



Pramudi Utomo

# Teknik Telekomunikasi

untuk  
Sekolah Menengah Kejuruan

## JILID 2



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



TEKNIK TELEKOMUNIKASI JILID 2

untuk SMK

Pramudi Utomo

Pramudi Utomo, dkk.

# TEKNIK TELEKOMUNIKASI JILID 2

**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 TELEKOMUNIKASI JILID 2

## Untuk SMK

Penulis : Pramudi Utomo  
Suprpto  
Rahmatul Irfan

Editor : Widiharso

Pendukung : Agung Wahyudiono  
Nur Budiono

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

UTO UTOMO, Pramudi  
t Teknik Telekomunikasi Jilid 2 untuk SMK /oleh Pramudi  
Utomo, Suprpto, Rahmatul Irfan ---- Jakarta : Direktorat  
Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal  
Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen  
Pendidikan Nasional, 2008.  
ix, 143 hlm  
Lampiran : Lampiran. A  
ISBN : 978-979-060-155-0  
ISBN : 978-979-060-157-4

Diterbitkan oleh

**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

## KATA SAMBUTAN

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

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

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

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

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

Jakarta, 17 Agustus 2008  
Direktur Pembinaan SMK

## KATA PENGANTAR

Tiada ungkapan kata yang paling tepat untuk dikemukakan pertama kali selain memanjatkan rasa syukur ke hadirat Allah Subhanahu Wata'la bahwasanya penyusunan buku "Teknik Telekomunikasi" ini dapat diselesaikan. Kerja keras yang telah dilakukan dalam penulisan ini telah membuahkan hasil baik. Buku "Teknik Telekomunikasi" ini sangat berarti bagi para siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) terutama mereka yang mempelajari bidang elektronika komunikasi atau bidang lain yang sejenis. Selain itu, dengan ditulisnya buku ini, akan menambah perbendaharaan pustaka yang dapat dijadikan pegangan bagi para guru.

Kita menyadari bahwa ketersediaan buku yang memadai bagi para siswa dan guru sekarang ini dirasakan masih kurang. Sejalan dengan kemajuan jaman dan teknologi yang ada, maka sudah sepantasnya perlu ada upaya untuk mencerdaskan para siswa dengan kampanye penulisan buku. Buku yang ditulis ini diharapkan dapat menjembatani kebutuhan siswa dan guru terhadap materi-materi pelajaran yang diajarkan di sekolah. Dengan demikian keluhan sulitnya mencari buku bermutu yang ditulis dalam bahasa Indonesia sudah tidak akan didengar lagi.

Sebagaimana yang ditulis dalam pengantar Buku Standar Kompetensi Nasional Bidang Telekomunikasi bahwa demikian luasnya bidang telekomunikasi, prioritas utama dalam penyusunan standar kompetensi ditujukan untuk bidang-bidang pekerjaan yang berhubungan dengan penyelenggaraan jaringan telekomunikasi. Namun buku pegangan "Teknik Telekomunikasi" ini akan memuat pengetahuan mendasar tentang telekomunikasi hingga jaringan komunikasi data. Selanjutnya bagi yang berkepentingan dengan buku ini dapat mengimplementasikannya dalam pemberdayaan proses belajar mengajar yang berlangsung di SMK.

Dalam kesempatan ini ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada para anggota Tim Penulis, para kontributor materi yang telah bersama kami menyusun dan menyempurnakan isi buku ini. Kepada Direktur Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan (PSMK), kami sampaikan penghargaan dan terima kasih atas dukungan dan bantuannya sehingga penulisan buku ini dapat dilaksanakan dengan baik dan berhasil memenuhi kriteria.

Akhirnya kami persembahkan buku ini kepada para pelaksana di jajaran SMK. Apapun hasil yang telah dicapai merupakan perwujudan kerja keras yang hasilnya bersama-sama dapat kita lihat setelah implementasi dan siswa mencapai keberhasilan studi. Semoga bermanfaat bagi kita sekalian.

Tim Penulis

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
----------------	----

DAFTAR ISI	iii
------------	-----

## BUKU JILID I BAGIAN 1 - 6

### BAGIAN 1 : PENDAHULUAN

1.1. Definisi Komunikasi	1	2.5.4. Osiloscope	31
1.2. Pentingnya Sistem Telekomunikasi	2	2.6. Perangkat Uji Lainnya	33
1.3. Sejarah Telekomunikasi	3	2.6.1. Logic Analyser	33
1.4. Standarisasi Sistem Telekomunikasi	9	2.6.2. Optical Spectrum Analyzer	35
1.5. Organisasi yang Mengatur Standar Sistem Telekomunikasi	9	2.6.3. GSM Test	35
1.6. Masa Depan dan Perkembangan Sistem Telekomunikasi	13	2.6.4. CDMA Mobile Test	36
1.7. Rangkuman	15	2.7. Penguji kabel dan antena (Cable and Antenna Tester)	36
1.8. Soal Latihan	16	2.8. Mini PABX	37

### BAGIAN 2 : INSTRUMEN TELEKOMUNIKASI

2.1. Pendahuluan	17	2.9. Voice Changer (Alat Pengubah Suara)	39
2.2. Perkakas-Perkakas Manual	18	2.10. LAN Tester (kabel tester)	40
2.2.1. Tools Kits	18	2.11. Tang Amper (Multi Function Clamp Meter)	41
2.2.2. Meter beroda (Measuring Wheel)	20	2.12. SWR Meter	41
2.3. Perkakas-perkakas elektrik	21	2.13. E-Fieldmeter (Pengukur Medan Listrik)	43
2.3.1. Solder Rangkaian	21	2.14. Switch Jaringan	44
2.3.2. Power Supply	23	2.15. Modem	45
2.4. Piranti-Piranti Ukur	24	2.16. Wi-Fi	46
2.4.1. Multimeter	25	2.17. Auto Telephone Recorder	47
2.4.2. Kapasitansi Meter	26	2.18. Wireless Intercom	48
2.5. Piranti-piranti pengukur frekuensi	28	2.19. Telephone Protector	49
2.5.1. Frequency Counter	28	2.20. Rangkuman	50
2.5.2. Function Waveform Generator	29	2.21. Soal Latihan	52
2.5.3. Analog RF Signal Generator	31		

### BAGIAN 3 : DASAR-DASAR SISTEM KOMUNIKASI

3.1. Dasar Komunikasi	53
3.1.1. Elemen Dasar	53
3.1.2. Komunikasi Model Awal	55
3.1.2.1. Maraton	55
3.1.2.2. Telegraf Drum	56
3.1.2.3. Sinyal Api	56
3.1.2.4. Sinyal Asap	57

3.1.2.5.	Bentuk-bentuk lain	57	5.2.3	Pemilihan Dua Kawat atau Empat Kawat	90
3.1.3.	Komunikasi dengan Gelombang Radio	58	5.3.	Channel	91
3.2.	Komunikasi Analog	59	5.4.	Line dan Trunk	91
3.3.	Komunikasi Digital	62	5.5.	Virtual Circuit	93
3.4.	Jaringan Komunikasi	64	5.6.	Media Transmisi	93
3.5.	Rangkuman	67	5.7.	Media Transmisi Guided	95
3.6.	Soal Latihan	68	5.7.1.	Kabel Tembaga	95
			5.7.2.	Twisted Pair	96
			5.7.3.	Kabel Coaxial	97
			5.7.4.	Serat Optik	98
			5.8.	Media Transmisi Unguided	102
			5.8.1.	Gelombang Elektromagnet	102
			5.8.2.	Spektrum Frekuensi Radio	105
			5.9.	Mode Perambatan Gelombang Elektromagnetik	109
			5.10.	Perambatan Gelombang Radio	110
			5.10.1.	Ionosphere	110
			5.10.2.	Gelombang Radio Mikro	112
			5.11.	Sistem Komunikasi Satelit	113
			5.12.	Konstruksi dan pemasangan Kabel	116
			5.12.1.	Pengertian	116
			5.12.2.	Membedakan kabel	117
			5.12.3.	Menentukan Daerah/Blok	118
			5.12.4.	Pekerjaan Instalasi Kabel Udara	119
			5.12.5.	Persiapan Alat Perkakas	119
			5.12.6.	Pelaksanaan Penarikan	120
			5.13.	Rangkuman	121
			5.14.	Soal Latihan	121
<b>BAGIAN 4 : PROPAGASI GELOMBANG RADIO</b>					
4.1.	Prinsip Umum	69			
4.2.	Propagasi Ruang Bebas	69			
4.3.	Propagasi Antar Dua Titik di Bumi	70			
4.4.	Gelombang Permukaan	73			
4.5.	Efek Ketinggian Antena dengan Kuat Sinyal	75			
4.6.	Atmosfir Bumi	75			
4.6.1	Troposfir	78			
4.6.2	Stratosfir	78			
4.6.3	Ionosfir	78			
4.6.4	Propagasi Atmosferik	79			
4.6.4.1.	Pantulan(Refleksi)	80			
4.6.4.2.	Defraksi	81			
4.7.	Daerah dan Jarak Lompatan (Skip)	82			
4.7.1	Jarak Skip	82			
4.7.2	Daerah Skip	82			
4.8.	Pengaruh Atmosfir pada Propagasi	82			
4.8.1	Fading	83			
4.8.1.1	Multipath Fading	83			
4.8.2	Rangkuman	85			
4.8.3	Soal Latihan	86			
			<b>BAGIAN 6 : SISTEM ANTENA</b>		
5.1.	Pendahuluan	87	6.1.	Pendahuluan	123
5.2.	Circuit	88	6.2.	Reciprocity	125
5.2.1.	Pengantar Dua Kawat	89	6.3.	Directivity	127
5.2.2.	Rangkaian Penghantar Dua Kawat	89	6.3.1.	Gain (penguatan antena)	127
			6.3.2	Polarisasi	128
			6.4.	Radiasi Energi Gelombang Elektromagnetik	130
			6.5.	Antena Dipole dan Monopole	133
			6.6.	Menghitung panjang	
<b>BAGIAN 5 : MEDIA TRANSMISI</b>					

gelombang	137
6.7. Beban Antena	138
6.8. Pengaruh Tanah	139
6.9. Antena Very Low Frequency	139
6.10. Antena Low Frequency	142
6.11. Antena High Frequency	143
6.11.1 Antena Yagi	143
6.11.2 Antena Very High Frequency	145
6.11.3 Antena Yagi untuk Band VHF	147
6.12 Rangkuman	148
6.13 Soal Latihan	148

## BUKU JILID II BAGIAN 7 - 12

### BAGIAN 7 : PRINSIP KOMUNIKASI LISTRIK

7.1 Pendahuluan	149
7.2 Proses Komunikasi	151
7.3 Sinyal Bicara dan Musik	152
7.4 Respon Telinga Manusia	152
7.5 Distorsi	154
7.6 Sistem Multiplex	154
7.7 Persyaratan Lebar Bidang	155
7.8 Kecepatan Sinyal	156
7.9 Sinyal Musik	156
7.10 Kapasitas Kanal	157
7.11 Konsep Komunikasi Elektronika	157
7.12. Penerapan Komunikasi Elektronika	160
7.12.1 Telepon	160
7.12.2 Radio	161
7.12.3 Television	164
7.12.4 Telepon Bergerak	165
7.13. Rangkuman	167
7.14 Soal Latihan	167

### BAGIAN 8 : DERAU DALAM SISTEM KOMUNIKASI

8.1. Pertimbangan Umum	169
8.2. Thermal Noise	171
8.3. Shot Noise	172

8.4. Deskripsi Noise	173
8.4.1. Suhu Derau Efektif	173
8.5. Teknik Pengukuran Noise Figure	174
8.6. Performa Derau dalam Sistem Telekomunikasi	176
8.7 Rangkuman	177
8.8 Soal Latihan	177

### BAGIAN 9 : TEKNIK MODULASI

9.1. Prinsip Umum	179
9.1. Modulasi Analog	184
9.2.1 Amplitude Modulation (AM)	185
9.2.2 Frequency Modulation (FM)	188
9.2.3 Pulse Amplitude Modulation (PAM)	189
9.3. Modulasi Digital	190
9.3.1 Amplitude Shift Keying (ASK)	193
9.3.2 Frequency Shift Keying (FSK)	195
9.3.3 Phase Shift Keying (PSK)	197
9.3 Rangkuman	198
9.4 Soal Latihan	199

### BAGIAN 10 : SAMBUNGAN KOMUNIKASI TELEPON

10.1. Sambungan Panggilan Telepon	201
10.2. Jaringan Lokal	202
10.3. Sambungan Mekanik dengan Saklar	203
10.4. Sambungan Mekanik dengan Saklar Crossbar	205
10.5. Fungsi-Fungsi dalam Panggilan Telepon	207
10.6. Transmisi Digital pada Telepon	208
10.7. Switching pada Jaringan Telepon	212
10.8. Signaling pada Jaringan Telepon	216
10.9. Pengembangan Jaringan	220
10.10. Pengembangan Menuju	



Generasi Layanan Terpadu	222	12.2.2. Konsep Circuit Switching	257
10.10. Rangkuman	223	12.2.3. Karakteristik Circuit Switching	258
10.11. Soal Latihan	223	12.3. Space-Division Switching	258
<b>BAGIAN 11 : KOMUNIKASI BERGERAK</b>		12.4. Multistage Switch	259
11.1. Frekuensi Radio Panggil	226	12.5. Time Division Switching	259
11.2. Sistem Telepon Nirkabel untuk Rumah	227	12.6. Fungsi Control Signalling	260
11.3. Sistem Komunikasi Bergerak Selular	228	12.7. Control Signal Sequence	261
11.3.1. Konsep Sistem Komunikasi Selular	228	12.8. Switch to Switch Signaling	261
11.3.2. Tahap Perkembangan Generasi Telepon Selular	228	12.9. Lokasi dari Signaling	262
11.3.3. Sel-sel Menggunakan Kanal Frekuensi Berulang	230	12.9.1. Kelemahan pada Channel Signaling	263
11.3.4. Penduplekan dalam Kawasan Waktu dan Frekuensi	232	12.9.2. Saluran Sinyal yang bersifat umum	263
11.3.5. Perkembangan Sistem Komunikasi Bergerak	232	12.10. Signaling System Number 7 (SS7)	265
10.3.6. Sistem GSM	235	12.11. Paket Switching	266
11.4. Komunikasi Data Nirkabel	238	12.11.1. Prinsip dari Paket Switching	266
11.5. Teknologi Menuju 3G	240	12.11.2. Kelebihan Paket Switching dibanding "Circuit Switching"	268
11.5.1. Munculnya Teknologi 1G	240	12.11.3. Softswitch Architecture	269
11.5.2. Menuju ke Generasi Kedua Telekomunikasi Bergerak	242	12.11.4. Teknik Switching	269
11.5.3. Menuju Generasi dua-Setengah	242	12.11.5. X.25 Protocol	273
11.5.4. Teknologi 3G	243	12.11.6. Ukuran Paket	273
11.5.5. Teknologi 3,5G	247	12.11.7. Operasi Eksternal dan Internal	275
11.5.6. Teknologi 4G	247	12.12. Rangkuman	275
11.6. Rangkuman	250	12.13. Soal Latihan	276
11.7. Latihan	251	<b>BUKU JILID III BAGIAN 13 - 18</b>	
<b>BAGIAN 12 : SWITCHING DALAM SISTEM TELEPON</b>		<b>BAGIAN 13 : SISTEM COMMON CHANNEL SIGNALING SEVEN</b>	
12.1. Pendahuluan	253	13.1. Pendahuluan	277
12.2. Circuit Switching	254	13.2. SS7	279
12.2.1. Aplikasi Circuit Switching	255	13.3. Arsitektur Protokol SS7	283
		13.4. Message Transfer Part (MTP)	284
		13.5. ISUP (ISDN User Parts)	287
		13.6. Rangkuman	289
		13.7. Soal Latihan	289

## BAGIAN 14 : JARINGAN DIGITAL LAYANAN TERPADU

14.1. Pendahuluan	291	15.4.1. Jaringan untuk Perusahaan atau Organisasi	317
14.2. ISDN	293	15.4.2. Jaringan untuk Umum	318
14.3. Arsitektur Broadband ISDN (B-ISDN)	296	15.4.3. Masalah Sosial Jaringan	319
14.4. Struktur Transmisi	296	15.5. Jenis-jenis Jaringan Komputer	319
14.5. Antarmuka Akses Yang Tersedia	298	15.5.1. Local Area Network (LAN)	319
14.6. Model Referensi ISDN	300	15.5.2. Metropolitan Area Network (MAN)	321
14.7. Perangkat Keras (Hardware)	302	15.5.3. Wide Area Network (WAN)	322
14.8. Pesawat Telepon Digital	304	15.5.4. Internet	323
14.9. Hal yang berkaitan dengan ISDN	306	15.5.5. Jaringan Tanpa Kabel	325
14.9.1 Number Identification Supplementary Service	306	15.6. Klasifikasi Jaringan Komputer	328
14.9.2 Call offering Supplementary Service	307	15.7. Standarisasi Jaringan Komputer	329
14.9.3 Call completion Supplementary Service	307	15.8. Sistem Operasi Jaringan	330
13.9.4. Charging Supplementary Service	308	15.8.1. Jaringan Client-Server	331
13.10. Penerapan ISDN dalam jaringan LAN	308	15.8.2. Jaringan Peer To Peer	332
13.10. Rangkuman	310	15.9. Komponen pada Jaringan Komputer (Underlying)	333
13.11. Soal Latihan	311	15.10. Media yang Terpadu (Guided)	333
		15.10.1. Hub	333
		15.10.2. Bridge & Switch	334
		15.11. Media yang tidak Terpadu (Unguided)	337
		15.12. Rangkuman	339
		15.13. Soal Latihan	339

## BAGIAN 15 : JARINGAN DATA DAN INTERNET

15.1. Pendahuluan	313
15.2. Mengapa Jaringan Komputer Dibutuhkan	315
15.3. Tujuan Jaringan Komputer	315
15.3.1. Resource Sharing	316
15.3.2. Reliabilitas Tinggi	316
15.3.3. Menghemat Biaya ( <i>cost reduce</i> )	316
15.3.4. Keamanan Data	316
15.3.5. Integritas Data	317
15.3.6. Komunikasi	317
15.3.7. Skalabilitas	317
15.4. Kegunaan Jaringan Komputer	317

## BAGIAN 16 : JARINGAN LAN DAN WAN

16.1. Local Area Network (LAN)	341
16.2. Network Interace Card	341
16.3. Ethernet	342
16.4. Frame Format (format bingkai)	344
16.5. Implementasi Pada LAN	345
16.6. Fast Ethernet	347
16.7. Token Ring	347
16.8. Fiber Distributed Data Interface (FDDI)	349
16.9. Wide Area Network (WAN)	351
16.10. Connective Device	351
16.11. Topologi Jaringan Komputer	352

16.12. Topologi BUS	353
16.13. Topologi Star	354
16.14. Topologi Ring	355
16.15. Topologi Mesh	356
16.16. Topologi Pohon	357
16.17. Topologi Peer-to-peer Network	358
16.18. Protokol Pada Jaringan	358
16.19. Rangkuman	359
16.20. Soal Latihan	359

### **BAGIAN 17 : PROTOKOL DAN STANDAR JARINGAN**

17.1. Protokol dan Susunan Protokol	361
17.2. Standar Jaringan	365
17.2.1. Organisasi Standar	365
17.2.2. Standart Internet	365
17.2.3. Admisnistrasi Internet	365
17.3. Lapisan Protokol Pada Jaringan Komputer	366
17.4. Protokol OSI (Open System Interconnection)	367
17.4.1. Karakteristik Lapisan OSI	369
17.4.2. Proses Peer-To-Peer	370
17.4.3. Antarmuka Antar Lapisan Terdekat	371
17.4.4. Pengorganisasian Lapisan	371
17.5. Lapisan Menurut OSI	372
17.5.1. Physical Layer (Lapisan Fisik)	372
17.5.2. Data Link Layer (Lapisan Data Link)	373
17.5.3. Network Layer (Lapisan Network)	374
17.5.4. Transport Layer (Lapisan Transpor)	375
17.5.5. Session Layer (Lapisan Session)	376
17.5.6. Presentation Layer (Lapisan presentasi)	377
17.5.7. Application Layer (Lapisan Aplikasi)	378
17.6. Rangkuman	378

17.7. Soal Latihan	379
--------------------	-----

### **BAGIAN 18 : TRANSFER CONTROL PROTOKOL / INTERNET PROTOKOL**

18.1. Sejarah TCP/IP	381
18.2. Istilah-Istilah dalam Protokol TCP/IP	382
18.3. Gambaran Protokol TCP/IP	382
18.3.1 Jaringan Koneksi Terendah	383
18.3.2 Pengalamatan	384
18.3.3 Subnets	384
18.3.4 Jalur-Jalur Tak Berarah	384
18.3.5 Masalah Tak Diperiksa	385
18.3.6 Mengenai Nomor IP	385
18.3.7 Susunan Protokol TCP/IP	386
18.4. Protokol TCP/IP	387
18.5. Pengalamatan	389
18.6. User Datagram Protocol (UDP)	390
18.7. Komunikasi process-to procces	390
18.8. Nomor port	392
18.9. Port-port yang dipakai untuk UDP	392
18.10. Socket Address (Alamat Soket)	392
18.11. User Diagram	393
18.12. Manfaat protokol UDP	394
18.13. Internet protokol (IP)	395
18.14. Datagram	395
18.15. Fragmentasi	399
18.16. IP Address	403
18.16.1 Notasi Digital	403
18.16.2 Kelas-Kelas pada Jaringan Komputer (address IP)	404
18.16.3 Alamat Khusus	406
18.16.4 Alamat Jaringan	407
18.16.5 Studi Kasus	409
18.17. Subnetting dan Supernetting	410
18.17.1 Subnetting	410
18.17.2 Masking	412
18.17.3 Supernetting	413

18.17.4	Supernet Mask	413
18.18	Rangkuman	414
18.19	Soal Latihan	415

<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>A</b>
-----------------	-------	----------

# BAGIAN 7

## PRINSIP KOMUNIKASI LISTRIK

### Tujuan

Setelah mempelajari bagian ini diharapkan dapat:

1. Menyebutkan prinsip umum sinyal bicara dan musik
2. Mengetahui Distorsi
3. Mengetahui tentang tranmisi informasi
4. Mengetahui tentang kapasitas kanal

### 7.1. Pendahuluan

Dalam setiap komunikasi salah satunya selalu diperlukan sumber informasi yang penting. Ada dua macam sumber informasi, yaitu ide-ide yang bersumber dari otak manusia dan perubahan-perubahan yang terjadi dalam lingkungan fisik sekitar kita. Informasi mengalir hanya mungkin bila sumbernya menghasilkan keadaan perubahan kontinyu atau terus menerus. Informasi harus dikodekan atau diproses sebelum ditransmisikan dan juga diperlukan piranti pengubah (transducer) yang sesuai dengan sistemnya. Secara umum setiap sistem komunikasi akan membutuhkan peralatan-peralatan yang berkaitan dengan pengolahan informasi. Komponen komunikasi

adalah hal-hal yang harus ada agar komunikasi bisa berlangsung dengan baik. Menurut Laswell komponen-komponen komunikasi adalah:

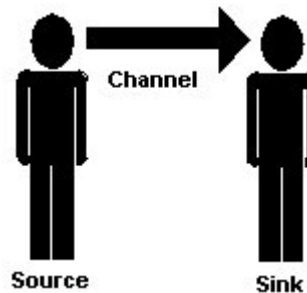
1. Pengirim atau komunikator (*sender*) adalah pihak yang mengirimkan pesan kepada pihak lain.
2. Pesan (*message*) adalah isi atau maksud yang akan disampaikan oleh satu pihak kepada pihak lain.
3. Saluran (*channel*) adalah media dimana pesan disampaikan kepada komunikan. dalam komunikasi antar-pribadi (tatap muka) saluran dapat berupa udara yang mengalirkan getaran nada/ suara.

4. Penerima atau komunikan (*receiver*) adalah pihak yang menerima pesan dari pihak lain
5. Umpan balik (*feedback*) adalah tanggapan dari penerimaan pesan atas isi pesan yang disampaikannya.

Komunikasi terjadi bilamana informasi ditransmisikan atau dikirimkan antara sumber informasi dan pengguna informasi. Tiga komponen pokok sistem informasi yaitu sumber (*source*), kanal (*channel*) sebagai media komunikasi dan penerima (*sink*, *receiver*, *user*, *distination*) menunjukkan satu keseluruhan sistem informasi. Bila informasi diubah menjadi "bahasa" yang dapat dipahami oleh "mesin", maka ia akan menjadi data. Transmisi data terjadi bila data dipindahkan secara elektronika antara dua titik. Hasil dari sistem informasi elektronika dapat berupa sistem

telemetri, sistem digital/komputer atau sistem telekomunikasi.

Secara listrik komunikasi itu dapat berlangsung dengan baik apabila ada piranti yang dapat mengubah informasi dalam bentuk listrik, menyalurkan, dan mengubah kembali dalam bentuk sinyal semula. Setidaknya sistem komunikasi secara listrik meliputi komponen seperti:



Gambar 7.1. Pengiriman pesan dari sumber ke penerima

1. Sumber informasi (*source*),
2. Coder (pembuat kode), atau transduser, untuk mengubah informasi menjadi bentuk-bentuk sinyal yang sesuai untuk ditransmisikan,
3. Sistem transmisi (*channel*),
4. Decoder (kebalikan dari *coder*), atau transduser untuk menghasilkan kembali sinyal dalam bentuk yang sesuai agar dapat diterima,
5. Penerima informasi (*receiver*, *sink*, *listener*).

Dalam sistem radio, pengkode dipengaruhi oleh modulasi pada bagian pemancar, sementara dekoding akan mengubah kembali sinyal pada bagian demodulator sistem penerima. Baik koding maupun dekoding harus dibedakan untuk sumber-sumber sinyal yang berbeda. Proses komunikasi semacam ini tentu dengan anggapan bahwa sinyal tidak terjadi kecacatan (distorsi) pada kanal. Di samping itu juga tidak muncul gangguan yang berasal dari luar sistem seperti derau (noise) statik, interferensi dari sistem kabel daya listrik, gerakan acak elektron pada resistor, tabung hampa, transistor dan sebagainya.

Untuk memahami masalah ini, maka pengetahuan tentang sinyal sangat diperlukan. Sebagai contoh untuk komunikasi telepon tentu yang menjadi sumber informasi adalah suara, untuk sistem televisi harus memahami bagaimana suara dan gambar sebagai informasi itu diolah, dalam sistem radar diperlukan pemahaman tentang pulsa, dan sebagainya.

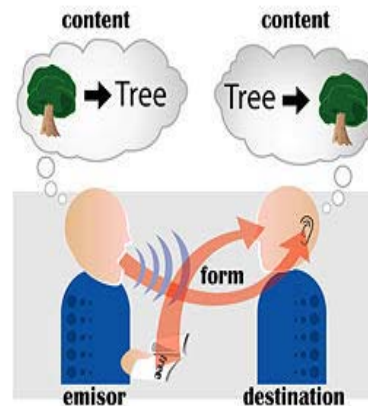
## 7.2. Proses komunikasi

Secara ringkas, proses berlangsungnya komunikasi bisa dijabarkan dalam komponen-komponen yang terpisah seperti berikut.

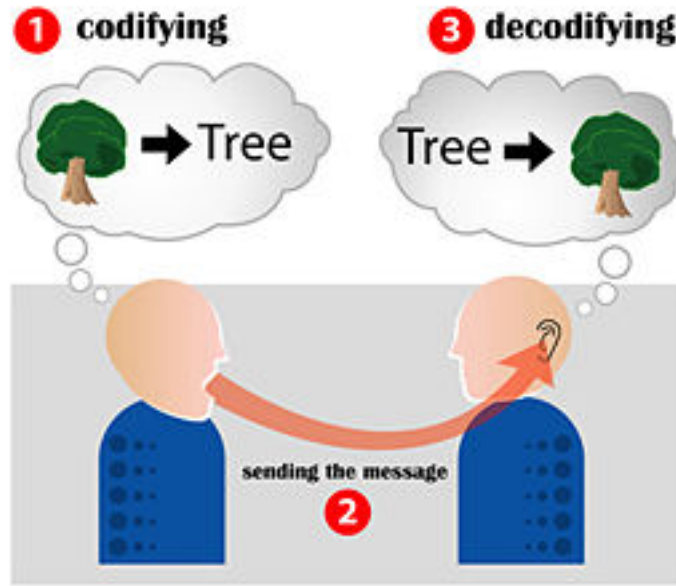
1. Komunikator (*sender*) yang mempunyai maksud berkomunikasi dengan orang lain mengirimkan suatu pesan ke-

pada orang yang dimaksud. Pesan yang disampaikan itu bisa berupa informasi dalam bentuk bahasa ataupun lewat simbol-simbol yang bisa dimengerti kedua pihak.

2. Pesan (*message*) itu disampaikan atau dibawa melalui suatu media atau saluran baik secara langsung maupun tidak langsung. Contohnya berbicara langsung melalui telepon, surat, email, atau media lainnya.
3. Komunikan (*receiver*) menerima pesan yang disampaikan dan menerjemahkan isi pesan yang diterimanya ke dalam bahasa yang dimengerti kedua pihak.
4. Komunikan (*receiver*) memberikan umpan balik (*feedback*) atau tanggapan atas pesan yang dikirimkan kepadanya, apakah dia mengerti atau memahami pesan yang dimaksud oleh si pengirim.



Gambar 7.2. Memahami pesan yang disampaikan



Gambar 7.3. Mengubah informasi menjadi pesan

### 7.3. Sinyal bicara dan musik

Sinyal bicara dan musik bunyi atau suara adalah kompresi me-kanikal atau gelombang *longitudinal* yang merambat melalui medium. Medium atau zat perantara ini dapat berupa zat cair, padat, gas. Jadi, gelombang bunyi dapat merambat misalnya di dalam air, batu bara, atau udara.

Kebanyakan suara adalah merupakan gabungan berbagai sinyal, tetapi suara murni secara teoritis dapat dijelaskan dengan kecepatan osilasi atau frekuensi yang diukur dalam Hertz (Hz) dan amplitudo atau kenyaringan bunyi dengan pengukuran dalam desibel.

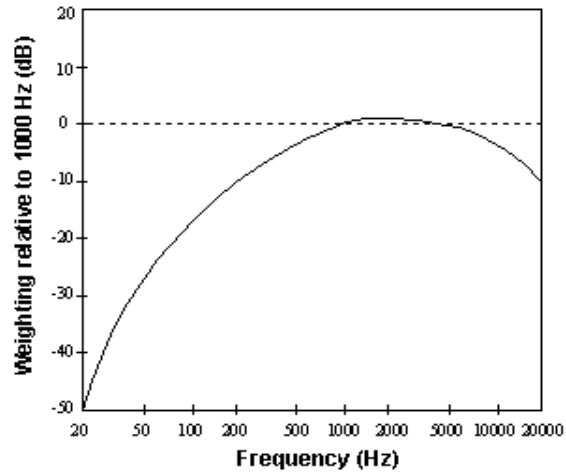
Manusia mendengar bunyi saat gelombang bunyi, yaitu getaran di udara atau medium lain, sampai ke gendang telinga

manusia. Batas frekuensi bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia kira-kira dari 20 Hz sampai 20 kHz pada amplitudo umum dengan berbagai variasi dalam kurva responsnya. Suara di atas 20 kHz disebut ultrasonik dan di bawah 20 Hz disebut infrasonik.

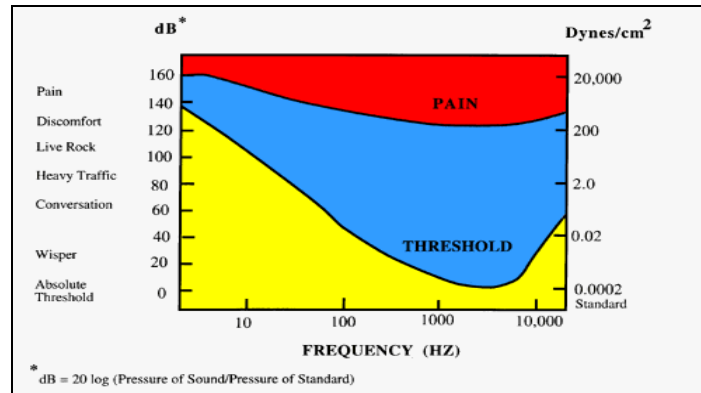
### 7.4. Respon telinga manusia

Suatu percobaan yang dilakukan oleh Fletcher dan Munson, menetapkan bahwa telinga manusia tidak responsif secara sama pada semua frekuensi. Disebutkan pula bahwa dalam pengamatannya telinga manusia tidak ada sensasi untuk amplitudo rendah yang disebut sebagai ambang pendengaran (*threshold audibility*). Mengingat hal tersebut, para perancang memerlukan pengetahuan yang





Gambar 7.4. Respon telinga manusia frekuensi 20 Hz-20KHz.

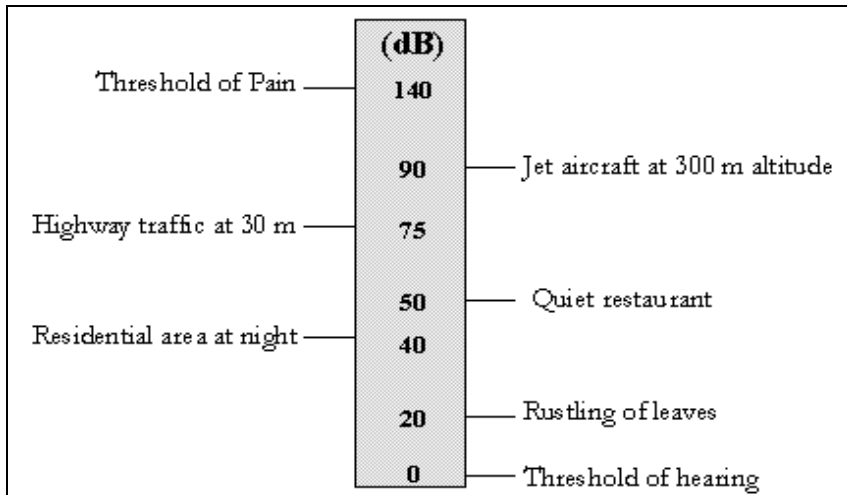


Gambar 7.5. Kondisi telinga manusia menangkap suara

berkaitan tidak hanya level tetapi juga tentang frekuensi.

Suatu metoda yang digunakan dalam memahami respon telinga manusia digunakan *A-weighted*. Cara ini diketahui bahwa telinga manusia sensitif terhadap frekuensi 20 Hz-20 KHz. Sementara itu dengan noise-noise yang terjadi telinga manusia dapat

merespon bergantung kepada frekuensi di mana telinga masih dapat menangkapnya. Gambar 7.5 di atas menunjukkan ukuran kuat sinyal yang dapat mempengaruhi respon telinga manusia. Sebagai contoh pesawat terbang jet yang terbang di atas ketinggian 300 meter mempunyai kuat sinyal 90 dB.



Gambar 7.6. Kuat sinyal untuk beberapa obyek yang dapat direspon telinga

### 7.5. Distorsi

Dengan mempertimbangkan kelayakan secara teknis dan ekonomis, dalam sistem komunikasi harus dijaga bentuk-bentuk sinyal dan menghindari adanya distorsi. Distorsi dapat dibedakan menjadi :

1. Distorsi frekuensi, ini merupakan timbulnya perubahan amplitudo relatif dari komponen-komponen frekuensi yang berbeda.
2. Distorsi tunda, ini berkaitan dengan perubahan waktu transmisi dari komponen-komponen frekuensi yang berbeda.
3. Distorsi non-linear, merupakan distorsi pada piranti yang tidak linear. Besar sinyal pada output tidak berbanding secara langsung terhadap inputnya.

Frekuensi-frekuensi yang tidak dikehendaki seperti adanya distorsi di atas dapat dibetulkan dengan menggunakan rangkaian ekualisasi. Sementara itu bila distorsi terjadi pada karena piranti non linear, maka koreksinya menggunakan tapis (filter).

### 7.6. Sistem multipleks

Ada dua jenis cara kerja multi kanal, yaitu sebagai berikut :

1. Sistem pembagian frekuensi (*Frequency division system*), sistem ini menggunakan banyak kelompok sub-pembawa. Masing-masing pembawa dipisahkan dengan cara pemodulasian. Pengelompokan ini berjenjang, semakin banyak kelompok semakin tinggi frekuensi pembawa yang digunakan.

2. Sistem pembagian waktu atau *time division system*, masing-masing kanal menerapkan bandwidth yang tersedia tetapi untuk waktu sempit. Pada akhirnya keseluruhan spektrum dialokasikan untuk masing-masing kanal.

### 7.7. Persyaratan lebar bidang

Persyaratan lebar bidang dimaksudkan untuk memberikan alokasi bidang frekuensi bagi suatu sistem dalam komunikasi. Lebar bidang yang dipersyaratkan itu di antaranya adalah :

1. Sinyal telegraf.  
Kecepatan telegraf sering dinyatakan dalam istilah dalam waktu bolak-balik dalam satuan detik. Dalam kaitan signaling kecepatan ini dinyatakan dengan istilah Baud. Elemen paling pendek adalah 20 milidetik, di mana pada jarak itu ada dua pulsa positif dan negatif. Untuk itu besar frekuensi dapat dinyatakan dengan:

$$f = \left( \frac{1}{40 \times 10^{-3}} \right) = 25 \text{ Hz}$$

Dengan demikian lebar bidangnya menjadi 50 Hz, ini sesuai dengan kecepatan transmisi 50 baud.

2. Sinyal telegraf gambar

Sinyal telegraf gambar mempunyai prinsip bahwa gambar di-scan secara seri mengikuti garis-garis. Karena itu diperlukan adanya sinkronisasi dari titik lampu scan pada penerima. Resolusi sepanjang garis sering dipersyaratkan sama untuk garis demi garis.

3. Sinyal televisi  
Pada sinyal televisi prinsipnya adalah sistem scanning juga. Untuk menghasilkan gambar yang baik, maka antara garis-garis yang menyusun gambar harus di scan secara berurutan. Ada dua jenis televisi yaitu televisi analog dan televisi digital. Pada prinsipnya lebar bidang untuk televisi dialokasikan sebesar 6,5 Mhz, bergantung kepada sistem scanning mana yang digunakan. Televisi digital (bahasa Inggris: *Digital Television*, DTV) adalah jenis TV yang menggunakan modulasi digital dan sistem kompresi untuk menyebarluaskan video, audio, dan signal data ke pesawat televisi.

Latar belakang pengembangan televisi digital :

- Perubahan lingkungan eksternal pasar TV analog yang sudah jenuh, komplain adanya noise, *ghost* dan lain-lain.
- Kompetisi dengan sistem penyiaran satelit dan kabel.
- Perkembangan teknologi pemrosesan sinyal digital (*digital signal processor*), teknologi

transmisi digital, Teknologi semikonduktor, Teknologi peralatan display yang beresolusi tinggi.

**Keunggulan televisi digital**

1. Gambar halus (High Definition). 5~6 kali lebih halus dibanding televisi analog
2. Suara jernih. Kemampuan mereproduksi suara seperti sumber aslinya
3. Banyak fungsi. Memberi kemampuan untuk merekam dan mengedit siaran
4. Banyak kanal.

**7.8. Kecepatan sinyal**

Meskipun lebar bidang disediakan kira-kira 10 Khz sebagai persyaratan untuk

kualitas suara yang tinggi, biasanya suara yang dapat dikenali hanya membutuhkan rentang antara 300 Hz sampai dengan 3400 Hz. Rentang ini setara dengan konversi kecepatan 100 kata/menit. Kecepatan pesan akan menjadi (1/40) kata/menit/siklus pada sistem lebar bidang 4 Khz.

**7.9. Sinyal musik**

Instrumen musik menghasilkan harmonisa. Jumlah dan amplitudo menentukan kualitas sinyal out musik. Untuk memenuhi tingkat kualitas yang baik, lebar frekuensi disediakan antara 30 Hz hingga 15 KHz. Dengan lebar bidang ini telinga manusia sudah merespon sebagai sinyal dengan kualitas yang baik.

Tabel 7.1. Perbandingan resolusi TV dengan PC

TV resolution vs. PC resolution			
SD	VGA	640X480	Video Graphics Array
SD	SVGA	800X600	Super VGA
HD	XGA	1024X768	Extended VGA
HD	SXGA	1280X4024	Super EVGA
HD	UXGA	1600X1200	Ultra EVGA

High resolution = high picture quality

Analogue TV (150.000 piksel)

Digital TV (SD: 640x480; 300.000 piksel. HD : 1024x768; 1.050.000 piksel)

## 7.10. Kapasitas kanal

Dengan mempertimbangkan semua kemungkinan multi level dan teknik *encoding multiphase*, Shanon-Hartly menyatakan teorema yang dikenal dengan kapasitas kanal C.

Ini berarti bahwa secara teori sinyal bersih dengan kecepatan untuk sinyal itu data dapat dikirimkan dengan daya rata-rata sinyal S pada kanal komunikasi analog yang dikaitkan dengandaya N additive white Gaussian noise, maka :

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

Di mana:

C adalah channel capacity dalam bits per second;

B adalah bandwidth kanal dalam hertz;

S adalah daya sinyal total pada lebar bidang, diukur dalam watt atau volt<sup>2</sup>;

N adalah daya derau total pada lebar bidang, diukur dalam watt atau volt<sup>2</sup>; dan

S/N adalah *signal-to-noise ratio* (SNR) atau *carrier-to-noise ratio* (CNR) dari sinyal komunikasi terhadap interferensi Gaussian noise dinyatakan sebagai *straight power ratio* (tidak decibels).

## 7.11. Konsep komunikasi elektronika

Hampir semua sistem komunikasi elektronika menggunakan gelombang elektromagnet. Gelombang elektromagnet adalah suatu perubahan yang terdiri dari dua komponen gelombang atau osilasi listrik dan magnet yang dapat menjalar melalui ruang hampa, udara atau bahan tak menghantar lainnya. Spektrum elektromagnet adalah suatu rentang gelombang yang mempunyai rentang lebar panjang gelombang dan frekuensi.

Bagian dari spektrum elektromagnet yang digunakan untuk komunikasi elektronika adalah :

1. Infra merah  
spektrum ini digunakan untuk serat optik dan *remote control* yang dipakai pada umumnya.



Gambar 7.7. Remote control

2. Gelombang mikro  
Spektrum ini digunakan untuk komunikasi satelit, dan beberapa saluran telepon serta untuk sambungan internet.

