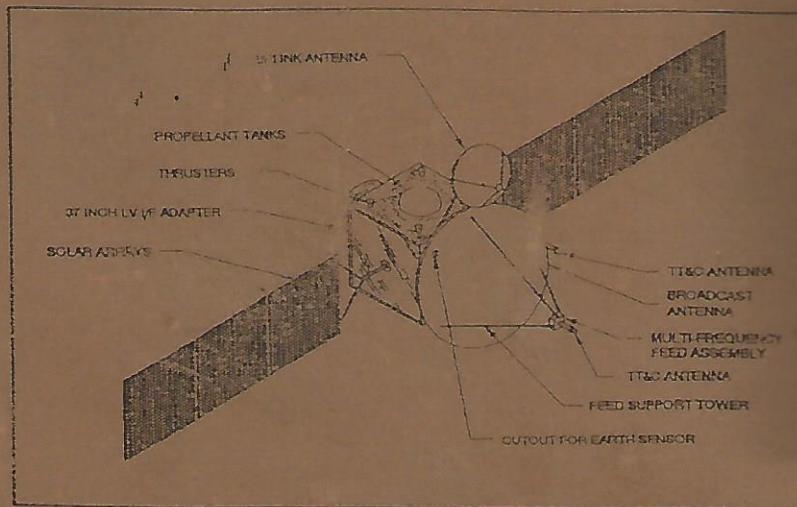
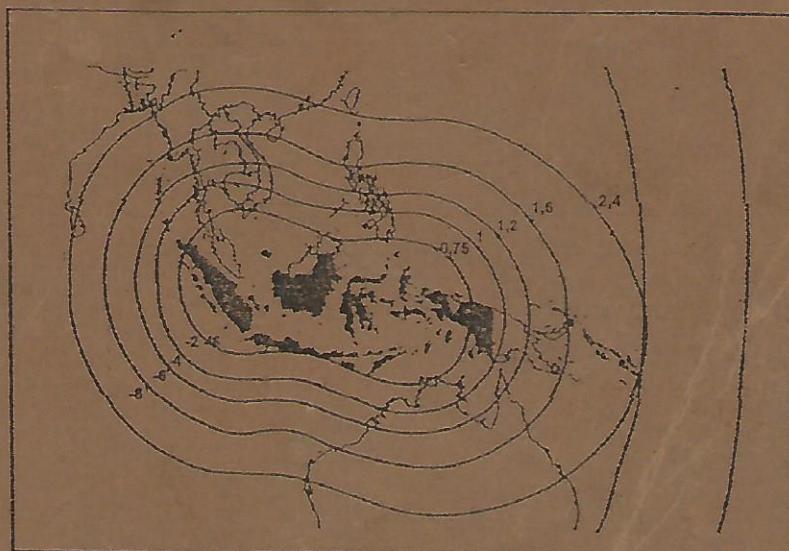


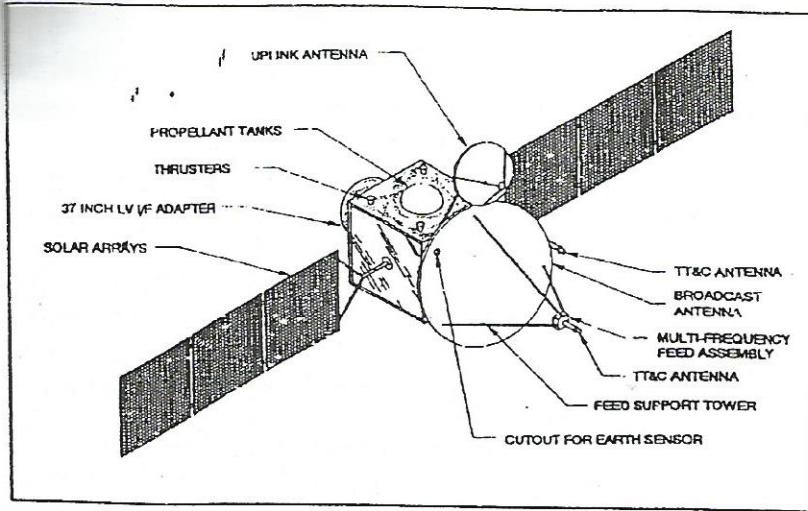
ADRIEL IRFON P  
TE - 3A



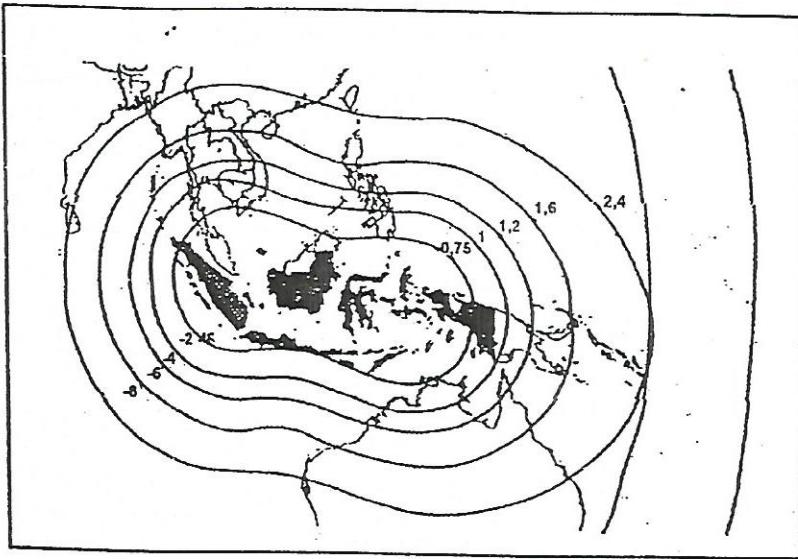
Gambar 11.9  
Konfigurasi Satelit INDOSTAR



Gambar 11.10  
Footprint INDOSTAR



Gambar 11.9  
Konfigurasi Satelit INDOSTAR



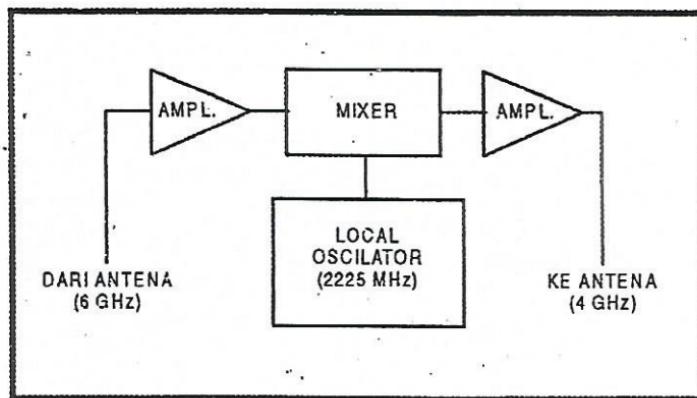
Gambar 11.10  
Footprint INDOSTAR

pesawat-pesawat penerima di rumah-rumah dengan antena parabola diameter 1 meter dan sebuah alat tambahan (populer dengan istilah *decoder*). Dengan perkembangan teknologi sistem digital, peralatan yang di rumah-rumah akan semakin sederhana. Sejalan dengan perkembangan sistem digital serta dengan sistem coding, satelit dengan EIRP yang lebih rendah sekitar 45 dBW sudah mencukupi untuk beroperasi sebagai satelit DBS.

## 2. PRINSIP KERJA SATELIT

Seperti sudah diutarakan, jenis satelit yang masih banyak beroperasi bertindak hanya sebagai stasiun pengulang dengan rangkaian kotak seperti pada gambar 2.3 (disebut juga jenis "Beni Pipe").

Jadi, tidak beda jauh dengan rangkaian suatu repeater dari jenis "RF Heterodyne Repeater". Sinyal radio yang masuk dengan frekuensi sekitar 6 GHz diperkuat, lalu diturunkan frekuensinya ke sekitar 4 GHz dengan mencampur (mixer) dengan frekuensi osilator lokal dari 2225 MHz, diperkuat lagi untuk kemudian dipancarkan kembali ke arah bumi.

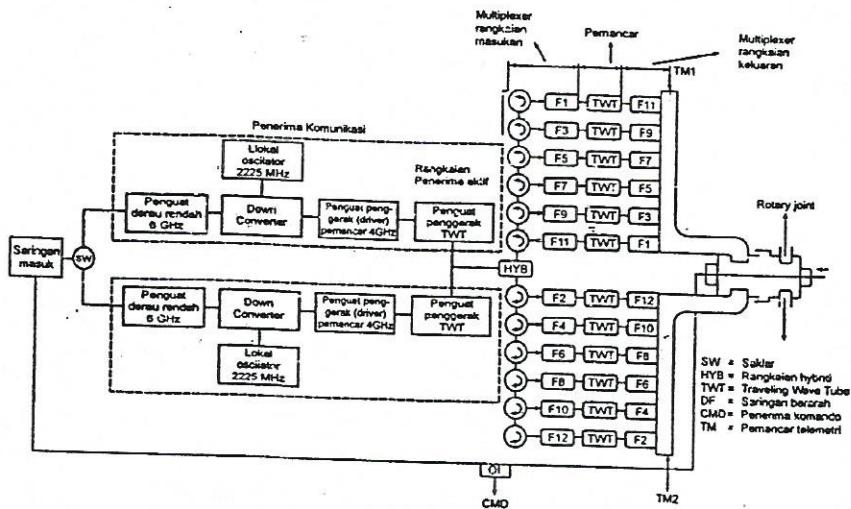


Gambar 2.3  
Diagram blok satelit komunikasi

Memang, sebagai benda ruang angkasa yang harus dijaga posisi dan kecepatan orbitnya diperlukan perlengkapan perlengkapan lain.

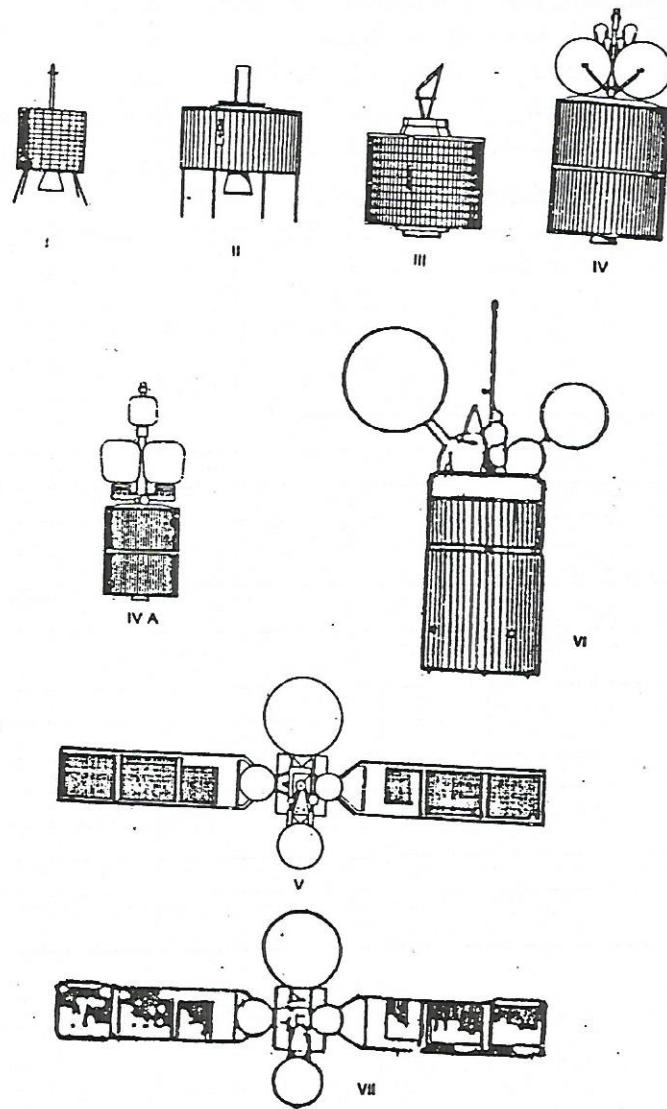
Disamping itu, karena ada rangkaian elektronisnya, diperlukan tenaga listrik yang diperoleh dari batere yang diisi dengan "solar panel".

Secara lebih detail, rangkaian sistem pengulang dari satelitnya adalah seperti diperlihatkan pada gambar 2.4 berikut ini:



Gambar 2.4  
Diagram blok satelit PALAPA - A

Sinyal 6 GHz yang datang dari bumi, setelah melalui tapis dan switch (SW), diperkuat dahulu di penguat derau rendah 6 GHz (lebar pita 500 MHz dari 5925 - 6425 MHz), diturunkan menjadi 4 GHz (3700 - 4200 MHz) dengan mencampur dengan LO frekuensi 2225 MHz, untuk kemudian diperkuat, lalu melalui hybrid, circulator dan tapis tiba di penguat akhir atau transponder.



Setelah melalui penguat akhir melalui tapis lagi, baru dijumlahkan dan diteruskan ke antena untuk selanjutnya dipancarkan kembali ke bumi. Lebar pita yang 500 MHz biasanya dibagi dalam 12 saluran, dimana tiap saluran diperkuat oleh satu rangkaian TWT. Untuk meninggikan keandalan digunakan sistem back-up.

Dalam selang waktu sekitar 20 tahun, perkembangan komunikasi satelit jenis ini cukup pesat, terutama satelitnya seperti terlihat dari tabel 2.1 dan gambar berikut ini:

**Tabel 2.1**  
**Perkembangan Satelit INTELSAT**

Karakteristik	Satuan	Intelsat								
		I	II	III	IV	IV-A	V			
Berat dalam orbit	kg	39	83	127	700	828	1053	2546	1900	
Ukuran - diameter	cm	73	142	142	240	240	-	360	-	
- tinggi	cm	59	67	104	530	648	640	640	420	
- panjang	cm	-	-	-	-	-	1590	-	2180	
Jumlah transponder (aktif)	-	2	6	12	12	20	21/6	46/24	42/28	
Kapasitas	kanal	240 atau 1 TV	240 atau 1 TV	1200 + 2 TV	4000 + 2 TV	6000 + 2 TV	12.000 + 2 TV	.....+ .. TV	.....+ .. TV	
Lebar band total	MHz	50	125	450	480	800 <sup>(2)</sup>	2300 <sup>(3)</sup>	3460 <sup>(4)</sup>	4900 <sup>(4)</sup>	
EIRP	dBW	13	15,5	25,8	23/44 <sup>(1)</sup>	23/29 <sup>(1)</sup>	23/37 <sup>(1)</sup>	26/44 <sup>(1)</sup>	26/41 <sup>(1)</sup>	
Frekuensi RF	GHz	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4, 14/11	6/4, 14/11	6/4, 14/11	
Polarisasi	-	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Sirkuler <sup>(5)</sup>	Sirkuler <sup>(5)</sup>	Sirkuler <sup>(5)</sup>	
							Linear	Linear	Linear	
Sumber daya	watt	33	75	131	460	525	1205	225	3970	
Peluncuran pertama	Tanggal	6/4/65	11/1/67	18/12/68	26/3/71	25/9/75	6/12/80	1986	1993	

- (1) Harga yang tertulis adalah untuk penyiaran bumi/penyiaran terbatas (earth coverage/earth beam)
- (2) Pemakaian ulang frekuensi (frequency reuse)
- (3) Pemakaian ulang frekuensi sebanyak 4 kali untuk 6/4 GHz dan 2 kali untuk 14/11 GHz
- (4) Pemakaian ulang frekuensi sebanyak 6 kali untuk 6/4 GHz dan 2 kali untuk 14/11 GHz
- (5) Polarisasi sirkuler untuk 6/4 GHz dan linear untuk frekuensi 14/11 GHz

Bentuk fisik satelitnya sendiri terlihat pada dua gambar berikutnya yang juga membandingkan tingkat kemajuan teknologi dalam selang 10 tahun.

Disitu terlihat adanya kemajuan dalam hal berat ( $300 \Rightarrow 1000$  kg), total RF output ( $60 \Rightarrow 240$  watt), sofistikasi dan lain-lain. Jet yang kecil-kecil (*thruster*) digunakan untuk mengoreksi posisi satelit (*station keeping*) selama masa baktinya (*life time*).

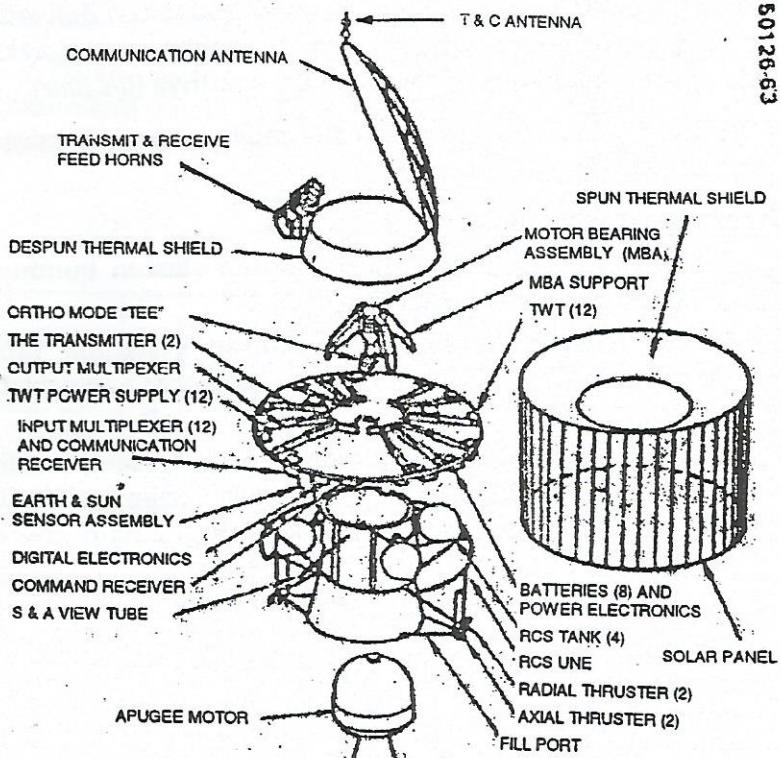
Bahkan, sekarang sudah ada satelit yang beratnya mencapai 3000 kg.

Kekurangan telekomunikasi satelit adalah:

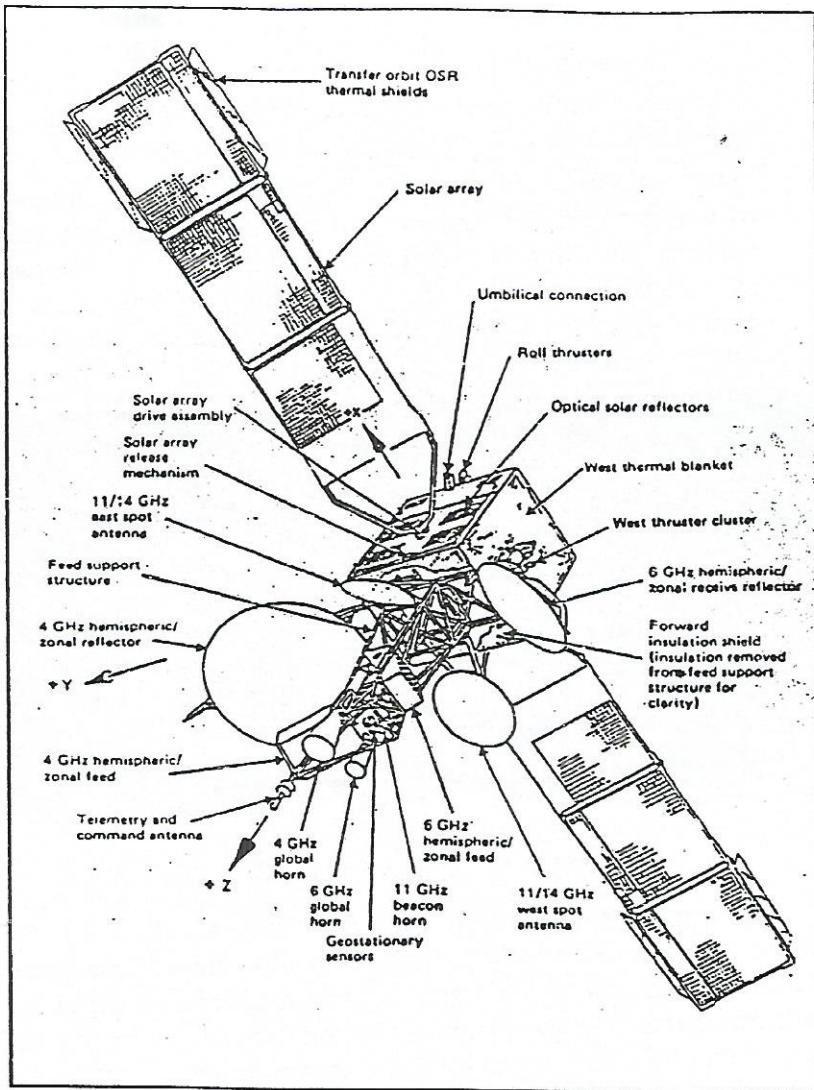
1. Besarnya kehilangan antara satelit dan stasiun bumi ( $= 200$  dB pada frekuensi 6 GHz).
2. Sistem penerima di bumi memerlukan penerima yang sangat peka (*low noise receiver*) dan pemancar yang relatif kuat.
3. Karena seluruh sistem bertumpu kepada 1 (satu) satelit, sistem sangat peka terhadap kesehatan satelitnya. Untuk ini biasanya ada satelit cadangan yang cukup mahal jadinya.

# PRELIMINARY

## Satellite Components



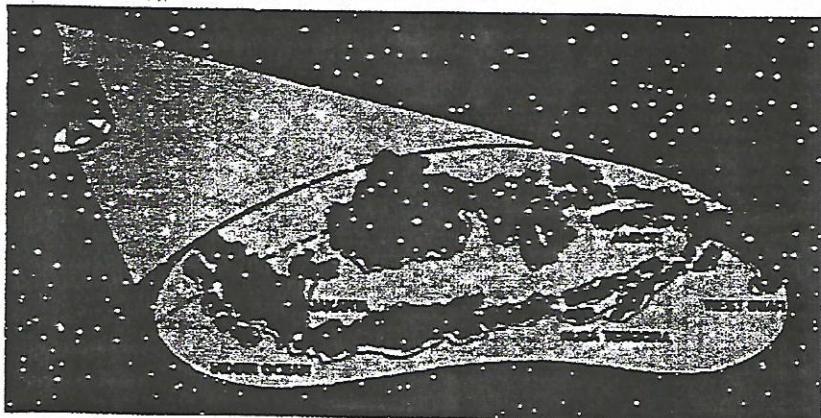
Gambar 2-5.  
Satelit PALAPA A1



Gambar 2.6  
Satelit INTELSAT V

*Keuntungan :*

1. Untuk mencakup telekomunikasi suatu daerah (misal, Indonesia) hanya diperlukan satu stasiun pengulang alias satu satelit.
2. Pengembangan jaringan bisa cepat, karena tinggal memasang stasiun bumi dimanapun dalam daerah cakupan satelitnya dan segera dapat berhubungan dengan stasiun-stasiun bumi lainnya. Hal inipun terlihat dari gambar-gambar berikut, yang memperlihatkan pancaran satelit PALAPA A1

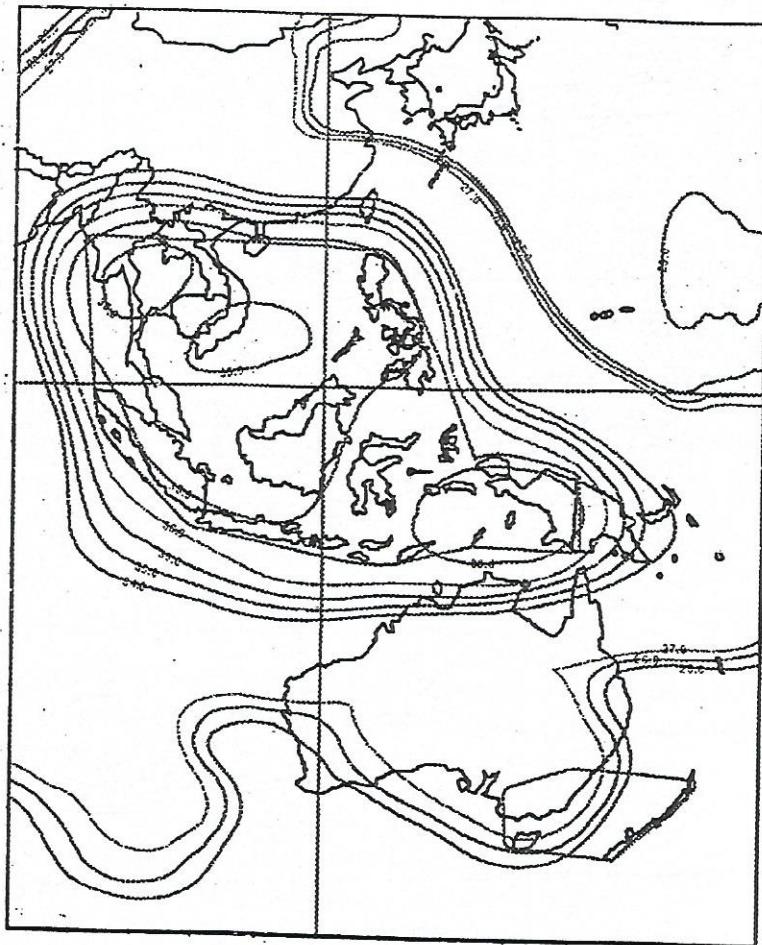


Gambar 2.7  
Cakupan pancaran satelit PALAPA. A1

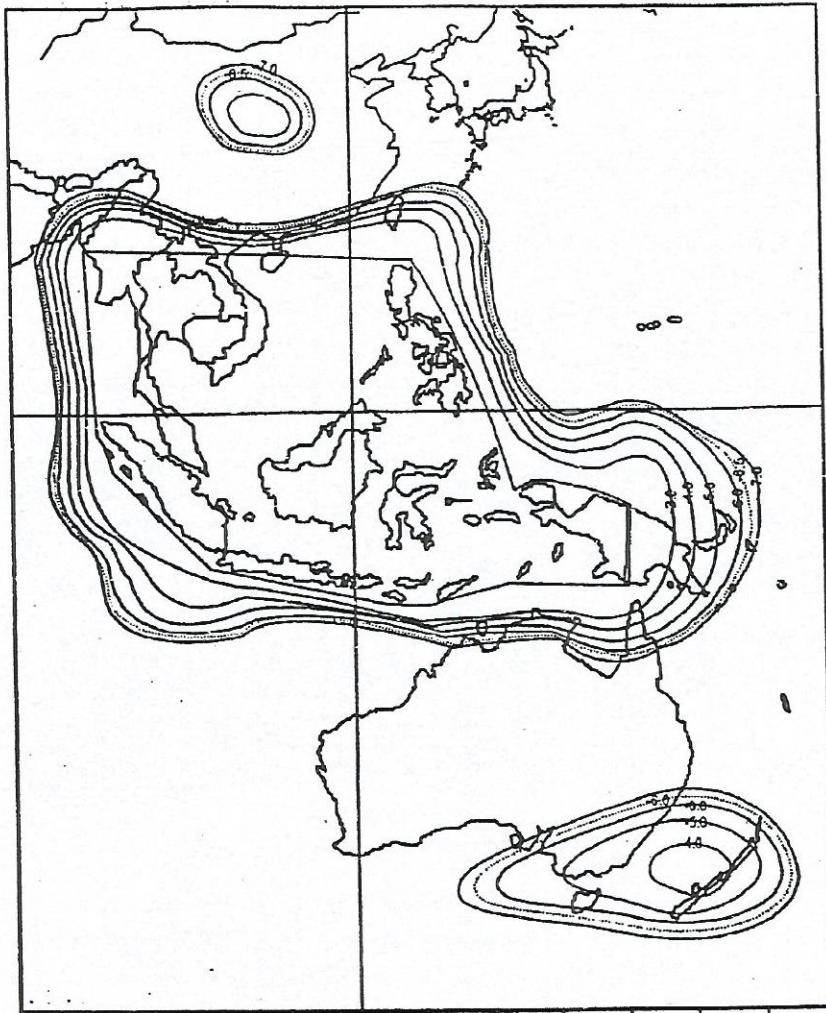
Dari gambar terlihat daerah pancaran satelit PALAPA secara perspektif. Luas daerah pancaran ini lebih didetaillkan dalam suatu diagram "foot print", yang menunjukkan daerah pancaran satelit dengan beberapa tingkat intensitas pancaran yang sama seperti pada gambar 2.8 dan gambar 2.9.

Puncak pancaran di Indonesia terjadi di sekitar Utara Kalimantan. Beda antara intensitas tertinggi dengan daerah pinggir adalah sekitar 6 dB. Setiap lokasi dalam daerah pancaran ini secara teoretis dapat berhubungan antara satu dengan lainnya.

Untuk orbit yang "geosynchronous", satelit harus berada sekitar 35.900 km persis di atas khatulistiwa.



Gambar 2.8  
"Foot print" PALAPA C1 yang menunjukkan kuat pancaran (EIRP) dari Transponder Horizontal



Gambar 2.9

"Foot print" PALAPA. C1 yang menunjukkan Kepekaan bagian Penerima (G/T) arah Polarisasi Vertikal

Hal ini membawa implikasi bahwa orbit khusus ini mempunyai nilai strategis (*geosynchronous orbit* - GSO), karena antara lain :

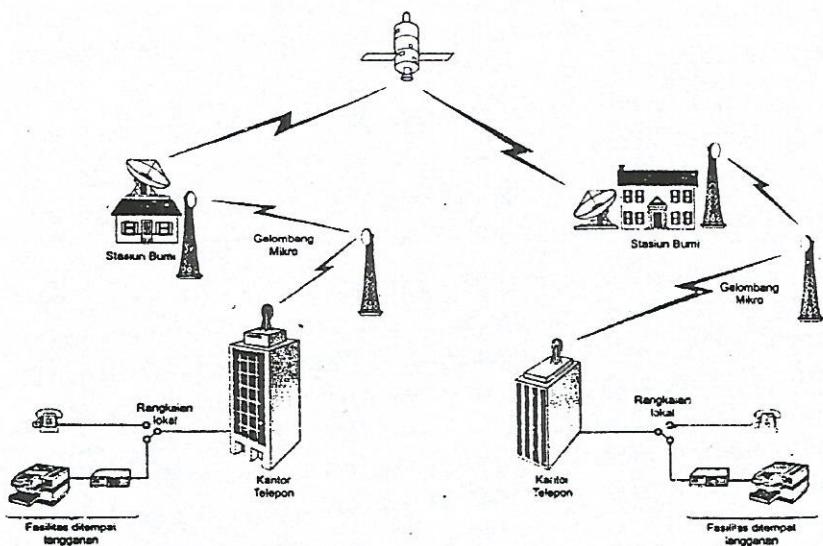
- Lokasi untuk menempatkan satelit yang *geosynchronous* yang terbatas;
- Negara-negara yang dilewati khatulistiwa, ingin ada perannya dalam hal alokasi satelit di atas daerahnya.

Namun, selain yang "bent pipe" sudah ada juga satelit yang bertindak sebagai "Baseband Heterodyne Repeater", yaitu sinyal yang diterima di "turunkan" sampai tingkat baseband, baru diremodulasi untuk seterusnya dipancarkan kembali ke bumi. Penurunan sampai "baseband" diperlukan untuk mengubah/memindahkan hubungan antar saluran sinyal yang datang. Jadi, satelitnya sudah bertindak seperti sebuah *Sentral Telepon*.

### 3. RANGKAIAN KOMUNIKASI SATELIT

Dalam rangkaian yang umum, komunikasi satelit merupakan bagian dari suatu jaringan yang menghubungkan dua langganan (lihat gambar 2.10).

Bedanya dibandingkan dengan sistem terrestrial hanyalah, bahwa letak kedua stasiun buminya bisa sangat berjauhan (Cibinong - Jayapura atau Jatiluhur, Indonesia - Burma, Holland). Jadi, dalam hal prinsip bagian-bagian rangkaian seperti untuk proses modulasi atau demodulasi, LO, RFA dan IF sama dengan sistem komunikasi yang sudah ada. Yang memang agak berbeda hanyalah di bagian ujungnya, yaitu antena, pemancar dan penerima RF (RFA).



Gambar 2.10

Prinsip komunikasi satelit sebagai bagian dari suatu jaringan

Ciri khas sistem komunikasi satelit adalah, jarak yang jauh antara stasiun bumi dan satelitnya, yang mengakibatkan 3 hal di stasiun bumi, yaitu:

- Antena harus cukup besar;
- Pemancar di stasiun bumi harus besar;
- Penerima harus sangat sensitif.

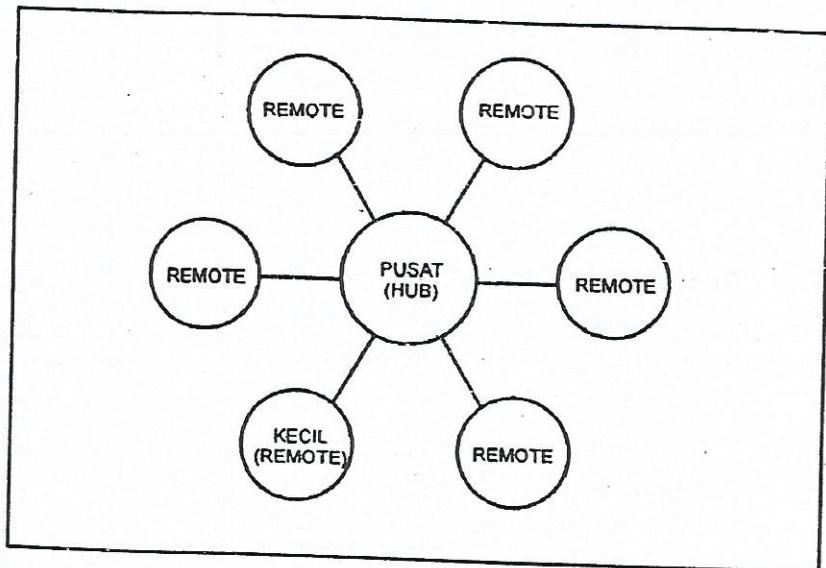
Terlebih lagi untuk masa sekarang, kemampuan satelit masih terbatas. Dengan kemajuan teknologi, stasiun bumi memang sudah bisa kecil, tetapi hanya untuk telekomunikasi beberapa kanal telepon (SCPC) atau komunikasi data dengan kecepatan rendah sampai menengah (VSAT).

Dari rumus untuk  $L_{FS}$  akan terlihat bahwa untuk komunikasi satelit, kehilangan lintasan atau path loss ( $L_{FS}$ ) akan mendekati 200 dB.

Kehilangan yang besar ini menyebabkan pemancar di stasiun bumi harus cukup besar dan penerimanya cukup peka, yaitu dengan *Low Noise Receiver* dengan sistem temperatur sekitar 75° K.

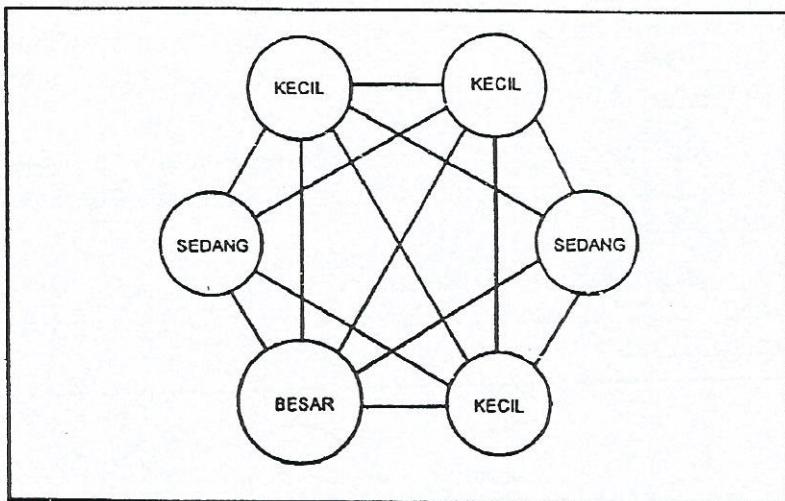
Sesuai dengan tujuan komunikasinya, topologi jaringan stasiun-stasiun bumi dapat berbentuk Bintang (STAR) atau Jaring (MESH).

Biasanya bentuk STAR terjadi, jika banyak stasiun-stasiun (yang kecil), berhubungan dengan satu stasiun (yang besar) sebagai Pusat.



Gambar 2.11a  
Jaringan Komunikasi Satelit Topologi Bintang (Star)

Sedang topologi MESH, terjadi jika suatu stasiun dapat berhubungan dengan setiap stasiun bumi lainnya. Biasanya ini terjadi antara stasiun-stasiun bumi yang posisi/tingkatan hampir sama.

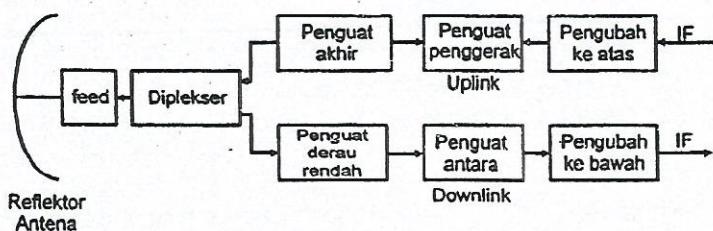


Gambar 2.11b  
Jaringan Komunikasi Satelit Topologi Jaring (Mesh)

#### 4. PRINSIP KERJA STASIUN BUMI

Secara umum sebagai peralatan komunikasi, stasiun bumi akan mempunyai rangkaian pengiriman (pemancar) dan rangkaian penerimaan.

Rangkaian kotak suatu Stasiun Bumi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11  
Diagram Kotak suatu Stasiun Bumi

- a) Antena yang sama dipakai baik untuk arah hubungan dari stasiun bumi ke satelit (*up-link*) maupun arah hubungan dari satelit ke stasiun bumi (*down-link*). Untuk pemisahan antara sinyal radio yang pergi dan yang datang dipakai "diplexer".
- b) Bagian-bagian rangkaian berikutnya prinsipnya sama dengan sistem komunikasi terestrial.
- c) Arah *Up-Link*
  - Sinyal yang datang ke pemancar biasanya sudah dalam sinyal IF.
  - Sinyal ini di Perubah ke atas (*Up converter - U/C*), frekuensinya dinaikkan menjadi 6 GHz dengan mencampurkan *local oscillator* dengan frekuensi sekitar 6 GHz.
  - Sinyal 6 GHz yang masih lemah diperkuat dulu di penguat penggerak (*driver amplifier*) sebelum dikirim ke penguat akhir (*final amplifier*).
  - Dalam penguat akhir atau *High Power Amplifier* (HPA), sinyal diperkuat lagi sebelum dipancarkan lewat antenanya.
- d) Arah *Down-Link*
  - Sinyal yang datang dari satelit dengan frekuensi 4 GHz, diperkuat dulu di Penguat derau rendah (*Low Noise Amplifier - LNA*). Untuk mengurangi derau, LNA ini biasanya dipasang langsung di belakang antena.
  - Setelah diperkuat di LNA, baru diteruskan ke penguat antara (*intermediate amplifier*).
  - Sinyal 4 GHz yang sudah cukup kuat ini, baru diturunkan frekuensinya menjadi 70 MHz di Pengubah ke bawah (*down converter - D/C*).

Selanjutnya sinyal 70 MHz ini diteruskan ke pemroses sinyal akhir.

Juga untuk perhitungan-perhitungan kehilangan lintasan, C/N dan lain-lain, mirip sistem telekomunikasi terresterial.

## 5. ROKET PENDORONG

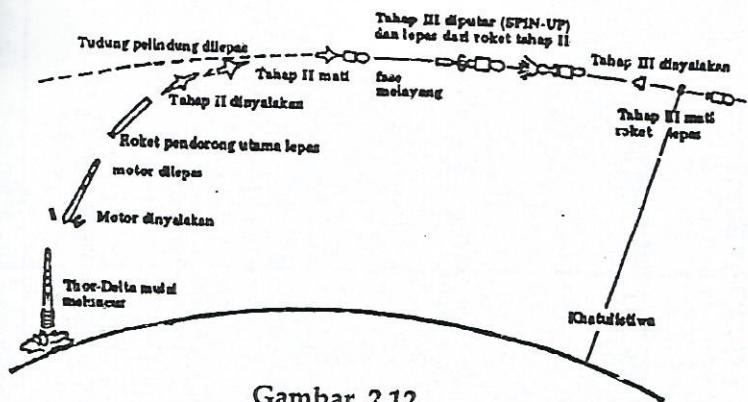
Dengan perkembangan teknologi, roket pendorong untuk menempatkan satelit di orbitnya pun bertambah kuat dan semakin canggih. Sekarang ini sudah ada roket pendorong yang jumlah roket pendorongnya dapat disesuaikan dengan berat satelitnya. Juga ada sistem bahwa dua satelit yang berbeda dapat diluncurkan sekaligus untuk ditempatkan di dua lokasi yang berbeda pula.

Jumlah negara yang sanggup membuat satelit dan yang sanggup meluncurkan pun semakin banyak. Sehingga harga satelit sekarang sebenarnya cukup bersaing dan teknologi satelit cepat menjadi dewasa.

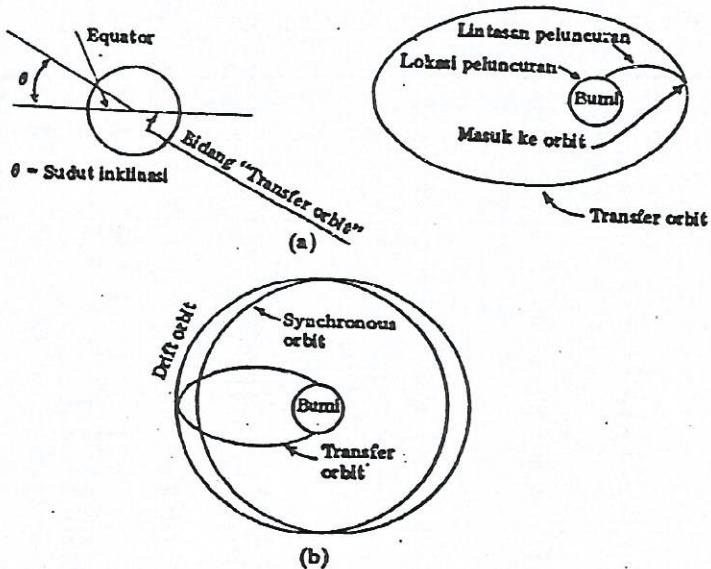
Salah satu cara untuk mencapai ketinggian 35.900 km, adalah sebagai berikut: roket menempatkan satelit dalam suatu transfer orbit dengan titik terendah (*perigee*) sekitar 230 km dan titik tertinggi (*apogee*) sekitar 36.100 km (lebih tinggi dari ketinggian *geosynchronous*).

Setelah satelit di "recheck" dan dinyatakan sehat, apabila satelit mendekati posisi tertinggi dan lintasannya memotong khatulistiwa, roket AKM (*Apogee Kick Motor*) dinyalakan sehingga satelit menempuh lintasan yang synchronous (*drift orbit*).

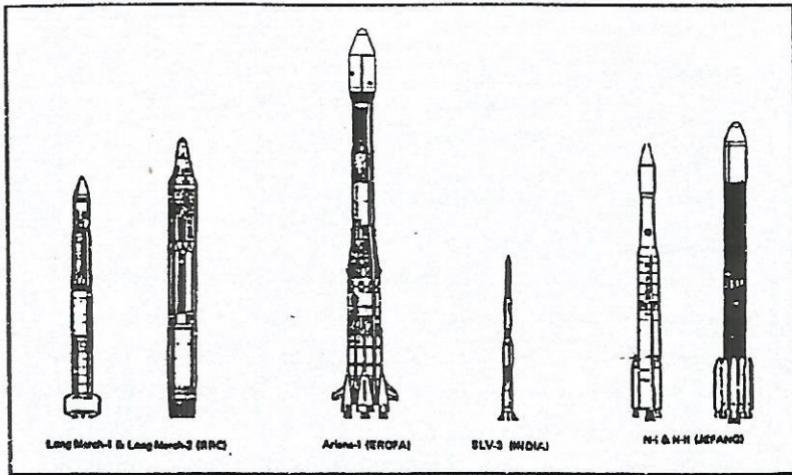
Operasi berikutnya akan menempatkan satelit betul-betul di lokasi yang ditentukan dalam suatu lintasan yang geosynchronous.



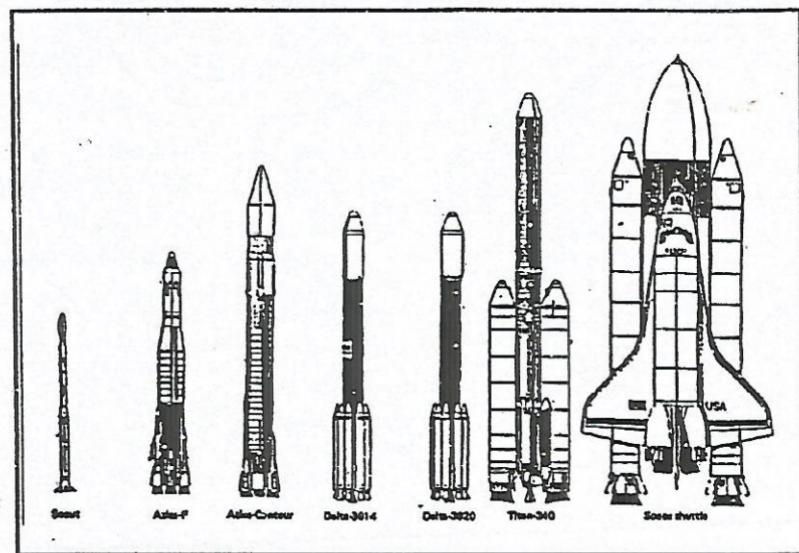
Gambar 2.12  
Penempatan Satelit di Transfer Orbit



Gambar 2.13  
Urutan Peluncuran Satelit:  
(a) Orbit Transfer,  
(b) Transisi dari Orbit Transfer ke Orbit Sinkron



Gambar 2.14  
Beberapa contoh Roket-roket Peluncur yang Konvensional

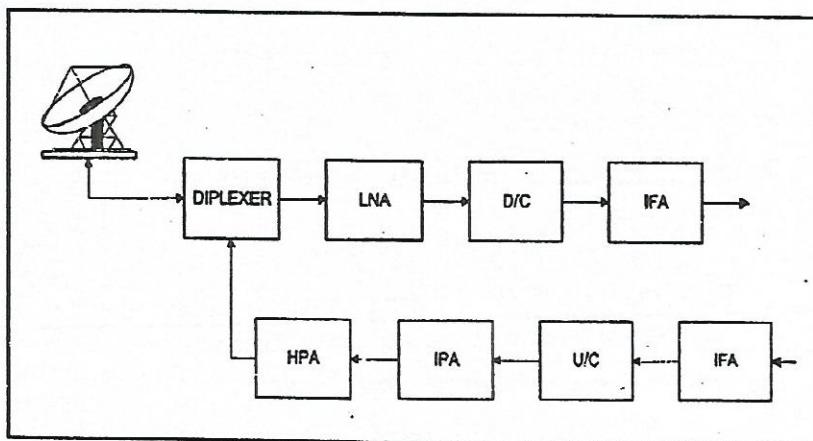


Gambar 2.15  
Jenis-jenis Peluncur kepunyaan Amerika Serikat  
(yang Konvensional dan Pesawat ulang-alik)

## Parameter Stasiun Bumi

Komunikasi antara satelit dan stasiun bumi untuk sistem-sistem satelit yang sudah beroperasi sekarang ini, pada umumnya menggunakan sistem gelombang mikro terrestriai, yaitu menggunakan sistem "garis penglihatan"/LOS (*Line of Sight*).

Pada prinsipnya, rangkaian pemancar dan penerima sebuah Stasiun Bumi mirip sistem gelombang mikro, dengan Diagram Blok seperti dalam gambar 3.1



Gambar 3.1

- Diplexer : Berfungsi sebagai *diplexer* yang menyalurkan sinyal dari/ke Pemancar/Penerima, sehingga cukup digunakan satu antena saja.
- LNA : Penerima derau rendah
- D/C : *Down Converter*, menurunkan frekuensi sinyal dari 4 GHz ke 70 atau 140 MHz
- IF A : Penguat frekuensi antara
- U/C : *Up Converter*, menaikkan frekuensi sinyal dari 70 MHz atau 140 MHz ke 6 GHz
- IPA : *Intermediate Power Amplifier*, penguat antara yang memperkuat sinyal sebelum diperkuat di penguat akhir.  
Unit ini diperlukan, karena letak antena umumnya jauh dari ruangan dimana IPA, IF A, U/C dan D/C dipasang
- HPA : Penguat akhir daya sebelum diteruskan ke antena

Penentuan besarnya sinyal yang diterima oleh suatu pesawat penerima secara garis besar bergantung kepada faktor-faktor berikut:

## 1. PENERIMA

### 1.1 Sensitivitas Penerima

Dalam sistem komunikasi satelit dipakai istilah G/T yang menyatakan:

$$\frac{G}{T} = \frac{\text{Faktor penguat (Gain) antena pada frekuensi penerima}}{\text{Temperatur derau dari sistem penerimaan}}$$

Dimana apabila dinyatakan dalam dB, maka:

$$\frac{G}{T} = G - 10 \log T \text{ (dB/}^{\circ}\text{K)}$$

$$G = 20 \log D + 20 \log f + 7,5$$

↓      ↓      ↓  
dB      (feet)      (GHz)

Dengan memasukkan faktor ini ke rumus daya yang diterima, diperoleh:

$$\frac{C}{T} = \frac{P_T G_T G_R}{L_{FS}} \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{L} = \frac{P_T G_T}{L_{FS}} \cdot \frac{G_R}{T} \cdot \frac{1}{L}$$

$$\frac{C}{T} = P_T G_T - L_{FS} + \frac{G_R}{T} - L \text{ (dBw/}^{\circ}\text{K)}$$

dimana:  $P_T$  = daya keluaran pemancar (dBw)

$G_T, G_R$  = gain atau faktor penguat antena-antena pemancar, penerima

$T$  = Temperatur derau dari sistem penerima (*system noise temperature*)

$L$  = Kehilangan lainnya

Seperti biasa, Nilai  $\frac{C}{T}$  ini penting karena menentukan kualitas penerimaan suatu hubungan radio, yaitu daya yang diterima berapa besar dibanding derau yang ada, yang biasanya dinyatakan dalam perbandingan

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{kTB} \text{ atau "Signal to Noise Ratio"}$$

$$\text{atau } \frac{E_b}{N_0} = \frac{C/R_s}{kT}$$

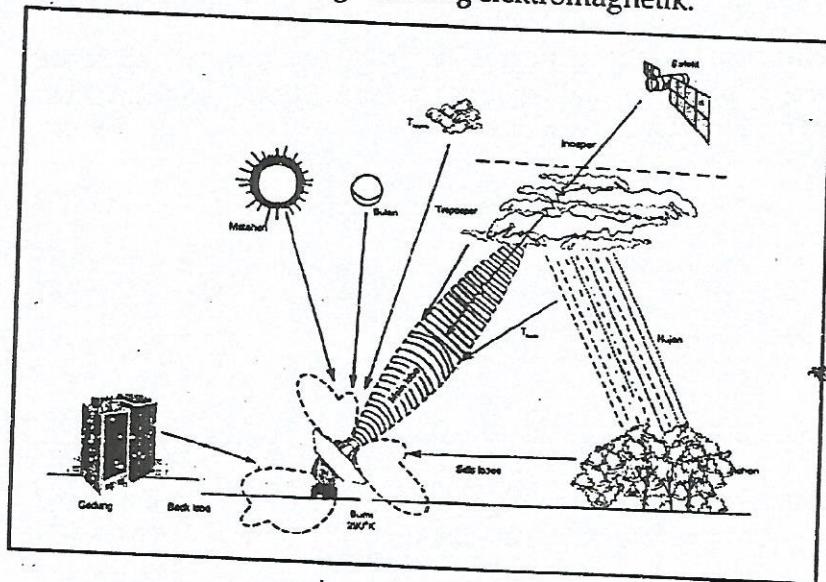
Jadi, terlihat bahwa  $\frac{C}{N}$  ini sangat bergantung kepada  $\frac{G_R}{T}$  antena penerima, sehingga faktor ini digunakan sebagai spesifikasi teknis suatu Stasiun Bumi.

Untuk mencapai  $G/T$  yang diperlukan, ukuran diameter antena dipilih dengan memperhitungan hubungan yang

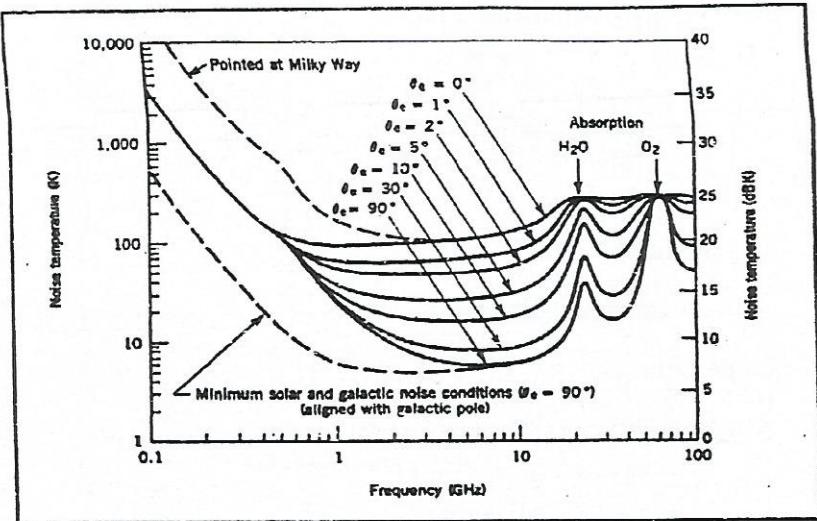
optimal antara besarnya penguatan dan temperatur derau daripada sistem stasiun bumi.

Temperatur derau stasiun bumi berasal dari berbagai sumber derau, seperti:

- i. Derau dari pesawat penerima.
- ii. Derau yang diakibatkan oleh kerugian daya dalam tapis dan peralatan lainnya antara antena dengan pesawat penerima.
- iii. Derau antena yang datangnya dari sumber-sumber derau yang berada di angkasa luar dan atmosfer bumi, seperti:
  - benda-benda angkasa seperti bintang, bulan dan matahari
  - uap air, gas-gas O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> di udara
  - mesin-mesin dan alat-alat listrik yang menimbulkan bunga api dan gelombang elektromagnetik.



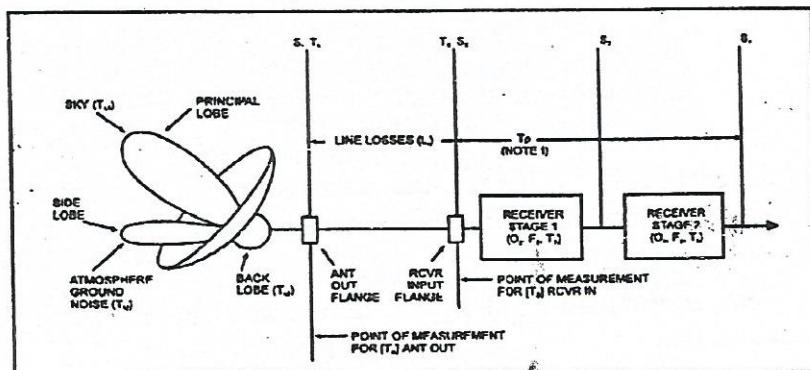
Gambar 3.2  
Sumber derau termal (Thermal Noise) Dalam Stasiun Bumi



**Gambar 3.3**  
Temperatur Derau Antena sebagai fungsi sudut elevasi

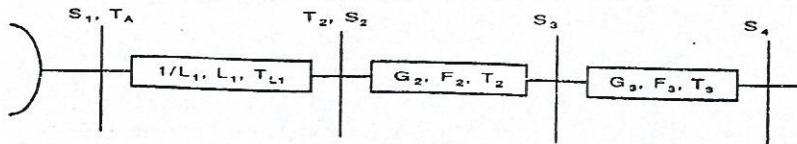
Besarnya Antena Noise Temperatur ini bergantung kepada Sudut dan Frekuensi.

Umumnya, rantai penerimaan yang mempengaruhi temperatur derau sistem adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.4**  
Blok Diagram penerima

Diagram blok sistem di atas adalah:



Saluran transmisi dengan kehilangan  $L_1$  dapat dianggap sebagai penguat dengan faktor penguat  $G = \frac{1}{L_1}$

Sedang angka derau (noise figure) dapat dihitung dari

$$\begin{array}{ccc} K T_{\text{O}} B & \xrightarrow{\quad \frac{1}{L_1} \quad} & \text{Daya masukan (Input)} = K T_{\text{O}} B \\ & & \text{Sedang Daya keluaran (Output)} \\ & & \text{juga } K T_{\text{O}} B, \\ & & \text{tetapi mestinya sama dengan } F. \\ & & \frac{K T_{\text{O}} B}{L_1} \end{array}$$

$$\text{Sehingga: } K T_{\text{O}} B = F. \quad \frac{K T_{\text{O}} B}{L_1} \rightarrow F = L_1$$

$$\begin{aligned} \text{atau temperatur derau ekuivalen: } T_L &= (F - 1) T_{\text{O}} \\ &= (L_1 - 1) T_{\text{O}} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya temperatur derau sistem pada gambar di atas terdiri dari kombinasi dari derau sistem antena dan derau peralatan penerima.

Temperatur derau sistem pada masukan Penguat derau rendah adalah :

$$(T_s) \text{ rcvr in} = \frac{T_A}{L_1} + \frac{L_1 - 1}{L_1} T_{\text{O}} + T_2 + \frac{T_3}{G_2} + \frac{T_4}{G_2 G_3}$$

Dimana: ( $T_s$ ) rcvr in = Temperatur derau sistem penerima yang akan terukur pada jepitan masukan LNA.

$T_A$  = Temperatur derau antena ekivalen, pada jepitan keluaran antena pada posisi dan frekuensi yang ditinjau.

$L_1$  = Kehilangan saluran, yang dinyatakan sebagai bilangan perbandingan daya jepitan keluaran antena dan jepitan masukan penerima.

$$\text{atau } L_1 = \frac{S_1}{S_2}$$

$T_0$  = Temperatur ruang, biasanya ditentukan =  $300^\circ$  K

$T_2$  = Temperatur derau dari tahap pertama sistem penerima,  $T_2$  umumnya dihitung sebagai temperatur derau dari penguat parametriknya. Hubungan  $T_2$  dengan angka derau adalah:  
 $T_2 = (F_2 - 1) T_0$

$T_3$  = Temperatur derau dari tahap kedua (atau tahap-tahap berikutnya) dari sistem penerima dan  
 $T_3 = (F_3 - 1) T_0$

$G_2$  = Faktor penguatan daya tahap pertama dari sistem penerimanya atau;

$$G_2 = \frac{S_3}{S_2}$$

$G_3$  = Faktor penguatan daya tahap kedua (atau tahap-tahap berikutnya) dari sistem penerimanya atau;

$$G_3 = \frac{S_4}{S_3}$$

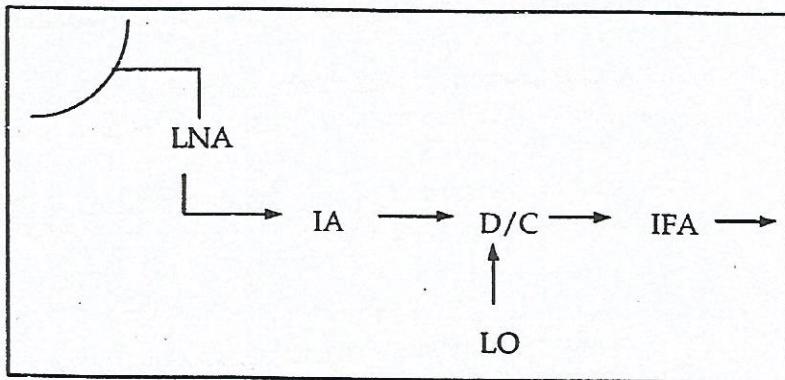
$S_1, S_2, S_3, S_4$  Daya sinyal pada jepitan-jepitan yang bersangkutan seperti pada gambar.

Untuk mendapatkan temperatur derau sistem  $T_s$  yang kecil diusahakan agar penguat pertama ( $T_2$ ) temperatur deraunya cukup kecil dengan menggunakan penguat derau rendah.

Dan untuk mengurangi pengaruh kehilangan antara antena dan receiver ( $L_1$ ), biasanya LNA langsung dipasang di belakang antenanya, sehingga imbuhan derau (noise) oleh saluran transmisi cukup kecil.

Salah satu type penguat derau rendah adalah penguat parametric (*paramp*). Jika diperlukan temperatur yang lebih rendah, parampnya dapat ditaruh dalam bejana yang didinginkan dengan temperatur dibawah  $0^{\circ}\text{C}$ . Namun, sekarang ini paramp yang didinginkan sudah agak jarang digunakan, karena temperatur derau paramp-paramp yang biasa (*non cooled paramp*) sudah cukup rendah ( $25^{\circ}\text{K}$ ) dan mencukupi untuk penggunaan yang biasa.

Dibelakang LNA ini biasanya dipasang mixer yang biasa disebut sebagai *Down Converter* (D/C) dan bagian-bagian lain dari rangkaian Penerima terlihat dari gambar berikut:



Gambar 3.5  
Diagram Blok Rangkaian Penerimaan

- Note:
- LNA = Penguat Derau Rendah (Low Noise Amplifier)
  - IA = Penguat Antara (Intermediate Amplifier)
  - D/C = Pengubah ke Bawah (Down Converter)
  - LO = Oskilator Lokal (Local Oscillator)
  - IFA = Penguat Frekuensi Antara (Intermediate Frequency Amplifier)

Seperti terlihat dari blok diagram stasiun-bumi, bagian-bagian lainnya, prinsip kerja maupun persyaratan-persyaratannya sama dengan yang untuk sistem gelombang mikro terrestrial. Dari perhitungan akan terlihat bahwa efek derau dari bagian-bagian ini tidak begitu berpengaruh lagi terhadap derau sistemnya.

