunakan positioner.



Gambar II.63 Macam-macam posisi pengelasan

II.4.10 Penanganan Elektrode Terbungkus/Bersalut

Elektrode las dikeringkan secara seksama saat proses pembuatan. Bagaimanapun, elektrode-elektrode tersebut akan lembab jika penyimpanannya kurang tepat. Penyerapan kelembaban pada elektrode las secara garis besar dihubungkan dengan cairan pelarut yang dengan mudah menyerap air dan kaca cair digunakan sebagai penguat fluks. Seperti ditunjukkan pada gambar II.64, kandungan kelembaban elektrode las bertambah dengan cepat jika disimpan dalam ruangan yang panas dan lembab.



Penyerapan kelembaban pada elektrode las yang dibiarkan terbuka pada kondisi lingkungan yang mencemaskan (30°C, 80% R, H)ask

Gambar II.64 Penyerapan kelembaban pada elektrode las

Disaat elektrode las menjadi sangat lembab, fluks elektrode terlihat lebih gelap. Busur yang terjadi menjadi tidak stabil, dan percikan serta takikan dapat terjadi dengan mudah, menghasilkan penutupan terak yang kurang sesuai dan tampilan rigi las yang buruk. Ditambah pula, macam-macam cacat las dapat timbul, seperti lubang cacing dan retak las. Untuk pembungkus elektrode dari bahan baja lunak, baja regangan tinggi dan baja paduan rendah, kecuali jenis hidrogen rendah, kandungan kelembaban kritis dibatasi pada 2% sampai 3%, dari sudut pandang kegunaan elektrode dan ketahanan terhadap retak.

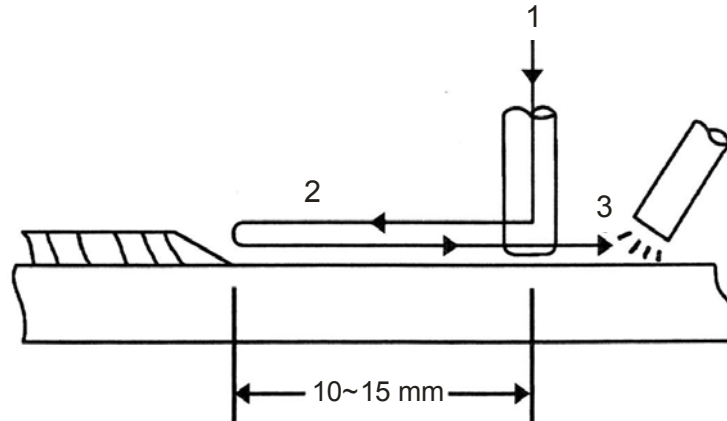
Untuk elektrode hidrogen rendah, kandungan kelembaban kritis dibatasi pada 0,5% sehingga kandungan hidrogen pada logam lasan tidak lebih dari 5 ml/100g. Suhu pengeringan yang terlalu tinggi atau terlalu rendah juga menyebabkan permasalahan. Pengeringan pada suhu yang terlalu tinggi menyebabkan dekomposisi fluks. Pengeringan pada suhu yang terlalu rendah tidak dapat menghilangkan kelembaban.

Normalnya, elektrode terbungkus hidrogen rendah harus dikeringkan pada suhu 300°C sampai 350°C, dan elektrode terbungkus lainnya (elektrode ilmenite, elektrode lime titania, dll) pada suhu 70°C sampai 100°C, keduanya untuk jangka waktu 30 sampai 60 menit.

Elektrode hidrogen rendah dapat menghasilkan las-lasan dengan daya tahan terhadap retak tinggi. Bagaimanapun, untuk memastikan bahwa daya tahan terhadap retak cukup tinggi, perlu untuk memperhatikan persyaratan-persyaratan berikut :

1. Sebelum penggunaan, keringkan elektrode sampai kondisi yang ditentukan. Disaat lingkungan kerja sangat lembab, simpan elektrode yang telah dikeringkan pada suhu antara 80°C dan 150°C sampai masa digunakan.
2. Ambil jarak yang cukup untuk mencegah pembentukan lubang cacing pada daerah awal pengelasan. Pembentukan lubang cacing dapat dicegah, sebagai contoh, dengan menggunakan metode "Teknik menarik kembali awalan".
3. Gunakan busur las sependek mungkin, dan hindari mengayun elektrode
4. Pastikan bahwa amplitudo ayunan tidak lebih dari sekitar tiga kali diameter elektrode; amplitudo ayunan yang lebih besar mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan menyebabkan pembentukan lubang pada daerah las
5. Bersihkan permukaan kampuh las sehingga permukaan tersebut bebas dari kontaminasi seperti kotoran, minyak dan lemak





Gambar II.65 Prosedur teknik menarik kembali awalan

#### II.4.11 Deformasi Las

Struktur las yang mengalami deformasi tidak dapat diterima dari sudut pandang ketepatan ukuran dan estetika. Tegangan sisa yang besar pada struktur las dapat menyebabkan kerusakan struktur selama penggunaan.

Jika seluruh struktur dipanaskan dan didinginkan secara merata, struktur tersebut akan memuai dan menyusut secara merata, tanpa deformasi atau tegangan termal. Bagaimanapun, disaat mengelas sebuah struktur, daerah las memuai dan menyusut secara terbatas seperti bila dipanaskan dan didinginkan secara cepat. Apabila daerah las ditahan dengan logam induk disekelilingnya, tegangan sisa dan deformasi akan timbul kedua-duanya.

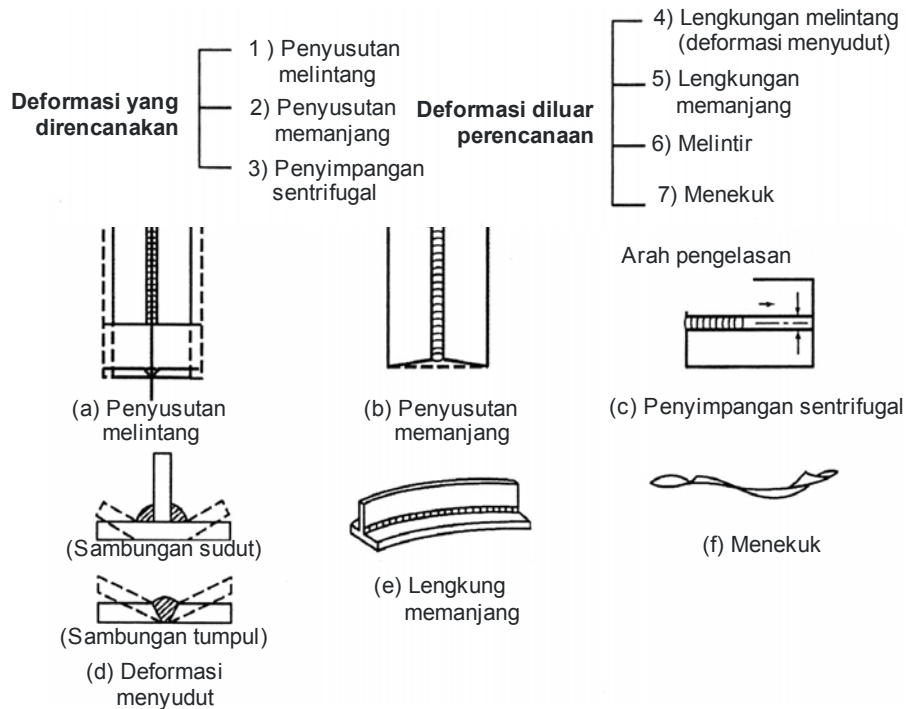
Jika struktur yang dilas terbuat dari logam tipis, daerah las melengkung. Jika struktur yang dilas terbuat dari pelat tebal dan ditahan dengan struktur logam disekelilingnya, deformasi pada daerah las akan sangat kecil dan tegangan sisa timbul di sekelilingnya. Dengan demikian, deformasi dan tegangan sisa memiliki hubungan saling berlawanan satu sama lain; jika yang satu dikurangi, yang lain akan bertambah.

Tegangan sisa pada struktur yang berkaitan dengan panjang deformasi menyebabkan ketidaksesuaian ukuran, yang menghasilkan retak dan memicu retak rapuh dan karat.

##### 1. Macam-macam bentuk deformasi pengelasan

Deformasi las adalah regangan yang terjadi pada bagian logam atau struktur sebagai hasil pengelasan, dan disebut juga "**Regangan Pengelasan**". Deformasi las secara menyeluruh dikategorikan dalam type menyusut (shrink) dan type melengkung (bending). Sebenarnya deformasi las pada struktur yang dilas adalah kompleks.

Gambar II.66 menunjukkan beberapa jenis bentuk deformasi las.



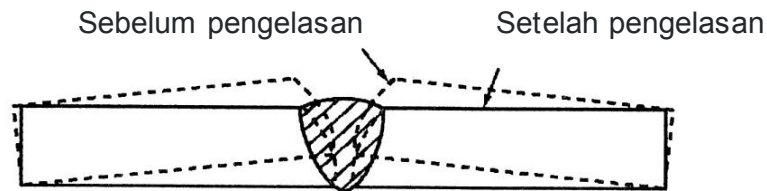
**Gambar II.66** Macam-macam bentuk deformasi las

## 2. Metode pencegahan deformasi las

Deformasi las dipengaruhi oleh bermacam-macam faktor, seperti metode pengelasan, masukan panas, ketebalan plat, bentuk sambungan, sudut penahan, urutan pengelasan, dan urutan pengerjaan. Deformasi las dapat dicegah dengan mengontrol faktor-faktor tersebut.

Dalam hal ini, tindakan-tindakan pencegahan deformasi berikut ini harus diambil saat pelaksanaan pengelasan.

1. Minimalkan masukan panas total pada tiap-tiap daerah pengelasan
2. Bentuk kampuh bersudut kecil dengan bukaan akar kecil juga minimalkan jumlah logam las
3. Hindari sambungan yang terkonsentrasi untuk mencegah konsentrasi masukan panas pengelasan
4. Gunakan tumpuan penahan
5. Ubahlah urutan pengelasan untuk memastikan penyusutan secara simetris dan untuk menghindari konsentrasi masukan panas
6. Gunakan metode pengaturan penyimpangan (Lihat gambar II.67)



**Gambar II.67 Metode pengaturan penyimpangan**

### 3. Urutan pengelasan

Untuk struktur las dengan sambungan las majemuk, perlu untuk ditentukan perintah bagaimana pengelasan harus dilakukan. Perintah ini disebut "**Urutan pengelasan**".