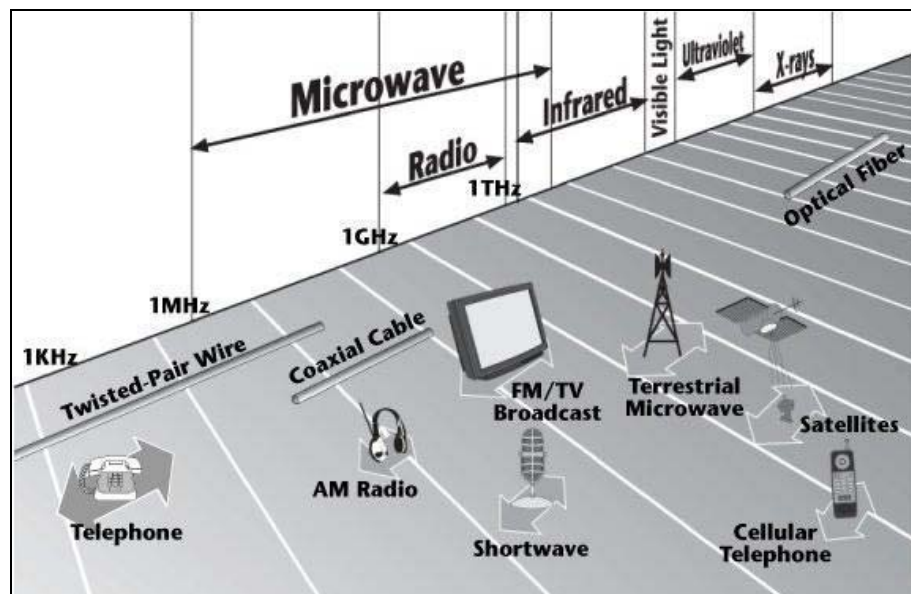


Gambar 7.8. Parabola untuk menerima gelombang mikro



Gambar 7.9 Beberapa jenis *mobile phone*

3. Gelombang radio  
Spektrum ini digunakan untuk sistem radio, televisi, telepon bergerak, jaringan komputer nirkabel (tanpa kabel)



Gambar 7.10. Piranti telekomunikasi dan spektrum gelombang elektromagnet

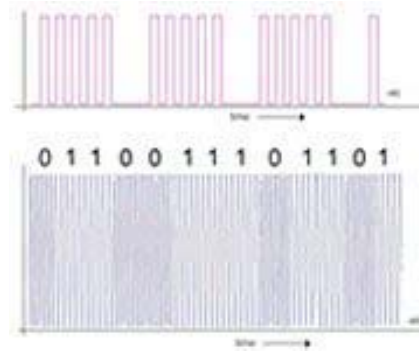
Kunci konsep komunikasi elektronika adalah pada *modulasi*. Modulasi dapat digambarkan sebagai cara-cara bagaimana informasi dipindahkan dari bentuk sinyal informasi yang frekuensinya relatif rendah menjadi gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang lebih tinggi. Gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi ini berperan sebagai "pembawa" atau *carrier*.

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memodulasi sinyal pembawa oleh sinyal informasi. Pada prinsipnya sinyal pembawa dimodifikasi atau diubah oleh sinyal informasi pada bagian "*sender*" dan pembawa yang termodifikasi itu tadi dideteksi kembali pada "*receiver/listener*" untuk menemukan sinyal informasi kembali.

Sinyal informasi yang digunakan untuk memodulasi pembawa dapat berbentuk digital atau analog.

- Sinyal informasi digital menghasilkan pembawa dengan salah satu dari dua kemungkinan, yaitu :

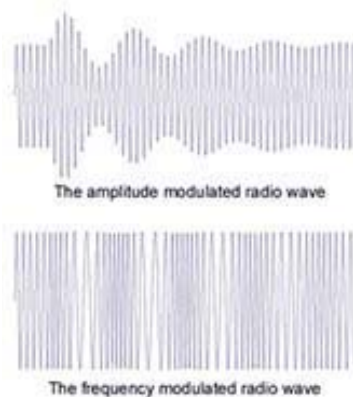
1. Pulsa atau cahaya inframerah pada kondisi "on" untuk digital "1" dan kondisi "off" untuk "0".
2. Gelombang radio untuk suatu frekuensi mewakili digital "1" dan frekuensi yang lain untuk digit "0"



Gambar 7.11. Sinyal informasi digital

- Sinyal informasi analog menghasilkan pembawa yang berubah-ubah naik turun mengikuti perubahan sinyal analog, yaitu :

1. Gelombang radio dengan amplitudo berubah mengikuti perubahan sinyal informasi analog. Ini disebut sistem modulasi amplitudo (AM).
2. Gelombang radio dengan frekuensi berubah mengikuti perubahan sinyal informasi analog. Ini disebut sistem modulasi frekuensi (FM).



Gambar 7.12. Sinyal informasi analog



## 7.12. Penerapan komunikasi elektronika

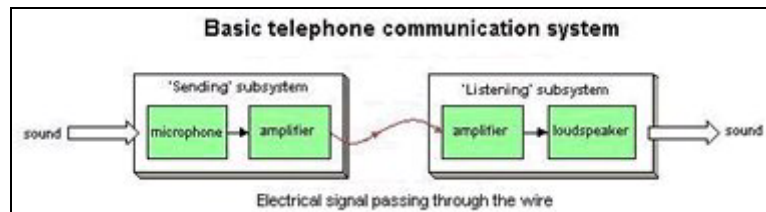
### 7.12.1. Telepon

Sistem komunikasi elektronika ini yang telah lama digunakan dan mempunyai pengaruh yang luas sebagai alat komunikasi antar manusia. Awalnya adalah telepon yang dipakai di rumah-rumah, dalam perkembangannya telepon tersebut sudah dapat dibawa ke mana-mana.

Dasar kerja telepon adalah sangat sederhana. Blok diagramnya ditunjukkan seperti di bawah.

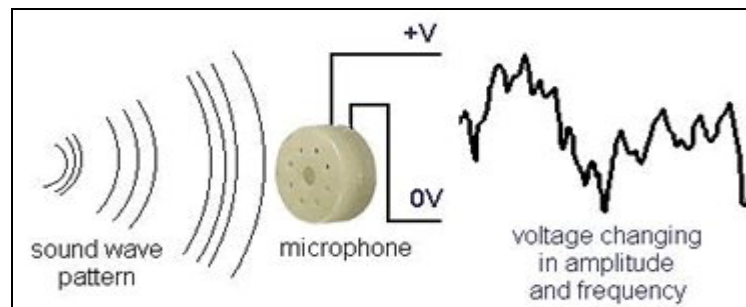


Gambar 7.13. Pesawat telepon



Gambar 7.14. Blok diagram sistem komunikasi telepon

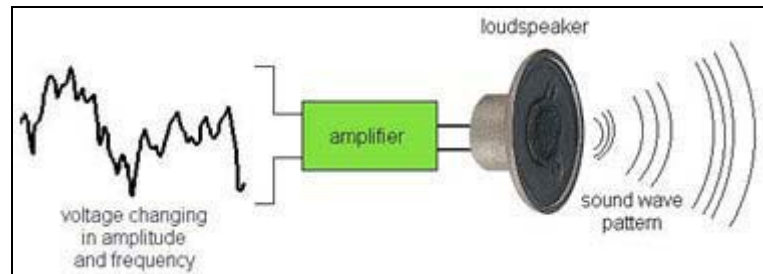
- Gelombang suara digetarkan dan menjalar melalui udara
- Gelombang suara ditangkap oleh mikropon. Mikropon kemudian mengubah getaran itu menjadi sinyal elektronik analog dengan frekuensi yang sama seperti getaran suara tadi, dan amplitudonya sebanding dengan amplitudo gelombang suara.



Gambar 7.15. Mikropon mengubah gelombang suara



- Sinyal listrik kemudian ditransmisikan sepanjang kawat penghantar (bila jarak tidak terlampau jauh)
- Pada bagian yang lain, sinyal listrik dikuatkan
- Hasil penguatan diumpankan ke *loudspeaker* (pengeras). Bagian ini adalah kebalikan dari kerja mikropon, mengubah sinyal listrik kembali menjadi suara.



Gambar 7.16. Speaker mengubah sinyal listrik

- Sistem telepon yang utuh selalu mempunyai bagian pengirim dan bagian penerima.

Dalam sistem telepon yang sesungguhnya, suara yang dihasilkan pada bagian penerima akan sama dengan suara saat dikirimkan melalui mikropon. Ada dua alasan sehingga penggunaan sistem tersebut tidak menjadi kendala:

1. Derau (*noise*) listrik tidak begitu mengganggu
2. Telinga manusia dapat mendeteksi gelombang suara dengan frekuensi berkisar 20 Hz – 20.000 Hz. Untuk menyederhanakan sistem, telepon hanya men-transmisikan signal listrik 400 Hz - 4000 Hz. Dengan rentang ini suara seseorang sudah dapat dikenali karena nampak berbeda.

### 7.12.2. Radio

Radio adalah sistem komunikasi elektronika pertama kali yang memanfaatkan jalur komunikasi dengan pendengar lebih banyak. Perhatikan kembali gambar 7.10. pada pemanfaatan spektrum frekuensi untuk radio broadcast.



Gambar 7.17. Pesawat radio

Istilah 'radio' dulunya adalah merujuk pada 'gelombang radio', karena sistem ini menggunakan spektrum gelombang radio. Sekarang ini istilah radio dapat diartikan sebagai gelombang dan sebagai piranti atau pesawat yang dapat menangkap sinyal suara atau musik.

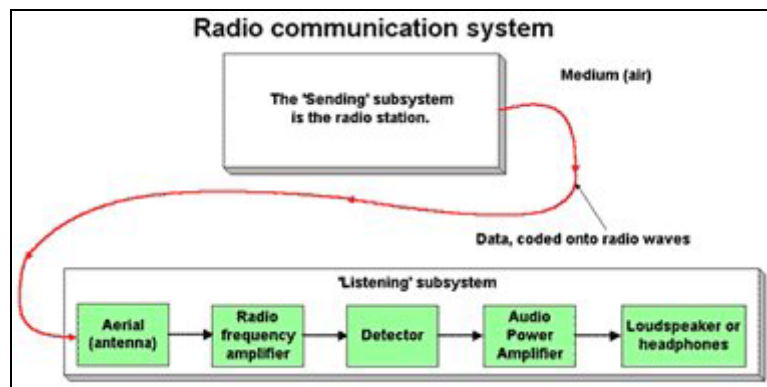
Sistem radio dirancang pertama kali menggunakan suatu prinsip :

- Mengubah sinyal suara menjadi sinyal listrik
- Menguatkan sinyal suara listrik itu dan memancarkannya melalui antena
- Mendeteksi gelombang pancaran radio dan mengubahnya kembali menjadi suara

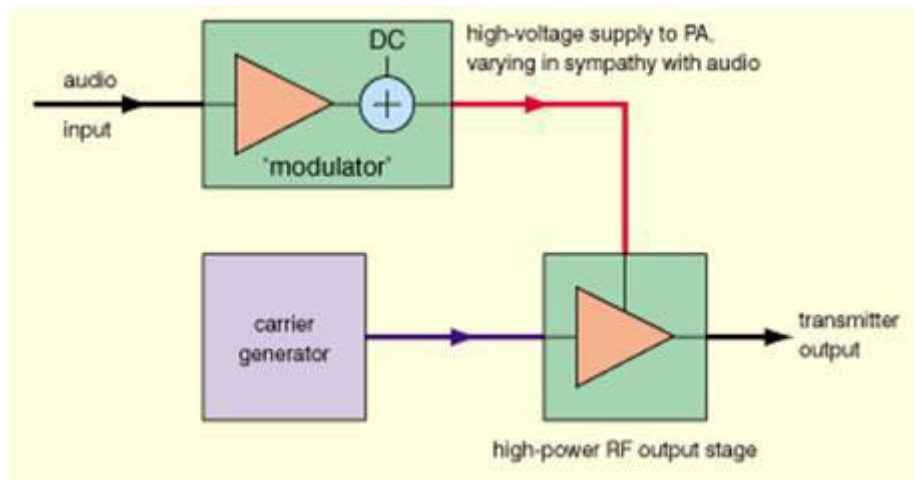
Dengan prinsip yang dirancang itu sayangnya tidak dapat dipraktek-kan. Alasannya

adalah sinyal suara itu mempunyai rentang 20 Hz sampai 20.000 Hz. Bila semua stasiun pemancar radio menggunakan rentang frekuensi tersebut, maka satu stasiun akan mengganggu stasiun yang lainnya.

Penyelesaiannya yaitu dengan cara menempatkan suatu stasiun radio pada frekuensi tertentu yang tidak sama dengan stasiun yang lain. Frekuensi ini adalah frekuensi pembawa sinyal yang besarnya lebih tinggi dari frekuensi yang dapat ditangkap oleh telinga manusia. Frekuensi pembawa akan membawa sinyal suara untuk dipancarkan. Proses penumpangan sinyal suara ini dikatakan sebagai proses modulasi. Dengan cara ini maka apabila ada penalaan radio (*tuning*), pada dasarnya adalah mengubah frekuensi pembawa.

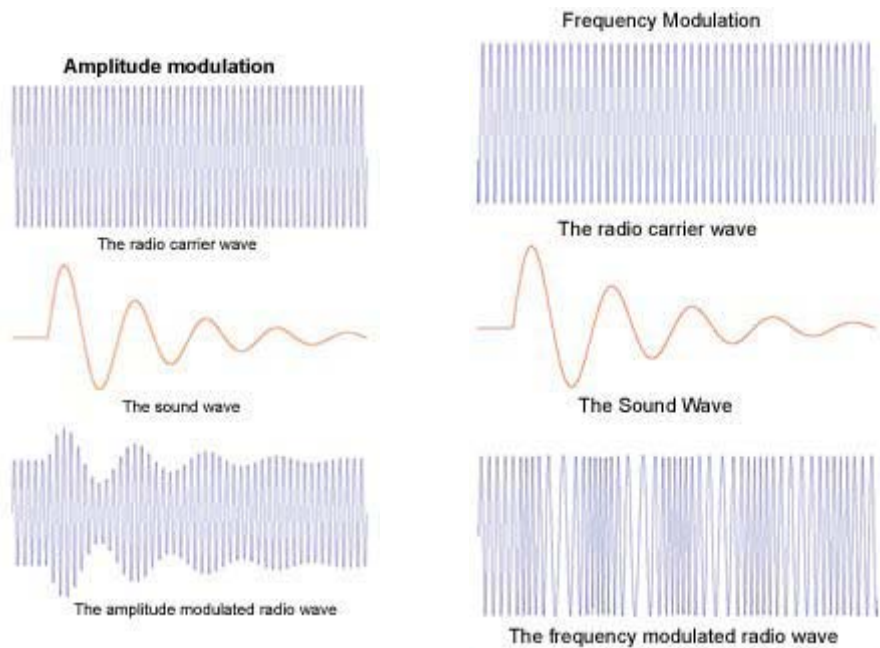


Gambar 7.18. Blok diagram sistem komunikasi radio



Gambar 7.19. Sistem blok sistem pemodulasian sinyal suara

Proses modulasi ada dua jenis, yaitu modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi. Perhatikan perbedaan dari gambar sinyal yang termodulasi berikut ini.



Gambar 7.20. Sinyal termodulasi amplitudo dan termodulasi frekuensi

### 7.12.3. Television

Televisi merupakan suatu piranti elektronika yang secara luas digunakan sebagai alat untuk komunikasi. Sistem televisi ada pemancaran sinyal gambar dan suara secara bersamaan pada lebar bidang yang sama, tetapi berbeda frekuensi pembawanya. Pemancaran sinyal pada sistem televisi hampir mirip dengan pemancaran sinyal radio. Pemancaran sinyal televisi membutuhkan kamera untuk mengubah gambar atau obyek menjadi sinyal listrik dan mikropon untuk mengubah suara menjadi sinyal listrik. Kedua sinyal secara bersama-sama dimodulasikan secara amplitudo (AM) yang selanjutnya dikuatkan dan baru kemudian dipancarkan.

Pada bagian penerima terjadi proses yang berlawanan dengan pemancar. Bagian ini membutuhkan layar (tabung gambar) untuk menerima sinyal gambar yang kemudian diubah menjadi gambar atau obyek sebagaimana yang telah ditangkap oleh kamera. Untuk mendengarkan

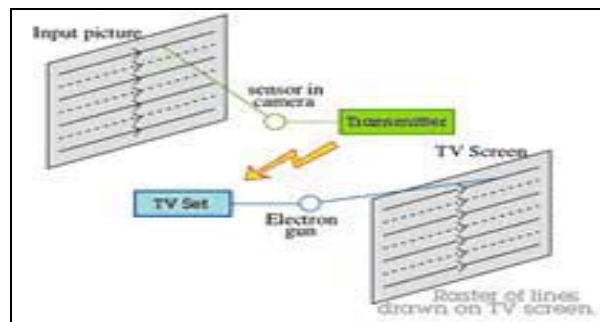
suara dibutuhkan *speaker* seperti pada radio.



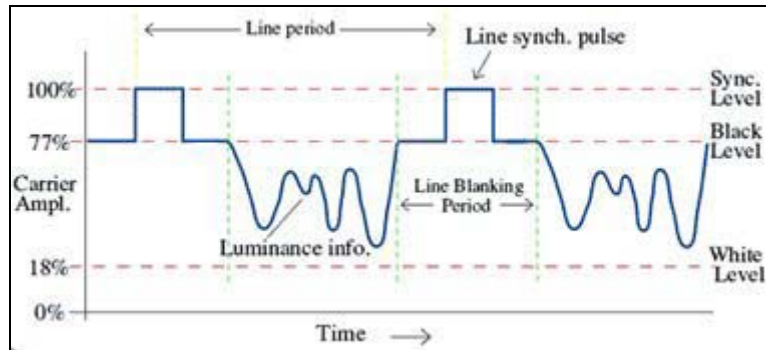
Gambar 7.21. Pesawat televisi tahun 1950-an



Gambar 7.22. Pesawat televisi lebih maju



Gambar 7.23. Proses perubahan sinyal gambar



Gambar 7.24. Contoh sinyal modulasi pada sistem televisi

#### 7.12.4. Telepon Bergerak

Piranti telepon bergerak adalah suatu jenis alat komunikasi yang kecil dan mudah digunakan. Sekalipun demikian teknologi yang dipakai sudah menunjukkan teknologi yang maju.



Gambar 7.25. Telepon bergerak



Gambar 7.26. Rangkain dalam telepon bergerak

Telepon bergerak menggunakan frekuensi radio untuk memindahkan informasi dari telepon itu menuju ke *base station*. Ini menunjukkan bahwa komunikasi antara *base station* dengan telepon bergerak diorganisasikan begitu juga mengkode sinyal menjadi data pada gelombang

radio. Setiap sistem telepon bergerak yang dipakai oleh negara-negara yang berbeda mempunyai sistem yang berbeda. Kebanyakan sistem yang dipakai di banyak negara adalah *Global System for Mobile communication (GSM)*.

Banyak pengguna memanfaatkan telepon bergerak sebagai alat komunikasi. Sekalipun demikian, tidak akan pernah terjadi benturan frekuensi ketika telepon itu digunakan secara bersamaan. Pertanyaannya mengapa sinyal radio dari telepon-telepon itu tidak saling interferensi atau mengganggu satu sama lain?



Gambar 7.27. Heksagonal pada base station

Salah satu aspek kunci dalam telepon bergerak adalah

penggunaan frekuensi yang berulang (*frequency reuse*). Setiap daerah dibagi-bagi dalam luasan berbentuk heksagonal dan jarak antar daerah ini dapat beberapa kilo-meter. Pada titik tengah heksagonal itu ditempatkan *base station*. Setiap *base station* di-alokasikan suatu rentang frekuensi radio yang dapat digunakan. Antar *base station* yang berdekatan, tidak mungkin saling terganggu (*interferensi*) karena digunakan rentang frekuensi yang berbeda.

Pada jarak tertentu dalam beberapa kilometer sinyal yang dipancarkan sudah barang tentu dayanya akan menjadi lemah dan akhirnya hilang. Oleh karena itu perlu ada *base station* lagi. Untuk itu dapat digunakan frekuensi yang sama milik base station yang pernah digunakan. Dalam gambar ditandai dengan warna-warna yang sama.

### 7.13. Rangkuman

Dalam setiap komunikasi salah satunya selalu diperlukan sumber informasi yang penting. Ada dua macam sumber informasi, yaitu ide-ide yang bersumber dari otak manusia dan perubahan-perubahan yang terjadi dalam lingkungan fisik sekitar kita. Informasi mengalir hanya mungkin bila sumbernya menghasilkan keadaan perubahan kontinyu. Informasi harus dikodekan atau diproses sebelum ditransmisikan dan juga diperlukan piranti pengubah (*transducer*) yang sesuai dengan sistemnya. Secara umum setiap sistem komunikasi akan membutuhkan peralatan-peralatan yang berkaitan dengan pengolahan informasi.

Komponen komunikasi adalah hal-hal yang harus ada agar komunikasi bisa berlangsung dengan baik. Menurut Laswell komponen-komponen komunikasi adalah :

1. Pengirim atau komunikator (*sender*) adalah pihak yang mengirimkan pesan kepada pihak lain.
2. Pesan (*message*) adalah isi atau maksud yang akan disampaikan oleh satu pihak kepada pihak lain.
3. Saluran (*channel*) adalah media dimana pesan disampaikan kepada komunikan. dalam komunikasi antarpribadi (tatap muka) saluran dapat berupa udara yang mengalirkan getaran nada/ suara.
4. Penerima atau komunikate (*receiver*) adalah pihak yang menerima pesan dari pihak lain
5. Umpan balik (*feedback*) adalah tanggapan dari penerimaan pesan atas isi pesan yang disampaikannya.

### 7.14. Soal latihan

Coba kerjakan soal latihan di bawah ini

1. Jika SNR 20 dB, dan bandwidth yang tersedia adalah 4 khz, untuk sebuah pesawat telepon, dengan nilai  $C = 4 \log_2(1 + 100) = 4 \log_2(101) = 26.63$  kbit/s. Buktikan bahwa nilai S/N = 100 adalah ekivalen dengan SNR 20 dB.



# BAGIAN 8

## DERAU DALAM SISTEM KOMUNIKASI

### Tujuan

Setelah mempelajari bagian ini diharapkan dapat:

1. Mengetahui macam-macam derau dalam sistem telekomunikasi.
2. Memahami persamaan derau dalam sistem telekomunikasi.
3. Mengetahui pengaruh derau dalam sistem telekomunikasi.

### 8.1. Pertimbangan Umum

Derau atau yang sering dikenal dengan *noise* merupakan sebuah sinyal yang tidak diinginkan dalam sistem komunikasi atau sebuah informasi. Komponen elektronika pada dasarnya terbuat dari bahan-bahan yang memiliki muatan listrik. Muatan listrik ini ada karena pergerakan elektron dalam komponen. *Noise* mengacu pada sinyal listrik acak yang tidak bisa diprediksi, yang dihasilkan oleh sumber alam, baik internal maupun eksternal (dari luar sistem). Ada satu macam *noise* yang selalu hadir dalam setiap sistem komunikasi, yaitu thermal noise. *Thermal noise* selalu hadir dengan alasan bahwa pada suatu temperatur di atas nol absolut ( $0^{\circ}\text{K}$ ), energi termal/panas

menyebabkan partikel bergerak secara acak (*random motion*). Gerakan acak dari partikel bermuatan, seperti elektron, pada suatu konduktor menghasilkan arus atau tegangan acak yang menghasilkan thermal noise. Dengan kata lain, materi penyusun, perubahan suhu, perubahan muatan listrik adalah penyebab utama derau.

Dalam sistem komunikasi, sinyal selalu mengalami degradasi (penurunan) mutu. Degradasi ini, selain diakibatkan oleh noise, juga berasal dari distorsi dan inter-ferensi yang bisa mengubah bentuk sinyal. Walaupun kontak-minasi sinyal bisa terjadi pada tiap elemen komunikasi, tapi konvensi standar menyatakan bahwa secara



keseluruhan penyebab itu ditimpakan pada kanal. Distorsi adalah gangguan pada bentuk gelombang karena sistem memberi respon yang tidak tepat terhadap sinyal itu sendiri.

Distorsi linear bisa diperbaiki dengan menggunakan filter khusus yang disebut *equalizer*. Interferensi adalah kontaminasi oleh sinyal lain yang berasal dari pemancar lain, *power lines*, *switching circuit* dan sebagainya. Interferensi paling sering terjadi dalam sistem radio. *Radio Frequency Interference* (RFI) juga muncul dalam media kabel jika kabel transmisi tersebut atau rangkaian penerima menangkap sinyal yang diradiasikan dari suatu sumber yang dekat.

Mengapa dalam sistem komunikasi sebuah noise ingin dihilangkan?

Alasan mengurangi derau antara lain :

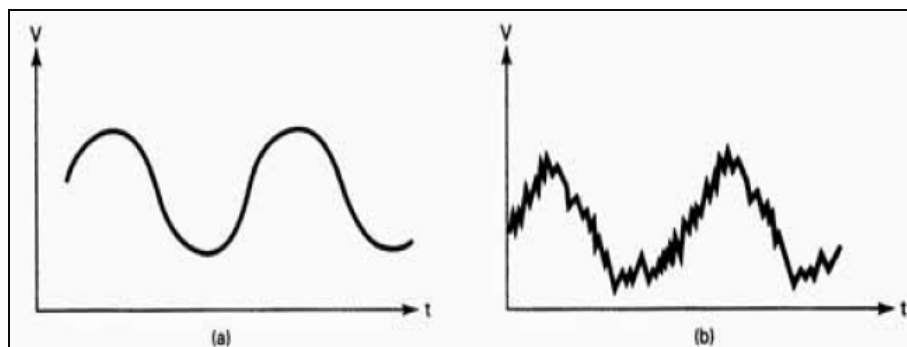
1. Meningkatkan sensitifitas rangkaian untuk mendeteksi sinyal yang diinginkan dalam sebuah penerima (*receiver*)
2. Mengurangi konten harmonis dan fasa derau dalam pemancar (*transmitter*)

3. Meningkatkan perbandingan sinyal dan derau (*signal to noise ratio*)

Berdasarkan sumbernya, noise bisa dibedakan menjadi dua katagori :

1. *Noise internal* adalah noise yang dibangkitkan oleh komponen-komponen dalam sistem komunikasi.
2. *Noise eksternal*, dihasilkan oleh sumber di luar sistem komunikasi. Ada dua macam noise eksternal yaitu noise buatan manusia (*man made noise*) dan noise alami (*ekstra terrestrial*)

Noise yang paling besar pengaruhnya dalam sistem komunikasi adalah thermal noise. Noise ini selalu menyertai sinyal informasi. Noise ini mempunyai distribusi energi yang seragam pada seluruh spektrum frekuensi. Gambar 8.1 di bawah merupakan gambaran efek noise terhadap sebuah sinyal sinus yang mengakibatkan sinyal asli menjadi cacat (*distorsi*).



Gambar 8.1. sinyal sebelum dan sesudah mendapatkan noise

## 8.2. Thermal Noise

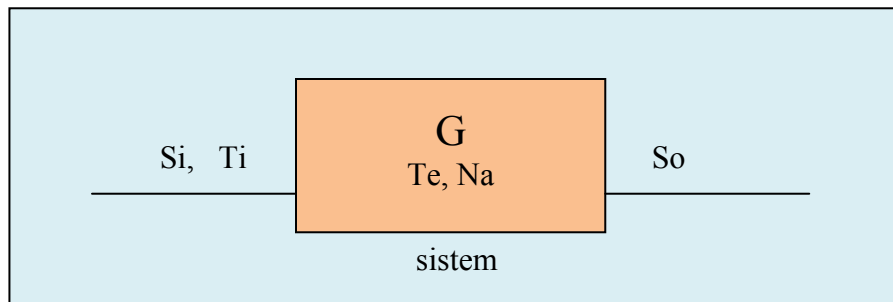
*Thermal noise* atau disebut juga *Johnson Noise* merupakan noise tegangan yang dihasilkan oleh friksi dari arus yang mengalir pada suatu element resistif (komponen yang bersifat resistif). Noise termal ini memiliki amplitudo yang tidak terikat pada frekuensi tertentu, artinya noise ini terjadi pada seluruh jangkauan frekuensi. Besarnya tegangan yang berasal dari noise termal dirumuskan :

$$e_n = \sqrt{4kTRB}$$

Sedangkan daya noise yang timbul pada suatu bandwidth dirumuskan sebagai :

$$P = k \cdot T \cdot B$$

Dimana :



Gambar 8.2. Sistem noise dengan 2 port

P = derau termal (watt)  
 k = konstanta Boltzmann  
 (1,38 x 10<sup>-23</sup> Joule/°Kelvin)  
 T = temperatur thermal noise (°K).  
 B = bandwidth (Hz).

Atau hal ini dapat dituliskan dalam persamaan:

$$P = -228,6 \text{ dBW} + 10 \text{Log} T + 10 \text{Log} B$$

Pada temperatur ruang, T = 290<sup>o</sup> K:

$$\begin{aligned} P &= 1,3803 \cdot 10^{-23} \times 290 \\ &= -204 \text{ dBW / Hz} \\ &= -174 \text{ dBm / Hz.} \end{aligned}$$

Untuk sistem noise 2 port (input-output), daya noise pada keluaran adalah penjumlahan dari noise pada input dengan noise yang dihasilkan oleh sistem. Tinjauan sebuah penguat dengan penguatan (*gain*) G dapat digambarkan sebagai berikut ini.

Jika  $S_i$  menyatakan daya sinyal input dan  $S_o$  menyatakan daya sinyal output, maka  $S_o$  adalah perkalian dari daya sinyal input dan penguatan  $G$ .

$$S_o = S_i \cdot G$$

Sedangkan noise output  $N_o$  adalah penjumlahan dari noise input  $N_i$  yang dikuatkan oleh sistem dengan noise  $N_a$  yang dibangkitkan oleh sistem.

$$N_o = N_i \cdot G + N_a$$

Dimana :

$$N_i = K \cdot T_i \cdot B$$

Sehingga :

$$N_o = k \cdot G \cdot B \left( T_i + \frac{N_a}{GkR} \right)$$

$$= k \cdot G \cdot B (T_i + T_e)$$

Dimana:

$$T_e = \frac{N_a}{G \cdot k \cdot B}$$

Sebuah persamaan diatas merupakan digambarkan seolah-olah keluaran noise berasal dari suatu sumber dengan temperatur

( $T_i + T_e$ ). Temperatur  $T_e$  disebut dengan temperatur noise efektif.

### 8.3. Shot Noise

Derau tembakan biasanya terjadi ketika terjadi perbedaan potensial. Misalnya sebagai contoh pada sambungan PN diode memiliki dinding potensial. Ketika electron dan hole menyeberangi dinding atau sambungan PN, derau tembakan dihasilkan. Dioda, transistor dan tabung vakum akan menghasilkan derau tembakan. Di sisi lain resistor biasanya tidak menghasilkan derau tembakan karena tidak ada dinding potensial dalam resistor. Arus yang mengalir melalui resistor tidak akan mengalami fluktuasi. Akan tetapi, arus yang mengalir melalui dioda menghasilkan sedikit fluktuasi.

Ketika sejumlah arus mengalir maka derau tembakan menghasilkan fluktuasi yang dirumuskan sebagai berikut :

$$I^2(f) = 2eI^0A^2/Hz$$

Dimana :

$$e = (1.6 \times 10^{-19} \text{ coulombs})$$

adalah muatan elektron

## 8.4. Deskripsi Noise

Gambaran sebuah derau didefinisikan sebagai rasio (perbandingan) antara sinyal terhadap derau di input dengan output. Dapat dirumuskan :

$$NF = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}}$$

Dimana  $(s/n)_i$  adalah perbandingan antara sinyal terhadap derau di input, dan  $(s/n)_o$  adalah perbandingan sinyal terhadap derau di output. Perlu diingat bahwa  $s/n$  di output akan selalu lebih kecil dibanding  $s/n$  di input, sehubungan dengan faktanya bahwa semua rangkaian hanya akan menambah derau, tetapi tidak akan mengurangi derau pada system.

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{in} &= \frac{(\text{Signal Power})_{in}}{(\text{Noise Power})_{in}} \\ &= \frac{S_{in}}{N_{in}} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{(\text{Signal Power})_{out}}{(\text{Noise Power})_{out}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{S_{out}}{N_{out}} = \frac{[S_{in} \cdot G]}{[G \cdot N_{in} + N_{out}]} \\ &\frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{[S_{in}/N_{in}]/[S_{in} \cdot G]}{[G \cdot N_{in} + N_{out}]/[G \cdot N_{in}]} \\ &= [G \cdot N_{in} + N_{out}]/[G \cdot N_{in}] \end{aligned}$$

### 8.4.1. Suhu derau efektif

Mari kita asumsikan bahwa  $T_e$  (Effective Noise Temperature) adalah suhu derau sebagai hasil dari  $N_{dut}$ . Maka hubungan antara  $T_e$  dan  $N_{dut}$  dirumuskan sebagai berikut:

$$N_{dut} = KGB \cdot T_e$$

atau

$$T_e = N_{dut} / [KGB]$$

Kita ketahui bahwa pada suhu kamar,

$$N_{in} = KT_0B$$

Substitusi dengan persamaan diatas, sehingga menjadi :

$$F = [G \cdot N_{in} + N_{dut}] / [G \cdot N_{in}] = [T_0 + T_e] / T_0$$

Atau :

$$T_e = T_0(F-1)$$

F pada persamaan linear disebut Noise Factor (Faktor Derau). Dalam persamaan log, F disebut Noise Figure.

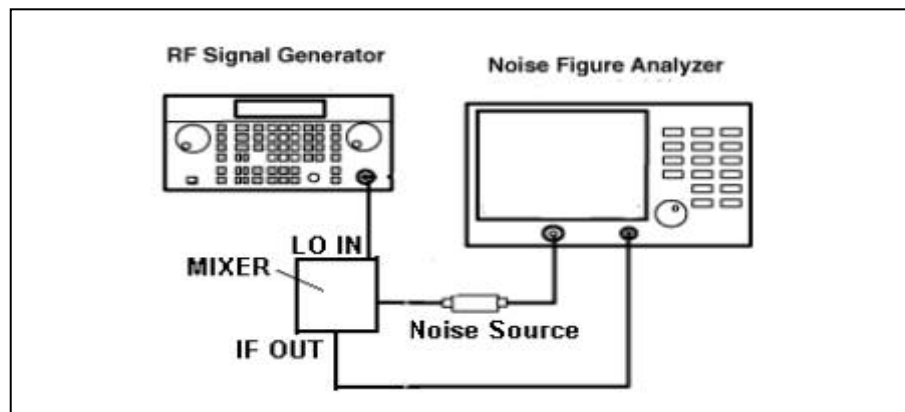
$$F \text{ dB} = 10 \log F$$

## 8.5. Teknik Pengukuran Noise Figure

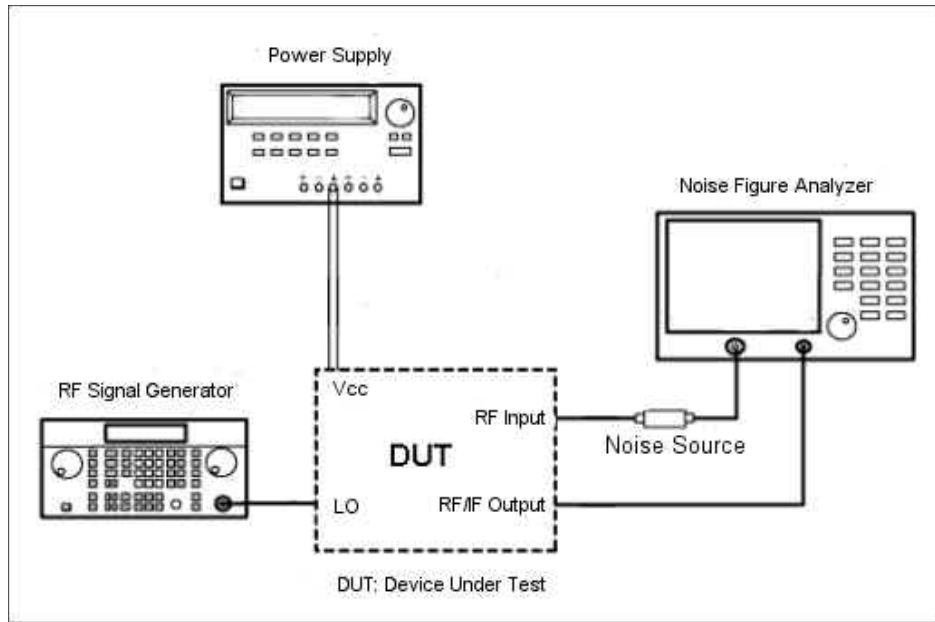
Teknik yang digunakan untuk mengukur noise figure secara umum yaitu menggunakan Noise Figure Meter. Untuk menggunakan Noise Figure Meter, peralatan dikoneksikan seperti gambar di bawah ini. Sebuah mixer diperlukan bila ingin mengkonversi sinyal RF menjadi sinyal yang lebih rendah (sinyal IF). Namun bila rangkaian tidak memerlukan mixer maka kabel IF

OUT bisa langsung dikoneksikan dengan *Noise Source*, kemudian melakukan proses kalibrasi.

Gambar 8.4. di bawah ini menunjukkan diagram koneksi dengan DUT (*Device Under Test/* alat yang hendak diukur figure noisanya). Pertama, noise figure dikalibrasi sehingga diperoleh kondisi normal, kemudian dihubungkan dengan DUT seperti gambar di bawah ini sampai Gain dan Noise Figure dari DUT tampak pada analyzer.



Gambar 8.3. Koneksi antara Noise Source dan RFG



Gambar 8.4. Seting pengukuran derau

Di samping itu, dimungkinkan juga memasang konektor penyesuai atau *attenuator* sebelum proses pengukuran dilakukan. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan *range* (batas ukur) sehingga tidak melebihi kemampuan Noise Figure Analyzer. Dalam beberapa kasus penyesuai ataupun *attenuator* perlu dilakukan proses kalibrasi.

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memilih peralatan untuk mengukur noise figure antara lain :

1. Noise figure yang diharapkan  
Noise figure analyzer khusus untuk mengukur Noise figure ketika sebuah hasil pengukuran sangat kecil atau dikatakan kurang dari 10 dB. Jika bermaksud untuk mengukur besaran yang sangat tinggi atau besaran yang terlalu rendah atau dikatakan kurang dari 0,05dB, dimungkinkan untuk membutuhkan petunjuk dari pembuat alat tersebut khususnya dari piranti ukur tersebut.
2. Batas waktu dari DUT atau NF analiser. Hal ini dimungkinkan membutuhkan mixer external untuk mengukur NF. Dalam beberapa kejadian, pastikan bahwa NF analiser mendukung kemampuan mixer external maupun internal.
3. Konektor DUT. Beberapa saat, DUT mungkin mempunyai beberapa perbedaan konektor seperti halnya gelombang pembawa. Jika hal tersebut membutuhkan untuk memperoleh ketepatan seperti pada gelombang pandu menuju coaxial adapter. Kebanyakan NF analyzer

- hanya menggunakan sambungan konektor coaxial untuk interkoneksi.
4. Pengukuran Penguat. Pada umumnya untuk mengukur penguatan selama menggunakan NF, pastikan bahwa NF analiser mempunyai kemampuan range pengukuran penguatan DUT yang dimaksudkan.
  5. Untuk konversi frekuensi, memungkinkan kebutuhan frekuensi generator sebagai pembangkit frekuensi external dan mixer.

Untuk pengukuran lanjut seperti dengan melakukan perubahan frekuensi baik turun maupun naik dibutuhkan frekuensi generator eksternal dengan tujuan: penyederhanaan pengukuran penguatan Noise figure, ketelitian pengukuran pada nilai NF yang sangat kecil serta NF dapat diukur sepanjang frekuensi dengan pencampur (mixer ) eksternal. Metode pengukuran NF dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain :

1. Metode penguatan
  - Menggunakan rumus persamaan pengukuran NF
  - Teknik pengukuran digunakan
  - Mempunyai beberapa kelemahan dengan metode ini
  - Mempunyai beberapa kelebihan dengan metode ini

2. Menggunakan metode Y-Factor
  - Apa yang dimaksud Y faktor
  - Keuntungan menggunakan metode Y faktor
  - Kelemahan menggunakan metode Y faktor

## 8.6. Performa Derau dalam Sistem Komunikasi

Unjuk kerja (performa) dari suatu sistem komunikasi dinyatakan sebagai rasio (perbandingan) sinyal terhadap derau (S/N).

$$s/n \text{ (dB)} = \text{level sinyal (dBm)} - \text{level derau (dBm)} \\ = 10 \text{ Log (S/N)}$$

Standard untuk s/n berbeda tergantung aplikasi dari sistem komunikasi.

Suara = 30 dB  
 Video = 45 dB  
 Data = 15 dB.

Dalam sistem transmisi digital, unjuk kerja dinyatakan dalam propabilitas kesalahan atau (*BER-Bit Error Rate*).  $BER \ 10^{-6}$  berarti kemungkinan adanya 1 bit data yang salah dari  $10^6$  data yang dikirim.

## 8.7. Rangkuman

Dari uraian tersebut diatas maka dapat diambil inti pembahasan pada bagian ini adalah sebagai berikut :

1. Derau atau yang sering dikenal dengan noise merupakan sebuah sinyal yang tidak diinginkan dalam sistem komunikasi atau sebuah informasi.
2. Ada satu macam noise yang selalu hadir dalam setiap sistem komunikasi, yaitu thermal noise. Thermal noise selalu hadir dengan alasan bahwa pada suatu temperatur di atas nol absolut ( $0^{\circ}\text{K}$ ), energi termal/panas menyebabkan partikel bergerak secara acak (*random motion*)
3. Berdasarkan sumbernya, noise dapat dibedakan menjadi dua kategori :
  - *Noise internal* adalah noise yang dibangkitkan oleh komponen-komponen dalam sistem komunikasi.
  - *Noise eksternal*, dihasilkan oleh sumber di luar sistem komunikasi. Ada dua macam noise eksternal yaitu noise buatan manusia (*man made noise*) dan noise alami (*ekstra terrestrial*)
4. *Thermal noise* atau disebut juga *Johnson Noise* merupakan noise tegangan yang dihasilkan oleh friksi dari arus yang mengalir pada suatu element resistif.
5. Derau tembakan biasanya terjadi ketika terjadi perbedaan potensial. Misalnya pada sambungan PN.
6. Gambaran sebuah derau didefinisikan sebagai rasio (perbandingan) antara sinyal terhadap derau di input dengan output.

## 8.8. Soal Latihan

Kerjakan soal-soal dibawah ini dengan baik dan benar

1. Apa yang dimaksud dengan noise pada sistem telekomunikasi?
2. Mengapa noise dalam sistem telekomunikasi tidak selalu diinginkan?
3. Berdasarkan sumbernya noise dibedakan menjadi dua sebutkan.
4. Sebutkan sifat-sifat noise eksternal dan berikan contoh penyebabnya.
5. Apa yang dimaksud dengan thermal noise?