Tahap pertama dari rangkaian penerimaan adalah LNA (*Low Noise Amplifier*).

Faktor terpenting dari sebuah LNA adalah angka derau atau temperatur deraunya yang rendah, sehingga dapat menerima sinyal-sinyal yang sangat lemah. Komponen terpenting dari seluruh LNA adalah sebuah *parametric amplifier*, *field effect transistor* atau *high electron mobility transistor*. Masing-masing komponen ini punya daerah angka derau seperti terlihat dalam tabel 3.1.

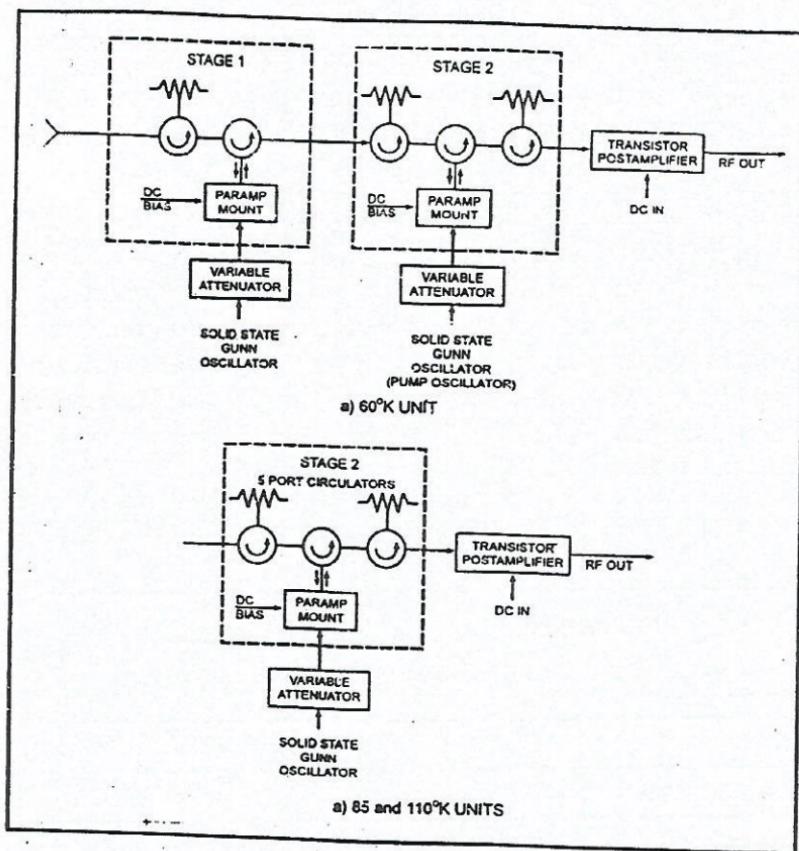
Tabel 3.1  
Tipe Penguat Derau Rendah

Amplifier	Characteristics			GAIN
	6 GHz	14 GHz	30 GHz	
Parametric amplifier	<1.5 dB	2 dB	3 dB	15 dB
Field effect transistor	2 dB	3 dB	5 dB	20 dB
High electron mobility tr	1.8 dB	2.5 dB	-	30 dB

Dalam gambar 3.6, diperlihatkan blok diagram dari sebuah *parametric amplifier*.

Pada prinsipnya, parametric amplifier adalah sebuah dioda yang diberi bias negatif sehingga bekerja seperti sebuah kapasitor. Kepasitas kapasitor ini diubah oleh sinyal masuk, sehingga di output diperoleh tegangan yang lebih besar,

atau ada penguatan. Dan penguatan ini terjadi tanpa ada arus elektron yang mengalir melalui diodanya sehingga imbuhan derau dari aliran elektron-elektron hampir tidak ada.



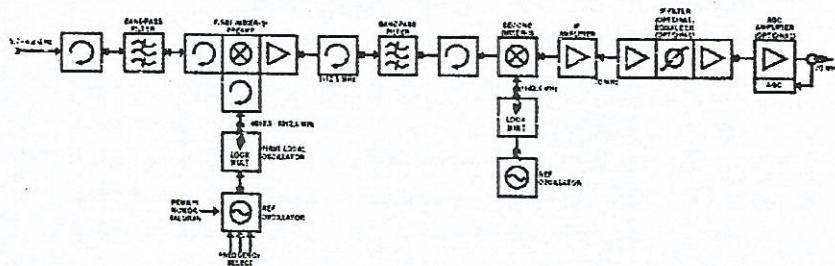
Gambar 3.6  
Diagram Blok suatu Parametric Amplifier

LNA akan memperkuat sinyal penerimaan dengan frekuensi 3700 - 4200 MHz dengan imbuhan derau yang rendah. Umumnya, LNA mempunyai faktor penguatan antara 40 sampai dengan 60 dB dengan temperatur derau sistem antara 50°K dan 100°K.

Dari keluaran LNA, sinyal akan diturunkan frekuensinya ke tingkat menengah (IF) oleh D/C.

Secara keseluruhan proses penurunan frekuensi adalah seperti terlihat dalam gambar 3.7, yang merupakan rangkaian dengan "dual conversion".

Setelah melalui LNA, sinyal dengan frekuensi 4 GHz diturunkan frekuensinya ke 70 MHz dirangkaian Down Converter (D/C). D/C ini juga bisa merupakan *dual-conversion system*. Pada tahap pertama diturunkan ke frekuensi 1000 MHz (yang untuk stasiun-stasiun kecil dilaksanakan di ODU), baru kemudian diturunkan ke 70 MHz.



Gambar 3.7  
Diagram Blok D/C dengan Sistem Dual Conversion

Pada tahap konversi yang pertama, sinyal yang datang dicampur dengan LO dengan frekuensi yang misalnya dapat bergerak antara 4812,5 MHz sampai dengan 5312,5 MHz untuk menghasilkan frekuensi antara yang pertama sebesar  $f_1 = 1112,5$  MHz yang sama untuk semua saluran.

Jadi, pemilihan frekuensi penerimaan yang tepat dilaksanakan pada konversi yang pertama, sehingga konversi yang kedua hanya terjadi pada 1 frekuensi yang tepat. Terlihat bahwa pada prinsipnya rangkaian sama dengan penerima gelombang mikro dengan LO, Band Pass Filter (BPF) dan Circulator. Ini semua untuk menjaga kestabilan operasi dan

frekuensi-frekuensi liar (*spurious frequency*) paling tidak 50 dB dibawah frekuensi yang dikehendaki.

Untuk VSAT, umumnya rangkaian penerimaan dan pemancaran ini dapat lebih disederhanakan lagi terutama dalam tahap konversi keduanya baik untuk penerimaan maupun pemancaran. Dalam bab berikut akan dijelaskan contoh rangkaian pengiriman dan penerimaan suatu sistem VSAT.

## 2. ANTENA

Banyak sekali macam/tipe antena gelombang mikro yang dapat digunakan untuk stasiun bumi, besarnya penguatan (*gain*) dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan:

$$G = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

dimana :  $G$  = Faktor penguat antena  
 $D$  = Diameter antena (m)  
 $\lambda$  = Panjang gelombang sinyal (m)  
 $\eta$  = Effisiensi dari antena yang bergantung kepada ketelitian bentuk permukaan dan kekarasan permukaan reflektor antena (harganya biasanya berkisar antara 0,54 dan 0,65)

Sebagai contoh dari besarnya penguatan tersebut, untuk stasiun-stasiun bumi yang beroperasi dengan satelit PALAPA A1, diperlukan daya antena sebesar 50,7 dB untuk 4 GHz (penerima) dan 53,1 (pemancar), dengan diameter dari antena 10 m.

Pada stasiun-stasiun bumi yang mempunyai G/T yang tinggi, selain antena yang besar diometernya, juga pesawat penerima harus didinginkan untuk memperoleh G/T yang lebih besar dari 40,7 dB/K, misalnya untuk stasiun-stasiun bumi INTELSAT seperti stasiun bumi Jatiluhur.

Karena G/T untuk stasiun-stasiun bumi SKSD dari PT TELEKOMUNIKASI hanya 29,0 dB/K, dipilih antena dengan diameter 10 m, sedang pesawat penerima mempunyai temperatur derau 55K tanpa menggunakan pendinginan khusus.

Untuk stasiun bumi kecil seperti VSAT, G/T ini bisa lebih kecil lagi yaitu sekitar 18 dB, tetapi dengan konsekuensi bahwa stasiun-stasiun hanya dapat beroperasi untuk lebar pita frekuensi yang terbatas.

Dalam menentukan besarnya diameter antena dari stasiun bumi, selain faktor G/T, ada hal lain yang perlu diperhatikan yaitu:

A. Side lobe

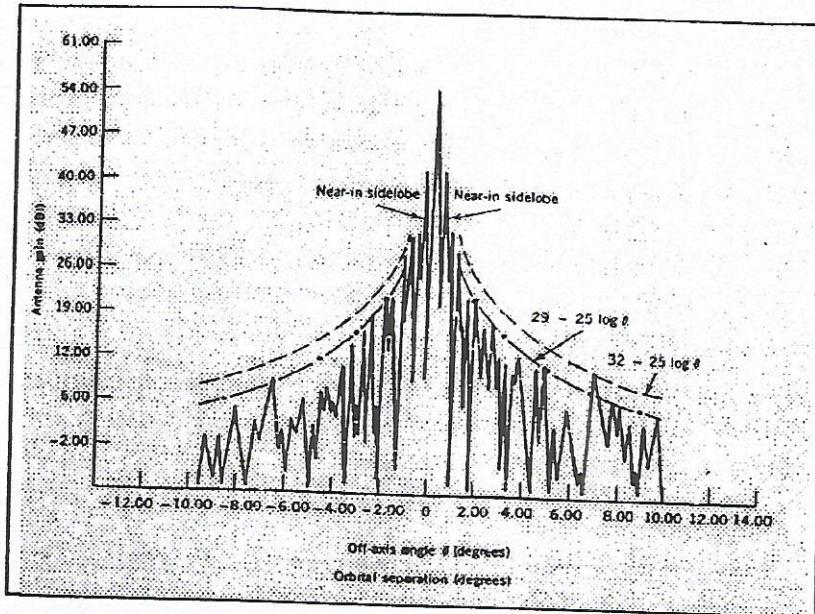
Makin kecil antena, makin besar side lobe dari antena tersebut. *Side Lobe* ini penting sekali untuk memperhitungkan pengaruh dari/ke gelombang mikro lainnya baik terrestrial maupun satelit, tambahan derau dari bumi yang panas serta badan-badan angkasa lainnya.

B. Lebar dari berkas antena

Makin kecil antenanya, makin besar/lebar berkas antenanya. Secara pendekatan, lebar berkas suatu antena adalah  $\theta_{3dB} = 70 \frac{\lambda}{D}$  (°)

dimana,  $\theta_{3dB}$  = lebar sudut yang membatasi berkas-3 dB relatif.

Untuk side lobe ini, CCIR mengeluarkan rekomendasinya, yang membatasi tingkat *side lobe* dibanding main lobenya, seperti terlihat pada gambar 3.8.



**Gambar 3.8**  
Antenna Pattern suatu Antena Stasiun

Beberapa bentuk dasar antena yang memenuhi syarat-syarat untuk dipakai di stasiun bumi antara lain:

## 2.1 Antena Paraboloid (focal feed)

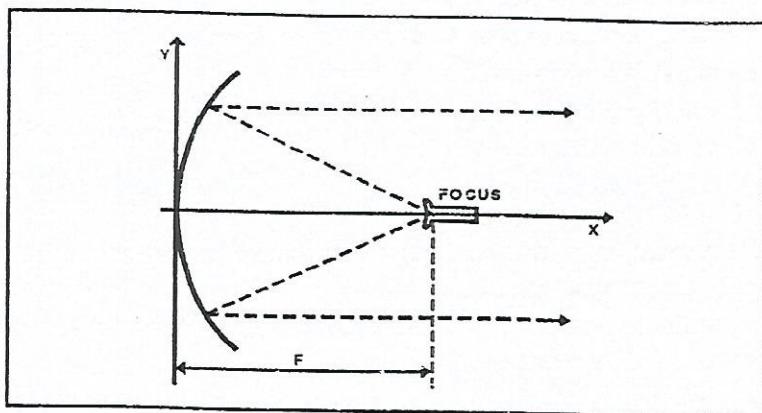
Pemancaran gelombang radio ke ruang bebas dimulai pada titik fokus reflektor antena.

*Kelemahan-kelemahan:*

- \* Mempunyai "System Noise" yang relatif tinggi terutama pada sudut elevasi yang tinggi, karena pancaran dari "side lobe" primary feednya menuju bumi yang "panas".
- \* Transmission line antara penerima dan antena menjadi panjang, sehingga kehilangan yang diakibatkannya besar.

Kelebihannya:

- Bentuk sangat sederhana. Karena sifatnya ini, tepat dipakai untuk stasiun bumi yang transportable dengan G/T yang kecil.



Gambar 3.9  
Skema antena paraboloid

## 2.2 Cassegrain Antena

Untuk mengatasi kekurangan-kekurangan dari paraboloid antena, dipakai sistem dengan dua reflektor yang disebut *Cassegrain antena* (menurut nama William Cassegrain, yang pada tahun 1672 menggunakan konsep dua reflektor untuk teleskop).

Disini ada 2 reflektor yaitu reflektor utama (*Main Reflector*) yang berbentuk parabola dan reflektor kedua (*Sub Reflector*) yang berbentuk hyperbola (lihat gambar 3.10).

Pemancar (*feed horn*), ditaruh dititik fokus-1 hyperbola sehingga pancaran dari feed akan terpantul dari fokus-2 hyperbola yang juga merupakan titik Focus-utama dari parabolanya. Sehingga sinar-sinar/pancaran gelombang yang mengenai parabola, seolah-olah datang dari titik focusnya, yang akan terpantul paralel/sejajar.

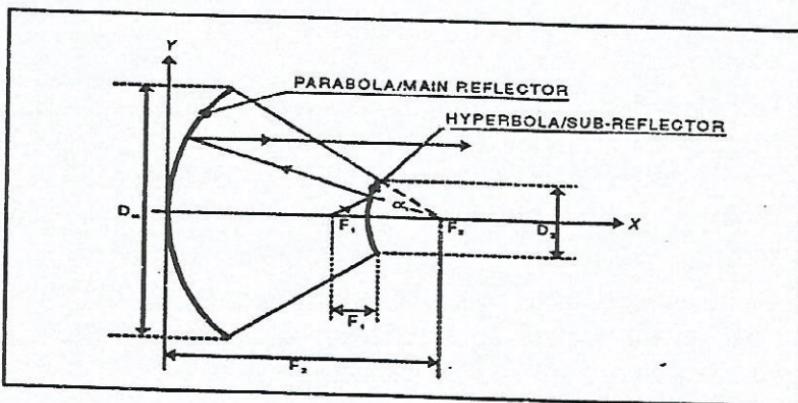
*Keuntungan dari type ini antara lain:*

- 1) Mempunyai imbuhan derau dari "Side Lobe" yang relatif lebih kecil, karena pancaran dari *side lobe primary feed*-nya menuju angkasa yang dingin.
- 2) Panjang "Bumbung gelombang" untuk feed lebih pendek.
- 3) Flexible dalam design "feed"-nya.
- 4) "Feed System" secara mekanis lebih stabil sehingga pengarahan antena lebih tepat.

*Kelemahan:*

- 1) Pemancar terhalang oleh sub-reflektor dan bagian-bagian penyangganya.
- 2) Karena sub-reflektor dimensinya kecil, "feed system" harus lebih terarah.

Antena jenis ini tepat untuk digunakan pada stasiun bumi yang permanen, yang kebanyakan mempunyai G/T yang besar.



Gambar 3. 10  
Skema Cassegrain Antena

$D_m$  = Diameter antena

$F_2$  = Titik api reflektor parabola

$F_1$  = Letak/ujung feed dan titik api hyperbola juga pada satu titik  $F_1$

## 2.3 Horn Reflektor

Pada dasarnya, antena ini adalah offset reflektor parabola dengan "horn feed". Ujung feed berimpitan dengan titik api reflektor parabola.

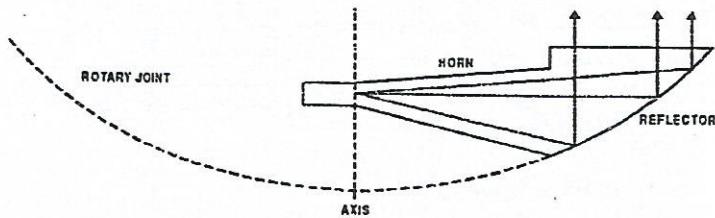
*Keuntungan:*

"Side Lobe"-nya relatif kecil sekali, jika dibandingkan dengan reflektor parabola.

*Kelemahan:*

Konstruksinya berat dan kompleks, tetapi dalam kemajuan teknologi akhir-akhir ini beberapa perusahaan mengintroduksir konstruksi yang ringan, misalnya dibuat dari fiberglass.

Sistem ini baik untuk stasiun bumi yang mobil, atau digunakan di daerah-daerah yang ada interferensi yang kuat dari jaringan gelombang mikro terrestrial.



Gambar 3.11  
Skema dari Horn reflektor

## 2.4 Type reflektor bentuk khusus

Untuk mengurangi *blockage* oleh *primary feed* dan meninggikan efisiensi, dibuat feed yang di offset kesamping tetapi bentuk reflektor disesuaikan tidak lagi betul-betul parabola, agar "sinar" dari feed tetap terpantul dari reflektor secara parallel. Dengan cara ini efisiensi dapat ditingkatkan sampai 65%.

## 2.5 Antena Yagi

Untuk sistem penerimaan sinyal APT dari satelit cuaca digunakan antena Yagi karena menggunakan frekuensi VHF (136 - 137.5 MHz). Antena Helical sering juga dipakai.

## 2.6 Sistem penjejakan (tracking)

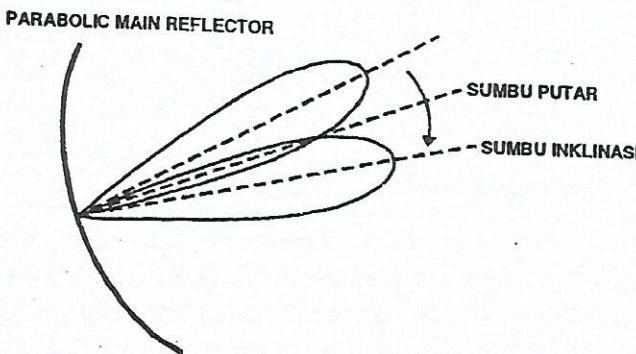
Penjejakan adalah pengarahan antena stasiun bumi agar selalu dapat mengikuti posisi dari suatu satelit.

Khusus untuk stasiun bumi, digunakan penjejakan pasif dimana pemancar beacon dari satelit dipakai sebagai sumber penjejakan.

Ada beberapa cara penjejakan yang digunakan untuk stasiun bumi, diantaranya sistem *conical scanning* dan sistem *monopulse*.

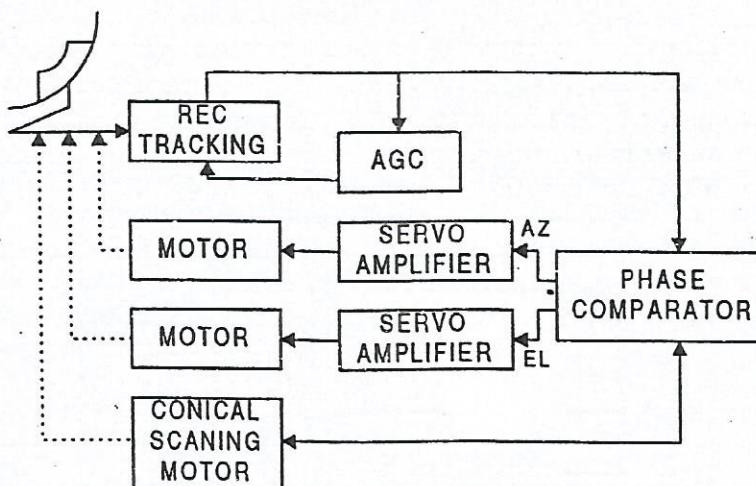
### a) Conical Scanning

Dalam cara ini penjejakan dilakukan dengan jalan memutar sumbu dari berkas antena terhadap sumbu putar. Sumbu dari antena berkas membentuk sudut inklinasi terhadap sumbu putaran. Dengan demikian, akan didapat bentuk seperti terlihat dalam gambar berikut.



Gambar 3.12  
Antena dengan Conical Beam

Bilamana beacon dari satelit tidak terletak pada sumbu putar, maka besar dari sinyal yang diterima antena untuk setiap saat tidak sama. Sinyal yang diterima menunjukkan amplitudo modulasi, dimana kecepatan dari gelombang pemodulasi akan sama dengan kecepatan berkas antena mengelilingi sumbu putar. Kemudian amplitudo pemodulasi ini dideteksi oleh penerima *tracking receiver* yang akan menghasilkan *tegangan ripple*. Gambar berikut menunjukkan blok diagram dari sistem penjejakan ini.



Gambar 3.13  
Conical Scanning

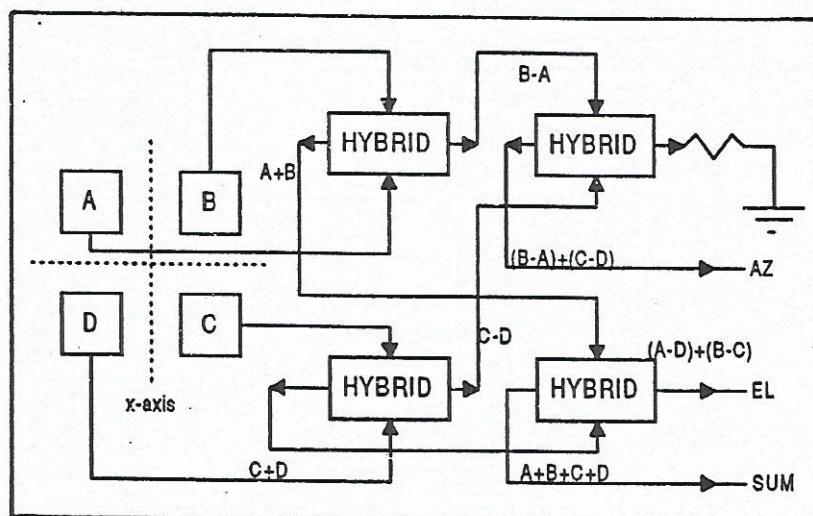
Pada *phase comparator ripple* ini dibandingkan dengan AZ (Azimuth) dan El (Elevation) reference frequency. Keluaran yang dihasilkan akan merupakan sinyal pengontrol dari servo sistem yang akan menggerakkan sumbu putar ke arah dimana satelit berada. Dalam kenyataannya, untuk memutar berkas antena bukan main reflector yang digerakkan, tetapi subreflector yang diputar dengan kecepatan kira-kira 9 putaran/detik.

Sumbu dari subreflector membentuk sudut terhadap sumbu main reflektor sebesar 38.5 menit dan ini akan menghasilkan berkas inklinasi sebesar 0.50°.

### b) Sistem Monopulse

Untuk menggantikan berkas yang berputar pada *conical scanning* digunakan cara lain yaitu dengan sistem monopulse. Sistem monopulse ini menggunakan empat buah horn (A, B, C dan D).

Setiap horn mempunyai ukuran geometri yang berbeda. Secara serentak keempat horn tersebut akan menerima sinyal beacon satelit yang sama besarnya, tetapi masing-masing horn akan menerima sinyal yang mempunyai phase yang berbeda. Prinsip kerjanya seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.14  
Antena Feed dan Hybrid Comparator

Masing-masing sinyal akan dikombinasikan dalam suatu *Hybrid Comparator* dimana keluaran dari komparator akan merupakan selisih atau jumlah sinyal-sinyal tersebut yang juga merupakan perbedaan Azimuth AZ dan Elevasi EL (*pointing error*), dan ini akan mengontrol servo sistem yang akan menggerakkan azimuth dan elevation motor sedemikian rupa sehingga mengurangi *pointing error* tersebut.

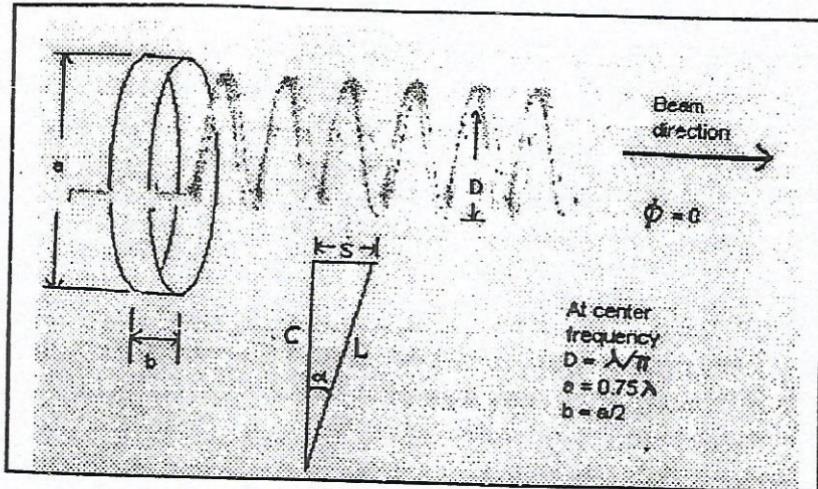
c) *Step Tracking*

Khususnya untuk menjajakkan satelit geostationer dimana kedudukan satelit tidak banyak berubah, karena perubahan azimuth atau elevasi tidak besar, penjejakan dapat dilakukan dengan gerakan antena yang terbatas yang disebut *step tracking*.

Bila kedudukan satelit sangat stabil, seperti misalnya satelit PALAPA; dan berkas antena stasiun bumi cukup besar, sistem penjejakan otomatis tidak diperlukan. Pengarahan antena stasiun bumi ke satelit hanya diarahkan secara manual/motor hanya pada waktu permulaan.

## 2.7 Antena Helix

Antena helix dapat berbentuk *uniform*, *tapered*, *variabel pitch*, *envelop* dan lain sebagainya. Adapun model helix ada yang digunakan sebagai saluran transmisi (*mode transmisi*) dan ada yang berfungsi sebagai antena (*mode radiasi*). Untuk dimensi helix dapat terlihat pada gambar di bawah ini:



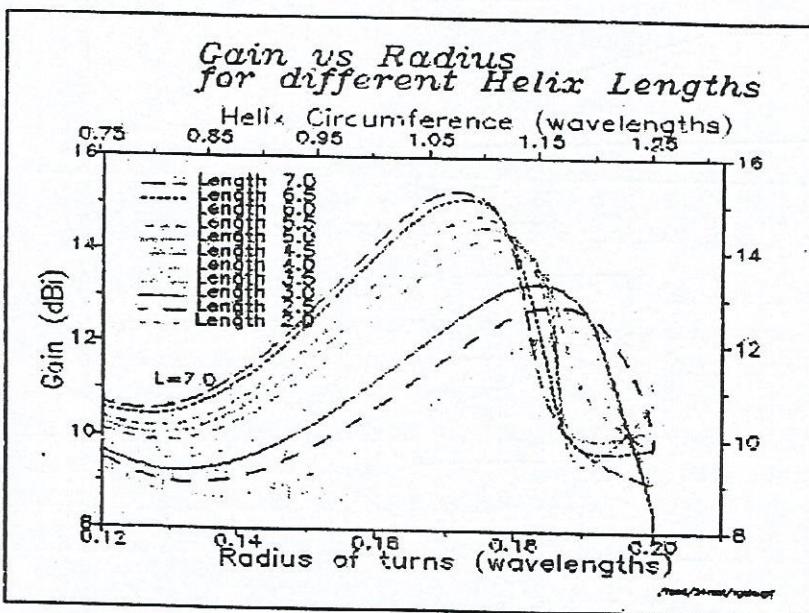
**Gambar 3.15**  
 Axial-mode jenis cupped ground plane

Dimana:  $D$  = diameter helix (center to center)  
 $C$  = Circumference of helix =  $\pi D$   
 $S$  = Spacing between turn  
 $\alpha$  = pitch angle =  $\arctan S/\pi D$   
 $L$  = length of 1 turn  
 $n$  = number of turn  
 $A$  = axis length =  $nS$

Penggunaan Helix ini sering dilakukan dengan cara disusun dalam suatu *array*, hal ini dilakukan untuk menaikkan *gain antena*. Adapun yang menjadi syarat untuk *mode axial* diantaranya adalah:

- Circumference in free wavelengths ( $0.75 < C_\lambda < 1,33$ ).
- Pitch angle ( $12^\circ < \alpha < 18^\circ$ ).
- Number of turn helix.

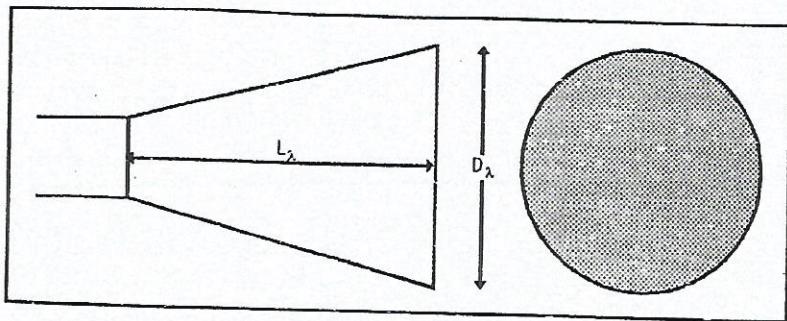
Pada gambar 3.16 di bawah terlihat hubungan antara gain dengan radius pada panjang helix yang berbeda-beda. Terlihat bahwa dalam seluruh panjang helix gain maximum diperoleh jika circumference  $\approx \lambda$ .



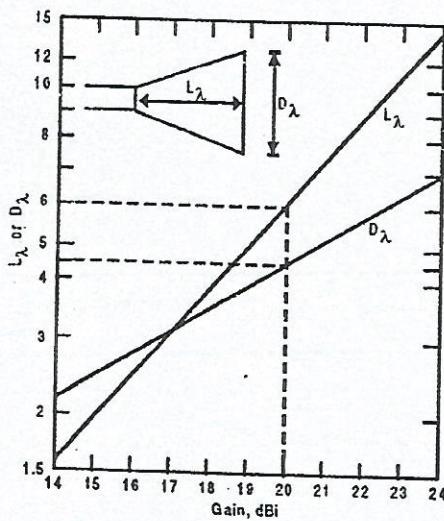
Gambar 3.16  
Hubungan gain dengan radius pada antena Helix  
untuk beberapa panjang antena [10]

## 2.8 Antena Conical Horn

Antena horn dapat dibagi dua, yaitu *rectangular horn* dan *circular horn*. Circular horn terdiri dari exponentially tapered, conical, TEM biconical, TE01 biconical. Bentuk geometri dan perbandingan antara diameter antena dengan besarnya gain dari antena conical horn dapat dilihat pada gambar 3.17 dan tabel 3.2 di bawah ini:



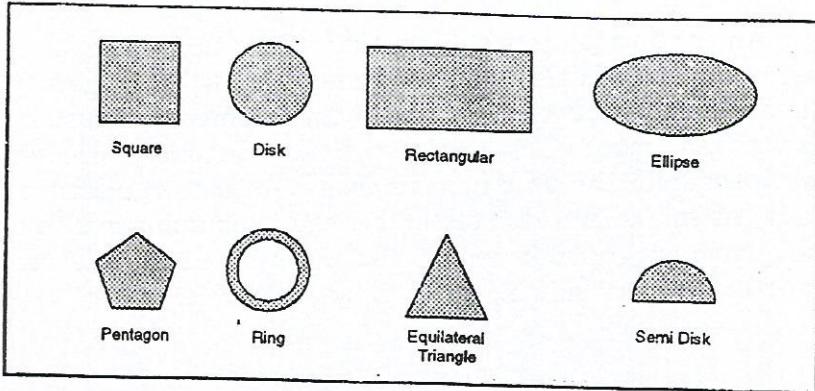
Gambar 3.17  
Geometri antena conical horn



Tabel 3.2  
Perbandingan diameter antena dengan gain

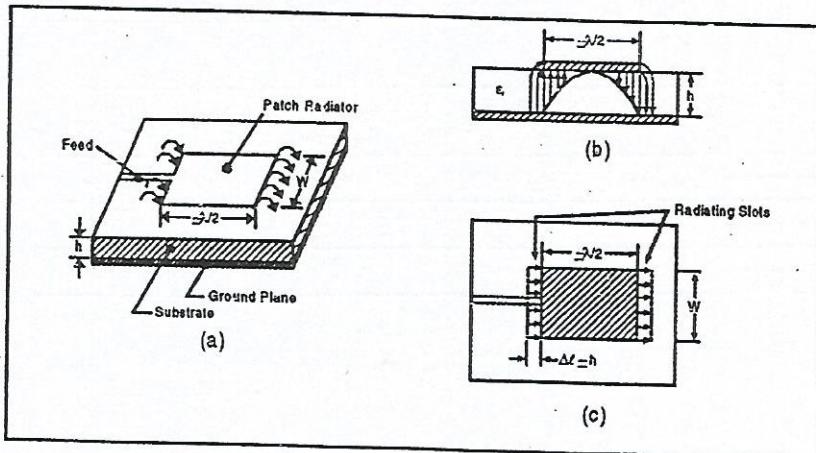
## 2.9 Antena Microstrip Ring

Antena microstrip dapat berbentuk square, disk, rectangular, ellipse, pentagon, ring, equilateral triangle, dan semi disk, seperti terlihat pada gambar 3.18.



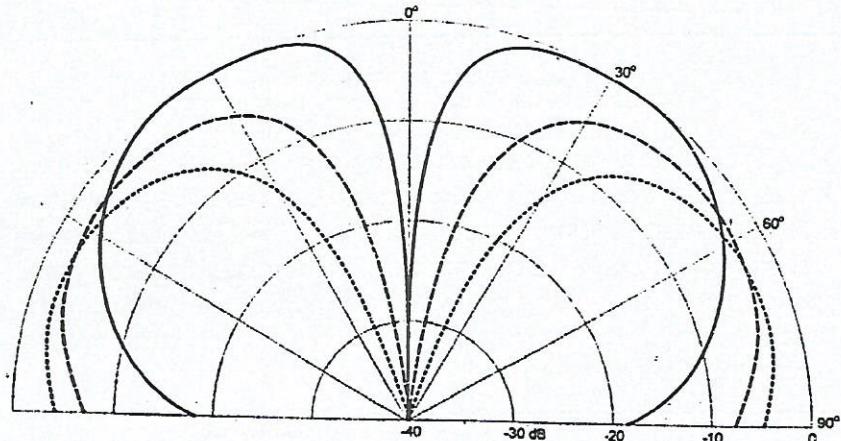
Gambar 3.18  
Macam-macam bentuk antena microstrip

Radiasi dari antena microstrip dapat dimengerti dengan kasus mudah pada antena microstrip rectangular pada gambar 3.19(a), dengan menganggap tidak ada variasi dari medan elektrik. Konfigurasi dari radiator dapat diperlihatkan pada gambar 3.19(b), sehingga radiation pattern dibentuk oleh medan yang dipinggir antara ujung konduktor antena microstrip dan ground plane (gambar 3.19(c)).



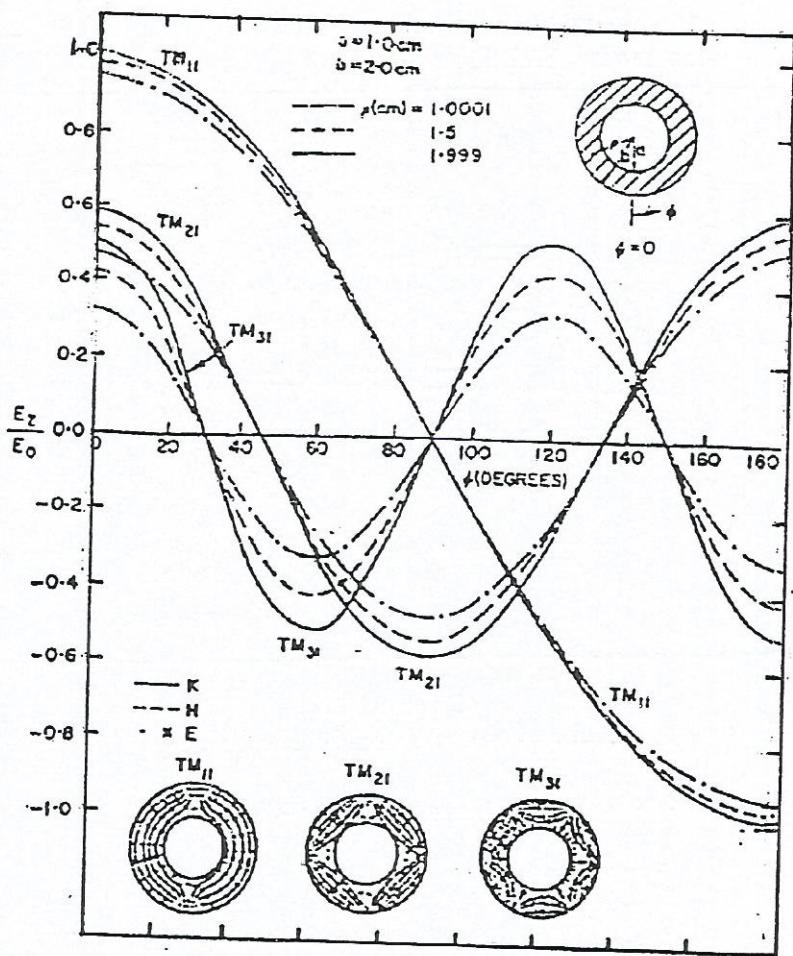
Gambar 3.19  
Prinsip dasar pembentukan medan pada antena Microstrip

Antena microstrip ring merupakan salah satu bentuk yang sering digunakan dalam aplikasi komunikasi satelit bergerak. Fundamental mode elektromagnetik pada antena microstrip merupakan mode  $TM_{nm}$ . Mode elektromagnetik tersebut mempengaruhi bentuk dari *radiation pattern antena*, biasanya pada sistem komunikasi satelit bergerak dibutuhkan mode yang lebih tinggi untuk meningkatkan gain pada sudut elevasi yang kecil, seperti terlihat pada gambar 3.20 dan 3.21.



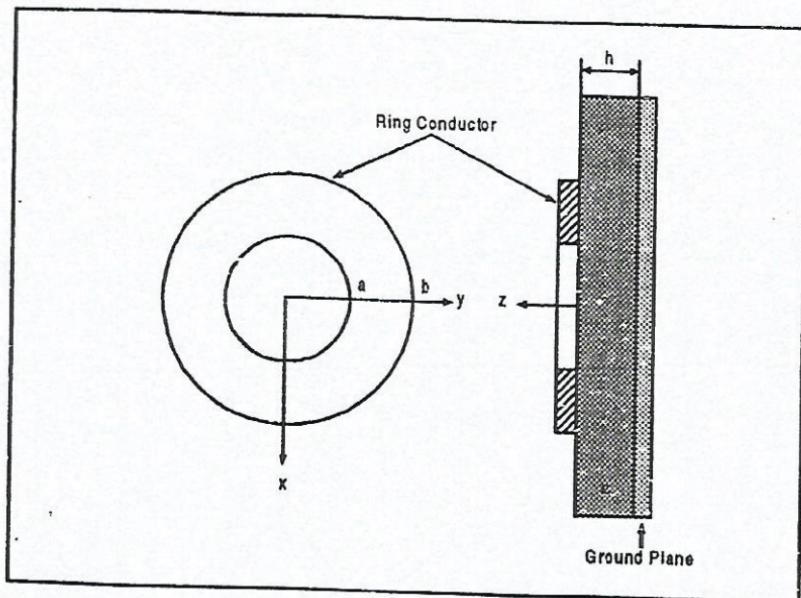
	MODE	RELATIVE DIELECTRIC CONSTANT	PEAK DIRECTIVITY	PEAK DIRECTION FROM ZENITH	RADIATOR DIAMETER
—	TM <sub>21</sub>	1.25	6.9 dBi	35°	0.91 $\lambda$
- - -	TM <sub>31</sub>	2.2	4.6	54°	0.93
-----	TM <sub>41</sub>	4.2	4.0	69°	0.83

Gambar 3.20  
Radiation pattern antena microstrip ring



Gambar 3.21  
Medan elektromagnetik antena microstrip ring

Bentuk geometri dari antena microstrip ring dapat kita lihat pada gambar 3.22 di bawah ini.



Gambar 3.22  
Bentuk geometri antena microstrip ring

Perhitungan frekuensi resonan adalah sebagai berikut:

$$f_r = \frac{ck}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}}$$

dimana :

$f_r$  = Frekuensi resonan

$ck$  = Kecepatan cahaya

$\epsilon_r$  = Konstanta dielektrik

Lebar radius efektif microstriks ring adalah  $W = b - a$ , dimana:

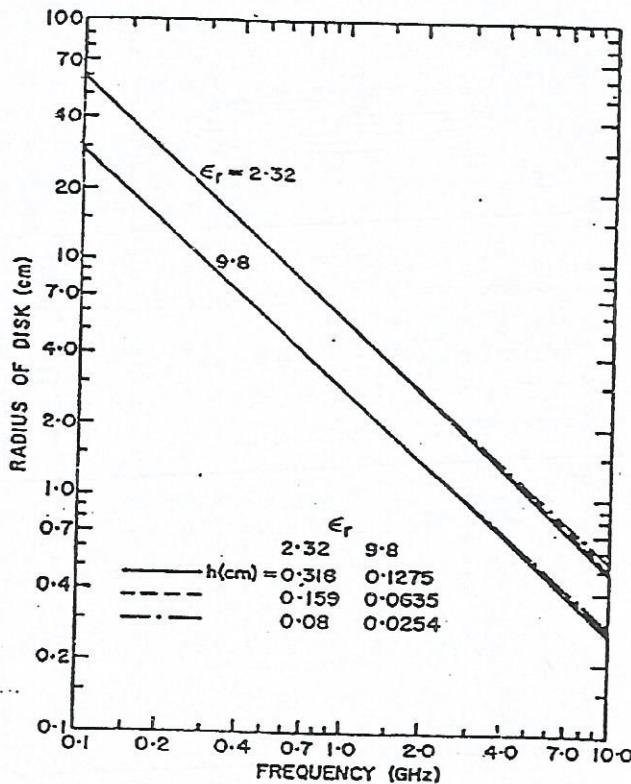
$$b = \frac{K}{\left[ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r K} \left\{ \ln \left( \frac{\pi K}{2h} \right) + 1.7726 \right\} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

dimana :

$$K = \frac{8.794}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}; \quad f_r \text{ dalam GHz.}$$

Dengan syarat  $\frac{a-b}{a+b} \leq 0,35$

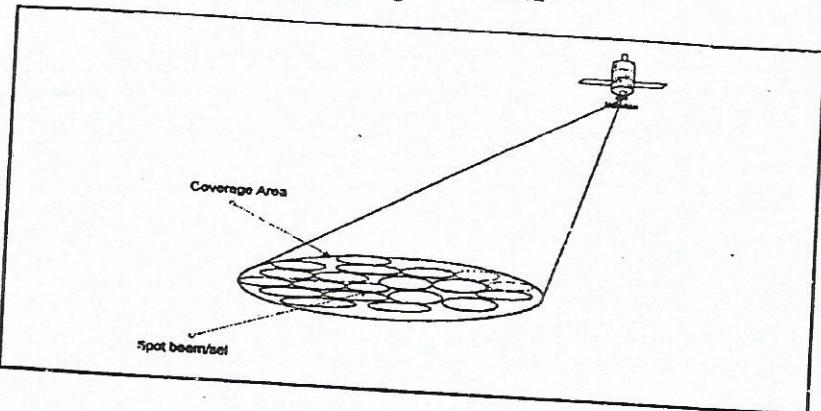
Rumus-rumus di atas dapat dirangkumkan menjadi suatu diagram perhitungan efektif radius yang dipakai. Di bawah ini diperlihatkan diagram efektif radius dari antena microstrip.



Gambar 3.23  
Efektif radius dari antena microstrip ring

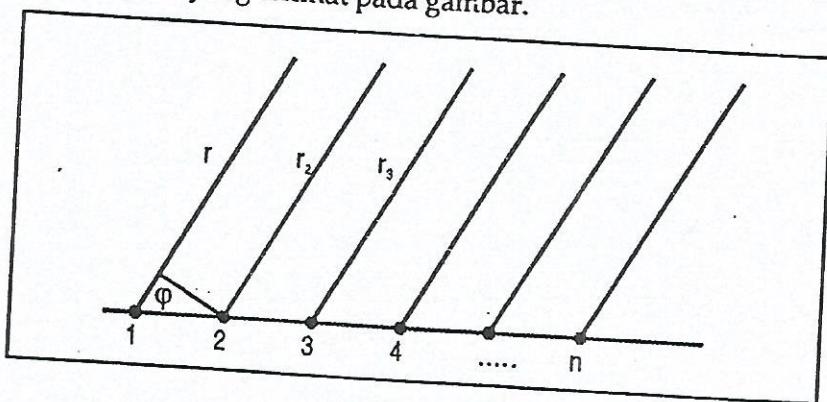
## 2.10 Prinsip Pembentukan Multibeam Antena

Sistem komunikasi satelit bergerak mempunyai beberapa persamaan dengan sistem selular yang ada sekarang ini. Daerah jangkauan (*coverage area*) terdiri dari beberapa *spot beam* atau sel, seperti terlihat pada gambar 3.24



Gambar 3.24  
Daerah jangkauan dan spot beam/sel

Pada prinsipnya, pembentukan antena berarah dapat diperoleh dengan menyusun beberapa antena dalam suatu array seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 3.25  
Susunan n array

Jika tiap-tiap pancaran antena dapat dituliskan:

$$E = E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c}) + j\alpha}$$

dimana,  $r$  = jarak ke sasaran

$j$  = jarak antar dua antena berturutan

$\alpha$  = beda fasa antar dua antena yang berturutan

maka medan total dalam arah  $r$  adalah :

$$\begin{aligned} E &= E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \\ &= E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})} + E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r_2}{c}) + j\alpha} + \dots \\ &\quad + E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r_n}{c}) + j(n-1)\alpha} \\ &= \dots \end{aligned}$$

$$E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})} + E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c}) + \frac{j\omega d \cos \phi}{c} + j\alpha} + \dots + E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c}) + \frac{j\omega(n-1)d \cos \phi}{c} + j(n-1)\alpha}$$

$$E_T = E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})} [1 + \epsilon^{j\psi} + \epsilon^{j2\psi} + \dots + \epsilon^{j(n-1)\psi}]$$

$$\epsilon^{j\psi} E_T = E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})} [\epsilon^{j\psi} + \epsilon^{j2\psi} + \epsilon^{j3\psi} + \dots + \epsilon^{jn\psi}]$$

$$(1 - \epsilon^{jn\psi}) E_T = E_0 [1 - \epsilon^{jn\psi}] \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})}$$

$$E_T = E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})} \frac{1 - \epsilon^{jn\psi}}{1 - \epsilon^{j\psi}} = E_0 \epsilon^{j\omega(t - \frac{r}{c})} \frac{\epsilon^{\frac{j^n}{2}\psi} \sin n \frac{\psi}{2}}{\epsilon^{\frac{j\psi}{2}} \sin \frac{\psi}{2}}$$

$$\text{dimana : } \psi = \frac{\omega d \cos \phi}{c} + \alpha$$

$$\text{amplitudo} \rightarrow \frac{E_T}{E_0} \approx \frac{\sin \frac{n\psi}{2}}{\sin \frac{\psi}{2}}$$

amplitudo maksimum untuk  $\frac{d}{dy} \left[ \frac{\sin \frac{n\psi}{2}}{\sin \frac{\psi}{2}} \right] = 0$

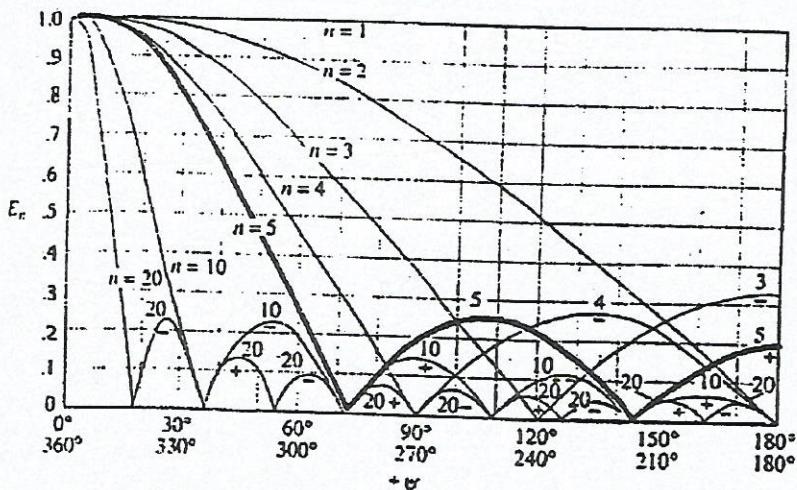
Amplitudo maksimum tercapai untuk :

$$\cos \frac{n\psi}{2} = (2m+1) \frac{\pi}{2}$$

sedangkan amplitudo minimum untuk :

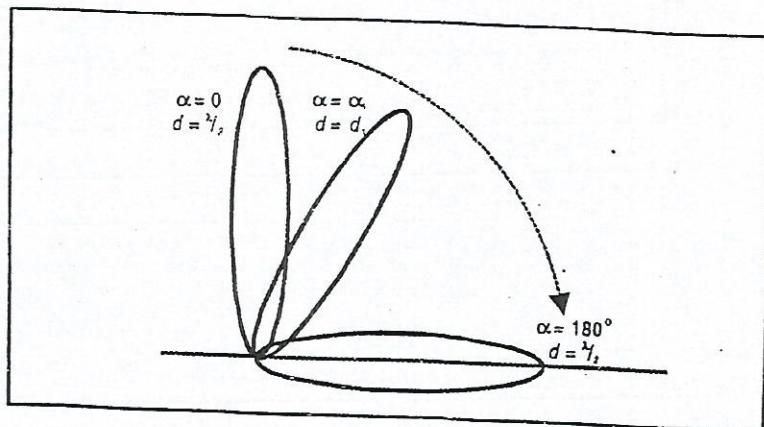
$$\sin \frac{n\psi}{2} = m\pi \quad (m = 1, 2, \dots)$$

Radiation pattern array dengan berbagai harga  $n$ , sebagai fungsi  $\psi$  diperlihatkan dalam gambar 3.26.



Gambar 3.26  
Radiation pattern

Jadi, dengan mengatur  $d$  dan/atau  $\alpha$  dapat diperoleh arah maksimum ke arah  $\varphi$  tertentu seperti terlihat pada gambar.



Gambar 3.27

Arah pancaran maksimum untuk beberapa harga  $\alpha$ .

Dalam susunan yang lebih lengkap tentunya diinginkan penceran dalam ruang menuju satu spot beam dengan arah  $\theta_0$ , dan  $\phi_0$ , tetapi terlihat adanya hubungan, untuk antena-2:

$$\Delta r = y_0 \cos \beta$$

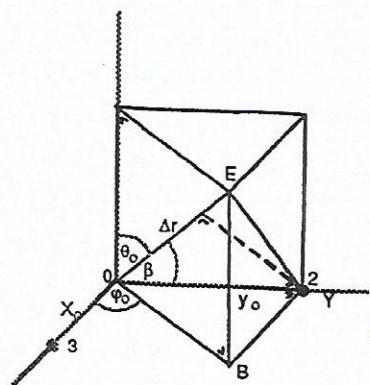
Tetapi secara umum berlaku:

$$\cos \beta = \frac{y_o}{OE} = \frac{y_o}{OB} \cdot \frac{OB}{OE}$$

$$= \sin\varphi_o \cdot \sin\theta_o \rightarrow \Delta r_2 = y_o \sin\theta_o \sin\varphi_o$$

Dengan jalan sama untuk  
antena-3 :

$$\rightarrow \Delta r_3 = x_o \sin\theta_o \cos\phi_o$$



Sehingga untuk suatu *antenna-array* dengan susunan n buah dalam arah x dan m buah dalam arah sumbu y atau n x m antena, jika diinginkan arah maksimum dalam arah  $(\theta_0, \phi_0)$  maka akan diperoleh untuk medan total  $E_T$ :

$$E_T \sim \frac{\sin \frac{n}{2} \left[ \frac{\omega x_0 \sin \theta_0 \cos \phi_0}{c} + \alpha \right]}{\sin \left( \frac{\omega x_0 \sin \theta_0 \cos \phi_0 + \alpha}{2c} \right)} \times \frac{\sin \frac{m}{2} \left[ \frac{\omega y_0 \sin \theta_0 \sin \phi_0}{c} + \beta \right]}{\sin \left( \frac{\omega y_0 \sin \theta_0 \sin \phi_0 + \beta}{2c} \right)}$$

$$\sim \frac{\sin \frac{n}{2} \left[ 2\pi \frac{x_0}{\lambda} \sin \theta_0 \cos \phi_0 + \alpha \right]}{\sin \left( \pi \frac{x_0}{\lambda} \sin \theta_0 \cos \phi_0 + \frac{\alpha}{2} \right)} \times \frac{\sin \frac{m}{2} \left[ 2\pi \frac{y_0}{\lambda} \sin \theta_0 \sin \phi_0 + \beta \right]}{\sin \left( \pi \frac{y_0}{\lambda} \sin \theta_0 \sin \phi_0 + \frac{\beta}{2} \right)}$$

Dengan membagi antena dalam beberapa ring, maka diperoleh  $x_0 = y_0 = r_0$ , serta tiap ring dapat diatur untuk  $\theta_0$  yang tertentu. Sehingga tiap spot beam dalam satu ring yang sama hanya berbeda  $\phi_0$ -nya.

Akan tetapi, bergantung kepada posisi antena dalam ringnya, untuk antena tersebut harus digunakan harga  $\phi_n = \phi_0 + \Delta$  yang sesuai dengan posisi antena terhadap sudut referensi, sehingga rumus umum untuk  $\Delta r_n$  adalah:

$$\Delta r_n = r_0 \sin \theta_0 \cos(\phi_n - \phi_0)$$

$$\text{sehingga } \psi_n = \frac{\omega r_0 \sin \theta_0 \cos(\phi_n - \phi_0)}{c} + \alpha_n$$

Jadi untuk n buah array akan diperoleh:

$$E_T = E_0 \varepsilon^{j\alpha(1-\frac{1}{c})} \left[ 1 + \varepsilon^{\left( \frac{2\pi r_0}{\lambda} \sin \theta_0 \cos(\phi_1 - \phi_0) + \alpha_1 \right)} + \dots + \varepsilon^{\left( \frac{2\pi r_0}{\lambda} \sin \theta_0 \cos(\phi_{n-1} - \phi_0) + \alpha_{n-1} \right)} \right]$$

Sehingga dengan mengatur agar:

$$\alpha_n = -\frac{2\pi r_o}{\lambda} \sin \theta_o \cos(\phi_o + \Delta_n)$$
 untuk tiap antena n, maka dapat diperoleh arah pancaran maksimum ke arah  $\theta_o, \phi_o$ .

Jadi, terlihat bahwa :  $E_{maks}(\theta_o, \phi_o) = f(x_o, y_o, \alpha)$

dimana:  $x_o, y_o$  = jarak antara elemen-elemen array dalam bidang

$\alpha$  = beda fasa antar elemen

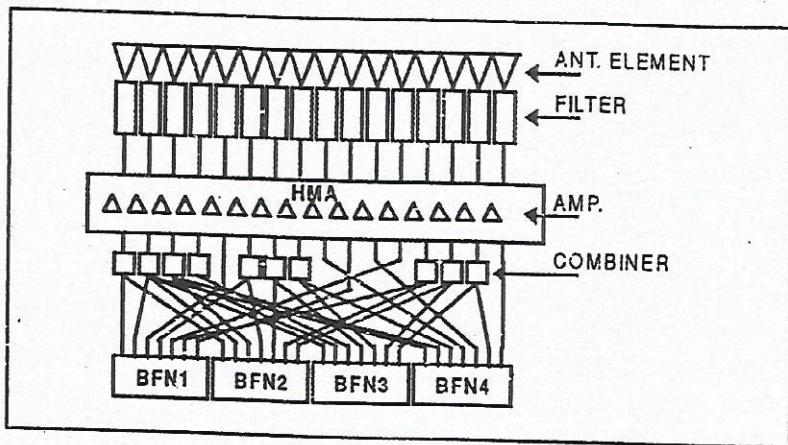
Pattern total selain menghasilkan mainlobe dalam arah tertentu, akan muncul sidelobes yang banyak, tetapi sesuai dengan teori Tchebyscheff, dengan mengatur perbandingan amplitudo antar antena, dapat diusahakan agar sidelobenya kecil.

Jadi, terlihat bahwa pada prinsipnya dari suatu array antena yang sama dapat diperoleh beberapa beam untuk frekuensi yang berbeda dengan mengatur  $\alpha$  (beda fasa antar elemen). Untuk daerah cakupan yang kecil ( $<240^\circ$  untuk cakupan LEO, MEO dan GEO), multibeam dapat diperoleh untuk  $x_o, y_o$  yang sama dengan mengatur  $\alpha$ -nya (beda fasa antar antena). Sehingga secara umum multibeam diperoleh dengan mengatur jarak antar elemen ( $x_o, y_o$ ) serta sudut fasa dan perbandingan amplitudo masing-masing antena.

### Sistem Antena Multibeam

Pada sistem komunikasi bergerak, sistem antena multibeam meningkatkan kemampuan pelayanan traffic dengan mengatur frekuensi reuse serta meningkatkan gain antena. Namun, pada umumnya untuk mengurangi interferensi antar sinyal, amplifier HMA (*hybrid matrix amplifier*) harus bekerja pada *power input level* yang sama.

Pada pembentukan multibeam, pada port keluaran dari BFN (Beam Forming Network) diperoleh kuat sinyal yang berbeda di beberapa port keluarannya (untuk prinsip Tscbebyscheff). Output ini diteruskan ke input HMA yang berbeda dengan panjang lintasan yang berbeda (untuk memperoleh beda fasa). Namun, jika sinyal yang tidak sama kuat dimasukkan ke input port masukan HMA yang sama, bisa terjadi interferensi.

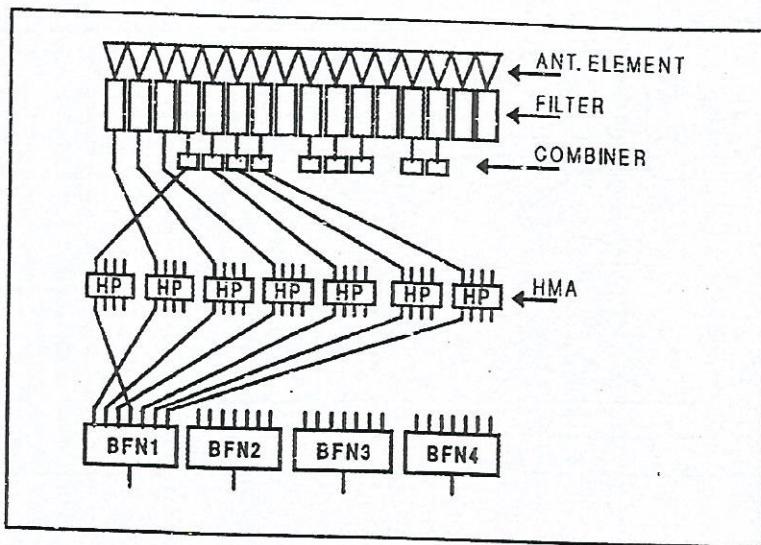


Gambar 3.28  
Conventional feed system

Untuk mengatasi hal ini, setiap amplifier dioperasikan pada power level yang berbeda dengan 2 metode:

- Pembagian HMA atas beberapa blok.

Pada kasus ini setiap blok HMA diusahakan untuk memiliki input sinyal yang sama (pada gambar 3.29) dari beberapa BFN yang berbeda, ini akan membuat semua amplifier HMA bekerja pada power level yang sama dan dapat memelihara fleksibilitas dari power kontrol.

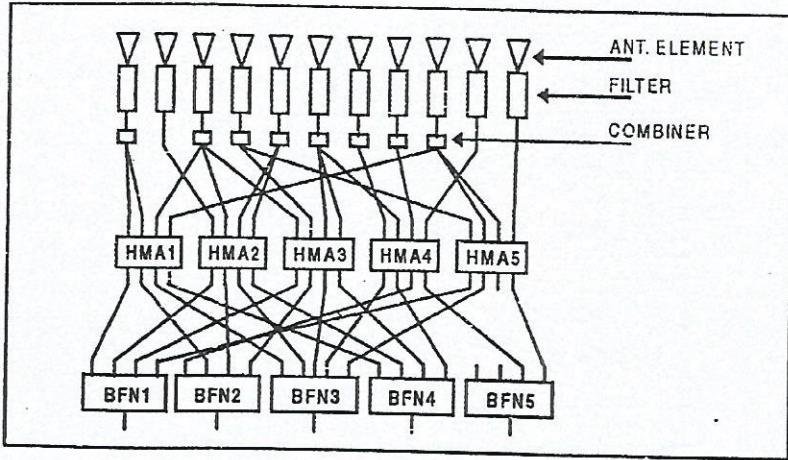


Gambar 3.29  
Spot Multibeam Feed System

Sinyal yang masuk pada BFN yang berfungsi untuk mengatur amplitudo, mempunyai keluaran (output) yang akan diteruskan pada HMA, dimana HMA ini bekerja pada power level yang sama guna mencegah interferensi. Dengan mengatur panjang lintasan antara BFN dan HMA, keluaran dari HMA tersebut akan mempunyai beda fasa dengan sebelumnya yang kemudian sinyal ini akan diteruskan ke beberapa elemen (feeder).