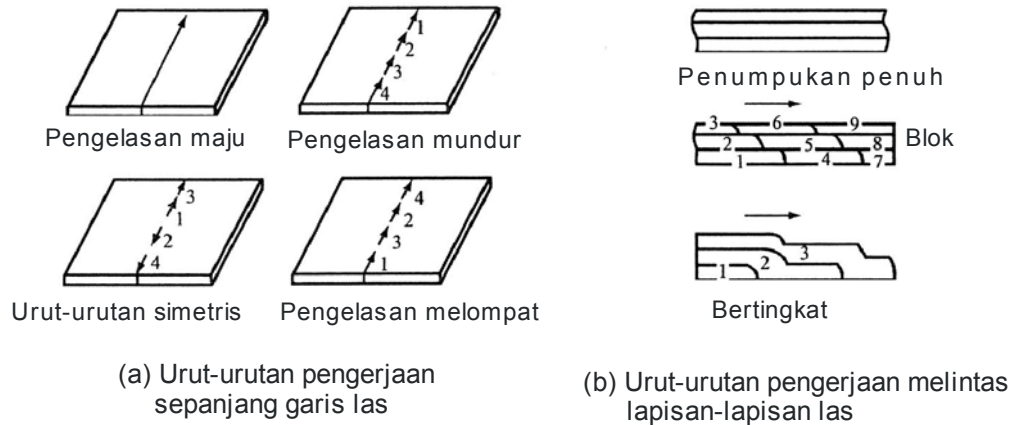
Urutan pengelasan yang tidak sesuai menyebabkan deformasi dan tegangan sisa. Tentukan Urutan pengelasan dengan memperhatikan hal-hal berikut :

1. Urutan pengelasan harus mengikuti penyusutan bebas, sebagai contoh dari pusat ke ujung yang bebas
2. Pelaksanaan pengelasan harus dimulai dari sambungan dengan tingkat penyusutan yang lebih tinggi atau dengan jumlah lapisan logam yang lebih besar.
3. Pengelasan tidak boleh memotong daerah-daerah yang telah dilas. Untuk daerah las yang berpotongan, misalnya, suatu penyelesaian pengelasan diluar daerah las, kempuh las dari daerah las yang satu harus dibentuk kembali sebelum pengelasan pada daerah las lainnya.

### 4. Urutan pengerjaan

Urutan pengerjaan adalah perintah dimana logam las diperuntukkan pada satu garis las. Urutan pengerjaan tersebut diberikan sepanjang garis las atau melewati lapisan-lapisan las majemuk pada satu garis las (Lihat gambar II.68)

1. Urutan pengerjaan sepanjang garis las : maju, mundur, simetris, lompat
2. Urutan pengerjaan memotong lapisan las : blok, bertingkat



Gambar II.68 Urutan pengerjaan

### 5. Metode perbaikan deformasi pengelasan

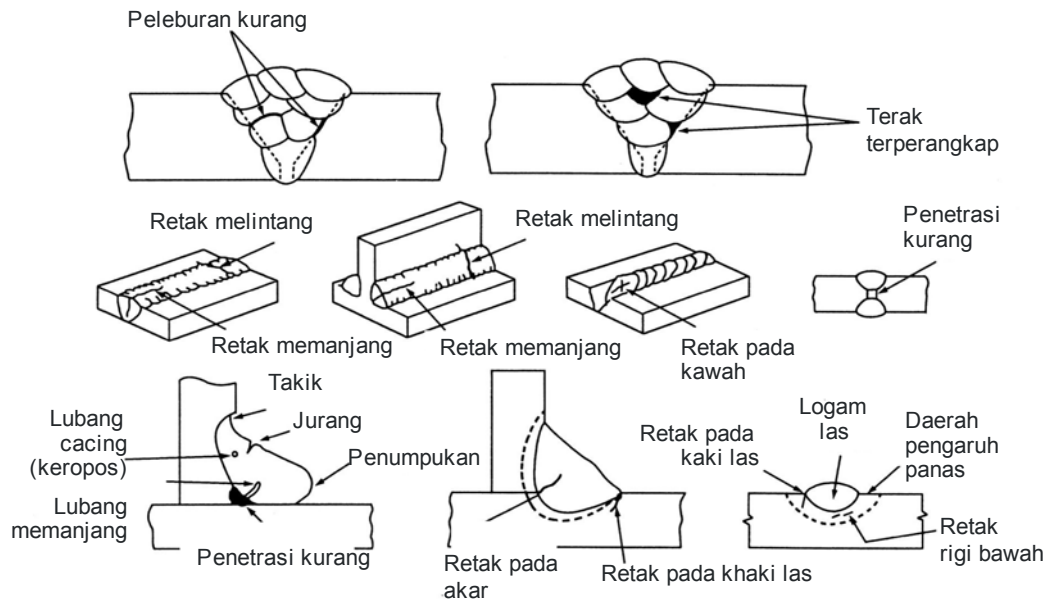
Deformasi pengelasan dapat diperbaiki dengan metode tekanan mekanis atau metode termal. Terdapat dua jenis metode termal : Metode pelurusan termal dan metode pemanasan / pendinginan setempat.

Metode tekanan mekanis dilakukan pada plat tipis. Logam yang mengalami deformasi diluruskan secara langsung dengan menggunakan palu atau roller. Metode pelurusan termal meluruskan benda kerja dengan memberikan tekanan pada benda kerja melalui pemanasan pada suatu rentang suhu tertentu. Metode pemanasan / pendinginan setempat meluruskan benda kerja dengan memanfaatkan pemuaian dan penyusutan panas dari plat baja. Metode ini lebih jauh diklasifikasikan kedalam pemanasan lurus dan pemanasan titik, dan juga disebut "**Moxa cautery**"

#### II.4.12 Cacat-Cacat Las

Jika pekerjaan pengelasan direncanakan atau dilaksanakan dengan tidak benar, bermacam-macam cacat las dapat terjadi, menghasilkan kualitas sambungan las yang buruk dan tampilan struktur yang dilas tidak memuaskan. Cacat-cacat las berikut dapat terjadi : (Lihat gambar II.69)

1. Tampilan rigi las buruk, takikan, penumpukan, tidak lurus, terbakar
2. Lubang cacing (keropos), jurang, lubang memanjang
3. Penetrasi kurang, peleburan kurang, terak terperangkap
4. Retak



**Gambar II.69** Macam-macam cacat las

**(a) Tampilan rigi las buruk**

Tampilan rigi las buruk adalah istilah umum untuk kondisi permukaan rigi las yang lain daripada biasa, meliputi panjang kaki kurang, kekurangan atau kelebihan penguatan, dan perlakuan pada kawah las yang salah.

Tampilan rigi las yang buruk dapat disebabkan oleh kondisi pengelasan yang kurang tepat atau kurangnya ketrampilan juru las, dan menghasilkan kurangnya kekuatan pada sambungan las. Takik atau penumpukan menunjukkan adanya takikan, yang menyebabkan konsentrasi tegangan, memicu retak dan rapuh.

**(b) Lubang cacing dan jurang**

Jika leburan logam membeku sebelum gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> atau N<sub>2</sub> dilepaskan secara keseluruhan, gas tersebut terperangkap didalam rigi las, membentuk lubang cacing. Lubang cacing berbentuk memanjang disebut "**pipa**". Sebuah lubang terbuka di permukaan disebut "**pit/jurang**". Cacat cacat tersebut kebanyakan berbentuk bola. Lubang cacing atau jurang kecil yang tersebar sebetulnya tidak berpengaruh merugikan pada las-lasan. Bagaimanapun, jika cacat-cacat tersebut berukuran besar atau ada dalam jumlah besar, pengulangan muatan akan timbul, menyebabkan berkurangnya kekuatan pada sambungan las.

**(c) Kurang penembusan, peleburan kurang, terak terperangkap**

Kurangnya penembusan (lack of penetration) terjadi jika leburan logam tidak tembus secara sempurna kedalam sambungan dengan penembusan penuh. Peleburan kurang (lack of fusion) terjadi jika kekurangan peleburan didalam batas antara logam las dan logam induk atau antara lajur-lajur las. Cacat-cacat tersebut menunjukkan kurangnya rongga atau takikan, menghasilkan pengurangan berarti pada kekuatan sambungan las. Terak yang terperangkap (Slag inclusion) terjadi bila lelehan terak tetap tinggal didalam logam las tanpa naik ke permukaan, atau bila terak dari lapisan sebelumnya tetap tidak dibuang dan masuk kedalam logam las. Sama dengan kurang penembusan, terak terperangkap sering menimbulkan takikan, menghasilkan pengurangan kekuatan pada sambungan las.

**(d) Retak-retak**

Retak didalam daerah las adalah cacat las yang paling serius. Meskipun kecil, retak membentuk takikan runcing dimana terdapat konsentrasi tegangan, memungkinkan untuk menjadi sebab terjadinya kerusakan serius pada struktur yang dilas.

Retak secara menyeluruh diklasifikasikan menurut tempat terjadinya, kedalam retak logam las, retak daerah pengaruh panas dan retak logam induk. Retak dapat juga diklasifikasikan menurut suhu terjadinya, kedalam retak panas dan retak dingin. Retak panas terjadi pada suhu atau sedikit dibawah rentang suhu pembekuan. Retak dingin terjadi pada suhu 300°C atau dibawahnya. Pemanasan kembali retakan dihasilkan dari perlakuan panas pasca pengelasan yang kurang tepat.

**(e) Retak panas**

Retak panas adalah istilah umum untuk retak yang terjadi pada temperatur tinggi atau sedikit dibawah rentang suhu pembekuan.

Jika logam induk berisi fosfor, sulfur atau unsur-unsur sejenis dengan daya regang rendah pada temperatur tinggi, logam tersebut akan terkoyak oleh adanya tegangan tarik seperti pembekuan dan penyusutan logam las. Hasil retakannya disebut "**Retak panas**" atau "**Retak padat**". Patahan dari retakan ini kadang-kadang teroksidasi dan menjadikannya mudah terlihat. Terdapat bermacam-macam retak panas, seperti retak kawah, retak bentuk buah per, retak rigi memanjang, dan retak sulfur. Retak pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada baja tahan karat austenitik hampir seperti retak panas. Jika plat baja tahan karat austenitik yang tebal dilas menggunakan sudut kampuh kecil dan masukan panas besar, dapat dihasilkan rigi dengan rongga yang lebih besar daripada ketebalan plat.

Pada beberapa bentuk rigi, retak padat cenderung untuk terjadi dipusat rigi. Retak jenis ini disebut "**Retak bentuk buah per**" karena riginya berbentuk seperti buah per. Terjadinya retak bentuk buah per dapat dicegah dengan pemilihan bentuk sambungan yang sesuai dan kondisi pengelasan yang tepat pula serta menghindari masukan panas yang besar untuk memastikan bahwa reaksi tegangan kecil dan rigi bentuk buah per tidak terbentuk.

## 6. Retak dingin

Retak dingin adalah istilah umum untuk retak yang terjadi setelah suhu daerah las turun sampai sekitar suhu normal.

Kebanyakan retak yang terdeteksi pada struktur lasan dari baja lunak atau baja paduan rendah adalah retak dingin. Retak dingin dapat diklasifikasikan kedalam retak akar yang dihasilkan dari konsentrasi tegangan pada daerah akar, retak dibawah rigi yang terjadi pada daerah pengaruh panas, retak rigi melintang, retak jari, dll.

Terdapat tiga penyebab retak dingin :

1. Jumlah daya sebar hidrogen besar;
2. Beberapa perkerasan (kemerosotan daya hantar) dari daerah pengaruh panas; dan
3. Tingkat ketahanan sambungan las yang tinggi. Jika akumulasi daya sebar hidrogen lambat, terjadinya retak dingin dapat ditunda selama beberapa jam sampai beberapa hari tergantung pada kondisi.