# BAGIAN 9

## TEKNIK MODULASI

### Tujuan

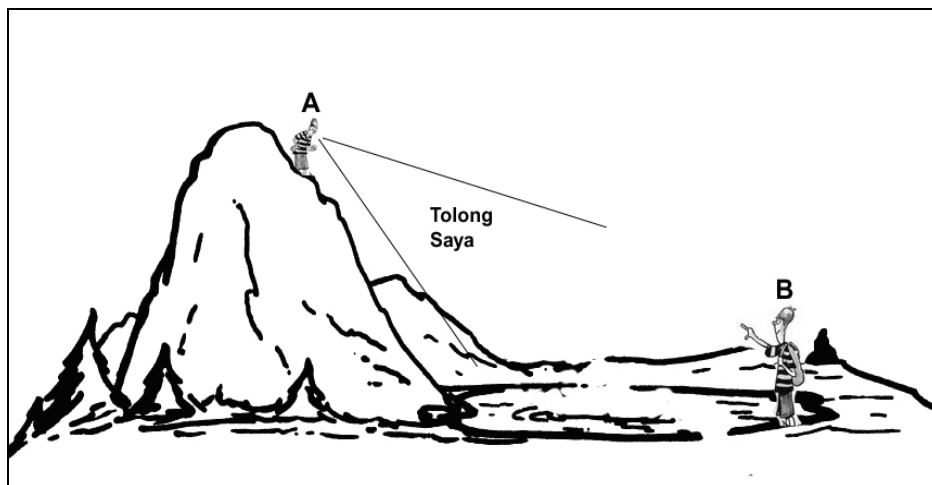
Setelah mempelajari bagian ini diharapkan dapat:

4. Mengetahui teknik modulasi dalam sistem telekomunikasi.
5. Memahami teknik modulasi analog dan modulasi digital.
6. Memahami modulasi analog beserta sifat-sifatnya.
7. Memahami modulasi digital beserta sifat-sifatnya.

### 9.1. Prinsip Umum

Sebuah sistem komunikasi merupakan suatu sistem dimana informasi disampaikan dari satu tempat ke tempat lain. Komunikasi dapat digambarkan seperti gambar 9.1 di bawah. Misalnya tempat A yang terletak ditempat yang tinggi berteriak meminta tolong ke tempat B yang berada di tempat

yang jauh. Contoh lain dari komunikasi adalah ketika ada dua orang sedang diskusi dikebun kemudian mereka berdua bercakap-cakap mendiskusikan sesuatu, Secara otomatis keduanya telah melakukan komunikasi.



Gambar 9.1. Sistem komunikasi

Selain contoh tersebut di atas, bentuk komunikasi juga terjadi ketika seorang berbicara melalui telephone juga dapat dikategorikan komunikasi. Sebenarnya apa yang dimaksud dengan komunikasi. Beberapa contoh tersebut di atas dapat dikatakan komunikasi jika minimal ada dua titik yang melakukan komunikasi yaitu titik pengirim dan penerima.

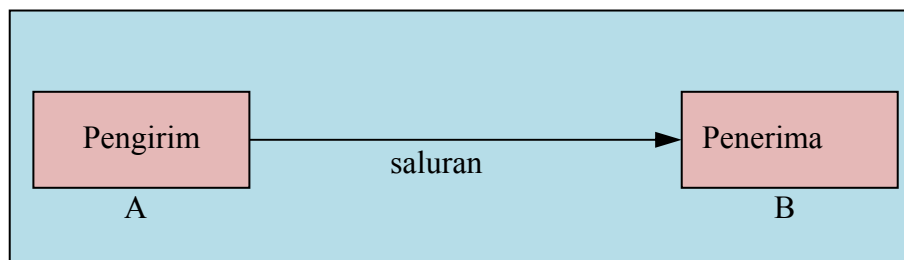
Sistem komunikasi apapun terdiri dari tiga bagian seperti ditunjukkan blok diagram gambar 9.2. Pertama adalah pemancar, merupakan bagian dari sistem komunikasi yang berada pada titik A. Hal ini meliputi dua materi : sumber informasi dan *noise*. Saluran adalah suatu media dimana informasi berjalan pada sepanjang titik A dan B. Satu contoh dari sebuah saluran adalah kawat tembaga, atau atmosfer. Terakhir adalah penerima, merupakan bagian sistem komunikasi yang berada pada titik B dan mendapatkan semua informasi dan *noise* pemancar pada saluran.

Secara sederhana sistem komunikasi dapat digambarkan seperti blok diagram di bawah ini,

dimana hal tersebut membicarakan tiga bagian sistem komunikasi serta bagaimana mereka bekerja.

Saluran merupakan bagian yang sangat penting dalam telekomunikasi. Saluran ini bisa berupa media saluran guided atau unguided. Pada saluran ini sinyal informasi dikirimkan dari pengirim menuju penerima. Sebelum dikirimkan sinyal informasi harus dimodulasi dahulu, sehingga sinyal informasi menjadi sinyal yang termodulasi.

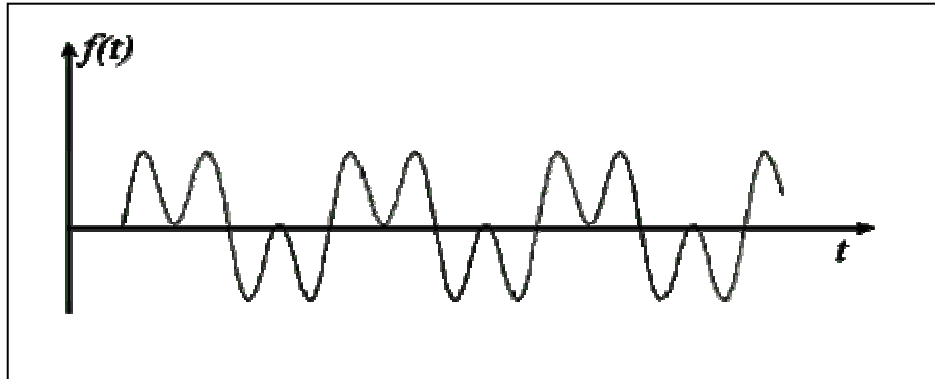
Modulasi merupakan suatu proses dimana informasi, baik berupa sinyal audio, video ataupun data diubah menjadi sinyal dengan frekuensi tinggi sebelum dikirimkan. Secara garis besar modulasi dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem modulasi analog dan modulasi digital. Sistem komunikasi dengan modulasi analog adalah komunikasi yang mentransmisikan sinyal-sinyal analog yaitu time signal yang berada pada nilai kontinu pada interval waktu yang terdefiniskan. Sistem komunikasi dengan modulasi analog mentransmisikan sinyal analog.



Gambar 9.2. Bagian dari komunikasi

Sinyal analog merupakan sinyal yang mempunyai amplitudo pada tiap tegangan range amplitudonya. Sinyal analog berbeda dengan sinyal digital, yang mana akan terjadi dua

perbedaan kondisi tegangan salah satunya tegangan tinggi atau rendah. Gambar 9.3 di bawah ini menunjukkan bentuk sinyal analog.



Gambar 9.3. Bentuk gelombang sinyal analog sebagai fungsi waktu

Amplitudo sinyal analog akan selalu berubah-ubah tergantung dengan waktunya atau bisa juga berupa sinyal konstan. Jika amplitudo berubah-ubah dan diulang-ulang secara terus-menerus maka voltase suatu sinyal akan berubah dari waktu ke waktu, atau mungkin juga konstan.

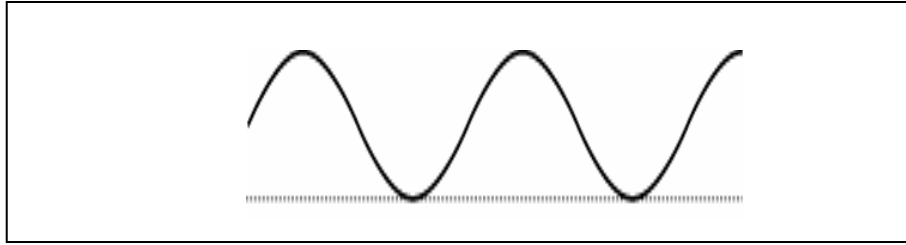
Jika amplitudo bervariasi, maka akan diulangi pada waktu yang tertentu, dalam hal ini sinyal disebut sinyal periodik. Periode adalah interval dari waktu diperlukan oleh pola sinyal untuk mengulanginya.

Frekuensi dari sinyal tersebut biasanya dihitung perdetik. Frekuensi diukur dalam

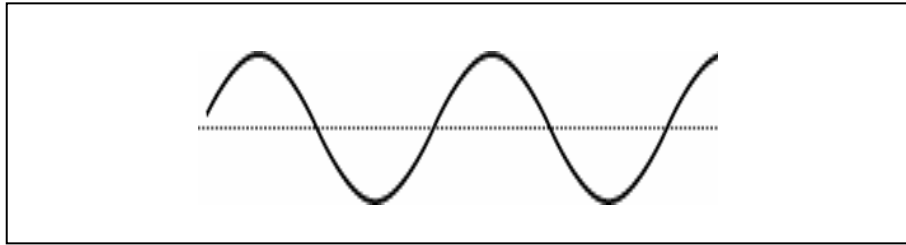
satuan Hertz (Hz) dan hubungan antara frekuensi dan periode dapat dituliskan persamaan di bawah ini:

$$\text{frekuensi} = \frac{1}{\text{periode}}$$

Sinyal dengan perioda 1 mS mempunyai frekuensi 1 kHz. Ada dua macam sinyal yaitu unipolar sinyal dan bipolar sinyal. Sinyal unipolar mempunyai komponen tegangan semua positif atau semua negatif. Sinyal bipolar mempunyai tegangan positif dan negatif.



Gambar 8.4. Sinyal Unipolar



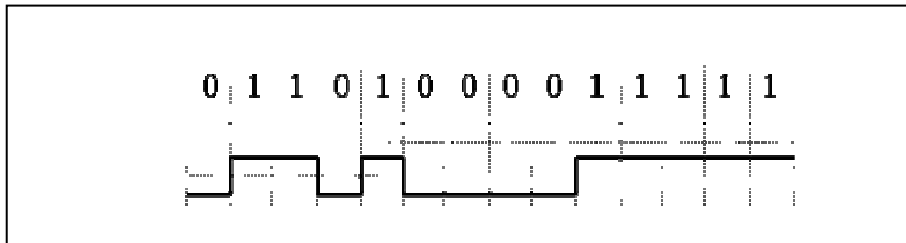
Gambar 8.5. Sinyal Bipolar

Jika *time signal analog* tersebut di atas disample, maka yang terjadi adalah urutan bilangan-bilangan (nilai-nilai) yang harus ditransmisikan. Daftar nilai ini masih berupa nilai analog yang bisa bernilai tak berhingga. Sistem ini belum digital, atau boleh dikatakan masih sebagai sistem diskrit terhadap waktu (*discrete time*) atau sistem tersampel (*sampled system*). Jika nilai-nilai tersampel tersebut dibuat menjadi himpunan diskrit, maka sistem menjadi digital.

Beberapa sistem bisa merupakan kombinasi hybrid baik digital maupun analog. Seperti saat mata menelusuri halaman buku, sistem psikologi akan beroperasi secara analog. Keuntungan dan kerugian sistem komunikasi digital dibandingkan dengan sistem analog.

Keuntungan Komunikasi Digital :

1. Terjadinya interferensi sangat kecil
2. Hampir kebal terhadap noise



Gambar 9.6. Bentuk gelombang sinyal digital

3. Error hampir selalu dapat dikoreksi.
4. Mudah sekali menampilkan manipulasi sinyal (seperti encryption).
5. Range dinamis yang lebih besar (perbedaan nilai terendah terhadap tertinggi) dapat dimungkinkan
6. Meningkatkan kualitas sinyal pengiriman

Sedangkan beberapa kerugian pada sistem komunikasi digital antara lain :

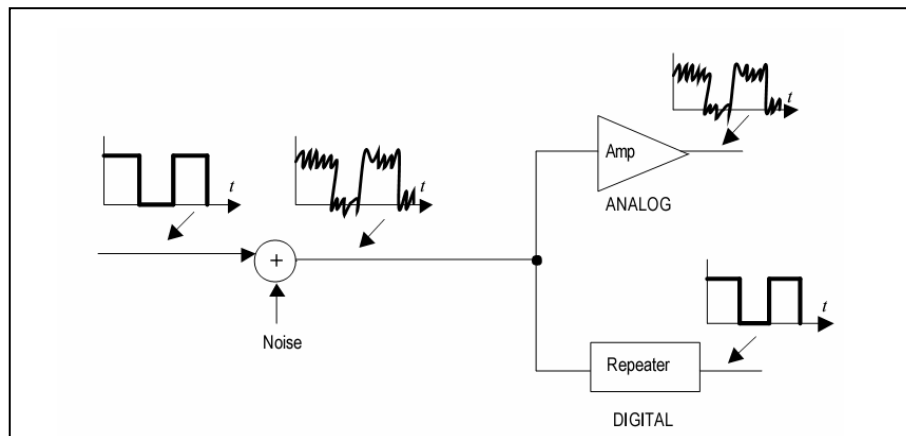
1. Pada umumnya memerlukan bandwidth yang lebih besar.
2. Memerlukan sinkronisasi.

Gambar 9.7. menunjukkan hubungan antara sistem komunikasi analog dan sistem komunikasi digital. Pada sistem komunikasi analog, terdapat amplifier di sepanjang jalur transmisi. Setiap amplifier menghasilkan penguatan, baik menguatkan sinyal pesan maupun

*noise* tambahan yang menyertai di sepanjang jalur transmisi tersebut.

Pada sistem komunikasi digital, amplifier digantikan *regenerative repeater*. Fungsi repeater selain menguatkan sinyal, juga menghilangkan noise dari sinyal. Pada sinyal "*unipolar baseband*", sinyal input hanya mempunyai dua nilai 0 atau 1. Repeater harus memutuskan, yang mana dari kedua kemungkinan tersebut yang boleh ditampilkan pada interval waktu tertentu, untuk menjadi nilai sesungguhnya disisi penerima.

Keuntungan kedua dari sistem komunikasi digital adalah berhubungan dengan nilai-nilai, bukan dengan bentuk gelombang. Nilai-nilai dapat diubah ataupun dimanipulasi dengan rangkaian logika, yang biasanya dilakukan dengan mikrokomputer. Operasi-operasi matematika yang rumit bisa secara mudah ditampilkan untuk mendapatkan fungsi-fungsi pem-rosesan sinyal atau keamanan dalam transmisi sinyal.



Gambar 9.7. Perbandingan komunikasi Analog dan Digital

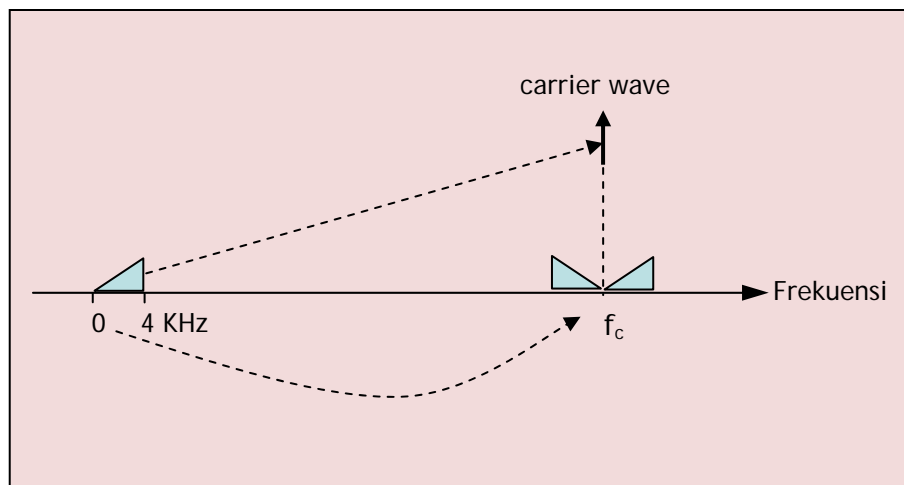
Keuntungan yang ketiga berhubungan dengan range dinamis. Hal ini dapat diilustrasikan pada sebuah contoh, misalnya perekaman disk piringan hitam analog mempunyai masalah terhadap range dinamik yang terbatas. Suara-suara yang sangat keras memerlukan variasi bentuk alur yang ekstrim, dan sulit bagi jarum perekam untuk mengikuti variasi-variasi tersebut. Sementara perekaman secara digital tidak mengalami masalah, karena semua nilai amplitudonya, baik yang sangat tinggi maupun yang sangat rendah, ditransmisikan menggunakan urutan sinyal terbatas yang sama.

Dalam kenyataannya, semua tidak ada yang ideal, demikian pula pada sistim komunikasi digital. Kerugian sistim digital dibandingkan dengan sistim analog adalah, bahwa sistim digital memerlukan bandwidth yang besar. Sebagai contoh,

sebuah kanal suara tunggal dapat ditransmisikan menggunakan Single-Sideband AM dengan bandwidth yang kurang dari 5 kHz. Dengan menggunakan sistim digital, untuk mentransmisikan sinyal yang sama, diperlukan bandwidth hingga empat kali dari sistim analog. Kerugian yang lain adalah selalu harus tersedia sinkronisasi. Hal ini penting bagi sistim untuk mengetahui kapan setiap simbol yang terkirim mulai dan kapan berakhir, dan perlu meyakinkan apakah setiap simbol sudah terkirim dengan benar.

## 9.2. Modulasi Analog

Dalam membahas modulasi analog yang perlu diketahui adalah adanya suatu teori yaitu *Modulation Theorem* yang juga dikenal dengan sebutan *Frequency Translation*.



Gambar 9.8. Modulasi Analog

Hal ini dikarenakan adanya shifting atau pergeseran dari spektrum di dalam *frequency domain*. Adapun fungsi modulasi adalah untuk merubah atau menempatkan frekuensi rendah menjadi frekuensi yang lebih tinggi agar dapat dikirimkan atau ditransmisikan melalui media transmisi. Gambar 9.8. di atas merupakan bentuk spektrum frekuensi modulasi analog. Modulasi Analog yang umum dikenal ada beberapa macam bentuk modulasi antara lain :

1. *Amplitude Modulation (AM)*
2. *Frequency Modulation (FM)*
3. *Pulse Amplitude Modulation (PAM)*

### 9.2.1 Amplitude modulation (AM)

Modulasi ini adalah modulasi yang paling sederhana, dimana frekuensi pembawa atau carrier diubah amplitudonya sesuai dengan signal informasi atau *message signal* yang akan dikirimkan.

Dengan kata lain AM adalah modulasi yang mana amplitudo dari signal pembawa (carrier) berubah karakteristiknya sesuai dengan amplitudo signal informasi. Modulasi ini disebut juga *linear modulation*, artinya bahwa pergeseran frekuensinya bersifat linier mengikuti signal informasi yang akan ditransmisikan.

Amplitudo modulasi ini biasanya digunakan pada stasiun pemancar radio telegrafi dan merupakan jenis modulasi yang

paling tua. Amplitudo modulasi sekarang ini sudah sangat luas digunakan untuk pemakaian suara analog yang memerlukan penerima yang sangat sederhana seperti pemancar radio komersial atau dipancarkan melalui propagasi ionosfir yang memerlukan bandwidth yang kecil.

Sinyal amplitudo modulasi dapat diilustrasikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$v(t) = V_m \sin \omega_m t$$

Persamaan tersebut di atas terdiri dari tegangan pembawa dan tegangan pemodulasi. Gelombang tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam transformasi fourier :

$$\delta(t) = 0 \quad t \neq 0$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) \cdot dt = 1$$

Selanjutnya tegangan pembawa dapat ditulis persamaan :

$$v_c(t) = V_c \sin \omega_c t$$

Hasil sebuah sinyal amplitudo modulasi dapat ditulis persamaannya menjadi :

$$A = v_c + v_m = V_c + V_m \sin \omega_m t = V_c (1 + m \sin \omega_m t)$$

Sedangkan nilai sesaat dari sinyal amplitudo modulasi adalah sebagai berikut :

$$v = A \sin \omega_c t = V_c (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$



Dalam persamaan di atas,  $m$  merupakan index modulasi, dimana  $m$  adalah :

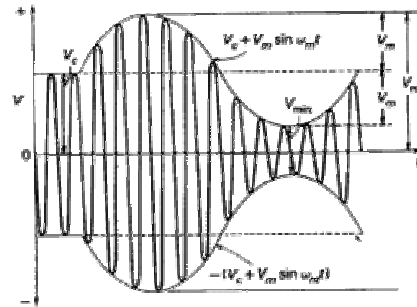
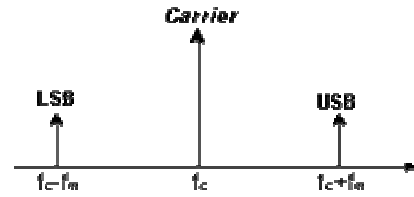
$$m = \frac{V_m}{V_c}$$

Index modulasi bervariasi antara 0 dan 1, jika  $m > 1$  akan menyebabkan distorsi pada sinyal AM. Persamaan ini dapat dituliskan dalam bentuk hubungan trigono-metri sederhana menjadi :

$$v = V_c \sin \omega_c t + \frac{mV_c}{2} \cos (\omega_c - \omega_m)t - \frac{mV_c}{2} \cos (\omega_c + \omega_m)t$$

Dari persamaan di atas, menunjukkan bahwa amplitudo modulasi terdiri dari tiga persamaan yang menunjukkan gelombang pembawa tidak termodulasi, frekuensi *Lower side band* ( $f_c - f_m$ ) dan *Upper side band* ( $f_c + f_m$ ). Karena antara *lower side band* dan *upper side band* bentuknya sama, sehingga sinyal AM membutuhkan bandwidth ganda.

Jika sinyal modulasi bukan berupa gelombang sinus, kemudian dimodulasi dan memunculkan dua sinyal baseband frekuensi maka bandwidth yang dibutuhkan 2 kalinya. Spektrum frekuensi AM dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 9.9. Spetrum gelombang AM

Sinyal modulasi termasuk gelombang pembawanya mempunyai total daya dalam sinyal termodulasi yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$P = P_c + P_{LSB} + P_{USB}$$

Karena kedua sisi side bandnya sama maka  $P_{LSB} = P_{USB}$ .

$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{m^2 V_c^2}{4 \cdot 2R}$$

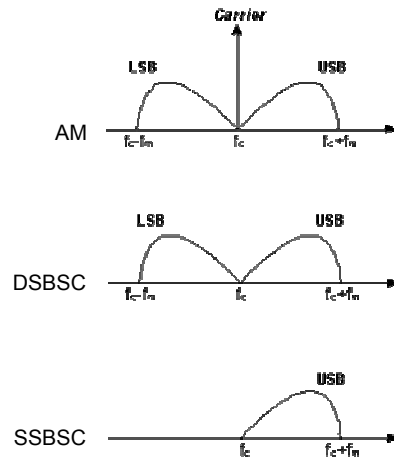
Sehingga total dayanya dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$P = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

Sesudah sinyal dimodulasi, maka ada dua bentuk gelombang sinyal baseband pada gelombang AM yang disebut dengan band sisi atas dan sisi bawah (*upper and lower sideband*).

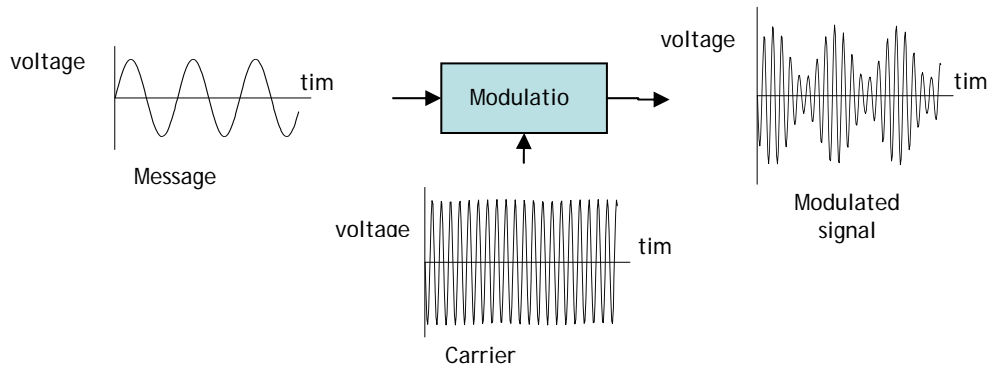
Sebagian besar daya dari sinyal modulasi berada pada gelombang pembawanya, sedangkan sinyal informasi hanya berada pada *sidebandnya*. Hal inilah yang menyebabkan gelombang AM sangat tidak efisien. Bentuk gelombang AM disebut juga modulasi DSBSC (*Double Sideband Suppressed Carrier*). Karena antara sisi atas dan bawah berisi gelombang informasi yang sama maka salah satu sisinya dapat ditindas dengan tujuan mereduksi bandwidth. Proses ini sering dikenal dengan SSBSC (*Single Side Band Suppressed Carrier*) atau SSB.

Dengan SSB, maka sinyal yang modulasi hanya membutuhkan separo dari bandwidth, sehingga daya akan lebih hemat. Proses modulasi AM (DSBSC) menjadi gelombang SSBSC dapat dilihat pada gambar 9.10.



Gambar 9.10. AM dalam bentuk gelombang DSBSC dan SSBSC

Amplitudo modulasi banyak digunakan pada komunikasi mobile seperti handy talky, radio siaran maupun komunikais HF. Alasan utama mengapa amplitudo modulasi masih digunakan karena bentuk gelombang AM mempunyai kelebihan sederhana pada bagian pembangkitanya dan pada penerimanya. Proses modulasi antara sinyal informasi dengan sinyal pembawa dapat digambarkan seperti pada gambar 9.11.



Gambar 9.11. Amplitudo modulasi

Digambarkan dalam spektrum frekuensi :



Gambar 9.12. Spetrum Frekuensi Amplitudo modulasi

### 9.2.2 Frequency Modulation (FM)

Frekuensi dari gelombang pembawa (*carrier wave*) diubah-ubah menurut besarnya amplitudo dari sinyal informasi. Karena noise pada umumnya terjadi dalam bentuk perubahan amplitudo, FM lebih tahan terhadap noise dibandingkan dengan AM. Hubungan antara frekuensi dan phase sebuah sinyal komunikasi FM dapat dirumuskan :

$$\omega = \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

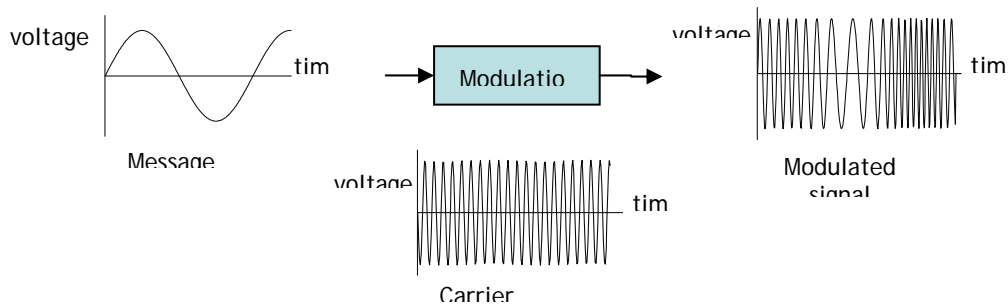
Persamaan di atas merupakan hubungan antara *phase modulation* dan *frequency modulation*, jika keduanya dalam proses yang sama maka sinyal modulasi tersebut dapat ditulis persamaanya menjadi :

$$a = A_c \cos[\omega_c + \alpha \sin \omega_m t]$$

Dimana tanda subscript c untuk "carrier", dan subscript "m" untuk sinyal modulasi dan  $\alpha$  merupakan index modulation.

Bandwith sinyal FM lebih besar dibandingkan sinyal AM. Modulasi FM merupakan modulasi analog yang sangat banyak digunakan, hal ini dikarenakan noise yang rendah, tahan terhadap perubahan amplitudi yang berubah-ubah sebagai akibat *fading*.

Penggunaan modulasi FM misalnya pada pengiriman siaran televisi, telephone dan lain-lain. Proses modulasi FM antara sinyal informasi dengan sinyal pembawa dapat digambarkan seperti pada gambar 9.13. di bawah ini :

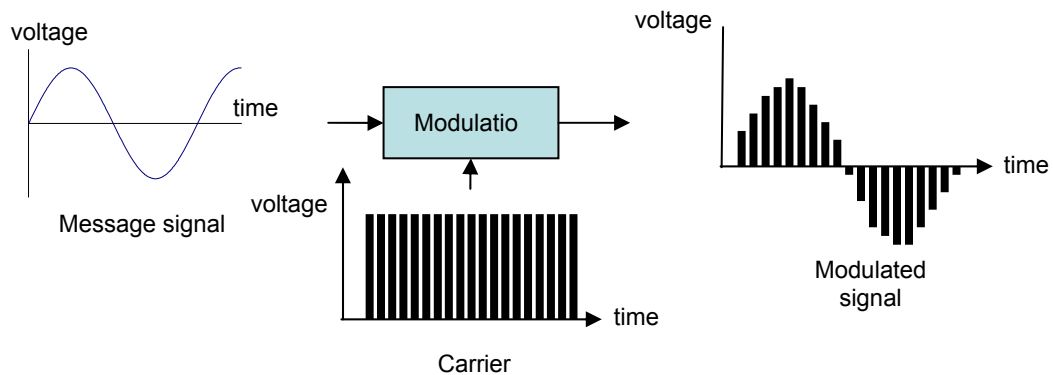


Gambar 9.13. Frequency Modulation (FM)

### 9.2.3 Pulse Amplitude Modulation (PAM)

Konsep dasar PAM adalah merubah amplitudo signal pembawa yang masih berupa deretan pulsa (*diskrit*) dimana

perubahannya mengikuti bentuk amplitudo dari signal informasi yang akan dikirimkan ketempat tujuan. Sehingga signal informasi yang dikirim tidak seluruhnya tapi hanya sampelnya saja (*sampling signal*)



Gambar 9.14. Pulse Amplitude Modulation (PAM)

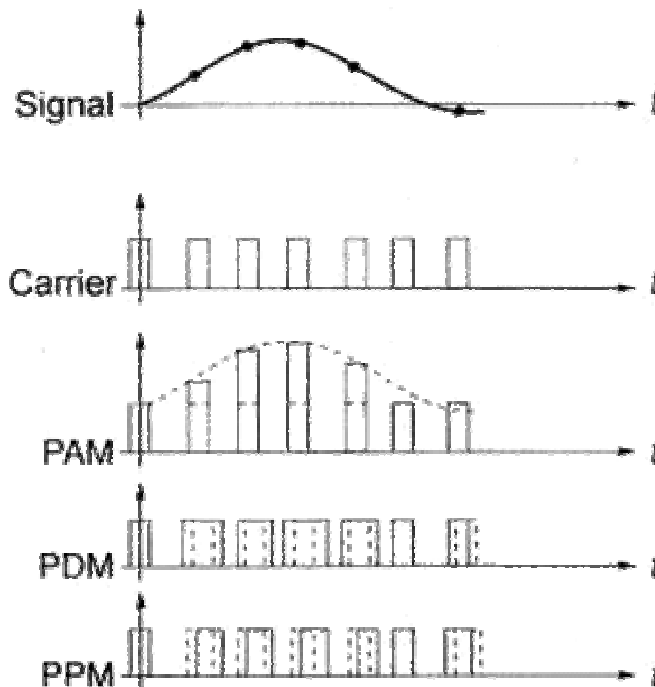
### 9.3. Modulasi Digital

Modulasi sinyal digital dengan gelombang pembawa analog akan meningkatkan *Sinyal To Noise Ratio* (SNR) jika dibandingkan dengan modulasi analog. Modulasi gelombang pembawa sinyal digital merupakan pergeseran kunci, karena hal tersebut disebabkan adanya perubahan nilai diskrit dalam parameter gelombang pembawa.

Ada tiga macam perbedaan sistem modulasi digital antara lain: *Amplitude shift keying* (ASK), *Frequency shift keying* (FSK) dan *Phase shift keying* (PSK). Dalam modulasi digital juga menemui *Quadrature amplitude modulation*

(QAM), yang mana secara ekstensif digunakan pada gelombang micro wave. QAM merupakan kombinasi antara ASK and PSK.

Modulasi pembawa dengan deretan pulsa ada tiga perbedaan jenisnya dimana istilah modulasi ini disebut sebagai : *Pulse amplitude modulation* (PAM), *Pulse duration modulation* (PDM) dan *Pulse position modulation* (PPM). Ada tipe lain dari modulasi yang disebutkan di atas yaitu *Pulse width modulation* (PWM), dimana modulasi ini adalah melakukan variasi lebar pulsa tergantung dari sinyal modulasinya. Bentuk modulasi dapat digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 9.15. Bentuk modulasi digital

Untuk lebih jelasnya maka dapat dilihat pada tabel 9.1. di bawah ini:

Table 9.1. Beberapa tipe modulasi digital

Carrier	Changing Parameter	Analog	Digital
Analog	Amplitude	AM	ASK
	Frequency	FM	FSK
	Phase	PM	PSK
Digital	Amplitude	PAM	
	Position	PPM	
	Duration	PDM	

Berbeda dengan modulasi analog dimana input signal berbentuk kontinu. Pada modulasi digital signal input sudah berbentuk diskrit yang ditandai oleh dua kondisi yaitu kondisi "0" dan kondisi "1". Signal digital yang mewakili informasi tersebut agar dapat ditransmisikan harus dimodulasi terlebih dahulu dengan gelombang pembawanya yang akan membawanya sampai ditujukan, cara perubahan bagi sinyal digital ada beberapa teknik antara lain :

1. Teknik dasar :

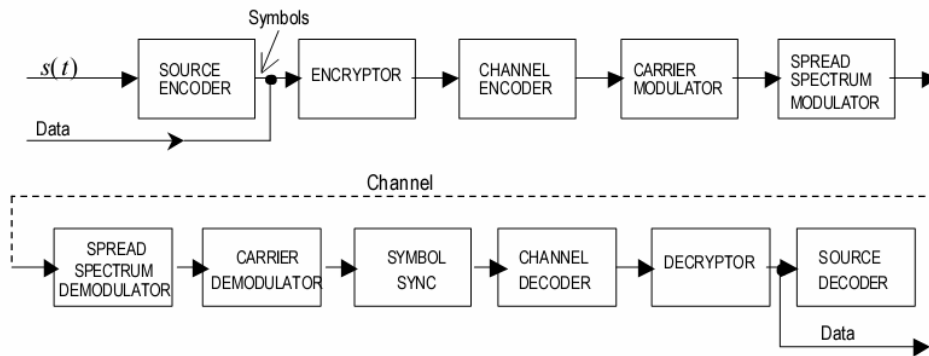
- Amplitude shift keying (ASK)

- Frequency shift keying (FSK)
- Phase shift keying (PSK)

2. Varian dari teknik dasar di atas

- 4 Pulse Amplitude Modulation (4-PAM)
- Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Sistem komunikasi digital dapat digambarkan seperti pada Gambar 9.16. Gambar tersebut menunjukkan sistem pengiriman dan penerimaan digital secara umum.



Gambar 9.16. Sistem Pengiriman dan Penerimaan Digital

Dari blok diagram tersebut di atas *source encoder* menerima satu atau lebih sinyal analog untuk diubah menjadi urutan symbol-simbol. Simbol-simbol ini bisa berupa biner (1 dan 0) atau anggota himpunan yang mempunyai dua atau lebih elemen. Jika kanal digunakan untuk mengkomunikasikan lebih dari satu sumber, maka sebuah *source encoder* harus dilengkapi dengan *multiplexer*. Hal yang perlu di perhatikan adalah bahwa *source encoder* mendapatkan input berupa *time signal* ( $s(t)$ ). Pada sistem komunikasi data dimulai dengan sebuah sinyal digital.

*Channel Encoder* akan menaikkan efisiensi dari sistem komunikasi digital. Peralatan ini mengurangi *error* pada saat transmisi. Jika ada *noise* yang masuk ke kanal bersama-sama dengan data, maka akan ada kemungkinan sebuah simbol yang sudah terkirim akan diinterpretasikan sebagai simbol yang lain pada sisi penerima. Pengaruh dari *error* ini dapat dikurangi dengan menerapkan struktur *redundansi* pada sinyal data.

Keluaran dari saluran *encoder* adalah sebuah sinyal digital yang dikomposisikan dalam bentuk simbol-simbol. Sebagai contoh, dalam sistem biner outputnya berupa urutan bit 1 dan 0. Sebuah saluran listrik dapat mengirimkan sinyal yang hanya berbentuk gelombang listrik. Jangan beranggapan bahwa sebuah sinyal digital dapat ditransmisikan dalam bentuk yang belum termodifikasi.

Sebagai contoh, jika komunikasi menggunakan sebuah saluran suara untuk mengirimkan "10101", hal ini bukan berarti harus mengucapkan lima kata tersebut, karena pengucapan satu kata saja (misalkan "satu" sama dengan 1 pada 10101), sama halnya dengan mengirim sebuah urutan sinyal analog.

Kelihatannya ini merupakan proses yang bersimpangan, dan memang betul demikian. Untuk mengirim sebuah sinyal analog, perlu diubah menjadi sinyal digital, kemudian mengirimkan sinyal digital tersebut melalui gelombang analog, mengkonversikan bentuk gelombang analog yang diterima menjadi sinyal digital kembali (pada *receiver*) dan mengubah sinyal digital tersebut kembali menjadi sinyal analog. Proses ini memiliki keuntungan tahan terhadap *noise* maupun distorsi dibandingkan sistem analog langsung.

*Encryptor* bertugas memberikan perlindungan keamanan kepada pesan-pesan yang dikirim agar tidak terbaca, atau diterima oleh penerima yang tidak berkepentingan. Dalam hal ini, *encryptor* menghasilkan sebuah urutan simbol yang hanya dapat dibedakan oleh penerima yang berkepentingan. Pengamanan tambahan dapat dilakukan dengan teknik *spread spectrum*, yang bertujuan menghindari pendengar yang tidak diijinkan.

Bagian kedua dari blok diagram Gambar 9.16. adalah sistem penerima digital. Sistem ini seperti cermin gambar dari pemancar. Pada sistem ini

dilakukan proses pengembalian dari operasi yang dilaksanakan pada pemancar. Ada satu bagian dari pemancar yang dilakukan proses pengembalian dua kali di penerima, yaitu carrier modulator. Pada penerima, proses pengembalian dari carrier modulator dilakukan oleh dua bagian yaitu : *carrier demodulator* dan *symbol synchronizer*. Begitu bentuk gelombang analog di terima di sisi penerima, ada satu hal yang harus dilakukan, yaitu mempartisi segmen simbol-simbolnya dan pesan-pesan yang dibawanya. Proses partisi ini dilakukan oleh *symbol synchronizer*.

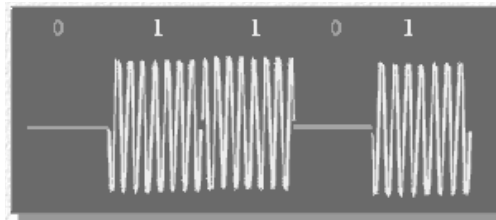
### 9.3.1. Amplitude Shift Keying (ASK)

Pembangkitan gelombang AM dapat dilakukan dengan dua pendekatan berbeda. Pertama adalah dengan membangkitkan sinyal AM secara langsung tanpa harus dengan membentuk sinyal baseband. Dalam kasus biner, generator harus mampu memformulasikan satu dari dua sinyal gelombang AM yang mungkin. Teknik ini lebih dikenal

dengan amplitude shift keying (ASK), yang secara langsung menyiratkan arti sebuah terminologi yang menggambarkan suatu teknik modulasi digital

Kedua dengan menggunakan sinyal baseband untuk memodulasi amplitudo suatu sinyal carrier yang dalam hal ini merupakan sinyal sinusoida (baik cos maupun sinus), seringkali ini dikenali sebagai AM analog dengan informasi dalam bentuk digital. Hal yang perlu diperhatikan adalah jangan sampai salah persepsi, bahwa kedua teknik ini merupakan pembangkitan gelombang AM yang digunakan untuk mentransmisikan informasi digital. Selanjutnya keduanya ketahuilah sebagai dua bentuk pembentukan ASK atau lebih kita pahami sebagai AM digital.

Pada situasi tertentu, memungkinkan sinyal baseband yang ditransmisi memiliki dua kemungkinan nilai informasi yaitu antara nol (0) dan satu (1). Karena kemungkinan nilai informasinya tersusun dari dua keadaan tersebut maka selanjutnya sistem ini kita kenal dengan binary ASK atau kadang lebih disukai dengan menyebutnya sebagai BASK yang



Gambar 9.17. Modulasi ASK



merupakan singkatan dari *binary amplitude shift keying*.

Bentuk sinyal termodulasi dalam hal ini dapat didekati dengan sebuah persamaan matematik :

$$v(t) = \frac{V_c}{2} [1 + mv_m(t) \cos(2\pi f_c t)]$$

Dimana :

$V_c$  : Amplitudo sinyal carrier

$v_m$  : Sinyal pemodulasi yang bernilai 1 atau 0

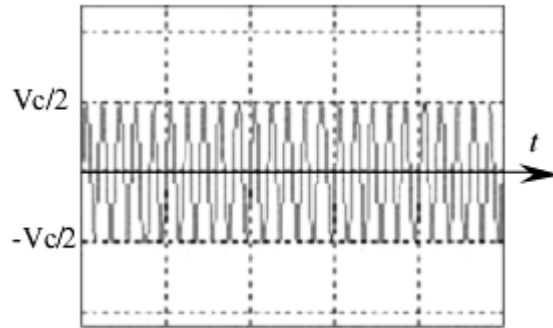
$m$  : indek modulasi

$\omega_c = 2\pi f_c$  : frekuensi carrier dalam nilai radiant

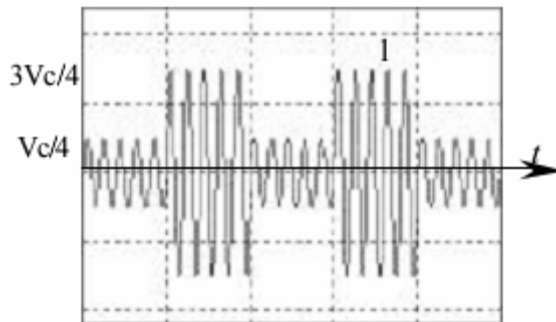
Ada dua bentuk sinyal yang dapat dihasilkan disini, yaitu

dengan nilai  $V(t) = 0$  atau 1 untuk mengirimkan nilai  $m$  informasi biner nol (0) atau satu (1). Dalam hal ini  $V(t)$  bisa juga bernilai bernilai 1 atau  $-1$ , sehingga  $m$  dapat dipertimbangkan sebagai data bipolar ternormalisasi. Indeks modulasi ( $m$ ) dapat bernilai  $0 < m < 1$ . Untuk indek modulasi  $m = 0$ , akan mengirimkan sebuah sinusoida murni seperti pada gambar 9.17.

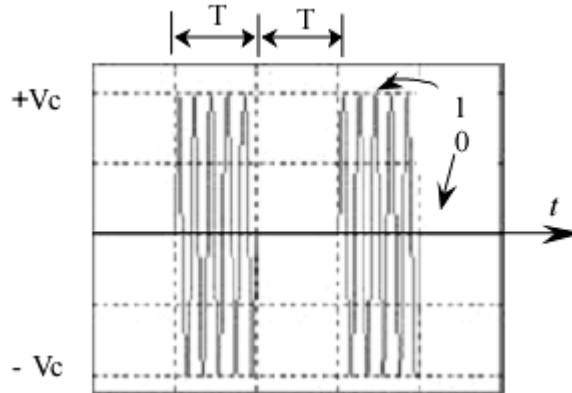
Jika  $m$  bernilai  $\frac{1}{2}$ , maka akan mengirimkan sebuah sinusoida dengan dua nilai berbeda. Pada amplitudo  $V_c/4$  untuk nilai informasi 0 dan amplitudo  $3V_c/4$  untuk nilai informasi 1. Untuk lebih jelas hasilnya dapat anda lihat seperti pada Gambar 9.18.