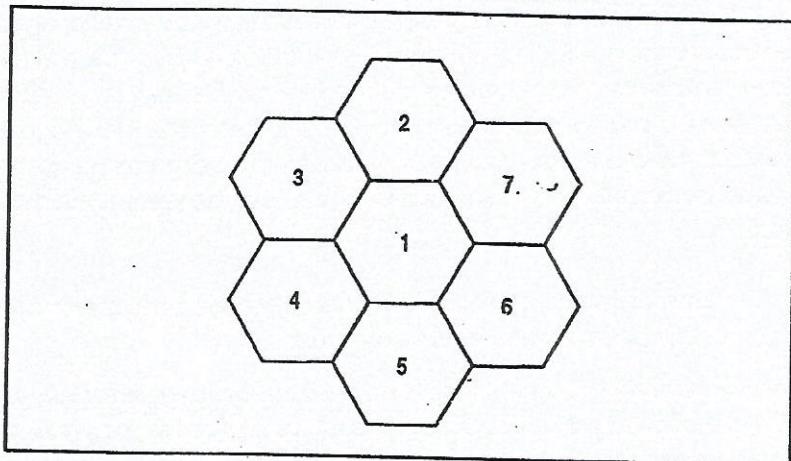
- > Memilih input port HMA, sehingga semua amplifier bekerja pada power level yang sama.

Di sini perbedaan amplitudo sinyal diperoleh dengan memilih input port HMA yang mempunyai penguatan yang berbeda. Input port HMA dipilih untuk membuat semua amplifier beroperasi pada level power yang sama.



Gambar 3.30  
Modifikasi Spot Multibeam

Aplikasi dari sistem ini dapat dilihat pada gambar 3.31 dan tabel yang menyatakan pembentukan 7 beam dengan menggunakan 22 elemen array feeder reflektor.



Gambar 3.31  
Pembentukan 7 beam pada 22 array

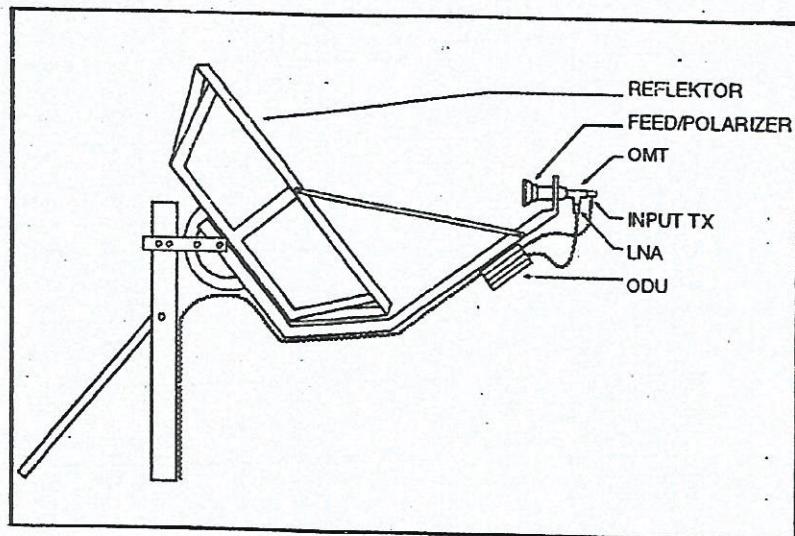
Tabel 3.3  
Perbandingan amplitudo dan fasa dalam pembentukan spot beam

Feed No	Amplitude (dBs) of Beam							Phase (Degrees) of Beam						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	-13.4	-17						42						
2	-13.4							19						
3	-13.4							-7.4	329					
4	-13.4							-7.4	304					
5	-13.4							-7.4	265					
6	-13.4							-7.4	208					
7	-13.4	-8	-7.4	-7.4				154	323	51	358			
8	-13.4	-7.4	-7.4					96	316	305				
9	-13.4							338						
10	-13.4							316						
11	-13.4							-7.4	310					
12	-13.4							-5.6	293					
13	-13.4							-7.4	289					
14	-13.4							-6.6	293					
15	-13.4							-7.4	285					
16	-13.4							-5.6	270					
17	-13.4							-7.4	195					
18	-13.4							-5.6		141				
19	-13.4	-14	-7.4	-7.4					90	20	77	27		
20	-13.4	-5.6	-5.6						57	0	0			
21	-13.4	-7.4	-7.4						24	329	323			
22	-13.4	-8.5							0	20				

### 3. DIPLEXER

Karena digunakan hanya satu antena baik untuk pengiriman maupun penerimaan, diperlukan suatu pengatur sehingga sinyal dari pemancar hanya pergi ke antena dan sinyal yang diterima dari antena hanya pergi ke LNA. Untuk membedakan sinyal kirim dan terima, dimanfaatkan perbedaan frekuensi (6 dan 4 GHz) dan polarisasi, sehingga dipleksing ini disebut juga OMT (*Ortho Mode Transducer*).

Rangkaian ini biasanya terdiri dari gabungan rangkaian-rangkaian tapis dan hybrid yang terdiri dari komponen-komponen bumbung gelombang. Biasanya dipersyaratkan attenuasi frekuensi yang tidak diinginkan sebesar harga nominai -40 dB.



Gambar 8.32.  
Sistem OutDoor Unit dari sebuah stasiun bumi yang kecil (VSAT),  
Untuk memperlihatkan letak dipleksing (OMT).

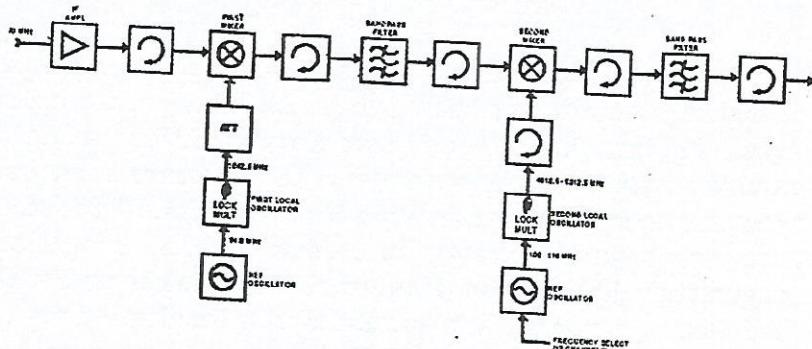
#### 4. RANGKAIAN PEMANCAR

Sinyal yang masuk ke stasiun bumi biasanya sudah berupa sinyal IF yang sudah siap untuk dipancarkan. Jadi, seluruh proses *multiplexing*, *preemphasis*, *modulasi* dan lain-lain dianggap sudah dilaksanakan sebelumnya.

Terutama untuk stasiun-stasiun bumi kecil memang seluruh proses, mulai dari sinyal base band masukan sampai siap dipancarkan berlangsung dalam unit yang kecil, tetapi prinsipnya sama, yaitu sinyal IF yang masuk mula-mula dinaikkan frekuensinya ke frekuensi RF di upconverter (U/C). Sebagai contoh, diperlihatkan U/C dengan sistem *dual-conversion* pada gambar 3.33.

Disini sinyal dengan frekuensi 70 MHz mula-mula dinaikkan menjadi 1000 MHz. Setelah melalui tapis, baru dinaikkan ke 6 GHz, dengan mencampurnya dengan LO dengan frekuensi yang bergerak antara 4812,5 MHz sampai dengan 5312,5 MHz. Jadi, pemilihan saluran yang tepat dilaksanakan pada tahap konversi kedua ini.

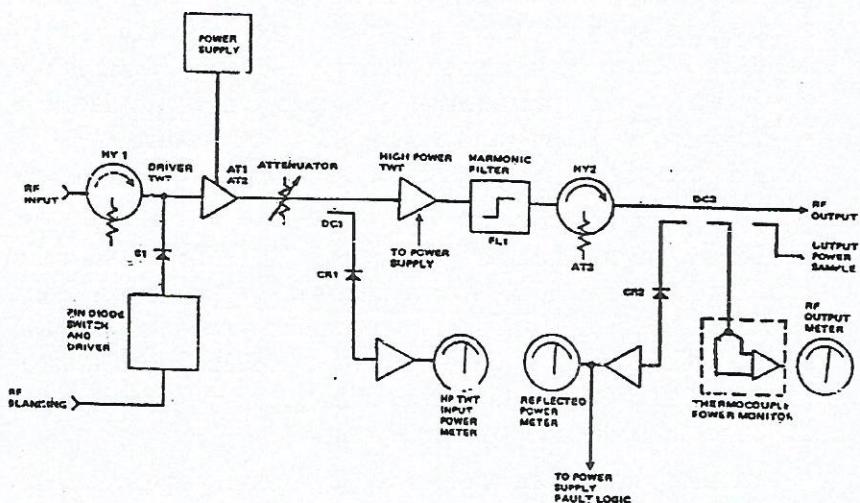
Untuk stasiun-stasiun kecil, konversi yang pertama biasanya berlangsung di IDU (*Indoor Unit*), dan melalui IFL (*Interfacility Link*), baru dinaikkan ke 6 GHz di ODU (*Outdoor Unit*).



Gambar 3.33  
Diagram blok Dual Conversion Upconverter

Setelah konversi, rantai selanjutnya adalah rangkaian penguat, yang biasanya terdiri dari penguat mula (*driver amplifier*) dan penguat akhir (*final amplifier*).

Dalam gambar 3.34 diperlihatkan sistem penguat untuk sebuah pemancar besar.



Gambar 3.34  
Diagram blok RF Assembly

Untuk pemancar-pemancar besar, tahap akhir biasanya dilengkapi dengan rangkaian pengukur untuk pengamatan (*monitoring*) dan kontrol dari pemancarnya. Sehingga selain untuk mengukur daya masukan dan daya keluaran penguat akhir ada monitor/pengukur untuk daya terpantul (*reflected power*) yang keluarannya dihubungkan dengan rangkaian pengontrolan. Jika daya terpantul terlalu besar, tegangan DC ke TWT akan terputus. Juga adakalanya dilengkapi dengan keluaran RF sample (misalnya 30 dB down), untuk pengecekan-pengecekan sendiri rangkaian penerima di stasiunnya (*loop-test*).

Bergantung kepada keluaran dan lebar pita yang dikehendaki, ada beberapa jenis komponen *final stage* yang digunakan seperti terlihat dalam tabel 3.4.

Tabel 3.4 Penguat Akhir di Stasiun-stasiun Bumi

Tipe Penguat	Daya Keluaran	Lebar Pita	Harga per Watt
KLYSTRON	500 to 5000 W	Sempit ( 40 MHz )	Rendah
TRAVELING WAVE TUBE ( TWT )	100 to 2500 W	Lebar ( 500 MHz )	Menengah
FET ( 6 GHz ) ( 14 GHz )	5 to 50 W 1 to 6 W	Lebar	Tinggi

Untuk daya keluaran yang kecil ( $< 50$  W), karena yang digunakan adalah komponen bahan padat (*solidstate*), penguatnya sering disebut sebagai SSPA (*Solid State Power Amplifier*).

Pemilihan frekuensi pemancaran dilakukan pada tahap terakhir penguatan.

## 5. SISTEM RFE DAN VSAT

Rangkaian pengiriman/penerimaan yang digunakan dalam suatu VSAT umumnya lebih kompak dan biasa disebut RFE (*Radio Frequency Equipment*).

Untuk RFE yang bekerja secara Full-Duplex di daerah C-Band dengan daerah Frekuensi yang bergerak dari 5,925 GHz sampai 6,425 GHz untuk arah stasiun bumi ke satelit dan frekuensi 3,7 GHz sampai 4,2 GHz untuk arah satelit ke stasiun bumi, peralatannya dari salah satu tipe RFE terdiri dari beberapa bagian:

## A. LNA (Low Noise Amplifier)

*Low Noise Amplifier* (LNA) dalam arah penerimaan, berfungsi untuk memperkuat sinyal yang sangat lemah yang diterima dari satelit. Sinyal radio yang diterima dalam daerah frekuensi 5,925 GHz - 6,425 GHz diperkuat di LNA dengan faktor penguatan antara 40 sampai dengan 60 dB baru diteruskan ke unit ODU.

## B. Indoor Unit (IDU)

IDU yang berfungsi untuk:

- ❖ Mengubah Frekuensi IF transmit 70 MHz yang datang dari peralatan komunikasi VSAT, ke 185 MHz untuk diteruskan ke ODU.
- ❖ Mengubah Frekuensi IF penerima dengan frekuensi 1040 MHz dari ODU (Out Door Unit) ke 70 MHz untuk diteruskan ke VSAT.
- ❖ Membangkitkan Frekuensi 10 MHz untuk referensi ke Synthesizer di ODU.
- ❖ Membangkitkan tegangan DC untuk digunakan di IDU maupun ODU.

## C. Outdoor Unit (ODU)

Penguatan (Solid State Power Amplifier, SSPA) 10 W ODU

- ◆ Mengubah Frekuensi pemancaran dari 185 MHz ke 5925 MHz - 6425 MHz, untuk kemudian diperkuat menjadi 10 watt sebelum dipancarkan ke arah satelit lewat antena parabola.
- ◆ Mengubah Frekuensi penerimaan dari 3700 MHz sampai 4200 MHz menjadi Frekuensi IF 1040 MHz sebelum diteruskan ke unit IFM.

Prinsip yang sama juga berlaku untuk VSAT yang bekerja di daerah Ku-band.

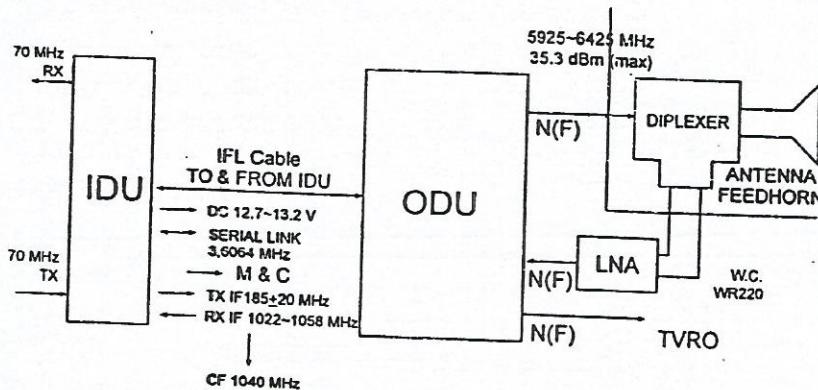
## D. Diplexer

Diplexer berfungsi untuk meneruskan sinyal transmit ke horn dan sinyal receive hanya ke LNA.

Diplexer terdiri dari tapis mode (*mode-filter*) yang berupa *bandpass* dan *bandreject*, yang beroperasi berdasarkan perbedaan frekuensi dan polarisasi serta peta medan (*mode*) dalam salurannya.

### 5. 1. Rangkaian RFE

Secara lebih detail, prinsip kerja salah satu tipe RFE dengan diagram blok seperti gambar 3.35, gambar 3.36 dan gambar 3.37 dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3.35  
Prinsip Susunan Sistem RFE pada VSAT

#### 1. IDU

##### i. Arah Pancaran (Transmit)

- ☞ Sinyal IF  $70 \text{ MHz} \pm 18 \text{ MHz}$  unit VSAT di IDU mula-mula diubah frekuensinya menjadi  $185 \text{ MHz} \pm 18 \text{ MHz}$  dengan mencampur dengan LO  $115 \text{ MHz}$  yang dibangkitkan oleh Synthesizer

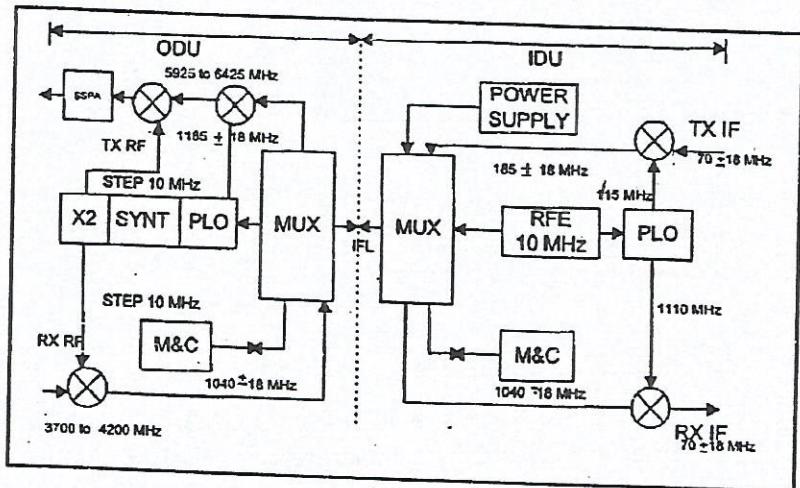
dengan frekuensi referensi 10 MHz. Sinyal TX 185 MHz  $\pm$  18 MHz ini kemudian diteruskan ke Multiplexer.

Sinyal referensi 10 MHz yang dibangkitkan di IDU juga dikirim ke ODU lewat Multiplexer.

- ☞ Untuk mengontrol operasi ODU, oleh IFM juga dikirim sinyal-sinyal kontrol yang ditumpangkan di frekuensi pembawa 3,6064 MHz (M & C Signals).

#### iv. Arah Penerimaan (Receive)

- ☞ Sinyal Penerimaan dengan frekuensi  $1040 \pm 18$  MHz dari ODU lewat Multiplexer diterima dipenurun frekuensi (Down Converter) ke-2. Dalam D/C ini sinyal dicampur dengan frekuensi  $f_{LO} = 1110$  MHz, sehingga diperoleh frekuensi  $70 \pm 18$  MHz yang diteruskan ke VSAT.



Gambar 3.36  
Diagram Blok RFE di VSAT

## 2. Kabel IFL

ODU dan IDU dihubungkan dengan kabel IFL yang berupa kabel koaksial Impedansi RF  $50\ \Omega$ . Kabel ini merupakan satu-satunya kabel penghubung antara IDU dan ODU, sehingga semua lalu lintas sinyal antara IDU dan ODU melewati kabel ini, seperti:

- ⇒ Sinyal RX IF  $1040 \pm 18\ \text{MHz}$  dari ODU ke IDU
- ⇒ Sinyal TX IF  $185 \pm 20\ \text{MHz}$  dari IDU ke ODU
- ⇒ Sinyal Frekuensi Reference  $10\ \text{MHz}$  dari IDU ke ODU
- ⇒ Tegangan DC  $12.7\ \text{V} - 13.2\ \text{V}$  dari IDU ke ODU untuk pasokan tegangan DC di ODU
- ⇒ Serial link  $3,6064\ \text{MHz}$  untuk sinyal-sinyal monitoring dan kontrol dari ODU dari/ke IDU

Penggabungan sinyal-sinyal ini dilakukan oleh Multiplexer yang terdapat di masing-masing port IFL di IDU maupun ODU-nya. Dan seperti biasa tegangan DC akan ditahan oleh kapasitor-kapasitor yang terpasang di masukan rangkaian-rangkaian lainnya.

Kabel IFL ini panjang maksimum biasanya hanya  $130\ \text{meter}$  jika digunakan kabel RG-8. Redaman maksimum kabel IFL yang diperbolehkan adalah  $20\ \text{dB}$  (untuk frekuensi  $1,16\ \text{GHz}$ ) dan  $9,0\ \text{dB}$  (untuk frekuensi  $200\ \text{MHz}$ ), sedang tahanan DC adalah maksimum  $1,2\ \Omega$  bolak-balik.

## 3. ODU

### i. Arah Pemancar

Sinyal TX IF  $185 \pm 18\ \text{MHz}$  setelah melewati multiplexer dicampur dahulu dengan LO frekuensi  $1000\ \text{MHz}$  sehingga frekuensi menjadi  $1185 \pm 18\ \text{MHz}$ . Setelah diperkuat, sinyal TX frekuensi  $1185\ \text{MHz}$  ini dinaikkan menjadi  $5,925 - 6,425\ \text{GHz}$ , dengan men-campurnya dengan LO frekuensi  $4740 - 5240\ \text{MHz}$ .

Di mixer terakhir inilah nomor transpondernya ditentukan dengan memilih frekuensi LO-nya yang tepat. Setelah melalui *driver amplifier*, baru diperkuat di final amplifier 10 watt.

ii. Arah Penerimaan

Sinyal Penerimaan, frekuensi 3700 - 4200 MHz yang diterima dari LNA, dicampur dulu dengan LO frekuensi 4740 - 5240, sehingga diperoleh sinyal IF frekuensi  $1040 \pm 18$  MHz, setelah lewat Penguat dan multiplexer, sinyal ini diteruskan ke IFL melalui MUX.

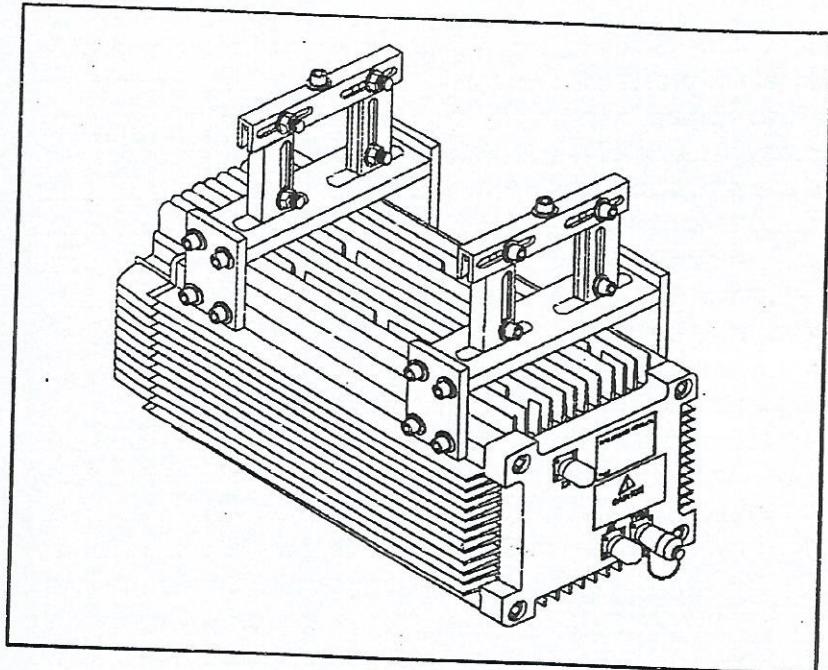
Jadi, pilihan frekuensi LO kedua ini cukup satu frekuensi saja untuk satu pasangan frekuensi pemancaran dan penerimaan.

Gambar fisik ODU dapat dilihat dalam gambar 3.37:

Unit ini mempunyai 3 port, masing-masing:

- 1) TX - O/P - Merupakan keluaran Penguat 10 watt yang dihubungkan dengan diplexer di antena (OMT - Ortho Mode Transducer)
- 2) RX I/P - Merupakan masukan port untuk mixer, dan harus dihubungkan dengan keluaran LNA.
- 3) TV RO - Merupakan port tambahan, dari port ini dapat diperoleh sinyal penerimaan dalam seluruh C-Band dengan frekuensi 3700 - 4200 MHz, dan dapat digunakan sebagai sinyal penerimaan untuk mengarahkan antena atau sebagai masukan ke penerima TV parabola.

Secara umum, sistem RFE untuk VSAT adalah seperti dijelaskan di atas, bergantung kepada pabriknya tentu akan ada perbedaan sedikit.



Gambar 3.37  
Gambar fisik ODU

## 6. FUNGSI

Dalam sistem satelit, fungsi stasiun bumi dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu stasiun bumi pengendali dan stasiun bumi pengirim-penerima.

### 6.1 Stasiun bumi pengendali

Tipe stasiun bumi yang pertama melakukan pengukuran parameter-parameter dari satelit dari jarak jauh yang disebut telemetering. Tugasnya adalah mengikuti gerakan-gerakan satelit (penjejakan = tracking) baik selama transisi, antara peluncuran sampai dengan kedudukan lintasan yang telah ditentukan, maupun selama satelit bergerak pada orbit yang

ditentukan. Setelah data-data penerimaan telemetering mengalami proses perhitungan-perhitungan dengan komputer, dikirim komando/perintah kepada peralatan-peralatan yang berada pada satelit atau roket peluncur, sehingga fungsi/kedudukan dari satelit/roket dapat memenuhi parameter-parameter yang telah ditentukan. Oleh karena itu, stasiun bumi yang pertama ini disebut stasiun TTC (*Telemetering, Tracking and Command*). Untuk mengorbitkan satelit, paling sedikit digunakan dua buah stasiun TTC. Banyaknya stasiun-stasiun bumi monitor/TTC bergantung kepada orbit satelit serta misi dari sistem satelit tersebut. Untuk peluncuran satelit PALAPA, telah digunakan dua buah stasiun bumi TTC yaitu stasiun bumi TTC Cibinong, Jakarta dan sebuah stasiun bumi TTC dari Western Union di New Jersey, Amerika Serikat. Dengan sendirinya sistem antena TTC ini harus mempunyai peralatan penggerak, baik arah azimuth maupun elevasi, sehingga penjejakkan selama peluncuran dapat dilakukan. Kemampuan penjejakkan stasiun bumi ini dapat dinyatakan dengan parameter, kecepatan penjejakkan, percepatan penjejakkan, ketelitian penjejakkan dan sudut derajat yang dicakup (elevasi dan azimuth).

## 6.2 Stasiun bumi komunikasi

Tipe stasiun bumi kedua adalah stasiun-stasiun bumi yang bertindak sebagai stasiun pengirim dan/atau penerima sinyal-sinyal gelombang radio, sesuai dengan misi sistem satelit tersebut. Dalam sistem SKSD atau sistem komunikasi satelit lainnya, stasiun-stasiun bumi ini bertindak sebagai stasiun radio jaringan gelombang mikro, yaitu menerima sinyal-sinyal (telepon, telex, televisi dan lain-lainnya) dari jaringan telekomunikasi terresterial (gelombang mikro, kabel koaksial, kabel audio) dan mengirimkannya ke satelit. Dan kebalikannya, stasiun bumi menerima sinyal-sinyal dari satelit untuk diteruskan ke jaringan telekomunikasi terestrial.

Besar kecilnya stasiun bumi bergantung kepada kapasitas sinyal-sinyal yang dikirim dan diterima.

Stasiun bumi TVRI, khusus menyalurkan sinyal televisi dari satelit ke stasiun-stasiun pemancar televisi lokal. Dalam sistem SKSD, karena kedudukan satelit PALAPA sangat stabil, maka kecuali sistem antena telekomunikasi di Cibinong, semua stasiun-stasiun bumi termasuk stasiun-stasiun bumi TVRI tidak dilengkapi dengan fasilitas sistem penjejakan. Stasiun bumi telekomunikasi di Cibinong dilengkapi dengan *sistem steptracking*. Tidak demikian halnya dengan satelit-satelit INTELSAT, kedudukan satelit tidak begitu stabil dan ukuran antena stasiun bumi yang diperlukan besar sekali sehingga berkas antena sempit. Karena itu, stasiun-stasiun bumi INTELSAT, selalu dilengkapi dengan sistem penjejakan *monopulse* untuk standard A dan *steptracking* untuk standard B.

Perlu tidaknya suatu sistem penjejakan pada stasiun bumi, bergantung kepada kestabilan posisi satelit dan lebar berkas dari antena stasiun bumi.

### 6.3 Stasiun bumi lainnya

Dalam sistem satelit observasi, termasuk sistem cuaca dan sumber alam, terdapat sebuah atau lebih stasiun bumi yang berfungsi untuk menangkap dan mengolah data-data yang dikirimkan oleh DCP (*Data Collection Platform*) lewat satelit.

Dalam sistem satelit cuaca, hasil pengolahan data observasi didistribusikan dan akan diterima oleh stasiun-stasiun bumi cuaca APT atau HRPT milik para pemakai data.

Dalam sistem satelit sumber alam, stasiun-stasiun bumi penerima hanya menerima sinyal-sinyal dari hasil observasi satelit.

Data ini baru diolah oleh pusat-pusat pengolahan data pada masing-masing negara yang memiliki. Stasiun-stasiun bumi penerima yang dipunyai oleh para pemakai dalam sistem

observasi yang mempunyai satelit berorbit rendah (LANDSAT dan NOAA), harus dilengkapi sistem penjejakan yang baik, sedangkan untuk satelit geostationer tidak memerlukan sistem penjejakan.

Untuk sistem satelit navigasi, stasiun bumi penerima sangat sederhana, tidak memerlukan sistem penjejakan yang rumit. Stasiun-stasiun bumi ini hanya menerima *sinyal-sinyal timing, doppler* dan lain-lainnya, yang selanjutnya diproses sendiri oleh stasiun bumi yang bersangkutan untuk menentukan posisi antena stasiun bumi tersebut.

#### 6.4 Closed user group

Dalam daerah pancaran sebuah satelit, ada kalanya dibangun suatu jaringan komunikasi yang "tertutup". Jaringan ini khusus hanya untuk berkomunikasi antar sesamanya dengan menggunakan sebagian atau satu transponder dari satelitnya.

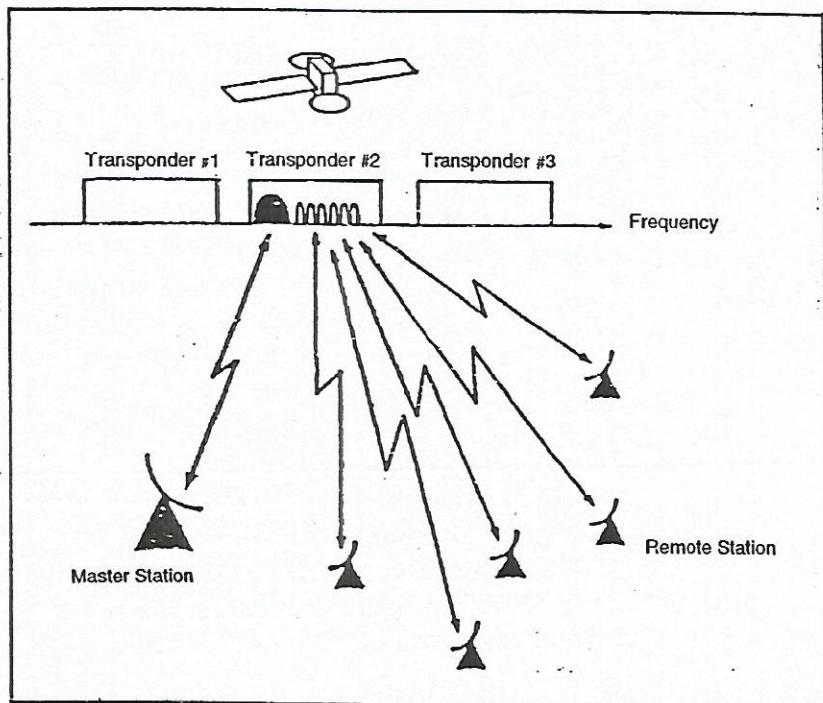
Jadi, jaringan ini seolah-olah membentuk suatu sub-network. Dalam jaringan ini biasanya akan ada *master station* atau hub yang merupakan pusat dari jaringannya. Stasiun lainnya atau bisa disebut *Remote Station* dipasang di kantor-kantor cabang dan lain-lain.

Closed user group yang beroperasi dengan PALAPA misalnya: KOMSAT ABRI, GARUDA, PERTAMINA, Departemen Dalam Negeri dan lain-lain.

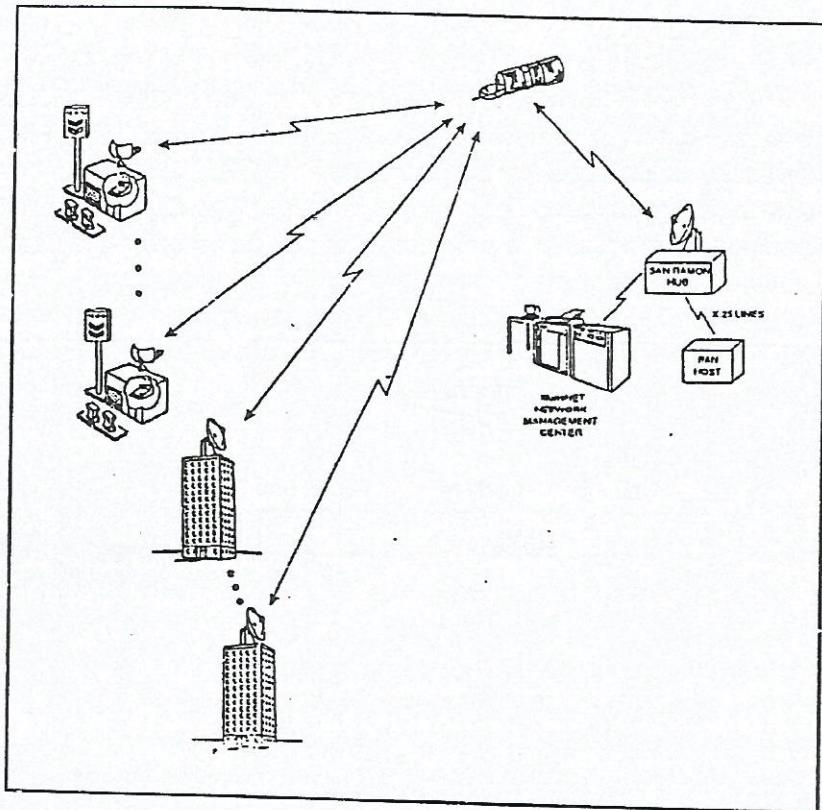
Ada juga perusahaan yang mengelola sistemnya dan menawarkan jasa komunikasi ke perusahaan/badan yang membutuhkannya seperti CSM, LINTAS ARTA, SMARTCOM dan lain-lain.

Jumlah stasiun-stasiun bumi atau node yang saling berhubungan bisa ratusan, begantung kepada organisasinya.

Perusahaan minyak Chevron di Amerika Serikat misalnya mempunyai jaringan VSAT yang terdiri dari sekitar 4000 stasiun bumi. Jaringan ini menghubungkan Kantor Pusat dengan Kantor-kantor Cabang bahkan pompa-pompa bensin di seluruh Amerika. Dengan penggunaan VSAT ini, koordinasi antara jaringan yang tersebar di berbagai lokasi dan bahkan sampai ke tingkat pompa bensin dapat berlangsung dengan baik.



Gambar 3.38.  
Contoh Jaringan VSAT untuk Sistem Komunikasi  
“closed user group”



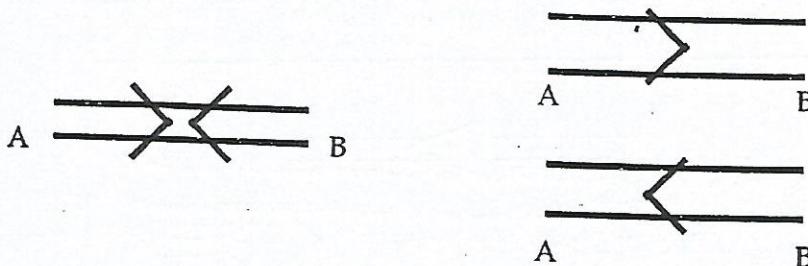
**Gambar 3.39**  
Jaringan VSAT perusahaan minyak CHEVRON  
yang menghubungkan Kantor-kantor dan bahkan  
Pompa-pompa bensin sebanyak 4000 node

# Istilah-istilah Penting dalam Sistem Telekomunikasi

## 1. SALURAN AUDIO (Suara)

### 1.1 2 Kawat/4 Kawat

Untuk merambatkan sinyal audio antara 2 tempat dapat digunakan sistem 2 kawat atau 4 kawat. Dalam sistem 2 kawat hanya digunakan 2 kabel, sedangkan 4 kawat digunakan 4 kabel, sehingga dalam sistem 2 kawat, pengiriman sinyal audio dari B ke A dan dari A ke B memakai kabel yang sama, sedangkan dalam 4 kawat pengiriman sinyal dari A ke B terpisah dengan yang dari B ke A.



Gambar 4.1  
Sistem 2 Kawat dan 4 kawat

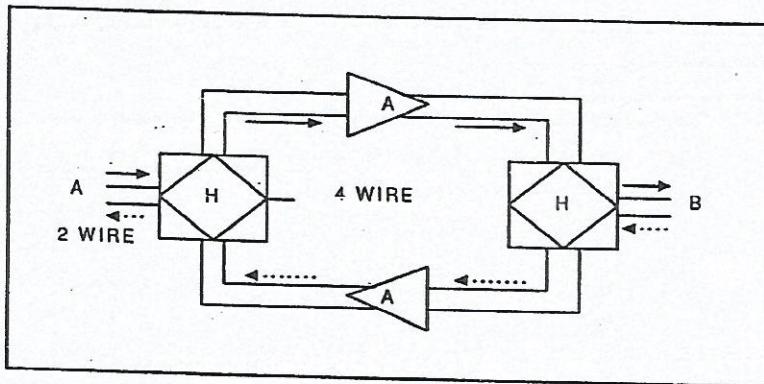
Kita ambil contoh, telepon yang biasa adalah sistem 2 kawat, sedangkan antara sistem 2 stasiun bumi adalah 4 kawat. Kebanyakan sistem radio menggunakan sistem 4 kawat, dimana pemancar dan penerima mempunyai frekuensi yang

berlainan. Demikian pula sistem gelombang mikro dan SKSD/lewat satelit memakai 4 kawat.

Dalam sistem komunikasi kebanyakan tidak hanya menggunakan sistem 2 kawat atau sistem 4 kawat saja, tetapi merupakan gabungan antara kedua sistem tersebut. Untuk itu diperlukan peralatan antar muka, diantaranya yang paling sederhana adalah *hybrid* yang terdiri dari rangkaian pasif gabungan coil, resistor dan kapasitor.

Dalam sistem radio HF/SSB sering kita kenal *phone patch* yaitu semacam hybrid juga, hanya terdiri dari rangkaian aktif yang berfungsi juga untuk mengubah impedansi disesuaikan dengan telephone line yang dihubungkan. Salah satu contoh sistem gabungan tersebut dapat dilihat dalam gambar berikut. Di sini ditunjukkan perlu adanya penguat A untuk menghilangkan peredaman di jalan. Dalam sistem 4 kawat ini dapat berupa rangkaian audio atau radio. Karena penguat hanya bekerja satu arah, jadi dalam sistem akan diperlukan 2 rantai penguat, 1 rantai untuk masing-masing arah.

Penggabungan/pemisahan dilakukan oleh rangkaian Hybrid, sehingga sinyal dari A ke B lewat jalan atas dan dari B ke A lewat jalan bawah.



Gambar 4. 2

Gabungan Sistem 2 Kawat dengan 4 Kawat  
dimana H adalah Hybrid dan A adalah Penguat.

## 1.2 Signalling System

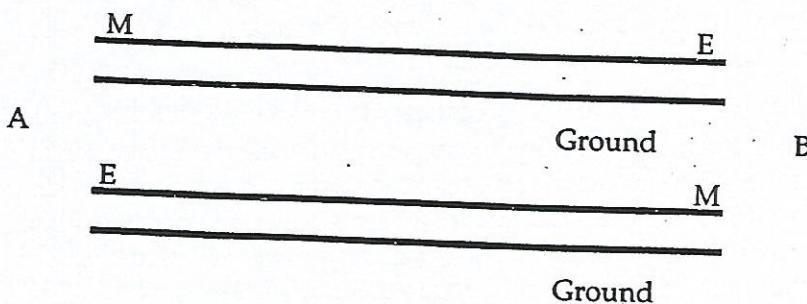
Sebelum dan sesudah pembicaraan perlu adanya pengiriman yang berbentuk pulsa-pulsa yang harus dirambatkan dari kedua tempat.

Fungsi dari signalling system ini diantaranya:

1. Pemberitahuan apakah switching yang akan kita gunakan sibuk atau tidak.
2. Pengiriman pulsa untuk mencari nomor.
3. Pemberitahuan apakah telephone line lawan bicara kosong atau tidak.
4. Pemberitahuan kepada lawan bicara (ringing).
5. Mematikan sinyal bila lawan bicara sudah mulai bicara.
6. Mengembalikan kepada keadaan semula bila pembicaraan telah berakhir.

Untuk sistem telefon 2 Kawat, pengiriman sinyal ini dilakukan dengan kabel-kabel tersebut. Untuk dapat bergabung dengan audio, digunakan kabel yang berbeda yang disebut E dan M ( $\pm$  Ear dan Mouth) dan bila jaraknya jauh, kadang-kadang ditambah dengan ground.

Cara penggabungan antara sistem A dan B dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.3  
Sistem E dan M

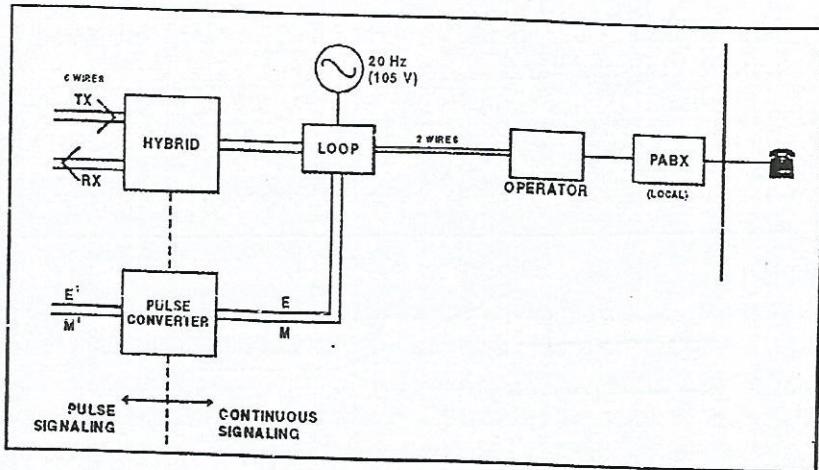
Sistem pulsa tidak dapat dirambatkan secara langsung dalam sistem radio karena pulsa-pulsa tersebut mempunyai komponen-komponen D.C. Untuk itu pulsa-pulsa tersebut harus diubah dengan tone yang dapat masuk dengan pita audio saluran telepon yaitu antara 300 - 3400 Hz saja. Tone untuk keperluan *signalling system* ini dapat ditaruh dalam pita suara antara 300 - 3400 Hz yang disebut *inband signalling system*, atau di luar pita tersebut yaitu antara 3400 - 4000 Hz, yang disebut *outband signalling* yang kebanyakan menggunakan tone dengan frekuensi 3825 Hz.

### 1.3 Pulse Converter

Selama terjadi pembicaraan, telephone *switching* dan *microwave* akan mengeluarkan sinyal secara terus menerus untuk "memegang" agar saluran tidak putus. Sistem ini disebut sistem "continuous signalling". Pada suatu sistem komunikasi satelit terdapat dua macam yaitu yang memakai sistem FDM (*Frequency Division Multiplexing*) dan SCPC (*Single Channel Per Carrier*). Dalam sistem FDM digunakan sistem seperti *microwave* yaitu "continuous signalling", sedangkan dalam SCPC adalah lain. Untuk memperkecil jumlah total daya pancar satelit/memperbaiki efisiensi, maka gelombang pembawa digerakkan oleh VOX (*Voice Operated Switch*) yaitu menghidupkan gelombang pembawa hanya pada waktu ada sinyal suara saja. Jadi, selama pembicaraan tidak ada, gelombang pembawa dimatikan.

Jadi, ada tidaknya gelombang pembawa ini akan membentuk semacam pulsa-pulsa. Untuk dapat menggabungkan sistem telepon atau *microwave* dengan sistem komunikasi satelit SCPC, diperlukan suatu alat yang dapat mengatur sinyal tersebut dari "continuous signalling" menjadi *voice operated switch* yang disebut *pulse converter*.

Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar berikut dimana diletakkan *pulse converter* pada SBK.



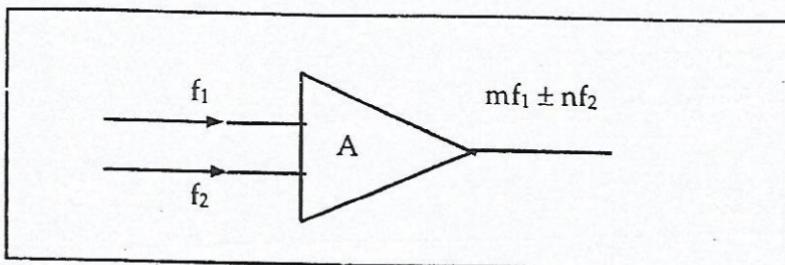
**Gambar 4.4**  
Pulse Converter pada SBK

Dalam sistem telex karena kita memanfaatkan suatu saluran SCPC tidak hanya untuk 1 saluran telex (SCPC mampu menampung 16 saluran telex dengan kecepatan 50 baud), maka akan kita gunakan "FDM" dalam SCPC, sehingga gelombang pembawa SCPC harus dihidupkan secara terus menerus, tidak bergantung kepada ada atau tidak adanya sinyal telex, jadi kita tidak memerlukan *pulse converter*.

## 2. IM (Intermodulasi)

Bila dua sinyal yang berbeda frekuensi diperkuat oleh suatu penguat secara bersamaan, secara teoretis akan mempunyai keluaran hanya 2 sinyal kedua frekuensi tersebut. Namun, kenyataanya, karena adanya sifat *non linearity* dari penguat tersebut, maka selain kedua sinyal tersebut akan timbul sinyal-sinyal yang mempunyai frekuensi  $nf_1$ ,  $mf_2$ , dimana  $m$  dan  $n$  adalah bilangan bulat dan  $f_1$  dan  $f_2$  adalah frekuensi sinyal masuk. Meskipun secara teoretis komponen-komponen sinyal-sinyal tersebut jumlahnya tidak terhingga,

secara praktis yang perlu diperhatikan adalah komponen-komponen dimana harga m dan n yang kecil saja, karena dapat menimbulkan pengaruh dalam pita yang sama, maka disebut *inband intermodulation*, sedangkan bila diluar pita maka disebut *outband intermodulation*.



Gambar 4.5  
Prinsip Intermodulasi

Besarnya sinyal intermodulasi adalah bergantung kepada besar kecilnya sinyal masuk, linearity dari penguat dan jauh/dekatnya level masukan terhadap kejenuhan penguat.

Sifat penguat ini tidak hanya berlaku untuk audio, tetapi berlaku juga untuk frekuensi-frekuensi tinggi, misalnya TWT pada stasiun bumi atau satelit. Intermodulation juga terjadi pada peralatan-peralatan lain, misalnya untuk keperluan translasi frekuensi (mixer, multiplexer dan lain-lainnya).

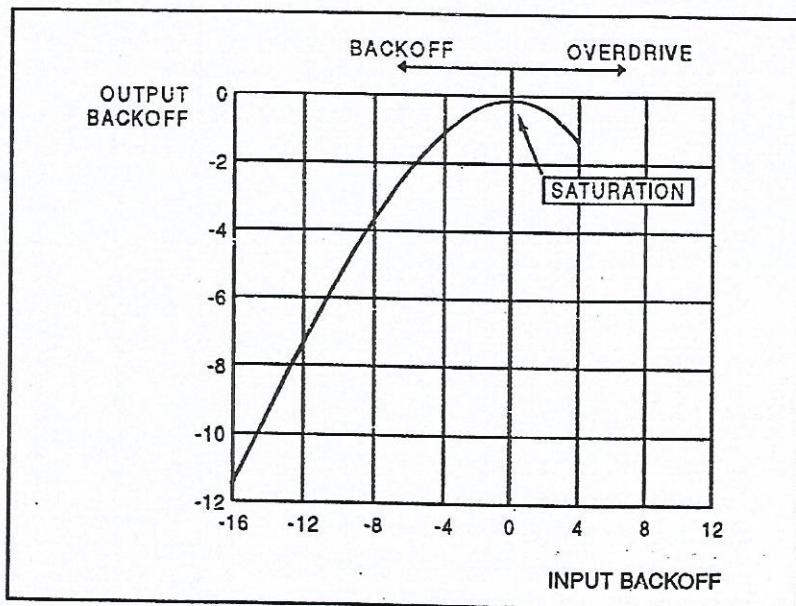
### 3. DISTORSI

Bila suatu sinyal sinusoida dengan frekuensi yang tertentu kita lewatkan suatu peralatan, misalnya penguat, translasi frekuensi dan lain-lainnya, maka secara teoretis akan mempunyai keluaran sinyal sinusoida juga. Pada praktisnya tidak akan didapat hal yang demikian, tetapi akan disertai komponen-komponen yang merupakan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar tersebut.

Dengan kata lain, akan mengalami distorsi. Apalagi kalau sinyal tidak berupa sinusoida, maka selain akan timbul harmonik, juga fasa akan berbeda-beda, sehingga bentuk gelombang keluaran tidak sama dengan masukan. Besarnya distorsi dinyatakan dengan perbandingan jumlah daya komponen-komponen harmonik tersebut dengan daya sinyal.

#### 4. PENGURANGAN DAYA (Back off)

Ini merupakan faktor pengurangan keluaran (*output back off*) yang sebenarnya dibanding keluaran satelit yang maksimum karena sinyal di masukan sendiri lebih kecil daripada harga masukan maksimum (*input back off*). Hubungan daya masukan-keluaran dari setiap satelit, atau lebih tepat dari penguat akhirnya (TWT), ditunjukkan dalam grafik 7x seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.6  
Grafik masukan-keluar TWT

Untuk daya masukan optimum, keluaran TWT akan maksimum. Jika daya masukan dikurangi, yang diukur dalam dB dibawah optimum, daya keluaran-pun akan lebih kecil dari daya maksimum.

Pengurangan digunakan, agar TWT-nya bekerja di daerah liniear, terutama jika ada dua atau tiga sinyal yang berbeda yang harus diperkuat. Hal ini dimaksudkan untuk memperkecil intermodulasi.

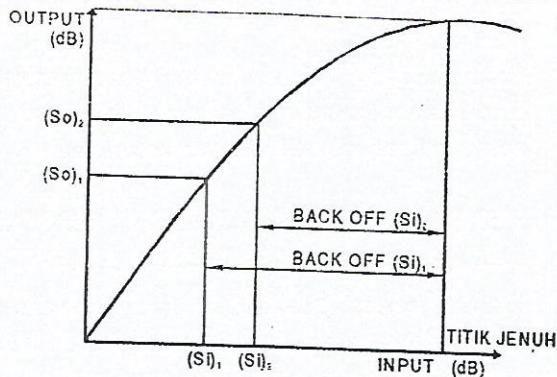
Penguat yang dilalui oleh sebuah atau lebih sinyal yang mempunyai frekuensi dan daya yang berlainan, perlu adanya pemilihan titik kerja yang optimal agar intermodulasi yang ditimbulkan cukup kecil. Titik kerja tersebut harus dipilih cukup jauh dari titik maksimum yang merupakan titik jenuh (*saturation*).

Besarnya daya masing-masing sinyal yang dilewatkan tersebut dibandingkan dengan daya yang maksimum disebut Pengurangan dan biasanya dinyatakan dalam dB. Istilah ini akan sering kita temukan dalam sistem komunikasi satelit, khususnya yang menggunakan TWT. Untuk jelasnya, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Untuk perhitungan biasa, pengurangan sinyal masukan sebesar 7 dB dianggap sudah cukup baik. Untuk pengurangan sinyal masukan sebesar ini, pengurangan sinyal keluaran akan berada di sekitar 4 dB. Sehingga untuk menentukan pengurangan masing-masing sinyal dapat digunakan hitungan sebagai berikut

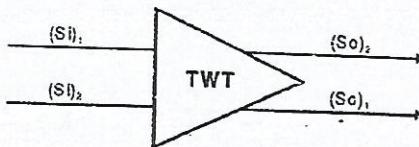
Jika total pengurangan sinyal masukan adalah 7dB, jika ada 10 sinyal yang sama yang harus dilewatkan, pengurangan sinyal masukan masing-masing sinyal harus ditambah 10dB lagi. Sehingga tiap sinyal akan dikurangkan sebesar 17dB. Sedang keluaran per-gelombang pembawanya akan ada pengurangan kira-kira sebesar -14dB.

PENJELASAN  
TENTANG  
BACK OFF



CONTOH:

BACK OFF  
TWT



Gambar 4.7  
Pengurangan (Back off) TWT

## 5. DERAU (Noise)

Dalam suatu sistem komunikasi, ratio sinyal terhadap derau merupakan hal yang paling penting. Derau ini dapat berupa:

- Akibat dari alam yang tidak dapat dihindarkan, misalnya derau oleh gerakan-gerakan elektron di komponen-komponen resistip di masukan (Johnson noise) yang merupakan derau putih (*white noise*). Besarnya derau putih ini adalah bergantung kepada kTB dimana k adalah konstanta Boltzman, T adalah Temperatur mutlak dan B adalah Bandwidth saluran atau kanal.

- b) Intermodulasi dan distorsi yang disebabkan non-linearity dari peralatan.
  - c) Cakap Silang (Cross talk), yaitu pengaruh sinyal-sinyal dari kanal tetangga akibat efek coupling atau ketaksempurnaan filter-filter pembatas kanal
6. PERBANDINGAN KUAT SINYAL TERHADAP DERAU (Carrier to Noise Ratio)

Dalam suatu hubungan radio, ukuran kualitas suatu hubungan ditentukan oleh perbandingan kuat sinyal terhadap derau (C/N). Notasi perbandingan kuat sinyal terhadap derau ini ada beberapa macam.

Untuk sistem analog dengan modulasi FM digunakan rumus:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{kTB} \quad N = \frac{E}{kTB}$$

dimana : C = Kuat sinyal yang diterima (dBW)

k = Konstanta Boltzmann

T = Temperatur Derau sistem penerima (°K)

B = Lebar pita IF-nya (noise band width)

Untuk lebar noise band width dari sistem analog FM, digunakan rumus Carson, dimana:

$$B = 2(\Delta f + f_{\max})$$

$\Delta f$  = Peak deviation

$f_{\max}$  = Frekuensi tertinggi dari base band

Sehingga rumus selengkapnya untuk C/N adalah:

$$C/N (\text{dB}) = EIRP - L_{FS} + G_R/T - L - 10 \log k - 10 \log B (\text{Hz})$$

Untuk sistem FM, harga C/N > 12 dB, walaupun dengan *threshold extension* bisa turun sampai 10 dB.

Bagi sistem digital, yang lebih relevan untuk digunakan adalah faktor  $E_{bi} / N_o$ , yang merupakan hasil bagi antara energi per bit dibanding dengan kerapatan derau, serta berlaku:

$$E_{bi}/N_o = \frac{C}{R_{bps}} \cdot \frac{1}{N_o}$$

atau  $E_{bi}/N_o = C/N_o \times 1/R_{bps} = \frac{C}{kT} \cdot \frac{1}{B/F} = \frac{C}{N} \cdot F$

dimana:  $E_{bi}$  = Energi per bit

$N_o$  = Rapat derau ( $kT$ )

$C$  = Gelombang pembawa (Carrier level)

$R_{bs}$  = Information rate

$B$  = Noise bandwidth

$F$  = Faktor pengali terhadap Information rate untuk memperoleh lebar frekuensi yang didudukinya. Harga ini bergantung kepada filter yang digunakan dan harganya bergerak antara 1.2 sampai dengan 2.0

Harga minimal  $E_{bi}/N_o$  yang dipersyaratkan, bergantung kepada sistem modulasi dan faktor *Forward Error Correction* (FEC) yang digunakan, seperti terlihat dari gambar berikut.

Untuk modulasi RF sistem digital ini, lebar pita deraunya (noise bandwidth) diperoleh dari rumus:

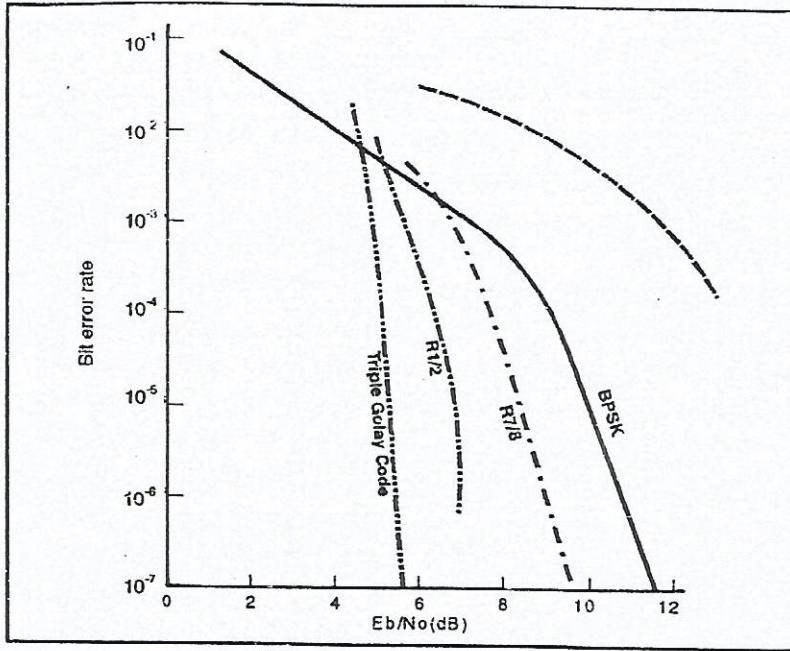
BPSK :  $RFBW = FR_s$

QPSK :  $RFBW = FR_s/2$

dimana : #  $Rs$  = transmission bit rate ( $R_{bs} \times FEC$ )

# harga  $F$  ini bergerak dari 1.2 → 2, bergantung kepada filter yang digunakan.

Sebagai pegangan dapat dipakai faktor  $F = 1.35$



Gambar 4.8  
Hubungan  $E_{bi}/N_0$  dengan bit error rate pada berbagai sistem modulasi; dan FEC

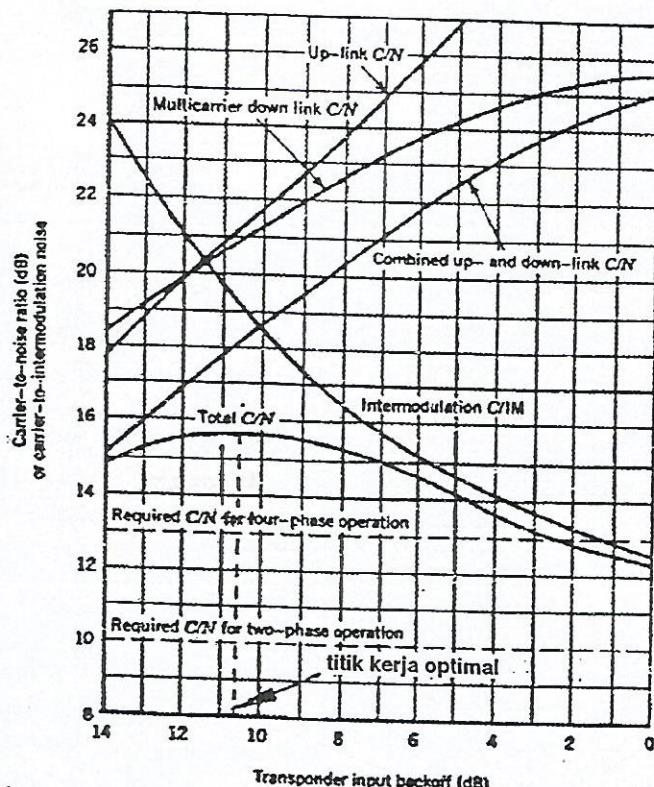
Deraunya sendiri merupakan penjumlahan derau untuk arah stasiun bumi ke satelit dan arah satelit ke stasiun bumi, disamping adanya derau tambahan oleh intermodulasi serta derau-derau lainnya.

Sehingga derau total adalah penjumlahan seluruh deraunya. Untuk  $(C/N)_{total}$  berlaku rumus:

$$\frac{1}{(C/N)_{total}} = \frac{1}{(C/N)_{U/L}} + \frac{1}{(C/N)_{D/L}} + \frac{1}{(C/N)_M} + \frac{1}{(C/N)_I}$$

Harga  $(C/N)_{U/L}$  dan  $(C/N)_{D/L}$  bertambah besar jika EIRP stasiun bumi dan EIRP satelit dan titik operasi dekat keluaran maksimum satelit atau IBO-nya semakin kecil.

Namun, jika IBO semakin kecil,  $(C/N)_{IM}$  akan semakin kecil (lihat grafik di bawah ini):



Gambar 4.8A  
Titik Kerja Optimal suatu Sinyal Komunikasi Satelit

Sehingga untuk setiap jumlah gelombang pembawa, ada titik operasi yang optimal.

Umumnya, dipersyaratkan agar  $(C/N)_{IM}$  dan oleh derau-deraunya lebih besar dari 20 dB, agar  $C/N$  praktis hanya ditentukan oleh  $(C/N)_{U/L}$  dan  $(C/N)_{D/L}$ .

Contoh:

Komunikasi gelombang mikro antar dua tempat A dan C, dimana digunakan stasiun pengulang pada stasiun B. Hubungan AB mempunyai kualitas  $C/N = 20$  dB dan hubungan BC mempunyai  $C/N = 15$  dB. Berapa  $(C/N)_{total}$  antara A dan C?