Retak dingin dapat dicegah dengan metode-metode berikut ini :

**Metode 1 :** Pengurangan jumlah daya sebar hidrogen dan penggunaan elektrode las berkualitas tinggi  
Keberadaan hidrogen adalah penyebab terbesar terjadinya retak dingin. Kandungan hidrogen dalam logam las bervariasi tergantung pada tingkat kekeringan fluks elektrode las, kelembaban, kotoran, minyak dan lemak pada permukaan kampuh las, dan kelembaban udara. Untuk mencegah terjadinya retak dingin, kandungan hidrogen harus diminimalkan. Untuk tujuan ini, perlu untuk menggunakan elektrode hidrogen rendah, kering dan ditangani secara tepat, serta permukaan kampuh las yang kering dan bersih. Pemanasan awal dan pemanasan secara cepat setelah pengelasan juga efektif untuk pelepasan hidrogen. Pemanasan awal yang lebih tinggi dari 100°C dan pendinginan pada suhu rendah memicu pelepasan hidrogen, membantu mencegah retak dingin.

**Metode 2 :** Mencegah perkerasan dari daerah pengaruh panas dan penggunaan baja kualitas tinggi  
Jika kandungan karbon dalam baja tinggi, daerah pengaruh panas dapat menjadi struktur yang keras, rapuh dan daya regang rendah, disebut "**Martensite**", dimana retak dingin cenderung terjadi. Luasan dimana daerah pengaruh panas mengeras karena pengelasan sangat tergantung pada tingkat pendinginan yang dilakukan secara cepat setelah pengelasan dan tergantung pada kadar karbon dari baja. Perkerasan pada daerah pengaruh panas dapat dicegah dengan menggunakan baja kadar karbon rendah (Ceg) dan baja kadar karbon untuk retak dingin (PCM). Memperlambat pendinginan pada daerah las dengan proses pemanasan secara cepat setelah proses pengelasan juga efektif untuk pencegahan perkerasan pada daerah pengaruh panas dan untuk pembebasan tegangan sisa.

**Metode 3 :** Merencanakan pekerjaan pengelasan untuk meminimalkan tingkat ketahanan dan untuk menghindari konsentrasi tegangan.  
Reaksi tegangan pada daerah las sangat bervariasi tergantung pada ketebalan plat, bentuk sambungan dan urutan pengelasan. Tingkat ketahanan dapat diminimalisir dengan membuat pertimbangan-pertimbangan pada tahap perencanaan dan dengan pemilihan kondisi pengelasan yang tepat. Perlu juga untuk menghindari konsentrasi tegangan dengan mencegah terbentuknya takikan geometris (takik, penumpukan, dll) dan takikan struktural (kerapuhan pada daerah pengaruh panas).



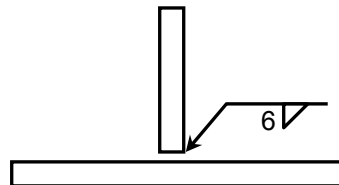
## RANGKUMAN

1. Keberhasilan pengelasan akan tercapai bila dapat menghilangkan lapisan film oksida, karat dan kotoran yang dapat menghalangi kontak antar atom dari logam.
2. Sambungan keling mempunyai efisiensi yang lebih rendah dibanding dengan sambungan las. Akan tetapi pada sambungan keling, retak pada material akan berhenti pada letak sambungannya.
3. Baja yang meregang pada temperatur tinggi akan menjadi rapuh pada temperatur rendah. Perubahan sifat dari temperatur tinggi ke rendah disebut “Temperatur Transisi”.
4. Walaupun pengelasan adalah teknik penyambungan yang paling sempurna, namun masalah – masalah yang terjadi masih harus dipecahkan untuk mendapatkan hasil pengelasan yang sempurna.
5. Semakin tinggi tegangan tanpa beban, semakin mudah terjadi penyalaan busur, dengan demikian makin besar pula stabilitasnya.
6. Bila batang atau kawat las dihubungkan ke terminal plus (+) mesin, hubungan ini disebut “Hubungan DC Elektroda positif (DCEP)”, sedangkan bila dihubungkan ke terminal minus (-), hubungan ini disebut “Hubungan DC Elektroda negatif (DCEN)”
7. Mesin las busur yang digunakan untuk tegangan rendah dan pengoperasian dengan arus besar dapat dipakai untuk pekerjaan pengelasan adalah mesin las busur AC dan mesin las busur DC.
8. Pemeriksaan dan pemeliharaan harian pada mesin las dapat menolong memperpanjang umur peralatan dan membuat mesin menghasilkan kapasitas maksimum.
9. Pemilihan logam pengisi banyak ditentukan oleh keterkaitannya dengan jenis proses las yang akan digunakan, jenis material yang akan dilas, desain sambungan las dan perlakuan panas.
10. Pada elektrode bersalut, kawat inti (core wire rod) berfungsi sebagai logam pengisi sedangkan pembungkus (coating) berfungsi sebagai pelindung dari pengaruh luar.

**LATIHAN SOAL**

- I. Berilah tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d dan e pada jawaban yang benar !
- Agar menghasilkan pengelasan yang baik dan sempurna, langkah – langkah apa yang perlu dilakukan ?
    - Memiliki peralatan yang serba baru
    - Prosedur pengelasan yang tepat dan benar
    - Memilih yang akan dilas sesuai dengan elektrodanya
    - Mencari tempat yang lapang agar memudahkan pengelasan
    - Mengeringkan elektrode dalam kamar pemanas
  - Apa yang terjadi bila waktu pengelasan ayunan elektrode terlalu melebar ?
    - Porosity
    - Slag inclusion
    - Under cut
    - Penetrasi kurang
    - Crack
  - Alur las terlalu lebar bila dibanding dengan tebal plat, hal ini disebabkan oleh .....
    - Arus terlalu rendah
    - Jarak elektrode terlalu tinggi
    - Jarak elektrode terlalu nempel
    - Kecepatan megelas terlalu tinggi
    - Kecepatan mengelas terlalu lambat
  - Porosity adalah cacat las berupa lubang – lubang kecil yang tampak pada permukaan penampang las, biasanya disebabkan oleh hal – hal berikut kecuali .....
    - Elektrode basah
    - Kampuh kotor
    - Arus terlalu besar
    - Udara sewaktu mengelas terlalu basah
    - Gas yang berasal dari galvanisasi

5. Apabila stang elektrode dihubungkan dengan kutub negatif, maka mesin las ini diseting dengan polaritas .....
- Lurus
  - Searah
  - Balik
  - Bolak - balik
  - Naik
6. Apabila daerah pinggir lasan termakan busur las dan tidak terisi oleh logam las, hal ini dinamakan cacat las .....
- Overlap
  - Pin hole
  - Under cut
  - Porositas
  - Cracking
7. Kode posisi las untuk sambungan sudut posisi horizontal adalah .....
- 1 - F
  - 2 - F
  - 3 - F
  - 4 - F
  - 5 - F
8. Angka 6 pada gambar simbol pengelasan menunjukkan .....
- Lebar lasan 6 mm
  - Panjang kaki las 6 mm
  - Tinggi lasan 6 mm
  - Panjang lasan 6 mm
  - Jarak lasan 6 mm

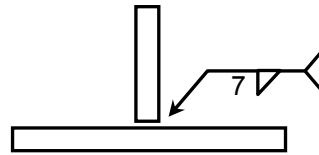


9. Elektrode jenis low hydrogen sebelum dipakai harus dioven dengan temperatur .....
- 100<sup>0</sup> C
  - 200<sup>0</sup> C
  - 350<sup>0</sup> C
  - 450<sup>0</sup> C
  - 500<sup>0</sup> C

10. Yang dimaksud las elektrode terbungkus adalah .....
- a. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektrode karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektrode mencair dan kemudian membeku bersama
  - b. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir – butir cairan logam
  - c. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara
  - d. Elektrode las yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan – bahan fluks
  - e. Busurnya ditimbulkan dengan menggunakan listrik arus AC
11. Busur listrik timbul antara batan wolfram dan logam induk dan dilindungi oleh gas argon disebut .....
- a. Las MIG
  - b. Las TIG
  - c. Las busur rendam
  - d. Las gaya berat
  - e. Las busur listrik
12. Cara mengelas dimana logam cair ditutup dengan fluks dan logam pengisi berupa kawat pejal diumpankan terus menerus disebut .....
- a. Las SMAW
  - b. Las GMAW
  - c. Las OAW
  - d. Las GTAW
  - e. Las SAW
13. Apa pengertian dari elektrode seri E 7016 ?
- a. Kekuatan tarik min. 70 psi
  - b. Kekuatan tarik min. 7000 psi
  - c. Kekuatan tarik maks. 7000 psi
  - d. Kekuatan tarik min. 70.000 psi
  - e. Kekuatan tarik maks. 70.000 psi
14. Elektrode dihubungkan pada terminal positif dan benda kerja dihubungkan pada terminal negatif disebut pengkutuban .....
- a. Pengkutuban langsung dengan arus DC
  - b. Pengkutuban terbalik dengan arus DC
  - c. Pengkutuban langsung dengan arus AC
  - d. Pengkutuban terbalik dengan arus AC
  - e. Sirkuit las busur dengan elektrode negatif

15. Untuk menentukan besarnya arus yang digunakan dalam pengelasan adalah .....
- Sesuai ketebalan plat yang digunakan
  - Sesuai dengan ukuran diameter elektrode
  - Sesuai dengan kapasitas mesin las
  - Sesuai dengan besarnya kabel las
  - Sesuai dengan posisi pengelasan
16. Apa akibat penggunaan arus terlalu rendah dalam mengelas :
- Busur listrik tidak stabil
  - Terlalu banyak tumpukan las
  - Penembusan kurang baik
  - Terak sukar dibersihkan
  - Semua jawaban benar
17. Arti huruf G pada posisi pengelasan 1G, 2G, 3G, 4G adalah .....
- Good
  - Groove
  - Gap
  - Grade
  - Gouge
18. Porosity adalah cacat las berupa lubang kecil yang tampak pada permukaan penampang las, hal tersebut terjadi karena .....
- Ayunan elektrode terlalu cepat
  - Ayunan elektrode terlalu besar
  - Karena elektrode basah dan kotoran pada permukaan yang akan dilas
  - Amper terlalu besar
  - Percikan logam pengisi mendahului busur las
19. Apa yang terjadi bila waktu pengelasan pemakaian arus terlalu besar dan anyunan elektrode yang terlalu pendek :
- Under cut
  - Porosity
  - Crack
  - Slag Unclution
  - Penetrasi kurang

20. Bila panjang busur las semakin panjang, maka besar tegangan busurnya adalah :
- Nol
  - OCV
  - Semakin besar
  - Tetap
  - Semakin kecil
21. Spesifikasi elektrode A WS E, 7018 maka angka 1 artinya .....
- Untuk posisi flat dan horisontal
  - Untuk posisi flat saja
  - Untuk semua posisi
  - Untuk posisi flat dan vertikal
  - Hanya untuk posisi vertikal down
22. Spesifikasi elektrode A WS E, 7018 maka angka 8 artinya .....
- Salutan dari rutile
  - Salutan dari celulesa
  - Salutan dari elimirite
  - Salutan dari low hydrogen
  - Salutan dari kalium titania
23. Arti dari simbol pengelasan disamping adalah .....
- Las sudut dengan panjang las 7
  - Las sudut dengan panjang leher las 7
  - Las sudut dengan panjang kaki las 7
  - Las sudut dengan lebar las 7
  - Las sudut dengan tinggi las 7