Gambar 9.18. Bentuk gelombang ASK untuk  $m = 0$



Gambar 9.19. Bentuk gelombang ASK untuk  $m = \frac{1}{2}$



Gambar 9.20. Bentuk gelombang ASK untuk  $m = 1$

Pada  $m=1$ , dimana merupakan indeks modulasi yang sering digunakan. Dengan indeks modulasi ini akan dapat mengirmkan sinyal beramplitudo nol untuk nilai biner nol (0) dan sinyal beramplitudo  $V_c$  untuk nilai biner satu (1). Ini diketahui sebagai *On-Off Keying* (OOK) dan dapat dijelaskan dengan Gambar 9.20.

Ini seperti halnya memodulasi sebuah carrier dengan sinyal baseband unipolar. Jika  $T$  merupakan perioda dari bit yang ditransmisi, dengan durasi nol (0) dan satu (1) adalah sama, maka energi rata-rata tiap bitnya dapat dinyatakan dalam persamaan:  $E_b = V_c^2 T/4$ .

### 9.3.2. Frequency Shift Keying (FSK)

Frequency shift keying (FSK) merupakan sistem modulasi digital yang relatif sederhana. FSK mempunyai kinerja yang kurang begitu bagus dibandingkan sistem modulasi PSK atau QAM. FSK biner adalah sebuah bentuk

modulasi sudut dengan envelope konstan yang mirip dengan FM konvensional, kecuali bahwa dalam modulasi FSK, sinyal pemodulasi berupa aliran pulsa biner yang bervariasi diantara dua level tegangan diskrit sehingga berbeda dengan bentuk perubahan yang kontinu pada gelombang analog. Ekpresi yang umum untuk sebuah sinyal FSK biner adalah :

$$v(t) = V_c \cos \left[ \left( \omega_c + \frac{f_m(t) \Delta \omega}{2} \right) t \right]$$

Dimana :

$v(t)$ : adalah bentuk gelombang FSK biner

$V_c$ : puncak amplitudo carrier tanpa termodulasi

$\omega_c$ : carrier frekuensi (dalam radian)

$f_m(t)$ : frekuensi sinyal digital biner pemodulasi

$\Delta \omega$ : beda sinyal pemodulasi (dalam radian)

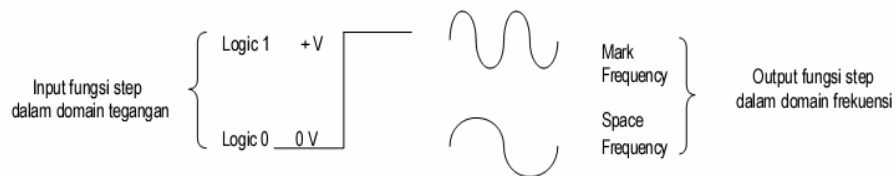
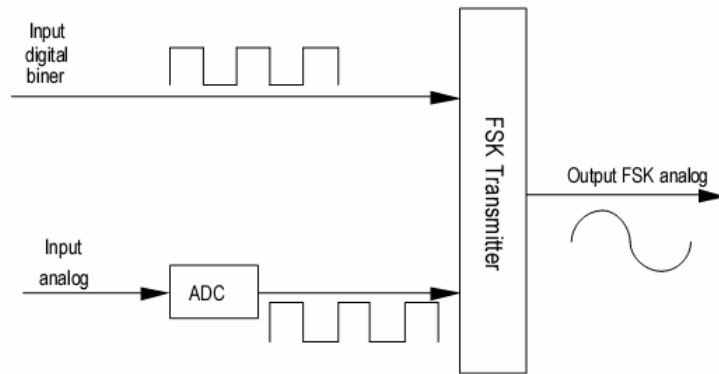
Dari persamaan di atas bahwa dengan FSK biner amplitudo carrier  $V_c$  tetap konstan.

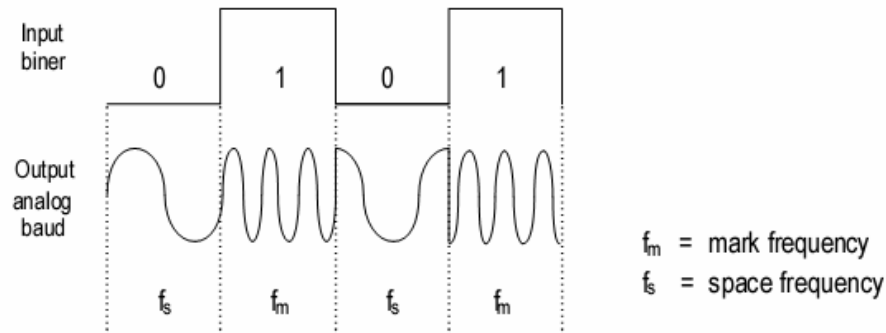
Jika output frekuensi carrier ( $\omega_c$ ) bergeser dengan suatu nilai sebanding  $\pm \Delta\omega/2$  radian, maka pergeseran frekuensi ( $\Delta\omega/2$ ) adalah sebanding dengan amplitudo dan polaritas pada sinyal input biner. Sebagai contoh, sebuah biner satu akan bernilai +1 volt dan sebuah biner nol akan bernilai -1 volt, dan akan menghasilkan pergeseran frekuensi pada  $+\Delta\omega/2$  dan  $-\Delta\omega/2$ .

Laju pergeseran frekuensi tersebut sebanding dengan setengah laju perubahan sinyal input biner  $f_m(t)$ , sehingga pergeseran sinyal output carrier diantara  $\omega_c + \Delta\omega/2$  dan  $\omega_c - \Delta\omega/2$  pada laju senilai  $fm$ .

Dengan FSK biner, pusat pada frekuensi carrier tergeser

oleh masukan data biner. Hal ini akan mengakibatkan keluaran pada modulator FSK biner merupakan fungsi step pada domain frekuensi. Dengan adanya perubahan sinyal masukan biner dari suatu logic 0 ke logic 1 atau sebaliknya, output FSK bergeser diantara dua frekuensi. Dengan FSK biner, maka perubahan frekuensi keluaran akan terjadi setiap adanya perubahan kondisi logic pada sinyal masukan. Sehingga hal ini akan menyebabkan laju perubahan keluaran adalah sebanding dengan laju perubahan masukan. Dalam modulasi digital, laju perubahan masukan pada modulator disebut bit rate dan memiliki satuan bit per second (bps). Laju perubahan pada output modulator disebut baud atau baud rate dan sebanding.





Gambar 9.21. Pembangkit FSK Biner

### 9.3.3. Phase Shift Keying (PSK)

Dalam modulasi analog kita sulit membedakan antara modulasi frekuensi dengan modulasi fase, sehingga keduanya dikategorikan sebagai hal yang sama karena keduanya memiliki pengaruh yang sama pada sinyal carrier yaitu perubahan frekuensi sesuai dengan variasi amplitudo sinyal informasi yang memodulirnya.

Dalam kasus modulasi digital perbedaan antara frekuensi modulasi dengan fase modulasi cukup jelas, karena dalam modulasi digital sinyal informasi memiliki bentuk gelombang diskrit. Seperti dalam hal modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi, kita memulai dengan sinyal carrier sinusoida yang memiliki bentuk dasar  $A\cos[\theta(t)]$ .

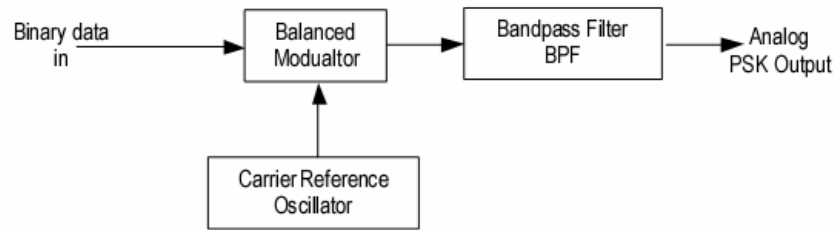
Dengan adanya proses modulasi pada fase gelombang carrier tersebut yaitu dengan sistem phase shift keying (PSK) nilai  $q(t)$  adalah  $2\pi f_c + f(t)$ . Dalam hal ini nilai  $\Phi(t)$  memberikan

pengertian bahwa fase dari gelombang tersebut termodulasi dan mengandung informasi sesuai dengan input dari sinyal baseband pemodulasinya.

Dalam binary phase shift keying (BPSK), dua fase keluaran yang mungkin akan keluar dan membawa informasi. Satu fase keluaran mewakili suatu logic 1 dan yang lainnya logic 0. Sesuai dengan perubahan keadaan sinyal masukan digital, fase pada keluaran carrier bergeser diantara dua sudut yang keduanya terpisah  $180^\circ$ . Nama lain untuk BPSK adalah *phase reversal keying* (PRK) dan *biphase modulation*. BPSK adalah suatu bentuk *suppressed carrier*, square wave memodulasi suatu sinyal *continuous wave* (CW).

Diagram blok sederhana sebuah modulator BPSK. Balanced modulator bekerja seperti suatu switch pembalik fase. Tergantung pada kondisi logic pada input digital, carrier yang ditransfer ke output pada kondisi

inphase ( $0^\circ$ ) atau bergeser  $180^\circ$   
dengan phase carrier oscillator  
referensi



Gambar 9.22. Modulator BPSK

#### 9.4. Rangkuman

Dari uraian tersebut di atas maka dapat diambil inti pembahasan pada bagian ini adalah sebagai berikut :

1. Modulasi merupakan suatu proses dimana informasi, baik berupa sinyal audio, video ataupun data diubah menjadi sinyal dengan frekuensi tinggi sebelum dikirimkan.
2. Fungsi modulasi adalah untuk merubah atau menempatkan frekuensi rendah menjadi frekuensi yang lebih tinggi agar dapat dikirimkan atau ditransmisikan melalui media transmisi.
3. Secara garis besar modulasi dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem modulasi analog dan modulasi digital.
4. Sistem komunikasi dengan modulasi analog adalah komunikasi yang mentransmisikan sinyal-sinyal analog yaitu time signal yang berada pada nilai kontinu pada interval waktu yang terdefinisikan.
5. Sinyal analog merupakan sinyal yang mempunyai amplitudo pada tiap tegangan range amplitudonya. Sinyal analog berbeda dengan sinyal digital, yang mana akan terjadi dua perbedaan kondisi tegangan salah satunya tegangan tinggi atau rendah.
6. Modulasi Analog yang umum dikenal ada beberapa macam bentuk modulasi antara lain: Amplitude modulation (AM), Frequency modulation (FM), Pulse Amplitude Modulation (PAM)
7. Sedangkan pada sistem modulasi digital antara lain: *Amplitude shift keying* (ASK), *Frequency shift keying* (FSK) dan *Phase shift keying* (PSK).
8. Dalam modulasi digital juga menemui Quadrature amplitude modulation (QAM), yang mana secara ekstensif digunakan pada gelombang mikrowave. QAM merupakan kombinasi antara ASK and PSK.a

### 9.5. Soal latihan

Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan baik dan benar

1. Apa yang dimaksud dengan modulasi dalam sistem telekomunikasi?
2. Sistem komunikasi terdiri dari tiga bagian sebutkan.
3. Apa yang dimaksud modulasi analog dan modulasi digital?
4. Sebutkan macam-macam bentuk modulasi analog dan digital.
5. Apa kekurangan dan kelebihan dari masing-masing sistem modulasi di atas?
6. Sebuah radio siaran yang menggunakan gelombang radio frekuensi sebesar 108 MHz, jelaskan dan gambarkan sistem modulasi yang digunakan pada pemancar radio tersebut.



# BAGIAN 10

## SAMBUNGAN KOMUNIKASI TELEPON

### Tujuan

Setelah mempelajari bagian ini diharapkan dapat:

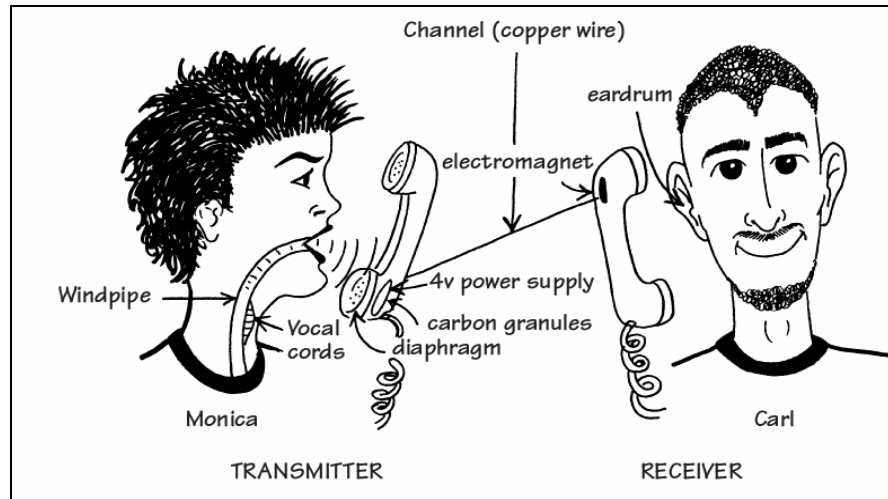
1. Memahami prinsip switching mekanik pada telepon
2. Memahami prinsip switching elektronik pada telepon
3. Menjelaskan terjadinya sambungan secara mekanik pada telepon
4. Menjelaskan terjadinya sambungan secara digital pada sistem telepon

### 10.1. Sambungan Panggilan Telepon

Dalam pengertian yang lebih luas telekomunikasi diartikan sebagai suatu proses transmisi dalam bentuk informasi yang dilakukan oleh dua orang atau mesin pada suatu tempat dengan menggunakan perangkat atau piranti modern telekomunikasi. Transmisi sendiri mengandung pengertian penyaluran atau pemancaran informasi yang berasal dari pesan-pesan yang telah diolah. Komunikasi telepon merupakan bentuk pertukaran informasi suara antara dua orang. Orang yang satu berperan sebagai pengirim pesan suara (sender) sedangkan lainnya bertindak sebagai penerima pesan (receiver).

Komunikasi melalui telepon adalah komunikasi timbal balik, artinya komunikasi yang berlangsung dalam dua arah tanpa harus bergantian. Komunikasi yang demikian disebut sebagai sambungan *dupleks* penuh (full duplex). Sambungan telepon dalam perkembangannya telah mengalami kemajuan yang sangat pesat. Pada awalnya pertukaran informasi suara masih dilakukan dengan sistem analog, tetapi sekarang ini untuk meningkatkan kualitas layanan suara yang baik telah dilakukan melalui perubahan ke dalam bentuk komunikasi digital.





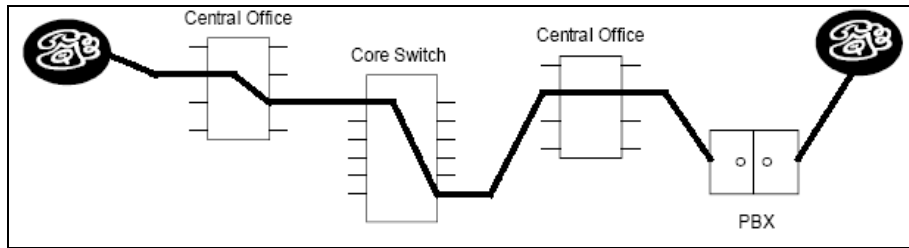
Gambar 10.1. Transmisi sinyal suara melalui saluran kabel

## 10.2. Jaringan Lokal

Pada tingkat yang paling awal dari munculnya sistem telepon, jaringan telah dirancang untuk menyediakan sambungan pelanggan dengan suatu saluran terhadap pelanggan lainnya. Apa yang perlu dilakukan oleh pelanggan bila menghendaki berlangsungnya suatu pembicaraan? Pelanggan harus mengoperasikan tombol yang ada pada pesawat teleponnya. Mengoperasikan di sini maksudnya bisa memutar atau menekan tombol yang berisi angka-angka. Bila sambungan tersebut telah terjadi, maka pembicaraan antar pelanggan dapat dilangsungkan. Awal perkembangan sistem telepon dicatu oleh sebuah baterai yang ada pada masing-masing pesawat. Sistem ini dulu dikenal sebagai sistem lokal baterai. Sistem semacam ini sudah tidak

dijumpai lagi saat ini. Semua pesawat telepon telah dirancang dengan menggunakan catuan baterai yang dipusatkan di sentral telepon.

Sambungan telepon yang hanya menghubungkan beberapa pelanggan, dilihat dari sistem perkabelannya tidaklah begitu rumit. Contohnya sambungan di kantor-kantor. Kesulitan akan muncul bila jumlah pelanggan mengalami kenaikan, karena secara mengejutkan jumlah sambungannya pun mengalami kenaikan yang cukup pesat. Sebagai contoh di sini untuk dua pelanggan hanya dibutuhkan satu kabel sambungan, tiga pelanggan tiga kabel sambungan, empat pelanggan enam kabel sambungan dan seterusnya. Hal ini menandakan bahwa semakin banyak pelanggan, semakin banyak dibutuhkan kabel saluran untuk pelanggan.



Gambar 10.2. Sambungan telepon antar pelanggan melalui sentral

### 10.3. Sambungan Mekanik dengan Saklar

Seseorang yang akan melakukan sambungan komunikasi telepon, tentu yang dilakukan adalah mengangkat gagang telepon dan memutar nomor (sistem *dial rotary*) atau menekan tombol-tombol angka. Untuk pesawat telepon *dial rotary*, perhatikan gambar 10.2.

seri atau melalui saklar-saklar bertingkat (*stepper switches*)

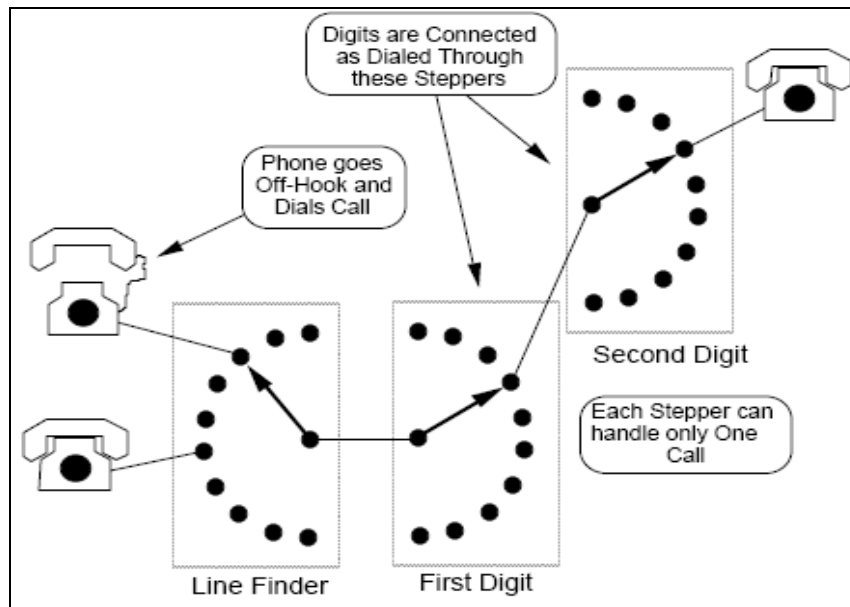


Gambar 10.3. Pesawat telepon dengan sistem rotari (putar)

Sambungan dapat berlangsung karena rangkaian perkabelan tersambung melalui serangkaian relai dalam susunan



Gambar 10.4. Pesawat telepon modern dengan key-set



Gambar 10.5. Penyaluran sambungan telepon secara mekanik

Dengan memperhatikan gambar 10.5, dapat diketahui bahwa proses terjadinya sambungan pembicaraan telepon melibatkan banyak rangkaian tidak hanya sekedar berbicara saja. Orang yang akan menelpon, pertama kali harus mengangkat gagang selanjutnya memutar atau menekan tombol angka-angka (*dial*), lalu mendengarkan nada dering sebagai pertanda panggilan dan terakhir berbicara kepada orang yang dihubungi. Dalam sistem telepon mekanik yang sebenarnya sebagaimana terlihat pada gambar 10.2, seluruh proses penyambungan dilakukan oleh relai yang setelah itu suara dapat disalurkan.

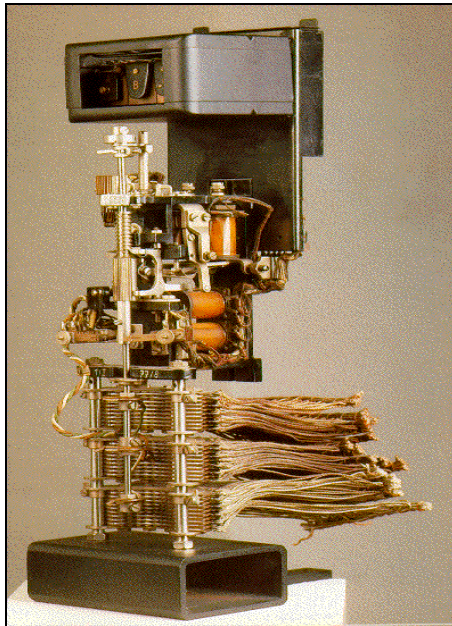
Uraian kerja terjadinya sambungan telepon dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Gagang telepon diangkat oleh orang yang akan menelpon. Gagang telepon yang diangkat ini disebut *off-hook*. Gagang telepon yang masih terpasang pada tempatnya disebut *on-hook*. Penyebutan *off dan on* ini terkait dengan putus dan sambungnya saklar pada telepon.
- Pengangkatan gagang telepon mengakibatkan *pencari saluran (line finder)* pada sentral tersambung kepada pesawat telepon yang sedang *off-hook*.
- Setiap pemutaran angka atau penekanan tombol angka pada telepon mengakibatkan *stepper switches* mencari nomor yang

dimaksud. Saklar ini terus "memegang" angka yang diputar atau ditekan tadi.

- Proses *stepper switches* tersebut akan melakukan hal yang sama hingga seluruh nomor habis diputar atau ditekan.
- Akhir dari *stepper switches* menandakan panggilan suara dapat dilangsungkan.

Proses penyambungan panggilan telepon sistem mekanik ini, hanya dapat dilakukan untuk satu pembicaraan. Oleh karena itu apabila ada sekian banyak pemanggil, maka akan ada sekian banyak pula saklar-saklar. Jadi setiap pelanggan mempunyai satu kesempatan penyambungan.



Gambar 10.6. Stepper switch pada sistem telepon

#### 10.4. Sambungan Mekanik dengan Saklar *Crossbar*

Pada tahun sekitar 1930, suatu pabrik pembuat telepon telah mulai membuat sistem penyaklaran yang tidak lagi menggunakan prinsip pengaturan panggilan dengan cara-cara yang berurutan dengan saklar *stepper*. Cara yang dikembangkan adalah mengganti sistem sambungan mekanik dengan sistem saklar telepon *crossbar*. Nama *crossbar* menggambarkan adanya sistem matrik relai atau saklar yang diatur sedemikian rupa sehingga menyerupai garis-garis yang berpotongan antara arah horisontal dan arah vertikal.

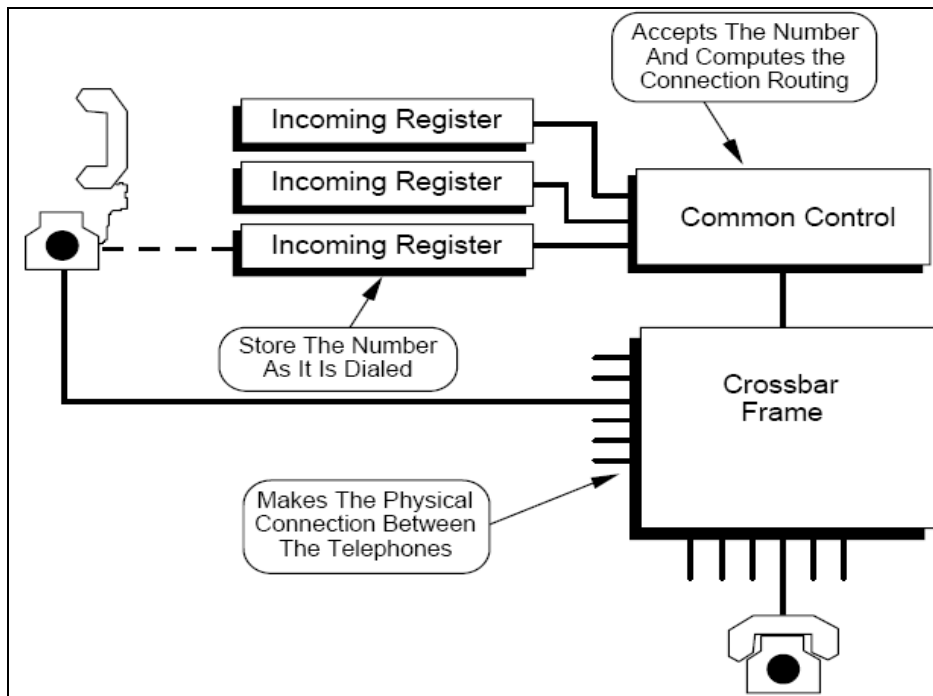
Pada gambar 10.7. dapat dilihat bahwa dalam sistem ini panggilan telepon tidak akan pernah berlangsung bila seorang pelanggan tidak secara menyeluruh menekan nomor-nomor yang dipanggil. Dalam sistem saklar *crossbar*, pengembangan pertama yang dilakukan adalah penambahan sistem pencatat (register) yang akan memegang nomor-nomor yang di-*dial*.

Seseorang yang sedang mengangkat gagang telepon (ingat bahwa perlakuan ini disebut *off-hook*), maka berikutnya register yang ada akan tersambung dengan pesawat telepon dan pelanggan tersebut akan mendengar nada dial.

Nomor-nomor yang di-dial secara keseluruhan akan disimpan pada register. Hingga angka atau digit terakhir di-dial, selanjutnya register akan menuruskannya ke pengendali (*common control*). Di sinilah proses pencarian saluran yang memungkinkan sambungan telepon dapat berlangsung dilakukan dengan cara menganalisis nomor-nomor yang dimasukkan dan menghitung pencarian jaringan untuk disambungkan kepada pesawat telepon lawan.

Sambungan untuk panggilan yang baru saja terjadi kemudian dibuat dalam matriks kerangka *crossbar* (*crossbar frame*).

Sambungan dalam kerangka matriks ini memungkinkan dapat berlangsungnya panggilan-panggilan lain secara serentak atau bersamaan (*multiple simultaneous calls*) hanya menggunakan kerangka *crossbar* tunggal. Sistem telepon *Common Control* merupakan salah satu versi sistem komputer yang paling awal digunakan pada telepon. *Common Control* dapat mencari nomor-nomor telepon dan sentral yang ada serta menghitung jalur primer (utama) atau alternatif (pilihan lain) untuk sambungan panggilan telepon.



Gambar 10.7. Sistem penyaklaran *crossbar*

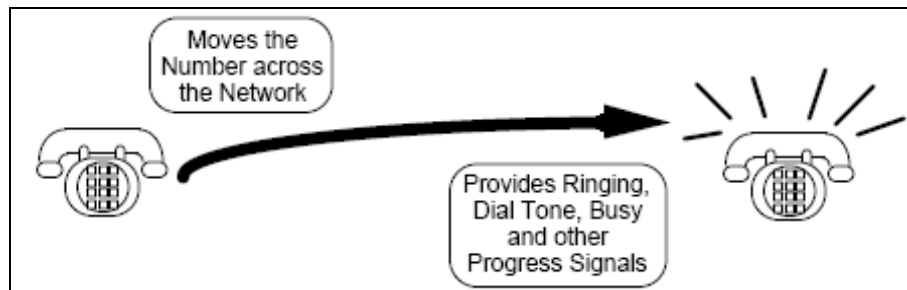
### 10.5. Fungsi-Fungsi dalam Panggilan Telepon

Jaringan telepon dapat pada dasarnya dapat diwujudkan dalam tiga fungsi pokok, yaitu :

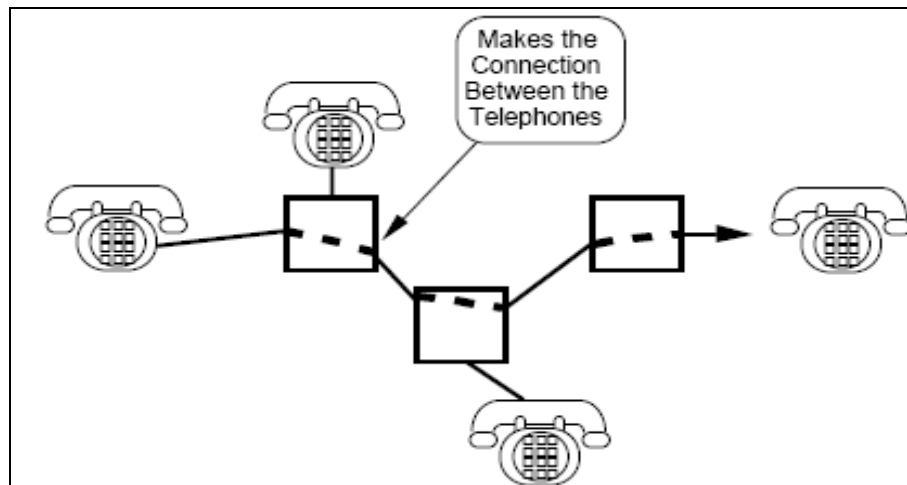
1. Signaling atau pensinyalan Fungsi ini menyediakan mekanisme atau cara-cara untuk memindahkan nomor-nomor telepon melalui jaringan untuk membentuk

sambungan serta memberikan tanda-tanda berlangsungnya suatu sambungan, seperti nada sambung, nada panggil, atau nada sibuk.

2. Switching atau penyaklaran Fungsi yang menyediakan terjadinya sambungan antara dua telepon dalam jangka panggilan tertentu yang dilakukan.



Gambar 10.8. Pensinyalan telepon



Gambar 10.9. Penyaklaran pada sambungan telepon

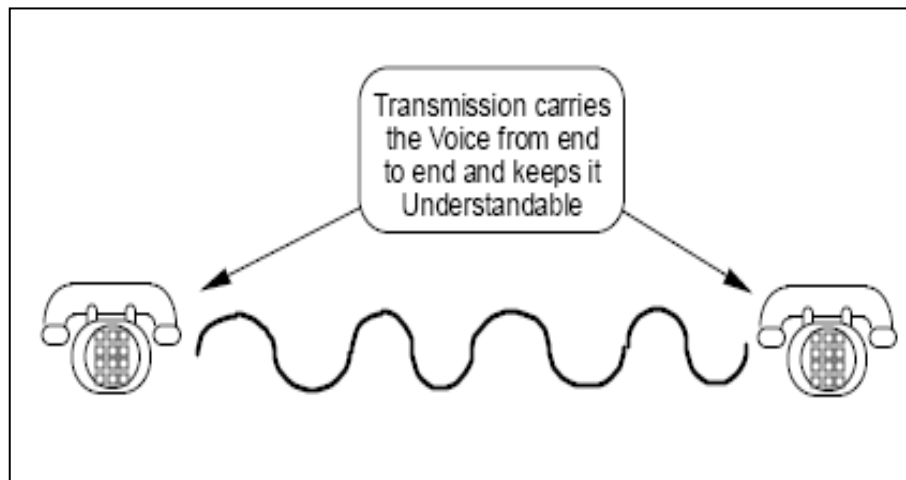
3. Transmission / pemancaran Fungsi yang menunjukkan terjadinya pemindahan atau pemancaran sinyal suara dari suatu telepon terhadap telepon yang lain sehingga dapat dimengerti.

Konsep pencarian fungsi jaringan dalam bentuk lapis-lapis fungsi merupakan suatu hal yang penting karena ini menunjukkan adanya keterkaitan dengan jaringan yang disebut jaringan digital layanan terpadu. Dalam bahasa Inggrisnya disingkat ISDN (Integrated Service Digital Network). Dalam jaringan ISDN ini masing-masing fungsi dipisahkan menjadi sistemnya sendiri-sendiri. Dengan membentuk lapis-lapis jaringan, maka setiap bagian

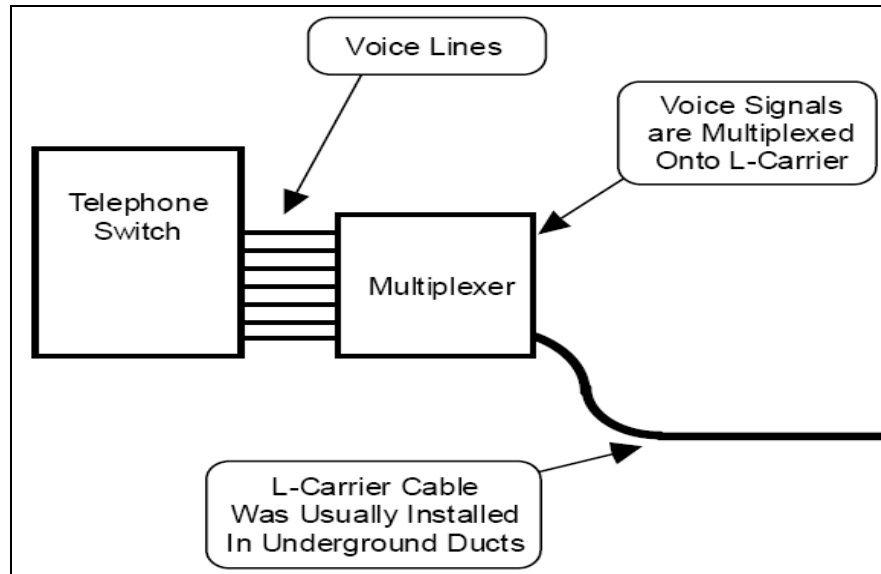
dapat dikembangkan tanpa mengganggu sistem atau peralatan yang lain. Dalam kenyataannya, perpindahan jaringan telepon saat ini; yang membawa informasi panggilan suara dalam jaringan digital terus-menerus dikembangkan.

### 10.6. Transmisi Digital pada Telepon

Penggunaan sistem transmisi digital dimulai kurang lebih pada tahun 1963 di Amerika Serikat ketika pabrikan telepon menginstal sistem yang disebut T1. Penggunaan sistem T1 ini untuk menggantikan sistem transmisi analog yang lama yang terhubung pada sentral telepon.



Gambar 10.10. Transmisi atau pemindahan sinyal



Gambar10.11. Sistem L-carrier antar sentral telepon

Pada gambar 10.11, dapat dilihat bahwa sambungan antara sentral-sentral telepon didasarkan pada suatu sistem pembawa analog yang disebut "L-Carrier." Dalam sistem ini beberapa kanal suara digabungkan dalam satu saluran (multipleks) menggunakan teknik Frequency Division Multiplexing (FDM).

L-Carrier memberikan satu metoda pada telepon untuk menempatkan banyak sinyal pada satu kabel. Namun dengan cara ini ditemukan kelemahan-kelemahan sebagai berikut :

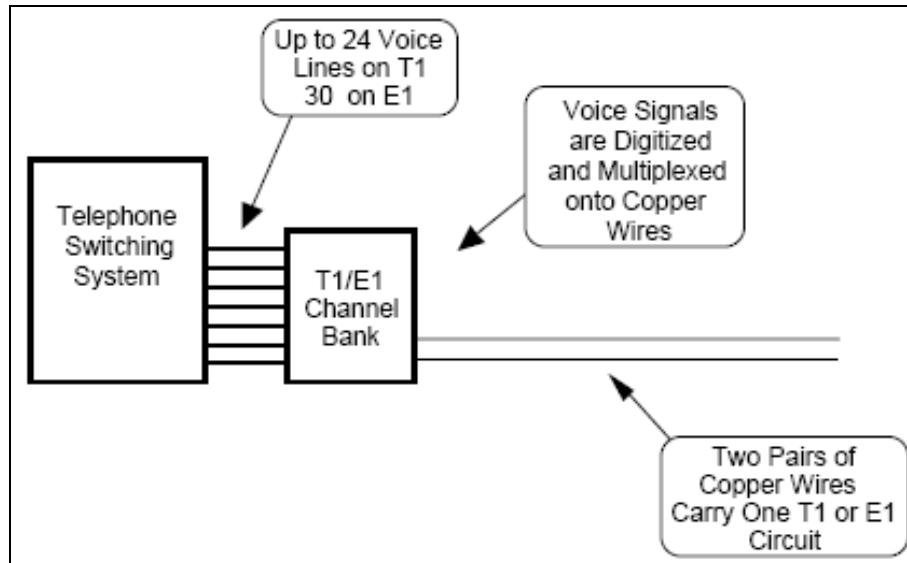
- Dengan menggunakan teknik transmisi analog, maka sistem ini sangat peka terhadap derau (*noise*) sehingga setiap ada penguatan sinyal akan diikuti menguatnya derau.
- Sistem ini menggunakan kabel koaksial yang tertentu yang

berbeda untuk setiap versi L-Carrier.

- Dalam hal pemeliharaan atau pengujian, sistem harus dalam kondisi off-line.

Pekerjaan pertama yang perlu dilakukan dalam sistem transmisi digital adalah mengganti sistem transmisi analog yang telah digunakan pada sentral switching telepon. Dalam hal sistem Multipleksing L-Carrier, maka perlu penggantian dengan T1 Channel Banks (untuk Amerika) atau E1 Channel Banks (untuk Europe). Perhatikan gambar 10.12. *Channel bank* dapat diartikan sebagai tempat berkumpulnya susunan kanal atau jalur telepon





Gambar 10.12. T1/E1 Channel Bank pada kantor sentral

Saluran yang berasal dari sistem switching dibawa menuju T1 Channel bank yang selanjutnya diubah menjadi sinyal digital untuk ditransmisikan. Dalam sistem T1, kanal suara sebanyak 24 dibawa oleh aliran data digital sebesar 1.544 megabit per detik. Sementara itu, pada sistem E1 kanal suara sebanyak 30 dibawa oleh aliran data digital sebesar 2.048 megabit per detik.

Sebagaimana diketahui bahwa transmisi digital dapat

menghilangkan beberapa kendala yang ada pada L-Carrier, yakni sebagai berikut :

- Sistem dapat menggunakan kawat tembaga biasa, tidak kabel koaksial yang khusus.
- Sistem transmisi digital dapat mengurangi pengaruh derau dalam transmisinya.
- Sistem dapat melakukan *self-diagnostic* (pengecekan sendiri) dan secara otomatis akan diarahkan ke *back up*.

**Sistem T1 adalah:**

Standar untuk sistem transmisi digital di Amerika Serikat dan Kanada yang didasarkan pada standar ANSI T1. Standar ini berasal dari turunan Standar Western Electric Company. T1 merupakan tingkat yang paling rendah dari transmisi yakni 1.544 megabit per detik. Sistem T1 membawa 24 kanal suara.

**Sistem E1 adalah:**

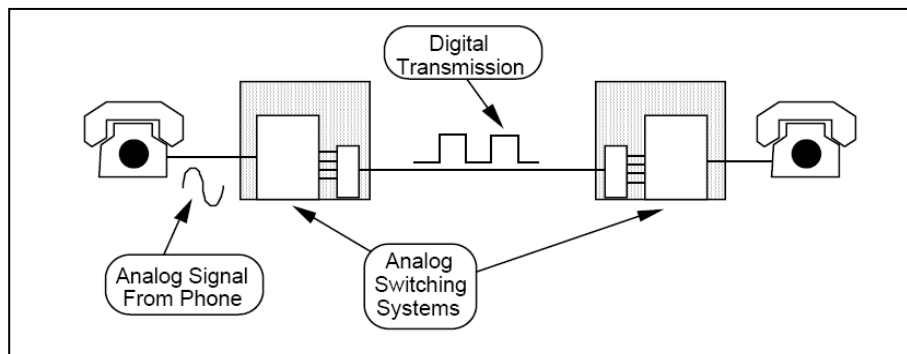
Standar untuk sistem transmisi digital di Eropa yang didasarkan pada standar CEPT, kadangkala disebut Standar E. E1 merupakan tingkat yang paling rendah dari transmisi CEPT yakni 2.048 megabit per detik. Sistem E1 membawa 30 kanal suara, satu kanal signaling dan satu kanal framing.

Dengan menerapkan transmisi digital diperoleh peningkatan kualitas terutama untuk panggilan jarak jauh. Dengan demikian secara lebih luas penerapan transmisi digital jelas lebih menguntungkan dibandingkan dengan penapan transmisi analog. Sebab dengan transmisi digital akan dapat dihemat pembiayaan terutama yang menyangkut biaya pemeliharaan. Hal ini dapat dimungkinkan karena sistem dapat secara otomatis melakukan pengecekan serta keandalannya yang cukup tinggi dengan penerapan sinyal digital.

Masalah pokok pada sistem ini adalah bahwa saklar

telepon didasarkan pada teknik switching analog. Ini berarti bahwa sinyal telepon harus diubah dari bentuk analog ke bentuk digital sehingga dapat melewati sistem switching pada kantor sentral.

Perhatikan gambar 10.13. Pengubahan dari satu bentuk sinyal ke bentuk yang lain akan menyebabkan terjadinya kekeliruan (error) dalam konversi digital. Ini terkait dengan derau yang ikut dihitung sebagai sinyal (*kuantisasi*). Kuantisasi derau dibatasi oleh jumlah sinyal yang dapat didigitasi dan diubah kembali dalam bentuk sinyal analog seperti semula.



Gambar 10.13. Pengubahan sinyal digital pada jaringan

### 10.7. Switching pada Jaringan Telepon

Langkah berikutnya yang perlu diambil oleh pembuat telepon adalah mengganti sistem switching analog dengan sistem switching digital. Dengan perubahan ini, maka suara dapat dibawa melalui jaringan dalam bentuk digital sehingga mengurangi pekerjaan perubahan sinyal pada bagian switching dan titik transmisinya.

Masih dapat diingat kembali ketika sistem switching mekanik bekerja, suatu relai atau saklar *stepper* digunakan untuk menyambungkan secara fisik melalui jaringan. Apa yang terjadi? Tentu dalam hal ini dibutuhkan suatu kawat yang menghubungkan dari satu telepon ke telepon yang lain.

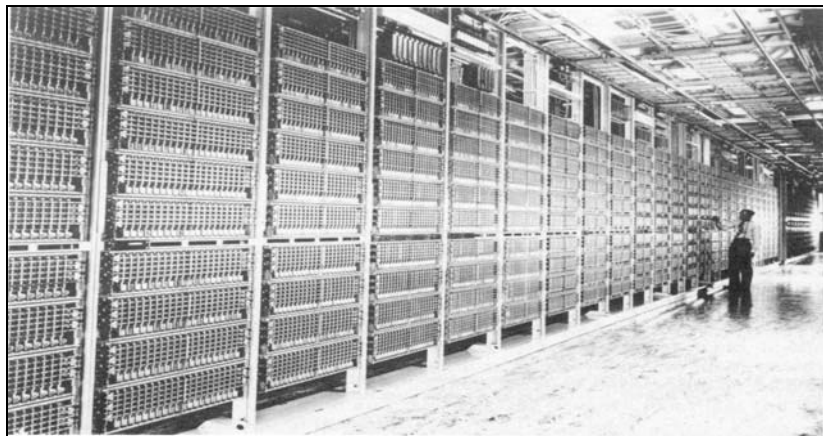
Sistem Switching Digital didasarkan pada penggunaan matriks saklar elektronika. Saklar-saklar ini biasanya menggunakan

sistem digital yang sama sebagaimana pada sistem transmisi T1 dan E1.