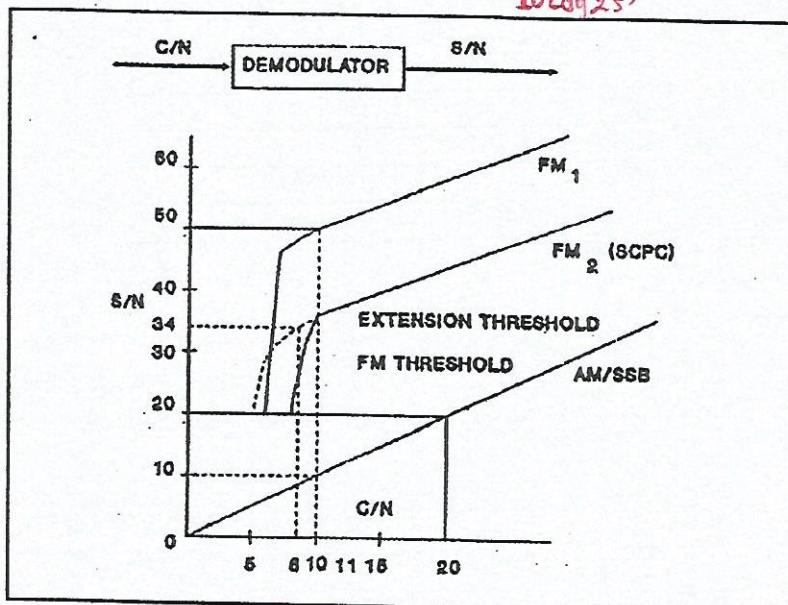
Jawab:

$$\text{Hubungan AB : } C/N = 20 \text{ dB} = 100$$

$$\text{Hubungan BC : } C/N = 15 \text{ dB} = 31,6 \approx 32$$

$$\text{Hubungan AC : } \frac{1}{(C/N)_{total}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{32} \approx \frac{1}{25}$$

$$(C/N)_{total} = 25 = 13,9 \text{ dB} \approx 14 \text{ dB}$$

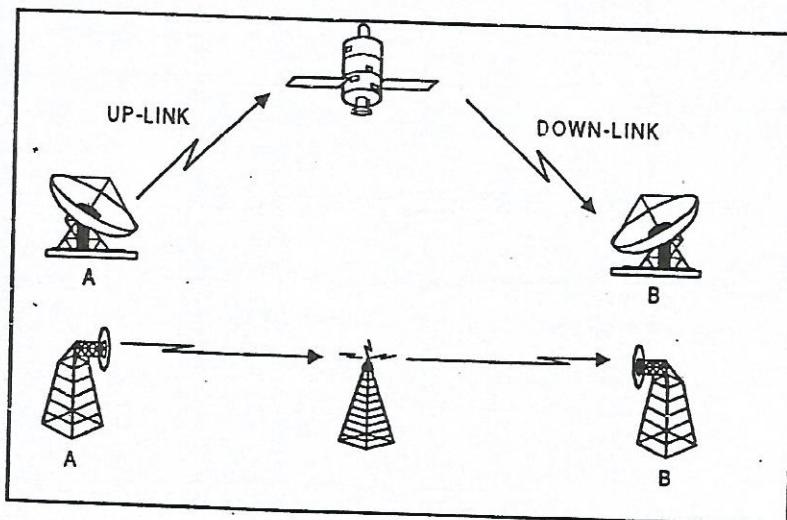


Gambar 4.9  
Macam-macam Threshold

# Perhitungan Hubungan (Link Calculation)

## 1. UMUM

Dalam komunikasi satelit, perhitungan hubungannya mirip dengan perhitungan hubungan suatu hubungan gelombang mikro yang biasa. Karena sebenarnya memang hubungan satelit juga merupakan sebuah hubungan gelombang mikro dengan satelitnya bertindak sebagai repeater (RF Repeater).



Gambar 5.1  
Link Calculation

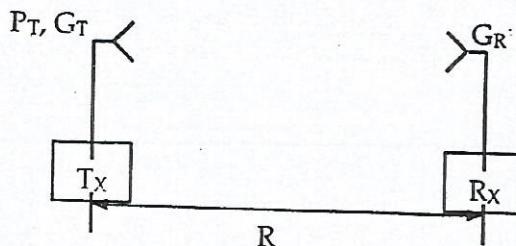
Jadi, disini ada dua hop yang harus diperhitungkan sekaligus yaitu:

1. Stasiun bumi A → satelit (disebut Up-Link)
2. Satelit → stasiun bumi B (disebut Down Link)

Karena satelit yang sekarang pada prinsipnya baru merupakan sebuah RF heterodyne repeater, keluaran satelit bergantung kepada masukannya.

Sehingga ada satu faktor yang harus diperhatikan, yaitu tingkat keluaran satelit yang menuju stasiun bumi B, bergantung kepada tingkat masukan ke satelit yang diterima dari stasiun bumi A.

Sedang untuk setiap hop akan berlaku perhitungan yang biasa:



Jika jauh Tx dan Rx adalah R, maka rapat daya di Rx adalah:

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \text{ Watt}$$

G<sub>T</sub> = Definisi gain = berapa kali rapat daya lebih baik dari isotropis

$$\frac{P_T}{4\pi R^2} = \text{rapat daya pada permukaan bola jari-jari } R \text{ (isotropis)}$$

Daya yang ditangkap oleh Rx adalah :

$W_R = P_R A_{eff}$  watt       $A$  = aperture antena penerima  
tetapi untuk setiap antena berlaku hubungan:

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \text{ atau } A_{eff} = \frac{G \lambda^2}{4\pi}$$

Sehingga daya yang ditangkap oleh Rx dapat dituliskan :

$$W_R = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} = \frac{P_T G_T}{(4\pi R/\lambda)^2} G_R \text{ [watt]}$$

Dengan memperhitungkan kehilangan-kehilangan lainnya, daya yang ditangkap adalah:

$$W_R = \frac{EIRP}{4\pi R^2} \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L}$$
$$= \frac{EIRP G_R}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} \frac{1}{L} = \frac{P_T G_T G_R}{L_{FS}} \frac{1}{L} = \frac{EIRP}{L_{FS}} \cdot G_R \frac{1}{L}$$

Dimana;  $P_T$  = daya pemancar

$G_T, G_R$  = faktor penguatan antena pemancar dan penerima

$A_{eff}$  = luas bukaan antena (antenna aperture)

$L_{FS}$  = kehilangan di ruang bebas (free space loss)

$L$  = kehilangan-kehilangan lainnya

$EIRP = P_T \cdot G_T$

Dalam faktor L ini dapat dimasukkan faktor-faktor:

\* Kehilangan di saluran (*transmission lines*)

- ◊ *Athmospheric loss* = kehilangan karena absorpsi energi oleh udara
- ◊ *Rain attenuation* = kehilangan karena redaman oleh hujan
- ◊ *Pointing loss* = kehilangan karena antena tidak benar-benar saling terarah, sehingga faktor penguatnya tidak pada titik maksimum atau kehilangan pembidikan.

Selain itu, karena antena penerima biasanya hanya dicirikan dengan G/T, maka rumus di atas juga sering ditulis sebagai :

$$\frac{C}{T} = \frac{P_T G_T G_R}{L_{FS} T} \frac{1}{L} = \frac{P_T G_T}{L_{FS}} \frac{G_R}{T} \frac{1}{L} \rightarrow C = W_R \text{ carrier level}$$

sehingga dalam bentuk logaritma menjadi:

$$\frac{C}{T} \left( \frac{dBW}{^o K} \right) = P_T + G_T + \frac{G_R}{T} - L_{FS} - L$$

Bahkan, sering juga dilanjutkan menjadi :

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{kT} (\text{dB Hz}) = P_T + G_T + \frac{G_R}{T} - L_{FS} - k - L$$

Karena jarak satelit ke stasiun bumi sudah ditentukan, jadi dapat dihitung dengan segera. Bergantung lokasi stasiun terhadap satelitnya, harga R bisa berubah dari 35.786 - 41.680 Km.

- \*  $k$  = konstanta Boltzmann = -228.6 (dBw /  $^o$ K Hz)
- \*  $N_0 = kT$  = Kerapatan derau (noise density)
- \* Faktor penguat antena dapat diperoleh dari rumus :

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2}$$

Karena umumnya antenanya adalah parabolic,  $A_{eff} = \gamma \frac{\pi D^2}{4}$

Dimana :  $D$  = diameter antena

$\gamma$  = Efisiensi penyinaran ( $0 < \gamma < 1$ )

Sehingga  $G = \gamma \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$ , untuk  $\gamma = 60\%$ , akan berlaku

$$G \text{ (dB)} = 18.2 + 20 \log D \text{ (m)} + 20 \log f \text{ (GHz)}$$

Untuk perhitungan singkat dapat digunakan form-form yang terlampir di appendix.

## 2. KEHILANGAN LINTASAN (Path Loss)

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam komunikasi satelit adalah kehilangan yang tinggi antara stasiun bumi dan satelitnya.

Path loss (faktor pengurangan) antara sumber dengan penerima, bergantung kepada jarak dan frekuensi.

Dalam sistem satelit, jarak ditentukan oleh ketinggian dari satelit atau dengan kata lain orbit dari satelit itu sendiri. Sedangkan makin tinggi frekuensi yang digunakan, makin besar kerugiannya. Untuk ruang hampa-udara besarnya kehilangan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan yang sama seperti pada gelombang mikro:

$$L_{FS} = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}, \text{ atau}$$

$$L_{FS} = 32.44 + 20 \log R (\text{Km}) + 20 \log f (\text{MHz}), \text{ (dB)}$$

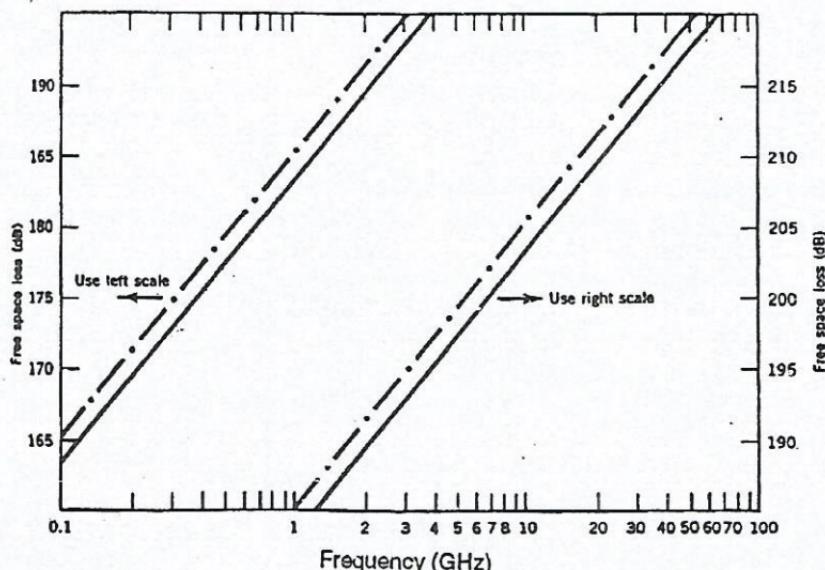
Dimana :  $R$  = jarak, dinyatakan dalam km.

$\lambda$  = panjang gelombang, dinyatakan dalam km.

$f$  = frekuensi, dinyatakan dalam MHz.

Sebagai contoh, SKSD yang digunakan oleh P.T. TELEKOMUNIKASI mempunyai jarak antara bumi dengan satelit sebesar 36.000 km. Digunakan frekuensi 6 GHz (Gigahertz, 1 GHz = 1000 MHz) untuk hubungan dari stasiun bumi ke satelit, besarnya  $L_{FS} = 200,6$  dB.

Untuk hubungan dari satelit ke stasiun bumi dengan menggunakan frekuensi 4 GHz, besarnya  $L_{FS} = 197,0$  dB.



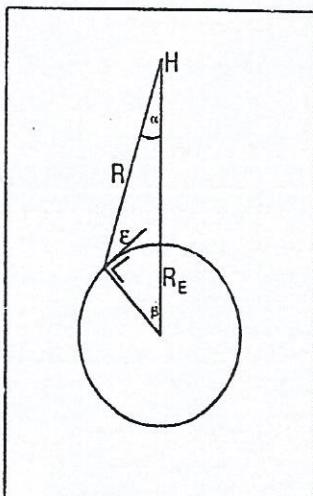
**Gambar 5.2**  
Grafik path loss satelit sebagai fungsi frekuensi

Akan tetapi, untuk setiap frekuensi,  $L_{FS}$  masih berubah sedikit bergantung kepada jarak stasiun bumi ke satelitnya.

Dalam praktik, harga ini juga berkaitan dengan sudut elevasi dengan jarak yang bergerak dari 35.786 km untuk titik di khatulistiwa yang berada persis di bawah satelitnya (*sub satellite point*) sampai 41.680 km untuk titik yang paling jauh yang masih dapat melihat satelitnya (*edge of the earth*), sudut elevasi berubah dari  $90^\circ$  sampai  $0^\circ$  serta perbedaan harga  $L_{FS}$  bergerak dari 0 sampai 1,324 dB.

Seperti terlihat dari gambar, untuk global coverage, lebar berkas satelit adalah  $2 \times 8,69^\circ = 17,38^\circ$ .

Hubungan antara sudut elevasi dan jarak ke satelit diperlihatkan dalam rumus-rumus berikut:



Jarak stasiun bumi ke satelit =  $R$ , bergantung kepada sudut elevasi.

Besarnya  $R$  dapat dihitung dari rumus:

$$(R_E + H)^2 = R^2 + R_E^2 - 2R R_E \cos(90^\circ + \epsilon)$$

dimana:

$R_E$  = jari-jari bumi (6371 km)

$H$  = tinggi satelit di atas muka bumi (35,786 km)

$\epsilon$  = sudut elevasi

$$R^2 + 2R R_E \sin \epsilon - [(R_E + H)^2 - R_E^2] = 0$$

$$R = -R_E \sin \epsilon \pm \sqrt{(R_E \sin \epsilon)^2 + (2R_E + H)H}$$

karena  $R$  harus positif, maka:

$$R = -R_E \sin \epsilon + \sqrt{(R_E \sin \epsilon)^2 + H(2R_E + H)}$$

Rumus lain yang juga dapat digunakan adalah, rumus sinus, dimana berlaku:

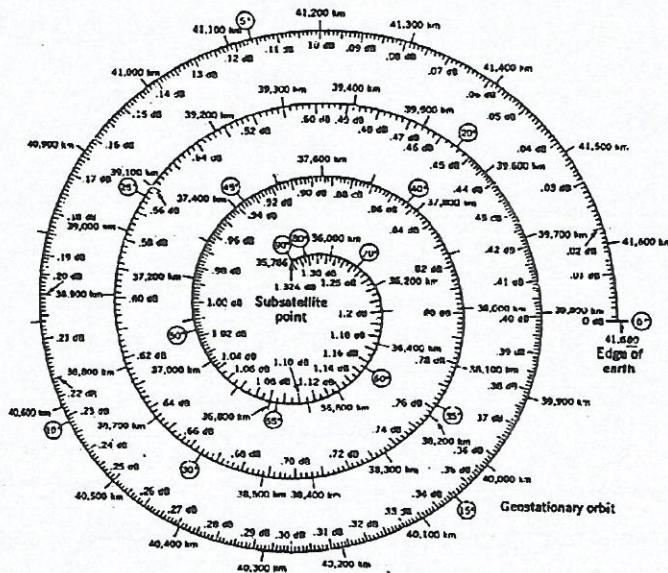
$$\frac{H + R_E}{\sin(90^\circ + \epsilon)} = \frac{R_E}{\sin \alpha} = \frac{R}{\sin(90^\circ - \alpha - \epsilon)}$$

Dengan rumus ini misalnya sudut elevasi  $\epsilon$  dapat dihitung jika dari cakupan satelit diketahui sudut  $\alpha$ -nya.

Hubungan-hubungan yang dapat diturunkan dari persamaan di atas:

- $\varepsilon = \text{arc.cos} \left( \frac{H + R_E}{R_E} \sin \alpha \right)$
- $\alpha = \text{arc.sin} \left( \frac{R_E}{H + R_E} \cos \varepsilon \right)$
- $\beta = \text{arc.cos} \left( \frac{R_E}{H + R_E} \cos \varepsilon \right) - \varepsilon$

Hubungan  $R$ ,  $\varepsilon$  dan perbedaan  $L_{FS}$  sebagai suatu fungsi  $R$  atau  $\varepsilon$  diperlihatkan dalam gambar berikut:



Scale		Range and Units	
Inner	$\Delta S$	0 – 1.3424 dB	Slant range loss variation
Outer	$S$	35,786 – 41,680 km	Range (geostationary)
	$\theta$	$0^\circ$ – $90^\circ$	Elevation angle

Gambar 5.3  
Grafik perbedaan kehilangan VS jarak atau sudut elevasi

Contoh perhitungan yang sederhana, dapat menggunakan form-form berikut:

Dari rumus-rumus yang sudah dibahas, dapat dilakukan perhitungan hubungan.

### 3. UP - LINK (U/L)

- ⇒ Untuk U/L ini digunakan EIRP stasiun bumi dan G/T satelitnya.  
⇒ Untuk  $L_{FS}$  digunakan frekuensi uplink.

---

Earth station location .....  
Up-link frequency  $f = \dots$  GHz Earth station antenna diameter  $D = \dots$  m  
Satellite name.....Up-link beam.....

---

#### Earth Station

- (1) Power at antenna ( $P = \dots$  W), Dbw ..... 3,4,5 ..... (a)  
(2) Antenna gain, dBi ..... (+) ..... (b)  
(3) EIRP, dBW ..... (=) ..... (c)

#### Earth Space

- (4) Free space path loss, dB (..... km) ..... (-) ..... (d)

#### Satellite

- (5) Other Losses, dB ..... (-) .....  
(6) Satellite G/T<sub>s</sub>, dB/K ..... (+) .....  
(7) (C/T)<sub>U</sub>, dBW/K ..... (=) .....  
(8) 1/Boltzmann constant, dBw/K/Hz ..... (+) 228,6  
(9) (C/kT)<sub>U</sub>, dBHz ..... (=) .....
- 

(a)  $10 \log P$

(b)  $18,2 + 20 \log D + 20 \log f$  (includes antenna efficiency of 60%)

(c) For an elevation angle of 15° (range = 40.000 km) and

f	1,6	6	14	30	GHz
Loss	181	200	206	214	dB

$$(9) = (7) + (8)$$


---

#### 4. DOWN - LINK (D/L )

- ⇒ Untuk down-link ini, digunakan EIRP satelit dan  $G_{R/T}$  stasiun bumiinya.
- ⇒ Untuk  $L_{FS}$  digunakan frekuensi down-link.
- 

Earth station location.....

Down-link frequency f = .....GHz Earth Station

Antenna D = .....m

Satellite ..... Down-link beam.....

---

#### Satellite

- (1) Satellite EIRP, dBW (+).....(a)
- (2) Output Back Off, dBW (-).....
- (3) Free space path loss in clear sky  
..... km), dB (-).....(b)
- (4) Other losses, dB (-).....

#### Earth Station

- (5) Earth Station G/T<sub>s</sub>, dBi/K (+).....(c)
- (6) C<sub>d</sub>/T<sub>d</sub>, dBW/K (=).....(d)
- (7) 1/Boltzmann constant, dBw/K/Hz (+) 228,6
- (8) C<sub>d</sub>/kT<sub>d</sub>, dBHz (=).....(e)
-

- (a) Obtain from the satellite carrier. Use a backed off value per carrier in multicarrier cases;
- (b) For an elevation angle of  $15^\circ$  (range = 40.000 km) and

f	1,5	4	11	12	GHz
Loss	187	197	205	206	dB

$$(e) = (6) + 228.6$$


---

Cuma untuk arah satelit ke stasiun bumi ini, untuk EIRP satelitnya harus diperhitungkan dari berapa pengurangan masukan (input back-offnya - IBO), yaitu berapa kuat sinyal yang diterima satelit dibanding masukan maksimum yang dinyatakan dalam maximum Flux Density (SFD). Besarnya IBO ini akan menentukan berapa pengurangan keluaran (output back off - OBO) dibanding EIRP maksimum. Terutama yang untuk multicarrier, EIRP harus digunakan aggregate IBO dan aggregate OBO, baru dikurangi sesuai jumlah gelombang pembawa.

Misalnya :

- ♣ Sering digunakan untuk aggregate IBO -7dB, OBO-nya adalah -4dB.
- ♣ Jadi, jika digunakan 5 gelombang pembawa misalnya, maka gelombang pembawa IBO-nya adalah:  
 $= -7 - 7 = -14 \text{ dB}$  sedang gelombang pembawa OBO-nya adalah:  $= -7 - 4 = -11 \text{ dB}$ .
- ♣ Sehingga untuk sebuah satelit dengan EIRP 34.5 dBW, EIRP per gelombang pembawa adalah:  
 $34.5 - 11 = 23.5 \text{ dBW}$ .

Untuk perhitungan dengan Flux Density pada masukan satelit, hitungan untuk C/T untuk arah stasiun bumi ke satelit harus digunakan rumus berikut:

$$C = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} A_R = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \frac{G_R}{4\pi/\lambda^2}$$

•

Karena :  $\frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$  = rapat daya di antena penerima satelit

$$C = \frac{\text{SFD} \cdot G_R}{\text{Gain dari antena dengan luas } 1 \text{ m}^2}$$

SFD (Saturation Flux Density) = harga maksimum dari rapat fluks

$$\frac{4\pi \cdot 1}{\lambda^2} = \text{faktor penguat antena luas } 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Sehingga } \frac{C}{T} = \frac{\text{SFD}}{G_{1 \text{ m}^2}} \frac{G_R}{T}$$

$$\text{Atau } \frac{C}{T} \left( \frac{\text{dBW}}{^\circ \text{K}} \right) = \text{SFD} \left( \frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right) + \frac{G_R}{T} \left( \frac{\text{dB}}{^\circ \text{K}} \right) - G_{1 \text{ m}^2} (\text{dB})$$

Untuk pengukuran kinerja hubungan, biasanya dikehendaki nilai SFD-nya.

$$\text{Atau : SFD} = \frac{P_T G_T}{\left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2} \cdot \left( \frac{4\pi}{\lambda^2} \right)$$

$$= \text{EIRP(dBW)} - L_{FS} + G_{1\text{m}^2}$$

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{k T} = \frac{\text{Carrier}}{\text{Noise Density}}, \text{ sehingga rumus menjadi:}$$

$$\frac{C}{N_0} (\text{dB Hz}) = \text{SFD} \left( \frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right) + \frac{G_R}{T} \left( \frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right) - G_{1\text{m}^2} (\text{dB}) - k$$

Faktor penguat antena luas  $1\text{m}^2$ , untuk frekuensi U/L 6 GHz adalah:

$$G_{1\text{m}^2} (\text{dB}) = 10 \log \frac{\frac{4\pi \cdot 1}{\left( \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} \right)^2}}{= 10 \log \frac{4\pi \times 36 \times 10^{18}}{9 \times 10^{16}}} = 37.0 \text{ dB}$$

Sedang untuk menghitung harga EIRP stasiun bumi untuk mendapatkan harga SFD tertentu adalah:

$$\text{Dari SFD} = \frac{\text{EIRP}}{4\pi R^2}, \text{untuk } R = 36.000 \text{ km:}$$

$$\begin{aligned} \text{SFD} \left( \frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right) &= \text{EIRP} (\text{dBW}) - 10 \log (4\pi \times 36.000.000^2) \\ &= \text{EIRP} - 162.1 \end{aligned}$$

Faktor 162.1 tergantung R dan bergerak dari 162.06 -- 163.39 dB  
Harga SFD biasanya sudah dispesifikasikan untuk tiap satelit.  
Harga SFD yang diisikan adalah harga SFD yang dispesifikasikan dan dikurangi lagi dengan pengurangan sinyal masukkannya.

Hal ini sering diperlukan, karena yang biasanya diminta adalah berapa besarnya EIRP agar memperoleh suatu harga flux di satelitnya.

Sebagai contoh dapat dilihat dalam perhitungan berikut:

A) Dari satelit PALAPA C diketahui:

- i) Posisi satelit
- ii) EIRP
- iii) SFD

*150° 30' 00" BT ✓  
37.5 dBW  
-95.0 dBW/m²*

*jika dihitung  
diketahui yg benar*

- iv) G/T -2.0 dB  
 v) Transponder RFBW 36.0 MHz

B) Suatu jaringan VSAT dengan sistem FDMA/TDMA menggunakan:

- i) burst rate 1200 kbps
- ii) FEC  $\frac{1}{2}$
- iii) Mod. RF QPSK
- iv) jarak gelombang pembawa (carrier spacing)  $1.37 \times R_s$
- v) Jumlah gelombang pembawa/transponder 35 buah

C) Dimisalkan:

- i) Frekuensi up link : 6.010 MHz ✓
- Frekuensi down link : 3.785 MHz ✓
- ii) Agregate IBO : -8 dB ✓
- Agregate OBO : -4.2 dB ✓

D) Analisis Up - Link

Jumlah gelombang pembawa = 35 buah atau 15.5 dB,  
 maka IBO per gelombang pembawa =  $-8 - 15.5 = -23.5$  dB

Sehingga Flux Density di satelit :

$$FD = -95 - 23.5 = -118.5 \frac{\text{dBW}}{\text{m}^2}$$

Jika sudut elevasi stasiun bumi pemancar sekitar  $50^\circ$   
 (ekivalen dengan jarak  $R = 37.100\text{km}$ ), maka:

dari  $FD = EIRP - 162.36$

maka  $EIRP / \text{Gelombang pembawa}$ :

$$= -118.5 + 162.36 = 43.86 \text{ dBW}$$

Akan tetapi, ditambah dengan perhitungan kehilangan-kehilangan, seperti: absorpsi udara = 0.1 dBW, kehilangan pembidikan (pointing loss) = 0.5 dB.

Maka  $EIRP$  pemancar stasiun bumiya adalah:

$$EIRP = 43.86 + 0.6 \text{ dBW}$$

$$\approx 44.5 \text{ dBW} \quad \checkmark$$

Jika misalnya digunakan antena diameter 2.4 m dengan efisiensi 60%, dan kehilangan di waveguide = 0.5 dB, maka daya pemancar SSPA-nya adalah = EIRP - GT + L<sub>wg</sub>

$$P = 44.5 - 41.4 + 0.5 = 3.6 \text{ dBW}$$

atau daya SSPA-nya cukup sekitar = 2.3 watt

Diperoleh kinerja untuk hubungannya sebagai berikut:-

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{kT} = EIRP - L_{FS} + \frac{G_R}{T} - L - k \text{ (dB)}$$

$$= 44.5 - 199.4 - 2.0 - 0.6 + 228.6 = 71.1 \text{ dB}$$

#### E) Analisis Down - Link

Dengan EIRP satelit = 37.5 dB dan pengurangan/gelombang pembawa adalah - 4.2 15.5 = - 19.7 dB, maka EIRP/gelombang pembawa = 17.8 dBW

Jika stasiun lawan pun mempunyai antena diameter 2.4 m efisiensi 60% dan sistem temperatur 82°K, maka dengan absorpsi udara = 0.05 dB dan kehilangan pembidikan 0.35 dB. Perhitungan hubungan adalah sebagai berikut:

$$\frac{C}{kT} = EIRP - L_{FS} + \frac{G_R}{T} - L - k$$

$$= 17.8 - 195.4 + 18.2 - 0.35 + 228.6$$

$$= 68.85 \text{ dB}$$

37.5  
19.7  
17.8

$\frac{C}{N_0}$  sistem, diperoleh dari :

$$\frac{1}{\frac{C}{N_0}} = \frac{1}{(C/N_0)_u} + \frac{1}{(C/N_0)_d}$$

$$= \frac{1}{1.288 \times 10^7} + \frac{1}{7.673 \times 10^6}$$

$$= 0.78 \cdot 10^{-7} + 1.30 \cdot 10^{-7} = 2.08 \cdot 10^{-7}$$

$10 \log n = 71.1 \text{ dB}$

$71.1 = 71.1$   
 $10^6 = 10^{7.1}$

$$\text{Hingga : } \frac{C}{N_o} = 66.8 \text{ dB}$$

Dengan burst rate 1200 kbps dan FEC =  $\frac{1}{2}$  dengan QPSK,  
maka  $R_{bs} = 600$  kbps

$$\frac{E_{bi}}{N_o} = \frac{C}{N_o} \cdot \frac{1}{R_{bs}} \text{ atau } \rightarrow \log(600 \cdot 1200 \text{ bps})$$

$$\frac{E_{bi}}{N_o} (\text{dB}) = 66.8 - 57.8 = 9 \text{ dB}$$

$$\text{Sedang : } \frac{C}{N} = \frac{C}{kTB} = \frac{C}{kT \cdot F \cdot R_s} = (66.8 - 57.8 - 1.50) \text{ dB}$$

$$\text{atau } \frac{C}{N} = 7.5 \text{ dB}$$

## 5. LINK CALCULATION DALAM PERENCANAAN SISTEM

Dalam sebuah sistem Komunikasi Satelit, perhitungan hubungan ini cukup penting, karena mempengaruhi design peralatan stasiun bumi, terutama antena dan pemancar/penerima.

Biasanya tujuan jaringan sudah menentukan kecepatan sinyal (*bit rate*) yang diperlukan. *Bit rate* ini akan menentukan lebar pita frekuensi (*frequency-band*) yang diperlukan.

Daya per gelombang pembawa yang diperlukan akan ditentukan oleh *bit error rate* yang dipersyaratkan dan ukuran antena terkecil atau G/T yang ada dalam jaringan. Arah penerimaan ini lebih kritis karena daya pancaran satelit yang terbatas.

Sedang dalam arah pemancaran, ukuran antena masih dapat dikompensir dengan menaikkan daya pemancar stasiun lainnya.

Namun, antara faktor-faktor di atas saling terkait sehingga biasanya dicari solusi yang optimal dengan pertimbangan antara lain:

1. Paling ideal jika persentasi daya per gelombang pembawa dihitung dari daya transponder dan persentase lebar pita frekuensi dihitung dari lebar jalur transponder, sama besarnya. Karena efisiensi penggunaan resources satelitnya maksimal.
2. Perlu juga dipertimbangkan ukuran-ukuran antena dan LNA serta SSPA yang ada di pasaran.
3. Harga juga merupakan pertimbangan yang cukup penting, bahkan untuk langganan/calon pembeli sering merupakan faktor penentu. Harga ditentukan oleh harga peralatan dan biaya pemeliharaan serta biaya sewa transponder.

Jadi, dalam rekayasa sistem sering diadakan penyesuaian-penesuaian bahkan dengan perubahan permintaan calon pengguna/pembeli, untuk optimalisasi faktor-faktor diatas.

Misalnya, untuk suatu sistem SCPC dengan spesifikasi sebagai berikut:

#### *Satelit*

$$\text{EIRP} = 34 \text{ dBW}$$

$$\text{SFD} = -89,7 \text{ dBW/m}^2$$

$$\text{G/T} = -1.8 \text{ dB/}^\circ\text{K}$$

$$\text{Transponder Lebar pita} = 36 \text{ MHz}$$

$$\text{Aggregate IBO} = -8 \text{ dB}$$

$$\text{Aggregate OBO} = -4.5 \text{ dB}$$

### *Stasiun Bumi A*

Frekuensi U/L = 5985 MHz  
 Diameter antene = 4.6 m  
 $\eta = 55\%$   
 kehilangan pembidikan = 0.7 dB

### *Stasiun Bumi B*

Frekuensi D/L = 3760 MHz  
 Diameter antena 2.4 m  
 $\eta = 66\%$   
 kehilangan pembidikan = 0.5 dB  
 Temperatur Derau Sistem ( $T_s$ ) = 112.7 °K  
 C/N minimum = 10.4 dB

### *Kehilangan lain-lain*

Absorpsi udara 0.3 dB U/L dan 0.2 dB D/L

### *Data yang dikirim*

Inforate :  $R_s = 64 \text{ KBps}$ , FEC =  $\frac{1}{2}$ , QPSK, F = 1,2

### *Analisis:*

Untuk D/L ke stasiun bumi, diperoleh :

$$G_R = 37.7 \text{ dB}$$

$$G_R/T = 17.2 \text{ dB}$$

$$\text{Dari } \frac{C}{N} = (\text{EIRP})_{\text{sat}} - L_{\text{FS}} + \frac{G_R}{T} - L - k - B$$

$$10.4 = (\text{EIRP})_{\text{sat}}/\text{gelombang pembawa} - 195.3 + 17.2 - \\ 0.7 + 228.6 - 48.9$$

$$\text{atau } (\text{EIRP})_{\text{sat}}/\text{gelombang pembawa} = 9.5 \text{ dBW}$$

Dari EIRP/gelombang pembawa = EIRP - OBO - Jumlah gelombang pembawa, maka akan diperoleh:

$$\text{Jumlah gelombang pembawa} = 34 - 4.5 - 9.5 = 20 \text{ dB}$$

atau jumlah gelombang pembawa (jika seluruh transponder digunakan) = 100 buah

Jadi, daya yang diambil oleh 1 gelombang pembawa = 1.00% dari daya transponder.

Sedang, lebar band yang digunakan oleh 1 gelombang pembawa hanya = RFBW/gelombang pembawa

$$= \frac{64 \cdot 1.2}{36.000} = 0.21\%$$

Jadi, dalam sistem ini terlihat bahwa daya akan habis dulu.

Hal seperti ini sebenarnya umum terjadi pada satelit-satelit yang saat ini beroperasi di band\_C karena design yang ada, EIRP-nya masih relatif kecil.

Untuk satelit-satelit yang beroperasi di daerah band Ku, biasanya terjadi sebaliknya, yaitu frekuensi/saluran habis dulu baru dayanya.

Dalam contoh di atas, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan daya transponder, dapat dilakukan dengan menaikkan  $\frac{G}{T}$  stasiun bumi.

Misalnya agar daya/saluran (EIRP/carrier) ialah = 0.25% atau jumlah gelombang pembawa = 400

Sehingga:

$$\text{OBO/gelombang pembawa} = -4.5 - 26 = -30.5 \text{ dB}$$

Sehingga hitungan diatas menjadi:

$$10.4 = 34 - 30.5 - 195.3 + \frac{G_R}{T} - 0.7 + 228.6 - 48.9$$

$$\text{atau } \frac{G_R}{T} = 23.2 \text{ dB}$$

Harga ini akan bisa dicapai dengan ukuran diameter antena disekitar 4.8 m.

Pemilihan disini, akan dipengaruhi oleh perhitungan faktor-faktor ekonomis, dengan membandingkan kenaikan harga antena dibandingkan dengan peningkatan sewa transponder.

Barangkali, dengan menggunakan antena diameter 3.8 m

dengan  $\frac{G_R}{T} = 20.8$ , maka EIRP/gelombang pembawa = 5.9 dBW. Jumlah gelombang pembawa =  $34 - 4.5 - 5.9 = 23.6$  dB atau gelombang pembawa akan menjadi sekitar 230, atau daya/gelombang pembawa  $\approx 0.43\%$

Solusi ini cukup meningkatkan efisiensi penggunaan transponder.

### 5.1 Link Calculation dalam Sistem SCPC

Perhitungan hubungan dalam praktiknya dapat diwakili oleh sistem SCPC dan TDMA.

Hasil dari suatu design untuk suatu sistem SCPC, terlihat dalam Tabel 5.1

Dari Tabel terlihat bahwa

- ⇒ Coding rate saluran suara = 32 Kbps
- ⇒ Digunakan satelit PALAPA B2P
- ⇒ Perhitungan hubungan untuk transmisi dari Hub (antena diameter 3.8 m) dan Remote (antena diameter 2.4 m)
- ⇒ Diinginkan C/N untuk hubungan yang paling kritis ini minimum sebesar 12.3 dB.

Penjelasan perhitungan-perhitungan:

#### Down Link

- Menurut grafik perbedaan kehilangan vs jarak atau sudut elevasi, untuk sudut  $50^\circ$ ,  $R = 37100 \text{ km}$
- $L_{FS} = 32.44 + 20 \log 3760 + 20 \log 37100 = 195.3 \text{ dB}$
- $G_R/T = (10 \log 0.66 + 20 \log \frac{10\pi}{3} + 20 \log 2.4 + 20 \log 3,760) - 10 \log 112.7 = 17 \text{ dB}$
- $C/N = EIRP/carr - L_{FS} - \text{absorbsi udara} - \text{pointing loss}$   
 $\quad + \frac{G}{T} - B - k$
- dari  $12.3 = EIRP/\text{gelombang pembawa} - 195.3 - 0.2 - 0.5 + 17 - 44.1 + 228.6$  diperoleh,  $EIRP/\text{gelombang pembawa} = 6.8 \text{ dBW}$   
Untuk  $EIRP \text{ sat} = 34 \text{ dB}$  dan Aggregate OBO = 4.5  
Jumlah gelombang pembawa =  $34 - 6.8 - 4.5 = 22.7 \text{ dB}$ ,  
atau jumlah gelombang pembawa =  $186.2$  atau  
daya/gelombang pembawa = 0.54%

#### Up Link

Dari:  $SFD = EIRP - L_{FS} + G_{1m^2} - L$  dan pengurangan per gelombang pembawa =  $(22.7 + 8) \text{ dB}$ , diperoleh:  $-89.7 - 30.7 = EIRP - 199.4 + 37 - 0.3 - 0.7 \rightarrow EIRP = 43.0 \text{ dBW}$

sedang:  $C/N = EIRP - L_{FS} - L - k - B + \frac{G}{T}$   
 $= 43 - 199.4 - 0.3 - 0.7 + 228.6 - 44.1 - 1.8 = 25.3 \text{ dB}$

#### Hubungan Keseluruhan

Dari persyaratan C/I Intermode, C/I adjacent satellite (satelit tetangga), C/I cross pole, C/I intermod di stasiun bumi, maka:

$$\frac{1}{(C/N)_{\text{total}}} = \frac{1}{(C/N)_1} + \frac{1}{(C/N)_2} + \dots + \frac{1}{(C/N)_u} + \frac{1}{(C/N)_d}$$

$$\frac{1}{(C/N)_{\text{total}}} = \frac{1}{338.8} + \frac{1}{17.0} + \frac{1}{831.8} + \frac{1}{1695.6} + \frac{1}{177.8} + \frac{1}{162.2} + \frac{1}{631.0}$$

$$= 0.0003 + 0.0588 + 0.0006 + 0.0056 + 0.0062 + 0.0016$$

$$= 0.0743 \rightarrow \left( \frac{C}{N} \right) = 10 \log \frac{1}{0.0743} = 11.2 \text{ dB}$$

Data yang dikirim

$$R_{bs} = 32 \text{ Kbps}, FEC = \frac{3}{4}, F = 1.2, \text{QPSK}$$

$$\rightarrow RFBW = \frac{4/3 \times 32}{2} \times 1.2 = 25.6 \text{ KHz} \text{ atau } RFBW = 0.8 \times R_{bs}$$

Sedang :

$$\diamond \text{ Burst rate} = \frac{4}{3} \times 32 \text{ Kbps} = 43 \text{ Kbps (E}_{bt}\text{)}$$

$$\diamond \text{ Dipersyaratkan, untuk error rate } 10^{-6} \rightarrow \frac{E_{bt}}{N_o} = 8.3 \text{ dB}$$

$$\diamond \frac{E_{bi}}{N_o} = \frac{C/R_{bs}}{N_o} = \frac{C}{N_o} \frac{1}{R_{bs}} = \frac{C \times 0.8}{RFBW}$$

$$= \frac{C}{N} \times 0.8 \rightarrow \frac{C}{N} = (8.3 + 1) \text{ dB}$$

$$\approx 9.3 \text{ dB (minimum)}$$

$$\diamond RFBW/\text{Gelombang pembawa} = \frac{0.8 \times 32}{36000} = 0.08\%$$

Tabel 5.1 LINK CALCULATION FOR SCPC SYSTEM

LINK BUDGET : RECEIVE E/S ANT. SIZE = 2.4 m

Satellite: PALAPA B2P

EIRP Contour = 34.0 dBW , G/T Contour = - 1.8 dB/K

Voice Channel : 32.0 Kbps, QPSK, FEC Rate = 0.75, Voice/Fax

	BASELINE PARAMETER	Value	Unit
CARRIER DATA	No of Crts/xponders	186.2	
	Carrier Info Rate	32.0	Kbps
	FEC Code Rate	0.75	
	Crt Xmission Rate	43	Kbps
	Threshold Eb/No	7.1	dB
	No of bits/symbol (QPSK)	2	Bits
	Demod BT Product (F)	1.20	KHz
	Crt Noise Bandwidth	25.6	
SATELLITE DATA	Carrier Spacing	30.0	KHz
	Satellite	PALAPA	B2P
	Location	+133.0	EL
	Saturation EIRP	34.0	dBW
	G/T	-1.8	dB/K
	Attn Setting	6.0	dB
	Xponder Gain	164.2	dB
	SFD	-89.7	dBW/m <sup>2</sup>
	Xponder Bandwidth	36.0	MHz
	Agg Input IBO	8.0	dB
	Agg Output OBO	4.5	dB
	Uplink Frequency	5.985	GHz
GROUND SEGMENT DATA	Downlink Frequency	3.760	GHz
	Tx Antenna Dia	3.8	meters
	Tx Antenna Effcy	65.2	%
	Tx Antenna Gain	45.7	dBi
	Tx Pointing Losses	0.7	dB
	Rx Antenna Dia	2.4	meters
	Rx Antenna Effcy	66	%
	Rx Antenna Gain	37.7	dBi
	Rx Pointing Losses	0.5	dB
	Pre LNA Losses	0.27	dB
	LNA Noise Temp	65.0°	K
	Ant, etc Temp	34.6°	K
	Cl Sky Noise Temp	117°	K
	Rx Clr Sky G/T	17.0	dB/K

RAIN MARGINS	Uplink Rain Attn Downlink Rain Attn	2.0 0.7	dB dB
SITE GEOGRAPHIC DATA	Tx E/S Elev Angle	50.0	deg
	Rx E/S Elev Angle	50.0	deg
MISC LOSSES	S/C Isolation	33.0	dB
	Tx E/S Isolation	25.0	dB
	Rx E/S Isolation	25.0	dB
MISC LOSSES	Uplink Free Sp Loss	199.4	dB
	Downlink Free Sp Loss	195.3	dB
	Uplink Atmos Attn	0.3	dB
	Downlink Atmos Attn	0.2	dB

	LINK PERFORMANCE	C/I Sky	Up Fade	Down Fade	Unit
UPLINK BUDGET	Satellite SFD	-89.7	-89.7	-89.7	dBW/m <sup>2</sup>
	Agg Input B.O.	8.0	8.0	8.0	dB
	Input Backoff/Crr	30.7	32.7	30.7	dB
	Crr Flux Density	-120.4	-122.4	-120.4	dBW/m <sup>2</sup>
	Gain of a Sq meter	37.0	37.0	37.0	dBi
	Uplink Path Losses	199.7	201.7	199.7	dB
	Carrier Up EIRP	43.0	43.0	40.3	dBW
	Satellite G/T	-1.8	-1.8	-1.8	dB/K
	Tx Pointing Loss	0.7	0.7	0.7	
	C/N Uplink	25.3	23.3	25.3	dB
DLINK BUDGET	Saturation EIRP	34.0	34.0	34.0	dBW
	Agg Output B.O.	4.5	4.5	4.5	dB
	Output Backoff/Crr	27.2	29.2	27.2	dB
	Carrier Dn EIRP	6.8	4.8	6.8	dBW
	Dnlink Path Losses	195.5	195.5	196.2	dB
	Rx Pointing Losses	0.5	0.5	0.5	dB
	C/I Sky E/S G/T	17.0	17.0	17.0	dB/K
	Degradation in G/T	0.0	0.0	1.4	dB
COMPOSITE LINK	C/N Downlink	12.3	10.3	10.2	dB
	C/N Uplink	25.3	23.3	25.3	dB
	C/N Downlink	12.3	10.3	10.2	dB
	C/I Intermod (S/C)	29.2	27.2	29.2	dB
	C/I Uplink Adj Sat	32.2	30.2	32.2	dB
	C/I Downlink Adj Sat	22.5	20.5	22.5	dB
	C/I Xpol	22.1	21.4	22.0	dB
	C/I Intermod (E/S)	28.0	28.0	28.0	dB

	C / (Nu, d) C / (Nu, d, ims/c) C / (Nu, d, im, i ) Total LINK MARGIN	12.1 12.0 11.2 1.9	10.1 10.0 9.3 -0.0	10.1 10.0 9.4 0.2	dB dB dB dB
MODEM	Minimum BER Minimum Rreqd Ebi/No Minimum Rreqd C/N		1. OE-06 8.3 9.3		dB dB dB
ANTENNA EARTH STATION HPA	E/S EIRP/Crr Rreqd (Cl Sky) Tx Gain Tx IFL Losses etc Tx Power Rreqd/Crr (Cl Sky) or No of Carriers SSPA Output Backoff Voice Activity Factor MINIMUM HPA SIZE REQD 1 Ch E/S (Backed off 6 dB),		43.0 45.7 0.0 -2.7 0.5 1.0 6.0 100.0 2.1	dBW dB dB dBW Watts dB % Watts	

SUMMARY		
% Avail S/C Power Rreqd/Crr	0.54	%
% Xponder Bandwidth Rreqd/Crr	0.083	%
Clear Sky Link Margin	1.9	dB
Minimum BER	1. OE-06	

### Penguat Akhir Stasiun Bumi

Karena EIRP/gelombang pembawa = 43.0 dBW, Faktor penguat Antena = 45.7 dB, maka Daya/gelombang pembawa = - 2.7 dBW atau = 0.5 watt. Untuk setiap gelombang pembawa perlu 0.5 watt atau dengan 6 dB, pengurangan kira-kira perlu SSPA ukuran 2 watt/ gelombang pembawa, agar SSPA bekerja di daerah liniernya. Jadi, jika satu stasiun bumi harus mempunyai 5 gelombang pembawa, harus digunakan SSPA 10 watt.

Dalam jalur penerimaan satelit memang sering dipasang *pad* (peredam) untuk menjaga agar keluaran penguatnya satelit tidak didrive terlalu besar sehingga overload.

### Sudut Azimuth dan Elevasi Antena

#### ■ Posisi satelit 113 BT

Sudut Elevasi Stasiun Bumi Tx dan Stasiun Bumi Rx dianggap masing-masing  $50^\circ$ , yang merupakan sudut rata-rata elevasi Stasiun-Stasiun Bumi di Indonesia.

*Catatan :* Dalam perhitungan bisa saja ada beda  $\pm 0.1$  dB karena adanya pembulatan-pembulatan.

## 5.2 Link Calculation dalam Sistem TDMA

Dalam sistem TDMA, perhitungan sebenarnya sama saja dengan SCPC. Bedanya cuma dalam hal bit rate yang lebih tinggi dalam satu gelombang pembawa.

Dalam Tabel 5.2, diperlihatkan contoh perhitungan untuk sistem TDMA.

### Down link

- Menurut grafik perbedaan kehilangan vs jarak atau sudut elevasi (Gambar 5.3), untuk sudut elevasi  $26.5^\circ$ ,  $R = 38.950$  km.  
$$L_{dB} = 32.44 + 20 \log 3785 + 20 \log 38950 = 195.8 \text{ dB}$$
tambahan kehilangan lain =  $0.5 \text{ dB}$
- $G_r/G_t = 10 \log 0.58 + 20 \log \frac{10\pi}{3} + 20 \log 2.4 + 20 \log 3.785 - 10 \log 82.0^\circ = 18.0 \text{ dB}$ dimisalkan

$$\begin{aligned} \bullet \quad C/N_0 &= \frac{\text{EIRP} - \text{OBO}}{\text{Carrier}} - L_{FS} + \frac{G}{T} - L + k \\ &= 37.5 - 19.7 - 196.3 + 18 - 0.5 + 228.6 = 67.6 \text{ dB} \end{aligned}$$

Pengurangan Gelombang pembawa = 15.5 → Jumlah gelombang pembawa = 35.0  
atau daya/gelombang pembawa = 2.9%

$$\begin{aligned} \text{Lebar pita Gelombang pembawa} &= \frac{1200}{2} \times 1.37 = 822 \text{ KHz} \\ &= \frac{822}{36000} = 2.3\% \end{aligned}$$

Terlihat bahwa designnya cukup baik dalam menjaga efisiensi penggunaan daya dan lebar frekuensi transpondernya. Jumlah gelombang pembawa diperoleh dari  $E_{bi}/N_0$  minimum yang dikehendaki sebesar 7.8 dB.

#### Up link

- ◎ Untuk sudut elevasi  $50^\circ$ ,  $R = 37.100 \text{ km}$
- ◎  $L_{FS} = 32.44 + 20 \log 6010 + 20 \log 37100 = 199.4 \text{ dB}$   
kehilangan lainnya = 0.3 dB
- ◎  $SFD = \text{EIRP} - L_{FS} + G_{1m^2} - L$   
 $-95 - 23.5 = \text{EIRP} - 199.7 + 37.0 - 0.7$   
Stasiun Bumi: EIRP/gelombang pembawa = 44.9 dBW
- ◎  $\frac{C}{N_0} = \text{EIRP}/\text{gelombang pembawa} - L_{FS} + \frac{G}{T} - L - k$   
 $= 44.9 - 199.7 - 2.0 - 0.7 + 228.6 = 71.1 \text{ dB}$
- ◎  $\left( \frac{C}{N_0} \right)_{\text{total}}$  dengan memasukkan  $\left( \frac{C}{N_0} \right)_{ul}, \left( \frac{C}{N_0} \right)_{dl}, \left( \frac{C}{N_0} \right)_{ms}$   
kira-kira 65.6 dB  

$$\left( \frac{E_{bi}}{N_0} \right) = \left( \frac{C}{N_0} \right) \frac{1}{R_s} = 65.6 - 10 \log 600000 = 7.8 \text{ dB}$$

Bedanya TDMA dengan SCPC adalah bit rate per gelombang pembawa jauh lebih besar, sehingga pengurangan daya per gelombang pembawa lebih kecil.

Up Fade :

Untuk kondisi U/L yang mengalami fading karena hujan, efeknya menjadi 2 kali. Karena fading, sinyal yang diterima oleh satelit berkurang, yang berakibat  $(C/N)_u$  akan menurun. Namun, karena daya yang diterima menurun, daya keluaran satelitnya juga menurun, yang berakibat  $(C/N)_d$  juga turun.

Kedua hal ini mengakibatkan  $(C/N)_{\text{composite}}$  mempunyai harga minimum = 6.2 dB.

Down Fade :

Dalam hal D/L yang mengalami fading, hanya hubungan ini yang terpengaruh, sehingga kondisi total tidak terlalu jelek.

Untuk mengatasi akibat fading dalam U/L, biasanya sekarang sistem diperlengkapi dengan ULPC (Up Link Power Control), yang secara otomatis menaikkan daya keluaran jika stasiun mendeteksi bahwa sinyal sendiri yang diterima menunjukkan penurunan level.

Jadi, untuk ULPC ini sinyal sendiri yang dipancarkan oleh satelit, juga dimonitor oleh stasiun asal.

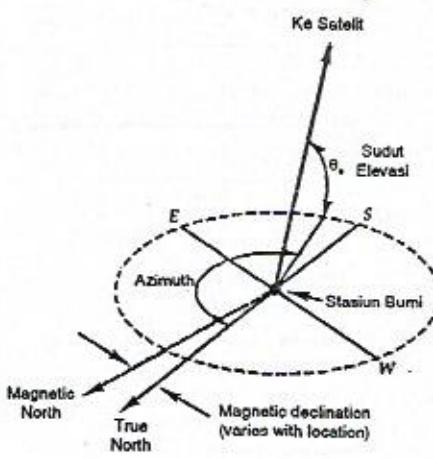
Tabel 5.2 Tabel Link Budget Calculation for TDMA System  
 QPSK, F = 1,37, Rs = 600 kbps, Tx antene = 2.4 m, Rx antene = 2.4m  
 Sattelite = C-1, EIRP Contour = 37.5 dBW , G/T Contour = - 2.0 dB

	Baseline INPUT PARAMETER	Value	Units
	Xmission/Burst Rate	1200	kbps
	FEC Code Rate	0.50	
	Appr. Info Rate (Theo)	600	kbps
	Bit Error Rate	1E-06	
	Uplink Frequency	6.010	GHz
	Downlink Frequency	3.785	GHz
	Number of Carriers	35	#
	Carrier Spacing	1.37	x Rs
SATELLITE PARAMETERS	Satellite Longitude	150.5	deg E
	Xpdr Saturation EIRP	37.5	dBW
	Xpdr SFD Setting	-95.0	dBW/m <sup>2</sup>
	Transponder G/T	-2.0	dB/K
	Xponder Bandwidth	36.0	MHz
Merauke	E.Stn Longitude/Bujur	140.6	deg E
UP-LINK ESTN PARAMETERS	E.Stn Latitude/Lintang	8.5	deg S
	Tx Antenna Diameter	2.4	meters
	Elevation Angle	74.6	deg
	Azimuth Angle	49.8	deg
	Pointing Losses	0.7	dB
	SSPA/HPA Satr. Pwr	10.0	Watts
	HPA Output Backoff	5.2	dB
	Misc Transmit Losses	1.2	dB
	Number of Tx Carriers	1	
	EIRP per Carrier	44.9	dBW
B - Aceh	E.Stn Longitude/Bujur	95.0	deg E
DN - LINK ESTN PARAMETERS	E.Stn Latitude/Lintang	6.1	deg N
	Rx Antenna Diameter	2.4	meters
	Elevation Angle	26.5	deg
	Azimuth Angle	94.2	deg
	Pointing Losses	0.5	dB
	System Noise Temp.	82.0	deg.K
	Clear Sky G/T	18.0	dB/K
RAIN MARGINS	Uplink Rain (xclude UPC)	1.5	dB
	Downlink Rain	1.0	dB
	G/T Rain Degradation	0.7	dB

	LINK PERFORMANCE	Clear Sky	Up Fade	Dnlink Fade	Units
UP-LINK BUDGET	Flux Density @ Satellite	-103.0	103.0	103.0	dBW/m <sup>2</sup>
	Satr.Flx Dens. Setting	-95.0	-95.0	-95.0	dBW/m <sup>2</sup>
	Total i/p BO rec. : 8 dB	8.0	8.0	8.0	dB
	Input Back-Off/Carrier	23.5	25.0	23.5	dB
	EIRP per Carrier	44.9	44.9	44.9	dBW
	Free Space Losses	199.7	199.7	199.7	dB
	Transponder G/T	-2.0	-2.0	-2.0	dB/K
	Rain Attenuation	0.0	1.5	0.0	dB
	Pointing Losses	0.7	0.7	0.7	dB
DOWN-LINK BUDGET	Xpdr Saturated EIRP	37.5	37.5	37.5	dBW
	Total o/p BO rec: 4.2 dB	4.2	4.2	4.2	dB
	Total o/p BO	19.7	21.2	19.7	dB
	Free Space Losses	196.3	196.3	196.3	dB
	Earth Station G/T	18.0	18.0	18.0	dB/K
	Rain Attenuation	0.0	0.5	1.0	dB
	G/T Degrad. From Rain	0.0	0.0	0.0	dB
COMPOSITE LINK	Pointing Losses	0.5	0.5	0.5	dB
	C/No COMPOSITE	65.6	64.0	64.6	dB-Hz
	Ebi/No COMPOSITE	7.8	6.2	6.8	dB
	Min.Required Ebi/No	6.2	6.2	6.2	dB
XPONDER USAGE	LINK MARGIN :	1.6	0.0	0.6	dB
	# Carriers per Xponder	35.0	35.0	35.0	Carrs
	Minim. Carrrier Spacing	822	822	822	KHz
	% Xponder Pwr/Carr	2.9	2.2	2.9	%
	% Xponder BW/Carr	2.3	2.3	2.3	%
	% Xponder BW Occup	83.6	83.6	83.6	%

# Penentuan Sudut Azimuth & Sudut Elevasi Antena Stasiun Bumi

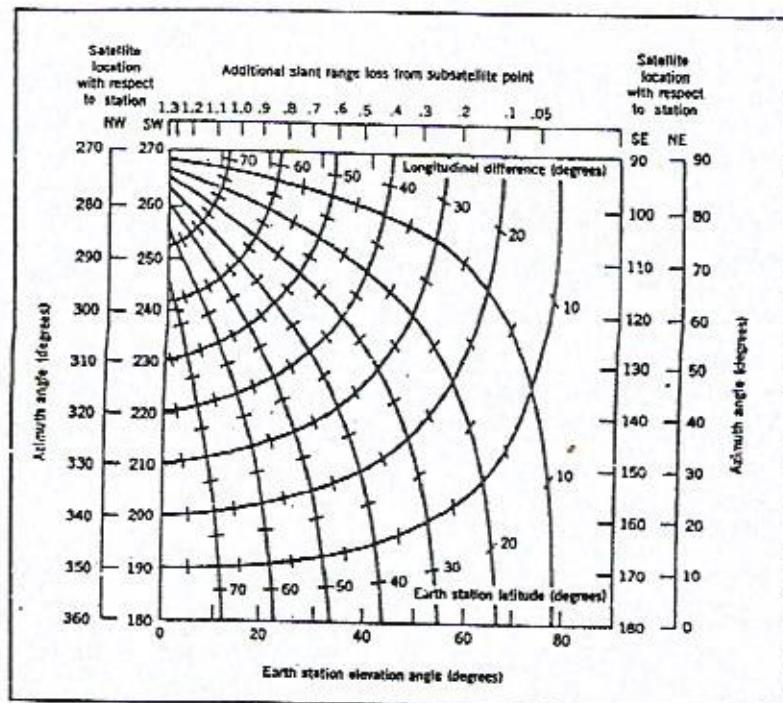
Untuk komunikasi satelit, agar komunikasi berlangsung dengan optimal, antena stasiun bumi harus benar-benar terarah ke satelitnya. Biasanya harus diketahui sudut-sudut azimuth dan elevasi stasiun terhadap satelitnya.



Sudut elevasi (El) dihitung dari arah horizontal sedang sudut azimuth (Az) dihitung dari arah Utara sesuai arah jarum jam.

Besarnya harga-harga El dan Az ini bergantung kepada latitude stasiun bumi dan beda longitude antara titik stasiun dengan longitude titik sub-satelitnya. (titik di equator yang persis berada di bawah satelitnya).

Biasanya titik sub-satelit ini disebut sebagai posisi parkir satelitnya.



Gambar 6.1  
Sudut elevasi dan Azimuth

Harga-harga ini diperoleh dari rumus berikut:

#### AZIMUTH DAN ELEVATION DETERMATION

1. Earth station latitude:  $LA_{es} = \dots$  degrees north or south
2. Earth station longitude:  $LO_{es} = \dots$  degrees east
3. Geostationary sat. Longitude  $LO_{sat} = \dots$  degrees east
4. a) Longitudinal difference (2 - 3) :  $L = \dots$  degrees  
 b) If either 1 or 4 (a) is greater than 81.3 degrees, or if  $\cos(LA_{es}) \cos(L)$  is less than 0.151, the satellite is below the horizon, and this procedure must be stopped.

$$5. \text{ a) } \text{Elevation} = \tan^{-1} \left[ \frac{\cos LA_{es} \cos L - 0.151}{\sqrt{1 - \cos^2 LA_{es} \cos^2 L}} \right]$$

Note : SQRT denotes square root

b) Elevation magnitude : ..... degrees

$$6. \text{ Azimuth magnitude : } Azm = \tan^{-1} \left[ \frac{\tan L}{\sin LA_{es}} \right]$$

Azm = ..... degrees (magnitude only)

7. a) Determine azimuthquadrant using tables on page 131 dan 132.

b) True Az = ..... degrees (from true north)

Untuk memperoleh harga azimuth sebenarnya (step-7) gunakan rumus berikut:

#### Northern Hemisphere Earth Stations

Location of Earth Station with Respect to Satellite	Azimuth range (degrees)	Formula for Finding True Azimuth (degrees)	Figure (as Seen From Satellite)
West and north, L negative	90 - 180	$Az = 180 - Azm$	
East and North, L Positive	180 - 270	$Az = 180 + Azm$	

### Southern Hemisphere Earth Stations

Location of Earth Station with Respect to Satellite	Azimuth range (degrees)	Formula for Finding True Azimuth (degrees)	Figure (as Seen From Satellite)
East and South, L positive	270 - 360	$Az = 360 - Azm$	
West and South, L negative	0 - 90	$Az = Azm$	

Contoh perhitungan:

- ⊕ Satelit : Palapa C-1 lokasi  $150,50^\circ$  BT
- ⊕ Stasiun Bumi :  $3,42^\circ$  LS ;  $102,16^\circ$  BT
- ⊕ Sudut Elevasi :

$$L = 102,16 - 150,50 = -48,34$$

◊ Sudut Elevasi :

$$\text{Elevasi} = \text{arc tan} \frac{\cos 3,42 \cos 48,34 - 0,151}{\sqrt{1 - \cos^2 3,42 \cos^2 48,34}}$$

$$= \text{arc tan} \frac{0,66353 - 0,151}{\sqrt{1 - 0,44027}}$$

$$= \text{arc tan } 0,6851 \rightarrow \text{Elevasi} = 34,41^\circ$$

◊ Sudut Azimuth :

$$AZM = \text{arc tan} \frac{\tan 48,34}{\sin 3,42} = 18,841$$

$$AZM = 86,96^\circ$$

Cuma harga azimuth ini harus juga memperhatikan posisi stasiun bumi terhadap satelitnya.

Dalam contoh ini, karena stasiun bumi terletak diarah Barat Daya (South .West) dari satelitnya, harga azimuth yang diperoleh langsung digunakan.

# Teknik Multiple Access

## 1. SISTEM MULTIPLEX

Selain kemampuan dalam segi hardware (pemancar lebih efisien, penerima lebih peka dan sebagainya), dalam bidang SATKOM juga dicapai kemajuan-kemajuan dalam efisiensi pemakaian saluran dan daya dengan sistem-sistem pemrosesan sinyal yang lebih canggih.

Untuk satelit-satelit yang beroperasi di daerah C-band, dengan lebar pita frekuensi 500 MHz, frekuensi band ini dibagi-bagi lagi dalam 12 sub-band atau transponder dengan lebar band masing-masing 40 MHz. Namun, untuk setiap transponder ini frekuensi-barid yang efektif hanyalah 36 MHz. Dengan pita frekuensi selebar ini, satu transponder dapat digunakan untuk menyalurkan sekelompok saluran-saluran suara atau saluran-saluran data.

Dalam sistem terresterial, untuk memanfaatkan satu frekuensi pembawa (*carrier frequency*), sehingga dapat mengirimkan beberapa kanal suara sekaligus (*multiplexing*), dikenal 2 macam cara:

## 1.1 Sistem FDM (Frequency Division Multiplex)

Tiap saluran suara dengan frekuensi dari 0 - 4 KHz dicampur dengan lokal osilator dengan frekuensi berturut-turut 16, 20 dan 24 KHz.