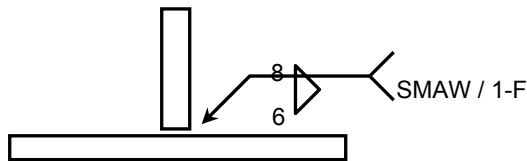


24. Untuk mengelas tembusan kita akan menggunakan polaritas .....
- AC
  - DC
  - DC RP
  - DC SP
  - DC EP
25. Spesifikasi wire rod A WS E 70T-1, angka 0 artinya .....
- Semua posisi
  - Khusus untuk overhead
  - Khusus untuk datar dan vertikal
  - Khusus untuk datar dan horisontal
  - Khusus untuk datar dan overhead

26. Spesifikasi wire rod A WS E 71T-2, angka 1 artinya .....
- a. Semua posisi
  - b. Khusus untuk overhead
  - c. Khusus untuk datar dan vertikal
  - d. Khusus untuk datar dan horisontal
  - e. Khusus untuk datar dan overhead
27. Spesifikasi wire rod A WS E 71T-2, angka T artinya .....
- a. Tig rod
  - b. Turn of
  - c. Turn on
  - d. Torch
  - e. Tubular
28. Elektrode Tungsten merupakan peralatan dari las .....
- a. GTAW
  - b. SMAW
  - c. GMAW
  - d. FCAW
  - e. OAW
29. Gas pelindung pada proses GMAW khususnya MAG adalah .....
- a. Argon
  - b. Oksigen
  - c. Helium
  - d. CO<sub>2</sub>
  - e. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
30. Ada istilah proses pengelasan FCAW, yang dimaksud FCAW adalah.....
- a. Flux Core Arde Welding
  - b. Flux Core Aced Welding
  - c. Flux Core Antie Welding
  - d. Flux Cord Arc Welding
  - e. Flux Core Arc Welding

**II. Jawablah pertanyaan – pertanyaan dibawah ini dengan jelas dan benar !**

1. Jelaskan dengan singkat pengertian tentang las !
2. Sebutkan dan jelaskan tiga fungsi dari salutan elektrode ?
3. Sebutkan dan gambarkan macam – macam bentuk sambungan las ?
4. Gambar kan skema pengesetan operasional mesin las dengan polaritas DCRP dan DCSP ?
5. Apa akibat yang timbul bila elektrode basah / lembab dan bagaimana cara menangani elektrode tersebut ?



6. Arti dari simbol pengelasan tersebut diatas adalah .....
7. Apa perbedaan Las MIG dan MAG ?
8. Apa yang dimaksud dengan DCSP dan DCRP pada hubungan polaritas listrik pengelasan MIG ?
9. Apa yang menentukan besar kecilnya arus yang digunakan dalam pengelasan ?
10. Apa arti spesifikasi JIS D4031 pada elektrode ?



## DAFTAR PUSTAKA

1. Harsono Wiryosumarto , Prof.Dr. Ir,dan Toshie Okumura,Prof.Dr. Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta 2000.
2. Senji Ohyabu dan Yoshikazu Kubokawa, Politeknik Pusat Chiba , Welding Textbook , Lembaga Pelatihan Luar Negeri (OVTA ), Chiba 261-0021 Jepang 1990.
3. Katsuhiko Yasuda, Lembaga Pelatihan Kejuruan, Instruction Manual Welding Techniques ,1-1 Hibino, Chiba 260 Jepang 1985,
4. Takuo Araki, Pusat Pelatihan Kejuruan Lanjut Narita, Workshop Manual Welding, 1-1, Hibino, Chiba 260 Jepang 1985.
5. A.C. Suhardi, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Bahan dan Barang Teknik, Las Busur Listrik Terendam, Surabaya 1990.,
6. Trisno, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Bahan dan Barang Teknik, Pedoman untuk Inspektur Las, Surabaya 1990.
6. Sentot Rahardjono, M.H. Achmaniar Parathon, M. Husni Sohar, Konstruksi Bangunan Kapal Baja, Jakarta 1998.
7. Anonim, Biro Klasifikasi Indonesia, Peraturan Las (Lambung), Jakarta 1998.
8. R. L. Soehita, Penggunaan Las dalam Konstruksi Bangunan Kapal, Jakarta 1990.

---

---

## DAFTAR ISTILAH

### A

**Alur** (*Groove*)

**Alur las** (*Welding groove*)

**Ambang palka** (*Head coaming*)

### B

**Baja bangunan** (*Steel Structure*)

**Baja cor** (*Cast steel*)

**Baja kuat** (*High tension steel*)

**Baja paduan** (*Alloy steel*)

**Baja tahan karat** (*Stainless steel*)

**Balok geladak** (*Deck beam*)

**Batang uji** (*Speciment*)

**Batas las** (*Weld bound*)

**Besi tempa** (*Wrought iron*)

**Besi tuang** (*Cast iron*)

**Bilah hadap** (*Face Plate*)

### C

**Cacat las** (*Weld defect*)

**Cor** (*Cast*)

### D

**Daerah las** (*Weld Zone*)

**Dasar ganda** (*Double bottom*)

**Deformasi las** (*Weld deformation*)

**Dok kolam** (*Graving Dock*)

### E

**Elektroda** (*Electrode*)

**Elektroda pejal** (*Solid electrode*)

**Elektroda terbungkus** (*Covered electrode*)

**Elektrode terumpan** (*Nonconsumable electrode*)

### F

**Fluks** (*Flux*)

### G

**Gading** (*frame*)

**Gel agar samping** (*Side Girder*)

**Geladak kedua** (*Second deck*)

**Gelagar** (*Girder*)  
**Gelagar tengah** (*Centre Girder*)

**H**

**Haluan kapal** (*Fore*)  
**Hidrogen rendah** (*Low hydrogen*)  
**Hidrostatik** (*Hydrostatic*)

**I**

**Inspektur Las** (*Welding Inspector*)  
**Instruktur Las** (*Welding Instructor*)

**J**

**Juru Las** (*Welder*)

**K**

**Kaki Las** (*Throat*)  
**Kampuh** (*Groove*)  
**Kawat batangan** (*Wire Rod*)  
**Kawat elektroda** (*Electrode wire*)  
**Kawat gulungan** (*Wire Roll*)  
**Kawat inti** (*Wire Core*)  
**Kawat padat** (*Wire Solid*)  
**Kawat pengumpan** (*Wire Feeder*)  
**Kekentalan** (*Viscositas*)  
**Kekuatan fatik** (*Fatigue strength*)  
**Kekuatan luluh** (*Yield strength*)  
**Kekuatan tarik** (*Tensile strength*)  
**Kekuatan tekuk** (*Buckling strength*)  
**Ketangguhan** (*Toughness*)  
**Kurang penembusan** (*Lack of Penetration*)

**L**

**Lajur atas** (*Sheet Strake*)  
**Lajur bilga** (*Bilge strick*)  
**Lajur sisi atas** (*Side stringer*)  
**Lambung** (*Hull*)  
**Landasan pembangunan kapal** (*Building Berth*)  
**Lapis** (*Layer*)  
**Lapis banyak** (*Multi layer*)  
**Lapis tunggal** (*Single layer*)  
**Las berselang seling** (*Staggered Weld*)  
**Las busur** (*Arc welding*)  
**Las busur gas** (*Gas shielded arc welding*)

**Las busur listrik** (*Electric arc welding*)  
**Las busur pelindung gas** (*Gas shielded arc welding*)  
**Las busur rendam** (*Submerged arc welding*)  
**Las cair** (*Fusion welding*)  
**Las ikat** (*Tack welding*)  
**Las oksasi asetilen** (*Oxy acetylen welding*)  
**Las putus-putus** (*Intermittent Weld*)  
**Las rantai** (*Chain Weld*)  
**Las sudut** (*Fillet welding*)  
**Las tumpul** (*Butt welding*)  
**Lasan** (*Welded*)  
**Leher** (*Throat*)  
**Linggi buritan** (*Stern*)  
**Linggi haluan** (*Stem*)  
**Lipatan** (*Overlap*)  
**Logam besi** (*Ferro metal*)  
**Logam las** (*Weld metal*)  
**Logam pengisi** (*Filler Metal*)  
**Lubang cacing** (*Blow hole*)  
**Lubang tembus las** (*Schalop*)  
**Lunas** (*Keel*)  
**Lunas bilga** (*Bilge keel*)  
**Lutut** (*Bracket*)

## M

**Maju** (*Forehand*)  
**Mampu las** (*Weldability*)  
**Manik** (*Bead*)  
**Merakit** (*Assembly*)  
**Muka akar** (*Root Face*)  
**Muka galur** (*Groove Face*)  
**Mundur** (*Backhand*)

## N

**Naik** (*Upward*)  
**Nyala pemotongan** (*Flame cutting*)

## P

**Paduan** (*Alloy*)  
**Pagar lambung** (*Bulwork*)  
**Panas** (*Thermal*)  
**Pelat** (*Plate*)  
**Pelat geladak** (*Deck plate*)  
**Pelat lambung** (*Sheel plate*)  
**Pelintang geladak** (*Transversal deck beam*)

**Pemanasan awal** (*Preheating*)  
**Pembakar** (*Torch*)  
**Pembujur atas** (*Side stringer*)  
**Pembujur dasar** (*Longitudinal bottom*)  
**Pembujur geladak** (*Longitudinal deckbeam*)  
**Pembungkus** (*Coating*)  
**Pemotongan dengan gas** (*Gas cutting*)  
**Pemotongan panas** (*Thermal Cutting*)  
**Penahan balik keramik** (*Backing Ceramic*)  
**Penetrasi** (*Penetration*)  
**Pengawas Las** (*Welding Supervisor*)  
**Pengelasan maju** (*Progressive Welding*)  
**Pengelasan meloncat** (*Skip Welding*)  
**Pengelasan mundur** (*Back step Welding*)  
**Pengerasan** (*Hardening*)  
**Penghalang** (*Restrainer*)  
**Pengkoakan bagian belakang** (*Back Chipping*)  
**Penguatan** (*Reinforcement*)  
**Pengujian fatik** (*Fatigue test*)  
**Pengujian kekerasan** (*Hardness test*)  
**Pengujian merusak** (*Destructive test*)  
**Pengujian tak merusak** (*Non destructive test*)  
**Pengujian tarik** (*Tensile test*)  
**Pengujian tekuk** (*Bending test*)  
**Pengumpanan** (*Feeding*)  
**Penirusan** (*Tapering*)  
**Penumpu las** (*Welding Jig*)  
**Penumpukan penuh** (*Full-length Stacking*)  
**Penyetelan sambungan** (*Joint Fit-up*)  
**Penyusutan melintang** (*Transverse Shrink*)  
**Perakitan** (*Assembly*)  
**Percikan** (*Splatter*)  
**Perlakuan** (*Treatment*)  
**Polaritas** (*Polarity*)  
**Polaritas balik** (*Reverse polarity*)  
**Polaritas lurus** (*Straight polarity*)  
**Posisi atas kepala** (*Overhead position*)  
**Posisi datar** (*Flat position*)  
**Posisi horisontal** (*Horizontal position*)  
**Posisi tegak** (*Vertical position*)