Gambar 10.14. Crossbar switch pada sentral telepon

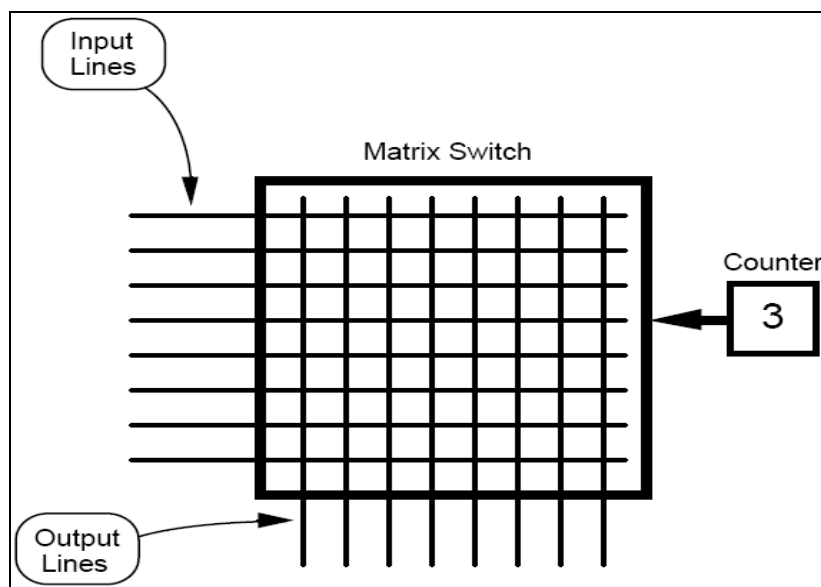
Ini berarti bahwa saklar-saklar sinyal dikelompokkan menjadi eki-valensi data delapan bit untuk sampel satu suara yang diambil.



Gambar 10.15. Crossbar switch memenuhi seluruh ruangan



Gambar 10.16 Seorang sedang memeriksa switching digital



Gambar 10.17. Matriks saklar

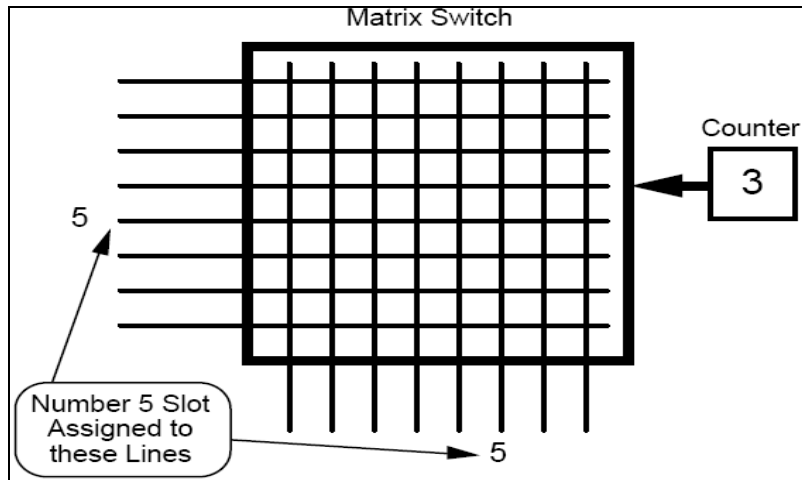
Pada gambar 10.17. dapat dilihat matriks saklar digital yang mempunyai beberapa saluran input dan output dan sebuah

pencacah. Pencacah melakukan fungsi pewaktuan (*timing*) untuk slot waktu multiplek digital. Untuk penyambungan, saluran input dan

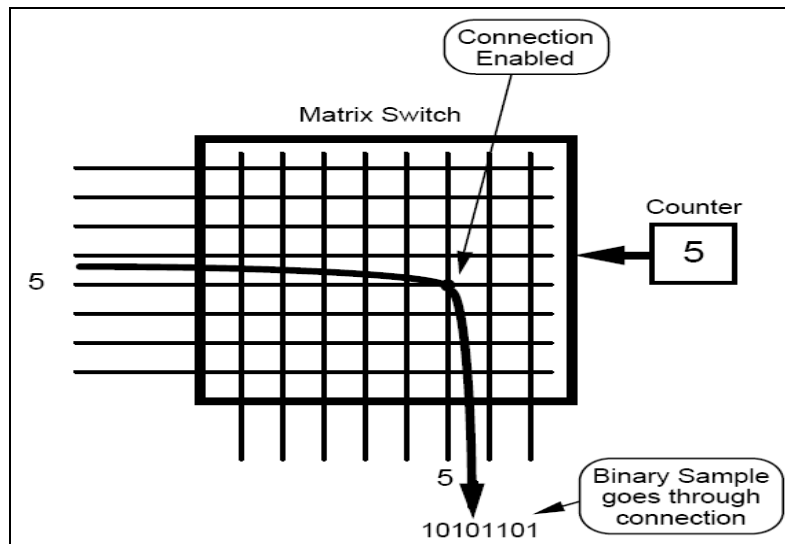
output ditandai angka atau slot waktu yang sama. Perhatikan gambar 10.18. Dalam contoh ini diambil angka 5.

Pencacah yang ada bekerja untuk kemudian dari hasil cacahannya mencapai angka (5),

dan pada saat itu saluran input dan output terhubung. Perhatikan gambar 10.19. Sementara waktu dua saluran terhubung, delapan bit biner yang mewakili satu sinyal sampel suara mengalir melalui sambungan.



Gambar 10.18. Penandaan slot waktu



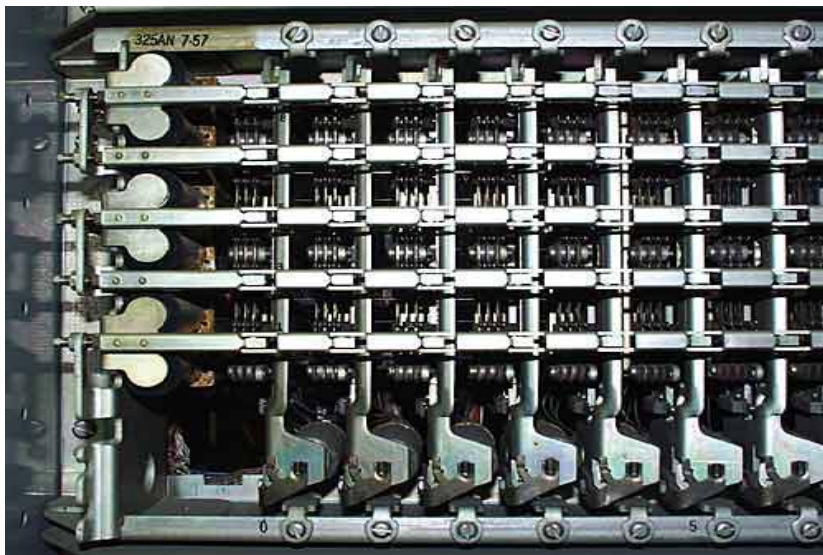
Gambar 10.19. Data mengalir melalui sambungan

Selanjutnya pencacah bekerja hingga mencapai angka 5, dan pada saat yang sama sambungan antara saluran input dan output akan terjadi. Sementara sambungan tetap berlangsung delapan bit digit biner atau satu sampel suara akan mengalir melalui matriks. Demikian pencacah terus berjalan menuju angka 6, maka sambungan akan terputus dan sambungan matriks yang lain akan terjadi. Saat ini kebanyakan switching telepon dibuat menggunakan teknik switching yang sama untuk sinyal sampel dengan delapan bit biner.

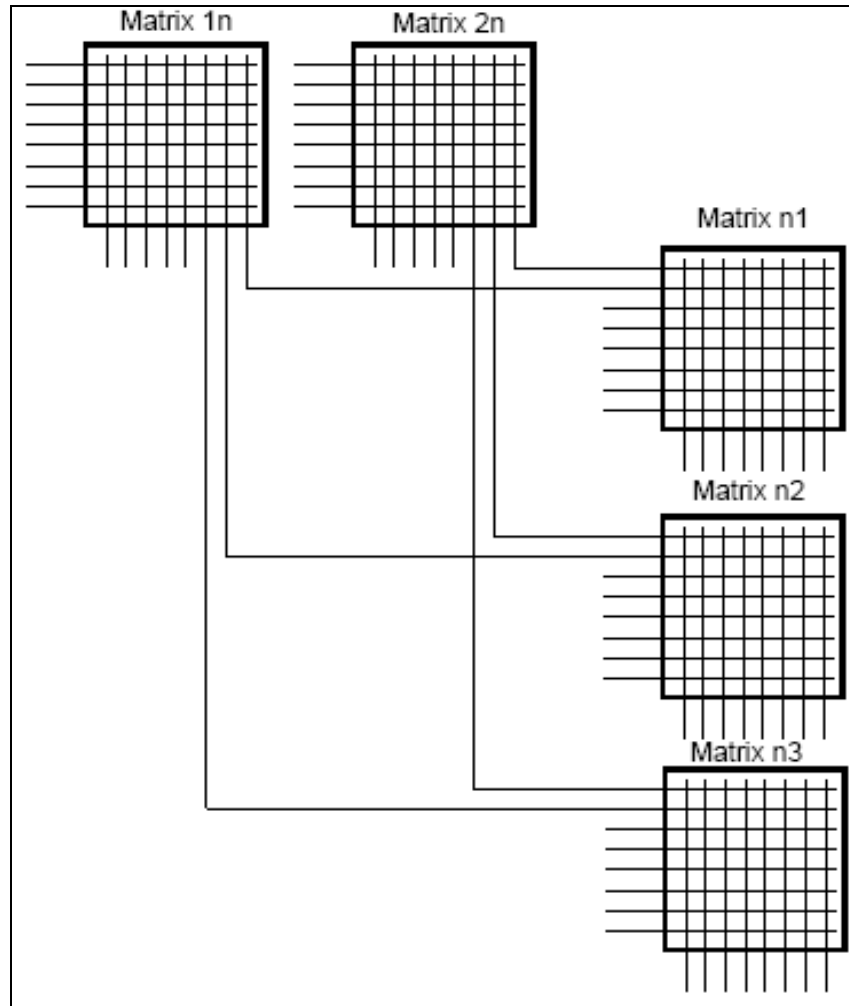
Teknik ini untuk menyaklar sinyal suara dalam bentuk standar digital sebagaimana yang ada pada sistem pembawa T1 dan E1. Pada sistem pembawa ini, suara biasanya *disampling* 8000 kali

setiap detik untuk satu bit sampel setiap saat. Dengan demikian untuk delapan sampel suara akan ada 64.000 bit setiap detik. Hasilnya pada matriks harus menyediakan slot waktu untuk delapan bit setiap 1/8000 detik.

Untuk membentuk sistem switching yang lebih besar, maka yang dilakukan adalah membuat banyak matriks dalam susunan seri dan paralel. Perhatikan gambar 10.18. Pada gambar dapat dilihat saklar matriks saling terhubung satu sama lain, sehingga kelompok pertama menyaklar digit pertama, kelompok kedua menyaklar digit kedua, demikian seterusnya. Perlakuan semacam ini mirip dengan cara-cara yang dilakukan pada saklar step (*stepping switches*).



Gambar 10.20. Switch crossbar elektromekanik yang paling awal



Gambar 10.21. Pengelompokkan matrik saklar menjadi sistem switching

### 10.8. Signaling pada Jaringan Telepon

Dengan perubahan sistem telepon untuk switching dan transmisi dalam bentuk digital, maka pada bagian yang lain perlu dilakukan perubahan metoda penyediaan jaringan *signaling*.

Signaling merupakan fungsi yang memberikan pengendalian

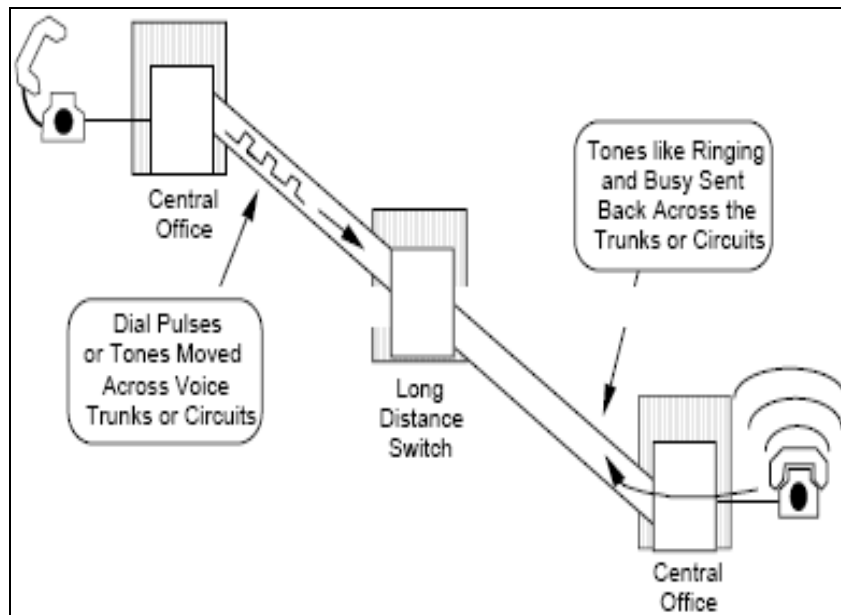
dan informasi tentang berlangsungnya suatu panggilan. Oleh karena itu untuk signaling perlu diperhatikan :

- Nada-nada yang dapat menunjukkan kemajuan panggilan, seperti nada panggil, nada sibuk, nada panggil dan sebagainya.
- Pengalihan angka-angka yang *didial* melalui jaringan.

Kalau dilihat, pada sistem jaringan model lama dengan switching mekanik, signaling dilakukan pada saluran yang sama sebagaimana untuk sinyal suara. Dengan cara ini pulsa atau nada panggilan akan saling mengalir dalam arah yang berlawanan dari pesawat lawan atau sentral telepon ke pemanggil.

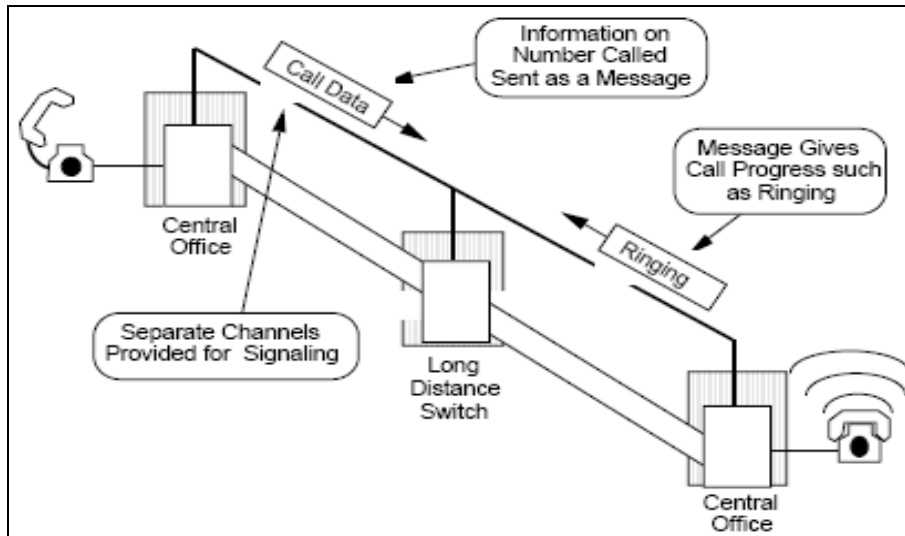
Dalam perkembangannya, sekitar tahun 1970 perusahaan telepon mulai memperkenalkan penggunaan sistem signaling yang baru yang disebut "*Common Channel Inter-Office Signaling*" atau "*Common Channel Signaling*".

Pada sistem yang baru ini signaling telepon dilakukan pada kanal terpisah, karena itu dikatakan sebagai signaling "*out-of-band*". Berbeda dengan signaling yang disebutkan diawal yang dikatakan sebagai signaling "*in-band*".



Gambar 10.22. Proses signaling dalam saluran yang sama



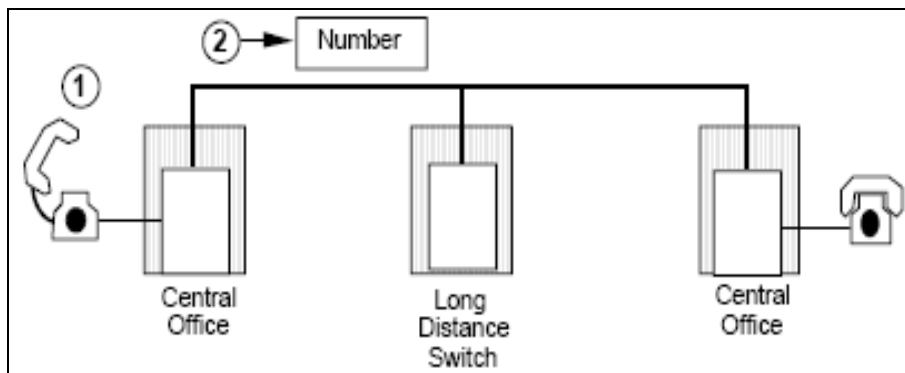


Gambar 10.23. Signaling common channel atau out of band

Berikut ini dijelaskan proses atau langkah-langkah berlangsungnya panggilan dengan menggunakan Common Channel Signaling (CCS).

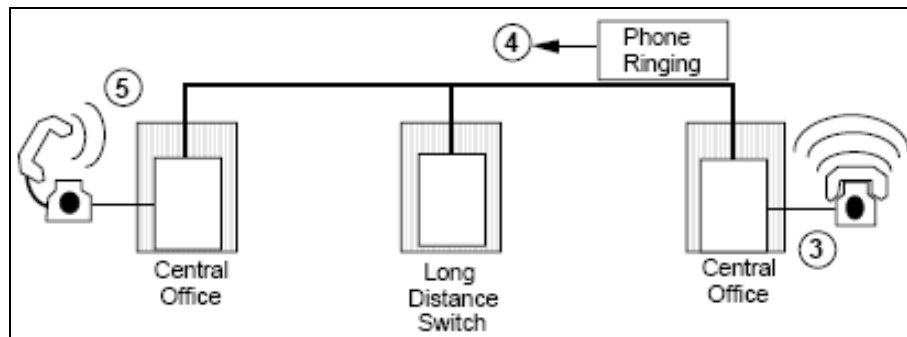
1. Pada saat gagang telepon diangkat (*off-hook*), maka akan terdengar nada dial (panggil) dari sistem switching lokal.

2. Setelah pemanggil memutar nomor-nomor, dari pengendali bersama (*common control*) pada sentral telepon lokal akan dibangkitkan suatu pesan ditujukan kepada nomor pesawat lawan. Pesan ini mengalir melalui jaringan kanal signaling.

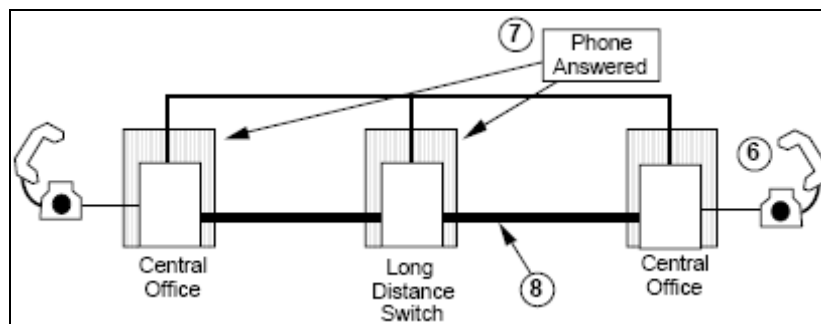


Gambar 10.24. Pemanggil mempersiapkan pemanggilan

3. Pada bagian akhir dari sentral telepon saklar akan mengecek nomor pesawat lawan, setelah itu memberikan nada dering.
4. Saklar pesawatlawan juga mengembalikan pesan ke saklar asal.
5. Pesan tersebut untuk memberitahukan saklar asal agar memberikan sinyal pengebelan kepada pemanggil. Jika nomor yang dipanggil sedang sibuk, maka saklar lawan akan mengembalikan pesan yang memerintahkan saklar lokal memberikan sinyal sibuk.
6. Apabila pesawat telepon lawan menjawab, suatu pesan akan dikirim untuk memberitahukan pada jaringan.
7. Pesan tersebut akan memberitahukan bahwa semua saklar pada jaringan akan tersambung ke sentral agar dapat melakukan pembicaraan.
8. Pembicaraan telepon berlangsung pada saluran sentral.



Gambar 10.25. Pesawat telepon lawan berdering



Gambar 10.26. Panggilan telah tersambung melalui kantor telepon

CCS digunakan pada jaringan komunikasi sebagai bentuk protokol atas dasar switching pesan. Hal ini adalah mirip dengan protokol yang digunakan pada jaringan komputer. Alasannya adalah bahwa itu merupakan jaringan pesan, saklar-saklar telepon tidak hanya dapat mengirimkan sinyal progres panggilan, tetapi juga dapat digunakan sebagai jaringan pesan untuk pemeliharaan, pengecekan dan diagnostik terhadap keberadaan saklar telepon.

Penggunaan CCS pada jaringan telepon telah memberikan suatu perubahan dalam hal :

- Pembiayaan, seperti diketahui bahwa jalur pada sentral telepon tidak digunakan bila tidak ada panggilan yang tidak dijawab. Ini menunjukkan dapat dikurangnya jaringan untuk mendukung layanan. Dengan demikian penghematan dapat dilakukan dan keuntungan dapat diperoleh.

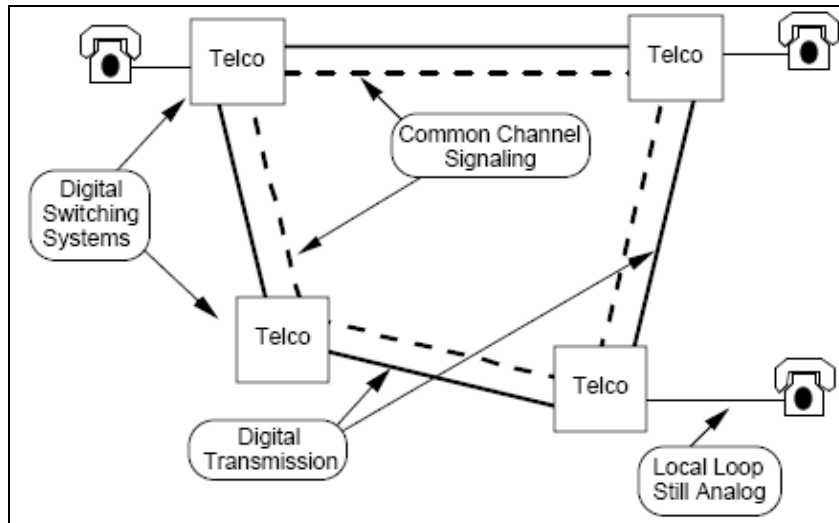
- Waktu Set Up Time, waktu rata-rata saat akhir dari proses *dialing* (menekan nomor-nomor telepon) hingga membunyikan nada panggilan pada pesawat lawan secara nyata berkurang. Jika dibandingkan dengan sistem signaling yang lama, panggilan dapat tersambung membutuhkan waktu sepuluh hingga lima belas detik sebelum nada dering sampai di pesawat lawan.

## 10.9. Pengembangan Jaringan

Pengembangan berikutnya yang dapat dilakukan terhadap jaringan telepon di antaranya meliputi :

1. Perusahaan telekomunikasi khususnya pada bidang telepon dapat segera melakukan perubahan sistem transmisi antar sentral telepon yang semula berbasis analog sekarang harus diubah dengan sistem pembawa digital.
2. Sistem switching telepon yang digunakan pada sambungan jarak jauh dan pada kantor sentral yang paling akhir harus diubah dari sistem mekanik dan switching analog menjadi bentuk switching elektronik digital.
3. Pemisahan jaringan signaling dengan demikian dapat meningkatkan efisiensi berlangsungnya sambungan pembicaraan telepon.

Kalau diperhatikan jaringan telepon yang sekarang terjadi pemisahan fungsi signaling, transmisi dan switching. Pemisahan ini tidak lagi menjadi persolan, karena jaringan dibentuk dalam modul-modul, sehingga setiap bagian dapat diperbaharui atau diperbaiki tanpa mengubah sistem peralatan atau sistemnya.



Gambar 10.27. Pengembangan jaringan telepon

### Panggilan dan transmisi digit atau nomor-nomor telepon

#### 1. Dari pelanggan ke kantor sentral

Waktu rata-rata yang diperlukan oleh pelanggan pada saat melakukan panggilan dan signaling ke sentral lokal adalah sebagai berikut:

##### a. Dengan sistem dial

- waktu reaksi pelanggan dan pemanggilan = 2 detik
- waktu *dialing* 6 digit, satu digit butuh 1,5 detk:  $6 \times 1,5 = 9$  detik
- Jumlah = 11 detik

Dapat dilihat bahwa saat menggunakan sistem sial, diperlukan waktu yang bervariasi dari 10-20 detik, bergantung kepada jumlah digit.

##### b. Dengan sistem tombol (key set)

- waktu reaksi pelanggan dan pemanggilan = 2 detik
- waktu menekan 6 tombol, satu digit 0,7 detk:  $6 \times 0,7 = 4,2$  detik
- Jumlah = 6,2 detik

Variasi waktu saat menggunakan key set adalah 5-10 detik. Semakin bagus pesawat telepon yang digunakan tentu akan semakin pendek waktu yang diperlukan untuk akses ke pesawat lawan.

## **2. Dari sentral ke sentral**

Waktu yang diperlukan untuk panggilan dan signalling antar sentral telepon dijaga sependek mungkin. Dengan menggunakan MFC (Multi Frequency Code), kecepatan transmisi yang dapat dicapai adalah 6-7 digit tiap detik. Dengan demikian dapat dibayangkan betapa cepatnya penggunaan transmisi digital dibandingkan dengan analog biasa.

### **10.10. Pengembangan Menuju Generasi Layanan Terpadu**

Pengembangan berikutnya yang akan dihadapi oleh setiap pelanggan telepon adalah perubahan menuju transmisi digital. Untuk itu maka diperlukan perubahan sistem yang dapat bekerja pada lingkungan digital. Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan perangkat dalam jaringan digital terpadu atau *integrated digital network (IDN)*.

Dalam kenyataannya jaringan telepon berbentuk digital terus dikembangkan agar tidak hanya sistem suara saja yang dapat ditransmisikan dengan baik. Gambar atau video dan data atau teks serta multimedia harus bisa pula ditumpangkan dalam jaringan digital tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan keterpaduan pelayanan, hingga akhirnya ditemukan suatu bentuk "Integrated Services Digital Network" atau "ISDN."

### 10.11. Rangkuman

Dari uraian tersebut di atas maka dapat diambil inti pembahasan pada bagian ini adalah sebagai berikut :

1. Komunikasi melalui telepon adalah komunikasi timbal balik, artinya komunikasi yang berlangsung dalam dua arah tanpa harus bergantian. Komunikasi yang demikian disebut sebagai sambungan *dupleks* penuh (*full duplex*).
2. Uraian kerja terjadinya sambungan telepon dijelaskan sebagai berikut:
  - Gagang telepon diangkat oleh orang yang akan menelpon. Gagang telepon yang diangkat ini disebut *off-hook*. Gagang telepon yang masih terpasang pada tempatnya disebut *on-hook*. Penyebutan *off* dan *on* ini terkait dengan putus dan sambungnya saklar pada telepon.
  - Pengangkatan gagang telepon mengakibatkan *pencari saluran* (*line finder*) pada sentral tersambung kepada pesawat telepon yang sedang *off-hook*.
  - Setiap pemutaran angka atau penekanan tombol angka pada telepon mengakibatkan *stepper switches* mencari nomor yang dimaksud. Saklar ini terus "memegang" angka yang diputar atau ditekan tadi.
  - Proses *stepper switches* tersebut akan melakukan hal yang sama hingga seluruh nomor habis diputar atau ditekan.

### 10.12. Soal Latihan

Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan baik dan benar.

1. Ada berapa macam cara penyambungan (switching) pada sistem telepon ? Coba sebutkan !
2. Jelaskan secara singkat apa yang dimaksud dengan switching mekanik ?
3. Apa alasan digunakannya saklar *crossbar* pada penyambungan sistem telepon ?
4. Apakah keunggulan yang anda ketahui dengan pemilihan saklar *crossbar* ?
5. Jelaskan singkat saja tentang *common channel signaling* ?
6. Pada sistem telepon dikenal "putar dial" dan "tekan tombol", jelaskan perbedaan dari efisiensi waktunya ?



# BAGIAN 11

## KOMUNIKASI BERGERAK

### Tujuan

Setelah mempelajari bagian ini diharapkan dapat:

5. Memahami maksud dan tujuan sistem komunikasi bergerak
6. Memahami frekuensi yang digunakan dalam sistem komunikasi bergerak
7. Menjelaskan evolusi pada sistem komunikasi bergerak
8. Menjelaskan sistem modulasi yang digunakan pada sistem komunikasi bergerak.

Yang dimaksud dengan komunikasi nirkabel adalah sistem komunikasi yang dilakukan tanpa menggunakan media kabel antara pesawat pengirim dan pesawat penerimanya. Dengan definisi semacam ini jelas bahwa jenis komunikasinya memiliki beberapa variasi seperti: radio panggil (*pager*) *walkie talky*, *handy talky* maupun *telepon seluler*. Sistem komunikasinya dapat dikelompokkan menjadi satu arah (*simplex*), dua arah bergantian (*half-duplex*) dan dua arah dalam waktu yang bersamaan (*full-duplex*). Contoh komunikasi satu arah adalah sistem radio panggil (*pager*) yang hanya bersifat menerima pesan, sedangkan dua arah bergantian adalah *walky talky* dan *handy talky* yang cirinya pengoperasiannya dilaku-

kan dengan penggunaan saklar atau tombol yang harus ditekan untuk bicara, dan harus dilepaskan ketika mendengarkan (*push to talk, release to listen*). Untuk telepon nirkabel dua arah tanpa bergantian atau full duplex yang sudah sangat lazim dewasa ini adalah telepon seluler atau ponsel (*handphone*). Komunikasi dua arah tanpa perlu bergantian bisa diwujudkan karena pengirimannya atau transmisinya menggunakan kanal atau saluran yang berlainan atau sendiri-sendiri ketika menerima suara (kanal dengar) dan ketika mengirim suara (kanal bicara). Kanal transmisi yang digunakan itu dapat terpisah dalam jarak tertentu baik secara frekuensi (disebut pembagian alokasi frekuensi), atau pun dalam kawasan waktu



(disebut pembagian alokasi waktu).

Pembagian kanal dalam kawasan waktu masih tetap dapat dimungkinkan selama laju data di dalam pengirimannya masih lebih cepat jika dibandingkan dengan laju data yang digunakan oleh para penggunanya. Dengan demikian, walaupun kirim dan terima dilakukan pada saat yang berbeda, pengguna komunikasi jenis ini tidak akan merasakan adanya perbedaan tersebut, komunikasinya masih dirasakan bersifat serentak antara ketika bicara dan ketika mendengarkan. Ini tidak lain karena pemanfaatan teknik digital yang menakjubkan.

### 11.1. Frekuensi Radio Panggil

Agar tidak terjadi tabrakan frekuensi antara berbagai jenis komunikasi sehingga terjadi saling mengganggu (*jamming* atau penumpukan), maka perlu dilakukan pembagian alokasi frekuensi. Untuk radio panggil, frekuensi yang digunakan bergantung pada berbagai faktor seperti protokol radio panggil yang digunakan, pabrik pembuat radio panggil dan model atau jenisnya, wilayah layanannya, dan alokasi frekuensi yang ditentukan oleh setiap negara. Gambar 10.1. di bawah ini menyatakan alokasi frekuensi yang digunakan oleh sistem komunikasi radio panggil

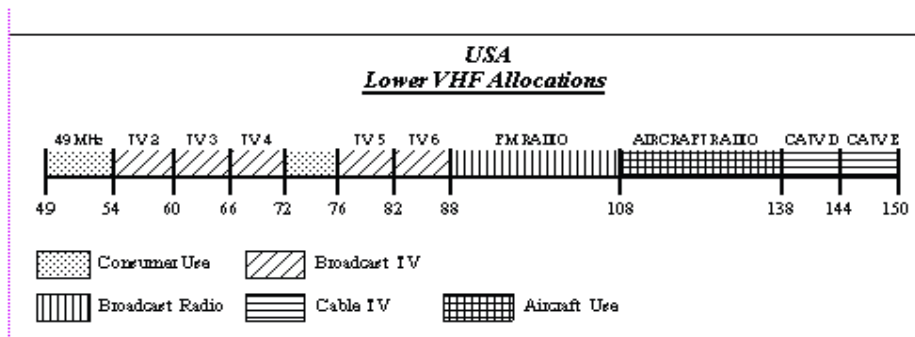


Figure 2.

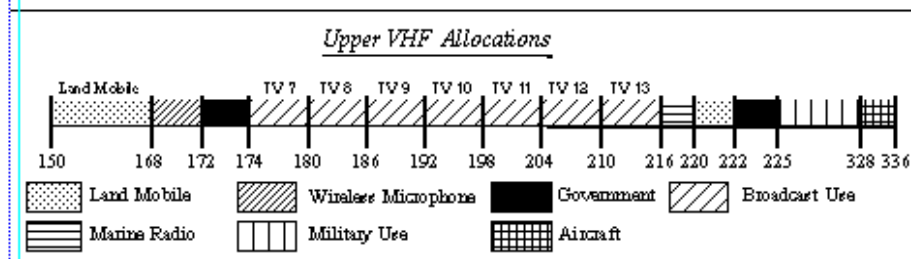


Figure 3.

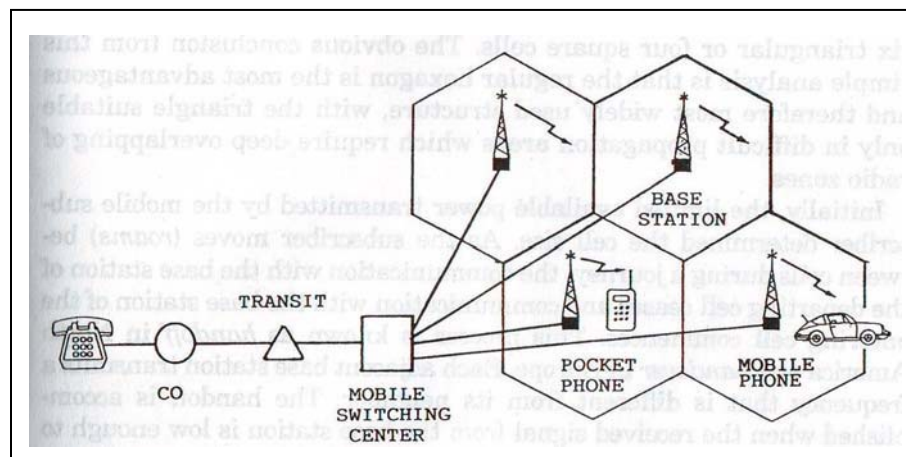
Gambar 11.1. Alokasi frekuensi pada komunikasi radio panggil

## 11.2. Sistem Telepon Nirkabel untuk Rumah

Telepon tanpa kabel (*cordless telephone*) yang banyak digunakan di rumah merupakan komunikasi jenis *full-duplex*. Untuk menghubungkan pesawat genggamnya dengan pesawat induknya, saluran transmisinya melalui udara, dengan modulasi sinyal secara FM. Sementara itu pesawat induknya dihubungkan ke jalur telepon kabel dengan nomor telepon yang telah ditetapkan oleh perusahaan layanan telepon untuk masyarakat umum atau yang dikenal dengan *Public Switched Telephone Network* (PSTN) yang di Indonesia sekarang ini adalah PT TELKOM. Telepon nirkabel generasi pertama yang dibuat tahun 80an, pesawat genggamnya hanya mampu bekerja dengan pesawat

induknya dalam jarak beberapa puluh meter saja. karena pada awalnya dimaksudkan hanya sebagai ekstensi bagi sebuah pesawat pengirim dan penerima (*transceiver*), yang dihubungkan ke jalur kawat pelanggan telepon dari sebuah PSTN yang umumnya di pakai dalam lingkungan rumah tangga.

Untuk menambah jangkauannya, pesawat induk generasi kedua sudah dapat mencakup wilayah sampai beberapa ratus meter. Dengan demikian, telepon nirkabel generasi kedua ini sudah memungkinkan para pelanggannya menggunakan pesawat genggam di luar rumah, di wilayah padat di kota-kota seperti Jakarta, Surabaya, Medan dan sebagainya. Telepon nirkabel modern ada yang sudah dilengkapi dengan fasilitas penerima pesan panggil (*pager*).



Gambar 11.2. Hubungan antar telepon nirkabel dengan PSTN

Dengan fasilitas ini biasanya para pelanggannya mula-mula menerima pesan panggil, kemudian menjawab pesan itu melalui telepon nirkabelnya.

### **11.3. Sistem Komunikasi Bergerak Seluler**

#### **11.3.1. Konsep Sistem Komunikasi Seluler**

Konsep seluler mulai muncul di akhir tahun 1940-an yang digagas oleh perusahaan Bell Telephone di Amerika, yang sebelumnya menggunakan pemancar berdaya pancar besar dan ditempatkan di daerah yang tinggi dengan antena yang menjulang. diubah menjadi pemancar berdaya kecil. Setiap pemancar ini dirancang hanya untuk melayani daerah (disebut wilayah cakupan) yang kecil saja, sehingga disebut sel. Dari sini, sistem komunikasinya lalu disebut dengan sistem komunikasi seluler (*cellular*).

Dalam sistem seluler prinsipnya, kanal-kanal -yang berupa frekuensi- yang sama dapat digunakan secara berulang-ulang di sel-sel tertentu pada jarak antar sel tertentu pula, melalui pertimbangan yang matang sehingga pengaruh interferensinya (saling mengganggu bertumpang tindih) dapat diabaikan. Penggunaan frekuensi yang sifatnya berulang ini dalam sistem seluler dinyatakan dengan sel berbentuk heksagonal yang mempunyai tanda huruf atau

dapat juga berupa tanda angka yang sama.

Pemancar di setiap sel disebut stasiun induk (*Base Station*), yang sering disingkat dengan BTS (*Base Transceiver Station*) atau RBS (*Radio Base Station*). Pesawat teleponnya yang dapat ditaruh di saku sehingga dapat dibawa ke mana-mana disebut pesawat bergerak '*mobile station*' yang disingkat MS, atau *mobile phone*, yang istilah populernya di media massa disebut *handphone* dengan singkatan populer "*HP*", istilah lazim untuk di Indonesia adalah 'ponsel', singkatan dari 'telepon seluler'.

#### **11.3.2. Tahap Perkembangan Generasi Telepon Seluler**

Sistem seluler generasi pertama masih memakai teknologi analog. Sistem yang dikembangkan di Eropa dan Jepang bersamaan waktunya dengan yang di Amerika, yakni *Advance Mobile Phone Sistem* (AMPS). Di Inggris dikembangkan *Total Access Communication Sistem* (TACS), di Skandinavia: *Nordic Mobile Telephone Sistem*, (NMT) di Jepang: *Nippon Advanced Mobile Telephone Service* (NAMTS). Jerman Barat (negara Jerman waktu itu masih terbagi menjadi dua; Jerman Barat dan Jerman Timur) mengembangkan NETZ-C (C-450).

Kemampuan standar masing-masing sistem tersebut di atas relatif sama tetapi spesifikasi operasionalnya secara teknik tidak mendunia, karena sistem dipilih dan dikembangkan di masing-masing negara untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, termasuk pilihan frekuensinya yang ditentukan oleh pita frekuensi radio yang tersedia di setiap negara secara sendiri-sendiri.

Walaupun konsep penggunaan sel dalam komunikasi seluler secara teori memberikan kapasitas layanan komunikasi yang tidak terbatas melalui pemecahan sel jika komunikasi di suatu wilayah sudah padat, di dalam prakteknya, para operator tetap menghadapi kesulitan sejak dimulainya penggunaan radio seluler tahun 1990-an. Logikanya jika komunikasi semakin padat maka harus dibuat sel-sel baru yang ukurannya semakin lama menjadi makin kecil. Akan terjadi gangguan interferensi biaya nya mahal untuk mendirikan BTS di lokasi padat dengan posisi fisik yang terbaik.

Selain alasan ini, di Eropa misalnya, dengan banyak negara dan penduduknya sering bepergian melintas antar negara, tidak akan memungkinkan bagi mereka menggunakan telepon seluler yang sama di negara tetangga yang dilintasi atau dikunjunginya. Dari keterbatasan inilah yang memunculkan komunikasi seluler generasi kedua, dengan kapasitas layanan

yang lebih besar serta tingkat kesesuaian (kompatibilitas) antar beberapa negara.

Sistem seluler generasi kedua yang menggunakan teknik digital secara global ada empat macam, yakni

1. di Eropa, yang juga digunakan secara internasional; *Groupe Speciale Mobile (GSM)* yang yang kini lebih dikenal dengan *Global Sistem for Mobile*;
2. di Amerika Utara; *North American Digital Cellular (NADC)* yang dikenal dengan IS-54.
3. di Jepang; *Japanese Digital Cellular (JDC)*.

GSM yang kita kenal sekarang ini melalui nama layanan komunikasi di Indonesia seperti TELKOMSEL dengan kartu "simpati"-nya, dan PT INDOSAT dengan "mentari"-nya, dan PT EXELCOMINDO dengan "Pro-XL"-nya merupakan sistem komunikasi seluler standar generasi kedua, yang bertujuan untuk mengatasi masalah sistem yang operasionalnya secara teknis tidak bersesuaian, yang terjadi pada pada sistem seluler generasi pertama di Eropa, yang berlaku Eropa dalam pita 900 Mhz . di Eropa, GSM pertama kali diperkenalkan di benua Eropa tahun 1991. Menjelang akhir tahun 1993, beberapa negara non-Eropa seperti di Amerika Selatan, Asia dan Australia ternyata mengacu ke teknik yang digunakan GSM, yakni DCS 1800, yang menangani layanan komunikasi personal, yang

disebut *Personal Communication Services* (PCS) di pita 1,8 GHz sampai 2,0 GHz.

Kemampuan GSM dibanding sistem yang sudah lebih dulu ada adalah penggunaan modul identitas pelanggan yang disebut *Subscriber Identity Module* (SIM-card), yang merupakan peranti memori yang menyimpan informasi seperti nomor identifikasi (telepon) pelanggan, jaringan dan negara-negara tempat pelanggan berhak dilayani, kunci-kunci pribadi, dan informasi khusus bagi pengguna. SIM yang merupakan kartu cerdas berukuran sekitar 2 x 3 cm ini dimasukkan ke dalam setiap telepon GSM yang dapat dilepas dan dibawa kemana-mana. Setiap ponsel GSM merek apapun tidak dapat dioperasikan tanpa SIM yang dimasukkan ke dalamnya.