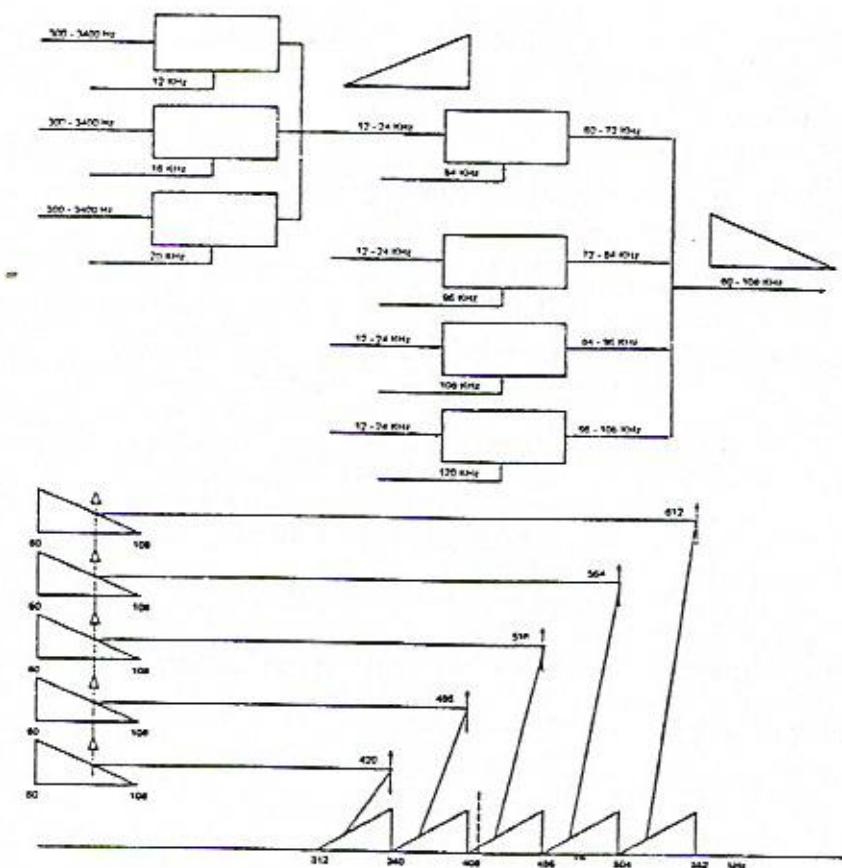
Sesuai dengan teori, dalam setiap pencampuran (mixing) dua frekuensi  $f_1$  dan  $f_2$ , akan diperoleh komponen-komponen dengan kombinasi-kombinasi frekuensi  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_1 + f_2$ ,  $f_2 - f_1$ ,  $2f_1 - f_2$ ,  $f_1 - 2f_2$  dan seterusnya.

Dengan proses mixingnya sendiri ditambah dengan filtering, hanya komponen-komponen  $f_2 - f_1$  atau  $f_2 + f_1$  yang keluar.

Melalui suatu tapis lolos tengah (*band pass filter*), dipilih salah satu antara  $f_2 - f_1$  (*lower side band*) atau  $f_2 + f_1$  (*upper side band*).

Di tempat tujuan, dilakukan proses yang sebaliknya (*demultiplex*), sehingga kembali diperoleh sinyal-sinyal yang semula. Dengan prinsip yang sama, sistem multiplex tiga saluran ini dapat diperluas menjadi sistem multiplex untuk 12, 60 bahkan 300 sampai dengan 900 saluran.

Pada prinsipnya, untuk sistem FDM 1200 saluran telepon, lebar base bandnya sudah sama dengan 1 saluran televisi analog. Sehingga memang dalam sistem terresterial gelombang mikro ataupun satelit, 1 frekuensi radio pembawa (*bearer*) ataupun transponder dapat digunakan untuk menyalurkan 1 saluran televisi atau 1200 saluran telepon.



Gambar 7.1  
Prinsip Pembentukan Super Group ( 60 Saluran )

## 1.2 Sistem TDM (Time Division Multiplex)

Disini digunakan teori, bahwa dari deret Fourier terlihat, jika suatu sinyal diambil contoh harganya atau "disampling" minimum sebanyak dua kali frekuensi tertinggi, di tempat tujuan bentuk asli sinyal bisa dikembalikan dengan melalui suatu tapis lolos bawah (*low pass filter*).

Jadi prinsipnya, untuk mengirimkan suatu sinyal, tidak perlu dikirimkan keseluruhannya, cukup contoh-contoh harganya yang diambil sebanyak dua kali frekuensi tertinggi ( $f_M$ ) dari sinyalnya.

Seperti terlihat pada gambar 7.2, jika sinyal  $m(t)$  dicacah dengan sinyal  $S(t)$ , akan menghasilkan sinyal  $S(t).m(t)$ .

Uraian Fourier dari  $S(t)$  adalah :

$$S(t) = \frac{dt}{T_s} + \frac{2dt}{T_s} \left[ a_1 \cos \frac{2\pi t}{T_s} + a_2 \cos 2 \times \frac{2\pi t}{T_s} + a_3, \dots \right]$$

dimana :  $dt$  = lebar pulsa

$T_s$  = periode pulsa

Jika dipilih kecepatan sampling = 2  $f_M$  [ $f_M$  = frekuensi tertinggi sinyal  $m(t)$ ] sehingga  $T_s = \frac{1}{2f_M}$ , maka sinyal keluaran  $S(t).m(t)$  dapat diuraikan menjadi :

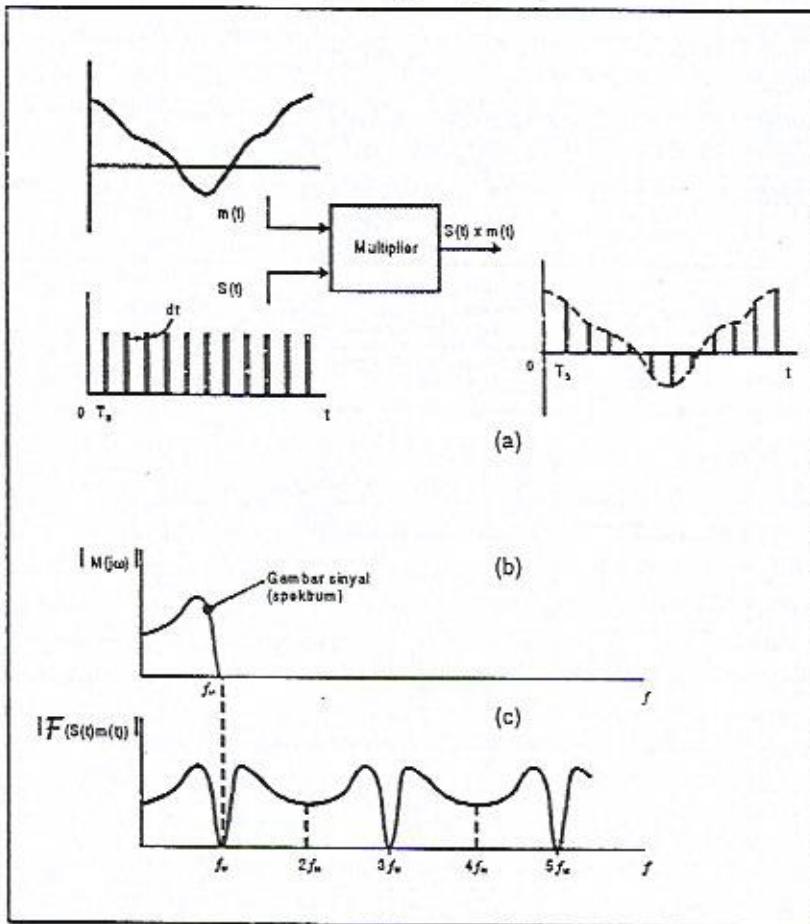
$$S(t).m(t) =$$

$$\frac{dt m(t)}{T_s} + \frac{dt}{T_s} [2a_1 m(t) \cos 2\pi (2f_M)t + 2a_2 m(t) \cos 2\pi (4f_M)t + \dots]$$

Karena  $\frac{dt}{T_s}$  adalah konstan  $\rightarrow$  suku pertama adalah sinyal  $m(t)$  sendiri.

Sedang suku kedua dan seterusnya adalah rumus matematis suatu sinyal modulasi AM dengan sinyal pemodulasi  $m(t)$  dan suppressed gelombang pembawa dengan frekuensi pembawa  $2f_M, 4f_M$  dan seterusnya.

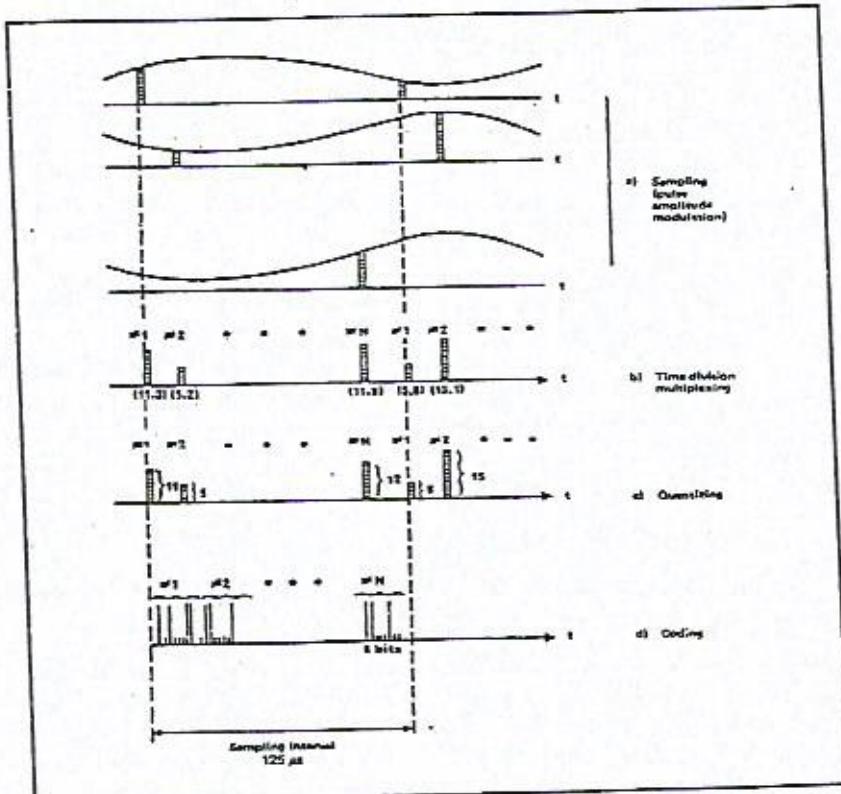
Sehingga spektrum sinyal  $S(t) \cdot m(t)$  adalah seperti diperlihatkan dalam gambar 7.2. Jadi memang terlihat jika sinyal keluaran  $S(t) \cdot m(t)$  dilewatkan tapis lolos bawah dengan frekuensi cut off =  $f_M$ , sinyal  $m(t)$  dapat diperoleh kembali.



Gambar 7.2  
 Spektrum suatu sinyal Analog yang Dicacah  
 (a) Diagram blok proses pencacahan; (b) Spektrum sinyal  $m(t)$ ;  
 (c) Spektrum sinyal  $m(t)$  yang tercacah.

Dalam proses digitalisasi, dengan proses sampling diatas diperoleh pulsa-pulsa contoh yang berbentuk PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) dimana amplitudo pulsa yang sama dengan harga sinyal pada saat sampling.

Harga setiap sampling ini lalu diubah dalam bentuk kode biner (*Pulse Code Modulation - PCM*). Selain itu, dalam selang waktu antara 2 sampling suatu saluran, dapat disampling saluran-saluran lainnya. Sehingga dalam saluran yang sama terkirim beberapa saluran secara berurutan dalam waktu atau dalam sistem TDM, seperti terlihat dalam gambar 7.2.



Gambar 7.3  
Prinsip TDM

Secara lebih teliti proses TDM ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Proses modulasinya berlangsung dalam tiga tahap yaitu:

i) Sampling.

Harga kontinyu dari sinyal hanya disampling dalam bentuk pulsa (PAM) minimal  $2x$  periode frekuensi tertinggi.

ii) Quantizing

Harga pulsa ini, karena masih dari sinyal analog akan mempunyai harga sebarang, diberi harga bulat diskrit yang terdekat.

iii) Coding

Nilai pulsa yang diskrit ini baru dinyatakan dalam pulsa-pulsa binary, seperti di contoh masing-masing menjadi 10100011, 01100001, 11000100.

Jadi, setiap kanal hanya disampling, kemudian besarnya sampling dinyatakan dalam suatu *binary code*. Setiap pulsa dari *binary code*-nya disebut *bit*. Sehingga dalam contoh ini disebut sebagai 8 bit *binary code*. Di penerima, level dari sampling dikembalikan oleh decoder dari *binary code* ke pulsa-pulsa dengan bentuk PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) baru kemudian dilewatkan tapis lolos bawah. Dengan proses sampling yang berurutan, pulsa-pulsa dari setiap kanal dapat dipisahkan dari yang lainnya, sehingga sinyal-sinyal semula akan diperoleh kembali (*demultiplexing*).

Dalam sistem TDM untuk 24 kanal telepon (T1), setiap kanal harus disampling 8000x perdetik, jadi dalam 1 kanal antara 2 sampling yang berurutan ada waktu  $1/8000$  detik = 125 mikro-sec (1 frame). Jadi, dalam waktu 125 mikro-sec ini harus bisa disampling ke 24 saluran tersebut, sehingga setiap saluran hanya diberi waktu  $125 : 24 = 5,2$  mikro-sec. Jadi, jika setiap besaran dinyatakan dalam kode dari 8 pulsa, maka setiap

pulsa hanya punya lebar  $5,2 : 8 = 0,65$  mikro-sec, serta untuk menyalurkan 24 kanal telepon tersebut akan diperlukan bit rate sebesar  $8000 \times 24 \times 8 = 1.536$  Mb/s.

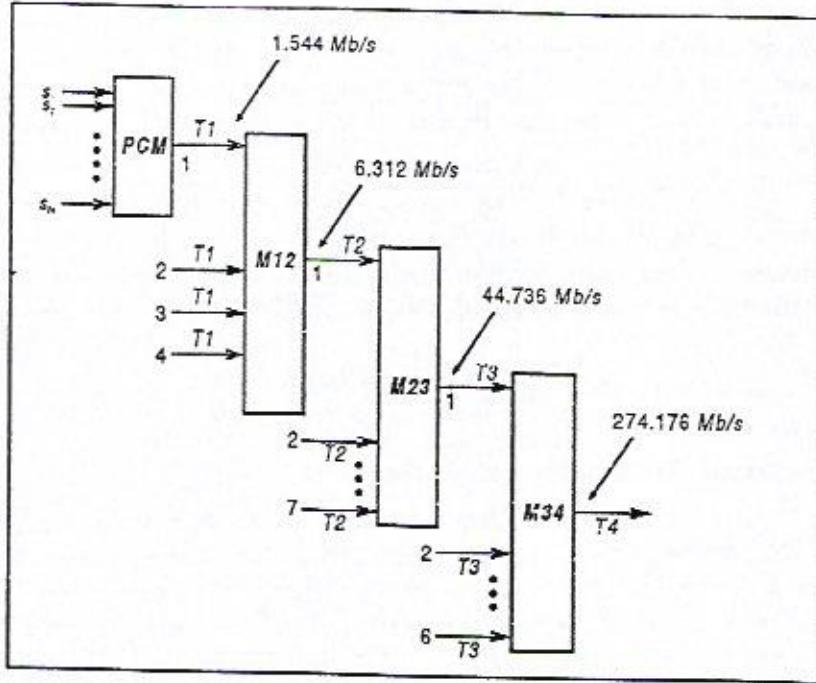
Akan tetapi, karena diperlukan juga pulsa-pulsa tambahan untuk sinkronisasi, standard TDM T1 adalah 1.544 Mb/s., sehingga setiap frame jumlah pulsa adalah:  $24 \times 8 + 1 = 193$  bits/frame.

Satu frame adalah selang waktu antara dua sampling yang berurutan dari saluran pertama. Atau boleh juga dikatakan, adalah selang waktu dimana seluruh saluran sudah disampling satu kali. Jadi, dalam 1 detiknya ada 8000 frame.

Sistem TDM T-1 ini selain untuk mengirimkan 24 saluran suara dapat juga digunakan untuk menyalurkan data apa saja dalam bentuk pulsa-pulsa digital dengan kecepatan maksimum sebesar: 1.53 Mbps, sehingga sistemnya dapat digunakan untuk menyalurkan data-data komputer, Word Processor, fax dan lain-lain.

Sistem Multiplexing ini masih dilanjutkan ke tingkatan yang lebih tinggi. Setiap 4 sistem multiplex T-1 dapat digabung dalam sistem multiplex T-2 untuk saluran yang setara dengan  $4 \times 24 = 96$  saluran telepon dengan bit rate sebesar 6.312 Mb/s.

Dalam sistem T-2 jumlah pulsa setiap framenya adalah  $193 \times 4 + 17 = 789$  bit/frame. Tambahan pulsa diperlukan selain untuk sinkronisasi juga untuk "stuffing". Selanjutnya, sistem T-2 untuk kapasitas saluran yang setara dengan 96 saluran telepon masih dapat ditingkatkan menjadi T-3 setara dengan 672 saluran telepon dengan bit rate 44.736 Mb/s dan sistem T-4 yang setara dengan 4032 saluran telepon dengan bit rate sebesar 274.176 Mb/s.



Gambar 7.4  
Proses Modulasi T-1 dan Tingkat yang lebih tinggi

Cuma disini perlu dicatat bahwa sistem TDM ini memerlukan sumber frekuensi untuk pulsa dan sistem sinkronisasi yang sangat stabil (kestabilan orde  $10^{-10}$ ). Terlebih dalam peningkatan sistem T-1 ke sistem yang lebih tinggi, karena sinyal yang digabung dapat berasal dari berbagai sumber, sangat diperlukan frekuensi dimasing-masing sumber yang sangat stabil. Untuk mengatasi perbedaan jumlah pulsa yang tidak sama dalam 1 frame, karena perbedaan sumber-sumber frekuensi dalam pencampuran, frekuensi yang lebih rendah sengaja diberi pulsa tambahan (Stuffing) untuk menyamakan jumlah pulsa setiap framenya. Namun, karena sesuai dengan sistem digital, sistem modulasi ini semakin banyak digunakan.

Sekali lagi, dalam hal ini perlu dicatat bahwa disini diperlukan sumber-sumber frekuensi yang sangat stabil baik di pemancar maupun di penerima. Karena pergeseran frekuensi untuk beberapa periode bisa diartikan juga sebagai loncatan fase.

Dalam sistem TDM ini juga dapat digabung beberapa sinyal dengan bit rate yang berbeda-beda. Cuma disini frekuensi gelombang pembawanya cuma satu, yang membedakan masing-masing sinyal adalah bit rate dan selang waktunya.

## 2 SISTEM PENGAKSESAN SALURAN

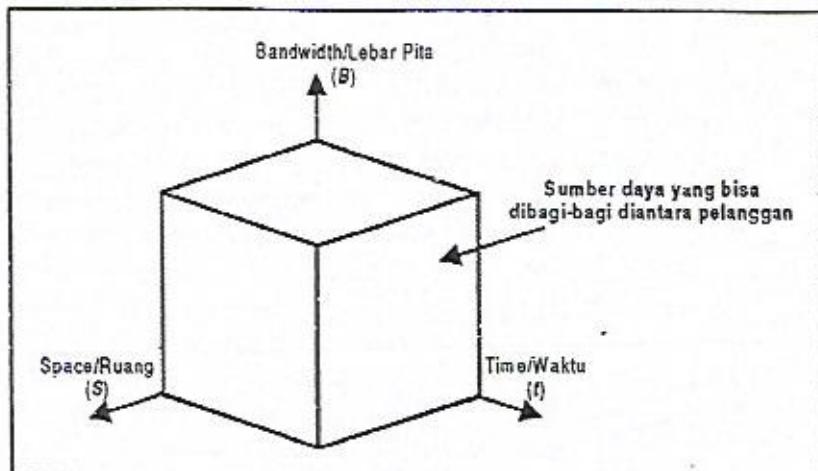
Sistem multiplexing yang sudah dibicarakan tadi dapat dibawa lebih jauh dalam komunikasi satelit.

Ciri utama sistem komunikasi satelit, yang membedakannya dengan sistem-sistem yang lain, ialah kemampuannya dalam mentransmisikan informasi secara multi-destinasional, kepada sejumlah besar pengguna informasi yang tersebar secara geografis. Metode mentransmisikan informasi secara bersama, dengan melalui suatu sumberdaya yang sama dalam suatu network, disebut *teknik multiple access* (selanjutnya disebut MA). Bila sumber daya tersebut suatu transponder dari satelit, maka penggunaan secara penuh atau sebagian dari transponder tadi, oleh stasiun-stasiun bumi yang tersebar secara geografis, disebut MA. Ide MA ini mirip, bahkan berkembang dari teknik multiplex yang sangat banyak digunakan untuk mentransmisikan informasi dalam sistem transmisi terresterial. Namun, problema MA memiliki kompleksitas jauh diatas teknik multiplex.

Dalam komunikasi satelit ada 3 sumber (*resources*) yang bisa digunakan untuk menumpangkan informasi yaitu: frekuensi (lebar pita), waktu dan ruang.

Dengan membagi setiap besaran tadi, dengan sumber daya (*resources*) yang sama dapat dikirimkan informasi ke tujuan

yang lebih banyak. Dengan membagi-bagi frekuensi yang tersedia ke dalam beberapa band yang lebih kecil, kita dapat memperoleh sistem pengaksesan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), dimana setiap band dapat digunakan kapan saja dan kemana saja.



Gambar 7.5

Tiga sumber yang dapat digunakan dalam Komunikasi Satelit

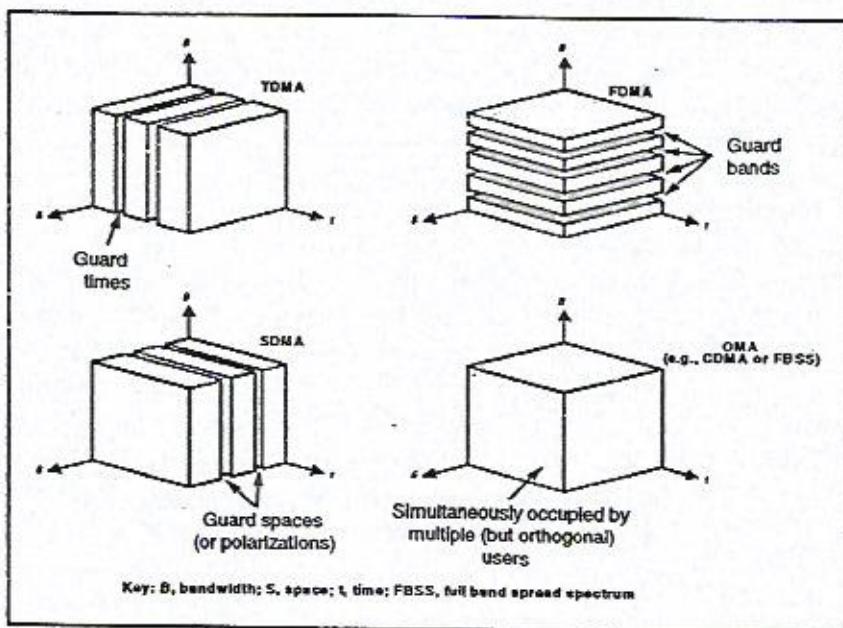
Dengan membagi-bagi waktu, kita dapat memperoleh sistem pengaksesan TDMA (*Time Division Multiple Access*), dimana setiap pulsa dapat dikirim kemana saja dengan menggunakan seluruh pita frekuensi yang tersedia.

Demikian juga dengan membagi ruang (daerah cakupan satelit) dalam beberapa daerah dengan memancarkan sinyal-sinyal radionya dalam berkas-berkas yang sempit (*pencil beam*) kita dapat memperoleh sistem pengaksesan SDMA (*Space Division Multiple Access*).

Dalam setiap sistem pengaksesan di bawah (gambar 7.6), kita mengenal sistem penugasan (*assignment*) dari tiap saluran

yang ada, dalam sistem PA (*Preassigned*) dan DA (*Demand Assigned*) serta *Random Assignment* (RA). Dua yang terakhir ini dalam rangka meningkatkan efisiensi dan keluwesan.

PA digunakan untuk hubungan point to point, karena misalnya dalam FDM tadi, suatu pita frekuensi diassign untuk hubungan antara titik A dan titik B. Untuk pembicaraan telepon dialokasikan sepasang frekuensi, masing-masing satu untuk A ke B dan satu untuk B ke A. Dan frekuensi ini selamanya diassign ke hubungan itu selama 24 jam sehari, sehingga dapat digunakan kapan saja oleh keduanya. Sedang dalam sistem TDM, PA diimplementasikan dengan mengalokasikan 1 atau beberapa slot (selang) waktu tertentu dalam suatu frame kepada suatu link (hubungan) secara terus menerus.



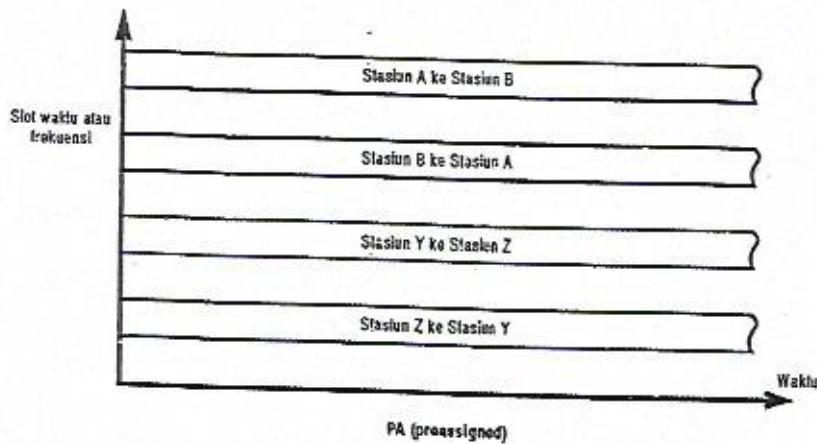
Gambar 7.6  
Berbagai jenis MA

Sebaliknya dengan DA, setiap hubungan dialokasikan satu atau sepasang frekuensi hanya jika diperlukan. Begitu A dan B selesai bicara, frekuensi dicabut dan dialokasikan ke hubungan lain yang membutuhkannya. Sehingga pemanfaatan tiap saluran lebih intensif.

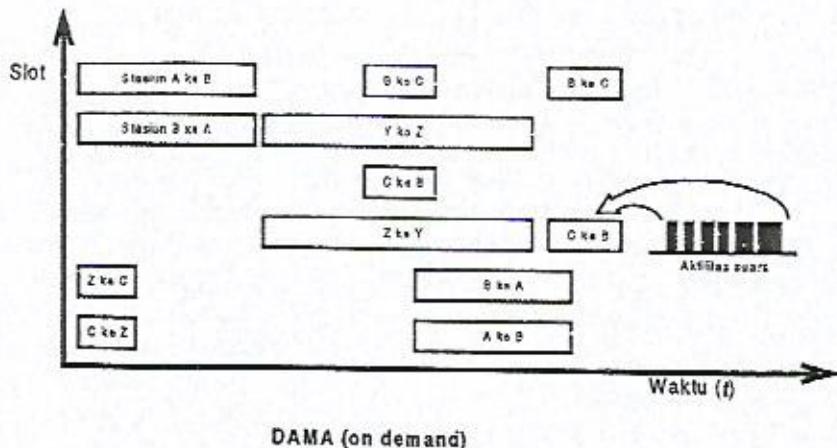
Sistem ini cocok digunakan untuk melayani lokasi-lokasi dengan aktivitas lalu lintas yang rendah.

Pemanfaatannya misalnya dalam sistem DA/SCPC.

Cuma disini, setiap kali mau menggunakan harus memberitahukan keinginannya kepada suatu stasiun utama (master/hub). Hub ini akan berusaha mengalokasikan sepasang frekuensi untuk hubungan dimaksud. Jika saluran-saluran yang ada sedang terpakai semuanya, atau stasiun lawan sedang sibuk, Hub akan memberi sinyal "sjbuk" sehingga hubungan harus diundurkan/diulang.



Gambar 7.7  
Penggunaan Saluran dalam PA



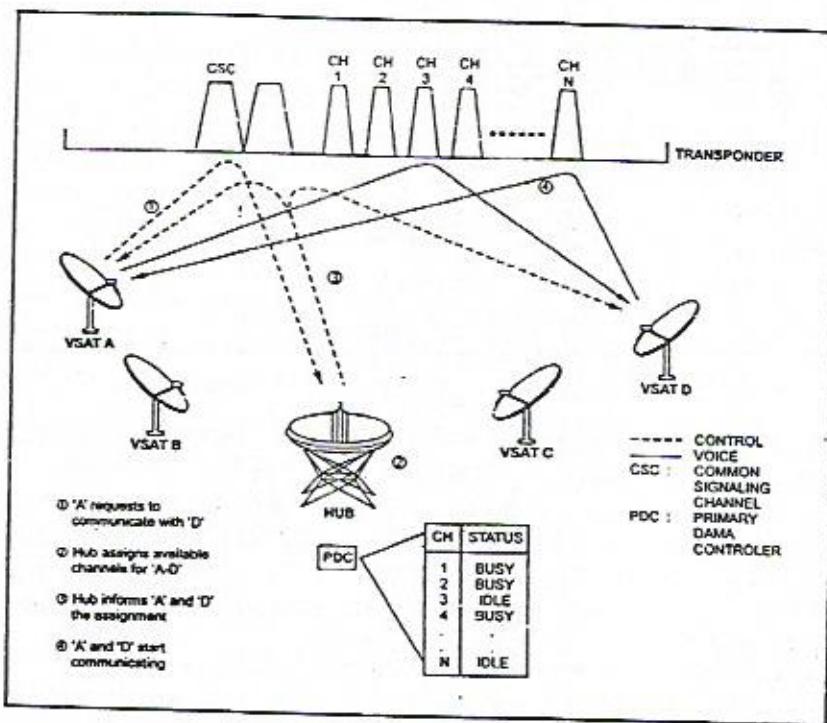
Gambar 7.8  
Penggunaan Saluran dalam DAMA

*Proses penyambungan hubungan adalah seperti berikut (call set-up).*

Dalam sistem ini ada satu pasang frekuensi yang dipakai untuk signaling (*control channel* atau *common signalling channel/CSC*). Dalam keadaan menunggu, setiap stasiun ditune atau ditala ke frekuensi control channel ini.

- Jika sebuah stasiun mau berhubungan, dia akan mengirimkan sebuah “call request message” ke Hub yang berisi identitas stasiun yang dikirim dan identitas stasiun yang dituju, melalui CSC (1).
- Hub akan menerima berita ini dan akan memberi jawaban “acknowledged” ke stasiun pengirim. Sementara itu Hub akan mengecek apakah stasiun yang dituju sedang kosong, dan akan memilihkan satu pasang frekuensi untuk digunakan (2). Dalam contoh ini, misalnya saluran no. 3 dan no. N.

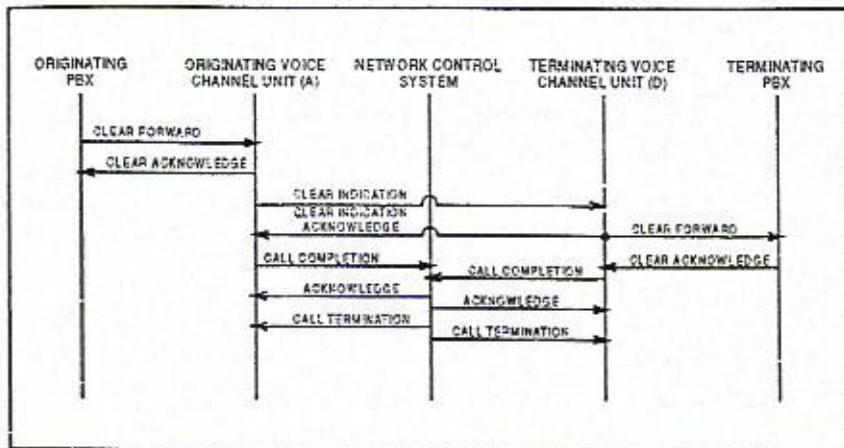
- Informasi boleh hubungan, dan frekuensi yang harus digunakan dikirimkan ke kedua stasiun (3).
- Kedua stasiun akan dapat berhubungan langsung dengan menggunakan pasangan frekuensi yang dialokasikan oleh Hub tadi (4).



Gambar 7.9  
Konsep Penyambungan Pembicaraan dalam Sistem DAMA

Jika pembicaraan selesai, dan salah satu menaruh gagang telepon, dan hubungan sudah terputus, stasiun bumi akan kembali ke frekuensi kontrolnya dan akan mengirim berita bahwa pembicaraan selesai (*call completion*) ke Hub-nya.

*Proses pengakhiran pembicaraan (call teardown) adalah sebagai berikut:*



Gambar 7.10  
Proses Pemutusan Hubungan dalam Sistem DAMA

Jika handset (gagang telepon) ditaruh, misalnya oleh pelanggan A, ada sinyal ke stasiun bumi yang menandakan bahwa hubungan sudah selesai. Stasiun Bumi akan segera menjawab "acknowledge", sementara itu stasiun A akan memberitahu stasiun D bahwa hubungan sudah selesai.

Stasiun D akan meng"-acknowledge ke A" dan memberitahu juga pelanggan yang dilokasinya.

Jika pelanggan sudah menaruh handsetnya, stasiun D akan menginformasikan NCC di Hub bahwa hubungan sudah selesai. Demikian juga stasiun A, setelah menerima pemberitahuan dari D akan juga menginformasikan ke Hub bahwa hubungan sudah selesai. Kemudian, Stasiun Bumi A dan D, akan mengembalikan saluran suara (*voice channel*) di A dan D kekeadaan semula.

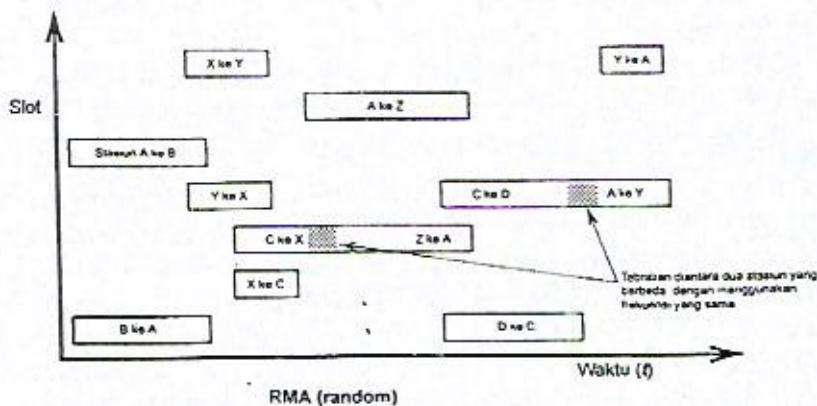
Hub juga akan memberi jawaban terima (acknowledged) dan mengembalikan frekuensi-frekuensi yang tadi kembali ke pool frekuensi, siap untuk dialokir ke hubungan berikutnya. Sedang kedua stasiun akan ditandai lagi sebagai kosong.

Sistem DA untuk TDM yang disebut TDMA, prinsipnya hampir sama dengan FDMA. Cuma disini, yang merupakan salurannya (kanalnya) adalah time-slot tertentu dalam sebuah frame, sehingga sumbu tegak (ordinat) dapat dianggap sebagai time-slot juga. Dalam setiap frame akan ada slot CSC dan NBC. CSC digunakan oleh masing-masing stasiun (node) untuk menginformasikan maksudnya ke stasiun-stasiun lainnya. Sedang NBC digunakan oleh Hub/Reference Station untuk memberitahu stasiun-stasiun lainnya mengenai status jaringan dan untuk tugas-tugas lain seperti mengirimkan (*down load*) BTP dan lain-lain.

Masing-masing stasiun akan mempunyai CSC sendiri, dalam satu frame tertentu.

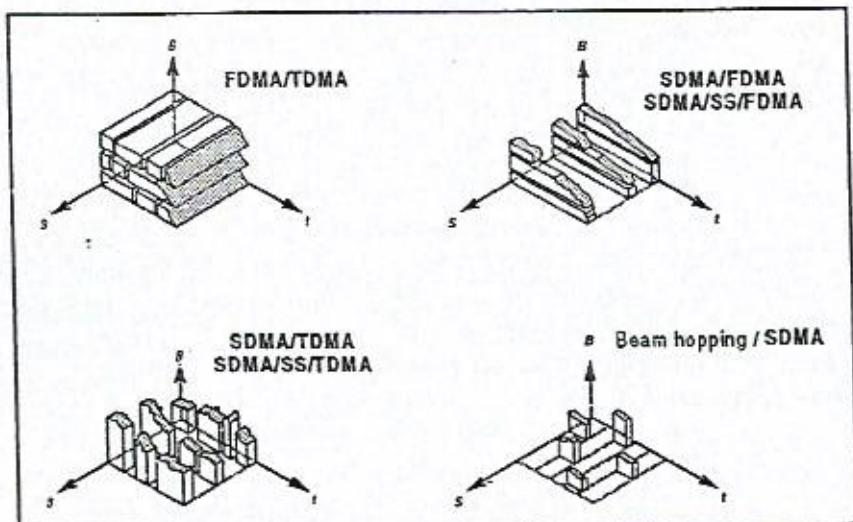
RMA dalam FDM ini, dapat dilakukan dengan cara masing-masing stasiun mencoba menggunakan frekuensi tertentu secara sembarangan, tanpa koordinasi dari suatu Hub. Tentunya akan bisa terjadi "tabrakan", karena frekuensi yang sama kebetulan digunakan oleh dua stasiun yang berbeda.

Akan tetapi, yang sudah dioperasikan adalah sistem RMA dalam TDM. ALOHA termasuk sistem access yang model ini. Prinsip kerjanya, satu frekuensi yang sama dipakai secara beramai-ramai oleh banyak stasiun. Setiap stasiun memancarkan pulsa-pulsanya secara sembarang. Disinipun tabrakan bisa terjadi jika dua stasiun menggunakan time slot yang sama.



**Gambar 7.11**  
Penggunaan Saluran dalam Sistem RMA

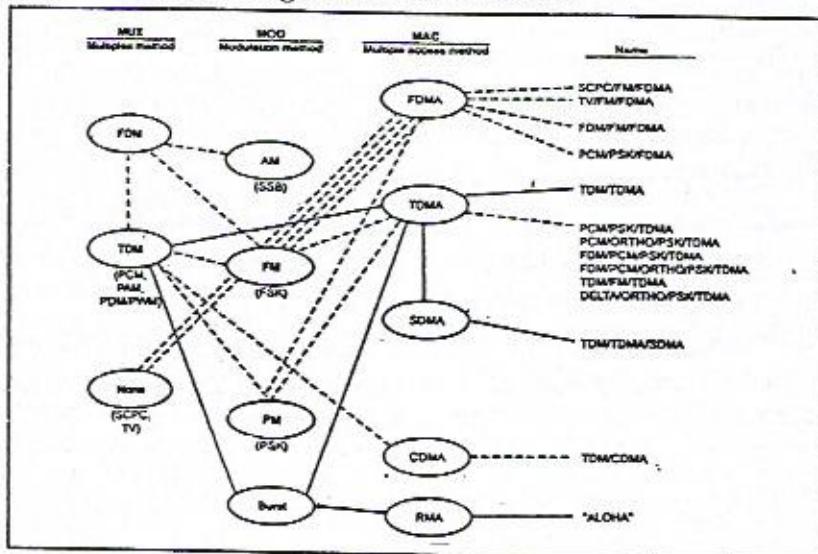
Dengan mengadakan kombinasi-kombinasi antara ketiga jenis MA ini, dapat diperoleh variasi yang lebih banyak.



**Gambar 7.12**  
Berbagai Jenis Kombinasi Sistem-sistem RMA

Kita dapat pula menggabungkan berbagai sumberdaya dalam teknik MA, misalnya: TDMA bila digabungkan dengan SDMA akan memperoleh SS-TDMA (*Satellite Switched TDMA*), dan bila FDMA digabungkan dengan TDMA akan diperoleh akses TF (*Time Frequency*), contohnya ialah FH (*Frequency Hopping*) dan TH (*Time Hopping*). Sinyal ditransmisikan kemudian sebagai susunan sel-sel dalam dua dimensi, yakni di bidang TF.

Secara konsep, sinyal yang ditransmisikan dapat menggunakan kombinasi frekuensi, ruang dan waktu, sehingga terbentuk akses TSF. Sinyal akan ditransmisikan sebagai kubus-kubus kecil dalam suatu ruang tiga dimensi. Namun, dalam prakteknya, penerapan teknik ini menjadi sulit, khususnya teknologi penerima yang harus menyortir sinyal tiga dimensi tersebut. Secara menyeluruh, kombinasi-kombinasi sistem akses yang dapat dikembangkan dari sistem-sistem yang ada, diperlihatkan dalam gambar 7.13 berikut ini.



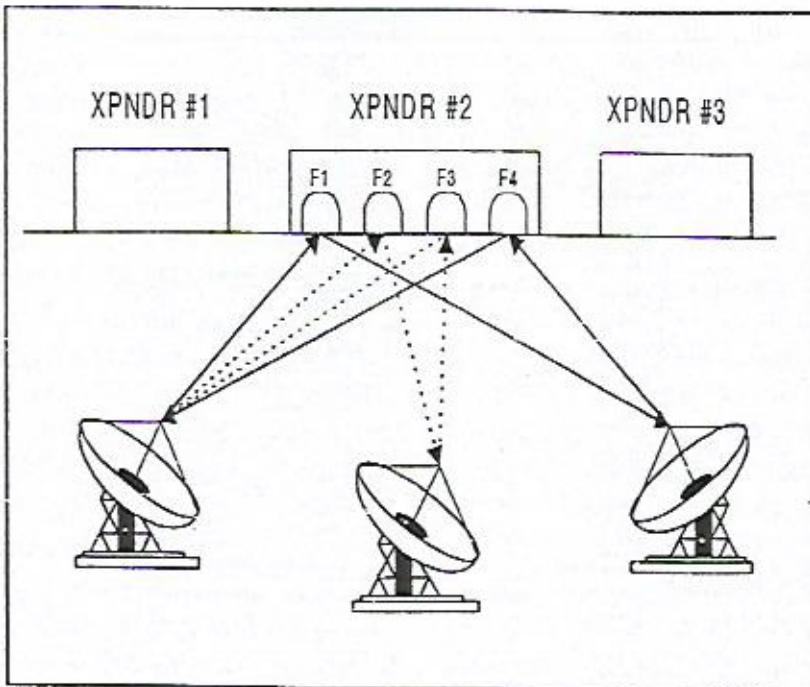
Gambar 7.13  
Klasifikasi Sistem Multiple Access

### 3. SISTEM FDMA

Untuk lebih menjelaskan proses beberapa macam MA tadi, dalam bab-bab berikutnya akan dijelaskan seluruh prosesnya secara lebih mendetail. Dalam FDMA, pita frekuensi dialokasikan kepada masing-masing stasiun bumi. FDMA ialah teknik yang mempunyai reputasi operasional yang sangat baik. Sebagian besar dari kanal-kanal INTELSAT masih menggunakan FDMA/FM. Demikian pula kanal-kanal PALAPA kita, sebagian besar masih menggunakan teknik FDMA ini. Meskipun demikian, teknik ini mempunyai kerugian, yang terutama ialah adanya ketidakliniearan TWT yang menghasilkan intermodulasi dan cakap silang (interferensi), sehingga TWT tidak dapat dioperasikan secara kapasitas penuh. TWT tersebut harus di "back-off", karena bila tidak interferensi menjadi sangat dominan, dan tata MA ini tidak lagi ortogonal. Semakin banyak gelombang pembawanya, pengurangan per gelombang pembawa harus semakin besar agar pengurangan total sekitar -7 dB. Kerugian yang lainnya adalah:

- daya pancar ke atas perlu dikoordinasikan, bila tidak hal ini akan mengakibatkan penekanan sinyal yang lemah oleh sinyal yang lebih kuat;
- keluwesan terbatas, dalam arti lebih cocok untuk perubahan pola lalu lintas yang pelan;
- kapasitas lalu lintas relatif rendah.

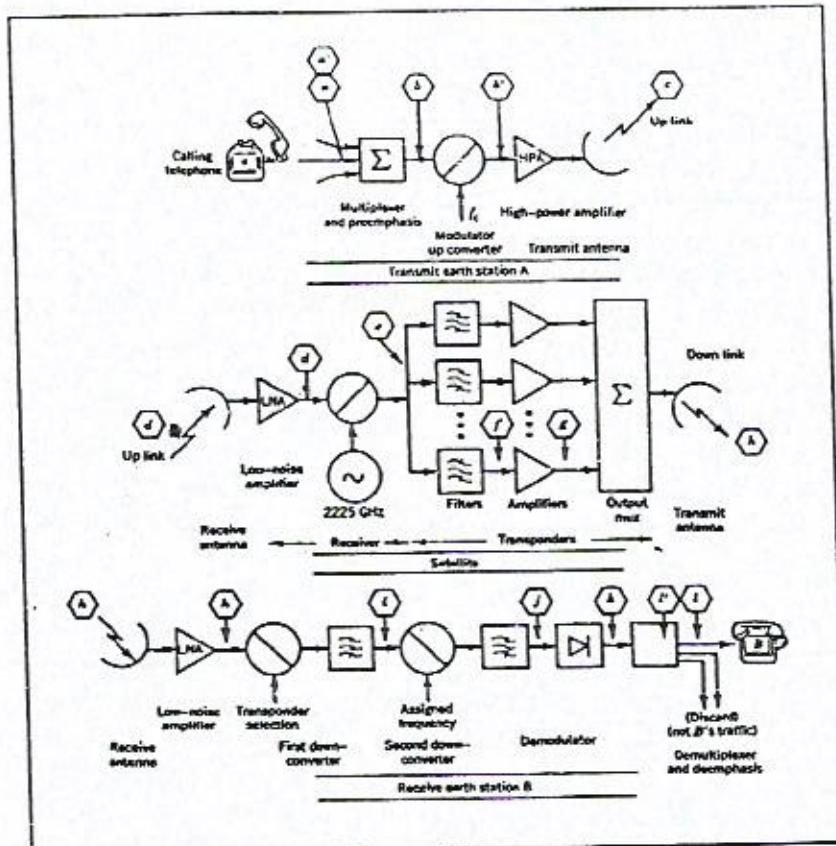
Dalam prinsipnya, tiap stasiun bumi dialokasikan suatu daerah frekuensi tertentu dalam salah satu transponder untuk hubungan ke stasiun-stasiun lainnya, seperti terlihat pada gambar 7.14.



Gambar 7.14  
Prinsip Hubungan FDMA

Pita frekuensi (*frequency band*) yang dialokasikan tadi bisa hanya untuk 1 saluran telepon (SCPC) atau bisa juga untuk sekelompok saluran yang dimultiplex (FDM).

Prinsip kerja sistem FDMA dapat dijelaskan, seperti terlihat pada gambar 7.15 yang menunjukkan kerjanya dalam diagram blok dan gambar 7.16 yang memperlihatkan pemrosesan sinyalnya, sebagai berikut:



Gambar 7.15  
Diagram kotak Prinsip Proses Pengiriman  
dan Penerimaan dalam sistem FDMA

Dalam sistem ini setiap stasiun bumi (SB) akan memancarkan sinyal ke satelitnya. Jika di stasiun bumi pemancar A ada beberapa saluran, lebih dulu dimultiplex (b), baru base band yang terjadi ini ditumpangkan ke satu gelombang pembawa dengan modulasi FM (FDM-FM), sehingga sinyal RF yang dikirim cukup besar (c).

Di satelitnya sendiri, diterima sinyal-sinyal RF dari berbagai stasiun bumi. Terlihat bahwa perlu diusahakan frekuensi dan lebar band serta daya yang tepat, agar sinyal sinyalnya yang berasal dari berbagai stasiun bumi ini tidak saling mengganggu (d) di satelitnya. Jadi, diperlukan koordinasi yang ketat mengenai kestabilan frekuensi, faktor modulasi, besarnya daya pancar dari setiap stasiun bumnnya.

Setelah melalui D/C di satelitnya (e), sinyal-sinyal dibagikan kepada beberapa penguat/transponder sehingga masing-masing transponder hanya memproses sinyal-sinyal yang terdapat dalam pita frekuensi selebar 40 MHz (f) dan (g).

Sinyal yang diperkuat setelah digabung di satelitnya, dipancarkan kembali ke bumi. Di stasiun penerima B, sinyal diproses melalui LNA (h) dan D/C (i) sehingga diperoleh sinyal IF.

Untuk stasiun yang besar adakalanya LNA memproses seluruh band yang 500 MHz, tetapi bisa juga hanya gelombang pembawa yang dikehendaki. Namun, D/C biasanya hanya memproses sinyal dari transponder tertentu saja. Demodulator dari rangkaian IF melalui tapis-tapis hanya akan memproses sinyal yang diinginkan.

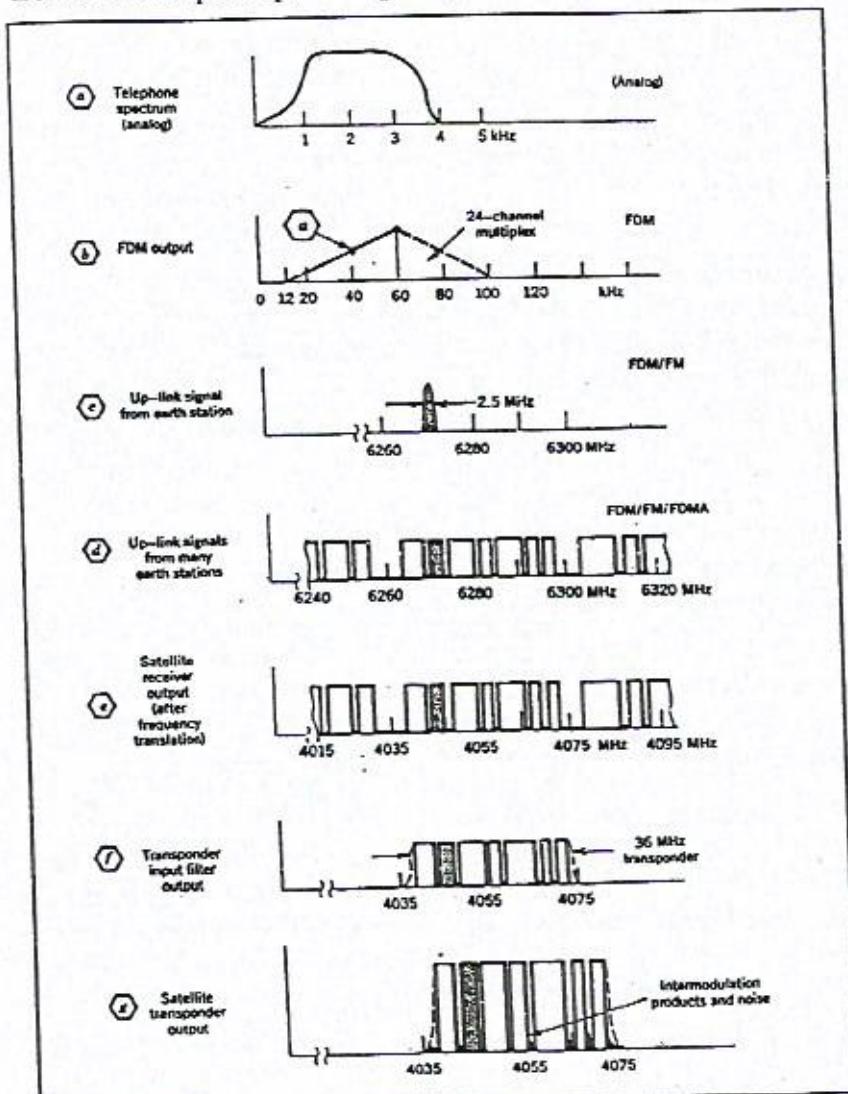
Pada masukan demodulator (j) sinyal IF baru didemodulasi menghasilkan base bandnya.

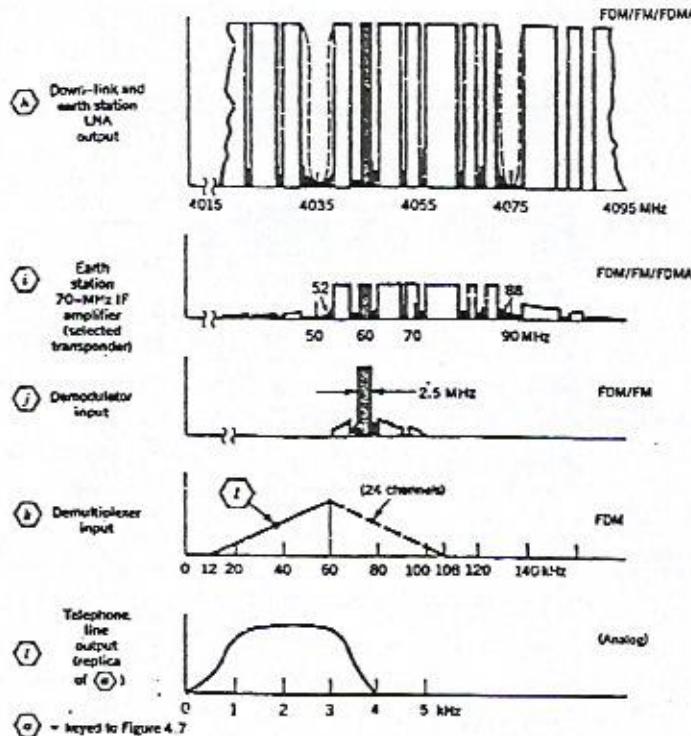
Pada keluaran demultiplexer baru diperoleh kembali sinyal-sinyal telepon-suara.

Dengan menggabungkan TDM dengan FDMA diperoleh TDMA/FDMA, dimana TDM-nya dilaksanakan hanya dengan menggunakan sebagian dari transpondernya. Sehingga disini, setiap transponder dapat digunakan oleh beberapa gelombang pembawa TDM.

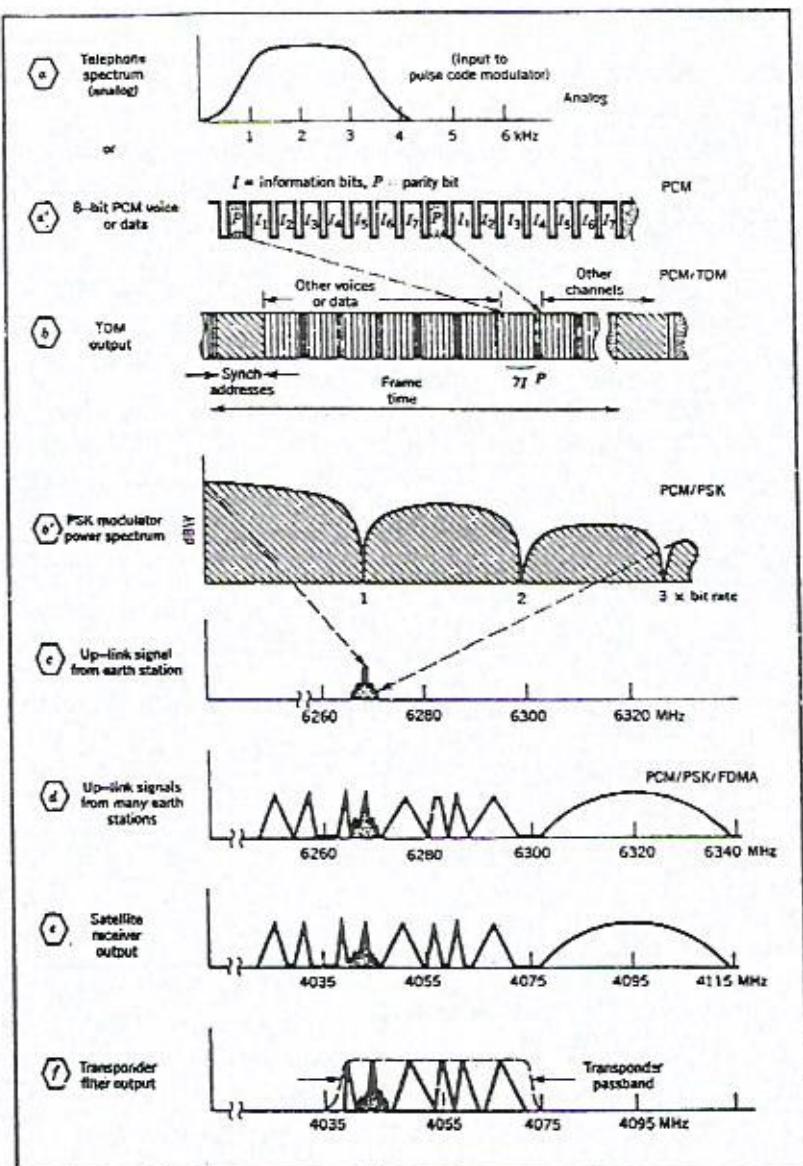
Dalam bentuk yang sederhana, dimana masing-masing saluran hanya untuk 1 saluran suara, bisa juga disebut Digital SCPC.

Dalam sistem ini, (lihat gambar 7.17) sinyal-sinyal diubah menjadi sinyal PCM (a), lalu beberapa saluran telepon disusun dengan cara TDM (b). Pada gambar (b') diperlihatkan spektrum frekuensi dari pulsa-pulsa digitalnya.





**Gambar 7.16**  
 Proses Pengiriman dan Penerimaan  
 dalam Skala Waktu dan Frekuensi



Gambar 7/17  
Proses Pengiriman dan Penerimaan FDMA/TDMA

Deretan pulsa-pulsa ini baru dimasukkan ke modulator, dimana keluaran modulator akan berupa sinyal PSK dengan gelombang pembawa IF. Spektrum sinyal ini hanya akan menempati sebagian saja dari transpondernya.

Setelah melalui U/C, sinyal akan dipancarkan kearah satelitnya (c). Di satelit juga akan diterima sinyal dari stasiun-stasiun lainnya (d) dan akan diproses secara bersama-sama, mulai dari penggeseran frekuensi dari pita 6 GHz ke pita yang 4 GHz (e), penyekatan di penguat akhir (f) dan dipancarkan kembali ke bumi (g).

Sinyal dari satelit akan diterima dan diproses oleh stasiun lawan (h). Setelah melalui D/C dan demodulator (i) dan (j), sinyal akan dikembalikan dalam bentuk PCM. Dari demodulator akan diproses oleh demultiplexer (k) untuk mendapatkan kembali sinyal masing-masing saluran telepon. Terlihat, sistem ini merupakan gabungan dari TDM dan FDMA.

Terlihat bahwa satu transponder dapat digunakan oleh beberapa carrier (frekuensi pembawa) baik dengan masing-masing satu atau beberapa saluran telepon-suara.

Banyaknya gelombang pembawa yang dapat ditempatkan dalam satu transponder bergantung kepada RF-band dan Power yang dibutuhkan oleh masing-masing gelombang pembawa.

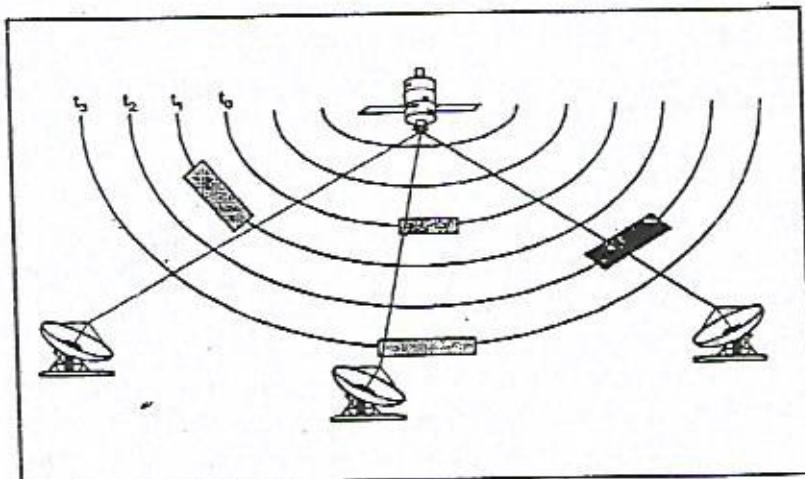
Antara 2 gelombang pembawa harus diberi *guard band* untuk mengurangi interferensi. Untuk setiap komposisi dihitung berapa lebar pita total dan daya total yang akan dibutuhkan.

Biasanya untuk satelit-satelit yang beroperasi di C-band akan lebih dahulu habis terpakai dayanya dari pada lebar pitanya (*power limited*). Sebaliknya, dengan satelit yang beroperasi di Ku-band lebih dulu habis terpakai lebar pitanya dari pada dayanya. Dalam perhitungan ini ada sedikit faktor coba-coba untuk mendapatkan komposisi yang paling optimal baik dari sudut penggunaan daya maupun lebar pita.

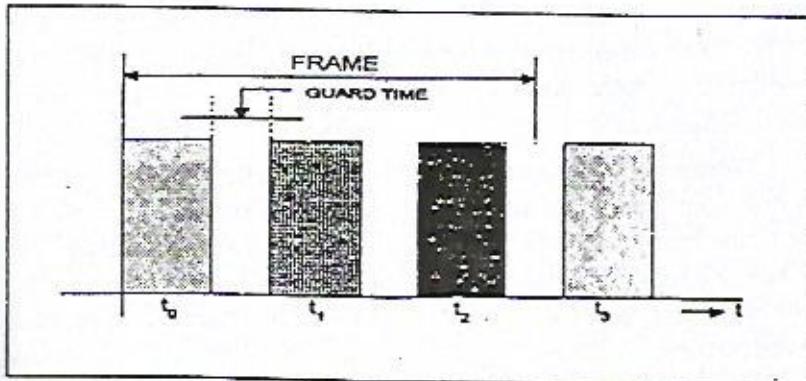
Untuk penggunaan di jalur-jalur dengan lalulintas yang rendah (*thin route*), sering digunakan sistem SCPC (*Single Channel Per Carrier*). Jadi, satu gelombang pembawa hanya membawa satu saluran telepon, sehingga satu transponder dapat digunakan oleh kurang lebih 600 saluran telepon/suara.