**R**

**Radiasi** (*Radiation*)  
**Retak akar** (*Root cracking*)  
**Retak dingin** (*Cold Cracking*)

**Retak kawah** (*Crater cracking*)

**Retak rapuh** (*Brittle Fracture*)

**Rigi-rigi las** (*Bead Weld*)

**Rutil** (*Rutile*)

## **S**

**Sambungan dengan penguat** (*Strapped joint*)

**Sambungan las** (*Welded joint*)

**Sambungan pojok** (*Corner joint*)

**Sambungan silang** (*Cross joint*)

**Sambungan sisi** (*Edge joint*)

**Sambungan sudut** (*Fillet joint*)

**Sambungan tumpang** (*Lap joint*)

**Sambungan tumpul** (*Butt joint*)

**Sekat kedap air** (*Watertight bulkhead*)

**Sekat melintang** (*Transversal Bulkhead*)

**Sekat membujur** (*Longitudinal bulkhead*)

**Sifat mekanis** (*Mechanical property*)

**Siklus** (*Cycle*)

**Skalop** (*Scallop*)

**Struktur** (*Structure*)

**Sudut galur** (*Groove Angle*)

## **T**

**Tak terumpan** (*Non consumable*)

**Takik** (*Notch*)

**Takik las** (*Undercut*)

**Tegangan** (*Stress*)

**Tegangan sisa** (*Residual stress*)

**Terak** (*Slag*)

**Timbal** (*Lead*)

**Titik mulur** (*Yield Point*)

**Turun** (*Downward*)

## **U**

**Ukuran lasan** (*Size of weld*)

**Unsur** (*Element*)

**Urutan pengelasan** (*Welding sequence*)

**Urutan pengerjaan** (*Deposition Sequence*)

## DAFTAR SINGKATAN

<b>AC</b>	.....	(Alternating Current)
<b>DC</b>	.....	(Direct current)
<b>DT</b>	.....	(Destructive Testing)
<b>DCEP</b>	.....	(DirectCurrent Electrode Positive)
<b>DCEN</b>	.....	(Direct Current Electrode Negative)
<b>DCRP</b>	.....	(DirectCurrent Reserve Polarity)
<b>DCSP</b>	.....	(Direct Current Straight Polarity)
<b>DIN</b>	.....	(Deutsche Industrie Normen)
<b>FCAW</b>	.....	(Fluxs Cored Arc Welding)
<b>GMAW</b>	.....	(Gas Metal Arc Welding)
<b>GTAW</b>	.....	(Gas Tungsten Arc Welding )
<b>ISO</b>	.....	(International Organization for Standardization)
<b>LPG</b>	.....	(Liquit Petroleum Gas)
<b>LNG</b>	.....	(Liquit Natural Gas)
<b>MAG</b>	.....	(Metal Active Gas)
<b>MIG</b>	.....	(Metal Inert Gas)
<b>NC</b>	.....	(Numerical Control)
<b>NDT</b>	.....	(Non Destructive Testing)
<b>PQR</b>	.....	(Procedure Qualification Record)
<b>SAW</b>	.....	(Submerged Arc Welding)
<b>SMAW</b>	.....	(Shielded Metal Arc Welding)
<b>TIG</b>	.....	(Tungsten Inert Gas)
<b>V</b>	.....	(Voltage)
<b>WPS</b>	.....	(Welding Procedure Standard)
<b>AWS</b>	.....	(American Welding Sosaity)
<b>JIS</b>	.....	(Japan Industrial Standard)
<b>ASTM</b>	.....	(American Sosiety for Testing Meterial)
<b>ASME</b>	.....	(American Sosiety for Mechanical Engineers)
<b>AWS</b>	.....	(American Welding Sosiety)
<b>ABS</b>	.....	(American Bureau of Shipping )
<b>HAZ</b>	.....	(Heat Affected Zone)
<b>DNV</b>	.....	(Det Norske Veritas)
<b>NKK</b>	.....	(Nippon Kaiji Kyokai)
<b>BKI</b>	.....	(Biro Klasifikasi Indonesia)
<b>QC</b>	.....	(Quality Control)
<b>QA</b>	.....	(Quality Assurance)
<b>NCR</b>	.....	(Non Conformity Report)
<b>QCD</b>	.....	(Quality Cost Delivery)
<b>PCCL</b>	.....	(Process Control Check List)

**WES**..... (Welding Engineering Standards)  
**HAZ** ..... (Heat Affected Zone)  
**PWHT** ..... (Post Weld Heat Treatment)  
**UT** ..... (Ultrasonic Testing)  
**RT** ..... (Radiographic Testing)  
**PT** ..... (Penetrant Testing)  
**VT** ..... (Visual Test)  
**PRT**..... (Pressure Resistance Test)  
**LT** ..... (Leak Test)  
**SNI**..... (Standar Nasional Indonesia)  
**WI** ..... (Welding Inspector)  
**WE**..... (Welding Engineer)



**DAFTAR GAMBAR****BAB I**

I.1	Hubungan antara kandungan karbon dan sifat mekanis.....	7
I.2	Diagram Proses Pembuatan Baja.....	9
I.3	Percikan bunga api .....	12
I.4	Mistar baja lurus .....	18
I.5	Mistar siku .....	18
I.6	Mistar gulung.....	19
I.7	Calipers outside .....	19
I.8	Calipers inside.....	19
I.9	Jangka sorong.....	20
I.10	Micrometer dan pengukur standart .....	20
I.11	Penunjuk ukuran dan tonggak penunjuk ukuran.....	21
I.12	Tonggak magnet .....	21
I.13	Siku (mistar sudut kanan) .....	21
I.14	Busur baja .....	22
I.15	Busur bevel universal .....	22
I.16	Pengukur jarak / celah .....	22
I.17	Pengukur sudut .....	23
I.18	Pengukur jari – jari .....	23
I.19	Pengukur lubang .....	23
I.20	Pengukur kerataan tipe segiempat.....	24
I.21	Meja penandaan permukaan plat.....	24
I.22	Meja penyetelan permukaan plat .....	24
I.23	Blok paralel .....	25
I.24	Blok V.....	25
I.25	Kotak blok V .....	25
I.26	Pelat siku.....	26
I.27	Alat penggores .....	26
I.28	Penyangga mistar .....	27

I.29	Jangka biasa .....	27
I.30	Jangka ulir.....	27
I.31	Hermaphro-dite calipers.....	28
I.32	Pena penandaan.....	28
I.33	Penitik .....	28
I.34	Palu single.....	29
I.35	Pahat datar.....	29
I.36	Pahat lancip .....	29
I.37	Ragum.....	30
I.38	Ragum paralel (Ragum horisontal) .....	30
I.39	Ragum kaki (ragum vertikal) .....	31
I.40	Ragum squill (klem C) .....	31
I.41	Bagian - bagian kikir.....	32
I.42	Bentuk – bentuk kikir .....	32
I.43	Gagang kikir .....	32
I.44	Sikat kawat.....	33
I.45	Tap tangan .....	33
I.46	Pegangan tap.....	33
I.47	Tap luar .....	34
I.48	Pegangan tap luar.....	34
I.49	Gergaji potong metal .....	35
I.50	Swage block.....	35
I.51	Landasan jenis Perancis .....	35
I.52	Landasan jenis Inggris .....	35
I.53	Jenis tang tempa .....	36
I.54	Palu besar .....	36
I.55	Pahat dengan gagang .....	37
I.56	Palu tempa .....	37
I.57	Gunting plat tipis .....	38
I.58	Pemotongan dengan gunting .....	38
I.59	Besi solder .....	38

I.60	Jenis – jenis kunci .....	39
I.61	Obeng .....	40
I.62	Tang potong .....	40
I.63	Tang .....	40
I.64	Tang catok .....	41
I.65	Kacamata pelindung debu .....	41
I.66	Bor dengan mata bor miring.....	41
I.67	Bor dengan mata bor lurus.....	41
I.68	Cekam bor .....	42
I.69	Sleeve / lengan penghubung .....	42
I.70	Soket .....	42
I.71	Drift / pasak .....	43
I.72	Alat penyekat dengan air .....	43
I.73	Regulator oksigen (tipe Jerman) .....	44
I.74	Regulator oksigen (tipe Perancis) .....	44
I.75	Bagian regulator asetilin.....	45
I.76	Tabung penyalur .....	45
I.77	Torch tekanan rendah .....	46
I.78	Brander potong dengan gas (jenis Perancis).....	47
I.79	Kacamata pelindung untuk las .....	48
I.80	Korek / pematik .....	48
I.81	Kap las tangan .....	49
I.82	Helm las .....	49
I.83	Sepatu keska .....	49
I.84	Selubung tangan las .....	49
I.85	Apron / pelindung dada .....	49
I.86	Sarung tangan.....	49
I.87	Palu tetek .....	50
I.88	Stang las untuk Las Busur Listrik.....	50
I.89	Prinsip Pemotongan gas .....	52

I.90	Pengaruh kemurnian oksigen pada kecepatan potong (Standar drag 0, tebal plat 50 mm) .....	54
I.91	Efek perlakuan oksigen dari nyala preheating.....	56
I.92	Efek nyala preheating pada saat oksigen potong dinyalakan .....	56
I.93	Faktor-faktor yang menentukan kualitas pemotongan permukaan .....	58
I.94	Pemotongan busur plasma .....	59
I.95	Bentuk elektroda dan sistim suplai gas orifice .....	62
I.96	Plasma injeksi air .....	63
I.97	Faktor-faktor yang menentukan kualitas permukaan potong busur plasma.....	65
I.98	Sistim aliran ganda.....	66
I.99	Kepala potong laser .....	67
I.100	Hubungan antara ketebalan plat dan kecepatan potong untuk baja lunak pada pemotongan sinar laser .....	68
I.101	Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari pemotongan sinar laser.....	69
I.102	Alat potong gas manual .....	70
I.103	Alat potong manual dan nama bagiannya.....	71
I.104	Nozzle potong .....	72
I.105	Nama dan fungsi bagian-bagian brander pemotong .....	72
I.106	Nyala api pemanasan awal .....	74
I.107	Pemotongan manual .....	75
I.108	Pemeriksaan hasil pemotongan.....	76
I.109	Persiapan pemotongan dengan gas manual.....	77
I.110	Nyala busur api potong .....	77
I.111	Posisi material induk pada meja potong.....	78
I.112	Pemotongan material .....	78
I.113	Pengosongan tabung gas oksigen.....	79
I.114	Langkah pemotongan .....	79
I.115	Proses Pemotongan Otomatis dengan Gas.....	80

I.116	Pemotongan lurus dengan alat pemotong otomatis.....	84
I.117	Pengaturan arus gas oksigen .....	85
I.118	Pengaturan posisi pucuk alat potong ke garis potong.....	85
I.119	Gas oksigen menembus plat baja.....	86
I.120	Pemotongan pinggiran miring .....	88
I.121	Hubungan antara kondisi pemotongan dengan permukaan potong .....	88
I.122	Ujung alat potong otomatis.....	89