Kemampuan kedua GSM yang mengherankan adalah kerahasiaan di udara yang disediakan oleh sistem. Tidak seperti telepon seluler analog yang bersifat FM, yang dapat disadap, orang tidak bisa menyadap atau turut mendengarkan transmisi radio GSM. Kerahasiaan ini dibentuk oleh teknik yang dikripsi digital (diacak dengan kode tertentu) di pemancar GSM, sesuai dengan kunci kriptografi tertentu yang hanya diketahui oleh operator. Kunci ini dapat diubah-ubah untuk setiap pengguna. Setiap operator dan pabrik pembuat GSM harus menandatangani nota kesepahaman (*memorandum of understanding*) sebelum mengem-

bangkan peralatan GSM maupun menyebarkan layanan sistemnya. Nota kesepakatan ini merupakan perjanjian internasional yang memungkinkan terciptanya pembagian algoritma kriptografi dan informasi yang menjadi haknya antara negara-negara, dengan para operatornya.

Setiap ponsel GSM kan diberi nomor identitas khusus yang disebut dengan singkatan IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) berupa deretan angka sepanjang 15 digit, atau IMEISV (*International Mobile Equipment Identity and Software Version Number*) 16 digit. IMEI maupun IMEISV memiliki sebuah struktur yang mencakup sandi persetujuan tipenya yang disingkat dengan TAC (*type approval code*) dan kode perakitan akhirnya yang disebut FAC (*final assembly code*)

### **11.3.3. Sel-Sel Menggunakan Kanal Frekuensi Berulang**

Karena Sistem radio seluler menerapkan sistem sel yang memiliki cakupan wilayah layanan yang tidak begitu luas, maka kanal-kanal frekuensi transmsinya dapat digunakan berulang-ulang pada jarak antar sel tertentu. Jarak antar sel ini mempertimbangkan batas minimum yang diperhitungkan tidak mungkin akan terjadi antara kanal yang berfrekuensi sama. Setiap BTS sebagai pusat dari sebuah sel akan diberi alokasi sekelompok kanal radio

BTS di sel-sel yang berbatasan dengannya akan memperoleh seke-lompok kanal atau frekuensi lain yang sama sekali berbeda dengan sel-sel yang mengitarinya. Jatah frekuensi keseluruhan yang diberikan oleh pemerintah kepada sistem (operator) akan dihabiskan dengan cara dibagi-bagi dalam 'sekelompok sel' yang disebut 'cluster'. Pada cluster yang saling bertetangga ini, sel yang memiliki frekuensi kanal yang sama disebut 'co-channel cell'.

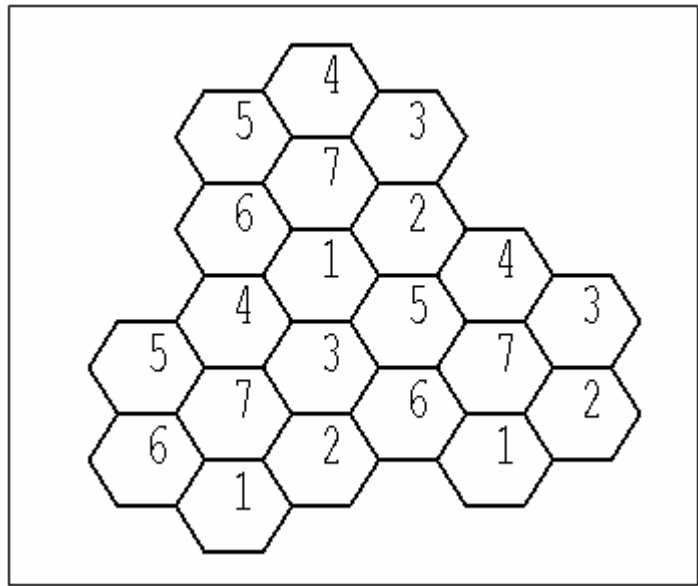
Analisis tentang perancangan, pemilihan dan alokasi kelompok-kelompok kanal bagi semua BTS yang akan dibangun oleh operator telekomunikasi disebut 'penggunaan ulang frekuensi' atau disingkat dengan 'perulangan frekuensi' saja. Pada

gambar 11.3. mengilustrasikan peta perulangan frekuensi, yang ditandai dengan pemberian label atau penomoran sel-sel dengan label atau nomor sama.

Bentuk heksagonal seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11.3 di bawah untuk menggambarkan sebuah sel merupakan bentuk penyederhanaan model cakupan radio dari sebuah BTS, yang telah umum digunakan untuk mempermudah analisis secara matematik pada sistem seluler.

Persamaan matematika untuk jatah kanal radio yang diberikan kepada operator telekomunikasi dinyatakan dengan :

$$S = kN$$



Gambar 11. 3. Peta perulangan frekuensi menggunakan kode berurut

Persamaan tersebut menyatakan bahwa jatah frekuensi yang diberikan kepada operator adalah jatah kanal frekuensi yang ada di setiap sel, dikalikan dengan jumlah sel dalam satu kelompok, ini diasumsikan bahwa setiap sel memiliki jumlah kanal yang sama. Dengan demikian, sekelompok sel (nomor sel 1 sampai dengan 7) yang disebut cluster inilah yang secara kolektif menggunakan jatah frekuensi keseluruhan yang dimiliki oleh operator. Dalam penggunaan ulang frekuensi, sel yang nomornya sama memiliki kanal frekuensi yang sama. Inilah yang disebut penggunaan ulang frekuensi.

#### **11.3.4. Penduplexan dalam Kawasan Waktu dan Frekuensi**

Agar dapat dilakukan komunikasi secara duplex penuh, yakni berbicara dan mendengar secara serentak, dibutuhkan dua saluran atau kanal sekaligus yang disebut penduplexan. Penduplexan dengan cara menggunakan frekuensi yang berbeda antara kanal terima dan kanal kirim disebut 'penduplexan divisi frekuensi' atau FDD. Di sini, untuk setiap pengguna disediakan dua pita frekuensi untuk kanal komunikasinya. Pita tuju (kanal kirim) digunakan sebagai kanal penghubung dari BTS ke pesawat komunikasi, pita balik (kanal terima) digunakan sebagai kanal penghubung dari pesawat komunikasi ke BTS.. Jarak

rentang pemisahan frekuensi antara kanal tuju dan kanal balik memiliki nilai yang tetap di dalam keseluruhan sistemnya, tidak bergantung pada nomor-nomor kanal yang digunakan.

Cara lain untuk menciptakan penduplexan adalah dalam kawasan waktu, yang disebut 'penduplexan divisi waktu' atau disingkat dengan TDD. Komunikasi dikirim pada waktu yang berbeda, tetapi pada frekuensi yang sama. Jika waktu pemisahan antara kanal tuju dan kanal balik yang menggunakan frekuensi yang sama ini bernilai cukup kecil yang disebut dengan -slot waktu-, maka pengiriman dan penerimaan percakapanyang sudah berupa data digital yang berbentuk bit-bit, akan terdengar serentak dalam waktu yang bersamaan oleh para penggunaanya, perbedaannya tidak terasa.

#### **11.3.5. Perkembangan Sistem Komunikasi Bergerak**

Perkembangan teknologi elektronik dalam perangkat keras yang semakin lama menjadi semakin kecil bentuknya dan semakin canggih bekerjanya mendorong perkembangan yang pesat pula dalam sistem komunikasi bergerak. Dorongan perkembangan komunikasi bergerak juga terkait dengan faktor-faktor seperti : adanya tuntutan dari segi kemudahan berkomunikasi dan kapasitas sistem, teknologi yang lebih murah, ukuran

fisik sistem dan piranti yang lebih kemampuan komunikasi yang sedapat mungkin mendekati kemampuan komunikasi yang menggunakan transmisi kabel, yang berdimensi multimedia (suara, data, grafik dan gambar).

Evolusi komunikasi nirkabel bergerak tampaknya sudah akan mulai masuk ke generasi keempat. Pada sistem seluler generasi pertama, transmisi data percakapan analog antara BTS atau stasiun induk di setiap sel dengan pengguna ponselnya memiliki laju rendah, dan tidak efisien. Tetapi, penyalurannya dari BTS ke MSC, (*mobile switching center*) atau Sentral Telepon. Sinyal-sinyal percakapan biasanya di-digitalkan menggunakan format pemulti-plekan divisi waktu (TDM) yang sudah distandarkan, dan selalu berbentuk digital dalam penyaluran selanjutnya dari MSC ke PSTN.

Sistem nirkabel pada tahap generasi kedua sudah menerapkan modulasi digital dengan kemampuan pemrosesan panggilan yang telah dikembangkan lagi. Contohnya adalah sistem GSM, sistem standar digital TDMA dan CDMA Amerika Serikat, atau sesuai dengan nama yang diberikan oleh Asosiasi Industri Telekomunikasi Amerika, yakni IS-54, dan IS-95, sistem CT2 untuk Inggris, *Personal Access Communication System* (PACS) dan DECT yang merupakan standar Eropa untuk telepon nirkabel maupun perkantoran. Sistem arsitektur pada generasi kedua ini telah

kecil dengan peningkatan memungkinkan antarmuka data antara BTS dengan MSC distandardisasikan sehingga para operator dapat menggunakan peralatan MSC maupun BSC yang berasal dari pabrik pembuat yang berbeda-beda, sehingga ada pasar bebas untuk bersaing bagi industri pembuat perangkat telekomunikasi bergerak..

Jika pada sistem komunikasi generasi pertama yang terutama dirancang untuk percakapan, jaringan-jaringan nirkabel generasi kedua secara khusus sudah dirancang untuk dapat pula melakukan fungsi radio panggil, layanan data lainnya seperti faksimil, dan pesan singkat (SMS)

Sistem komunikasi bergerak generasi ketiga menggunakan jaringan digital layanan terpadu berpita lebar (B-ISDN) untuk mengakses jaringan-jaringan informasi, seperti: internet dan basis data publik maupun data pribadi Munculnya berbagai istilah seperti *Personal Communication System* (PCS) dan *Personal Communication Network* (PCN) menandai munculnya sistem generasi ketiga bagi perangkat-perangkat genggam (ponsel)-nya. Nama lain dari PCS ini termasuk *Future Public Land Mobile Telecommunication Systems* (FPLMTS) untuk penggunaan di seluruh dunia, yang juga dikenal dengan nama *International Mobile Telecommunication 2000* (IMT 2000), dan *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS). IMT 2000 adalah generasi ketiga yang ditetapkan oleh ITU (International Tele-



comunication Union) atau Perserikatan Telekomunikasi Dunia.

Generasi ketiga mulai dipersiapkan sejak tahun 1992 ketika ITU menetapkannya dengan nama 'IMT-2000'. Angka 2000 memiliki tiga arti, yakni menyatakan tahun ketika layanannya mulai tersedia di lapangan, rentang frekuensi dalam MHz yang akan digunakan, dan laju data dalam satuan kbps. Dalam perkembangannya, menginjak tahun 2002, Amerika di bagian utara telah menggunakan frekuensi yang direkomendasikan bagi IMT 2000 untuk layanan lain, dan kecepatan tinggi hanya dapat disediakan melalui sel-sel yang sangat kecil yang disebut dengan sel piko yang berada di dalam ruangan maupun di dalam bangunan. Dengan begitu Walaupun ITU telah mendeskripsikan IMT 2000 sebagai sebuah standar tunggal yang bersifat mendunia, tetapi penentu kebijakan bidang telekomunikasi di beberapa negara, pabrik-pabrik pembuat peralatan dan para operator tidak dapat mencapai kesepakatan. Akibatnya IMT-2000 memiliki tiga mode operasi, yakni "code division multiple access" atau CDMA, "wide code division multiple access" atau disingkat WCDMA dan "time division multiple access" atau TDMA, yang tidak menjamin telepon dari satu mode akan dapat dioperasikan pada mode-mode lainnya. Di Eropa generasi ketiga diberi nama UMTS (*Universal Mobile Telecommunication Sistem*)

Teknologi sistem komunikasi nirkabel generasi keempat (G4)

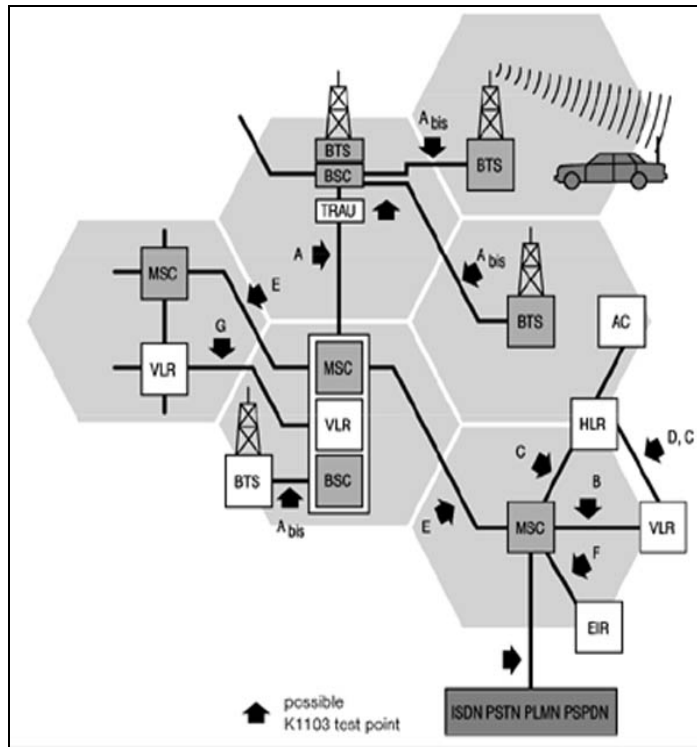
masih mengambil beberapa teknologi yang belum matang benar, karena masih dikembangkan. Kunci di antaranya adalah antena BTS yang memiliki karakter dandanan (*array*) adaptif. Antena yang adaptif ini mampu menyediakan penguatan yang tinggi sehingga dapat mengoptimalkan ukuran ponselnya dan konsumsi dayanya, serta akan memperkecil kemungkinan terjadinya interferensi dari perangkat-perangkat atau terminal-terminal lain dalam wilayah sel yang sama. Dalam hal kemampuan layanannya, ia dapat menyediakan layanan sistem video yang bergerak secara penuh yang dapat dipasang pada kacamata. NTT DoCoMo, peratr layanan komunikasi yang beroperasi di Jepang mengemukakan bahwa kemampuan komunikasinya begitu luas dan bervariasi, yang dapat disingkat dengan kata "MAGIC", yang merupakan akronim dari rentetan kata yang panjang, yakni: *Mobile Multimedia solution available Anytime, Anywhere to Anyone, but which has Global Mobility support, and Integrated wireless solution and Customized personal service*. Kegiatan komunikasi yang dilakukan di dalam kendaraan yang bergerak dalam kecepatan tinggi memungkinkan sistemnya dapat bekerja dalam kecepatan sampai 2 Mbps., untuk pengguna yang berkomunikasi sambil berjalan kaki atau yang berada di rumah, kecepatannya bisa mencapai 20 Mbps.

### 11.3.6. Sistem GSM

Dalam sistem GSM, ponsel pengguna berkomunikasi dengan telepon lainya melalui subsistem yang disebut BSS (*Base Station Subsystem*). BSS ini merupakan pengatur jalur transmisi radio antara ponsel dengan sentral telepon GSM yang disebut MSC (*Mobile Station Center*). BSS mencakup BTS (*Base Transceiver Station*) dan BSC (*Base Station Controler*). BSC merupakan pembantu MSC yang menangani ponsel yang akan berpindah kanal dari BTS satu ke BTS lainnya ketika ponsel tersebut bergerak keluar dari batas jangkauan sel BTS satu ke batas jangkauan sel milik BTS lainnya, yakni pindah sel atau pindah kanal frekuensi. Istilahnya disebut "*hand-over*" (pindah penanganan). Dengan demikian BSC ini mengendalikan beberapa BTS. Ada BTS yang memiliki lokasi fisik yang sama dengan BSC, ada pula BTS yang terpisah jauh dengan BSC-nya. Perlu diketahui bahwa sistem

seluler sebelum GSM tercipta, seperti pada AMPS misalnya, pindah kanal (pindah sel atau pindah BTS) yang istilahnya disebut "hand-off" langsung ditangani oleh MSC (sentral telepon), sehingga MSC memiliki pekerjaan terlalu berat. Dari penjelasan ini diagram blok system GSM dapat diilustrasikan seperti Gambar 11.4.

Apabila subsistem BSS menangani komunikasi jalur radio (komunikasi melalui udara) antara ponsel dengan sentral teleponnya yang disebut dengan MSC, maka hubungan selanjutnya antara MSC dengan sentral telepon kabel (misalnya PT TELKOM) atau pun MSC lainnya, baik MSC milik perator yang sama atau milik operator lainnya (misalnya dari MSC milik PT INDOSAT ke MSC milik PT TELKOMSEL atau PT EXELCO-MINDO, ditangani oleh subsitem yang disebut dengan *Network Switching Subsystem* (NSS).



Gambar 11.4. Diagram blok arsitektur GSM

Selain menangani penyaluran percakapan antara sistem GSM dan jaringan luar lainnya, NSS juga menangani BSC dalam subsistem radio, dalam hal tanggung jawabnya untuk mengatur dan menyediakan akses keluar bagi beberapa basis data pelanggan. Jelasnya, MSC merupakan bagian inti di dalam NSS, yang mengendalikan lalu lintas komunikasi di antara semua BSC. Ada tiga basis data yang dimiliki NSS, yakni *Home Location Register* (HLR), *Visitor Location Register* (VLR), dan *Authentication Center* (AUC).

HLR merupakan basis data di MSC yang menyimpan informasi pelanggan dan informasi setiap pengguna yang berlokasi dan terdaftar dalam sistem GSM di kota tempat MSC tersebut berada. Setiap pelanggan sistem GSM memang memiliki suatu identitas yang disebut *International Mobile Subscriber Identity* atau disingkat dengan IMSI. Identitas berbentuk angka-angka ini digunakan untuk mengidentifikasi tempat atau lokasi pengguna terdaftar di suatu MSC, misalnya Yogyakarta, Jakarta, Semarang atau kota lainnya.

Sementara itu, basis data lainnya yang bernama VLR merupakan basis data yang berfungsi menyimpan informasi pelanggan yang sifatnya sementara, dan IMSI setiap pelanggan yang menjelajah dan mengunjungi wilayah sebuah MSC, yang bukan MSC tempat ia didaftar pertama kalinya oleh operator. Contoh pelanggan yang terdaftar di MSC di Jakarta sebagai lokasi rumahnya (*home location*) ketika bepergian ke Yogyakarta, maka MSC di Yogyakarta akan berposisi sebagai MSC yang dikunjungi, atau dengan kata lain, pelanggan tersebut merupakan pendatang bagi MSC di Yogyakarta.

VLR ini dihubungkan dengan beberapa MSC dalam cakupan wilayah geografi layanan yang dimiliki oleh operator GSM yang bersangkutan. Ketika seorang pelanggan yang menjelajah atau bepergian ini tercatat di MSC yang dikunjunginya, maka MSC tersebut akan mengirim informasi yang diperlukan ke HLR pelanggan yang sedang mengunjunginya. Dampaknya adalah setiap percakapan ke ponsel yang sedang menjelajah dapat dirutekan secara tepat melalui PSTN, oleh HLR pesawat tersebut, sehingga perhitungan tarif teleponnya dapat disesuaikan. Semakin jauh meninggalkan rumahnya, semakin tinggi tarif percakapannya, kecuali operator memprogram lain.

Basis data yang ketiga dinamai "AuC", yakni basis data yang benar-benar dilindungi oleh operator, karena ia dipakai untuk

menangani otentikasi (identitas) dan kunci-kunci enkripsi (pengacakan bit-bit komunikasi untuk menghindari penyadapan telepon) bagi setiap pelanggannya, baik di HLR maupun VLR. AuC memiliki berisi sebuah register yang disebut *Equipment Identity Register* (EIR) yang mengidentifikasi telepon-telepon genggam yang telah dicuri orang (berdasar laporan pelanggan ke operator teleponnya), maupun diubah dengan tidak sah, yang mengirimkan data identitas yang tidak sesuai dengan informasi yang telah disimpan dalam HLR maupun VLR. Dengan cara ini, maka permintaan komunikasi oleh sebuah ponsel dapat saja dilayani atau tidak dilayani oleh operator karena masuk dalam daftar hitam di sistemnya.

Subsistem GSM yang ketiga disebut: *Operation Support Subsystem* (OSS), sesuai dengan namanya, yakni sistem operasi pendukung layanan. Setiap OSS menangani satu atau beberapa pemeliharaan operasi atau *Operation Maintenance Center* (OMC) yang digunakan untuk memantau dan memelihara kinerja setiap ponsel (MS), BS, BSC dan MSC. fungsi OMC ini di antaranya adalah untuk :

- Menangani kerja /memelihara perangkat keras telekomunikasi dan operasi jaringan;
- Mengatur semua prosedur penghitungan biaya telekomunikasi (*billing system*);
- Mengatur semua ponsel yang berada dalam sistem.

Dalam setiap sistem GSM, OMC-lah memiliki kewenangan untuk mengatur berbagai parameter BTS dan prosedur penghitungan biaya percakapannya, juga memberikan kemampuan kepada operatornya untuk menentukan kinerja dan kemampuan setiap ponsel milik para pelanggan atau penggunanya.

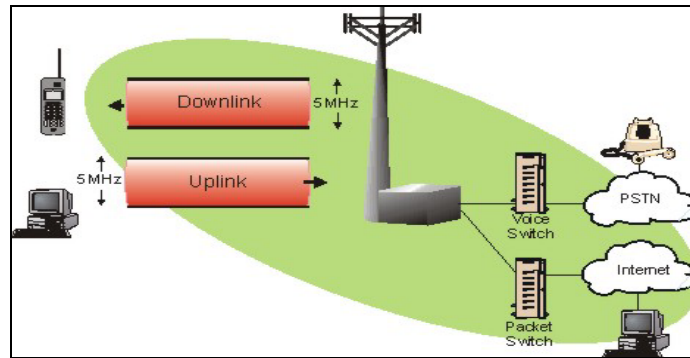
#### **11.4. Komunikasi Data Nirkabel**

Kebutuhan komunikasi data nirkabel didorong oleh masalah yang berkaitan dengan kepraktisan, karena keruwetan penggunaan kabel dapat dihindari. Komputer (desktop maupun laptop) dapat dihubungkan ke printer maupun jaringan lokal yang dikenal dengan LAN tanpa menggunakan kabel. Para pengguna komputer dapat terhubung ke LAN dengan mudah melalui media frekuensi radio (RF) ataupun sinar merah infra (IR).

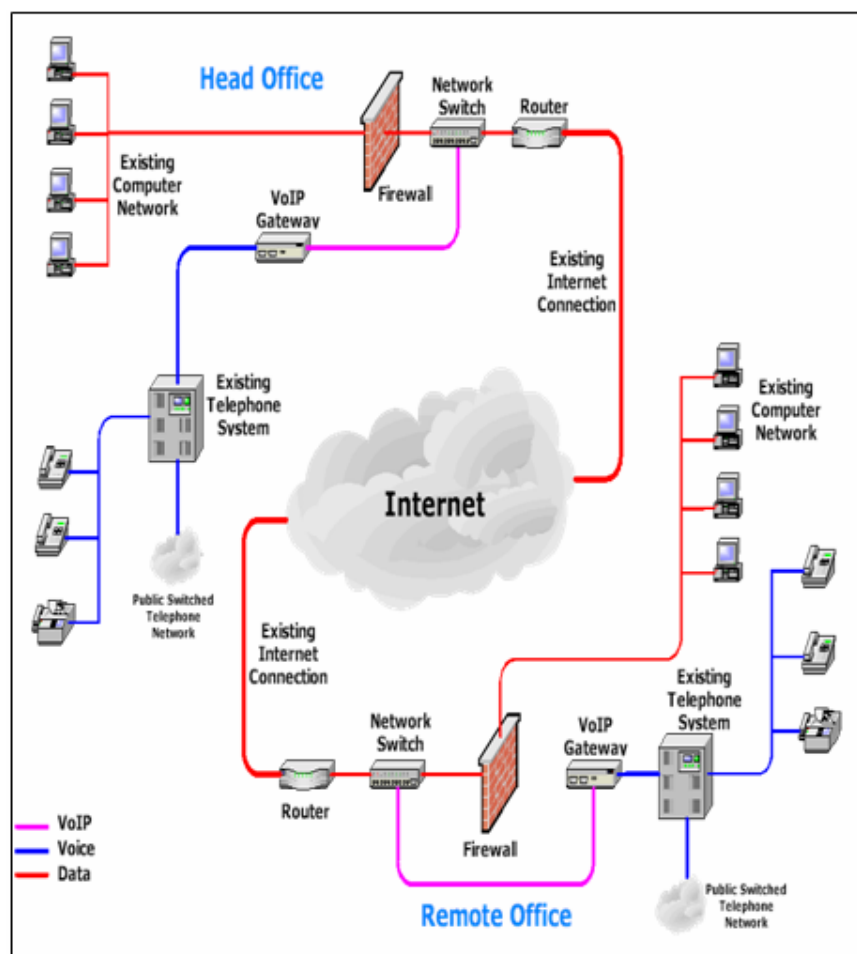
Sejak tahun 1991, standar komunikasi LAN nirkabel dibahas oleh komite Institusi perekayasa elektro dan elektronika, yang bernama '*Institute of Electrical and Electronic Engineers*' (IEEE), yang dikenal dengan IEEE 802.11. Hal-hal yang distandarkan mencakup karakteristik jangkauan, persyaratan *throughput*, prosedur dan media transmisinya.

Adanya standar ini akan mempermudah perancangan yang produk barangnya dapat bersaing secara bebas di pasar. dan terjadinya ketidaksesuaian kerja produk dari berbagai pabrik pembuat pun dapat dihindari. Sekarang ini, sebagian produk nirkabel yang berwilayah lokal beroperasi pada pita frekuensi tanpa lisensi 2,4 GHz, yang memiliki keterbatasan, yakni lebar pita hanya 80 MHz, dan anjurkan untuk menggunakan teknologi spektrum tersebar, serta piranti pengguna LAN nirkabel harus tidak menginterferensi berbagai sistem milik para pemegang ijin frekuensi.

Adanya keterbatasan pada frekuensi 2,4 GHz ini menyebabkan badan pemberi lisensi frekuensi di beberapa negara tertentu kemudian mengalokasikan spektrum frekuensi pada pita yang lebih tinggi lagi, yakni 5 GHz. Berbagai nama layanan komunikasi dan nirkabel ini misalnya adalah: IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, HiperLAN1, Bluetooth dan masih banyak lagi.



Gambar 11.5. Sistem nirkabel pita lebar (broadband)



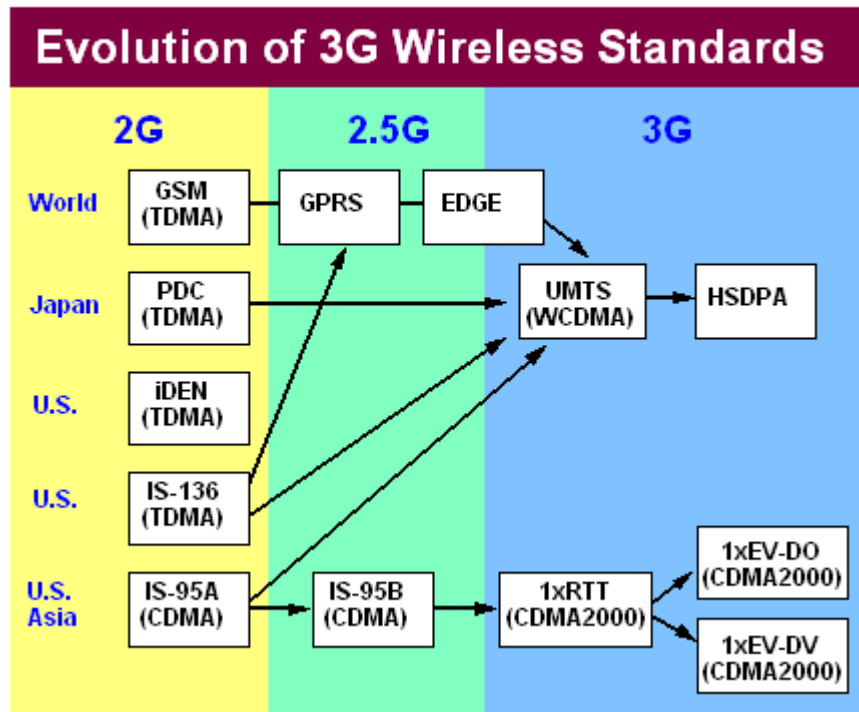
Gambar 11.6. Kompleksitas hubungan suara dan data nirkabel

### 11.5. Teknologi Menuju 3G

Apa itu 3G? Untuk menjawab itu kita ingat yang namanya komunikasi nirkabel (*wireless*). 3G adalah merujuk pada komunikasi nirkabel generasi berikutnya, yang membawa nama dari sesuatu dari teknologi dengan piranti komunikasi bergerak.

Tujuan dari 3G atau “*third generation*” adalah untuk meny-

lurkan kemampuan kapabilitas kecepatan data yang lebih tinggi terhadap piranti komunikasi bergerak pada luasan secara geografi lebih luas. Kecepatan data di atas 2 Mega bits per detik akan memadai pada beberapa daerah. Di samping itu tujuan 3G adalah menjadikan piranti ini memiliki keseragaman dalam hal mobilitasnya, sehingga di manapun piranti itu di bawa tetap memberikan kualitas yang baik.



Gambar 11.7. Perkembangan 3G di negara maju

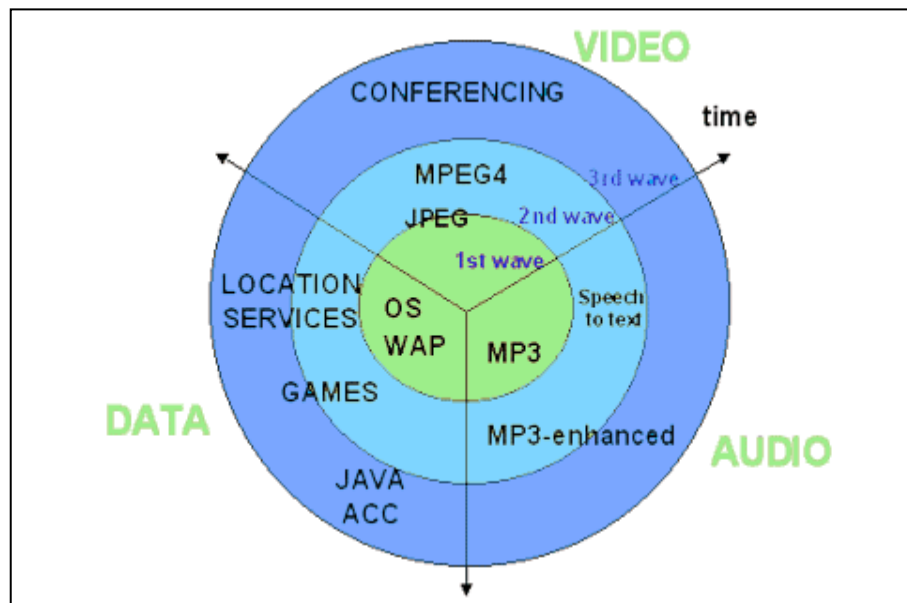
#### 11.5.1 Munculnya Teknologi 1G

Teknologi komunikasi bergerak muncul pertama kali

dengan sistem analog. Teknologi ini dikenal dengan sistem AMPS (Advanced Mobile Phone System). AMPS digolongkan dalam generasi pertama teknologi telekomunikasi bergerak yang menggunakan teknologi analog dimana AMPS bekerja pada band frekuensi 800 Mhz dan menggunakan metode akses FDMA (Frequency Division Multiple Access).

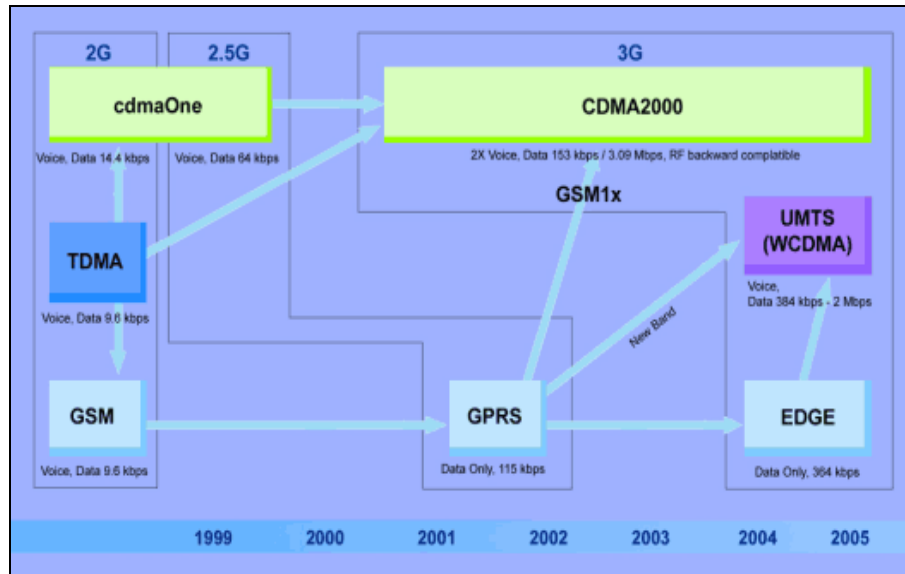
frekuensi yang digunakan. Setiap pengguna menggunakan kanal sebesar 30 KHz. Ini berarti tidak boleh ada dua pengguna yang menggunakan kanal yang sama baik dalam satu sel maupun sel tetangganya. Oleh karena itu AMPS akan membutuhkan alokasi frekuensi yang besar. Saat itu kita sudah memakai handphone tetapi masih dalam ukuran yang relatif besar dan baterai yang besar karena membutuhkan daya yang besar.

Pada sistem FDMA, pengguna dibedakan berdasarkan



Gambar 11.8 Evolusi fitur 3G





Gambar 11.9. Diagram evolusi perkembangan menuju 3G

### 11.5.2. Menuju ke Generasi Kedua Telekomunikasi Bergerak

GSM (*Global System for Mobile Communications*) mulai menggeser AMPS di awal tahun 1995, GSM menggunakan teknologi digital. Ada beberapa keunggulan menggunakan teknologi digital dibandingkan dengan analog seperti kapasitas yang besar, sistem security yang lebih baik dan layanan yang lebih beragam. GSM menggunakan teknologi akses gabungan antara FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) dan TDMA (*Time Division Multiple Access*) yang awalnya bekerja pada frekuensi 900 Mhz dan ini merupakan standard yang pelopori oleh ETSI (*The European Telecommunication Standard Institute*) dimana

frekuensi yang digunakan dengan lebar pita 25 KHz Pada band frekuensi 900 Mhz. Pita frekuensi 25 KHz ini kemudian dibagi menjadi 124 carrier frekuensi yang terdiri dari 200 KHz setiap *carrier*. Carrier frekuensi 200 KHz ini kemudian dibagi menjadi 8 *time slot* dimana setiap user akan melakukan dan menerima panggilan dalam satu *time slot* berdasarkan pengaturan waktu.

### 11.5.3. Menuju Generasi Dua-Setengah

Pada awalnya akses data yang dipakai dalam GSM sangat kecil hanya sekitar 9.6 kbps karena memang tidak dimaksudkan untuk akses data kecepatan tinggi. Teknologi yang digunakan GSM dalam akses data

pada awalnya adalah WAP (*Wireless Application protocol*) tetapi tidak mendapat sambutan yang baik dari pasar. Kemudian diperkenalkan teknologi GPRS (*General Packet Data Radio Services*) pada tahun 2001 di Indonesia. Secara teoritis kecepatan akses data yang dicapai dengan menggunakan GPRS adalah sebesar 115 Kbps dengan *throughput* yang didapat hanya 20-30 kbps. GPRS juga memungkinkan untuk dapat berkirim MMS (*Mobile Multimedia Message*) dan juga menikmati berita langsung dari Hand Phone secara *real time*. Pemakaian GPRS lebih ditujukan untuk akses internet yang lebih *flexibel* dimana saja, kapan saja, kita dapat melakukannya asalkan masih ada sinyal GPRS.

#### 11.5.4. Teknologi 3G

Teknologi 3G (dibaca : triji) adalah singkatan dari istilah dalam bahasa Inggris : *third-generation technology*. Istilah ini umumnya digunakan mengacu kepada perkembangan teknologi telepon nirkabel (*wireless*).

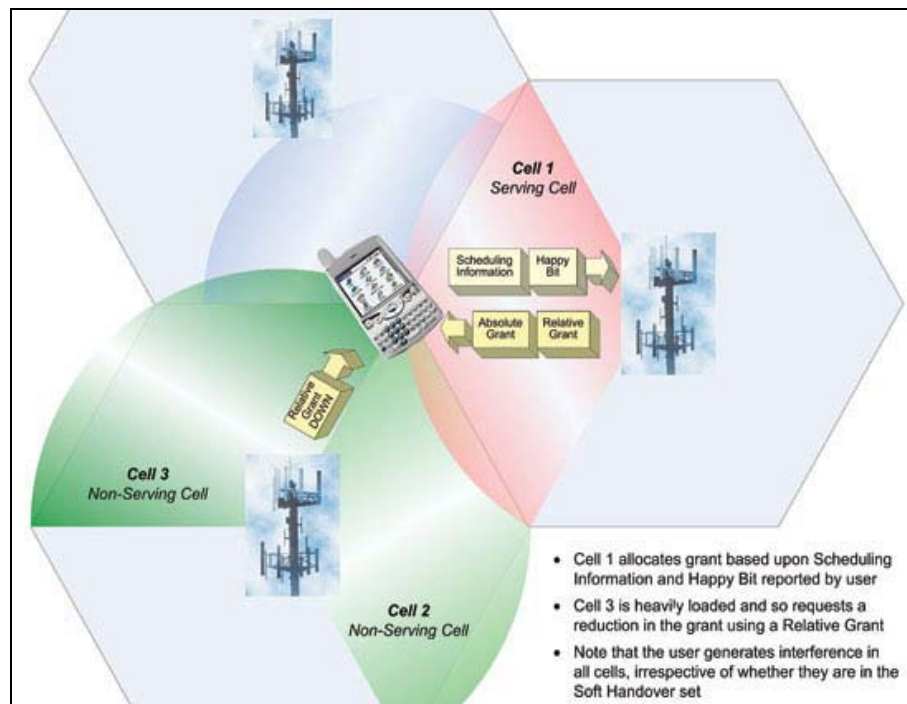
Perkembangan teknologi nirkabel dapat dirangkum sebagai berikut :

1. Generasi pertama: analog, kecepatan rendah (*low-speed*), cukup untuk suara. Contoh: NMT (Nordic Mobile Telephone) dan AMPS (Analog Mobile Phone System)
2. Generasi kedua: digital, kecepatan rendah - menengah. Contoh: GSM dan CDMA2000 1xRTT
3. Generasi ketiga: digital, kecepatan tinggi (*high-speed*), untuk pita lebar (*broadband*). Contoh: W-CDMA (atau dikenal juga dengan UMTS) dan CDMA2000 1xEV-DO.

Antara generasi kedua dan generasi ke-3, sering disisipkan Generasi 2,5, yaitu digital, kecepatan menengah (hingga 150 Kbps). Teknologi yang masuk kategori 2,5G adalah layanan berbasis data seperti GPRS (*General Packet Radio Service*) & EDGE (*Enhance Data rate for GSM Evolution*) pada domain GSM dan PDN (*Packet Data Network*) pada domain CDMA.



Gambar 11.10. Salah satu contoh telepon bergerak 3G



Gambar 11.11. Layanan 3G pada sel yang menyediakan fasilitas dan tidak menyediakan fasilitas

Secara umum, ITU-T, sebagaimana dikutip oleh FCC mendefinisikan 3G sebagai sebuah solusi nirkabel yang bisa memberikan kecepatan akses :

1. Sebesar 144 Kbps untuk kondisi bergerak cepat (*mobile*).
2. Sebesar 384 Kbps untuk kondisi berjalan (*pedestrian*).
3. Sebesar 2 Mbps untuk kondisi statik di suatu tempat.

Pada saat ini ada dua cabang dari pengembangan 3G, yaitu dari sisi GSM (*Global System for Mobile Communication*) yang dipelopori oleh 3G Partnership Project dan CDMA (*Code Division Multiple Access*) yang dipelopori oleh 3G Partnership Project 2 (3GPP2). Kedua teknologi tidak kompatibel dan sesungguhnya saling ber-kompetisi.

Salah satu alasan mengapa layanan 3G dapat memberikan *throughput* yang lebih besar adalah karena penggunaan teknologi spektrum tersebar yang memungkinkan data masukan yang hendak ditransmisikan disebar di seluruh spektrum frekuensi. Selain mendapatkan pita lebar yang lebih besar, layanan berbasis spektrum tersebar jauh lebih aman daripada *timeslot* dan/atau *frequency slot*.

Jaringan 3G tidak merupakan *upgrade* dari 2G; operator 2G yang berafiliasi dengan 3GPP perlu untuk mengganti banyak komponen untuk bisa memberikan layanan 3G. Sedangkan operator 2G yang berafiliasi dengan teknologi

3GPP2 lebih mudah dalam *upgrade* ke 3G karena berbagai *network element* nya sudah didesain untuk ke arah layanan nirkabel pita lebar (*broadband wireless*). Layanan 3G juga telah digembar-gemborkan namun pada kenyataannya, banyak ditemui kegagalan. Negara Jepang dan Korea Selatan adalah contoh dimana layanan 3G berhasil. Hal ini sangat mungkin disebabkan oleh beberapa faktor :

1. Dukungan pemerintah.  
Pemerintah Jepang tidak mengenakan biaya di muka (*upfront fee*) atas penggunaan lisensi spektrum 3G atas operator-operator di Jepang (ada tiga operator: NTT Docomo, KDDI dan Vodafone). Sedangkan pemerintah Korea Selatan, walau pun mengenakan biaya di muka, memberikan insentif dan bantuan dalam pengembangan nirkabel pita lebar (Korea Selatan adalah negara yang menggunakan Cisco Gigabit Switch Router terbanyak di dunia) sebagai bagian dalam strategi pengembangan infrastruktur.
2. Kultur masyarakatnya.  
Layanan *video call*, yang diramal menjadi *killer application* tidak terlalu banyak digunakan di kedua negara tersebut. Namun, layanan seperti *download music* dan akses Internet sangat digemari. Operator seperti NTT Docomo (Jepang) memberikan layanan Chaku Uta untuk *download music*. Sedangkan

di Korea, layanan *web presence* seperti Cyworld yang diberikan oleh SK Tel, sangat digemari. Dengan layanan ini, pelanggan bisa mengambil foto dari handset dan langsung memuatnya ke web portal miliknya di Cyworld. Layanan ini kemudian ditiru oleh Flickr dengan handset N73.

3. Keragaman layanan konten. Docomo dan SKTel tidak menggunakan WAP standar sebagai layanannya. Docomo mengembangkan aplikasi browser yang disebut iMode, sedangkan SKTel mempunyai June dan Nate.