#### 4. SISTEM TDMA

TDMA ialah suatu teknik MA dimana sinyal-sinyalnya yang dikirim dari stasiun bumi berbentuk segmen-segmen dalam suatu "burst" dalam selang waktu (slot) yang berbeda, dan secara berurutan masuk ke dalam transponder yang sama dalam satu periode "frame" TDMA. Setiap segmen sinyal yang dipancarkan masing-masing SB tersebut menduduki salah satu slot khusus sehingga tidak tumpang tindih dengan segmen dari Stasiun Bumi (SB) yang lain. Ini dimungkinkan dengan teknik sinkronisasi dan penjadwalan secara tepat dari setiap segmen.



Gambar 7.18  
Pancaran "burst" dari Stasiun-stasiun Bumi



Gambar 7.19

Posisi tibanya "burst" di transponder sebagai fungsi waktu

TDMA disebut suatu sistem MA yang paling efisien dalam menggunakan satelit, tetapi kerugiannya ialah terutama karena diperlukannya sinkronisasi dan "Timing" dari network secara keseluruhan. Paling efisien, karena dalam TDMA, TWT dapat beroperasi dalam daerah saturasinya, tanpa menimbulkan interferensi yang membahayakan. Sayangnya, hal ini juga menuntut stasiun bumi dengan antena relatif besar, karena perlu untuk menekan sidelobe, sehingga interferensi ke/dari satelit lain bisa dikurangi. Untuk sinkronisasi, dipancarkan oleh stasiun "master" suatu segmen sinyal secara periodik, yang akan diterima oleh semua Stasiun Bumi lainnya, yang akan menjadwalkan pengiriman segmen-segmennya, relatif terhadap segmen referensi ini. Semakin dikehendaki ketelitian sinkronisasi, semakin panjanglah deretan sinyal yang dikirim, dan ini menambah overhead dan mengurangi efisiensi sistem. Untuk sistem dengan banyak Stasiun Bumi tetapi dengan trafik yang rendah, sistem FDMA maupun TDMA menjadi kurang efisien. Efisiensi dapat ditingkatkan dengan teknik *demand assignment* (DA), tetapi tentunya hal ini dibarengi dengan meningkatnya kompleksitas.

Dalam gilirannya, TDMA ini dapat digabung dengan FDM, dimana sistem TDM-nya dilakukan untuk 1 gelombang pembawa yang hanya akan menempati sebagian dari transpondernya.

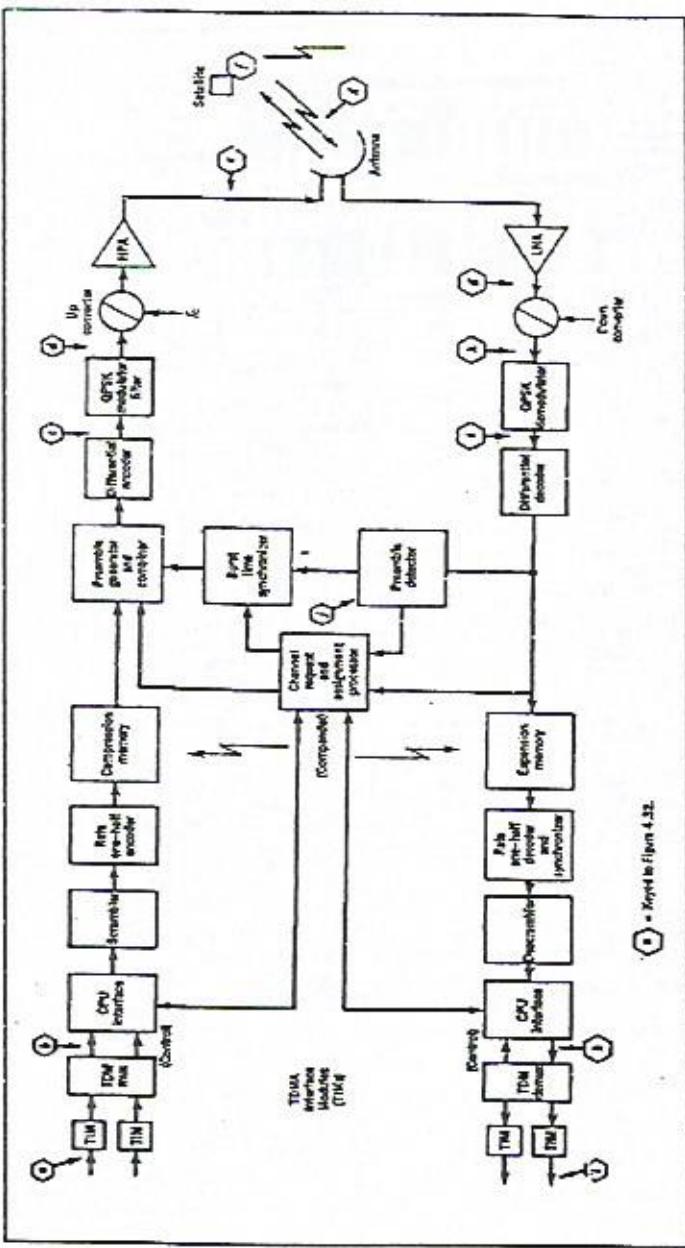
Tentunya titik operasi satelit harus dikurangkan, tetapi untuk jumlah saluran yang sama, jumlah gelombang pembawanya tetap lebih sedikit dibanding dengan sistem FDM sehingga membutuhkan "back off" yang lebih kecil. Dalam bentuk yang pertama, sistem TDMA menggunakan seluruh transponder dengan satu gelombang pembawa atau disebut SCPT (*Single Carrier Per Transponder*).

Prinsip kerja sistem TDMA ini diperlihatkan dalam gambar 7.20 yang menunjukkan kerjanya dalam diagram blok dan gambar 7.21 yang menunjukkan pemrosesan sinyalnya.

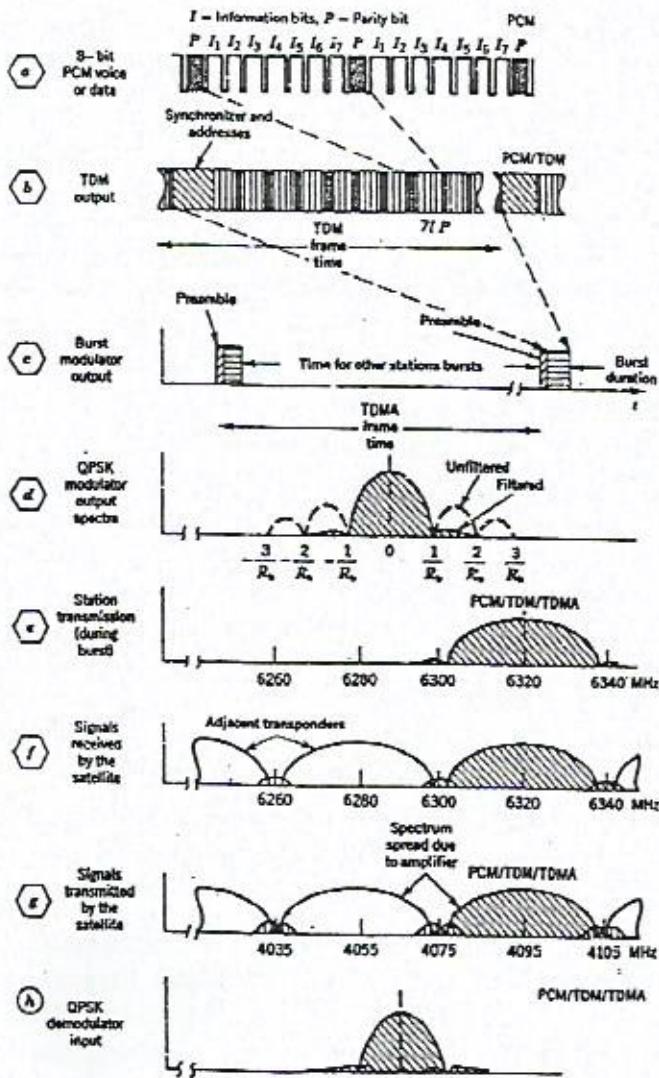
Disini setiap SB diberi satu *time-slot* untuk mengirimkan sinyalnya dalam bentuk TDM (a). Antara pengiriman 2 SB yang berturutan diberi selang waktu (*guard time*), yang setara dengan *guard band* di sistem FDMA. Jadi, pada setiap saat hanya satu SB yang memancarkan sinyalnya dengan satu gelombang pembawa dan menggunakan transpondernya. Setelah seluruh stasiun memancarkan sinyalnya baru kembali ke saluran SB yang pertama. Selang antara 2 puncaran yang berurutan dari satu SB yang sama disebut satu frame.

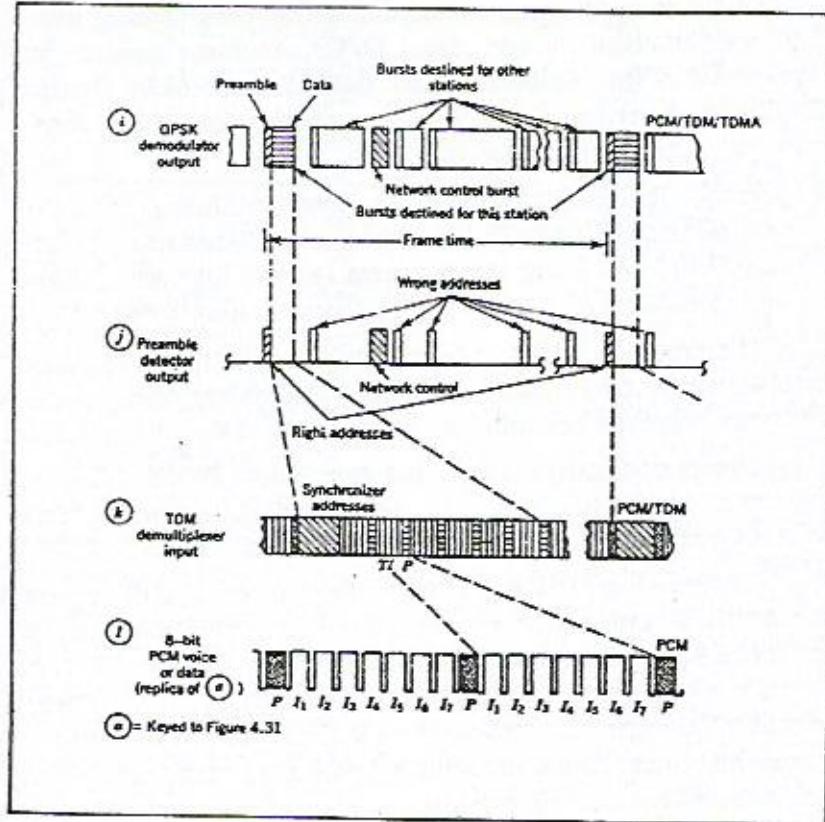
Panjang segment puncaran untuk setiap SB bisa berbeda bergantung kepada kecepatan pengiriman yang diperlukan masing-masing SB.

Masukan ke modulator akan merupakan sederetan pulsa-pulsa (Burst). Keluaran modulator akan berupa pulsa-pulsa sinyal dengan frekuensi IF (c). Lebar pulsa yang sangat sempit, akan mempunyai spektrum yang lebarnya sama dengan lebar band 1 transponder (d).



Gambar 7.20 Diagram Blok Sebuah Stasiun Bumi TDMA





Gambar 7.21  
Proses Pengiriman dan Penerimaan TDMA

Dalam U/C frekuensi gelombang pembawa akan dinaikkan untuk dipancarkan lewat antena (e). Disini spektrum sinyal akan menempati seluruh transpondernya.

Di satelitnya, akan diterima juga pancaran network lain yang menggunakan transponder yang berbeda (f). Sinyalnya akan diproses oleh satelitnya untuk dipancarkan kembali ke bumi (g).

Di antena penerima SB lawan, sinyal yang datang akan diproses, melalui LNA dan D/C sebelum masuk ke demodulator (h). Keluaran dari demodulator akan berupa deretan pulsa-pulsa. SB hanya akan memproses sinyal yang memang ditujukan kepadanya (i).

Dari demodulator, sinyal akan dimasukkan ke demultiplexer, sehingga di keluarannya akan diperoleh pulsa-pulsa PCM (k) yang selanjutnya akan diproses untuk memperoleh kembali sinyal-sinyal telepon/suara (l).

Dalam bentuk kedua, sistem TDMA-nya hanya menggunakan sebagian dari transpondernya. Jadi, satu transponder melayani beberapa gelombang pembawa TDMA.

Prinsip operasinya sama dengan sistem TDMA, hanya beroperasi pada bit rate yang lebih rendah, sehingga tidak seluruh lebar pita/daya transpondernya terpakai.

Sistem ini merupakan pengembangan sistem TDMA untuk melayani kebutuhan jaringan dengan volume traffic yang rendah. Sehingga sistem ini disebut juga Low Bit Rate TDMA, dengan bit rate yang lebih rendah, misalnya 3,2 Mb/s dapat bersaing dengan sistem-sistem SCPC untuk melayani kebutuhan suatu jaringan dengan beberapa lokasi yang total volume trafficensya cukup rendah.

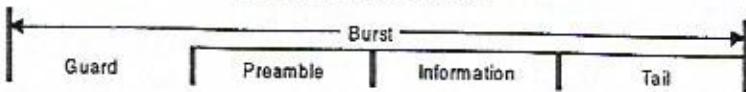
Terutama sistem mana yang dipilih akan bergantung kepada kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem dalam memenuhi kebutuhan pengguna.

Dalam sistem TDMA ini, untuk sinkronisasi ada satu stasiun yang berfungsi sebagai *primary reference*. Jadi, timing (*clock*) dan frekuensi dari seluruh stasiun akan menggunakan frekuensi dan timing dari stasiun ini sebagai referensi.

Setiap stasiun akan mengirimkan segmen sinyal dalam bentuk "burst" yaitu sederetan pulsa-pulsa RF dengan panjang tertentu yang dimulai oleh deretan pulsa pembuka dan diakhiri oleh deretan pulsa penutup.

Sehingga setiap burst dapat digambarkan sebagai berikut:

### BURST STRUCTURE



#### Preamble

- Sequence of 1, and 0, provides defined transitions for Demodulator
- Define where Information bits are located within burst
- Distinguishes Reference bursts

#### Information

- Begins Immediately after preamble
- Customer service information-length depends on types of service and total number of channels

#### Guard Time

- Compensates for differences in clock frequency between nodes and doppler effect (satellite motion)
- 8 symbols

#### Tail

- Clears FEC registers
- 8 symbols

Gambar 7.22  
Struktur suatu "Burst"

Jadi, setiap "burst" dapat dianggap selalu terdiri dari guard-time, Preamble, Informasi dan ekor (tail).

Guard Time: Terdiri dari beberapa simbol (yang tak berisi info) untuk kompensasi perbedaan clock dari masing-masing stasiun dan efek doppler karena pergerakan satelitnya. Selang ini berguna untuk mencegah semburan (burst) dari stasiun-stasiun yang berbeda saling menghimpit (overlap).

Preamble : Terdiri dari pulsa-pulsa "1" dan "0" yang berisi informasi untuk transisi demodulator dan penjelasan mengenai bit-bit informasi. Preamble ini menentukan saat permulaan yang akan

digunakan sebagai referensi dalam menghitung posisi pulsa-pulsa lainnya yang digunakan untuk mendeteksi pulsa-puisa informasi, dan bagi stasiun penerima digunakan untuk mendeteksi pulsa-pulsanya.

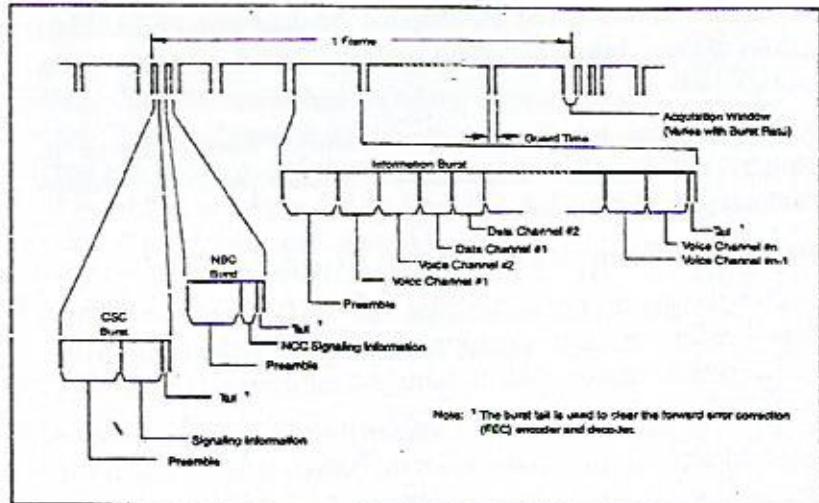
- Informasi : Terdiri sederetan pulsa yang berisi informasi yang dikirim. Panjangnya akan bergantung kepada jumlah informasi yang dikirim.
- Tail : Terdiri dari sederetan pulsa untuk mengembalikan register FEC-nya, sehingga FEC-nya siap untuk menerima burst berikutnya.

Burst dalam setiap frame akan dimulai dengan burst, yang bisa terdiri dari 2 macam burst, dan yang diproses oleh seluruh stasiun dalam jaringannya.

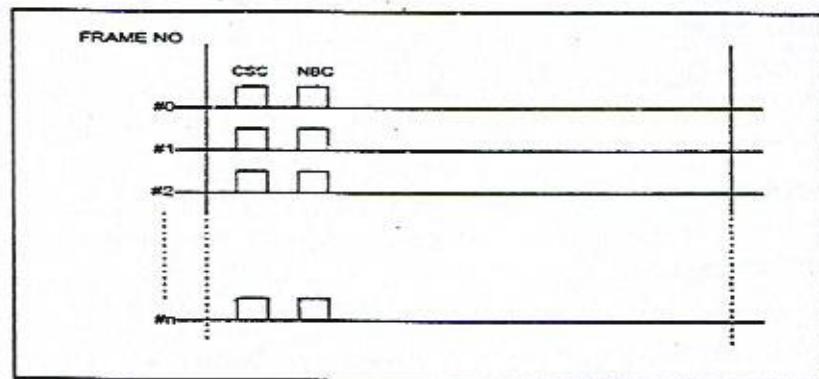
Pertama adalah CSC (*Common Signalling Channel*) yang memuat informasi signalling untuk DAMA traffic-nya, dan digunakan oleh setiap stasiun pada salah satu frame yang sudah ditentukan untuk stasiun yang bersangkutan.

Kedua adalah NBC (*Network Broadcast Channel*), yang berisi informasi tentang status jaringannya, dan informasi-informasi lain dan juga digunakan oleh *primary station* untuk mengirim data-data (*down load*) yang diperlukan oleh stasiun-stasiun remote untuk topologi jaringan dan pembagian sub-burst dalam PA dan DA dalam frame-framenya yang disebut sebagai BTP (*burst time plan*). NBC ini hanya digunakan oleh primary station.

Kedua burst ini diterima dan akan diproses oleh semua stasiun sehingga setiap frame akan terlihat sebagai berikut:



Gambar 7.23  
Struktur Burst dalam satu Frame



Gambar 7.24  
Jumlah Frame dalam 1 Super Frame

Dalam Frame #0 CSC digunakan oleh stasiun primary  
 Frame #1 CSC digunakan oleh stasiun no. 1  
 Frame #2 CSC digunakan oleh stasiun no. 2, dst.  
 Sedang burst NBC hanya digunakan oleh primary station.

Barulah kedua burst ini disusul dengan burst-burst dari stasiun-stasiun lainnya, yang aktif dalam frame yang bersangkutan.

Frame-frame ini dimulai dari frame 0 sampai frame n, untuk n remote dan 1 primary. Setelah seluruh stasiun mendapat giliran baru kembali lagi ke frame #0.

Jumlah frame dalam satu seri disebut sebagai *Super Frame*.

Dari penjelasan di atas terlihat bahwa dalam sistem TDMA semua stasiun sama derajatnya, tidak ada Hub yang harus dihubungi oleh stasiun-stasiun lainnya untuk "pesan" dll.

Disini NMS melalui NBC memberitahukan semua stasiun-stasiun mengenai slot yang bisa digunakan, misalnya untuk slot-slot DA ataupun slot-slot mana yang sudah digunakan untuk keperluan-keperluan lain.

Setiap stasiun dengan "melihat" kondisi seluruh jaringan akan "memesan" slot-slot yang masih kosong untuk digunakan dalam frame-frame berikutnya.

Jadi, distribusi fasilitas yang ada terjadi dengan cara semua stasiun saling memberitahukan melalui slot CSC masing-masing.

NMS melalui NBC hanya memberi informasi apa dan bagaimana stasiun-stasiun dapat menggunakan fasilitas jaringan yang ada.

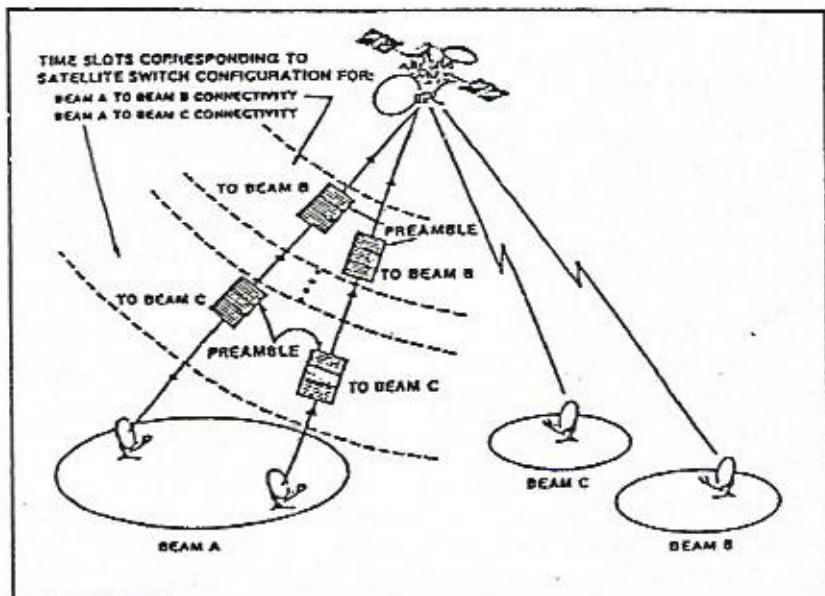
Jika ada stasiun-stasiun yang memerlukan hubungan atau jasa khusus, misalnya video conference, yang berarti link PA untuk waktu yang pendek, baru perlu menghubungi primary stasiun melalui hubungan telpon/fax biasa.

Akan tetapi, NMS dapat mengubah distribusi fasilitas jaringan dalam berbagai konektivitas dan jasa sesuai dengan kebutuhan sistem, dengan cara yang relatif mudah dengan mengubah BTP.

## 5. SISTEM SDMA

Yang termasuk kategori teknologi ini, misalnya adalah SS-TDMA (Satellite Switched TDMA), suatu teknik yang semula hanya dimaksudkan untuk menggunakan kembali frekuensi. Perbedaan posisi geografis dimanfaatkan dengan teknik multi-spot beam, sedemikian hingga pensil-pensil pancaran tersebut dapat menggunakan pita frekuensi yang sama. Teknologi yang terlibat mencakup antena (array), switching di satelit dan sinkronisasi. Sistem ini dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi sumberdaya satelit, tetapi harus dikompensasi dengan kompleksitas yang tinggi.

Dalam SS-TDMA, setiap Stasiun Bumi harus mentransmisikan beberapa segment/burst pada setiap frame TDMA, satu pada setiap berkas yang akan dikomunikasikan seperti dalam gambar:



Gambar 7.25  
Prinsip Kerja SS-TDMA

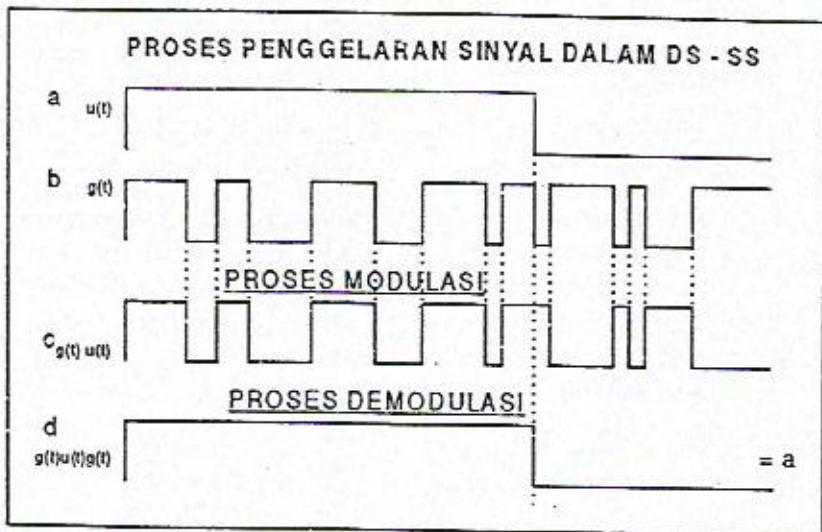
Dalam suatu sistem dengan berkas sejumlah M, beberapa Stasiun Bumi dalam berkas A ingin berkomunikasi dengan berkas B dan berkas C. Di dalam satelit diperlukan  $M \times M$  MSM (*Microwave Switched Matrix*), untuk bisa mengkomunikasikan masing-masing berkas. Frame TDMA dibagi menjadi beberapa time slot. Pada suatu time slot, bila MSM diatur untuk menghubungkan berkas A dan B, semua SB dalam berkas A yang ingin menghubungi SB di berkas B, mengirimkan up-link burst ke satelit. Di satelit burst-burst ini diubah ke IF, dan direrouting melalui MSM ke berkas B. Terminal di berkas A harus menunggu sampai slot kedua untuk dapat berkomunikasi dengan berkas C. Pada saat itu konfigurasi MSM menghubungkan berkas A ke berkas C. Teknik SS/TDMA mempunyai kerugian. Semakin banyak berkas, maka jumlah preambles dan guardtimes semakin membuat sistem relatif tidak efisien, apalagi jika terminalnya hanya punya traffic yang rendah.

## 6. SYSTEM CDMA

Spread spektrum atau penggelaran frekuensi atau spektrum dapat dipandang sebagai teknik modulasi, tetapi dapat pula dipandang sebagai metode MA. Pengecilan efek gangguan diperoleh dari penggelaran energi gangguan di dalam pesawat penerima, sehingga di dalam lebar pita frekuensi gangguan tersebut menjadi kecil sekali efeknya.

Proses penggelaran spektrum tadi dapat diperoleh dengan mengalikan sinyal informasi  $u(t)$  dengan sinyal gelar  $g(t)$ , dan ini dapat terjadi melalui pengalian pada baseband maupun pada gelombang pembawa. Ada 3 metode dasar yang dijumpai: DS (*Direct Sequence*), FH (*Frequency Hopping*) serta TH (*Time Hopping*). Dalam DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), fungsi penggelar diperoleh dari modem gelombang pembawa. Dalam FH-SS, fungsi penggelar spektrum diperoleh dengan melompat-lompatkan frekuensi gelombang pembawa di dalam

kumpulan frekuensi yang polanya telah ditentukan oleh fungsi penggelar tersebut. Sedangkan dalam TH-SS, penggelaran spektrum diperoleh karena transmisi segmen/burst terjadi pada slot-slot dalam suatu frame yang posisinya telah ditentukan oleh fungsi penggelar.



Gambar 7.26  
Proses Modulasi/Demodulasi CDMA

$u(t)$  = sinyal yang dikirim, dengan nilai  $u(t) = \pm 1$

$g(t)$  = sinyal gelar, dengan nilai  $g(t) = \pm 1$

c = sinyal tergelar (modulasi)

d = hasil demodulasi

Prinsip proses modulasi dan demodulasi terjadi sebagai berikut (lihat gambar 7.26):

- ⇒ Sinyal informasi asli  $u(t)$ , kecepatannya ditingkatkan berpuluhan kali dengan mengalikannya dengan sinyal gelar  $g(t)$ . Ditempat tujuan, sinyal tergelar ini dicampur lagi dengan sinyal  $g(t)$  yang dibangkitkan lokal, sesuai perjanjian.

Untuk sinyal-sinyal tergelar di masukan hanya sinyal tergelar dengan komposisi yang cocok dengan  $g(t)$  yang menghasilkan sinyal  $u(t)$  kembali. Karena sinyal  $u(t)$  ini kecepatannya sangat rendah dibanding sinyal-sinyal yang tergelar, jika demodulator diikuti dengan tapis lolos bawah dengan pass band yang hanya bisa meloloskan  $u(t)$ , dari banyak sinyal-sinyal tergelar di masukan hanya  $u(t)$  yang akan keluar dari tapisnya.

Jadi, demodulasi di sini terjadi karena fungsi gelar  $g(t)$  dan timing yang tepat.

Agar sinyal-sinyal gelar yang digunakan dalam satu sistem dapat dibedakan dengan baik, setiap fungsi gelar tersebut harus mempunyai sifat korelasi sendiri (*auto correlation*) yang tinggi dengan sinyalnya sendiri dan punya sifat *cross-correlation* yang rendah dengan fungsi gelar lainnya, atau secara matematis:

$$g_1(t) \ g_2(t) \ll \overline{g_1(t) \ g_2(t)}$$

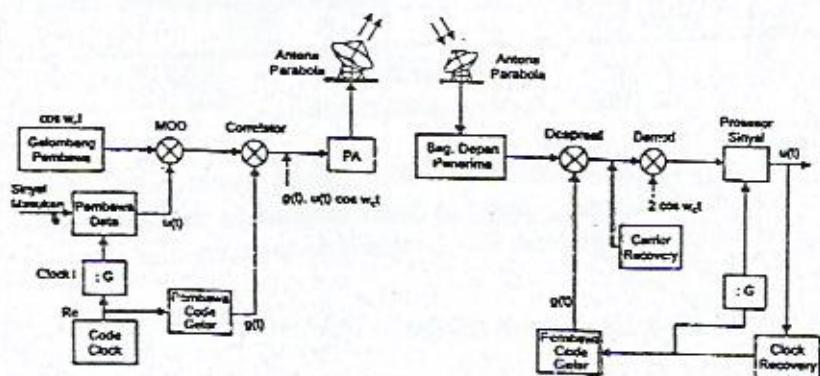
Tanda  $\overline{\quad}$  di atas harga  $g_1 \times g_2$  berarti harga rata-rata perkalian kedua sinyal.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah, pancaran dari stasiun-stasiun yang berbeda, harus tiba disatelit dengan kuat daya yang hampir sama. Karena semua stasiun menggunakan pita frekuensi yang sama, sedang TWT di satelit biasanya bekerja dekat saturasi, sehingga sinyal yang kuat akan menekan sinyal yang lemah.

Dari segi sistem secara keseluruhan, diagram bloknya mirip sistem SCPC dengan FDMA, dimana tiap saluran hanya menggunakan sebagian dari transpondernya. Karena kecepatan bit fungsi gelar harus jauh lebih tinggi dari data asli ( $g(t) >> u(t)$ ) dengan faktor  $100 \div 1000$  kali), satu saluran CDMA biasanya hanya memuat satu saluran suara/data.

Jadi, rangkaian hanya berbeda pada tingkat penggelaran yang dapat terjadi pada tingkat base band atau RF/IF.

Diagram blok sistem penggelaran suatu sistem DS-SS (Direct Sequence - Spread Spectrum) diperlihatkan pada gambar 7.27.



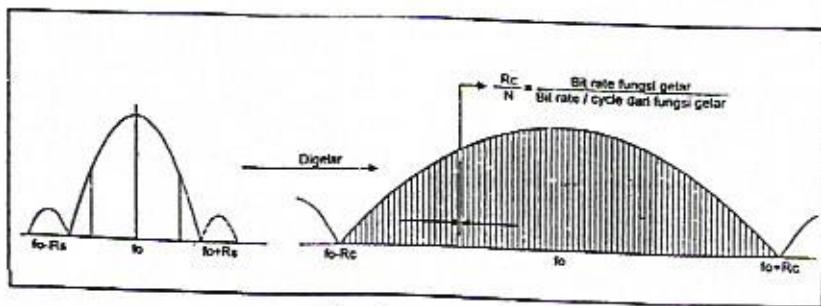
Gambar 7.27  
Diagram Blok Sistem Penggelaran sinyal DS-SS  
di Pemancar dan Penerima

Keluaran dari modulator berupa gelombang pembawa yang termodulasi oleh data yang mau dikirim, yang secara matematis dapat dituliskan

$$V_c = V_o \cdot u(t) \cdot \cos w_{ct}$$

Dengan spektrum frekuensi dengan lebar pita =  $2 R_s$  (diantara 2 titik nol pertama) dimana setelah digelar dengan fungsi gelar  $g(t)$  dengan processing gain  $G$ , maka bit rate  $R_c = G R_s$ , dan lebar pita diantara 2 titik nol pertama menjadi  $2 R_c$  seperti telihat dalam gambar 7.28.

Dengan penggelaran sinyal, sinyal gelar yang dikirim adalah  $V_c = V_o g(t) \cdot u(t) \cdot \cos w_{ct}$ .



Gambar 7.28  
Efek penggelaran pada pita frekuensi

Di penerima, setelah melalui proses penerimaan biasa, sinyal di "despread" dengan mencampurnya dengan sinyal gelar yang dibangkitkan lokal, sehingga keluaran despreader adalah :

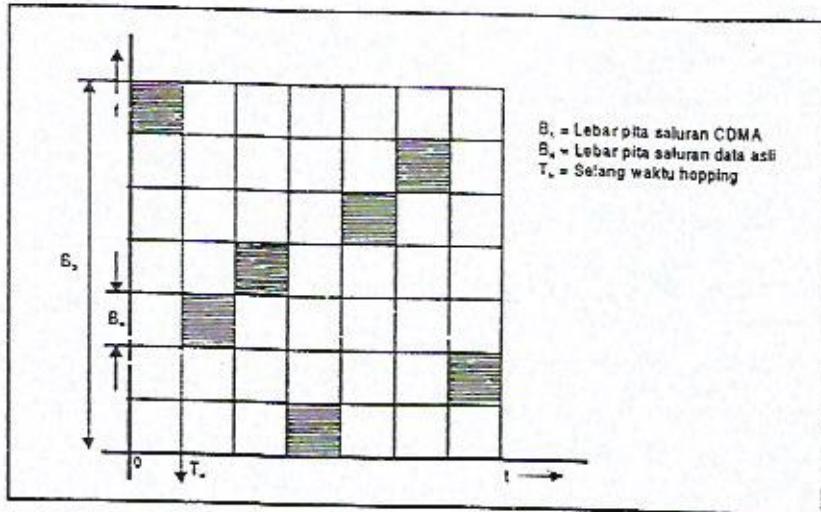
$$\begin{aligned}
 V &= (V_0 g(t) u(t) \cos w_{ct}) \cdot g(t) \\
 &= V_0 u(t) \cdot \cos w_{ct} \quad \text{karena } [g(t)]^2 = [\pm 1]^2 = 1
 \end{aligned}$$

Melalui Demodulator, dengan mencampurnya dengan gelombang pembawa yang dibangkitkan lokal akan diperoleh sinyal  $u(t)$  kembali karena :

$$\begin{aligned}
 V_0 &= V u(t) \cos w_{ct} \cdot 2 \cos w_{ct} = V u(t) 2 \cos^2 w_{ct} \\
 &= V u(t) [1 + \cos 2 w_{ct}] = V u(t) + V u(t) \cos 2 w_{ct}
 \end{aligned}$$

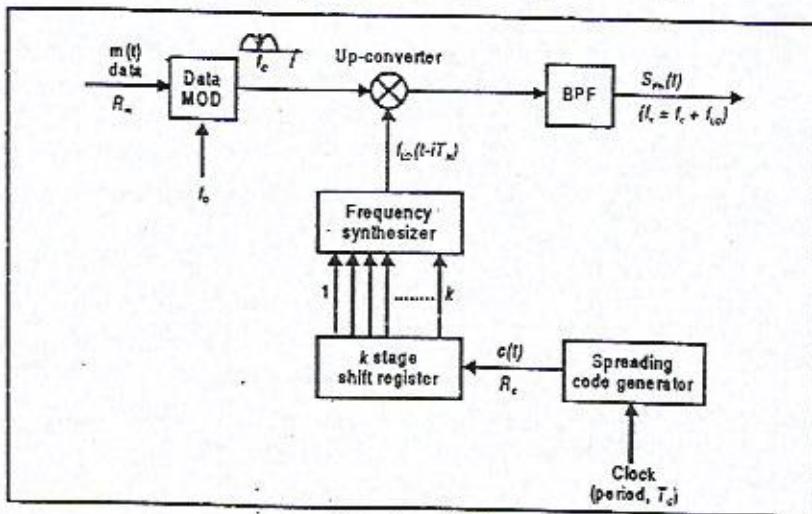
dengan melewati sebuah tapis lolos bawah, akan diperoleh kembali  $V u(t)$ , yaitu data yang dikirimkan. Rangkaian-rangkaian modulasi pembawa, *carrier recovery* dan *clock recovery* akan lebih dijelaskan pada bab modulasi RF.

Dalam sistem FH-SS (*Frekuensi Hopping Spread Spectrum*), kecepatan pengiriman bit asli tidak diubah, sehingga pita frekuensi yang diduduki tetap relatif sempit. Fungsi penggelaran diperoleh dengan mengubah frekuensi LO sesuai dengan fungsi gelarnya, sehingga pita frekuensi yang diduduki berpindah-pindah dalam saluran CDMA-nya sesuai dengan fungsi gelarnya, seperti diperlihatkan dalam gambar 7.29.



Gambar 7.29  
Loncatan frekuensi pengiriman pada sistem FH-SS

Loncatan frekuensi LO diperoleh dengan rangkaian penggelaran seperti yang diperlihatkan pada gambar 7.30.



Gambar 7.30  
Proses loncatan frekuensi pada sistem FH-SS.

Dengan register k-bits yang mengontrol Frequency-Synthesizernya, dapat diperoleh sebanyak N kombinasi frekuensi LO-nya dimana:

$$N = 2^k$$

Jika kecepatan coding  $R_c = \frac{1}{T_c}$ , maka diperlukan selang waktu  $kT_c$  dari clock untuk mengisi seluruh tahap  $-k$  dari serial - in dan paralel-output demultiplexer sebelum hop berikutnya terjadi. Jadi, periode untuk pindah frekuensi adalah:

$$T_H = kT_c = \frac{2^{\log N}}{R_c}$$

$$\text{Kecepatan hopping } R_H = \frac{R_c}{2^{\log N}} = \frac{R_c}{k} \text{ atau } R_c = k R_H$$

Dalam sistem FH, umumnya digunakan modulasi RF dengan FSK dan setiap hop hanya dipancarkan fm atau fs (+1 dan -1). Sistem ini disebut slow-FH karena hanya 1 bit (+1 atau -1) yang dipancarkan setiap hopnya.

Untuk saling tidak overlap dalam pita frekuensi, dan menjaga ortogonalitas sistem, perbedaan frekuensi atas (fm) dan frekuensi bawah (fs) harus cukup besar, yaitu:

$$fm - fs \geq \frac{2}{T_s} = 2 \cdot R_s$$

Dan untuk menjaga kualitas decoding, lebar pita frekuensi saluran data asli harus cukup besar, minimal 2X lebar pita untuk menjaga ortogonalitas:  $B_H = 4R_s$ .

Sedang lebar total pita frekuensi saluran CDMA-nya harus dapat menampung  $N \times$  lebar pita data asli, atau:  $B_S = N B_H = 4 N R_s$ . □

# Sistem Modulasi RF

Dalam komunikasi satelit digunakan bermacam sistem modulasi RF seperti, yang biasa digunakan dikomunikasi radio yang umum seperti FM, FSK, PSK. Tetapi sesuai dengan sinyal base bandnya sistem modulasi yang sesuai digunakan adalah modulasi FM atau PSK.

## 1. SISTEM MODULASI FM

Untuk sinyal-sinyal analog biasanya digunakan modulasi FM, seperti pada sistem komunikasi radio terestrial.

Untuk sistem SCPC (*Single Channel Per Carrier*), digunakan FM dengan lebar pita frekuensi, sekitar 75 KHz, tetapi ada juga sistem dengan 50 KHz bahkan 22.5 KHz.

Untuk sinyal berkanal banyak dengan FDM, maka sistemnya bisa menjadi FDM-FDMA. Perhitungan-perhitungan disini sama seperti pada sistem terestrial.

## 2. RANGKAIAN SALURAN DIGITAL (dengan band pass terbatas)

Dalam pengiriman sinyal digital dari sumber ke tujuan, sebagian dari hubungannya merupakan saluran radio. Akan tetapi, karena dalam sistem digital yang dikirim salurannya hanyalah dua macam informasi yaitu angka 1 dan 0, modulasinya bisa lebih sederhana. Sistem modulasi yang paling umum digunakan adalah sistem modulasi PSK (*Phase Shift Key*). Dalam sistem ini untuk bit 1 dan 0 gelombang

pembawa diberi beda fase yang cukup besar seperti  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Sebaliknya, di penerima detektor hanya mendekripsi perbedaan fase ini dan memberikan pulsa-pulsa bit 1 dan 0. Deretan bit 1 dan 0 ini dapat berasal dari suatu sistem FDMA, TDMA, SDMA maupun CDMA. Jadi, bergantung kepada rekayasa sistemnya, sinyal FDMA, TDMA, CDMA ataupun SDMA-nya dapat dimodulasikan ke dalam modulasi BPSK, QPSK maupun modulasi lainnya ditingkat RF-nya.

Bergantung kepada beda fase yang diberikan untuk setiap informasi, ada beberapa jenis PSK, seperti :

⇒ BPSK = Binary Phase Shift Keying

Disini bit 1 dan 0 diberi beda fase sebesar  $180^\circ$  atau  $\pi$ .

⇒ Level yang lebih tinggi seperti QPSK atau lebih umum, M-PSK.

Disini untuk setiap informasi dapat diberikan M-fase yang berbeda. Umumnya, diambil harga-harga dari hubungan:

$$N = 2 \log M$$

Dimana : M = jumlah kemungkinan sudut fase/posisi yang berbeda

$$N = \text{jumlah bit untuk setiap fasenya}$$

Misalnya Q PSK = Quadrature Phase Shift Keying. Dimana dapat diperoleh 4 posisi yang berbeda dengan beda fase

masing-masing sebesar  $\frac{\pi}{2}$  dan setiap posisi mempunyai 2 bit

sehingga keempat posisi dapat mewakili informasi (symbol) 00, 01, 10 dan 11.

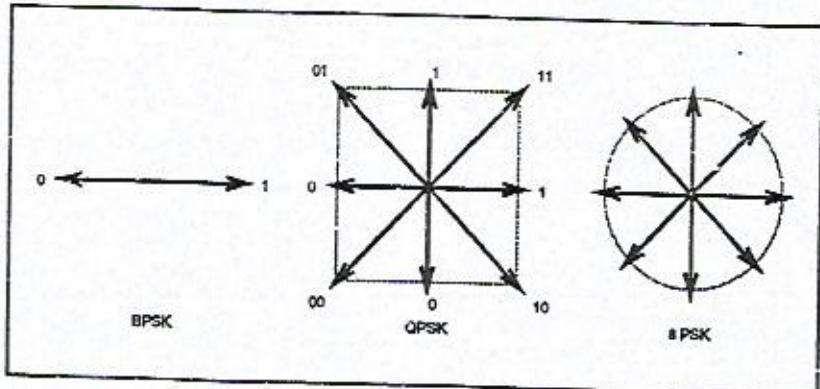
Dengan 8-PSK ada 8 posisi dengan beda fase masing-masing sebesar  $\frac{\pi}{4}$  dengan 3 bit setiap symbolnya mewakili 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

### 1. Sistem Modulasi BPSK

Dalam sistem modulasi BPSK, simbol  $u(t)$  yang punya harga  $\pm 1$ , untuk mewakili angka 1 (+V) dan 0 (-V), dicampur

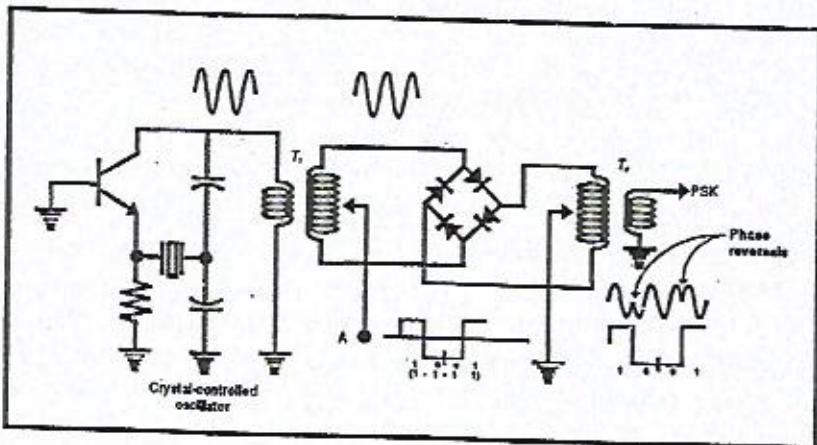
dengan simbol pembawa sin  $w_c t$ , sehingga sinyal dioutput pencampur dapat ditulis sebagai

$$V_c = Vu_i \sin w_c t \text{ dimana } u_i = +1 \text{ atau } -1 \text{ (sinyal NRZ)}$$



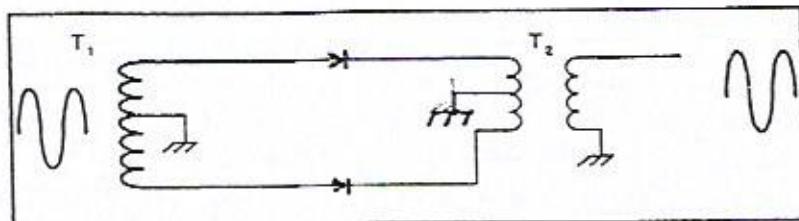
Gambar 8.1  
Beda Fase dalam BPSK, QPSK dan 8 PSK

Salah satu rangkaian modulasi BPSK adalah seperti terlihat pada gambar 8.2.

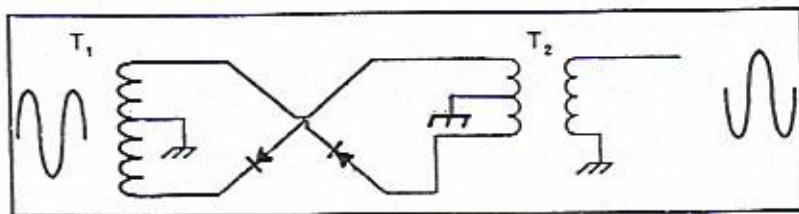


Gambar 8.2  
Rangkaian Modulator BPSK

Jika antara titik A dan tanah diberi pulsa positip (bit "1") rangkaian antara  $T_1$  dan  $T_2$  adalah sebagai berikut:



Sedang jika di A diberi bit "0" (-V) maka rangkaian menjadi :



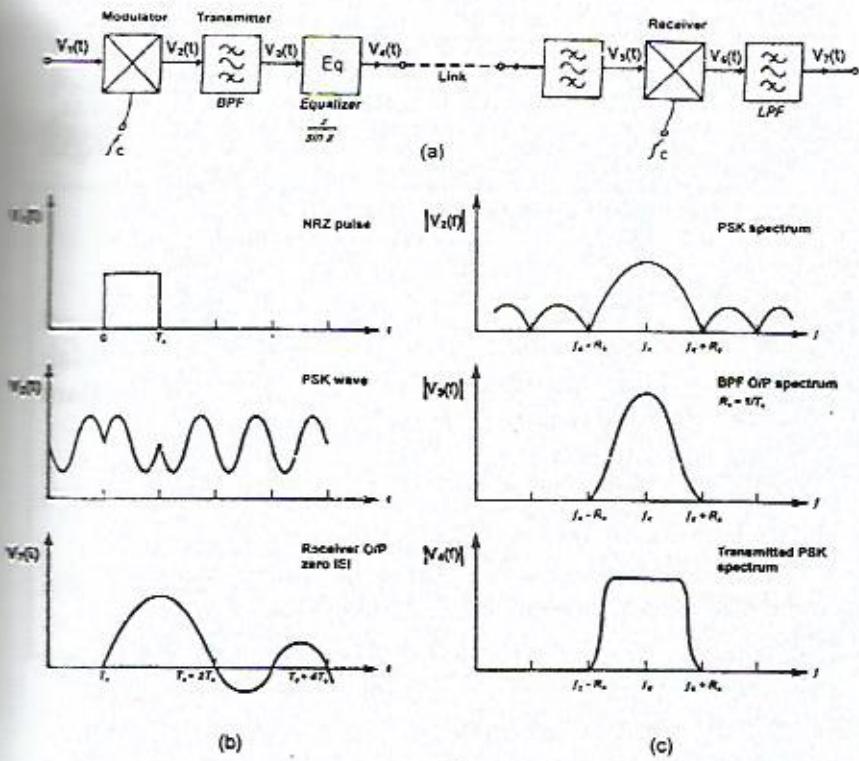
Dari sinyal input  $V_c = V \sin \omega t$ , bergantung kepada input sinyal data di A, di output modulator akan diperoleh:

$$V_c = V \sin \omega t \quad \text{untuk bit "1"}$$

$$V_c = -V \sin \omega t \quad \text{untuk bit "0"}$$

atau secara umum  $V_c = V_{ui} \sin \omega t$

Diagram blok rangkaian pemancar dan penerima BPSK diperlihatkan pada gambar 8.3



Gambar 8.3

Bentuk sinyal dan spektrum suatu sistem PSK dengan raised cosine filter dan equaliser  $x/\sin x$

(a) Diagram kotak sistemnya, (b) Bentuk sinyal, (c) Spektrum

Setelah dari modulator, pulsa-pulsa dilewatkan tapis "raised cosine" seperti biasa untuk memenuhi syarat Nyquist untuk memperkecil ISI. Namun, karena pulsa-pulsa yang masuk ke tapis bukan suatu yang merupakan "Impulse" [sehingga  $V(f) = V$ ], tetapi sebuah pulsa segiempat dengan amplitudo  $V$  dan lebar  $T_b$ , maka dalam spektrumnya, amplitudo sinyal-sinyal harmonisasi akan berubah sesuai rumus

$$V(f) = V \frac{\sin \pi f_{s\tau}}{\pi f_{s\tau}} = V \frac{\sin x}{x}$$

Agar sinyal yang dikirim mendekati pulsa-pulsa Nyquist, setelah dari tapis, sinyal dilewatkan Equalizer dengan karakteristik frekuensi :

$$A = \frac{x}{\sin x}$$

Sehingga sinyal yang dipancarkan mendekati sinyal Nyquist dimana karakteristiknya adalah  $V(f) = V$ , paling tidak untuk daerah utama dari spektrum yang terletak di dalam daerah frekuensi utamanya.

Dengan cara ini daerah pita frekuensi  $f_c - \frac{1}{T_b} < B < f_c + \frac{1}{T_b}$ , spektrumnya cukup konstan (lihat V4(f) dalam Gambar 8.3). Dipenerima, setelah melalui suatu band pass filter, sinyal akan dilewatkan sebuah demodulator. Dalam sistem demodulator, sinyal yang datang dicampur dengan gelombang pembawa sehingga diperoleh tegangan keluaran :

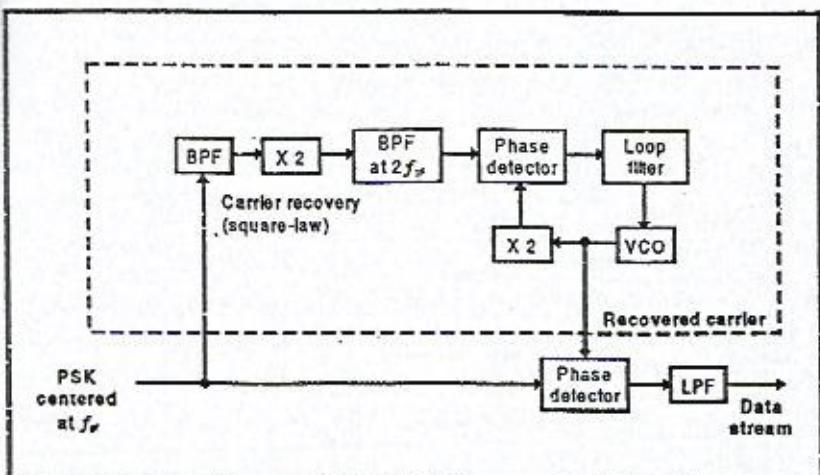
$$\begin{aligned} V_o &= V_c \times V_e = V_u i \sin w_c t \sin w_c t \\ &= V_u i \sin^2 w_c t = \frac{1}{2} V_u i (1 - \cos 2w_c t) \end{aligned}$$

Dengan menyaring komponen DC-nya akan diperoleh

$$V_o = \frac{V_u i}{2}$$

Jadi, jika keluaran DC-nya positif berarti angka 1 dan jika negatif berarti angka 0. Biasanya sinyal osilator lokalnya disinkronisasi dengan sinyal pembawa. Sinyal BPSK dengan perubahan fasa yang cukup tajam dari 0 dan  $\pi$ , sebenarnya merupakan sinyal DSB-SC (*Double Side Band-Suppressed Carrier*), yang spektrumnya justru hanya terdiri dari LSB dan USB tanpa frekuensi pembawa. Jadi agak susah digunakan untuk sinkronisasi.

Salah satu cara sinkronisasi adalah, dengan cara menaikkan frekuensi pembawa seperti terlihat pada gambar 8.4. Pengalian 2 ini juga dilakukan untuk menghilangkan keraguan fasa gelombang datang ( $0 - \pi$ ).

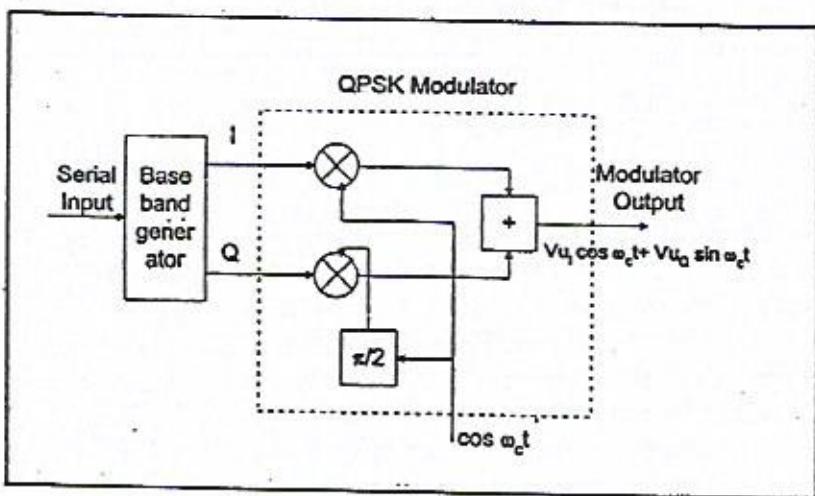


Gambar 8.4  
Diagram Blok Carrier Recovery BPSK

Sinyal BPSK yang masuk (biasanya sudah pada tingkat IF) selain dikirim ke detektor fasa, juga dikirim ke rangkaian *carrier recovery* (pengambilan kembali frekuensi pembawa) dimana setelah melewati rangkaian tapis lolos tengah dan pengali 2, tiba di detektor fasa. Sinyal kesalahan dari detektor fasa ini digunakan untuk mengontrol frekuensi suatu VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), sehingga frekuensi keluaran VCO ini persis sama dengan frekuensi pembawa aslinya. Sehingga osilator lokal benar-benar menghasilkan gelombang sinus yang sama dengan gelombang pembawa di pemancarnya.

## 2. Sistem Modulasi QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

Sistem QPSK diperoleh dari 2 sistem BPSK yang digabung. Untuk membedakan kedua sistem BPSK-nya, gelombang pembawa kedua digeser fasanya sejauh  $\frac{\pi}{2}$ . Untuk membedakannya, kedua jalur BPSK biasa diidentifikasi sebagai jalur I (In-Phase) dan Q (Phase-Quadrature). Pulsa-pulsa masukan juga dilewatkan ke suatu pembagi, sehingga jika laju pengiriman sinyal asli adalah  $R_b$ , laju pengiriman tiap jalur adalah  $R_b/2$  atau laju pengiriman sistem QPSK hanya memerlukan Lebar Pita RF kurang lebih hanya separuh dari sistem BPSK. Sehingga RF spektrum yang tersedia (atau transponder sebuah satelit) dapat diisi dengan lebih banyak saluran. Jadi, sistem pemancar QPSK dapat diperlihatkan seperti di gambar 8.5.



Gambar 8.5  
Diagram Blok sebuah modulator QPSK

Dari gambar terlihat bahwa, sinyal keluaran dari modulator dapat dituliskan sebagai :

$$V_o = V u_I \cos \omega_c t + V u_Q \sin \omega_c t$$

Dimana  $u_I$  maupun  $u_Q$  mempunyai harga: +1 untuk bit 1 atau -1 untuk bit 0.

Sehingga bergantung kepada harga  $u_I$  dan  $u_Q$ -nya dioutput pemancar diperoleh 4 kemungkinan fase gelombang pembawanya seperti terlihat dalam tabel:

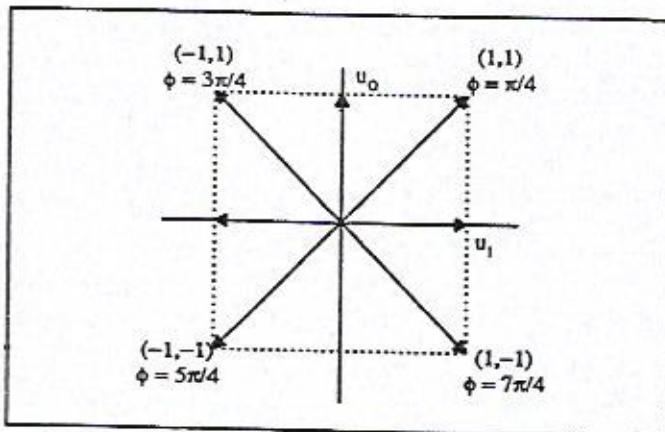
Tabel 8.1. Harga Fase  $\phi$  untuk beberapa simbol QPSK

$u_I$	$u_Q$	$\phi$
1	1	$\pi/4$
-1	1	$3\pi/4$
-1	-1	$5\pi/4$
1	-1	$7\pi/4$

karena sesuai rumus  $V_o = V \cos \omega_c t + V \sin \omega_c t$

$$= V \sqrt{2} \cos (\omega_c t - \pi/4)$$

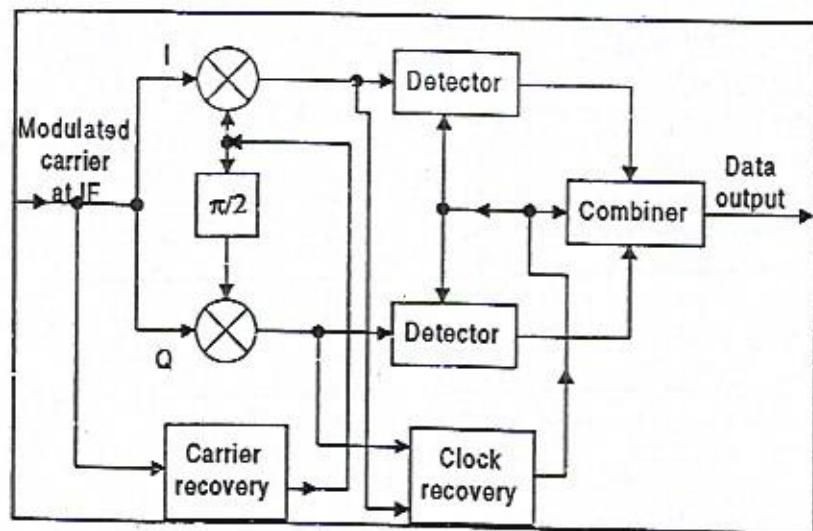
seperti juga diperlihatkan dalam bentuk vektor dalam gambar 8.6



Gambar 8.6  
Beda fase untuk keempat simbol QPSK

Jadi, setiap pulsa QPSK yang biasanya disebut sebagai simbol, mempunyai 2 bit.

Dipenerima, demodulatornya merupakan gabungan dari 2 demodulator BPSK, seperti terlihat dalam gambar 8.7.