**BAB II**

II.1	Contoh-contoh penyambungan mekanis.....	124
II.2	Penyambungan dengan pengelasan.....	125
II.3	Pengelasan plasma dengan bantalan serbuk .....	129
II.4	Perbedaan antara sambungan las dan sambungan tumpul yang dikeling .....	130
II.5	Perbandingan distribusi tegangan antara sambungan keling dan las.....	131
II.6	Deformasi dan deformasi sudut yang disebabkan oleh penyusutan.....	134
II.7	Pengelasan tumpul plat.....	134
II.8	Distribusi tegangan sisa pada plat las tumpul .....	135
II.9	Perbandingan terjadinya retak pada sambungan keling .....	136
II.10	Permukaan retak rapuh (Panah menunjukkan arah perambatan retak).....	137
II.11	Aliran Tegangan Sambungan .....	137
II.12	Pengaruh ketinggian pengisian las pada kekuatan fatik (lelah) dari las sambungan tumpul (baja lunak : $2 \times 10^6$ cycle) .....	138
II.13	Struktur busur dan distribusi tegangannya.....	140
II.14	Hubungan antara panjang busur dan tegangan busur.....	142
II.15	Karakteristik arus – tegangan pada busur.....	144
II.16	Busur DC.....	144
II.17	Busur AC.....	144
II.18	Efek Polaritas pada Las TIG .....	146

II.19	Las TIG AC .....	147
II.20	Bentuk tip kawat las MIG .....	148
II.21	Las MAG (100% CO <sub>2</sub> ) .....	148
II.22	Pembersihan (contoh pada aluminium (campuran) .....	148
II.23	Aliran gas .....	151
II.24	Las maju (turun), las mundur (naik) .....	151
II.25	Hembusan busur.....	152
II.26	Tiga jenis perpindahan butiran logam .....	153
II.27	Transfer sirkuit pendek dan perubahan arus.....	154
II.28	Kondisi terjadinya percikan pada las MAG (100% CO <sub>2</sub> ) .....	155
II.29	Hubungan rasio campuran gas argon, CO <sub>2</sub> dengan transfer butiran logam .....	156
II.30	Kemuluran Mn dan Si pada kawat las.....	157
II.31	Perubahan sifat mekanis dari logam las .....	157
II.32	Karakteristik eksternal dari mesin las busur.....	158
II.33	Karakteristik menurun dan titik aksi busur.....	159
II.34	Titik gerak busur dari sumber daya tegangan konstan .....	160
II.35	Mesin las busur AC tipe inti bergerak.....	163
II.36	Kontrol Thyristor .....	165
II.37	Kontrol inverter .....	165
II.38	Prinsip operasi dari alat penurun tegangan otomatis .....	166
II.39	Tabel toleransi siklus kerja .....	169
II.40	Pembumian yang benar dan pengkabelan sisi output .....	174
II.41	Contoh sisi pengkabelan output untuk dok galangan Kapal .....	175
II.42	Pembumian dan pengkabelan sisi output yang buruk.....	176
II.43	Kondisi kabel las dan penurunan tegangan .....	176
II.44	Nama-nama dari bagian-bagian sambungan las .....	184
II.45	Pertumbuhan dendrit pada las lapis banyak .....	185
II.46	Struktur dan kekerasan maksimum dari daerah las ( SM 490 A ) .....	187
II.47	Konstruksi dari elektrode bersalut.....	190

II.48	Garis keterangan.....	226
II.49	Contoh perintah pengelasan dengan simbol.....	227
II.50	Sisi atas dan sisi bawah dari garis dasar .....	227
II.51	Penunjukan dengan menggunakan garis penunjuk yang patah .....	228
II.52	Sambungan las yang baik atau buruk berdasarkan bending momen .....	230
II.53	Sambungan las yang baik atau buruk berdasarkan konsentrasi garis las .....	230
II.54	Sambungan las tumpul antara dua logam yang berbeda ketebalan.....	230
II.55	Sambungan las .....	231
II.56	Macam-macam las .....	231
II.57	Macam-macam las sudut .....	232
II.58	Bentuk geometri kampuh .....	232
II.59	Nama dari tiap-tiap bagian kampuh untuk sambungan tumpul .....	232
II.60	Contoh-contoh penumpu las .....	235
II.61	Daerah las ikat yang benar .....	236
II.62	Diagram karakteristik sebagai jaminan kualitas pengelasan.....	238
II.63	Macam-macam posisi pengelasan.....	242
II.64	Penyerapan kelembaban pada elektrode las .....	242
II.65	Prosedur teknik menarik kembali awalan.....	244
II.66	Macam-macam bentuk deformasi las .....	245
II.67	Metode pengaturan penyimpangan .....	246
II.68	Urutan pengerjaan .....	247
II.69	Macam-macam cacat las .....	248
 <b>BAB III</b>		
III.1	Mesin Las Busur Listrik .....	260
III.2	Sirkuit utama .....	260
III.3	Sambungan kabel .....	261

III.4	Pemasangan elektrode .....	261
III.5	Penyiapan tang ampere .....	261
III.6	Pengaturan arus mesin las busur listrik .....	262
III.7	Pemeriksaan arus mesin las busur listrik .....	262
III.8	Kaca pelindung mata .....	264
III.9	Pakaian pelindung kerja .....	265
III.10	Peralatan kerja .....	265
III.11	Posisi tubuh saat penyalaan busur listrik .....	266
III.12	Proses Penyalaan busur .....	267
III.13	Menghentikan busur.....	267
III.14	Penyalaan busur pada pengelasan posisi datar .....	268
III.15	Posisi elektrode .....	268
III.16	Posisi Batang Las .....	268
III.17	Posisi alur busur.....	269
III.18	Penampang sambungan las .....	269
III.19	Cara pemutusan arus.....	269
III.20	Hasil pengelasan.....	270
III.21	Takik & overlap .....	270
III.22	Ayunan las saat pembuatan manik – manik posisi datar ....	271
III.23	Menyambung manik – manik las.....	271
III.24	Menyalakan dan mematikan busur .....	272
III.25	Poin pemeriksaan .....	272
III.26	Persiapan permukaan logam pengelasan tumpul posisi datar.....	273
III.27	Las ikat pada pengelasan tumpul posisi datar .....	273
III.28	Pembuatan busur.....	274
III.29	Pengaturan las .....	274
III.30	Gerakan tangkai Las .....	274
III.31	Pemeriksaan hasil las .....	275
III.32	Persiapan awal pengelasan tumpul kampuh V posisi datar dengan penahan belakang.....	275
III.33	Pemberian las ikat.....	276



III.34	Pembuatan busur pada ujung lempeng penahan belakang.....	276
III.35	Pengelasan pertama .....	277
III.36	Pengelasan kedua .....	277
III.37	Pengelasan ketiga.....	278
III.38	Pengelasan terakhir .....	278
III.39	Proses pembukaan sudut .....	279
III.40	Pemeriksaan las.....	279
III.41	Persiapan permukaan logam pada pengelasan sudut posisi horisontal.....	280
III.42	Las ikat pada pengelasan sudut posisi horisontal.....	280
III.43	Penyalan busur .....	281
III.44	Mengelas sudut untuk alur tunggal .....	281
III.45	Mengelas lajur kedua .....	282
III.46	Mengelas lajur ketiga .....	282
III.47	Contoh las T yang buruk .....	283
III.48	Persiapan permukaan las pada pengelasan vertikal rigi las lurus .....	284
III.49	Posisi pengelasan saat pengelasan vertikal .....	284
III.50	Penyalan busur .....	285
III.51	Pengelasan rigi – rigi.....	286
III.52	Pematian busur las .....	286
III.53	Pengisian kawah .....	286
III.54	Pemeriksaan hasil las .....	287
III.55	Penyalan busur las pada pengelasan vertikal dengan ayunan .....	288
III.56	Pengelasan rigi – rigi.....	289
III.57	Pematian busur las .....	290
III.58	Pengisian kawah .....	290
III.59	Persiapan awal Pengelasan Sambungan Tumpul Kampuh V dengan Penguat Belakang.....	291
III.60	Las ikat.....	292
III.61	Penyalan busur .....	292

III.62	Pengelasan pertama .....	293
III.63	Pengisian kawah las .....	293
III.64	Pengelasan lajur kedua.....	294
III.65	Pengelasan alur kedua dan alur yang lain .....	294
III.66	Pengelasan lajur terakhir .....	295
III.67	Pemeriksaan hasil las .....	295
III.68	Persiapan awal pada Pengelasan sudut vertikal (ke atas) .....	296
III.69	Las ikat.....	296
III.70	Penyalan busur .....	297
III.71	Pengelasan alur pertama .....	297
III.72	Pengelasan alur kedua .....	298
III.73	Penyalan busur pada pengelasan sudut vertikal (ke bawah) .....	299
III.74	Pengelasan alur pertama .....	300
III.75	Pengisian kawah las .....	300
III.76	Persiapan permukaan las pada pengelasan lurus posisi horisontal.....	301
III.77	Posisi elektrode pada penjepit .....	301
III.78	Posisi badan saat pengelasan .....	302
III.79	Penyalan busur .....	302
III.80	Pengelasan rigi – rigi.....	303
III.81	Pematian Busur.....	304
III.82	Pengisian kawah las .....	304
III.83	Pemeriksaan hasil las .....	304
III.84	Persiapan bahan Pengelasan Tumpul Posisi Horisontal dengan Penahan Belakang.....	305
III.85	Pengikiran sisi logam .....	305
III.86	Las ikat.....	306
III.87	Penyalan busur .....	306
III.88	Pengelasan alur pertama .....	307
III.89	Mematikan busur.....	307

III.90	Pengisian kawah .....	308
III.91	Pengelasan alur kedua .....	308
III.92	Pembuatan Rigi – rigi las .....	309
III.93	Pengelasan alur ketiga dan lainnya .....	310
III.94	Hasil las rigi-rigi.....	310
III.95	Pengelasan sudut datar dan horisontal.....	311
III.96	Pemeriksaan kelurusan dan kesikuan.....	312
III.97	Penggabungan dua plat dengan las ikat.....	312
III.98	Las tumpul pada plat dasar .....	313
III.99	Perakitan kotak plat.....	314
III.100	Pengelasan sambungan .....	315
III.101	Penggerindaan penguat rigi- rigi plat dasar .....	315
III.102	Las ikat pada plat dasar .....	316
III.103	Las sudut menumpang.....	316
III.104	Pengelasan sambungan filet bagian dalam .....	316
III.105	Pengelasan sambungan filet bagian luar .....	317
III.106	Peralatan untuk pengelasan busur listrik dengan gas pelindung CO <sub>2</sub> .....	317
III.107	Bagian-bagian torch las .....	318
III.108	Penekanan remote kontrol .....	319
III.109	Regulator gas CO <sub>2</sub> dan botol gas CO <sub>2</sub> .....	319
III.110	Penyentuhan kawat elektrode pada baja .....	321
III.111	Posisi memegang welding torch.....	321
III.112	Proses pembersihan .....	321
III.113	Penyetelan kondisi pengelasan.....	322
III.114	Penyalaaan busur .....	322
III.115	Proses pelelehan .....	323
III.116	Proses pengelasan lurus (tanpa ayunan).....	323
III.117	Pengisian kawah las .....	324
III.118	Pemeriksaan hasil las .....	324
III.119	Penyetelan kondisi pengelasan lurus ( dengan ayunan ) .....	325