Jaringan Telepon Telekomunikasi selular telah meningkat menuju penggunaan layanan 3G dari 1999 hingga 2010. Jepang adalah negara pertama yang memperkenalkan 3G secara nasional dan transisi menuju 3G di Jepang sudah dicapai pada tahun 2006. Setelah itu Korea menjadi pengadopsi jaringan 3G pertama dan transisi telah dicapai pada awal tahun 2004, memimpin dunia dalam bidang telekomunikasi.

Operator dan jaringan UMTS Pada tahun 2005, evolusi jaringan 3G sedang dijalankan untuk beberapa tahun dikarenakan kapasitas yang terbatas dari jaringan 2G yang ada. Jaringan 2G diciptakan dengan tujuan utama adalah data suara dan transmisi yang lambat. Dikarenakan cepatnya arus perubahan pada permintaan

pengguna, kebutuhan akan nirkabel mereka tidak terpenuhi.

"2.5G" (Dan juga 2,75G) adalah teknologi seperti pelayanan data *i-mode*, telepon berkamera, pertukaran rangkaian data berkecepatan tinggi (atau disebut juga *High-Speed Circuit-Switched Data* atau disingkat HSCSD) dan Pelayanan paket radio umum (atau dikenal dengan General Packet Radio Service atau GPRS) diciptakan untuk menyediakan beberapa fungsi utama seperti jaringan 3G, tapi tanpa transisi penuh ke jaringan 3G. Pelayanan-Pelayanan ini diciptakan untuk memperkenalkan kemungkinan dari penerapan teknologi nirkabel untuk pengguna dan peningkatan permintaan untuk pelayanan 3G.

Ada beberapa pemahaman yang salah tentang 3G di dalam masyarakat umum.

1. Layanan 3G tidak bisa tanpa ada cakupan layanan 3G dari operator. Hanya membeli sebuah handset 3G, tidak berarti bahwa layanan 3G dapat dinikmati. Handset dapat secara otomatis pindah jaringan 3G bila, pelanggan tidak menerima cakupan 3G. Sehingga bila sedang bergerak dan menggunakan layanan video call, kemudian terpaksa berpindah ke jaringan 2G, maka layanan video call akan putus.
2. Layanan 3G berada pada frekuensi 1.900 Mhz. ITU-T memang mendefinisikan layanan 3G untuk GSM pada frekuensi 1.900 Mhz dengan lebar pita 60 Mhz. Pada

umumnya, teknologi berbasis CDMA 2000 menggunakan spektrum frekuensi 800 Mhz, atau dikenal sebagai spektrum PCS (*Personal Communication System*)

#### 11.5.5. Teknologi 3,5G

3,5 adalah teknologi mobile broadband yang berbasis HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) yang mampu mentransmisikan data dengan kecepatan (initial data transmission speed) hampir sepuluh kali lipat dari kecepatan teknologi 3G. Akses data melalui jaringan 3G hanya mampu menyediakan kecepatan maksimal 384 Kilobit per second (KBps), sedangkan teknologi HSDPA menawarkan akses dengan kecepatan maksimal hingga 3,6 Megabit per second (mbps).

3,5G merupakan penyempurna teknologi sebelumnya, yaitu 3G, karena 3,5G menutupi semua keterbatasan 3G. Misalnya, menggunakan layanan video call berbasis 3,5G tidak akan lagi terjadi delay suara maupun delay pada tayangan wajah lawan bicara di layar ponsel seperti di jaringan 3G, sehingga ber-video call melalui jaringan 3,5G jauh lebih terkesan live. Selain itu, teknologi ini juga memungkinkan penggunaannya untuk mendownload beragam sajian multimedia, seperti streaming video, streaming musik, mobile TV, online game, download karaoke dengan

kecepatan tinggi, sambil tetap melakukan video call dengan mulus tanpa terganggu proses transfer datanya.

3,5G berbasis HSPDA dikembangkan dari W-CDMA (Wideband CDMA) dan memberikan jalur evolusi untuk jaringan Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Dikatakan demikian, karena melalui HSDPA terbentuklah saluran W-CDMA yang baru, yaitu high-speed downlink shared channel (HS-DSCH) yang hanya digunakan untuk transmisi beragam informasi arah bawah menuju ponsel. Berikut perbandingan kecepatan antara 3,5G dengan teknologi mobile broadband lainnya.

#### 11.5.6. Teknologi 4G

4G adalah singkatan dari istilah dalam bahasa Inggris: *fourth-generation technology*. Istilah ini umumnya digunakan mengacu kepada pengembangan teknologi telepon seluler. 4G merupakan pengembangan dari teknologi 3G. Nama resmi dari teknologi 4G ini menurut IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) adalah "*3G and beyond*". Teknologi 4G adalah istilah serapan dari bahasa Inggris : *fourth-generation technology*. Istilah ini umumnya digunakan untuk menjelaskan pengembangan teknologi telepon seluler.

Perkembangan teknologi nirkabel dapat dirangkum sebagai berikut :

- Generasi pertama: hampir seluruh sistem pada generasi ini merupakan [sistem analog](#) dengan kecepatan rendah (low-speed) dan [suara](#) sebagai objek utama. Contoh: [NMT](#) (*Nordic Mobile Telephone*) dan AMPS (*Analog Mobile Phone System*).
- Generasi kedua: dijadikan standar komersial dengan format [digital](#), kecepatan rendah - menengah. Contoh: [GSM](#) dan CDMA2000 1xRTT.
- Generasi ketiga: [digital](#), mampu mentransfer data dengan kecepatan tinggi (*high-speed*) dan aplikasi [multimedia](#), untuk [pita lebar](#) (broadband). Contoh: [W-CDMA](#) (atau dikenal juga dengan UMTS) dan CDMA2000 1xEV-DO.

Antara generasi kedua dan generasi ketiga, sering disisipkan Generasi 2,5 yaitu [digital](#), kecepatan menengah (hingga 150 Kbps). Teknologi yang masuk kategori 2,5 G adalah layanan berbasis data seperti [GPRS](#) (*General Packet Radio Service*) dan [EDGE](#) (*Enhance Data rate for GSM Evolution*) pada domain GSM dan PDN (*Packet Data Network*) pada domain CDMA.

4G merupakan pengembangan dari teknologi [3G](#). Nama resmi dari teknologi 4G ini menurut IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) adalah "3G and

*beyond*". Sebelum 4G, High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) yang kadangkala disebut sebagai teknologi 3,5G telah dikembangkan oleh WCDMA sama seperti EV-DO mengembangkan CDMA2000. HSDPA adalah sebuah [protokol telepon genggam](#) yang memberikan jalur evolusi untuk jaringan [Universal Mobile Telecommunications System](#) (UMTS) yang akan dapat memberikan kapasitas data yang lebih besar (sampai 14,4 Mbit/detik arah turun).

Sistem 4G akan dapat menyediakan solusi IP yang komprehensif dimana suara, data, dan arus [multimedia](#) dapat sampai kepada pengguna kapan saja dan dimana saja, pada rata-rata data lebih tinggi dari generasi sebelumnya. Belum ada definisi formal untuk 4G. Bagaimanapun, terdapat beberapa pendapat yang ditujukan untuk 4G, yakni: 4G akan merupakan sistem berbasis IP terintegrasi penuh. Ini akan dicapai setelah teknologi kabel dan nirkabel dapat dikenversikan dan mampu menghasilkan kecepatan 100Mb/detik dan 1Gb/detik baik dalam maupun luar ruang dengan kualitas premium dan keamanan tinggi.

4G akan menawarkan segala jenis layanan dengan harga yang terjangkau. Setiap handset 4G akan langsung mempunyai nomor IP v6 dilengkapi dengan kemampuan untuk berinteraksi [internet telephony](#) yang berbasis *Session Initiation Protocol* (SIP). Semua jenis [radio transmisi](#) seperti [GSM](#), [TDMA](#), [EDGE](#), [CDMA](#) 2G, 2.5G

akan dapat digunakan, dan dapat berintegrasi dengan mudah dengan radio yang dioperasikan tanpa lisensi seperti IEEE 802.11 di frekuensi 2.4GHz & 5-5.8Ghz, [bluetooth](#) dan [selular](#). Integrasi voice dan data dalam *channel* yang sama. Integrasi voice dan data aplikasi *SIP-enabled*.

Secara sederhana, dapat diartikan bahwa teknologi 1G adalah telepon analog/PSTN yang menggunakan [seluler](#). Sementara teknologi [2G](#), [2.5G](#), dan [3G](#) merupakan ISDN. Indonesia secara umum pada saat ini baru memasuki tahap 2.5G. Berkaitan dengan teknologi 4G, SIP adalah [protokol](#) inti dalam internet telephony<sup>[1]</sup> yang merupakan evolusi terkini dari *Voice over Internet Protocol* maupun *Telephony over Internet Protocol*. Teknologi tersebut banyak diperdebatkan oleh operator, pemerintah dan [DPR](#) belakangan ini. Tidak lama lagi *internet telephony* akan menjadi tulang punggung utama infrastruktur telekomunikasi. Teknologi internet

telephony memungkinkan pembangunan infrastruktur [telekomunikasi](#) rakyat secara swa-daya masyarakat (tanpa Bank Dunia, [IMF](#) maupun [ADB](#)) bahkan mungkin tanpa kontrol pemerintah sama sekali. Dengan teknologi SIP dalam 4G, nomor telepon PSTN hanyalah sebagian kecil dari identifikasi telepon. Bagian besarnya akan dilakukan menggunakan URL. Kita tidak lagi perlu bergantung pada nomor telepon yang dikendalikan oleh pemerintah untuk berkomunikasi via internet-telepon. Infrastruktur internet telephony memungkinkan kita untuk menyelenggarakan sendiri banyak hal tanpa tergantung lisensi pemerintah dan tidak melanggar hukum. Teknologi 4G juga akan menyebabkan kemunduran bagi teknologi [Internet Network](#) (IN) yang saat ini merupakan infrastruktur telekomunikasi yang digunakan berbagai [provider](#). Hal tersebut disebabkan terbukanya jalur arus bawah yang dapat didownload dan diakses gratis dari internet.



## 11.6. Rangkuman

Beberapa poin penting yang dapat diutarakan kembali di sini yaitu sebagai berikut :

1. Komunikasi nirkabel adalah sistem komunikasi yang dilakukan tanpa menggunakan media kabel antara pesawat pengirim dan pesawat penerimanya.
2. Sistem komunikasinya dapat dikelompokkan menjadi satu arah (*simplex*), dua arah bergantian (*half-duplex*) dan dua arah dalam waktu yang bersamaan (*full-duplex*).
3. Telepon nirkabel dua arah tanpa bergantian atau full duplex yang sudah sangat lazim dewasa ini adalah telepon seluler atau ponsel (*handphone* atau tepatnya *mobilephone*).
4. Pemancar di setiap sel disebut stasiun induk (*Base Station*), yang sering disingkat dengan BTS (*Base Transceiver Station*) atau RBS (*Radio Base Station*).
5. Sistem radio seluler menerapkan sistem sel yang memiliki cakupan wilayah layanan yang tidak begitu luas, maka kanal-kanal frekuensi transmsinya dapat digunakan berulang-ulang pada jarak antar sel tertentu.
6. Komunikasi secara dupleks penuh yaitu berbicara dan mendengar secara serentak, dibutuhkan dua saluran atau kanal sekaligus yang disebut penduplekan. Penduplekan dengan cara menggunakan frekuensi yang berbeda antara kanal terima dan kanal kirim disebut 'penduplekan divisi frekuensi' atau FDD.
7. Dalam sistem GSM, ponsel pengguna berkomunikasi dengan telepon lainya melalui subsistem yang disebut BSS (*Base Station Subsystem*).
8. Sistem 3G adalah merujuk pada komunikasi nirkabel generasi berikutnya, yang membawa nama dari sesuatu dari teknologi dengan piranti komunikasi bergerak. Tujuan dari 3G atau "third generation" adalah untuk menyalurkan kemampuan kapabilitas kecepatan data yang lebih tinggi terhadap piranti komunikasi bergerak pada luasan secara geografi lebih luas.

### 11.7. Soal Latihan

Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan baik dan benar

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan komunikasi nirkabel !
2. Bagaimana mengelompokkan sistem komunikasi pada umumnya ? Sebutkan dan beri penjelasan secukupnya !
3. Apa beda telepon nirkabel dan seluler ? Di manakah letak perbedaannya ?
4. Perangkat apa saja yang diperlukan pada sistem telepon seluler ?
5. Bagaimanakah frekuensi berulang pada sistem seluler diterapkan ? Pola apakah yang diterapkan ?
6. Jelaskan secara singkat tentang komunikasi 3 G !
7. Adakah hubungan antara perkembangan teknologi 3G dengan jaringan telekomunikasi ?



# BAGIAN 12

## SWITCHING DALAM SISTEM TELEPON

### Tujuan

Setelah mempelajari bagian ini diharapkan dapat:

9. Memahami proses switching dalam sistem telepon
10. Memahami rangkaian switching yang digunakan dalam sistem komunikasi telepon
11. Menjelaskan aplikasi dan konsep swicting dalam sistem telepon

### 12.1. Pendahuluan

Proses switching adalah proses penyambungan jalur *incoming* dari pelanggan pemanggil ke jalur *outgoing*, untuk menuju pelanggan tujuan pada Sentral digital, proses switching dilakukan oleh :

#### 1. TSI (*Time Stage incoming*)

Menghubungkan antara jalur multiplexer incoming ke switching network (mengantrikan time slot-time slot yang berasal dari jalur incoming menuju space stage untuk disambungkan)

#### 2. SS (*Space Stage*)

Menyambungkan jalur-jalur incoming ke jalur outgoing secara fisik.

#### 3. TSO (*Time Stage Outgoing*)

Menghubungkan antara switching network ke jalur outgoing demultiplexer (mengantrikan time slot-time slot yang berasal dari output space stage ke jalur outgoingnya).

Sistem switching terdiri atas sistem switching manual dan otomatis. Sebelum muncul sistem switching maka telekomunikasi pada zaman dahulu menggunakan sistem FCN (*Fully Connected Network*) yaitu sistem yang semua pelanggannya terhubung penuh.

## 12.2. Circuit Switching

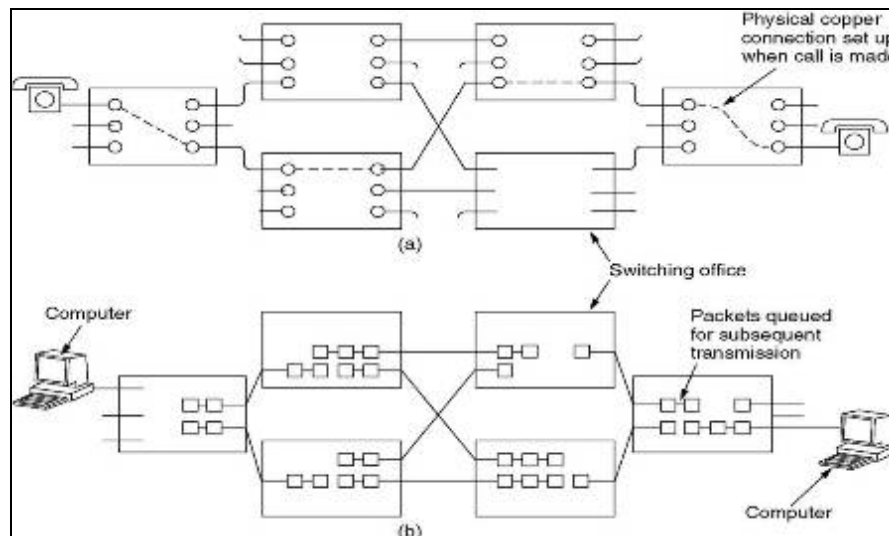
Untuk komunikasi melalui circuit switching disediakan jalur komunikasi yang ditempatkan diantara dua station. Jalur tersebut berupa rangkaian jalur yang saling dihubungkan satu sama lain di antara simpul jaringan. Komunikasi melalui circuit switching meliputi tiga tahap, yaitu :

1. Pembangunan Circuit  
Sebelum suatu data ditransmisikan, harus dibuat terlebih dahulu suatu circuit dari ujung ke ujung.
2. Transfer Data  
Data yang ditransfer dapat berupa analog maupun digital, tergantung pada sifat jaringan.

### 3. Disconnect Circuit

Setelah beberapa periode transfer data, koneksi dihentikan, yang biasanya dilakukan oleh salah satu station.

Hal penting yang juga harus diperhatikan adalah kapasitas channel harus disediakan diantara masing-masing pasangan simpul di dalam jalur, dan masing-masing simpul tersebut harus memiliki kapasitas switching internal untuk mengendalikan koneksi yang diminta. Switch harus memiliki kemampuan untuk menyusun alokasi ini, serta menyediakan jalur sepanjang jaringan.



Gambar 12.1. Circuit switching pada telepon

### 12.2.1. Aplikasi Circuit Switching

Circuit Switching bisa menjadi tidak efisien karena kapasitas channel mempengaruhi waktu koneksi, sehingga saat tidak ada data yang dikirim, kapasitas menjadi sia-sia. Dalam hal kinerja, ketidakefisienan ini terjadi saat terjadinya suatu penundaan yang berkaitan dengan transfer sinyal untuk pembentukan panggilan. Beberapa hal yang menggunakan Circuit Switching ini adalah jaringan telepon umum, PBX (*Public Branch Exchange*), jaringan swasta yang juga menggunakan sistem PBX di dalamnya. Selain itu, juga ada Data Switch yang mirip dengan PBX namun dirancang khusus

untuk menghubungkan perangkat pengolahan digital untuk menghubungkan terminal dan komputer.

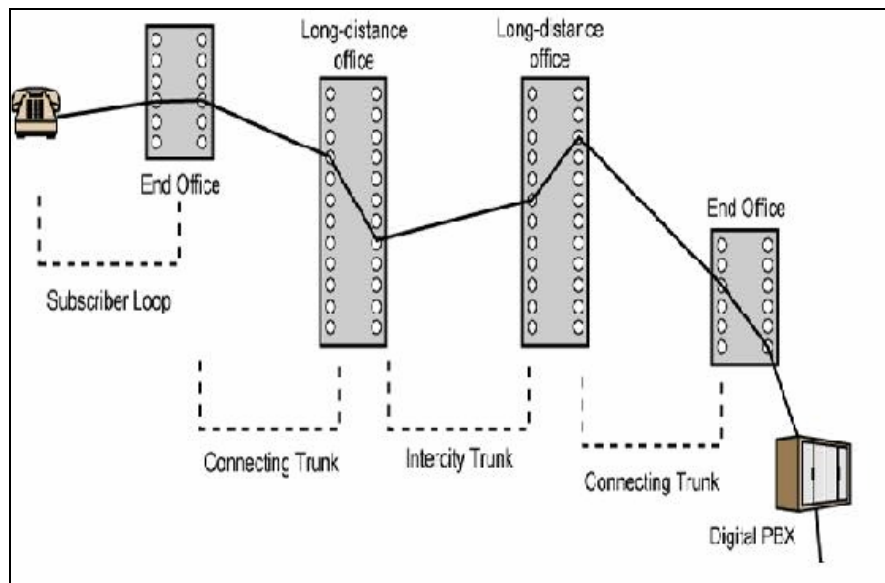
Dalam *Public Circuit Switched Network*, suatu jaringan telekomunikasi public bisa digambarkan menggunakan empat komponen arsitektural umum, yaitu :

#### 1. Pesawat (*Subscriber*)

Perangkat yang berkaitan dengan jaringan, salah satu contohnya adalah telepon, namun saat ini sudah banyak berkembang.

#### 2. Jalur Pesawat (*Subscriber Line/ Subscriber Loop/ Local Loop*)

Jalur yang menghubungkan pesawat dan jaringan, yang panjangnya beberapa kilometer atau lebih.



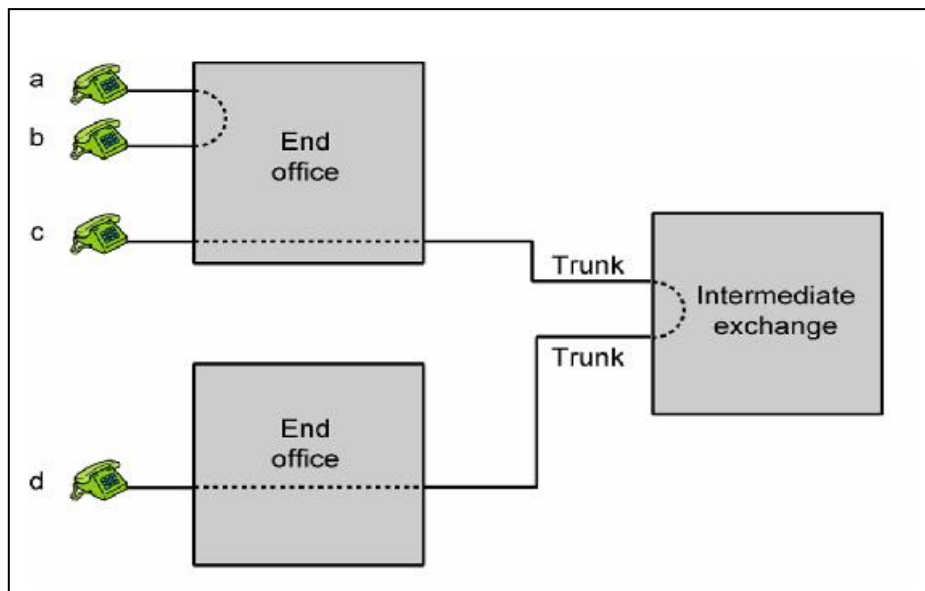
Gambar 12.2. Public Circuit Switched Network

3. Pertukaran (*Exchange*)  
Merupakan pusat switching di dalam jaringan.
4. Trunks  
Cabang-cabang diantara pertukaran yang membawa circuit frekuensi suara multiple baik menggunakan TDM maupun FDM.

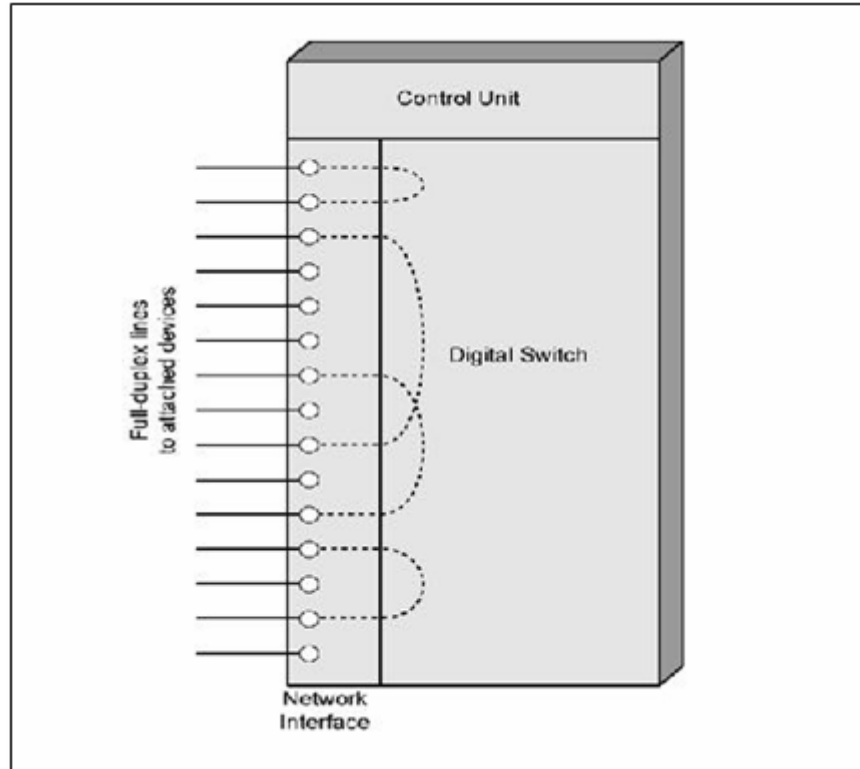
Perhatikan gambar 12.3 di bawah ini. Pesawat terhubung secara langsung dengan office, di mana pesawat itu sendiri melakukan switching terhadap lalu lintas antar pesawat juga dengan pertukaran lainnya. Pertukaran lainnya bertanggung jawab dalam hal routing dan lalu lintas switching diantara office. Untuk menghubungkan dua pesawat yang terpasang pada office yang sama, dibangun sebuah circuit diantara

mereka dengan cara yang sama seperti yang digambarkan sebelumnya. Bila dua pesawat terhubung ke office yang berbeda, rangkaian yang ada di antara mereka akan berisikan rangkaian circuit sepanjang satu kantor perantara atau lebih.

Dalam gambar tersebut, koneksi dibangun diantara jalur a dan b yang secara sederhana membentuk koneksi dalam office. Sedangkan koneksi diantara c dan d lebih kompleks lagi. Pada office c, koneksi dibangun di antara jalur c dan satu channel pada trunk TDM menuju switch penghubung. Pada switch perantara, channel tersebut dihubungkan dengan channel pada trunk TDM menuju kontrol d. Pada office itu, channel dihubungkan ke jalur d.



Gambar 12.3. Penyambungan rangkaian



Gambar 12.4. Blok sambungan perantara

### 12.2.2. Konsep Circuit Switching

Teknologi Circuit Switching merupakan salah satu sistem yang sudah maju menggunakan saklar digital untuk menyediakan jalur sinyal yang jelas di antara sepasang perangkat yang terpasang. Elemen interface jaringan adalah hardware yang diperlukan untuk menghubungkan perangkat digital, seperti perangkat pengolahan data dan telepon digital.

Unit kontrol memiliki 3 *task* yang umum, yaitu :

1. Membangun koneksi  
Dalam hal ini, unit kontrol harus mampu mengendalikan dan membalas permintaan, menentukan apakah tujuan yang dimaksud dalam kondisi bebas, serta menyusun jalur sepanjang switch.
2. Memelihara koneksi
3. Memutuskan koneksi (*Disconnect*)



### 12.2.3. Karakteristik Circuit Switching

1. Blocking  
Terjadi bila jaringan tidak mampu menghubungkan kedua station karena semua jalur yang tersedia diantara mereka yang sedang dipergunakan. Hal ini biasa diberlakukan dalam sistem suara.
2. Non-Blocking  
Mengizinkan semua station untuk dihubungkan (dalam bentuk pasangan) sekaligus dan menjamin seluruh permintaan yang ada sepanjang pihak yang dipanggil dalam keadaan bebas. Bisa digunakan untuk koneksi data.

### 12.3. Space Division Switching

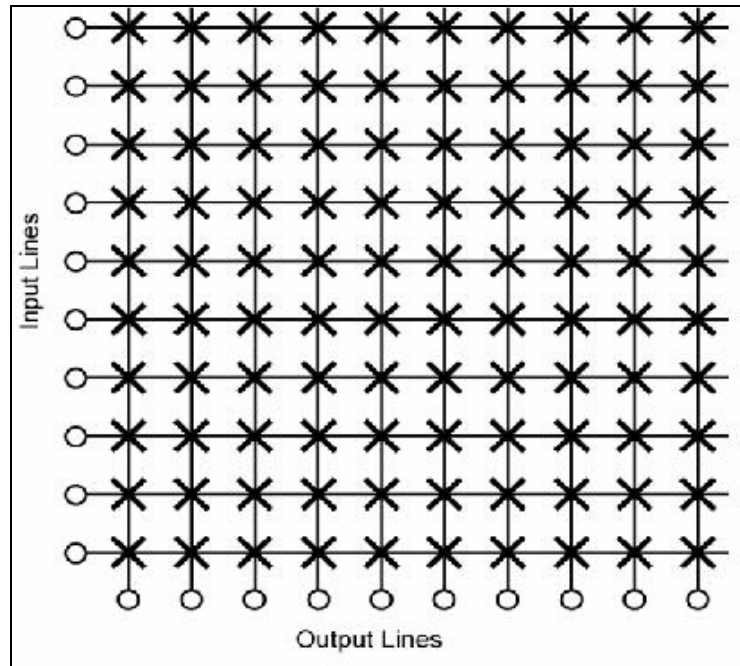
Dikembangkan untuk peralatan analog guna memisahkan jalur fisik di sepanjang switch untuk mentransfer sinyal diantara kedua titik akhir. Dalam switch silang (*crossbar Switch*) memiliki sejumlah keterbatasan di antaranya :

1. Jumlah persimpangan (*crosspoint*) bertambah sebanyak  $n$  kuadrat dari jumlah stasiun
2. Hilangnya *crosspoint* dapat mencegah terjadinya koneksi
3. Penggunaan *crosspoint* yang tidak efisien karena meskipun semua stasiun terhubung,

tapi hanya beberapa yang digunakan (Berlaku Non-Blocking)

Pada gambar 12.5 di bawah, digambarkan matriks crossbar sederhana dengan jalur 10 jalur I/O full-duplex. Matriks memiliki 10 input dan 10 output, dimana masing-masing station terhubung ke matriks melalui salah satu input atau salah satu jalur output. Interkoneksi terjadi diantara dua jalur dengan mengaktifkan persimpangan yang sesuai. Dalam hal ini diperlukan total 100 titik persimpangan. Switch crossbar memiliki sejumlah keterbatasan, diantaranya :

1. Jumlah titik persimpangan berkembang seiring perkembangan jumlah station yang terpasang. Untuk switch yang besar memakan lebih banyak biaya.
2. Hilangnya titik persimpangan menghalangi koneksi antara kedua perangkat yang jalurnya melintang di titik persimpangan tersebut.
3. Titik persimpangan tidak bisa dipergunakan secara efisien, bahkan bila semua perangkat yang terpasang dalam kondisi aktif, hanya sebagian kecil saja dari titik persimpangan yang akan dicapai.



Gambar 12.5. Space Division Switching

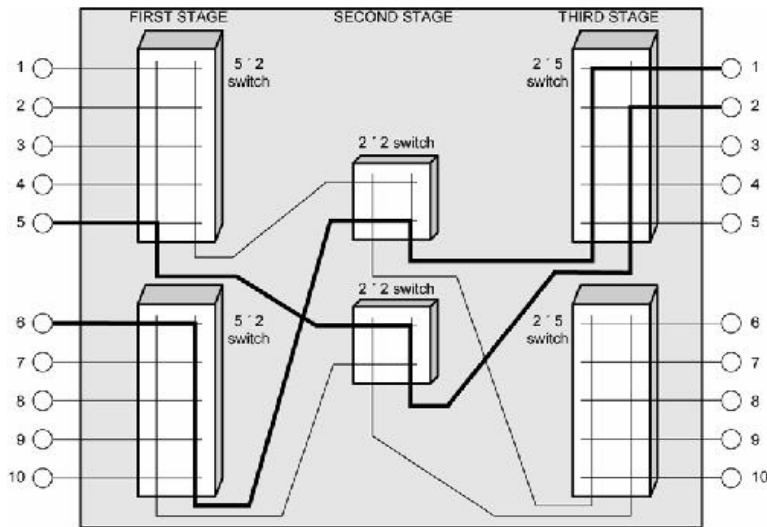
#### 12.4. Multistage Switch

Dikembangkan untuk mengurangi jumlah dari *crosspoint* sehingga lebih dari satu alur yang melalui jaringan. Dengan begitu, diharapkan mampu untuk meningkatkan kehandalan dalam transmisi data. Namun, memiliki kelemahan yaitu memerlukan kendali yang lebih rumit dan memungkinkan terjadinya blocking.

bersandar pada kendali kecerdasan dari space dan time division elemen. Di dalamnya menggunakan teknik digital time division untuk men-set up dan merawat virtual circuit. Selain itu, *Time Division Switching* juga mampu mempartisi bit stream berkecepatan rendah menjadi beberapa bagian yang terbagi menjadi stream berkecepatan tinggi.

#### 12.5. Time Division Switching

*Time Division Switching* merupakan sistem digital yang



Gambar 12.6. Tiga Langkah Space Division Switch

## 12.6. Fungsi Control Signaling

Sifat kendali atau *control* mempengaruhi beberapa aspek yaitu : sifat jaringan, termasuk layanan jaringan yang tersedia buat pelanggan serta mekanisme internal. Saat jaringan mulai menjadi semakin rumit, sejumlah fungsi-fungsi ditampilkan oleh pensinyalan kendali sesuai yang diperlukan Fungsi-fungsi berikut ini adalah beberapa fungsi terpenting :

1. Komunikasi yang terdengar oleh pelanggan, meliputi bunyi dial, bunyi dering, sinyal sibuk, dan sebagainya.
2. Transmisi nomor-nomor yang ditekan untuk kantor yang akan berupaya melengkapi koneksi.
3. Transmisi informasi diantara switch menunjukkan bahwa sebuah panggilan tidak bisa dilengkapi.
4. Transmisi informasi diantara switch menunjukkan bahwa sebuah panggilan telah berakhir dan jalur tidak lagi dikoneksikan.
5. Sinyal membuat telepon berdering.
6. Transmisi informasi untuk hal-hal yang berkaitan dengan tagihan-tagihan.
7. Transmisi informasi menunjukkan status peralatan atau trunk dalam jaringan. Informasi ini dipergunakan untuk hal-hal yang berkenaan dengan routing dan pemeliharaan.
8. Transmisi informasi dipergunakan untuk mendiagnosa dan mengisolasi kegagalan sistem.
9. Kontrol dari peralatan khusus semacam peralatan channel satelit.

### 12.7. Control Signal Sequence

Proses pengontrolan sinyal secara berkala yang dilakukan oleh switching terjadi sebagai berikut :

1. Berkaitan dengan panggilan, kedua telepon sedang tidak dipergunakan (*onhook*). Panggilan dimulai bila suatu pesawat telepon diangkat gagangnya, yang secara otomatis disinyalkan ke switch kantor.
2. Switch memberi respon melalui bunyi dial yang terdengar, memberi tanda pada pesawat bahwa nomor-nomor tertentu bisa ditekan.
3. Pemanggil menekan nomor, yang dikomunikasikan sebagai alamat yang dipanggil kepada switch.
4. Bila pesawat yang dipanggil tidak sibuk, switch menyinyalkan pesawat akan adanya panggilan yang datang dengan cara mengirim sinyal dering, sehingga telepon berdering.
5. Feedback disediakan untuk pesawat pemanggil oleh switch, dengan proses :
  - Bila pesawat yang dipanggil tidak sibuk, switch mengembalikan bunyi dering yang terdengar oleh pemanggil sementara sinyal dering dikirim ke pesawat yang dipanggil.
  - Bila pesawat yang dipanggil sedang sibuk, switch mengirimkan sinyal sibuk ke pemanggil.
- 4.

- Bila panggilan tidak lengkap, switch mengirim suatu pesan 'reorder' ke pemanggil.

6. Pihak yang dipanggil menerima panggilan dengan mengangkat gagang telepon, yang secara otomatis disinyalkan ke switch.
7. Switch menghentikan sinyal dering dan bunyi dering, serta menetapkan koneksi antara dua pesawat.
8. Koneksi dihentikan bila kedua pelanggan meletakkan gagang telepon.

### 12.8. Switch to Switch Signaling

Bila pesawat yang dipanggil terpasang pada switch yang berbeda dan bukannya pada pesawat pemanggil, maka diperlukan fungsi-fungsi pensinyalan trunk switch ke switch berikut ini :

1. Switch utama mencari trunk interswitch yang idle, mengirim tanda tidak sibuk kepada trunk, dan meminta register digit pada ujung yang terjauh, sehingga alamat yang dituju bisa dikomunikasikan.
2. Switch ujung mengirim sinyal tidak sibuk, yang disebut juga dengan 'wink' (kedipan). Ini menunjukkan bahwa register dalam keadaan siap.
3. Switch utama mengirim digit alamat ke switch ujung.

## 12.9. Lokasi dari Signaling

Pensinyalan control harus dipertimbangkan berdasarkan dua konteks yang beroperasi secara berlainan, yaitu :

- o Pelanggan ke jaringan
- o Dalam jaringan

Pensinyalan diantara perangkat telepon atau perangkat pesawat lainnya dengan switching kantor dimana perangkat tersebut terpasang, untuk taraf yang semakin luas ditentukan oleh karakteristik-karakteristik perangkat pesawat serta kebutuhan user. Sinyal-sinyal di dalam jaringan sepenuhnya berupa computer ke computer. Pensinyalan internal tidak hanya berkaitan dengan pengaturan panggilan pesawat namun juga dengan pengaturan jaringan itu sendiri. Jadi, untuk pensinyalan internal diperlukan daftar perintah-perintah yang kompleks, respons, serta susunan parameter itu.

Karena menggunakan dua teknik pensinyalan berbeda switching kantor lokal dimana pesawat yang terpasang harus menyediakan satu pemetaan diantara teknik pensinyalan yang tidak terlalu kompleks oleh pesawat serta teknik yang lebih kompleks yang dipergunakan di dalam jaringan. Signaling dalam Channel :

1. Pensinyalan satu channel  
Dipergunakan channel yang sama untuk membawa sinyal-sinyal kontrol sebagaimana yang dipergunakan untuk

membawa panggilan ke sinyal-sinyal kendali yang berhubungan. Pensinyalan semacam ini pada pesawat utama dan mengikuti jalur yang sama halnya dengan panggilan itu sendiri. Ini menunjukkan bahwa tidak ada fasilitas-fasilitas transmisi tambahan yang dipergunakan untuk pensinyalan, fasilitas-fasilitas untuk transmisi suara sudah dibagi dengan pensinyalan kendali.

2. Pensinyalan Inband  
Menggunakan jalur dan frekuensi yang sama dengan sinyal suara. Karena sinyal-sinyal kontrolnya memiliki sifat-sifat elektromagnetik yang sama dengan sinyal suara, sehingga dapat pergi kemana saja seperti sinyal suara. Selain itu, dalam pensinyalan ini tidak mungkin men-set up panggilan pada jalur suara yang salah.
3. Pensinyalan Out of band  
Dalam pensinyalan ini, sinyal suara tidak menggunakan sepenuhnya bandwidth 4kHz dan yang tidak terpakai akan digunakan untuk mengontrol sinyal. Keuntungannya adalah dapat dilakukakan kendali dan pengawasan terhadap kendali sinyal yang sudah dikirim atau sinyal suara yang masih berda pada saluran. Namun pada pensinyalan ini, diperlukan elektronik ekstra untuk mengendalikan band pensinyalan dan rate pensinyalan menjadi lebih rendah karena sinyal telah dibatasi

menjadi bandwidth yang

**12.9.1. Kelemahan pada Channel Signaling**

- Laju transfer rate yang terbatas
- Delay antara memasukkan nomor (dialing) dan connection
- Mengatasi dengan menggunakan common channel signaling

**12.9.2. Saluran Sinyal yang Bersifat Umum**

- Sinyal kontrol membawa beberapa jalur yang bersifat bebas pada saluran suara
- Satu kontrol saluran sinyal dapat membawa saluran sinyal untuk pada saluran subscriber

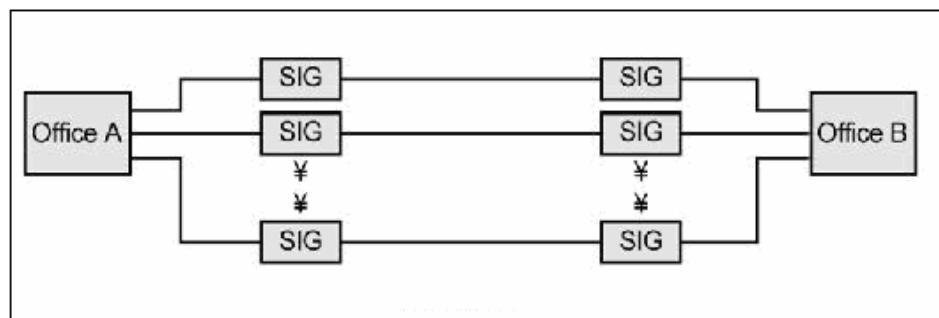
Prinsip pensinyalan kanal umum ini adalah jalur sinyal untuk pensinyalan channel umum secara fisik terpisah dari jalur untuk suara atau sinyal pesawat lainnya. Channel yang umum bisa

terbatas.

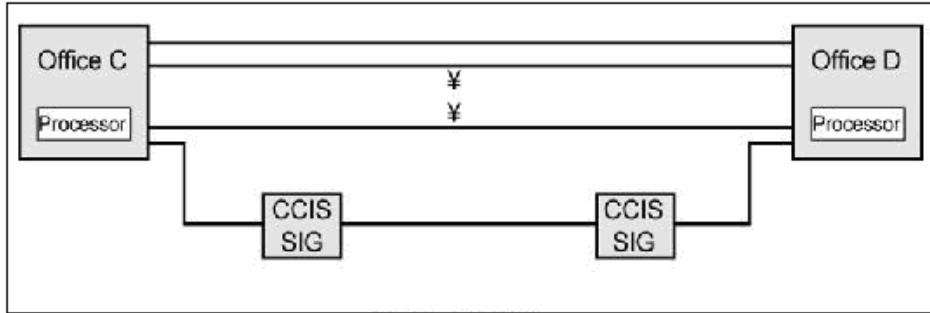
dikonfigurasi dengan bandwidth yang diperlukan untuk membawa sinyal-sinyal kontrol agar fungsinya semakin bervariasi. Jadi, protocol pensinyalan dan bentuk jaringan yang diperlukan untuk mendukung protocol tersebut sangatlah kompleks bila dibanding dengan pensinyalan se-channel.

Terdapat dua model operasi yang dipergunakan dalam pensinyalan channel umum, yaitu :

- Mode Asosiasi (*Associated*)  
Channel umum jalurnya dekat, di sepanjang jalur, dan kelompok trunk interswitch yang tersedia terletak diantara titik ujung. Sinyal-sinyal kendali berada pada channel yang berbeda dari sinyal pesawat, serta ada di dalam switch dimana sinyal-sinyal kendali diarahkan langsung ke processor sinyal kendali.



a. In-channel



b. Common channel

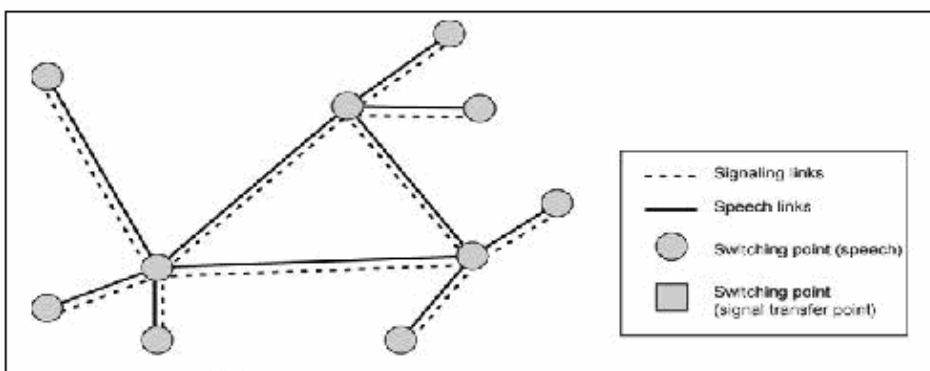
Gambar 12.7. Pensinyalan chanel umum untuk satu channel

➤ Mode Tak Asosiasi (*Dissociated*).