Gambar 8.7  
Diagram Blok sebuah demodulator QPSK

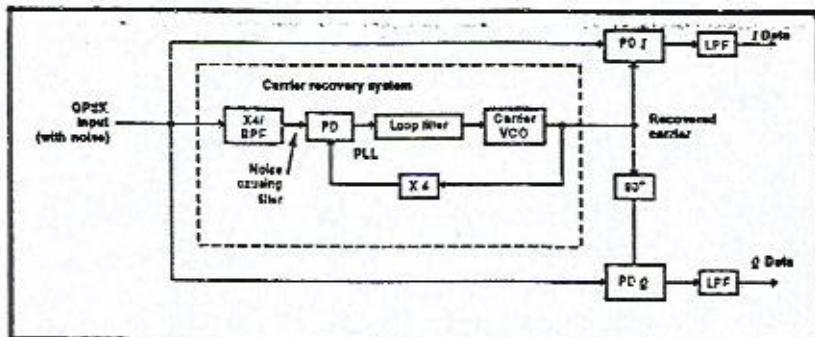
Misalnya, untuk saluran I akan berlangsung demodulasi sebagai berikut :

Sinyal di keluaran demodulator adalah

$$\begin{aligned} V_o &= (V_{ui} \cos w_c t + V_{uQ} \sin w_c t) \cos w_c t \\ &= V_{ui} \cos^2 w_c t + V_{uQ} \sin w_c t \cos w_c t \\ &= V_{ui}/2 + V_{ui}/2 \cos 2w_c t + V_{uQ}/2 \sin 2w_c t \end{aligned}$$

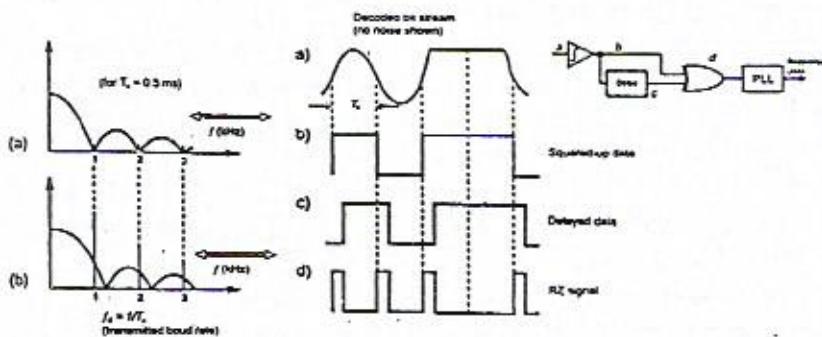
Jadi keluaran demodulator, setelah ditapis hanya akan keluar  $V_{oi} = V_{ui}/2$ . Hal yang sama juga akan terjadi dioutput demodulator jalur Q yaitu:  $V_{oQ} = V_{uQ}/2$  atau akan diperoleh kembali pulsa-pulsa I dan Q dari kedua jalurnya.

Dengan bantuan pulsa-pulsa clock, yang mempunyai kecepatan yang sama dengan laju pengiriman pulsa asli, dari setiap jalur akan diperoleh pulsa-pulsa asli, sehingga di keluaran penerima, pulsa-pulsa tersebut cukup dijumlahkan saja, untuk memperoleh kembali pulsa-pulsa asli seluruhnya. Seperti biasa, baik gelombang pembawa lokal maupun pulsa clock diperoleh dari sinyal yang diterima, diproses untuk digunakan sebagai referensi. Cuma rangkaian *carrier recovery* agak berbeda dengan yang BPSK. Seperti terlihat pada gambar 8.8, karena ada 4 fasa yang berbeda, frekuensi gelombang pembawa yang masuk dilewaskan pengali 4, baru dibandingkan dengan frekuensi sebuah VCO yang juga sudah dikalikan 4.



Gambar 8.8  
Diagram Blok Carrier Recovery QPSK

Sinyal masukan yang dikalikan 4 akan menghilangkan keraguan fasa sinyal yang masuk. Untuk "Clock Recovery" dapat digunakan rangkaian seperti pada gambar 8.9



Gambar 8.9  
Diagram Blok "Clock Recovery"

Sinyal dari keluaran demodulator I atau Q dilewatkan sebuah comparator atau Schmitt Trigger. Pulsa segiempat yang keluar, diberikan ke suatu gerbang EX-OR, dimana masukan yang lainnya adalah pulsa yang sama tetapi diperlambat sedikit ( $\Delta t < T_b$ ).

Pulsa-pulsa yang sempit yang dihasilkan, akan mempunyai spektrum frekuensi yang cukup banyak dengan frekuensi dasar  $f_b = 1/T_b$ . Dengan sebuah tapis lolos tengah dengan tanggap frekuensi yang cukup sempit, dipilih salah satu frekuensi harmonis (mis  $2f_b$ ) untuk digunakan sebagai pembedang kepada frekuensi sebuah VCO.

Keluaran VCO ini yang digunakan untuk membangkitkan pulsa-pulsa "clock"-nya.

### Bit dan Symbol Error rate

Kebaikan sistem komunikasi analog biasa diukur dari faktor  $C/N$  = perbandingan kuat sinyal terhadap derau (noise). Dalam sistem digital, faktor ini lebih tepat jika didefinisikan sebagai BER (Bit Error Rate) = faktor yang menunjukkan rata-rata berapa bit yang salah dari sejumlah bit yang diterima.

Karena kemungkinan kesalahan hanyalah angka 1 terbaca sebagai 0 atau sebaliknya. Jadi, misalnya BER =  $10^{-5}$  artinya rata-rata dari 100.000 bit yang dikirim, hanya 1 (satu) yang salah.

Jika yang dikirim adalah simbol (seperti pada QPSK), yang berarti tiap pulsa atau simbol QPSK terdiri dari 2 bit, bisa juga kesalahan yang terjadi disebut kesalahan simbol. Harga BER ini bergantung kepada daya per pulsa dibanding dengan daya derau per pulsanya atau didefinisikan:  $BER = E_b/No$  dimana:  $E_b$  = daya per pulsa

$No$  = Kerapatan derau (Watt/Hertz)

Secara rumus hubungan antara C/N dan BER adalah sebagai berikut: misalnya daya yang diterima secara kontinyu mempunyai daya  $C$  watt sedang derau  $N$  adalah  $= BN_0$ .

dimana :  $No = \text{Kerapatan kebisingan (watt/hertz)}$

$B$  = Lebar pita (Hz)

Jika laju pengiriman puisa =  $R$  atau lebar 1 pulsa =  $T = 1/R$ , maka :

$$BER = \frac{E_b}{No} = \frac{CT}{No} = \frac{CT}{\cancel{N}/B} = \frac{C}{N} \cdot BT = \frac{C}{N} \frac{B}{R}$$

Umumnya, sistem didesain sehingga  $B \approx 1/T = R$  sehingga umumnya  $E_b/No = C/N$ .

Untuk sistem BPSK, 1 simbol adalah 1 bit juga. Namun, untuk sistem modulasi yang lebih tinggi (misalnya QPSK) harus dibedakan antara error rate untuk bit dan untuk simbol. Hubungan ini adalah :

$$PB = \frac{1}{2} \frac{PE}{1 - 2^{-Nb}}$$

Dimana :  $PB$  = Bit error rate

$PE$  = Symbol error rate

$N_b$  = Jumlah bit per symbol

Misalnya untuk sistem QPSK

$$PB = \frac{1}{2} \frac{PE}{1 - 2^{-2}} = \frac{2}{3} PE$$

Jadi, bit error rate lebih kecil dari symbol error rate. Ini terjadi karena setiap simbol terdiri dari 2 bit, jadi untuk simbol 00, dipenerima bisa diterima sebagai 01, 10 atau 11.

Namun, dari ketiga kemungkinan kesalahan ini, dari segi bitnya hanya 2 kemungkinan kesalahan.

Secara lebih teliti, kesalahan pembacaan bit terjadi jika derau mengubah pulsa keluar sampai berubah tanda. Misalnya tegangan keluaran  $V_o = n(t) - V > 0$

Jika  $V_o > 0$ , karena  $n(t) > V$  didemodulator ini akan diartikan sebagai angka 1. Jadi, kemungkinan timbulnya kesalahan adalah jika sinyal kebisingan  $n(t)$  lebih besar dari  $V$  dan kemungkinan  $n(t) > V$  adalah:

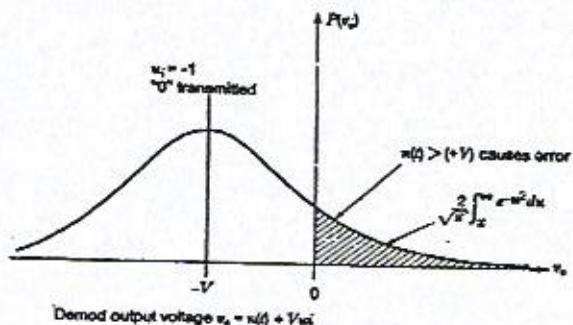
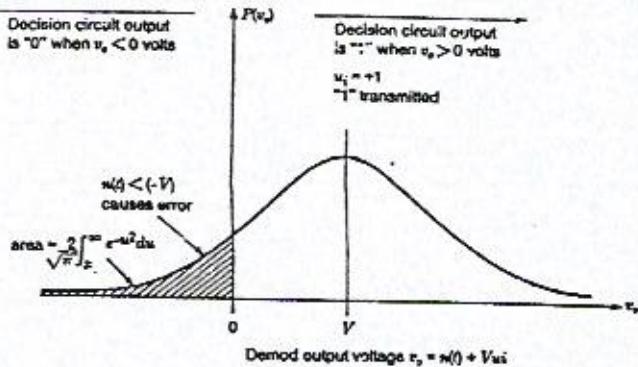
$$P(N > V) = PE = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{V}{\sigma\sqrt{2}}\right)$$

Dimana:  $\sigma$  = harga rata-rata tegangan rms derau  
 $\operatorname{erfc}$  = complementary error function sebesar:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2} du$$

$$\text{dimana: } u = \frac{x}{\sigma\sqrt{2}}$$

$\sigma$  = harga rms dari tegangan derau  
(dianggap distribusi tegangan derau  
 $n(t)$  Gaussian)



**Gambar 8.10**  
Ilustrasi kemungkinan kesalahan dalam biner,  
sebagai akibat derau. Ambang keputusan (level) adalah pada  
tegangan 0 volt (threshold)

Untuk laju pengiriman pulsa  $R_b = 1/T_b$  dengan amplitudo  $V$ , daya per bit adalah:

$$E_b = \frac{V^2}{2R} T_b \quad (\text{jika dianggap tahanan masukan matched dan } R)$$

$$\text{atau } V = \sqrt{\frac{2E_b R}{T_b}}$$

$$\text{Sedang daya kebisingan adalah } N = \frac{\sigma^2}{R} \text{ atau } N_o = \frac{\sigma^2}{R} T_b$$

$$\text{Sehingga } \sigma = \sqrt{\frac{N_o R}{T_b}}$$

maka akan diperoleh :

$$PE = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \sqrt{\frac{2E_b R}{\frac{T_b}{N_o R} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}}} \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right)$$

Untuk simbol error rate, akan berlaku:

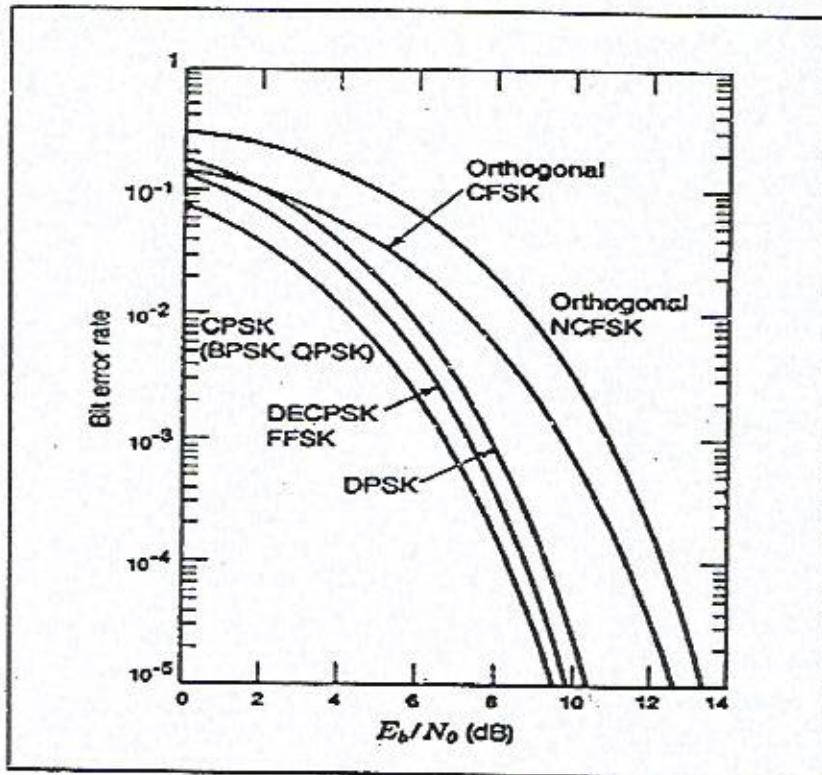
$$PB = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right)$$

Untuk BPSK bit atau simbol sama saja pengertiannya, sehingga,

$$PB = PE = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right)$$

Hubungan antara BER dengan  $\frac{E_b}{N_o}$  ini diperlihatkan dalam gambar 8.11 untuk beberapa jenis modulasi.

Untuk QPSK, kesalahan terjadi jika suatu simbol keluar dari kuadrannya, sehingga diartikan sebagai simbol yang lain. Misalnya seperti dalam gambar, jika  $n_1 > V$ , simbol yang mestinya adalah 11 karena berada di kuadran II akan diartikan sebagai simbol 01.



Gambar 8.11

Bit error rate sebagai fungsi  $\frac{E_b}{N_0}$  untuk beberapa jenis modulasi  
(tanpa FEC)

### 3. SISTEM MODULASI QAM (Quadrature-Amplitude Modulation)

Sistem Modulasi QAM sebenarnya mirip sistem PSK, tetapi pada QAM selain perbedaan fasa, antar simbol juga dibedakan oleh amplitudonya. Sehingga perbedaan antar simbol pada sistem QAM lebih besar daripada PSK yang sama (8 PSK dengan 8 QAM, dst). Akibatnya, S/N nya QAM lebih besar dibanding PSK-nya.

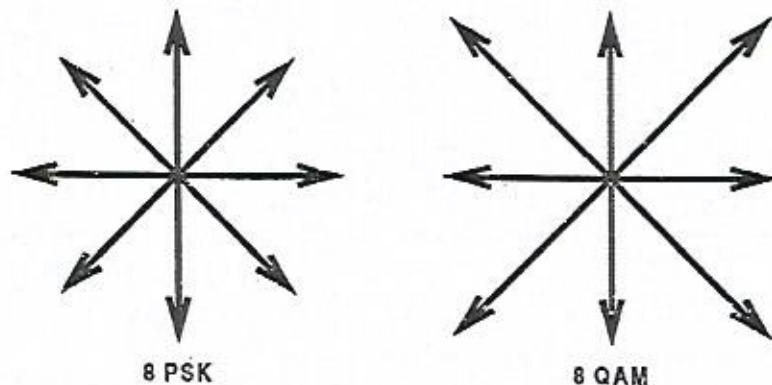
Dari segi RFBW, antara QAM dan PSK untuk level yang sama, adalah sama, yaitu:

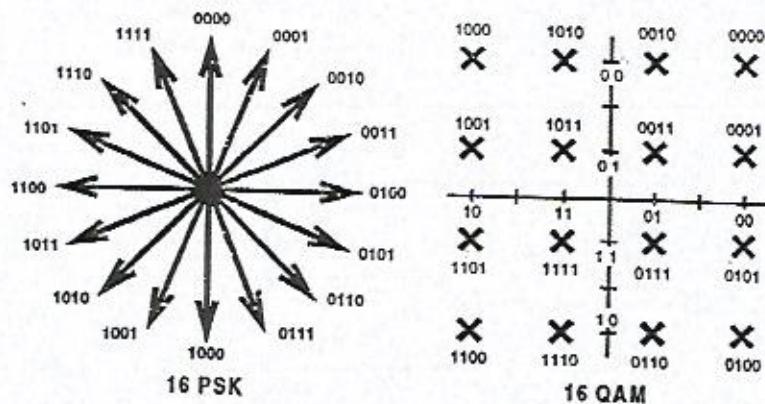
$$8 \text{ QAM dan } 8 \text{ PSK - RFBW} = \frac{R}{3} F$$

$$16 \text{ QAM dan } 16 \text{ PSK - RFBW} = \frac{R}{4} F$$

dimana  $F$  = Nyquist factor dari filternya

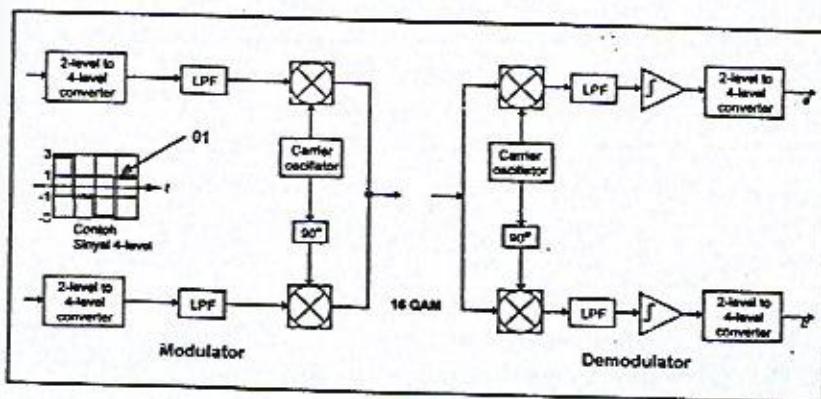
Perbedaan fasa dan amplitudo untuk beberapa level QAM dan PSK diperlihatkan pada gambar 8.12.





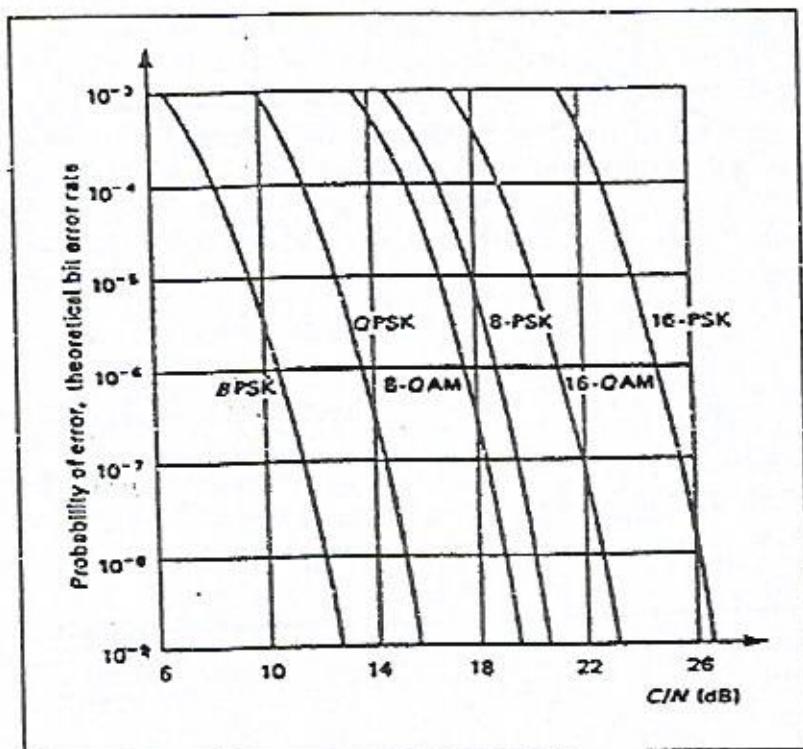
Gambar 8.12  
Beda fase dalam PSK dan QAM

Rangkaian yang digunakan, bisa juga dikembangkan dari rangkaian QPSK, seperti terlihat pada gambar 8.13 untuk 16 QAM dari 2 x QPSK.



Gambar 8.13  
Sistem modulator dan demodulator 16 QAM

Sedangkan perbandingan tingkat derau dan kinerja masing-masing sistem modulasi diperlihatkan pada gambar 8.14.



Gambar 8.14  
Hubungan BER dan C/N yang diperlukan untuk berbagai sistem modulasi

# Sistem VSAT

## (Very Small Aperture Terminal)

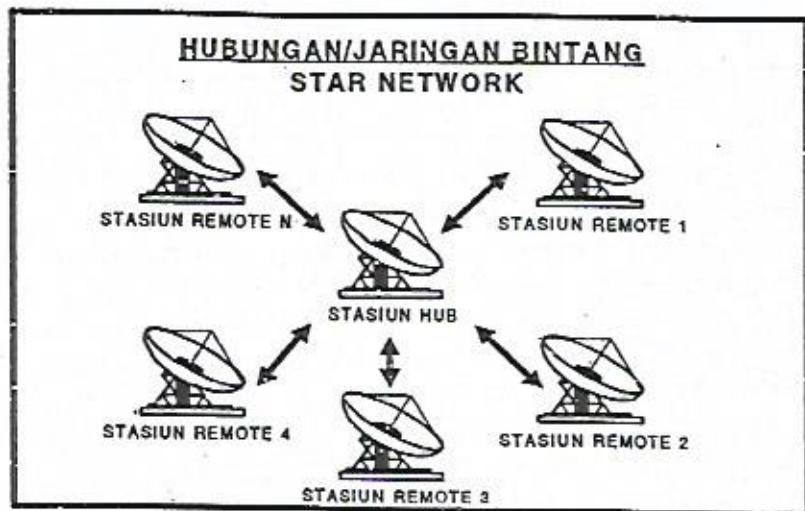
### 1. UMUM

Istilah VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) awalnya digunakan untuk sistem komunikasi satelit dengan stasiun-stasiun bumi atau terminal yang dapat menggunakan antena-antena yang relatif kecil dibanding dengan stasiun-stasiun bumi yang ada waktu itu. Hal ini dimungkinkan karena sistem hanya digunakan untuk pengiriman data dengan kecepatan rendah.

Jadi, dalam sistem VSAT ini dimungkinkan untuk komunikasi lewat satelit dengan stasiun-stasiun bumi yang kecil yang langsung dipasang di tempat langganan (*Customer premises*). Sistemnya biasanya terdiri dari satu Stasiun Bumi yang besar sebagai pusatnya dan biasa disebut sebagai Hub Station. Pusat ini dikelilingi Stasiun-stasiun bumi yang kecil (*Remote Station*) yang menyebar di tempat-tempat yang diperlukan.

Sesuai dengan keterbatasannya, komunikasi hanya mungkin antara Remote Station dan Hub Station. VSAT sangat cocok untuk melayani kebutuhan komunikasi data yang bersifat transaksi, dengan pengertian dimana data yang dikirimkan pendek-pendek (Bank, Bursa Efek, Supermarket, Remote Control dan lain-lain). Penghematan dapat diadakan karena suatu sistem dipakai secara beramai-ramai, sehingga biaya yang harus ditanggung masing-masing langganan relatif kecil.

Keuntungan lain dari sistem ini, komunikasi data bisa menghubungkan dua tempat dimana saja, seperti jaringan telepon biasa dalam suatu STAR Network (lihat gambar 9.1). tetapi hal ini juga yang merupakan kelemahan dari sistem ini, karena semua komunikasi harus lewat Hub-Station serta harus bergantian/giliran dengan stasiun-stasiun lainnya.



Gambar 9. 1.

Keuntungan lainnya adalah, peralatan di Remote relatif cukup sederhana, sehingga harganya sangat rendah.

Untuk langganan yang volume komunikasinya cukup tinggi dan memerlukan komunikasi suara, sistem ini kurang cocok digunakan. Pemanfaatan yang terbanyak adalah untuk komunikasi data dengan persentase arah komunikasi yang terbesar dari daerah ke pusatnya serta volume traffic masing-masing stasiun Remotennya cukup rendah (komunikasi yang unbalanced). Topologi STAR ini agak sesuai dengan struktur organisasi Kantor Pusat dan Cabang-cabangnya.

Akan tetapi, dengan perkembangan teknologi, EIRP satelit semakin besar, receiver noise temperature untuk noncooled paramp juga semakin rendah, serta sistem memungkinkan penyempitan kanal suara, stasiun bumi kecil seperti VSAT tidak lagi hanya digunakan untuk data rendah tetapi sudah bisa juga untuk suara dan data kecepatan menengah (128 Kbps).

Sehingga sekarang ini pengertian VSAT sudah lebih luas dan hanya berarti Stasiun Bumi/terminal yang digunakan adalah yang berukuran kecil.

## 2. JARINGAN VSAT UNTUK DATA RENDAH

Umumnya, disini digunakan topologi STAR dengan Hub yang besar dan Stasiun-stasiun Remote yang kecil. Sistem pengaksesan yang digunakan, umumnya adalah sistem TDM/TDMA.

Perbedaan sifat operasi yang menonjol antara hub dan remote mempengaruhi juga bentuk fisik, yaitu:

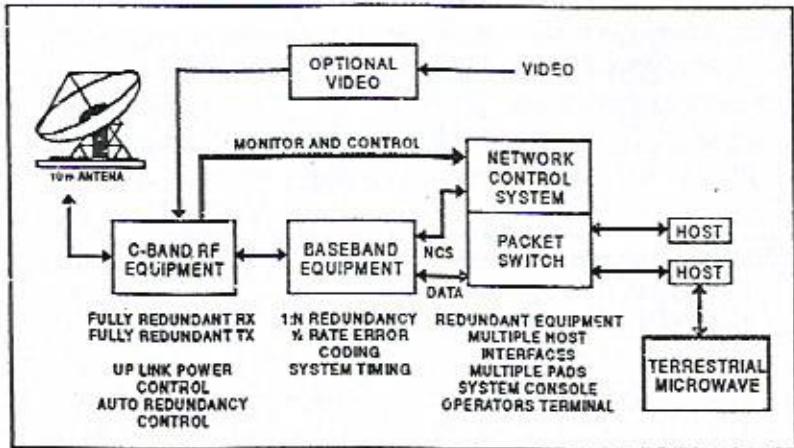
### Hub

Hub ditandai dengan antena ukuran besar (0 - 9 m), G/T yang tinggi dan sistem peralatan pengendali yang rumit dengan NCC (*Network Control Centre*) atau NMS (*Network Management System*). Sebagai Kontrol Pusat disinipun terdapat Prosesor Pusat untuk datanya, seperti terlihat pada gambar 9.2.

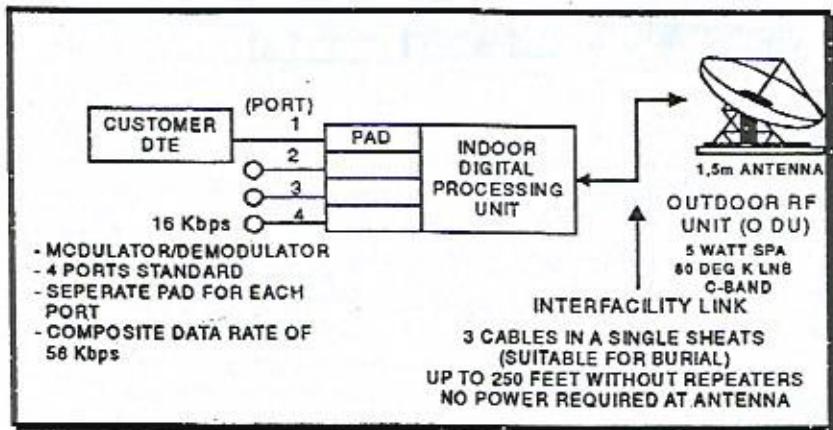
### Remote

Remote ditandai dengan antena yang kecil (1,8 - 2,4 m) dan peralatan yang cukup sederhana.

Untuk komunikasi Hub ke Remote diberi satu frekuensi (*outbound channel*) sedang dari Remote ke Hub diberi satu frekuensi (*inbound channel*) untuk sejumlah Remote.

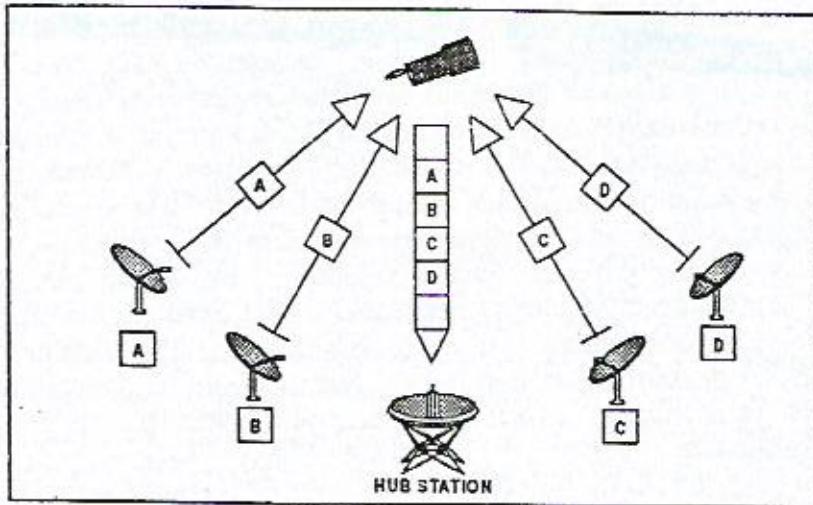


Gambar 9.2  
Diagram Blok Pusat (HUB)

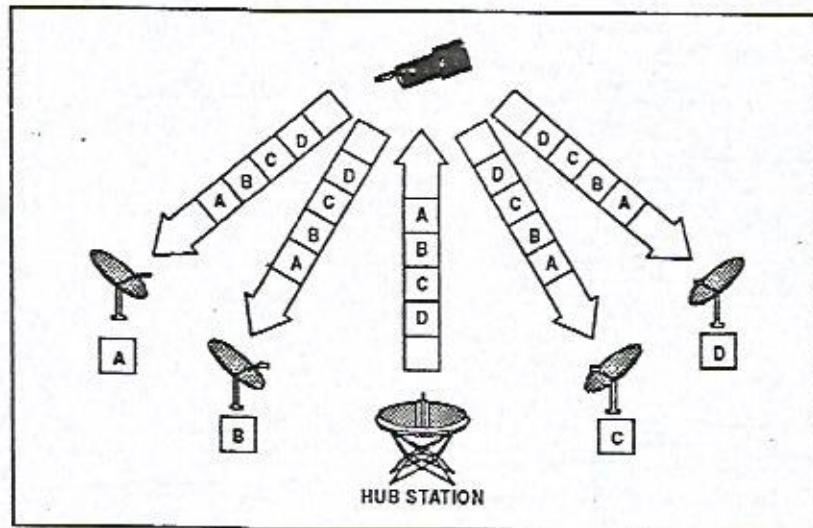


Gambar 9.3  
Diagram Blok Stasiun Remote

Metode akses saluran satelit adalah, dari Hub ke Remote dengan sistem TDM serta dari Remote ke Hub merupakan sistem TDMA yang umumnya disebut ALOHA.

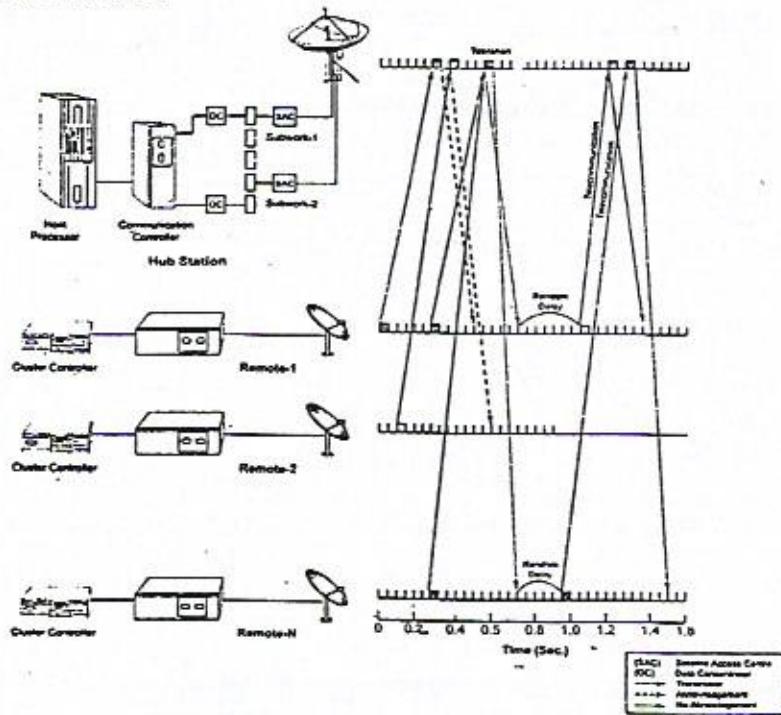


**Gambar 9.4**  
Sistem Transmisi TDMA dari Remote ke Hub



**Gambar 9.5**  
Sistem Transmisi TDM dari Hub ke Remote

Disini satu frekuensi digunakan secara bersama-sama oleh banyak stasiun Remote. Sedangkan, Remote memancarkan sinyalnya secara acak (Random) tanpa menunggu suatu sinyal sinkronisasi dari Hub (unslotted ALOHA). Dalam hal ini ada kemungkinan "tabrakan", karena dua Remote memancarkan sinyal dalam waktu yang hampir bersamaan. Jika terjadi tabrakan, tidak ada acknowledgement dari Hub, panceran harus diulang. Kedua Stasiun Remote yang mengalami tabrakan akan mengulang pengiriman selang waktu tertentu yang juga acak seperti terlihat dalam gambar 9.6, dimana terjadi tabrakan antara Remote #1 dan Remote #N. Dengan pengiriman ulang yang acak diharapkan tabrakan dapat terhindarkan.

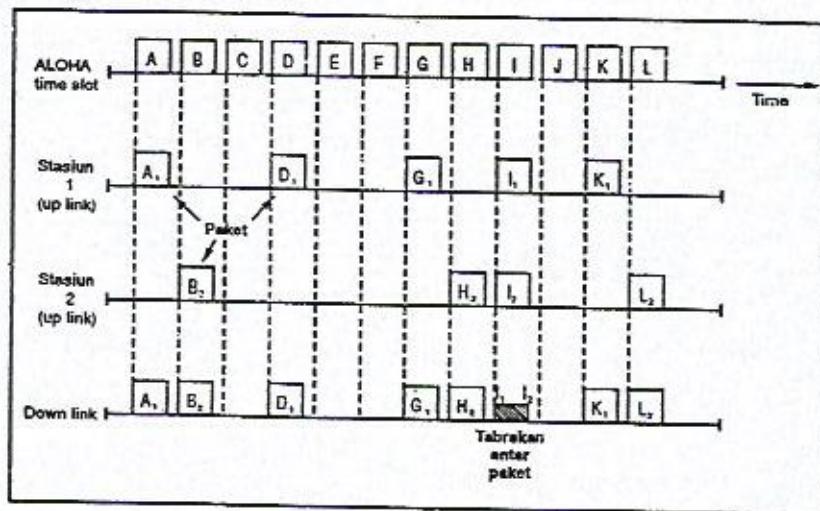


Gambar 9.6  
Transmisi Paket dalam Sistem ALOHA

Untuk menaikkan effektivitas sistem, jika Hub mendeteksi banyak terjadi tabrakan, ada kalanya sistemnya sanggup untuk mengatur pengiriman hanya pada saat-saat tertentu (slotted ALOHA).

Pengiriman memang masih "bebas" artinya tidak ada urutan, tetapi pancaran hanya dibolehkan pada saat-saat tertentu. Seperti terlihat dalam gambar 9.7, disinipun kemungkinan tabrakan selalu ada.

Dengan slotted ALOHA, tabrakan memang akan berkurang. Namun, jika lalu lintasnya meningkat terus, tabrakan akan ada dan akan meningkat dengan cepat.



Gambar 9.7  
Transmisi Paket dalam Sistem Slotted ALOHA

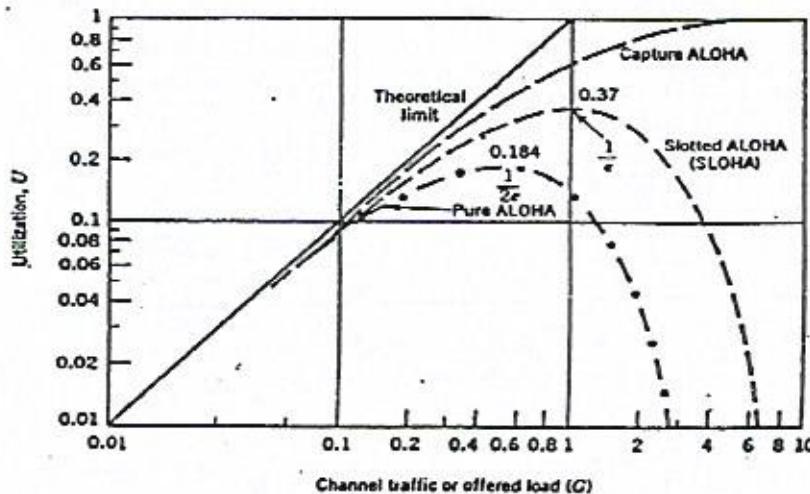
Untuk tingkat traffic yang rendah, metode unslotted ALOHA dapat memberikan "response time" yang cukup baik. Karena dalam situasi ini, setiap stasiun dapat memancarkan pada kesempatan pertama dengan cukup berhasil. Namun, hal ini

hanya tercapai sampai tingkat utilitas saluran inboundnya hanya 17 - 18% dari waktu.

Faktor utilitas ini didefinisikan sebagai persentase effektif dari informasi yang terkirim (*throughput*) dari sejumlah informasi yang "masuk".

Untuk traffic yang lebih tinggi, effisiensi saluran akan menurun dan response time akan meningkat dengan cepat karena adanya tabrakan akan memerlukan pengiriman kembali (*retransmisi*) paket yang hilang. Bahkan, semakin banyaknya tabrakan dan retransmisi paket-paket yang hilang, efektivitas saluran akan hilang (*crash*).

Dengan slotted ALOHA, karena setiap stasiun hanya boleh memancar pada saat-saat tertentu, memang tabrakan dapat dikurangi. Dengan sistem ini utilitas saluran inboundnya bisa meningkat sampai 37%, pada saat mana traffic dalam salurannya sudah mendekati 1 erl karena adanya tabrakan-tabrakan dan retransmisi.

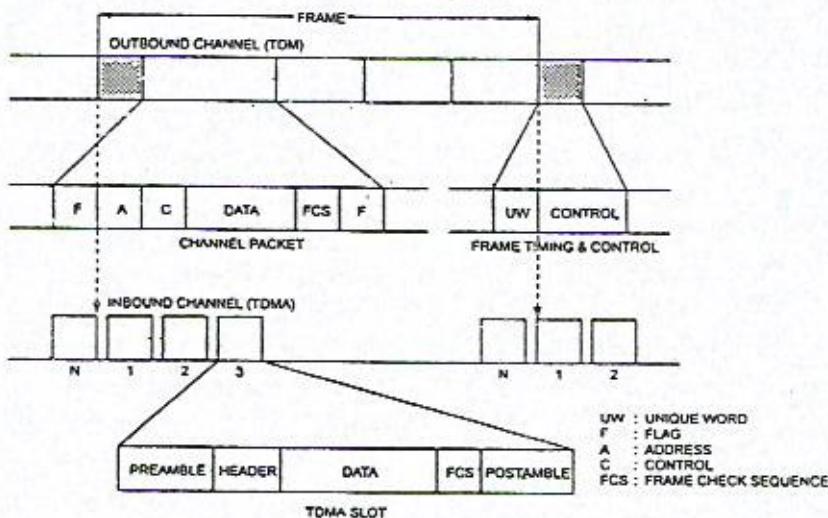


Gambar 9.8  
Efisiensi ALOHA dan Slotted ALOHA

Traffic yang lebih tinggi lagi, akan mulai lagi menunjukkan gejala-gejala hilangnya effektivitas saluran (*crash*).

Seperti biasa, dalam sistem pengiriman data seperti disini tiap paket didahului oleh paket "pembuka" (*header, preamble, flag*) baru data yang dikirim dan ditutup dengan "penutup" (*frame check postamble*). Sinyal dari Hub ke Remote (*outbound*), berupa sinyal TDM dan dapat terdiri dari beberapa slot. Slot pertama untuk semua Remote yang berisi data untuk sinkronisasi dan kontrol. Paket berikutnya berupa paket-paket jawaban untuk Remote-remote yang meminta.

Sedang sinyal dari Remote (*in-bound*), berupa sinyal TDMA, seperti terlihat dalam gambar 9.9.

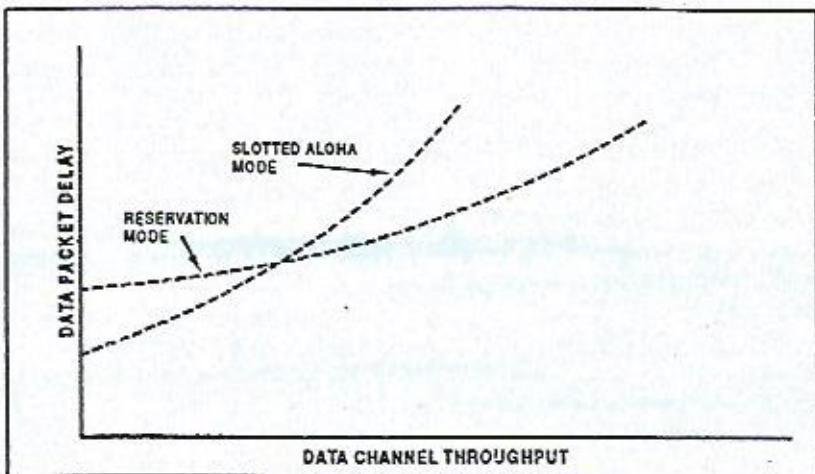


Gambar 9.9  
TDM/TDMA Frame dan TDM/TDMA Slot

## APLIKASI VSAT SISTEM TDM/TDMA

1. Khusus untuk komunikasi data, VSAT memberikan aplikasi yang cukup beragam antara lain:
  - A. *One-Way Transmission (Broadcast)*  
Disini biasanya terjadi pemancaran dari Hub ke Remote Station berupa data atau sinyal video.  
Hal ini digunakan untuk distribusi data/berita, misalnya oleh kantor-kantor Berita, Pasar Modal, Pendidikan dan lain-lain.
  - B. *Komunikasi Data Inter-Acitive*  
Yang ditawarkan sekarang adalah hubungan interactive hanya antara Remote dengan Pusat Kelompok, untuk komunikasi terminal ke Host, Host ke Host dan lain-lain. Sistem ini digunakan misalnya untuk: Point of Sales, Reservasi Hotel, Otorisasi kartu kredit dll.
2. Protokol yang dapat diakses sekarang adalah:
  - SDLC
  - X-25
3. Pada saat ini, komunikasi hanya dalam topologi STAR, dengan pengertian Remote hanya bisa access ke Pusat. Untuk hubungan terminal ke terminal asal lewat Host dan ada software intern dimungkinkan.  
Namun, disini ada permasalahan komunikasi satelit dengan *double hop*, karena dalam sistem yang sekarang hubungan Remote ke Remote terjadi melalui route, Remote 1 - Hub dan Hub - Remote 2  
Disetiap Remote mempunyai beberapa port yang bisa diexpand dari 4 menjadi sampai dengan 16. Akan tetapi, tidak dimungkinkan komunikasi antara 2 port yang berbeda pada satu Remote yang sama.  
Untuk komunikasi antara terminal-terminal yang terhubung ke port yang berbeda dilewatkan interkoneksi lokal dengan bridge atau cara lainnya.

4. Kecepatan atau *throughput* dapat juga diukur dari "response time". Response time yang dijamin adalah maksimum 4 detik +  $\Delta t$ , dimana  $\Delta t$  adalah waktu yang diperlukan untuk pemrosesan di tempat tujuan (Host). Hubungan response time dan *throughput* untuk beberapa jenis TDM/TDMA diperlihatkan di gambar 9.10.



Gambar 9.10  
Hubungan Delay dan Throughput dalam VSAT

Pure ALOHA adalah sistem dimana tiap Remote dapat memancarkan sinyalnya tanpa menunggu sinkronisasi.

Slotted ALOHA adalah sistem dimana tiap Remote masih dapat memancarkan sinyalnya, tetapi hanya pada saat-saat tertentu.

Reservation ALOHA adalah sistem dimana sebelum memancarkan sinyalnya, Remote meminta dahulu dari Hub untuk diassign saat dan lamanya boleh memancarkan sinyal.

Disini juga terlihat bahwa diatas kecepatan data tertentu, *response time* juga akan meningkat dengan cepat.

### 3. VSAT UNTUK KOMUNIKASI SUARA DAN DATA

Sejalan dengan kemajuan teknologi di bidang satelit, seperti satelit yang lebih berat (EIRP naik) dan lebih peka (G/T naik) serta teknologi kompresi, stasiun-stasiun bumi dengan ukuran antena lebih kecil dapat juga menangani komunikasi suara dan data dalam suatu topologi STAR maupun MESH.

Hal ini merupakan peningkatan dibanding sistem TDM/TDMA yang hanya sesuai untuk komunikasi data kecepatan rendah.

Jadi, stasiun bumi VSAT yang baru sudah mirip stasiun-stasiun bumi yang selama ini praktis hanya digunakan oleh PSTN. Stasiunnya disebut VSAT hanya karena ukuran antenanya kecil, sedang kemampuannya sudah mirip stasiun-stasiun bumi lama yang agak besar.

Karena harga yang relatif murah, VSAT digunakan oleh banyak perusahaan/organisasi untuk saling menghubungkan fasilitas-fasilitasnya yang terbesar.

Di Indonesia, perusahaan-perusahaan besar seperti PERTAMINA, ASTRA, GARUDA, serta Bank-bank seperti BNI, BCA, BII dan lain-lain sudah menggunakan VSAT untuk melayani kebutuhan komunikasinya.

Dengan perkembangan ekonomi disatu pihak dan perkembangan teknologi komunikasi satelit dipihak lain, diperkirakan akan semakin banyak perusahaan-perusahaan yang akan menggunakan VSAT.

#### 3.1 Jaringan VSAT

Jaringan VSAT yang umum sesuai dengan organisasi yang dilayani, biasanya terdiri dari Hub yang dipasang di Kantor Pusat dengan sejumlah Remote yang dipasang di Kantor-kantor Cabang/Daerah.

Walaupun ada Hub, antar cabang biasanya dapat berhubungan langsung dengan topologi STAR-MESH.

Secara umum suatu jaringan VSAT terlihat seperti di gambar 9.11. Salah satu lokasi yang biasanya berada di Kantor Pusat, dititipi NCC (*Network Control Centre*) atau NMS (*Network Management System*) yang merupakan pusat monitor dan kontrol jaringan.

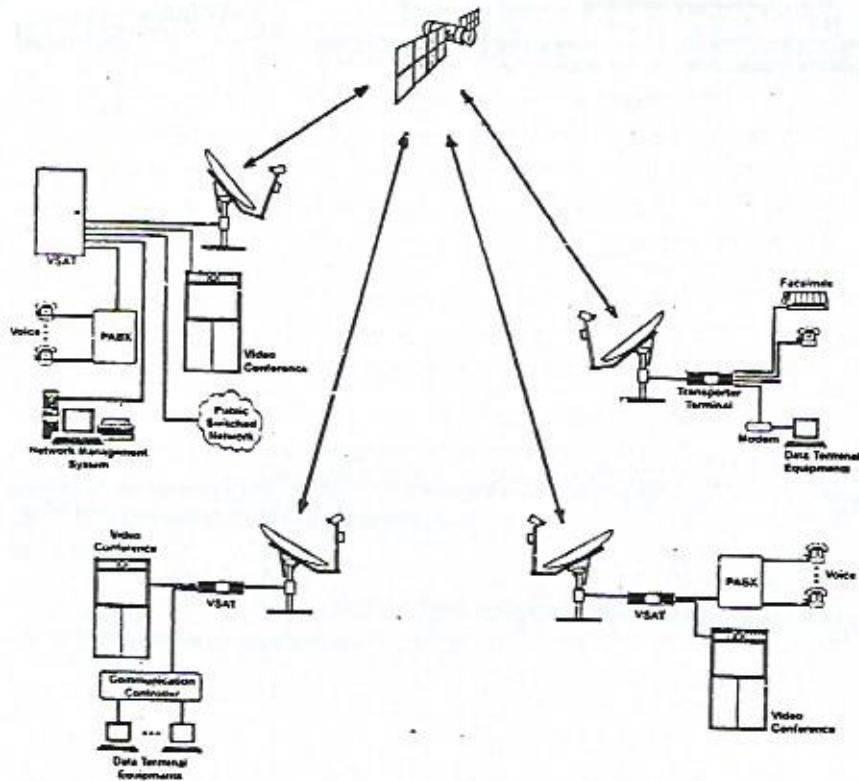
Sedangkan peralatan Remote terlihat seperti pada gambar 9.12. Peralatan dibagi dalam 2 kelompok, yaitu IDU (*Indoor Unit*), yang biasanya terdiri dari:

- unit antar muka dengan pesawat pelanggan (telepon/PABX, jaringan komputer, Video Conference dan lain-lain);
- unit pemroses sinyal, yang memroses sinyal sampai modulasi/demodulasi sinyal baseband ke/dari IF = 70 MHz.
- unit pertama dari bagian RF yang menaikkan frekuensi sinyal arah stasiun bumi ke satelit dari IF ke VHF dan menerima sinyal frekuensi pita L dari ODU, serta menurunkannya ke frekuensi IF.

Kedua sinyal up-link (VHF) dan frekuensi down-link (L), tersalur ke unit ODU lewat kabel IFL (*Inter Facility Link*)

Kelompok ODU (*Out Door Unit*), biasanya terdiri dari:

- █ U/C dari UHF ke 6 GHz;
- █ D/C dari 4 GHz ke L-band;
- █ Final Power Amplifier 6 GHz;
- █ LNA.



Gambar 9.11  
Jaringan VSAT

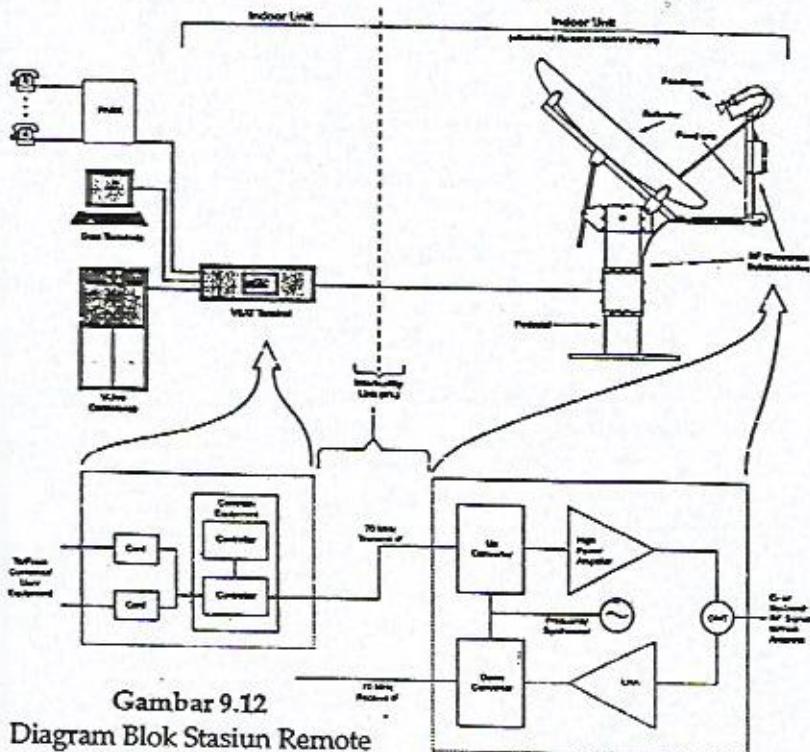
Secara fisik, unit-unit ODU ini terpasang pada antena. Seluruh unit-unit diluar interface card dan prosesor biasa juga disebut RFE (*Radio Frequency Equipments*).

Sistem akses yang digunakan ada 2 macam :

- ◆ FDMA
- ◆ FDMA/TDMA

Analisis sistem FDMA maupun TDMA sudah diberikan dalam bab-bab sebelumnya.

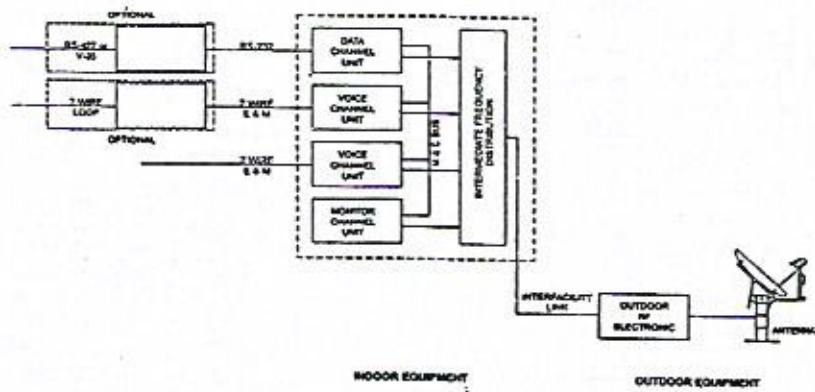
Terlihat bahwa dengan EIRP satelit sekitar 37 dBW dan  $G/T = 0$  dB, stasiun bumi cukup dengan diameter antene  $\varnothing 2.4$  m saja untuk kecepatan total sampai dengan 600 kbps.



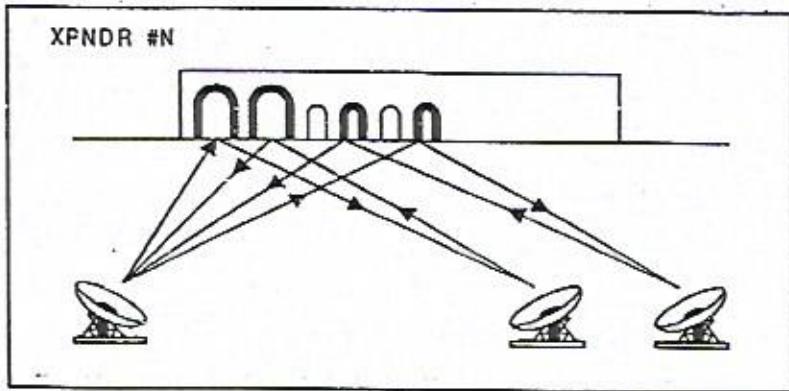
### 3.2 Jaringan VSAT dengan Sistem Akses FDMA

Salah satu Diagram Blok sebuah Stasiun Remote terlihat seperti pada gambar 9.13.

Sesuai dengan ukurannya, Stasiun Remote bisa mempunyai beberapa saluran suara/fax dan data. Masing-masing saluran ini akan ditumpangkan pada satu gelombang pembawa (Carrier). dalam sistem SCPC. Jadi, satu Stasiun Remote bisa memerlukan beberapa gelombang pembawa seperti terlihat dalam gambar 9.14.



Gambar 9.13  
Stasiun Remote (FDMA)



Gambar 9.14  
Pembagian Daerah Frekuensi dalam suatu Sistem VSAT  
dengan akses FDMA dengan bermacam kecepatan

Masing-masing gelombang pembawa ini dapat berbeda dalam daya dan lebar daerah frekuensinya, bergantung kepada salurannya, misalnya suara atau data kecepatan sedang, sesuai dengan perhitungan hubungan masing-masing salurannya, seperti terlihat dalam tabel 9.1 dan tabel 9.2.

**Tabel 9.1 LINK CALCULATION**  
**LINK BUDGET: RECEIVE E/S ANT. SIZE = 3.8 m**  
**Satellite: PALAPA B2P**  
**EIRP Contour = 35.0 dBW, G/T Contour = -1.8 dB/K**  
**384.0 kbps, QPSK, FEC Rate = 0.50, Data**

BASELINE PARAMETER		Value	Unit	LINK PERFORMANCE		C/I Sky	
CARRIER DATA	No of Crs/xponders	47.8		UPLINK BUDGET	Satellite SFD	-89.7	
	Carrier Info Rate	384.0	Kbps		Agg Input B.O.	6.0	
	FEC Code Rate	0.50			Input Backoff/Crr	24.8	
	Crr Xmission Rate	768	Kbps		Crr Flux Density	-114.5	
	Threshold Eb/No	5.3	dB		Gain of a Sq meter	37.0	
	No of bits/symbol	.2	Bits		Uplink Path Losses	199.7	
	Demod BT Product	1.50			Carrier Up EIRP	48.2	
	Crr Noise Bandwidth	576.0	KHz		Satellite G/T	-1.8	
SATELLITE DATA	Carrier Spacing	580.0	KHz	C/N Uplink		17.7	
	Satellite Location	PALAPA	B2P	DOWNLINK BUDGET	Saturation EIRP	35.0	
	Saturation EIRP	-113.0	EL		Agg Output B.O.	4.5	
	G/T	35.0	dBW		Output Backoff/Crr	21.3	
	Attn Setting	-1.8	dB/K		Carrier Dn EIRP	13.7	
	Xponder Gain	6.0	dB		Dlntk Path Losses	195.5	
	SFD	165.2	dB		Rx Pointing Losses	0.5	
	Xponder Bandwidth	-89.7	dBWm <sup>-2</sup>		C/I Sky E/S G/T	21.6	
GROUND SEGMENT DATA	Agg Input IBO	36.0	MHz	COMPOSITE LINK	Degradation in G/T	0.0	
	Agg Output OBO	8.0	dB		C/N Downlink		10.3
	Uplink Frequency	4.5	GHz		C/N Uplink		17.7
	Downlink Frequency	5.985	GHz		C/N Downlink		10.3
	Tx Antenna Dia	9.760	GHz		C/I Intermod (S/C)		10.3
	Tx Antenna Effcy	4.6	meters		C/I Uplink Adj Sat		21.6
	Tx Antenna Gain	49.9	%		C/I Downlink Adj Sat		24.6
	Tx Pointing Losses	46.2	dBi		C/I Xpol		18.7
	Rx Antenna Dia	0.7	dBi		C/I Intermod (E/S)		22.1
	Rx Antenna Effcy	3.8	meters		C/I (Nu, d)		28.0
	Rx Antenna Gain	66	%		C/(Nu, d, lms/c)		9.6
	Rx Pointing Losses	41.6	dBi		C' (Nu, d, lm, l) Total		9.3
	Pre LNA Losses	0.5	dB		LINK MARGIN		8.5
	LNA Noise Temp	0.2	dB				1.9
	Ant, etc Temp	65.0°	K				
	C/I Sky Noise Temp	18.0°	K				
	Rx C/I Sky G/T	96.1°	K				
		21.6	dB/K				

SUMMARY			
% Avail S/C Power Req/Crr	2.09	%	
% Xponder Bandwidth Req/Crr	1.61	%	
Clear Sky Link Margin	1.9	dB	
Minimum BER	1. OE- 07		

**Tabel 9.2 LINK CALCULATION**  
**LINK BUDGET: RECEIVE E/S ANT. SIZE = 3.8 m**  
**Satellite: PALAPA B2P**  
**EIRP Contour = 34.0 dBW, G/T Contour = -1.8 dB/K**  
**32.0 kbps, QPSK, FEC Rate = 0.75, Voice**

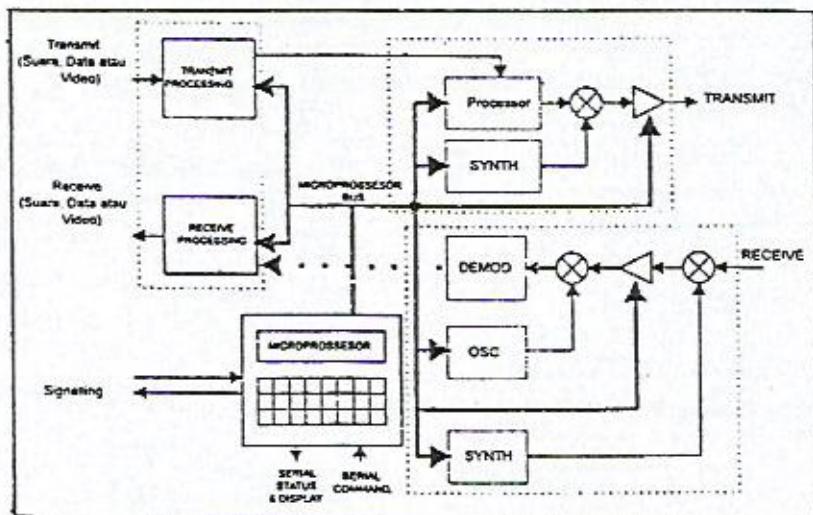
	BASELINE PARAMETER	Value	Unit	LINK PERFORMANCE		C/I Sky
<b>CARRIER DATA</b>	No of Crms/xponders	676.8		UPLINK BUDGET	Satellite SFD	-89.7
	Carrier Info Rate	32.0	Kbps		Agg Input B.O.	8.0
	FEC Code Rate	0.75			Input Backoff/Crr	36.3
	Crr Xmission Rate	43	Kbps		Crr Flux Density	-126.0
	Threshold Eb/Vn0	5.6	dB		Gain of a Sq meter	37.0
	No of bits/symbol	2	Bit		Uplink Path Losses	199.7
	Demod ST Product	1.20			Carrier Up EIRP	36.7
	Crr Noise Bandwidth	25.6	KHz		Satellite G/T	-1.8
	Carrier Spacing	30.0	KHz		C/N Uplink	19.7
<b>SATELLITE DATA</b>	Satellite	PALAPA	B2P	DOWNLINK BUDGET	Saturation EIRP	34.0
	Location	-113.0	WL		Agg Output B.O.	4.5
	Saturation EIRP	34.0	dBW		Output Backoff/Crr	32.8
	G/T	-1.8	dBi/K		Carrier Dn EIRP	1.2
	Attn Setting	6.0	dB		Dlntk Path Losses	195.5
	Xponder Gain	164.2	dB		Rx Pointing Losses	0.5
	SFD	-89.7	dBW/m <sup>2</sup>		C/I Sky E/S G/T	21.6
	Xponder Bandwidth	36.0	MHz		Degradation in G/T	0.0
	Agg Input IBO	8.0	dB		C/N Downtlink	
	Agg Output OBO	4.5	dB			11.3
<b>GROUND SEGMENT DATA</b>	Uplink Frequency	5.985	GHz			
	Downlink Frequency	3.760	GHz			
	Tx Antenna Dia	2.4	meters	COMPOSITE LINK	C/N Uplink	19.7
	Tx Antenna Effic	69.8	%		C/N Downtlink	11.3
	Tx Antenna Gain	42.0	dBi		C/I Intermod (S/C)	23.6
	Tx Pointing Losses	0.7	dB		C/I Uplink Adj Sat	26.6
	Rx Antenna Dia	3.8	meters		C/I Downlink Adj Sat	20.8
	Rx Antenna Effic	65	%		C/I Xpol	22.1
	Rx Antenna Gain	41.6	dBi		C/I Intermod (E/S)	26.0
	Rx Pointing Losses	0.5	dB		C' (Nu, d)	10.7
<b>Antenna</b>	Pre LNA Losses	0.2	Db		C'(Nu, d, lms/c)	10.5
	LNA Noise Temp	65.0 <sup>o</sup>	K		C' (Nu, d, lm, l)	9.7
	Ant. etc Temp	16.0 <sup>o</sup>	K		Total	1.9
	C/I Sky Noise Temp	96.1 <sup>o</sup>	K		LINK MARGIN	
	Rx Cr Sky G/T	21.6	dBi/K			

SUMMARY			
% Avail S/C Power Rqd/Crr	0.15	%	
% Xponder Bandwidth Rqd/Crr	0.08	%	
Clear Sky Link Margin	1.9	dB	
Minimum BER	1.0E-04		

Terlihat bahwa untuk kecepatan data 384.0 kbps pengurangan sinyal masukannya hanya = 24.8 dB, sedang untuk kecepatan data 32 kbps pengurangan sinyal masukannya = 36.3 dB. Jadi, untuk margin yang sama, sinyal yang lebih tinggi kecepatannya diberikan daya dan lebar frekuensi yang lebih besar.