III.120	Penyalaaan busur .....	326
III.121	Gerakan ayunan.....	326
III.122	Mematikan busur.....	327
III.123	Pemeriksaan hasil las .....	327
III.124	Posisi pengelasan posisi datar.....	328
III.125	Gerakan ayunan.....	329
III.126	Penyetelan pelat penahan belakang dengan logam induk.....	330
III.127	Las ikat pelat penahan belakang.....	330
III.128	Posisi welding torch .....	331
III.129	Kondisi arus dan tegangan .....	332
III.130	Las ikat Las ikat pada pengelasan sambungan tumpang pada posisi horisontal .....	332
III.131	Posisi material diatas meja kerja.....	332
III.132	Posisi pengelasan tumpang pada posisi horisontal .....	333
III.133	Penyalaaan busur .....	333
III.134	Mematikan nyala busur .....	334
III.135	Proses pembersihan dan pemeriksaan hasil las.....	334
III.136	Pemotongan hasil las.....	335
III.137	Las ikat sambungan tumpul .....	335
III.138	Penyetelan pra tarik .....	336
III.139	Posisi material secara mendatar diatas meja kerja.....	336
III.140	Kondisi arus dan tegangan .....	337
III.141	Posisi pengelasan sambungan tumpul pada posisi datar .....	337
III.142	Penyalaaan busur .....	338
III.143	Mematikan busur las .....	338
III.144	Pembersihan hasil las – lasan.....	339
III.145	Pemotongan hasil las.....	339
III.146	Persiapan permukaan logam .....	340
III.147	Penyetelan kondisi pengelasan.....	340
III.148	Penyalaaan busur .....	341

III.149	Proses pengelasan sudut posisi horisontal.....	341
III.150	Pengisian kawah las .....	342
III.151	Pemeriksaan hasil las .....	342
III.152	Penyalaan busur dan pengelasan.....	343
III.153	Pengelasan kedua .....	343
III.154	Pemeriksaan kelurusan permukaan material.....	344
III.155	Proses pembuatan sudut bevel.....	345
III.156	Perakitan material dengan las ikat .....	345
III.157	Pengelasan lapis kedua .....	346
III.158	Proses las ikat.....	347
III.159	Pengelasan sambungan pojok.....	348
III.160	Pengelasan sudut arah vertikal turun.....	348
III.161	Pengelasan pojok untuk penyambungan plat dasar .....	349
III.162	Pengelasan fillet untuk penyambungan plat dasar.....	349
III.163	Rangkaian Mesin Las TIG.....	350
III.164	Saklar Las argon dan las manual.....	350
III.165	Saklar pengatur AC dan DC.....	351
III.166	Tombol power utama .....	351
III.167	Saklar kontrol .....	351
III.168	Kran aliran air.....	352
III.169	Pengaturan aliran gas .....	352
III.170	Pengaturan saklar .....	352
III.171	Penyetelan after flow.....	353
III.172	Pemasangan kolet dan nosel.....	353
III.173	Pemasangan elektrode dan tutup .....	354
III.174	Penyalaan busur .....	354
III.175	Awal pengelasan.....	355
III.176	Pelelehan .....	355
III.177	Mematikan busur.....	355
III.178	Pengelasan mematikan busur.....	356
III.179	Pengisian kawah las .....	357

III.180	Pemeriksaan las.....	357
III.181	Sakelar AC dan DC .....	358
III.182	Penyalaan busur pengelasan aluminium dengan las TIG... 358	
III.183	Proses pengelasan aluminium dengan las TIG.....	359
III.184	Pemeriksaan pengelasan.....	359
III.185	Mesin Las Busur Listrik Terendam Otomatik .....	360
III.186	Penetrasi Las .....	365
III.187	Pengaruh arus dalam proses SAW .....	365
III.188	Pengaruh dari diameter kawat elektrode.....	366

**BAB IV**

IV.1	Pembangunan badan kapal sistem seksi.....	375
IV.2	Pembagian seksi bidang .....	376
IV.3	Penyusunan badan kapal dengan metode layer .....	377
IV.4	Penyusunan badan kapal dengan metode seksi vertikal.....	378
IV.5	Pembangunan badan kapal sistem blok .....	379
IV.6	Penyusunan badan kapal dengan metode blok .....	381
IV.7	Tahapan proses pembangunan kapal.....	382
IV.8	Susunan umum kapal barang .....	383
IV.9	Penampang tengah dari lambung kapal .....	383
IV.10	Gambar urutan pengelasan .....	384
IV.11	Urutan pengelasan pada penyambungan pelat .....	385
IV.12	Urutan pengelasan pada penyambungan profil .....	385
IV.13	Urutan pengelasan profil terhadap pelat .....	386
IV.14	Urutan pengelasan profil menembus pelat .....	386
IV.15	Urutan pengelasan pada pelat hadap .....	386
IV.16	Sambungan tumpul pada pelat .....	387
IV.17	Sambungan campuran antara las tumpul dan las sudut.....	387
IV.18	Penampang konstruksi Bagian Depan Kapal.....	388
IV.19	PenampangKonstruksi melintang tengah kapal.....	389

IV.20	Penampang Konstruksi Dasar Kapal .....	390
IV.21	Penampang Konstruksi Pondasi Mesin.....	390
IV.22	Sistem Konstruksi Kombinasi.....	391
IV.23	Konstruksi sekat kedap air .....	391
IV.24	Konstruksi Dasar, Geladak dan Kulit.....	392
IV.25	Hubungan balok geladak dengan gading.....	392
IV.26	Susunan konstruksi geladak dengan penyangganya .....	393
IV.27	Konstruksi ceruk buritan bentuk lengkung .....	393
IV.28	Las sudut terputus-putus rantai.....	406
IV.29	Las sudut terputus-putus scallop .....	406
IV.30	Las sudut terputus-putus zig-zag .....	406
IV.31	Toleransi tinggi, lebar dan sudut lasan .....	407
IV.32	Toleransi takik las tumpul.....	407
IV.33	Toleransi takik las .....	408
IV.34	Toleransi panjang kaki las.....	408
IV.35	Toleransi sudut distorsi .....	409
IV.36	Toleransi jarak antar las tumpul .....	410
IV.37	Toleransi jarak las tumpul ke fillet .....	411
IV.38	Toleransi jarak las tumpul ke ujung scallop.....	411
IV.39	Celah antara pelat dan penegar.....	411
IV.40	Penegar dengan permukaan tidak rata .....	412
IV.41	Toleransi kemiringan penegar.....	412
IV.42	Toleransi celah penegar terhadap pelat.....	413
IV.43	Posisi scallop terhadap tepi lubang penembus .....	413
IV.44	Penambahan length leg .....	414
IV.45	Toleransi perbedaan dan tebal .....	414
IV.46	Kelurusan antara balok dan gading.....	414
IV.47	Toleransi kelurusan penegar dengan balok .....	415
IV.48	Toleransi celah sebelum pengelasan.....	415
IV.49	Toleransi tebal pelat sebelum pengelasan.....	416
IV.50	Jarak pemotongan penggantian pelat.....	416

IV.51	Las tumpul dengan bantuan penumpu belakang .....	416
IV.52	Jarak minimum antar sambungan las tumpul.....	417
IV.53	Toleransi jarak celah las otomatis .....	417
IV.54	Toleransi jarak las otomatis dengan flux copper .....	417
IV.55	Toleransi jarak las otomatis dengan fiber asbestos backing .....	418
IV.56	Toleransi celah las CO <sub>2</sub> dengan penumpu belakang .....	418
IV.57	Toleransi celah las Elektro gas .....	418
IV.58	Toleransi Leg length las tumpang .....	419
IV.59	Toleransi perbaikan lubang yang salah .....	419
IV.60	Perbaikan ditutup dengan insert plate.....	420
IV.61	Cara perbaikan pelat dengan dibuat lubang .....	420
IV.62	Pemanasan garis ( line heating ).....	421
IV.63	Pemanasan sistim melintang (cross heating).....	421
IV.64	Pemanasan melintang dan membujur.....	422
IV.65	Pelurusan dengan pemanasan segi tiga .....	423
IV.66	Pelurusan dengan pemanasan segi tiga (triangle heating) .....	424
IV.67	Pelurusan dengan pemanasan melingkar.....	425
IV.68	Pelurusan dengan dua anak panah .....	425
IV.69	Pelurusan dengan pemanasan .....	426
IV.70	Pelurusan pelat dengan proses penarikan.....	427
IV.71	Pelurusan dengan bantuan gaya luar .....	428
IV.72	Pembebasan bengkok pada sambungan dari frame.....	428
IV.73	Pembebasan bengkok sambungan tumpul.....	429
IV.74	Bentuk Pelat dan Profil.....	430

**BAB V**

V.1	Uji tarik pada sambungan las tumpul .....	440
V.2	Diagram pemanjangan beban pada baja lunak dan perhitungannya .....	441
V.3	Jenis-jenis uji lengkung (JIS Z 3122) .....	442



V.4	Metode uji lengkung .....	443
V.5	Metode dukungan spesimen dan arah hentakan pada uji hentakan .....	443
V.6	Temperatur peralihan dalam uji hentakan charpy .....	444
V.7	Spesiman rapuh uji hentakan charpy .....	444
V.8	Metode pengukuran kekerasan maksimal dan distribusi kekerasan.....	445
V.9	Prinsip kerja pengujian partikel magnet .....	448
V.10	Metode pengujian partikel magnet pada daerah pengelasan.....	449
V.11	Pengujian elektromagnet .....	451
V.12	Kerangka kerja uji ultrasonic (metode sinar normal) .....	453
V.13	Kerangka kerja uji ultrasonic (metode sinar sudut) .....	453
V.14	Prinsip kerja uji radiografi .....	455
V.15	Klasifikasi uji radiografi menurut metode pendeteksian radiasi.....	455
V.16	Contoh susunan uji radiografi .....	455
V.17	Pembacaan hasil uji radiografi .....	456
V.18	X-Ray film hasil las.....	456
V.19	Kontrasmeter.....	459
V.20	Kontrasmeter Tipe II.....	460
V.21	Macam-macam cacat las .....	462

**BAB VI**

VI.1	Jalur arus listrik ketika operator menyentuh elektrode las dan rangkaian listrik ekuivalen .....	466
VI.2	Contoh hubungan listrik yang aman untuk las busur listrik .	471
VI.3	Masker pelindung wajah .....	473
VI.4	Contoh-contoh alat pelindung sinar .....	473
VI.5	Sebab-sebab timbulnya asap (contoh dari las MAG).....	474
VI.6	Kepadatan berbagai titik selama las MAG .....	478
VI.7	Contoh penggunaan alat penyedot asap las local dan alat pembuang gas .....	479

VI.8	Contoh penggunaan alat bantu pernafasan.....	479
VI.9	Volume asap las jika menggunakan gas campuran.....	480
VI.10	Perlengkapan pelindung untuk dipakai pada waktu mengelas.....	481