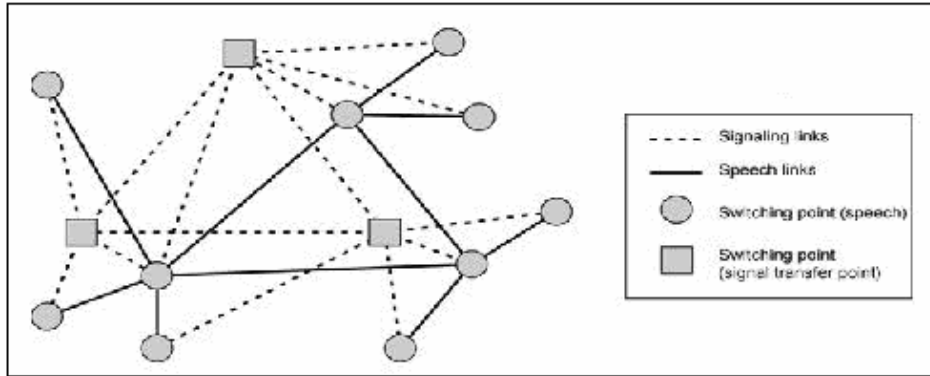
Jaringan diperbanyak melalui simpul-simpul tambahan yang disebut dengan titik-titik pengalih sinyal. Tidak ada lagi penetapan channel kendali tertentu yang sederhana untuk kelompok trunk. Akibatnya, muncul dua jaringan terpisah dengan jalur-jalur yang terdapat di antara mereka sehingga begitu kendali dari jaringan dapat melakukan pengendalian sepanjang simpul-simpul switching yang

melayani panggilan-panggilan pesawat. Manajemen pesawat biasa dilakukan dengan mudah dalam mode tak asosiasi karena kanal-kanal kendali ditetapkan secara jauh lebih fleksibel untuk melakukan fungsinya. Selain itu, dengan mode tak asosiasi, bias dibentuk satu atau lebih titik-titik kendali pusat. Mode ini biasa digunakan dalam ISDN.

Kedua mode ini dijelaskan seperti pada gambar di bawah ini :



a. Associated



b. Disassociated

Gambar 12.8. Simpul-simpul jaringan

### 12.10. Signaling System Number 7 (SS7)

SS7 dirancang sebagai suatu standar pensinyalan channel umum ujung terbuka yang bisa dipergunakan untuk berbagai jenis jaringan circuit switched digital. Lebih jauh, SS7 dirancang khusus untuk dipergunakan dalam ISDN. SS7 merupakan mekanisme yang menyediakan kendali internal serta kecanggihan jaringan yang paling utama untuk suatu ISDN. Secara keseluruhan, SS7 adalah untuk menyediakan system pensinyalan channel umum untuk tujuan-tujuan umum dengan standar internasional yang memiliki karakteristik-karakteristik utama sebagai berikut :

1. Dioptimalkan untuk digunakan dalam jaringan telekomunikasi digital bersama dengan pertukaran program kendali yang juga tersimpan

dalam digital, dengan menggunakan channel digital 64 kbps.

2. Dirancang untuk memenuhi persyaratan pengalihan informasi baik saat ini maupun di masa mendatang terutama untuk kendali panggilan, kendali dari jauh, manajemen dan pemeliharaan.
3. Dirancang sebagai alat yang handal untuk pengalihan informasi dalam suatu rangkaian deretan yang benar dan tidak sampai hilang atau terduplikasi.
4. Sesuai untuk operasi sepanjang channel analog serta pada kecepatan di bawah 62 kbps.
5. Sesuai digunakan untuk jaringan ujung ke ujung dan jaringan satelit.

Elemen Jaringan Pensinyalan :



- Titik Pensinyalan (TS) artinya Suatu poin dalam jaringan yang dapat menangani kontrol pesan SS7
- Titik-titik pengalih pensinyalan (TPS) artinya Sebuah signaling point yang dapat menjadi routing control messages
- Jalur Pensinyalan artinya Jalur data yang menghubungkan titik pensinyalan

Dalam Signaling Network Structures ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi keputusan-keputusan yang berkaitan dengan rancangan jaringan serta jumlah level yang harus diterapkan diantaranya :

- a. Kapasitas TPS : meliputi jumlah jalur pensinyalan yang bias dikendalikan oleh TPS, waktu pengalihan pesan pen-sinyalan, serta pesan kapa-sitas laju penyelesaian.
- b. Kinerja Jaringan : meliputi jumlah TS dan penundaan pensinyalan.
- c. Ketersediaan dan Kemandulan mengukur kemampuan jaringan dalam menyediakan layanan saat terjadi kegagalan TPS.

Saat mengamati keterbatasan jaringan dalam hal kinerja, bisa dipilih salah satu level TPS. Berikut ini petunjuk-petunjuk yang disarankan:

- Dalam jaringan pensinyalan hierarki dengan level TPS tunggal:
- Setiap TS bukanlah TPS pada waktu yang sama, yang

dikoneksikan pada sedikitnya dua TPS.

- Keterkaitan dalam TPS dilakukakan selengkap mungkin

Dalam jaringan pensinyalan hierarki dengan dua level TPS :

- Setiap TS bukanlah TPS pada waktu yang sama, yang dikoneksikan pada sedikitnya dua TPS pada level yang lebih rendah.
- Masing-masing TPS pada level yang lebih rendah dikoneksikan pada sedikitnya dua TPS pada level yang lebih tinggi.
- TPS pada level yang lebih tinggi saling terkait secara penuh.

Desain hierarki TPS dua level biasanya dirancang sedemikian rupa sehingga level yang lebih rendah bisa dimaksudkan untuk lalu lintas dalam wilayah geografis tertentu dalam jaringan, sedangkan level yang lebih tinggi mengendalikan lalu lintas antar wilayah.

## 12.11. Paket Switching

### 12.11.1. Prinsip dari Paket Switching

Jaringan telekomunikasi circuit-switching long-haul awalnya dirancang untuk mengendalikan lalu lintas suara, dan mayoritas lalu lintas pada jaringan-jaringan ini untuk diteruskan menjadi suara. Karakteristik

teristik dasar dari jaringan circuit switching adalah sumber daya yang berada di dalam jaringan yang dimaksudkan untuk panggilan tertentu. Untuk koneksi suara circuit yang dihasilkan sangat besar manfaatnya karena hampir disebagian waktu hanya salah satu pihak yang berbicara.

Meskipun begitu, saat jaringan circuit switching mulai semakin sering digunakan untuk koneksi data ada dua hal yang semakin jelas yakni untuk beberapa koneksi data pemakai / host (misalnya, computer pribadi pe-makai yang dihubungkan ke server database) sebagian besar waktunya berada pada saluran di dalam status idle. Sehingga, dengan koneksi data, pendekatan circuit switching menjadi tidak efisien.

Dalam jaringan circuit switching koneksi yang terjadi memungkinkan dilakukannya transmisi pada rate data yang konstan. Jadi, masing-masing dari dua perangkat yang dihubungkan harus saling mentransmisikan dan menerima pada rate data yang sama. Hal ini membatasi kegunaan jaringan dalam inter-koneksi berbagai jenis computer host dan workstation.

Untuk memahami bagaimana Paket switching mengarahkan masalah ini kita lihat secara singkat gambaran operasi Paket switching. Data ditransmisikan dalam bentuk Paket pendek. Batas pada Paket

panjangnya 1000 octet (byte). Bila sumber memiliki pesan yang lebih panjang untuk dikirim, pesan-pesan tersebut terpecah menjadi deretan Paket (gambar 12.9). masing-masing Paket berisikan sebagian (atau semua untuk pesan pendek). Data memakai plus beberapa informasi kendali. Informasi kendali, pada jumlah minimum, mencakup informasi jaringan agar mampu mengarahkan Paket disepanjang jaringan dan menmgirimkannya ke tujuan yang dimaksud. Pada masing-masing simpul dalam rute Paket diterima. Disimpan sementara, dan diarahkan menuju simpul berikutnya. Sekarang kita kembali ke gambar 9.1. namun sekarang kita mengasumsikan gambar tersebut merupakan sebuah jaringan Paket switching sederhana.

Amati Paket yang dikirim dari stasion A ke stasion E. Paket tersebut terdiri dari informasi kendali yang me-nunjukkan bahwa tujuan yang di maksud adalah E. Paket dikirim dari stasion A ke siimpul 4. Simpul 4 menyimpan Paket dan, menentukan rute berikutnya (katakanlah 5), serta meng-antrikan Paket keluar pada jalur tersebut (jalur 4-5). Bila jalurnya sudah tersedia, Paket ditransmisikan kesimpul 5, yang mentransmisikan Paket ke simpul 6, akhirnya sampai ke stasion E.

Pendekatan ini memiliki beberapa kelebihan dibanding circuit-switching, yakni : Jalur efisiensi yang lebih besar, karena jalur simpul-ke-simpul tunggal dapat dibagi secara dinamik oleh paket sebanyak-banyaknya sepanjang waktu. Paket diantrikan dan ditransmisikan secepat mungkin sepanjang jaringan. Sebaliknya, dengan circuit-switching, waktu pada jalur simpul ke simpul dialokasikan menggunakan time-division Multiplexing synchronous. Hampir disebagian besar waktunya, jalur seperti itu berada dalam kondisi idle karena sebagian waktunya dihabiskan untuk koneksi yang statusnya juga idle. Jaringan Paket switching mampu menampilkan konversi rate data. Dua station pada rate data yang berbeda mampu mengubah Paketnya karena masing-masing dikoneksikan ke-simpulnya pada rate data yang sesuai. Saat lalu lintas pada jaringan circuit switching mulai penuh, beberapa panggilan yang dilakukan dibloking; maksudnya, jaringan menolak menerima permintaan koneksi tambahan sampai muatan pada jaringan berkurang.

Pada jaringan Paket switching, Paket-Paket masih bisa diterima, namun terjadi peningkatan penundaan pengiriman. Diberlakukannya skala prioritas. Jadi, bila sebuah simpul memiliki sejumlah Paket yang mengantri untuk ditransmisikan Paket yang memiliki prioritas yang lebih tinggi terlebih dahulu. Sehingga Paket-Paket ini hanya mengalami sedikit

penundaan dibanding Paket yang prioritasnya lebih rendah.

### **12.11.2. Kelebihan Paket Switching dibanding "Circuit Switching"**

1. Jalur efisiensi yang lebih besar, karena jalur simpul-ke-simpul tunggal dapat dibagi secara dinamik oleh Paket sebanyak-banyaknya sepanjang waktu. Paket diantrikan dan ditransmisikan secepat mungkin sepanjang jaringan. Sebaliknya, dengan circuit-switching, waktu pada jalur simpul-ke-simpul dialokasikan menggunakan time division Multiplexing synchronous (serempak). Hampir di sebagian besar waktunya, jalur seperti itu berada dalam kondisi idle karena sebagian waktunya dihabiskan untuk koneksi yang statusnya juga idle.
2. Jaringan Paket switching mampu menampilkan konversi rate data. Dua station pada rate data yang berbeda mampu mengubah Paketnya karena masing-masing dikoneksikan kesimpulnya pada rate data yang sesuai.
3. Saat lalu lintas pada jaringan circuit switching mulai penuh, beberapa panggilan yang dilakukan dibloking. Maksudnya, jaringan menolak menerima permintaan koneksi tambahan sampai muatan pada jaringan berkurang. Pada jaringan Paket switching, Paket-Paket masih bisa di-

terima, namun terjadi peningkatan penundaan pengiriman.

4. Diberlakukannya skala prioritas. Jadi, bila sebuah simpul memiliki sejumlah Paket yang mengantri untuk ditransmisikan Paket yang memiliki prioritas yang lebih tinggi terlebih dahulu. Sehingga Paket-Paket ini hanya mengalami sedikit penundaan disbanding Paket yang prioritasnya lebih rendah.

### 12.11.3. Softswitch Architecture

- Tujuan utama computer running software untuk menjadikannya sebuah smart phone switch
- Biaya yang lebih rendah
- Fungsi yang lebih besar
  - Paket data suara yang terdigitasi
  - Dapat mengirimkan suara melalui IP (VoIP)
- Bagian yang paling kompleks dari telephone network switch adalah software controlling call process
  - Call routing
  - Call processing logic
  - Prosesor utama yang biasa dijalankan
- Separate call processing from hardware function of switch
- Physical switching done by media gateway
- Call processing done by media gateway

### 12.11.4. Teknik Switching

1. Stasiun memecah pesan panjang menjadi paket-paket  
Bila sebuah station memiliki sebuah pesan untuk dikirim melalui jaringan paket switching yang panjangnya lebih besar dibanding ukuran paket maksimum, ia akan memecah pesan tersebut menjadi bentuk paket dan mengirimkan paket-paket ini sekaligus pada jaringan. Pertanyaan yang muncul adalah bagaimana jaringan menangani rantai paket ini dan berupaya menyalurkan mereka sepanjang jaringan serta mengirimkannya ke tujuan yang dimaksud. Dalam hal ini terdapat dua pendekatan yang dipergunakan dalam jaringan, yakni : datagram dan circuit virtual.

2. Paket dihandle dalam dua cara

#### a. Datagram

Data pendekatan datagram, masing-masing paket diperlakukan secara terpisah, tanpa tanpa dikaitkan dengan paket yang sudah lewat sebelumnya. Kita amati aplikasi pendekatan ini. Anggap saja station A pada gambar 12.9. memiliki sebuah pesan tiga paket untuk dikirim ke station E. yang ditransmisikan adalah Paket 1-2-3, menuju simpul 4. setiap paket berisikan alamat tujuan, dalam hal ini adalah station E. Untuk masing-masing paket, simpul 4 harus membuat sebuah keputusan

untuk menentukan jalurnya. Paket 1 harus tiba di E.

Simpul 4 dapat saja mengarahkan paket-paket ini baik melalui simpul 5 atau 7. Dalam hal ini, simpul 4 menunjukkan antrian paket untuk simpul 5 lebih pendek dibanding untuk simpul 7, sehingga yang dipilih adalah antrian untuk simpul 5. Hal yang sama terjadi untuk Paket 2. Namun pada paket 3, simpul 4 menentukan bahwa antriannya untuk simpul 7 sekarang menjadi lebih pendek dan begitu juga pada antrian paket 3 untuk simpul tersebut.

Begitu juga hal yang terjadi dengan paket, masing-masing paket dengan alamat tujuan yang sama tidak semua mengikuti rute yang sama. Sehingga akibatnya, paket 3 akan sampai sebelum paket 2 dan bahkan paket 1 menuju simpul 6. Jadi, sangatlah mungkin paket-paket tersebut akan dikirim ke station E dalam urutan yang berbeda dengan urutan saat mereka dikirim. Terserah pada station E untuk menetapkan bagaimana memberi perintah pada mereka kembali. Selain itu kemungkinan pula paket terdapat rusak didalam jaringan sebagai contoh.

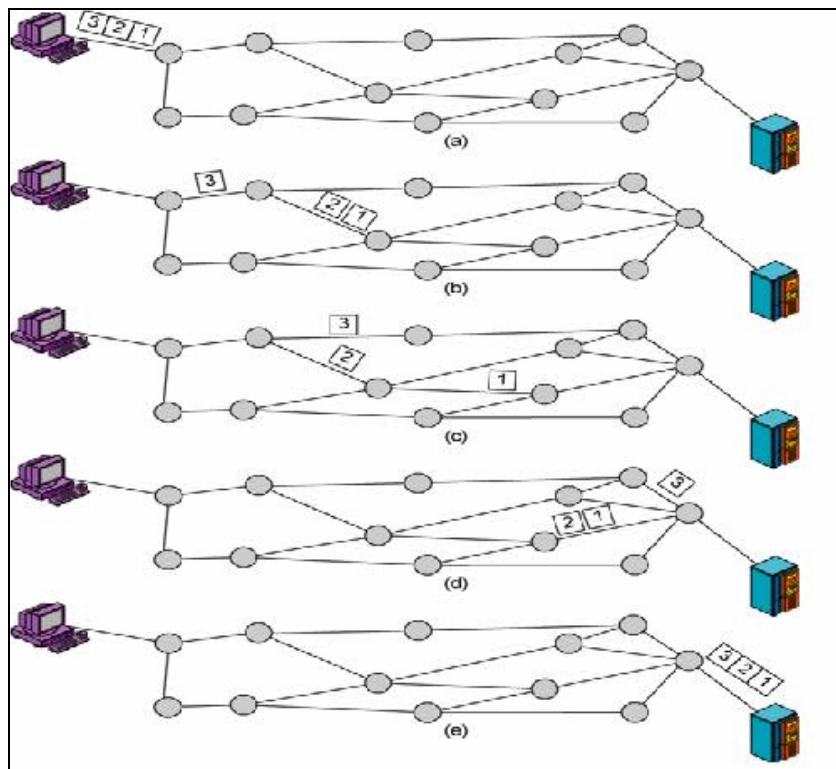
Bila sebuah simpul paket switching kemudian bertabrakan, seluruh paket-paket yang melakukan antrian dapat hilang. Bila ini terjadi pada salah satu paket dalam contoh yang kita gambarkan, simpul 6 tidak dapat mengetahui bahwa dalam salah satu paket dalam paket-paketnya telah hilang. Sekali lagi, station E

lah yang mendeteksi untuk hilangnya paket tersebut kemudian menetapkan cara untuk mengatasinya. Dalam teknik ini, setiap Paket diperlukan secara terpisah, disebut sebagai data-gram. Dalam pendekatan virtual circuit, rute yang telah direncanakan sebelumnya ditetapkan sebelum paket-paket dikirim. Sebagai contoh, anggap saja station A memiliki satu pesan atau lebih untuk dikirim ke station E. Yang pertama dikirim adalah suatu paket khusus, yang disebut paket permintaan panggilan. Paket tersebut dikirim kesimpul 4, dan meminta koneksi logic menuju koneksi E, simpul 4 memutuskan untuk mengirim-kon permintaan tersebut dan seluruh paket yang berdekatan menuju simpul 5, yang kemudian disalurkan ke simpul 6, barulah simpul 6 mengirimkan ke station E.

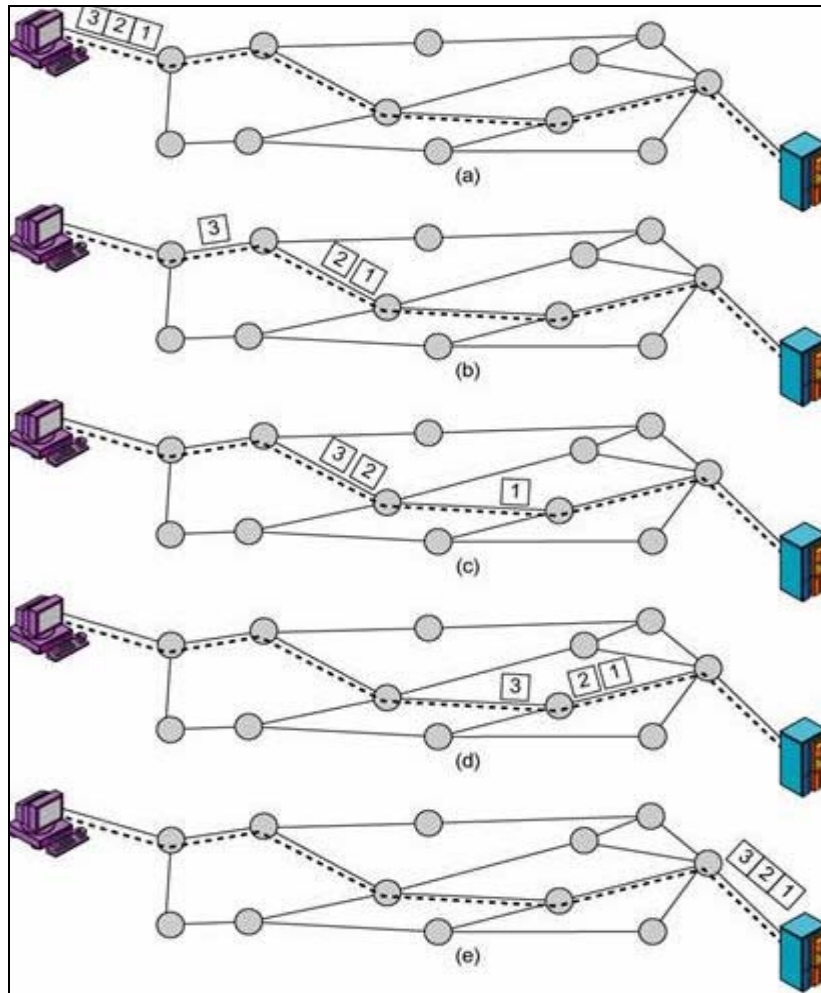
Bila station E sudah siap menerima koneksi ia mengirim sebuah paket penerima panggilan kesimpul 6. Paket ini dilintaskan kembali pada melalui simpul 5 dan 4 menuju station A, dan station E dan A sudah mulai bisa melakukan pertukaran data sepanjang rute yang sudah ditetapkan.

1. Setiap paket diperlakukan secara independent
2. Paket dapat mengambil setiap rute praktis
3. Paket mungkin datang tidak sesuai urutan

4. Paket mungkin dapat menghilang
  5. Tergantung pada receiver untuk mengurutkan paket dan mengembalikan paket yang hilang.
- b. Virtual
1. Membangun perencanaan rute sebelum mengirimkan paket
  2. Panggilan permintaan dan panggilan penerimaan paket membangun koneksi (*hand-shake*)
  3. Masing-masing paket terdiri dari sebuah pengenal virtual circuit bukan sebuah alamat tujuan
  4. Tidak ada keputusan routing yang diperlukan untuk setiap paket
  5. Mengosongkan permintaan untuk menggagalkan circuit
  6. Bukan sebuah jalur yang bersifat dedicated



Gambar 12.9. Pengiriman data berdasarkan paket



Gambar 12.10. Jalur data dan sinyal yang terpisah

Perbandingan Datagram vs Virtual

Virtual circuits :

- Jaringan dapat menyediakan sequencing dan kontrol error
- Paket diteruskan lebih cepat sehingga tidak perlu membuat keputusan routing
- Kurang reliable karena hilangnya sebuah node me-

nyebabkan hilangnya seluruh circuit yang melaluinya

Datagram :

- Tidak memerlukan fase call setup sehingga lebih baik jika paketnya sedikit
- Lebih flexible karena routing dapat digunakan untuk menghindari tabrakan dalam jaringan

### 12.11.5. X.25 Protocol

X.25 adalah protocol standar untuk interface di antara suatu ujung dengan jaringan switching. Disekitar tahun 1970, dimulai penelitian mengenai bentuk arsitektur baru untuk komunikasi data digital jarak jauh yaitu : Paket switching. Meskipun teknologi Paket switching telah berkembang secara substansial sejak saat itu, ditandai dengan adanya (1) teknologi data Paket switching secara fundamental saat ini sama dengan jaringan diawal tahun 70-an, dan (2) Paket switching menyisakan salah satu dari sedikit teknologi-teknologi yang efektif untuk komunikasi jarak jauh.

- a) X.25 - Physical
  - Interface antara stasiun yang terhubung dan link ke node
  - Data terminal equipment DTE (user equipment)
  - Data circuit terminating equipment DCE (node)
  - Menggunakan -physical layer specification X.21
  - Reliable transfer across physical link
  - Sequence of frames
- b) X.25 – Link
  - Link Access Protocol Balanced (LAPB)
    - Subset dari HDLC
- c) X.25 – Paket
  - Virtual circuit Eksternal
  - Logical connections (virtual circuits) antara subscribers

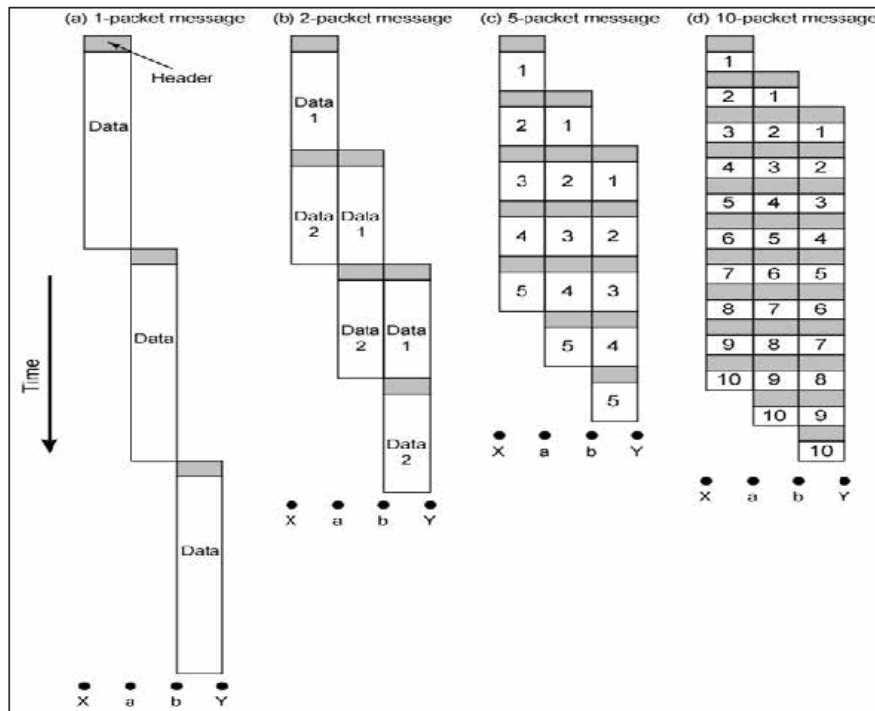
### d) X.25 Levels

- Data user lewat sampai X.25 level 3
- X.25 menambahkan informasi kontrol
  - Header
  - Penjelasan virtual circuit
  - menyediakan sequence numbers untuk aliran dan kontrol error
- Paket X.25 diturunkan ke LAPB entity
- LAPB menambahkan informasi kontrol yang lebih banyak

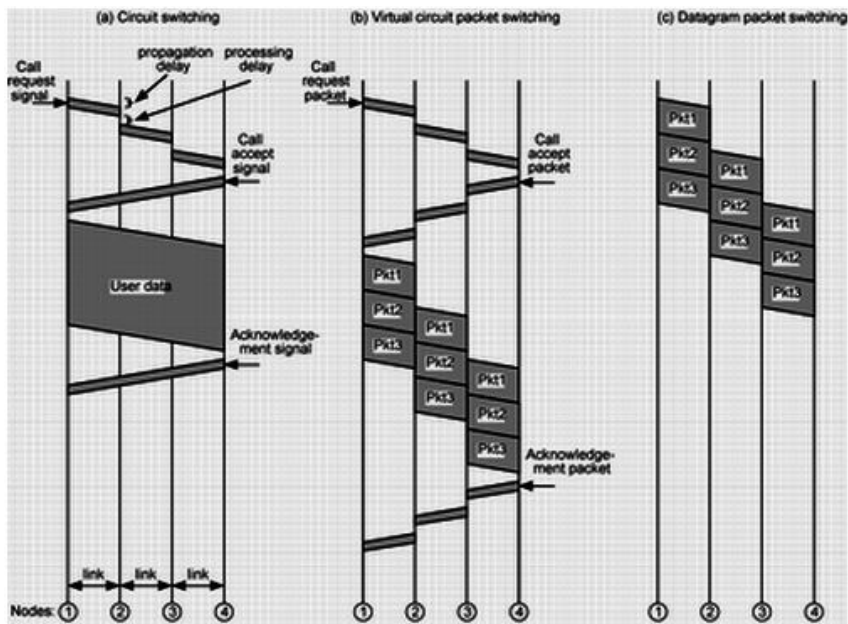
### 12.11.6 Ukuran Paket

Untuk circuit switching, terdapat sejumlah penundaan tertentu sebelum pesan dapat dikirim.pertama sinyal permintaan panggilan dikirim sepanjang jaringan, untuk menyusun koneksi dengan station tujuan. Bila station tujuan tidak dalam keadaan sibuk, sinyal penerima panggilan kembali. Perlu dicatat bahwa penundaan pengolahan terjadi pada setiap pengolahan simpul selama permintaan panggilan dilakukan. Saat kembali proses ini tidak diperlukan karena koneksi sudah dibangun. Setelah pembangunan koneksi, pesan dikirim dalam bentuk blok tunggal, tanpa penundaan yang nyata pada simpul-simpul switching.





Gambar 12.11. Deretan Paket



Gambar 12. 12. Pewaktuan untuk circuit-switching dan paket switching

Paket switching circuit virtual muncul dalam bentuk yang sama pada circuit switching. Sebuah circuit virtual bisa diminta dengan menggunakan peket permintaan panggilan, yang mengakibatkan penundaan pada setiap simpul, circuit virtual diterima dengan Paket penerima panggilan, berbeda dengan yang terjadi dengan yang terjadi pada Paket virtual switching, penerima panggilan juga mengalami penundaan simpul, meskipun rute circuit virtual saat ini sudah ditetapkan. Alasannya adalah karena Paket ini mengantri pada setiap simpul dan harus menunggu gilirannya untuk transmisi, sekali circuit virtual ditetapkan, pesan ditransmisikan.

#### **12.11.7 Operasi Eksternal dan Internal**

Salah satu karakteristik terpenting dari jaringan paket switching adalah apakah menggunakan datagram atau sirkuit virtual. sebenarnya terdapat dua

dimensi dari karakteristik ini, pada interface di antara suatu station dan sebuah simpul, Jaringan dapat menyediakan baik layanan yang berorientasi koneksi atau layanan yang tanpa koneksi dengan layanan yang berorientasi koneksi, dengan layanan yang berorientasi koneksi, suatu station mengeluarkan sebuah permintaan panggilan untuk menyusun koneksi logic dengan station yang lain. Semua paket yang ditampilkan untuk jaringan diidentifikasi sebagai milik koneksi logic tertentu serta diberi nomor yang berurutan. Jaringan berusaha untuk mengirimkan paket-paket sesuai dengan nomor urutannya, koneksi logic biasanya ditunjukkan sebagai suatu sirkuit virtual, sedangkan layanan yang berorientasi koneksi disebut sebagai external virtual circuit service sayangnya layanan ini benar-benar berbeda dengan konsep internal virtual circuit operation, salah satu contoh penting mengenai layanan eksternal ini adalah X.25.

#### **12.12. Rangkuman**

Dari uraian yang telah diutarakan pada bagian ini, beberapa hal penting yang dapat diungkap kembali diantaranya :

1. Proses Switching adalah proses penyambungan jalur incoming dari pelanggan pemanggil ke jalur outgoing, untuk menuju pelanggan tujuan pada Sentral digital.
2. Komunikasi melalui circuit switching disediakan suatu jalur komunikasi yang ditempatkan di antara dua station. Jalur tersebut berupa rangkaian jalur yang saling dihubungkan satu sama lain di antara simpul jaringan.

3. Komunikasi melalui circuit switching meliputi tiga tahap, yaitu:
  - a. Pembangunan Circuit  
Sebelum suatu data ditrans-misikan, harus dibuat terlebih dahulu suatu circuit dari ujung ke ujung.
  - b. Transfer Data  
Data yang ditransfer dapat berupa analog maupun digital, tergantung pada sifat jaringan.
  - c. Disconnect Circuit  
Setelah beberapa periode transfer data, koneksi dihen-tikan, yang biasanya dilakukan oleh salah satu station.
4. Circuit Switching banyak diaplikasikan atau diterapkan pada jaringan telepon umum, PBX (Public Branch Exchange), jaringan swasta yang juga menggunakan sistem PBX. Selain itu, juga pada Data Switch yang mirip dengan PBX namun dirancang khusus untuk menghubungkan perangkat pengolahan digital untuk menghubungkan terminal dan komputer.
5. Paket switching merupakan pengiriman data dalam bentuk paket. Gambaran operasi Paket switching adalah : Data ditransmisikan dalam bentuk paket pendek. Batas pada Paket panjangnya 1000 octet (byte). Bila sumber memiliki pesan yang lebih panjang untuk dikirim, pesan-pesan tersebut terpecah menjadi deretan Paket. Masing-masing Paket berisikan sebagian (atau semua untuk pesan pendek).
6. Paket switching mempunyai keunggulan terhadap circuit switching.

### 12.13. Soal latihan

Kerjakan soal-soal dibawah ini dengan baik dan benar

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proses switching ?
2. Komunikasi melalui circuit switching meliputi tiga tahap, sebutkan dan berilah penjelasan secukupnya !
3. Di manakah saluran *circuit switching* sering diterapkan ?
4. Cobalah deskripsikan bagaimana paket switching dapat berlangsung ?
5. Apakah keunggulan paket switching dibandingkan dengan circuit switching ?

## LAMPIRAN. A

### Lampiran 1:

#### Kode-kode Morse untuk Huruf dan Angka

Kode-kode ini dipakai untuk komunikasi telegraf dan komunikasi elektrik lainnya yang menggunakan dua perubahan

A	• —	J	• — — —	S	• • •
B	— • • •	K	— • —	T	—
C	— • — •	L	• — • •	U	• • —
D	— • •	M	— —	V	• • • —
E	•	N	— •	W	• — —
F	• • — •	O	— — —	X	— • • —
G	— — •	P	• — — •	Y	— • — —
H	• • • •	Q	— — • —	Z	— — • •
I	• •	R	• — •		

1	• — — — —	6	— • • • •
2	• • — — —	7	— — • • •
3	• • • — —	8	— — — • •
4	• • • • —	9	— — — — •
5	• • • • •	0	— — — — —

Sumber :

[101science.com/amateurradio.htm](http://101science.com/amateurradio.htm)

[www.ibiblio.org/obp/electricCircuits/AC/AC\\_7.html](http://www.ibiblio.org/obp/electricCircuits/AC/AC_7.html)

Lampiran 2:

Tabel Pembagian kanal dan alokasi frekuensi gambar dan suara pada televisi

<b>CHART OF FREQUENCIES 4 - POLE FILTER FREQUENCIES</b>			
<b>Channel</b>	<b>Video</b>	<b>Color</b>	<b>Audio</b>
2	55.25	58.83	59.75
3	61.25	64.83	65.75
4	67.25	70.83	71.25
5	77.25	80.83	81.75
6	83.25	86.83	87.75
Bullet	103 MHz to 105.5 MHz		
Snooper	107.997 MHz		

<b>CHART OF FREQUENCIES 3 - POLE FILTER FREQUENCIES</b>			
<b>Channel</b>	<b>Video</b>	<b>Color</b>	<b>Audio</b>
14	121.25	124.83	125.75
15	127.25	130.83	131.75
16	133.25	136.83	137.75
17	139.25	142.83	143.75
18	145.25	148.83	149.75
19	151.25	154.83	155.25
20	157.25	160.83	161.75
21	163.25	166.83	167.75
22	169.25	172.83	173.75
7	175.25	178.83	179.75
8	181.25	184.83	185.75
9	187.25	190.83	191.75
10	193.25	196.83	197.75
11	199.25	202.83	203.75
12	205.25	208.83	209.75
13	211.25	214.83	215.75

Lampiran 3 :

Tabel Spektrum frekuensi yang sering digunakan dalam sistem komunikasi

very low frequencies (vlf)		time signals, standard frequencies
	— 30 kHz	
low frequencies (lf)		fixed, maritime mobile, navigational, radio broadcasting
	— 300 kHz	
medium frequencies (mf)		land, maritime mobile, radio broadcasting
	— 3 MHz	
high frequencies (hf)		fixed, mobile, maritime and aeronautical mobile, radio broadcasting, amateur
	— 30 MHz	
very high frequencies (vhf)		fixed, mobile, maritime and aeronautical mobile, amateur, radio and television broadcasting, radio navigation
	— 300 MHz	
ultrahigh frequencies (uhf)		fixed, mobile, maritime and aeronautical mobile, amateur, television broadcasting, radio location and navigation, meteorological, space communication
	— 3 GHz	
superhigh frequencies (shf)		fixed, mobile, radio location and navigation, space and satellite communication
	— 30 GHz	

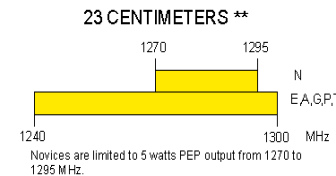
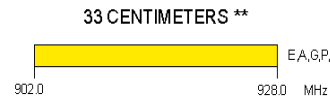
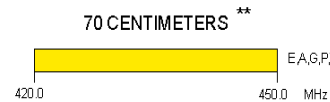
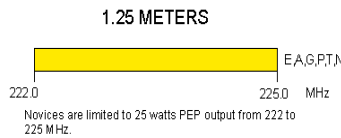
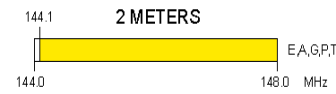
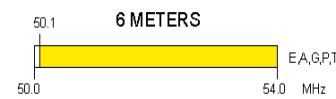
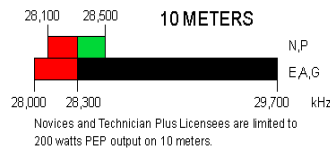
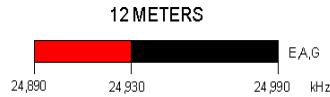
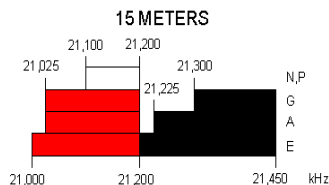
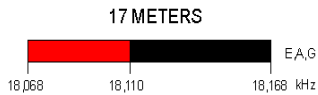
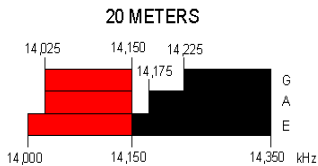
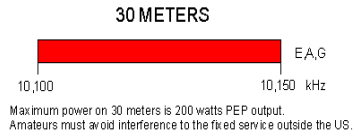
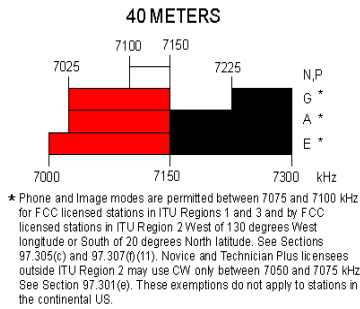
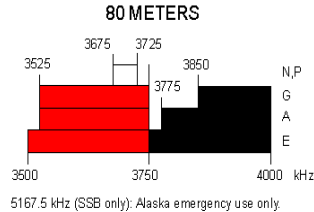
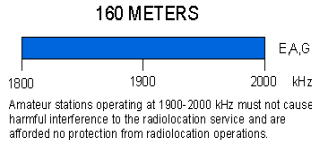
# Lampiran 4: Pita frekuensi untuk radio amatir di Amerika Serikat

## US Amateur Bands

April 15, 2000

### Novice, Advanced and Technician Plus Allocations

Novice, Advanced and Technician Plus licenses will not be issued after April 15, 2000. However, the FCC has allowed the frequency allocations for these license classes to remain in effect.



### US AMATEUR POWER LIMITS

At all times, transmitter power should be kept down to that necessary to carry out the desired communications. Power is rated in watts PEP output. Unless otherwise stated, the maximum power output is 1500 W. Power for all license classes is limited to 200 W in the 10,100-10,150 kHz band and in all Novice subbands below 28,100 kHz. Novices and Technicians are restricted to 200 W in the 28,100-28,500 kHz subbands. In addition, Novices are restricted to 25 W in the 222-225 MHz band and 5 W in the 1270-1295 MHz subband.

Operators with Technician class licenses and above may operate on all bands above 50 MHz. For more detailed information see *The FCC Rule Book*.

### KEY

- █ = CW, RTTY and data
- █ = CW, RTTY, data, MCW, test, phone and image
- █ = CW, phone and image
- █ = CW and phone
- █ = CW, RTTY, data, phone, and image
- = CW only

- N = NOVICE
- T = TECHNICIAN
- G = GENERAL
- A = ADVANCED
- E = EXTRA CLASS
- P = TECHNICIAN PLUS

\*\* Geographical and power restrictions apply to these bands. See *The FCC Rule Book* for more information about your area.

Above 23 Centimeters:

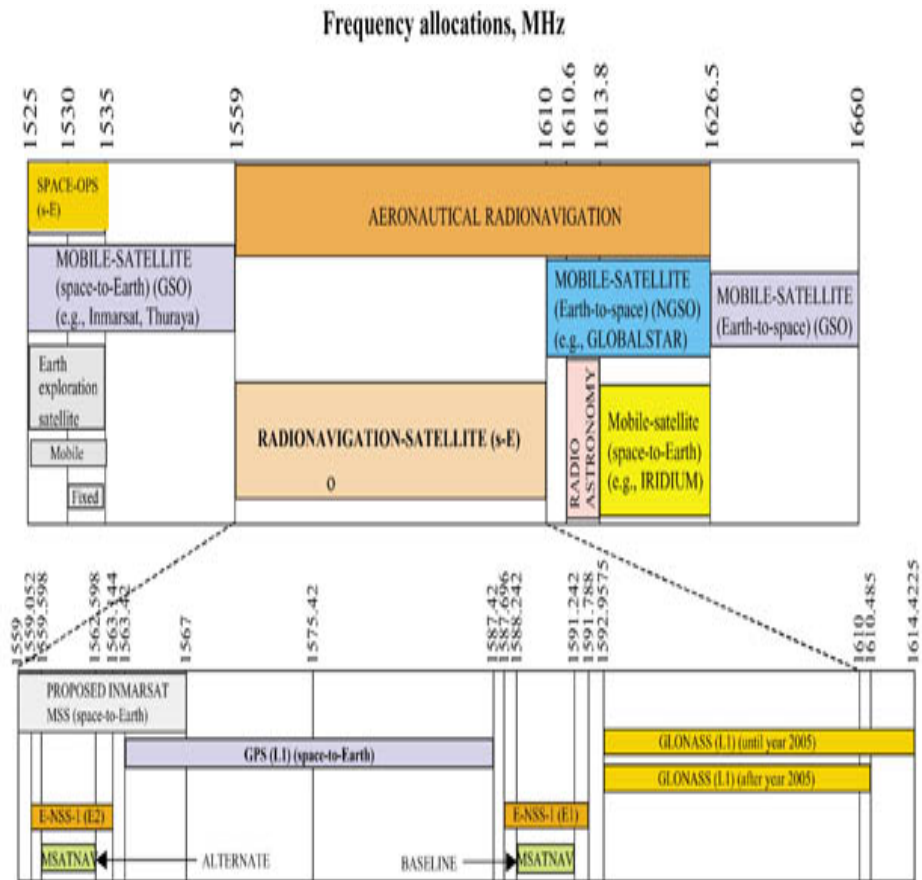
- All licenses except Novices are authorized all modes on the following frequencies:
- 2300-2310 MHz
  - 2390-2450 MHz
  - 3300-3500 MHz
  - 5650-5925 MHz
  - 10.0-10.5 GHz
  - 24.0-24.25 GHz
  - 47.0-47.2 GHz
  - 75.5-81.0 GHz
  - 119.98-120.02 GHz
  - 142-149 GHz
  - 241-250 GHz
  - All above 300 GHz



For band plans and sharing arrangements, see *The FCC Rule Book*.

Lampiran 5:

Alokasi Frekuensi untuk Radio Navigasi Satelit



KEY ITU-RR FOOTNOTES:

S5.359 allocates the 1550 to 1645.5 MHz band (and the 1646.5 to 1660 MHz band) to the fixed service on a primary basis in 44 countries.



ISBN 978-979-060-155-0  
ISBN 978-979-060-157-4

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. 12.386,00