## DAFTAR TABEL

### BAB I

I.1	Karakteristik dari 5 elemen pada besi .....	3
I.2	Klasifikasi baja karbon .....	7
I.3	Perlakuan panas terhadap aluminium paduan.....	16
I.4	Jenis logam pengisi yang digunakan pada proses logam aluminium pada pengelasan MIG.....	17
I.5	Besar sudut pahat terhadap benda kerja .....	29
I.6	Standar ukuran ragum paralel.....	30
I.7	Perbedaan antara jenis tekanan tetap dan jenis tekanan variabel.....	46
I.8	Ketebalan nosel dan pelat.....	47
I.9	Nilai kalori dari oksida besi.....	53
I.10	Konstruksi mesin potong busur plasma .....	60
I.11	Metode pemotongan busur plasma, keistimewaan dan material dasar yang dapat digunakan .....	64
I.12	Contoh-contoh kondisi pemotongan dengan sinar laser untuk berbagai material .....	69
I.13	Kondisi gas potong.....	73
I.14	Kondisi pemotongan .....	80
I.15	Kualitas permukaan potong dan kondisi pemotongan .....	83
I.16	Kapasitas Standar Ujung Alat Potong (Menggunakan Gas Asetilin) .....	87
I.17	Jenis Pengelasan dan Posisi Las.....	96
I.18	Kondisi Penyimpanan dan Pemanasan Ulang (Rebake) untuk Elektroda Las Terbungkus Baja Karbon Rendah .....	114

### BAB II

II.1	Jenis mesin las busur.....	161
II.2	Perbedaan antara mesin busur AC dan mesin las busur DC .....	162
II.3	Contoh keterangan yang ditampilkan pada papan nama....	167

II.4	Standar untuk pemilihan arus dan ukuran kabel.....	171
II.5	Contoh pemeriksaan mesin las MAG.....	178
II.8	Baja roll untuk struktur umum (JIS G 3101) .....	179
II.9	Baja roll untuk struktur las (JIS G 3106).....	180
II.10	WES Plat Baja berkekuatan tarik tinggi untuk struktur las (WES) 3001) .....	182
II.11	Plat baja karbon untuk bejana tekan untuk servis temperatur rendah .....	183
I.12	Klasifikasi struktur dari daerah terkena pengaruh panas las dari baja .....	186
II.13	Hubungan antara ekivalen karbon dan temperatur pemanasan awal.....	188
II.14	Elektrode bersalut dan kawat inti .....	191
II.15	Komponen utama dari fluks dan fungsinya .....	193
II.16	Contoh perbandingan campuran fluks dari elektrode bersalut untuk baja lunak .....	194
II.17	Tipikal seluruh sifat-sifat logam las dari bermacam-macam jenis Elektroda.....	199
II.18	Standar elektroda bersalut untuk baja kuat tarik tinggi (JIS Z 3212) .....	203
II.19	Arti simbol yang digunakan dalam standar .....	205
II.20	Metode las busur semi otomatis dan material las .....	207
II.21	Karbon dioksida cair (JIS K 1106).....	208
II.22	Standar untuk gas campuran (WES 5401).....	208
II.23	Perbandingan karakteristik dari berbagai kawat las MAG...	211
II.24	Elemen campuran untuk elektroda tungsten.....	212
II.25	Kawat las TIG dan kawat untuk baja lunak dan baja campuran rendah (JIS Z 3316) .....	213
II.26	Jenis elektroda tungsten dan komposisi kimianya .....	214
II.27	Perbedaan warna dari elektrode tungsten .....	215
II.28	Diameter elektrode tungsten dan arus yang dapat dipakai .	215
II.29	Kawat inti fluks las busur berpelindung sendiri (JIZ Z 3313).....	217
II.30	Spesifikasi Elektroda berdasarkan komposisi kimia.....	218

II.31	Kawat las busur terendam untuk baja karbon dan baja campuran rendah (JIS 3351) .....	220
II.32	Fluks las busur terendam untuk baja karbon dan baja campuran rendah (JIS Z 3352) .....	222
II.33	Simbol dasar pengelasan.....	224
II.34	Simbol pengelasan tambahan.....	228
II.35	Bentuk geometri kampuh standar untuk las tumpul busur terlindung (Asosiasi Struktur Baja Jepang) .....	233
II.36	Pengaruh arus las .....	239
II.37	Pengaruh panjang busur .....	240
II.38	Pengaruh kecepatan pengelasan .....	240

**BAB III**

III.1	Jenis dan karakteristik mesin las busur listrik arus bolak – balik .....	262
III.2	Jarak dan ukuran (penampang, mm <sup>2</sup> ) dari kabel las.....	263
III.3	Standar ukuran elektrode .....	263
III.4	Jenis – jenis kaca mata pelindung .....	264
III.5	Batas – batas arus untuk kawat elektrode yang dipakai dalam proses SAW .....	364

**BAB IV**

IV.1	Sambungan Las Sudut.....	400
IV.2	Jarak Pemanasan .....	426
IV.3	Kecepatan pemanasan .....	426
IV.4	Klasifikasi Baja untuk Perkapalan .....	432

**BAB V**

V.1	Klasifikasi metode pengujian daerah las.....	439
V.2	Manfaat pengujian destruktif (DT) dan pengujian non-destruktif (NDT).....	440
V.3	Jenis – jenis spesimen dan arah percontohan.....	442
V.4	Berbagai metode uji kekerasan.....	445

V.5	Contoh material alat penggores .....	446
V.6	Urutan proses uji zat penetran .....	450
V.7	Jenis penetrameter dan penerapannya pada ketebalan las .....	457
V.8	Jumlah garis yang ditunjukkan penetrameter .....	458
V.9	Ketebalan las dan batasan kepekaan fotografi .....	459
V.10	Tipe kontrasmeter yang dapat dipakai .....	460
V.11	Perbedaan kepekatan kontrasmeter .....	461
V.12	Lembar pemeriksaan persyaratan radiografi.....	461
V.13	Sensitivitas penetrameter.....	463

**BAB VI**

VI.1	Nilai arus listrik di dalam tubuh manusia dan tingkat kejutan listriknya .....	468
VI.2	Contoh hubungan listrik yang aman untuk las busur listrik .	472
VI.3	Komposisi kimia asap las .....	475
VI.4	Pengaruh asap logam terhadap tubuh manusia .....	476
VI.5	Jenis – jenis alat pelindung diri .....	486

---

---

**DAFTAR RUMUS****BAB I**

1. Rumus kimia dari reaksi bentuk oksidasi ..... 52

**BAB II**

2. Rumus kimia dari reaksi deoksidasi ..... 127
3. Rumus perbandingan distribusi tegangan antara sambungan keling dan las ..... 131
4. Rumus untuk menghitung daya listrik ..... 141
5. Rumus perpanjangan busur tidak menaikkan laju pelelehan ..... 142
6. Rumus kecepatan pengelasan ..... 143
7. Rumus arus pengelasan ..... 162
8. Rumus toleransi siklus kerja ..... 169
9. Rumus arus las terus menerus ..... 169
10. Rumus output sekunder ..... 170
11. Rumus arus input kabel sisi primer ..... 170
12. Rumus daya input terukur ..... 171
13. Rumus faktor daya ..... 171
14. Rumus daya listrik dari arus ..... 171
15. Rumus daya listrik mesin las dengan arus 200A ..... 172
16. Rumus daya input terpakai (kVA) mesin las busur DC ..... 172
17. Rumus daya input terpakai (kW) mesin las busur DC ..... 172
18. Rumus efisiensi las dengan arus output terukur ..... 173
19. Rumus konsumsi daya listrik ..... 173
20. Rumus kapasitas rasional dari peralatan penerima listrik ..... 173
21. Rumus energi panas dari las busur ..... 184

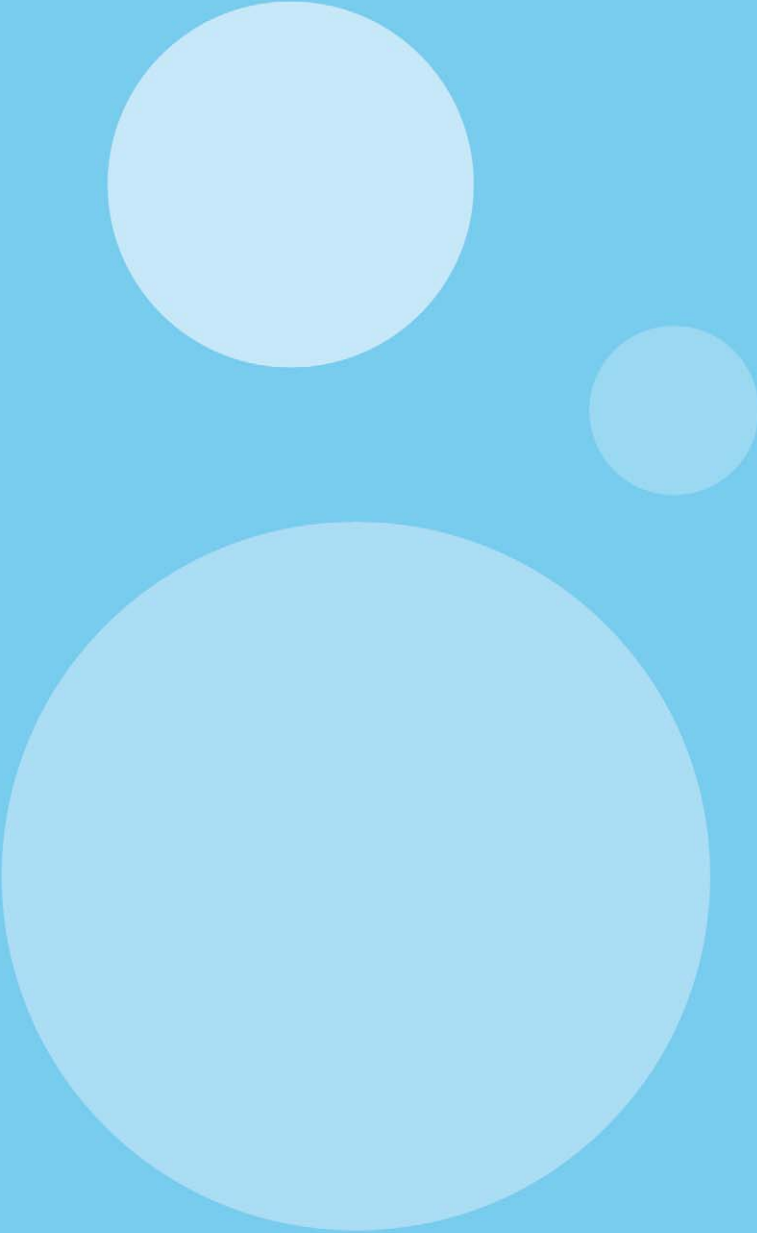
**BAB V**

- 21. Rumus pemanjangan beban pada baja lunak..... 441
- 22. Rumus sensitifitas / kepekaan penetrometer ..... 463

**BAB VI**

- 23. Rumus tegangan tanpa beban..... 469





ISBN 978-979-060-126-0  
ISBN 978-979-060-127-7

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. 26.466,00