### Unit Saluran (*Channel Unit*)

Karena dalam sistem FDMA setiap unit saluran dapat dianggap berdiri sendiri dengan tidak diperlukannya sinkronisasi untuk pewaktu (timing), masing-masing unit saluran (suara, fax, data) merupakan unit yang lengkap sampai modemnya. Interface dengan unit VSAT lain yaitu RFE berlangsung dalam frekuensi IF 70 MHz sedang di sisi lain unit saluran juga harus dapat ber-interface dengan pesawat pelanggan seperti telepon, fax dan komputer. Salah satu diagram blok unit saluran terlihat pada gambar 9.15



Gambar 9.15  
Diagram Blok Unit Saluran

Sebagai unit saluran untuk suara, sinyal suara dari/ke pesawat pelanggan diproses dahulu secara PCM di unit ADPCM, CELP atau coding lainnya, setelah itu baru dimodulasikan secara QPSK/BPSK pada frekuensi pembawa  $70 \pm 18$  MHz yang dibangkitkan dengan synthesizer. Modulator ini diikuti dengan IF amplifier sehingga tingkatan daya sinyal IF-nya sesuai dengan yang diinginkan (misalnya -18 dBm).

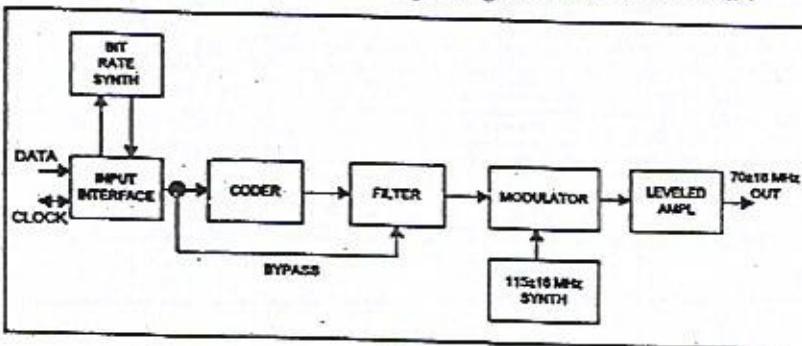
Dalam rantai penerimaan, sinyal IF  $70 \pm 18$  MHz, diturunkan dulu frekuensinya menjadi  $45 \pm 18$  MHz, baru didemodulasi.

Untuk sinyal data, diagram bloknya akan lebih sederhana, karena untuk data yang masuk, unit salurannya transparan, karena datanya tidak dicoding/decoding.

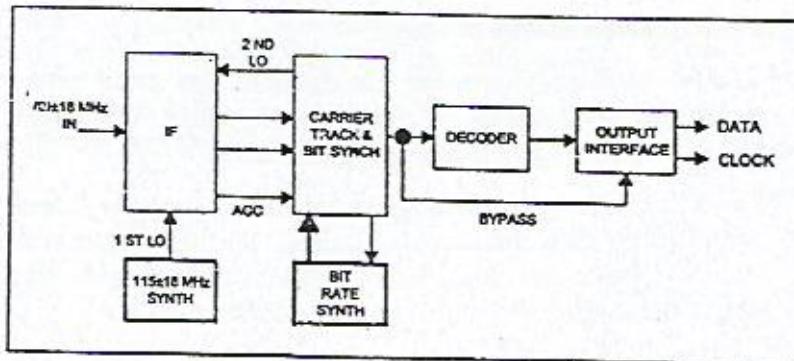
Seperti terlihat pada gambar 9.15, unit saluran cukup banyak menggunakan microprosesor untuk coding, modulasi, synthesizer, mengatur daya penguat IF dan lain lain.

Suatu unit saluran data misalnya dapat digunakan untuk bermacam-macam kecepatan data, dimana pengaturan coding, lebar daerah frekuensi tapis, penguatan penguat IF dan lain lain berlangsung secara otomatis.

Contoh rangkaian Modulator dan Demodulator dalam suatu unit saluran dapat dilihat pada gambar 9.16 dan 9.17.



Gambar 9.16  
Diagram Blok Modulator



Gambar 9.17  
Diagram Blok Demodulator

Catatan: Bypass digunakan dalam unit saluran untuk data

### 3.3 Jaringan dengan Sistem Akses TDMA

Unit TDMA dari sebuah Stasiun Remote VSAT TDMA, biasanya terdiri dari beberapa bagian :

- A. TDMA Controller
- B. Interface Card :
  - + Voice Card
  - + Data Card

TDMA Controller merupakan satu card yang selalu terpasang di semua terminal VSAT. Unit ini merupakan unit yang memproses sinyal yang datang dari *interface card* untuk disesuaikan dengan sistem TDMA-nya. Demikian juga sebaliknya, untuk sinyal yang datang dari unit RFE-nya, diolah dulu oleh TDMA Controller sebelum diteruskan ke *Interface Card* yang bersangkutan. Sinyal yang akan dikirimkan/diterima oleh unit TDMA ini dimodulasikan (QPSK)/didemodulasikan pada tingkatan sinyal IF dengan frekuensi  $70 \pm 18$  MHz. *Interface Card* merupakan sirkit antar muka antara peralatan pelanggan dalam Terminal TDMA-nya. Penjelasan mengenai *Interface Card* dapat dilihat pada bab-bab berikutnya.

#### A) Prinsip Kerja TDMA Modem

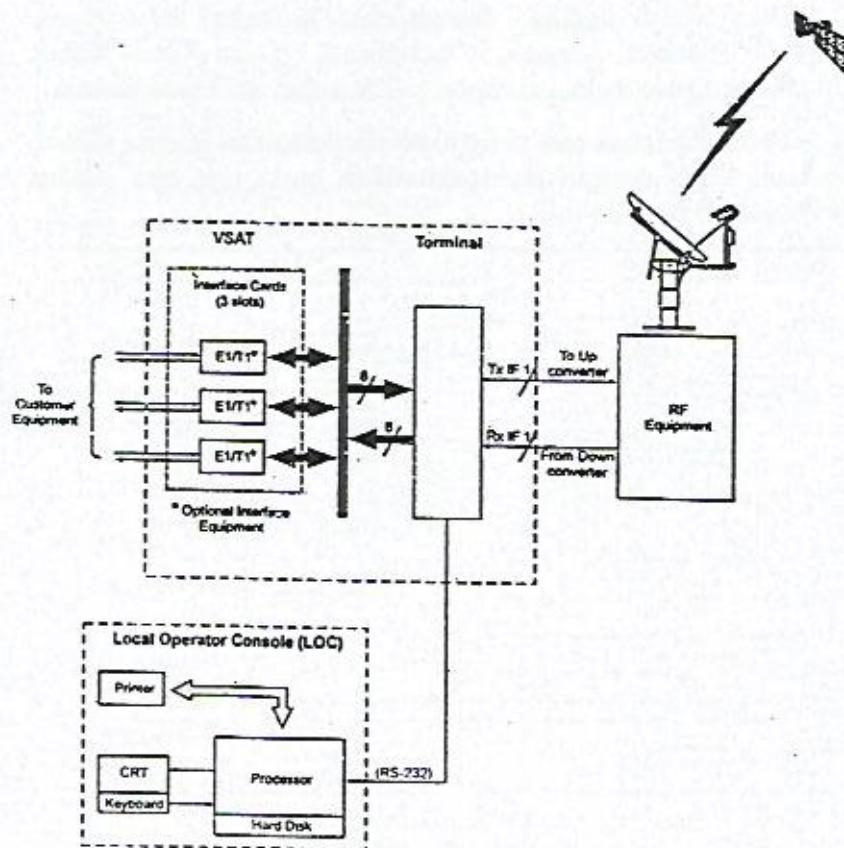
TDMA Modem/Controller Card selalu ada pada setiap unit VSAT dan mempunyai fungsi mengontrol VSAT-nya. Modem/Controller Card berfungsi antara lain:

- ◆ Clock/FHOP - membangkitkan timing/trigger untuk pengiriman dan penerimaan sinyal IF. Jika digunakan sumber frekuensi dari luar (ESCU), tingkat ketelitian pulsa-pulsa timing ditentukan oleh sumber tersebut.
- ◆ Modem Digital/Analog - memodulasi/demodulasi data-data digital dari pemakai/pelanggan menjadi sinyal-sinyal QPSK pada frekuensi IF untuk dikirimkan/diterima dari satellite.
- ◆ Mengontrol secara keseluruhan operasi VSAT, seperti:
  - Mengontrol sistem timing.
  - Mengelola frame dan BTP (Burst Time Plan) atau Map.
  - Membangkitkan/menyusun informasi dalam CSC (Common Signalling Channel).
  - Mengelola pertukaran data dan informasi dengan LOC dan Card Interface lainnya seperti Voice Card, Data Card dan lain lain.

*Interface Card* dapat dianggap sebagai interface (antar muka) antara peralatan pengguna/pelanggan dengan sistem VSAT. Sinyal-sinyal dari peralatan pelanggan yang berbentuk data, suara, video atau facsimile, diubah dalam sinyal-sinyal data yang sesuai untuk sistem TDMA di unit *Interface Card* ini. *Interface Card* tersebut menampung data-data pelanggan tersebut sebelum diteruskan ke *Modem Controller* yang siap untuk men-scramble, coding dan mengirimkan data-data tersebut dalam bentuk burst ke satellitnya. Dalam arah sebaliknya, *Modem Controller* akan menerima sinyal-sinyal dalam bentuk burst dengan kecepatan tinggi, kemudian memrosesnya dalam bentuk *decoding*, *unscramble*, dan mengubah data-data serial menjadi data-data paralel yang

dikirim ke Interface Card yang sesuai dimana sinyalnya akan diubah kembali dalam suara, fax dan sebagainya.

Diagram blok VSAT yang memperlihatkan posisi Modem Controller dapat dilihat pada gambar 9. 18.



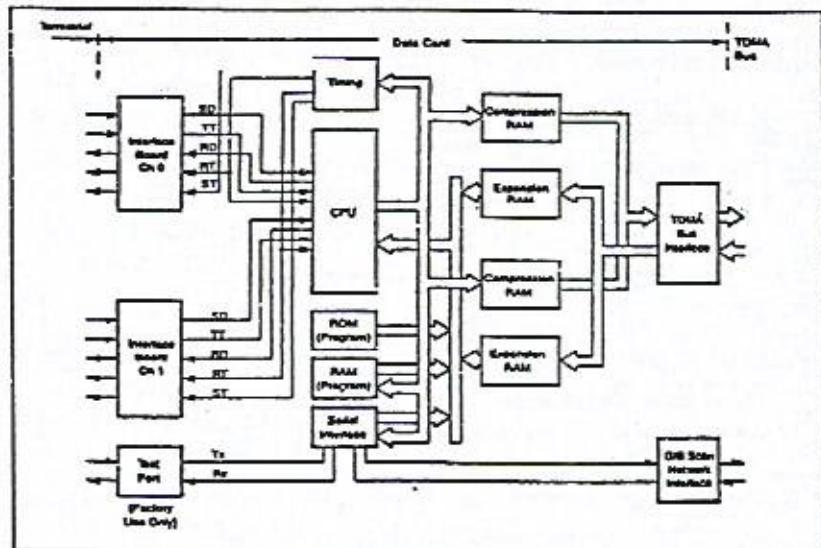
Gambar 9.18  
Diagram Blok VSAT

### B) Data Card

Data Card dalam suatu VSAT adalah Interface Card yang melayani komunikasi data. Data rates bisa diatur dari 2.4 sampai dengan 512 Kbps ataupun dengan kecepatan yang lebih tinggi.

Data Card bersifat transparant terhadap data yang dikirim/diterima, dalam pengertian Data Card tidak melakukan pengecekan ataupun pemrosesan data yang masuk.

Pemilihan data rate yang akan dioperasikan ini bisa diatur melalui NMS dengan memperhatikan burst rate dari sistem komunikasi satellite-nya.



Gambar 9.19  
Diagram Blok Data Card

Masing-masing saluran pada data card dapat dihubungkan dengan peralatan komunikasi data pelanggan dengan konektor EIA-449, EIA-232 atau CCITT V.35 dan bisa di-emulasi sebagai DCE atau DTE bergantung kepada *interface board* yang diinstal.

Beberapa jenis *Interface Board* contoh: EIA-449 DCE, EIA-449 DTE, EIA-232 DCE (max. 19.2 Kbps), EIA-232 DTE (max. 19.2 Kbps), CCITT V.35 DCE, CCITT V.35 DTE. Channel-channel tersebut juga satu sama lain bisa dioperasikan dengan kecepatan data yang berbeda satu sama lain.

Unit-unit yang penting dari Data Card adalah:

- ⇒ CPU
- ⇒ Program ROM dan RAM
- ⇒ Interface Board
- ⇒ Test Port
- ⇒ RAM kompresi dan ekspansi
- ⇒ Interface ke TDMA Controller
- ⇒ GIB (Group Interfacce Board) dan GSN (Scan Network Interface)
- ⇒ Timing

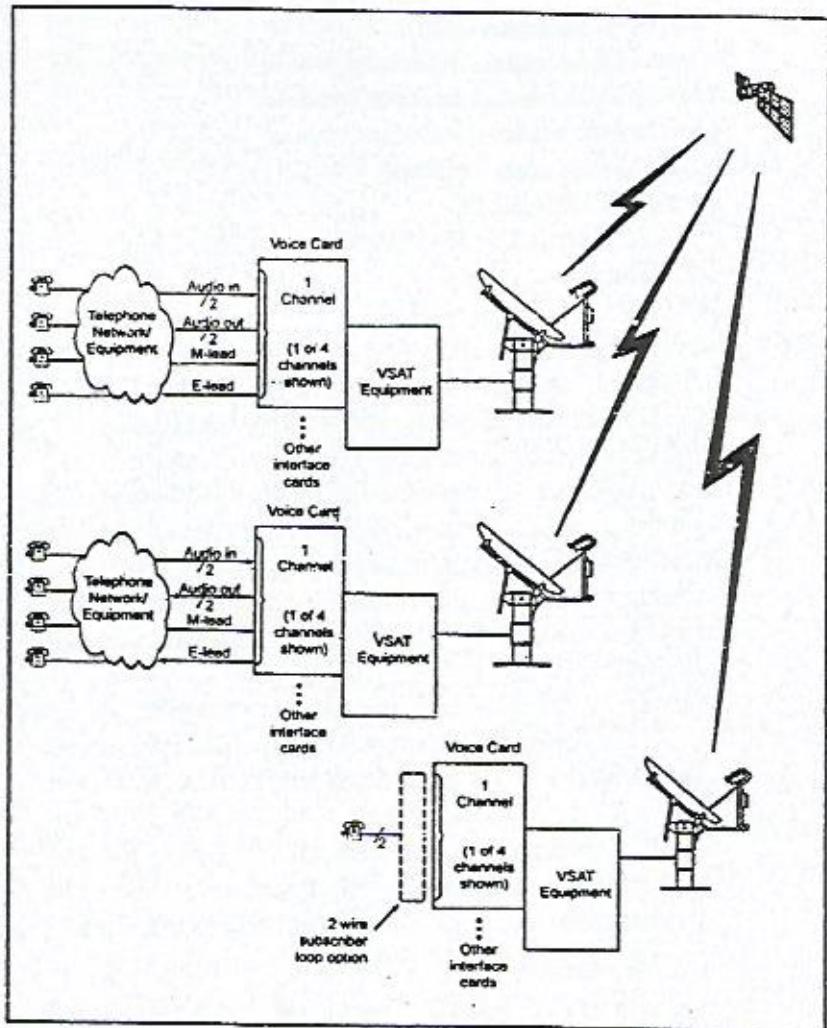
### CPU

CPU ini mengontrol seluruh operasi Data Card-nya, antara lain:

- mengaktifkan program yang tersimpan di ROM maupun RAM-nya
- mengaktifkan download program yang tersimpan di RAM dan ROM sebagai yang berlaku (current) atau pengganti (alternate)
- mengontrol test local loop back atau remote loop back
- memberikan front edge control dan fungsi-fungsi indikator
- mengontrol interface GSN
- mengatur kecepatan data sesuai dengan ukuran burst

### *Program ROM dan RAM*

Software Data Card dari NMS bisa di-download ke RAM dan operator NMS dapat memilih apakah software tersebut dipindah ke ROM atau tetap di RAM.



Gambar 9.20  
Lokasi Voice Card dalam Sistem

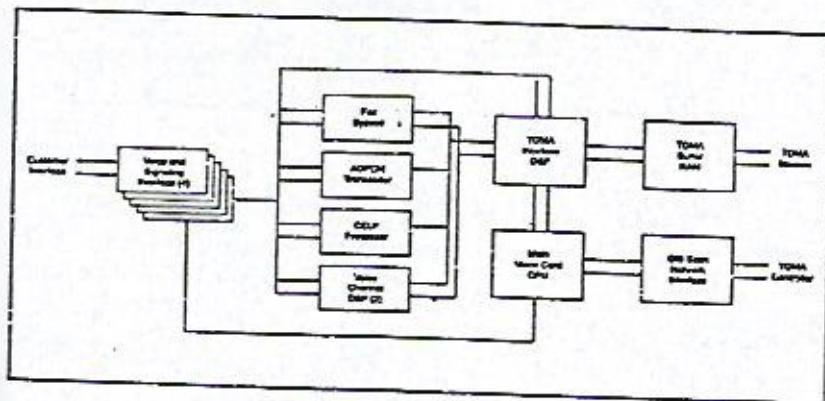
Voice Card dapat digunakan untuk:

- a) Sistem TDMA dengan panjang frame 10, 15 dan 20 ms
- b) Dial-Up Data (dengan Hayes Modem)
- c) Suara untuk beberapa macam codec
  - ① CELP 4.8 atau 9.6 Kbps
  - ② ADPCM 16 Kbps
  - ③ ADPCM (CCITT G.721 dan G.723) 24 atau 32 Kbps
  - ④ PCM 64 Kbps
- d) Facsimile (dengan fax bypass)
- e) Berbagai signalling system seperti:
  - ☛ 4 kawat atau 2 kawat type I-V E&M signalling
  - ☛ 2 kawat subscriber loop
- f) Dari 4 saluran yang tersedia, setiap saluran suara dapat digunakan dalam mode PAMA atau DAMA. Dalam PAMA setiap saluran dapat diberi codec yang berlainan. Akan tetapi, untuk DAMA, semua saluran yang di-DAMA-kan harus pada kecepatan codec yang sama.
- g) Interface ke jaringan lokal dengan sambungan:
  - ◊ FXO (Foreign Exchange Office): biasanya untuk saluran VSAT yang dihubungkan langsung ke PABX.
  - ◊ FXS (Foreign Exchange Subscriber): biasanya untuk hubungan langsung ke telepon yang dianggap sebagai satu nomor dalam seluruh jaringannya.

Pilihan jenis salurannya ditentukan oleh PIM (*Plug In Module*) yang digunakan untuk saluran yang bersangkutan, yang dapat mengatur codec, signalling, level dan sebagainya untuk setiap saluran. Jadi, dalam satu Voice Card dapat dipasang beberapa macam PIM. Setiap Voice Card juga mempunyai processor (CPU) yang dapat memonitor dan mengontrol berbagai fungsi card-nya seperti: local/remote loop back untuk testing, konfigurasi saluran-salurannya,

menghasilkan test tone (1KHz) dan lain lain. CPU dari Voice Card ini berkomunikasi dengan TDMA Controller Card melalui Group Interface Board Scan Network (GSN).

Diagram blok Voice Card adalah seperti pada gambar 9. 21



Gambar 9.21  
Diagram Blok Voice Card

# Komunikasi Satelit Berorbit Rendah

## 1. UMUM

Pada masa permulaan komunikasi satelit, satelit yang berorbit synchronous maupun yang non-synchronous sama-sama dikembangkan.

Namun, dalam perkembangan kemudian, satelit dengan orbit geosynchronous boleh dikatakan merupakan satu-satunya sistem yang digunakan untuk tujuan komunikasi global, terutama setelah berhasil diluncurkannya satelit "Early Bird", yang merupakan geosynchronous yang pertama, pada tahun 1965. Satelit ini nantinya akan menjadi satelit "INTELSAT I".

Beberapa faktor yang menghalangi pilihan terhadap satelit yang nonsynchronous antara lain adalah:

- Karena waktu edar yang lebih pendek, satelit hanya "terlihat", dari satu titik di muka bumi, untuk waktu yang terbatas. Sehingga untuk komunikasi yang kontinyu perlu prosedur "serah terima" antara 2 satelit yang berturutan.
- Karena satelitnya "terbit" dan "terbenam", disetiap lokasi stasiun bumi minimal harus ada 2 antena yang "fully steerable", satu aktif "berhubungan" dan satu lagi siap-siap untuk "menangkap" satelit yang berikutnya.

Situasi pada waktu itu juga kurang mendukung, mengingat daya satelit yang masih kecil, antena stasiun bumi masih harus besar, juga prosedur "serah-terima" untuk adanya

komunikasi yang kontinyu ("seamless") masih harus dikembangkan.

Sehingga memang pilihan jatuh ke satelit yang geosynchronous. Namun, perkembangan komunikasi satelit justru semakin menonjolkan kekurangan satelit-satelit geostationer antara lain:

- ◆ Terbatasnya "slot" di lintasan stationer yang hanya  $360^{\circ}$ . Walaupun jarak setiap satelit yang semula  $5^{\circ}$  diperkecil  $2^{\circ}$  dan bahkan sekarang pada posisi yang sama bisa ditempatkan 2 satelit (dimungkinkan dengan "koordinasi" seperti: beda daerah frekuensi, footprint dan lain-lain), diperkirakan orbit GEO tetap tidak akan mencukupi.
- ◆ Karena tingginya lintasan satelit, freespace loss cukup tinggi, sehingga pemanfaatan terbatas hanya untuk komunikasi yang tetap (*fixed communication*).

Keterbatasan satelit yang geosynchronous ini justru merupakan sifat yang inherent dalam satelit nonsynchronous, antara lain:

- ⇒ Bidang lintasan tidak harus berimpit dengan bidang khatulistiwa.
- ⇒ Ketinggian yang lebih rendah dari geosynchronous, menyebabkan stasiun di bumi bisa kecil hingga ukuran "hand held".

Keunggulan-keunggulan ini juga didukung oleh perkembangan teknologi antara lain: daya pancar satelit yang semakin besar, prosedur "hand-over" yang sudah berkembang, vocodec dan lain lain.

Sehingga satelit berorbit rendah atau LEO :(*Low Earth Orbit*), dapat digunakan untuk komunikasi, terutama cukup menarik untuk sistem komunikasi bergerak (*Mobile Satellite Communication System, MSCS*).

Namun, karena untuk sistem komunikasi satelit LEO diperlukan cukup banyak satelit untuk meng"cover" permukaan bumi ini, dengan pertimbangan-pertimbangan tertentu dikembangkan juga komunikasi satelit dengan ketinggian garis edar yang menengah atau MEO (*Medium Earth Orbit*) bahkan yang berorbit GEO (*Geostationary Earth Orbit*).

## 2. PERSYARATAN-PERSYARATAN TEKNIS SATELIT ORBIT RENDAH

### 2.1 Ketinggian Garis Edar dan Jumlah Satelit

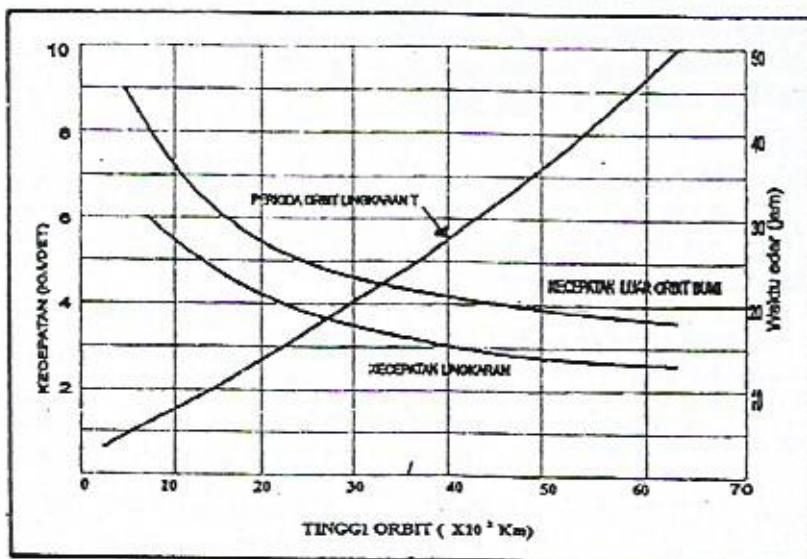
Sesuai dengan hukum-hukum fisika dalam astrodinamika, untuk badan-badan angkasa (satelit) yang mengelilingi bumi, semakin rendah garis edarnya, kecepatan edar satelitnya harus semakin tinggi. Akibatnya waktu edar akan kurang dari 24 jam.

Hal ini dapat terlihat dalam Tabel 10.1, yang pertama kali diperkenalkan oleh Arthur C. Clarke, yang memperlihatkan hubungan ketinggian orbit dengan kecepatan edar dan periode satelit.

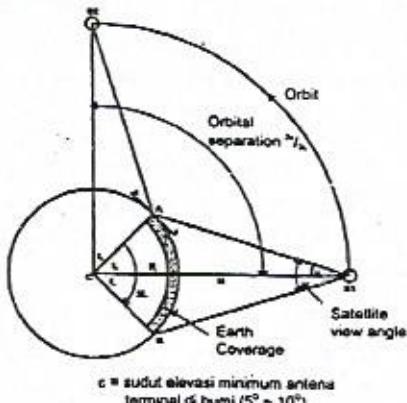
Akibatnya, dari setiap lokasi di muka bumi ini tiap satelit hanya akan terlihat untuk waktu yang terbatas. Semakin rendah garis edar, waktu ini akan semakin pendek.

Juga karena adanya batasan sudut elevasi minimum sebuah antena (karena batasan oleh bangunan, pohon dan tingkat derau), daerah cakupan setiap satelitnya juga akan terbatas. Sehingga untuk dapat mencakup seluruh bumi ini, diperlukan sejumlah satelit. Jumlah satelit untuk mengcover seluruh permukaan bumi ini disebut konstelasi satelitnya. Satelit-satelit ini biasanya dibagi dalam beberapa bidang edar. Bidang edar ini bisa melalui kutub (*polar orbit*) dengan sudut inklinasi  $90^\circ$ , bisa juga dengan sudut inklinasi lain yang lebih kecil dari  $90^\circ$ .

Tabel 10.1 Waktu edar dan kecepatan satelit sebagai fungsi ketinggian garis edar



Besar daerah cakupan satu satelit dapat dihitung sebagai berikut:



◊ Sudut setengah kerucut daerah lingkup =  $\alpha$  :

$$\text{Dari: } \frac{R_E}{\sin \alpha} = \frac{R_E + h}{\sin (90^\circ + \varepsilon)}$$

$$\sin \alpha = \frac{R_E}{R_E + h} \sin (90^\circ + \varepsilon)$$

◊ Sudut setengah kerucut pusat bumi L :

$$L = 180^\circ - (90^\circ + \varepsilon) - \alpha$$

Gambar 10.1  
Daerah Cakupan Satelit

- ◊ Jumlah satelit dalam tiap bidang edar.  
Terlihat bahwa jarak antara 2 satelit adalah =  $2L$   
Jadi, jumlah satelit dalam setiap orbit =  $\frac{360^\circ}{2L}$
- ◊ Jumlah satelit dalam 1 konstelasi  
Karena bumi yang berbentuk bundar, di daerah khatulistiwa akan dialami hal yang sama, sehingga sudut antara 2 bidang edar adalah =  $\frac{360^\circ}{2L}$ , tetapi karena tiap bidang edar sudah mengelilingi bumi, maka jumlah bidang edar cukup  $\frac{1}{2} \times \frac{360^\circ}{2L}$ .

Namun, di daerah luar khatulistiwa sebenarnya sudut antara 2 bidang edar bisa lebih besar karena luas daerah yang harus dicakup untuk sudut yang sama relatif lebih kecil.

Untuk Iridium misalnya, untuk daerah kutub akan banyak satelitnya yang bisa dimatikan, karena pancarannya akan saling overlap.

Secara pendekatan, jumlah seluruh satelit dalam 1 konstelasi dapat dihitung.

Untuk lintasan satelit yang polar (lintasan lewat kutub bumi), dari rumus untuk luas permukaan bumi yang tercakup satelit:

$$S = 2\pi R_E^2 [1 - \cos L]$$

maka jumlah satelit yang ideal dalam konstelasi untuk mencakup seluruh permukaan bumi:

$$N = \frac{4\pi R_E^2}{S} = \frac{2}{1 - \cos L} = \frac{2}{1 - \sqrt{1 - \sin^2 L}}$$

untuk lintasan yang tidak polar, jumlah satelit adalah:

$$N = \frac{2(1 + 0,57 \sin i)}{1 - \sqrt{1 - \sin^2 L}}$$

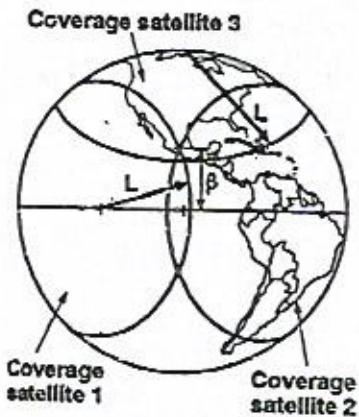
dimana  $i$  = sudut lintasan garis edar dengan khatulistiwa (sudut inklinasi)

Namun, selain itu sebenarnya diperlukan juga cakupan yang saling "overlap" antara satelit-satelit yang berdekatan, untuk menghindari adanya daerah-daerah yang "gelap" (*blank spot*). Jadi, jumlah satelit masih akan dipengaruhi oleh besarnya daerah yang "overlap" ini.

Sebagai contoh, untuk cakupan antara 3 satelit yang berdekatan, dalam 2 bidang edar dengan sudut antara bidang edar =  $90^\circ$  berlaku rumus-rumus:

$$\beta + L > 90^\circ$$

$$\beta = \arccos \left\{ \frac{2(R_E^2 + R_S^2) - (R_1^2 + R_2^2)}{4R_S R_E \cos \alpha_0} \right\}$$



Gambar 10.2

Persyaratan "Overlap" antara Satelit-satelit yang berdekatan

dimana :

$\beta$  = sudut elevasi titik potong

$R_E$  = jari-jari bumi

$h$  = tinggi garis edar satelit

$R_S = R_E + h$

$R_1, R_2$  = Jarak dari satelit ke titik-titik di bumi dengan sudut elevasi  $20^\circ$

$\alpha_0$  = Perbedaan garis bujur antara kedua satelit

$L$  = sudut  $\frac{1}{2}$  kerucut daerah

cakupan di pusat bumi.

Dari perhitungan-perhitungan di atas, dalam Tabel 10.2, diperlihatkan harga-harga jumlah satelit dalam setiap bidang edar, jumlah total satelit dalam konstelasi, jumlah satelit dan jumlah bidang edar dalam praktik dengan memperhitungkan "overlap".

Dari tabel terlihat misalnya, Iridium dengan ketinggian garis edar sebesar 770 km dan lintasan polar ( $i = 90^\circ$ ), maka untuk sudut elevasi minimum  $20^\circ$ , sudut  $\frac{1}{2}$  kerucut daerah cakupan di satelit,  $\alpha = 56,95^\circ$  sedang sudut  $\frac{1}{2}$  kerucut daerah cakupan di pusat bumi,  $L = 13^\circ$ . Jumlah satelit dalam 1 bidang edar = 13.80 buah, sedang jumlah total satelitnya adalah sekitar 122 buah. Dengan memperhitungkan "overlap", jumlahnya yang terdekat adalah 126 buah dengan sembilan bidang edar dan 14 satelit setiap bidang edarnya.

Jumlahnya 77 satelit dengan 7 bidang edar dan 11 satelit dalam setiap bidang edar diperoleh jika sudut elevasi minimumnya adalah  $10^\circ$ . Sedang Globalstar dengan sudut inklinasi  $i = 52^\circ$ , diperlukan 48 buah satelit yang dapat dibagi dalam 8 bidang edar dengan 6 satelit setiap bidang edarnya. Jumlah satelit yang lebih sedikit juga diakibatkan oleh garis edarnya yang lebih tinggi dari Iridium.

Untuk satelit dengan ketinggian menengah (MEO) sekitar 10.000 km sampai dengan 20.000 km, akan diperlukan sekitar 12 satelit saja untuk mencakup seluruh permukaan bumi ini.

Tabel 10.2 Jumlah Satelit, Sebagai Fungsi Tinggi Garis Edar dan Sudut Elevasi Minimum

ELEVATION ANGLE, $\epsilon$ deg	ALTITUDE KM	INCLINATION, deg	DISTANCE TO SATELLITE, $R_{\text{KM}}$	SATELLITE OFFSETS ANGLE, $\theta$ , deg	SATELLITE VIEW ANGLE, $Z_0$ , deg	EARTH CENTERED HALF CONE ANGLE, $L$ , deg	NUMBER SATELLITE FOR DEELENEA COVERAGE $\frac{1}{2} \pi$	APPROXIMATE TOTAL NUMBER OF PLATES $N_{\text{PLATE}}$	CROSSPOINT ELEVATOR, $\delta$ , deg	NR SATELLITES PER PLATE X NR OF PLATES	APPROXIMATE MINIMUM NUMBER OF SATELLITES
1	2	3									
10	500	90	1076	60.03	117.20	0.38	10.10	10.15	179.00	234	20
	770 (DEBORA)	92	11390 (GEO Sat)	56.95	113.90	0.09	26.9	12.50	71.77	122	13
	1337 (15)	90	11406	53.48	112.60	1.51	30.50	8.27	94.13	80.47	57 [40]
	10,260 (1 km)	90	11406	21.02	110.04	1.27	43.04	6.20	87.70	12.34	11.3
	12,742 (2 km)	90	11406	20.96	110.25	1.92	41.03	9.07	5.67	4.61	4.1
	13,300 (3 km)	90	11406	19.67	110.70	3.65	31.24	10.10	3.07	5.23	5.2
	15,000	91	11406	11.97	115.57	5.34	52.42	16.54	3.40	6.06	6.0
	20,000	90	11406	11.20	115.73	5.25	63.73	17.76	3.84	7.06	7.0
	25,000 (12 km)	90	11406	10.72	115.12	25.26	59.85	11.70	3.15	4.1	4.1
	30,738 (20 km)	95	35660	8.18	115.22	9.28	61.86	30.85	4.04	6.11	4.12
13	500	90	21.01	65.53	131.00	14.76	21.31	12.7	102.3	11.14	104
	770 (DEBORA)	92	14906	63.15	126.33	6.85	31.50	20.15	46.32	31.17	31
	1337 (15)	90	14906	63.95	101.90	25.95	52.1	6.9	11.65	28.5	30
	10,260 (1 km)	90	14906	29.47	95.94	61.50	101	1.58	1.15	6.03	4.1
	12,742 (2 km)	90	14906	22.00	47.00	53.10	118	1.10	1.25	1.31	12
	15,000 (3 km)	90	14906	18.14	36.20	61.95	121.72	2.85	3.10	6.11	6
	10,000	90	14906	11.11	17.92	15.14	124.04	21.14	2.80	3.73	4.12
19	20,000	90	14906	17.03	24.07	12.94	125.88	12.85	1.95	4.74	4.1
	25,000	90	14906	13.98	27.95	8.02	132.59	5.72	1.96	6.20	6
	30,738 (12 km)	90	14906	12.63	22.63	6.75	157.4	2.41	3.14	4.92	6
	35,738 (20 km)	95	46096	8.59	11.95	17.1	114.5	2.52	2.91	3	3.1

## 2.2 Perkiraan Jarak Lintasan

Umumnya, hubungan komunikasi dimaksudkan untuk dimungkinkannya hubungan antara 2 titik dimanapun di muka bumi ini.

Dalam sistem komunikasi dengan satelit berorbit rendah, hubungan bisa terjadi antara 2 lokasi yang berbeda beberapa daerah cakupan satelit.

Sesuai dengan sifat hubungan sekarang, hubungan yang terjadi bisa:

- antara terminal LEO dengan terminal yang tersambung ke PSTN
- antara 2 terminal LEO dalam daerah cakupan satelit yang sama
- antara 2 terminal LEO dalam daerah cakupan 2 satelit yang berbeda

Contoh perhitungan jarak maksimum antara 2 terminal LEO yang berada di dua daerah cakupan yang berbeda, diperlihatkan dalam Gambar 10.3, dimana jumlah satelit adalah 6 buah dalam 1 bidang edar.

Jarak terjauh adalah  $I = P_1P_4$ , dimana  $I = P_1S_1S_2S_3S_4P_4$

$$\text{Dimana : } P_4S_4 = P_1S_1 = a = \frac{R_E \sin L}{\sin \alpha}$$

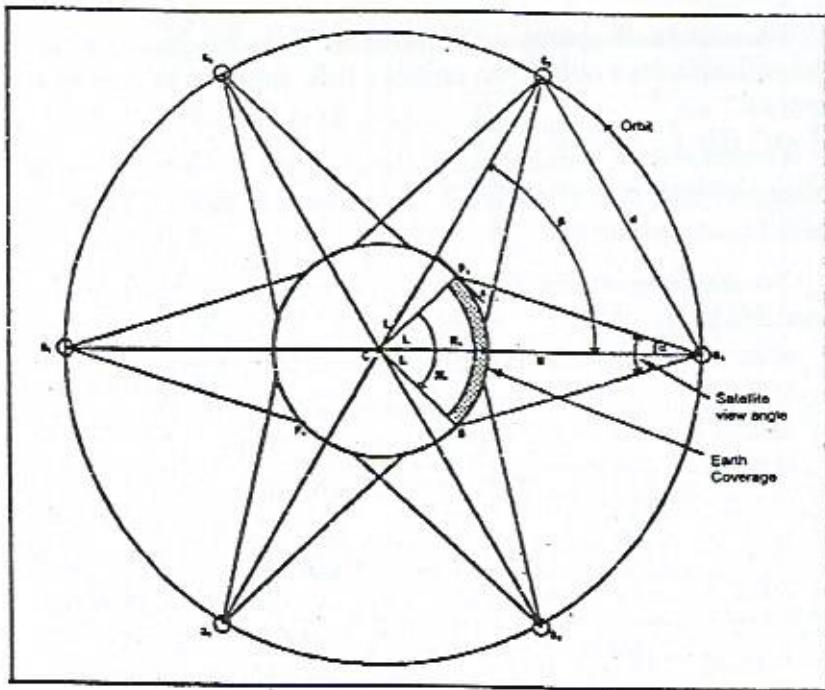
$$S_1S_2 = S_2S_3 = S_3S_4 = 2 R_S \sin \beta / 2$$

$$\text{atau } = 2 R_S \sin L$$

tergantung lintasan yang dipilih ( $\beta$  = sudut antara 2 bidang edar,  $L = \frac{1}{2}$  sudut kerucut cakupan satelit)

$$R_S = R_E + h = \text{jari jari lintasan satelit}$$

$$a = \text{jarak terminal LEO ke satelit}$$

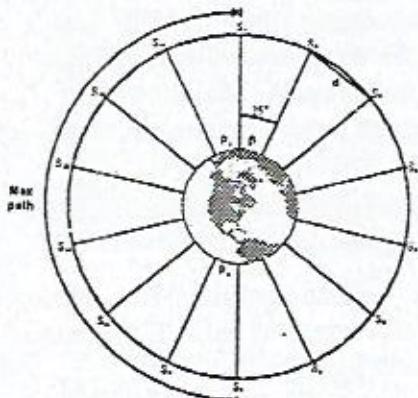


Gambar 10.3  
Jarak Lintasan

Jumlah satelit yang dibutuhkan untuk mengcover seluruh permukaan bumi dari setiap orbitnya:  $\frac{360}{2L}$ ; dimana  $L$  = sudut cakupan terhadap pusat bumi.

Sebagai contoh, diambil untuk sistem IRIDIUM seperti terlihat dalam Gambar 10.4

Contoh :



$$\begin{aligned}\beta &= \text{Sudut antara 2 satelit} \\ &(180^\circ / 7 = 25.7^\circ) \\ H &= \text{tinggi satelit} = 770 \text{ km} \\ R_s &= \text{jari-jari lintasan satelit} \\ &= 7141 \text{ km} \\ d &= \text{jarak antara 2 satelit} \\ &= 2 R_s \sin (\beta/2) = 3203 \text{ km} \\ a &= \text{jarak terminal ke satelit} \\ &= \frac{6371 \sin 16.85}{\sin 63.15} = 2071 \text{ km}\end{aligned}$$

Gambar 10.4  
Jarak Maksimum dalam Iridium

Jarak lintasan =

$$\begin{aligned}P_1S_1S_2S_3S_4S_5S_6S_7S_8P_8 &\approx 2a + 7d \\ &\approx 2 \times 2071 + 7 \times 3203 = 26,564 \text{ km}\end{aligned}$$

Jarak	= 26,564 km
Delay	= 89 ms
Processing delay	= 240 ms
Max path delay	= 329 ms

Jadi, terlihat bahwa delay maksimum sebesar 329 msec masih lebih kecil dari delay dalam sistem geostationer. Sehingga untuk hubungan-hubungan yang biasa akan terlihat bahwa efek delay untuk sistem LEO tidak besar, sehingga tidak mengganggu. Terlihat misalnya untuk 2 terminal yang berada di daerah cakupan satelit yang sama, delay hanya sekitar 50 msec.

Untuk sistem LEO lainnya, seperti misalnya Globalstar, karena tidak ada hubungan antar satelit (Inter Satellite Link), maka untuk jarak jauh (antar benua), tetap dilewatkan jaringan PSTN yang ada. Disini, jarak maksimum adalah antara 2 terminal LEO di dua benua, sehingga jarak maksimum adalah sekitar:

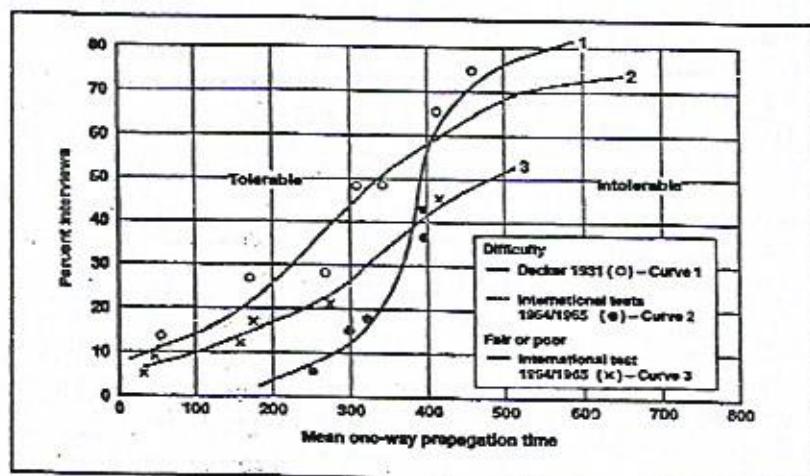
$$l_{\max} = 2 \times (2 \times 2760) + 20.000 \text{ km} = 31.040 \text{ km}$$

(2 hop satelit) (1/2 keliling bumi)

Sehingga delay maksimum adalah sekitar 100 msec (processing delay hampir tidak ada, karena Globalstar beroperasi seperti satelit biasa - "bent pipe").

Dari beberapa penelitian, keterlambatan (delay) kurang dari 350 msec umumnya masih dapat ditolerir oleh kebanyakan orang (>50%), seperti terlihat dari Tabel 10.3.

Tabel 10.3  
Toleransi Gangguan Delay sebagai fungsi dari waktu Propagasi



Jadi, untuk sistem LEO waktu keterlambatan hampir tidak mengganggu, sehingga *echo canceller* hampir tidak perlu digunakan.

## 2.3 Daerah Frekuensi

Untuk komunikasi satelit bergerak, oleh WARC sudah dialokasikan beberapa daerah frekuensi seperti terlihat dalam Tabel 10.4

Tabel 10.4 Daerah Frekuensi Komunikasi Satelit Bergerak

Band	Uplink	Downlink	Bandwidth, MHz
L-L (MHz)	1626.5 to 1660.5	1525 to 1559	34
L-S (MHz)	1616.5 to 1625	2483.5 to 2500.0	10
C-band feeder link (GHz)	6.425 to 6.525	3.6 to 3.7	100
Ka-band feeder link (GHz)	28.5 to 31.0	19.7 to 21.2	200

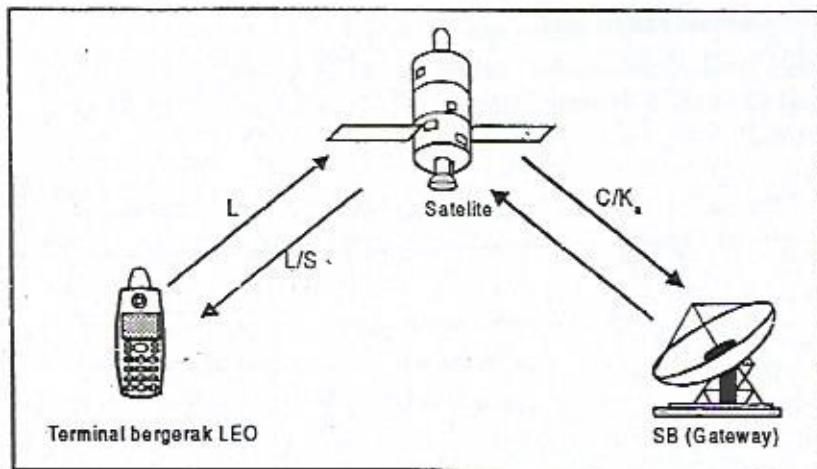
1. Komunikasi terminal bergerak LEO ke/dari Satelit
  - + Jadi, ada daerah frekuensi L yang digunakan baik untuk uplink maupun downlink sebesar 34 MHz.
  - + Ada juga daerah frekuensi L untuk uplink dan daerah S band untuk downlinknya sebesar 10 MHz
2. Komunikasi antara Stasiun Bumi dan Satelit

Sedang untuk komunikasi antara stasiun bumi dan satelit digunakan daerah frekuensi C atau Ka.

Akan tetapi, daerah frekuensi yang sama sebenarnya juga dialokasikan untuk beberapa jenis komunikasi lainnya, seperti, komunikasi maritim dan astronomi.

Hal ini juga merupakan permasalahan yang masih mengganggu sistem LEO.

Persoalannya semakin pelik, karena frekuensi-frekuensi tersebut tidak hanya digunakan di Amerika saja, tetapi juga dibeberapa negara lain. Sehingga untuk penggunaan komunikasi satelit bergerak secara global masih memerlukan koordinasi dengan banyak negara atau akan diperlukan sistem koordinasi frekuensi yang cukup rumit.



Gambar 10.5  
Daerah Frekuensi dalam sistem LEO

Sejalan dengan perkembangan sistem LEO ini, diperkirakan akan ada permintaan tambahan alokasi khusus untuk LEO. Karena penggagas ide LEO ini sebagian besar adalah perusahaan-perusahaan Amerika, diperkirakan Amerika Serikat akan cukup gencar memperjuangkan penambahan ini dalam WARC.

## 2.4 Spesifikasi Teknis Sistem

Sesuai dengan tujuannya, komunikasi satelit bergerak harus memenuhi beberapa kriteria misalnya:

### 2.4.1 Pesawat yang di darat (*Terminal bergerak = Mobile Unit*)

Diharapkan antara lain :

- daya pancar lebih kecil dari 1 watt;
- faktor penguatan antenanya sekitar 2 dB pada sudut elevasi 10°;
- $G/T \approx -22\text{dB}/^{\circ}\text{K}$ .

Karena ini merupakan spesifikasi teknis yang sesuai untuk pesawat-pesawat yang "handheld".

#### 2.4.2 Transmisi

Persyaratan-persyaratan teknis diatas cukup berat untuk suatu sistem komunikasi satelit.

Akan tetapi, dengan perkembangan teknologi kompresi, persyaratan-persyaratan diatas dapat dipenuhi dengan ukuran satelit yang tidak terlalu besar.

Misalnya, sekarang ini 1 kanal suara cukup dengan 4 Kbps saja.

Sistem modulasi QPSK dan sistem FEC (*Forward Error Correction*), meningkatkan efisiensi penggunaan transponder dan link margin.

Salah satu persyaratan transmisi yang ditargetkan misalnya adalah  $C/No = 41.0 \text{ dB}$  dan margin = 5 dB.

#### 2.4.3 Satelit

Karena persyaratan pesawat di darat harus "handheld", satelitnya harus memenuhi persyaratan yang cukup berat. Spesifikasi teknis satelit akan ditentukan oleh :

⇒ *Ketinggian garis edar*

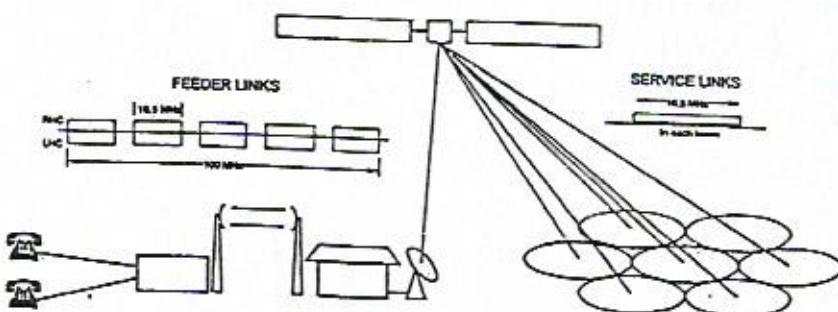
Semakin tinggi garis edarnya, diperlukan EIRP dan G/T yang semakin besar.

⇒ *Jumlah saluran yang harus disediakan*

Karena melayani umum, sistem apapun yang digunakan harus dapat melayani intensitas lalu lintas tertentu yang diterjemahkan dalam kapasitas saluran untuk melayani jumlah pembicaraan pada saat yang sama atau bisa juga dalam Erlang.

Karena lebar berkas (beam) dari satelit cukup besar, seperti terlihat dari Tabel 10.2, hampir semua sistem LEO menerapkan sistem multi beam, yang membagi daerah cakupan satelit dalam beberapa berkas.

Dalam gambar 10.6 diperlihatkan prinsip pembentukan multibeam (Satelit Ellipso).



Gambar 10.6  
Pembentukan Multibeam dari Satelit LEO

Persyaratan di atas akan diterjemahkan dalam ukuran satelit seperti :

- \* EIRP → besarnya daya → besarnya power supply system dan solar panel
- \* G/T → Ukuran antena dan sistem penerima.
- \* Operasi selama waktu eclipse → akan menetapkan ukuran fisik satelit
- \* Masa bakti → Selain teknis, hal ini juga menyangkut aspek ekonomis, karena umur satelit menentukan revenue total yang dapat diharapkan

Seperti lumrah dalam situasi seperti ini, dimana harus dipenuhi persyaratan yang saling berlawanan, pemecahan akhir akan bersifat kompromistik.

Pilihan pertama adalah apakah akan digunakan sistem LEO, MEO dan GEO.

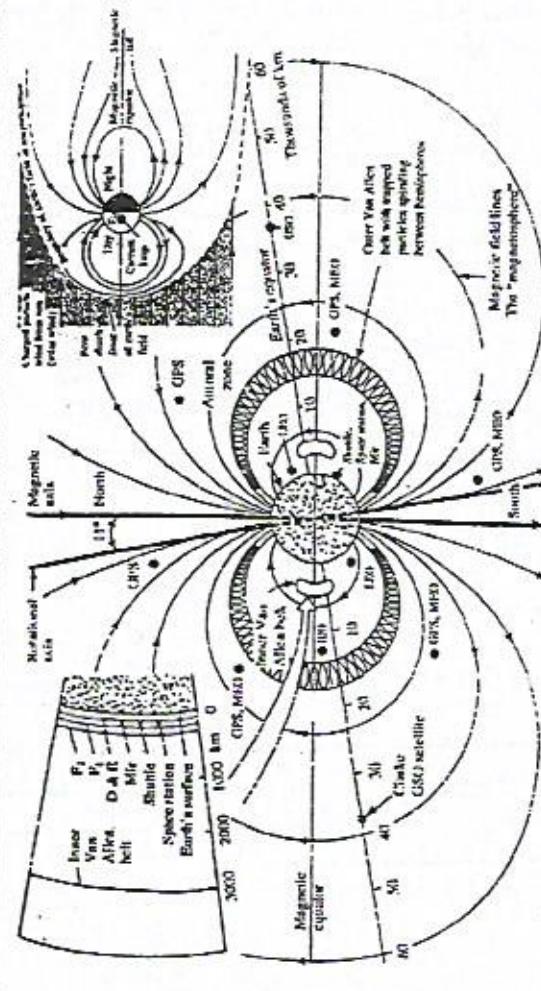
Ditinjau dari segi kapasitas melayani lalu lintas (traffic) dan ukuran handset, LEO paling memenuhi. Namun, sebagai akibatnya, jumlah satelitnya harus banyak, dan umurnya lebih pendek.

Sedang dengan satelit GEO, jumlah satelitnya sedikit. Namun, karena kehilangan lintasan yang tinggi dan jumlah berkas yang harus banyak untuk dapat melayani traffic yang sama, ukuran satelit dan handset terpaksa agak besar. Perbandingan teknis antara sistem LEO, MEO dan GEO diperlihatkan dalam tabel 10.5.

Tabel 10.5 Perbandingan Teknis LEO, MEO dan GEO

No	SISTEM ITEM	LEO	MEO	GEO
1.	<u>Satelit</u>			
	→ Ketinggian (km)	500 - 10.000	10.000 - 20.000	36.000
	→ Jumlah satelit	48 - 125	8 - 18	4
	→ Jumlah spot berkas/sat	1 - 50	>50	>100
	→ Diameter antena (m)	1,1	>2	>7
	→ Masa aktif (tahun)	>5	10	>12
2.	<u>Stasiun Bumi</u>			
	→ Diameter Antena (m)	4	4	>6
	→ Jumlah Antena/lokasi	4	4	1
	→ Jumlah minimum Stasiun Bumi (Global)	>35 *	15	4
	→ Kompleksitas (Gateway)	Rendah	Medium	Tinggi
3.	<u>Delay pembicaraan</u>			
	→ Regional	Baik	Cukup Baik	Dapat ditolerir
	→ Global	Baik	Cukup Baik	Tidak dapat ditolerir
4.	Efisiensi Pembicaraan	Kurang	Medium	Baik
5.	Total Investasi	Tinggi	Medium	Rendah
6.	Kapasitas Traffic	Tinggi	Medium	Rendah

\* bisa lebih kecil dengan ISL (Inter Satellite Link)



1. Shuttle, Mir, And Space Station, 250 to 400 km, 1.5-h orbit.  
 2. Low Earth Orbit (LEO) satellites, 750 to 1500 km, 2-h orbit.  
 3. Intermediate and earth LEO (ILEO) satellites, 10,000 to 14,000 km, 6-h orbit.  
 4. Global Positioning Satellite (GPS), 20,000 km, 12 h orbit.  
 5. Medium Earth Orbit (MEO) satellites, 20,000 km, 12-h orbit.  
 6. Geostationary orbit (GEO) satellites, 36,000 km, 24-h orbit.

The foregoing shows the magnetosphere as it is located with respect to the sun. The following section describes the magnetosphere as it is located with respect to the earth.

11. There are over 1000 GEO satellites at this height above the earth's equator, making for a ringed planet like Saturn.  
 12. One Van Allen belt, 3000 km.  
 13. One Van Allen belt, 15,000 km.  
 14. Aurora zones.  
 15. The magnetosphere, which modulates the earth's orbits.

Gambar 10.7  
"Van Allen Belt"

Dari tabel terlihat bahwa masing-masing sistem punya kelebihan dan kekurangan.

Sehingga pemilihan sistem lebih banyak ditentukan oleh sektor pasar pengguna (pelanggan) yang dituju.

Selain pertimbangan-pertimbangan di atas, ketinggian dan arah lintasan satelit terutama untuk yang LEO dan MEO harus menghindari "Van Allen Belt" yang berada pada ketinggian 3.000 km dan 16.000 km, seperti diperlihatkan dalam gambar 10.7.

#### 2.4.4 Link Calculation Hubungan Satelit dan Handset

Gambaran mengenai sistem, dapat juga terlihat dari perhitungan hubungan. Misalnya, untuk saluran suara dengan sistem access FDMA dengan spesifikasi :

- o Saluran suara 4 Kbps, FEC 4/3, QPSK, RFBW = 4 KHz, lebar saluran = 5 KHz.
- o Frekuensi U/L = 1650 MHz, D/L = 1550 MHz.

A) Untuk sistem GEO akan diperoleh sebagai berikut:

i) Up link

◊ EIRP (dBW)	1.0	(1.26 watt)
◊ Kehilangan lintasan (dB)	-189.0	(sudut elevasi 20°)
◊ Kehilangan polarisasi (dB)	-0.5	
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0	(fading margin untuk rintangan gedung, pohon, dan sebagainya)
◊ G/T Satelit (dBK)	8.0	
◊ C/No	43.1	
◊ E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub>	7.1	

ii) Down link

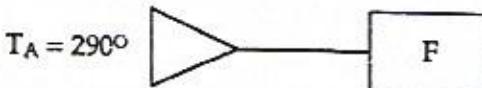
◊ EIRP sat/sal (dBW)	30.0
◊ Kehilangan lintasan (dB)	-188.0
◊ Kehilangan Polarisasi (dB)	-0.5

◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T handset (dBK)	-22.0
◊ C/No	43.1
◊ E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub>	7.1

Dari harga-harga diatas dapat diturunkan beberapa hal sebagai berikut:

- Harga C/No = 43.1 dB diperkirakan sudah cukup tinggi, karena adanya tambahan derau oleh intermodulasi ( $N_{im}$ ), side lobes, down link dan lain lain,  $(C/N)_{total} = 41.0$  dB
- G/T = 8 untuk satelite

Karena satelit melihat bumi yang panas, temperatur sistem adalah sekitar 26 dB seperti terlihat dari rangkaian pengganti penerima satelit



$$T_A = 290^\circ$$

$$L = 0.2 \text{ dB}$$

L = 0.2 dB, kehilangan saluran transmisi

T<sub>A</sub> = 290° K, temperatur bumi yang terlihat oleh antena

$$T_s = \frac{T_A}{L} + \frac{L - 1}{L} T_0 + (F - 1) T_0 \quad T_0 = 290^\circ \text{K}$$

$$= 277 + 13 + 101.2 + = 391^\circ \text{K} \rightarrow 26 \text{ dBK} \quad F = 1.3 \text{ dB}$$

G/T yang tinggi diperlukan karena EIRP pesawat dibumi yang rendah. Untuk memperoleh G/T = 8 dB dan T = 26 dBK, maka G = 34, yang diterjemahkan dalam diameter antena satelit dengan rumus:

$$G = 17.8 + 20 \log D (\text{m}) + 20 \log f (\text{GHz}) ; \text{dengan } \gamma = 55 \% \text{ akan diperoleh } D \approx 4 \text{ m}$$

Jika dikehendaki EIRP handset sekitar 0.5 watt (dengan Transmit Gain = 0), maka diameter akan membesar menjadi sekitar  $D = 6.2$  m

Dengan ukuran antena sebesar ini, pada frekuensi 1650 MHz, dapat dibentuk sekitar 85 berkas, dengan setengah sudut beamwidth pancaran sekitar  $0.90^\circ$ .

- EIRP satelit sebesar 30 dBW/sal, juga cukup besar. Jika satelit harus menyediakan 5000 saluran yang aktif saja, dengan faktor penguat antena pada frekuensi 1550 MHz = 37.2 dB (diameter antena 6 m), maka daya total = 1000 watt. Daya pemancar total sebesar ini cukup besar karena belum memperhitungkan efisiensi penggunaan daya DC, daya yang diperlukan untuk komunikasi dengan gateway dan lain lain. Sehingga total daya yang harus disediakan oleh solar power akan cukup besar.
- Fading margin yang = 5 dB, memperlihatkan bahwa daerah cakupan sistem ini cukup terbatas. Jadi, kemungkinan tidak akan dapat "menembus" gedung atau kendaraan, terbatas hanya di lapangan terbuka. Jika fading margin mau dinaikkan misalnya menjadi 16 dB (umum untuk suatu komunikasi bergerak), ukuran satelit akan terlalu besar baik ukuran antena maupun daya totalnya.
- Hal lain yang membatasi sistem GEO adalah kapasitas traffic yang dapat dilayani akan lebih kecil daripada sistem LEO dan MEO. Untuk mengurangi daya dari solar power, jumlah saluran yang aktif dapat dikurangi menjadi 2500 saluran, maka daya total cukup 500 watt saja.

Dari hal-hal diatas terlihat bahwa, sistem GEO untuk komunikasi satelit bergerak agak banyak pembatasannya.

B) Untuk Sistem MEO akan diperoleh sebagai berikut :

i) Up link

◊ EIRP (dBW)	1.0
◊ Kehilangan lintasan (dB)	-180.0 (sudut elevasi 10°, tinggi garis edar 10.360 km)
◊ Kehilangan polarisasi (dB)	-0.5
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T Satelit (dBK)	1.0
◊ C/No	45.1

ii) Down link

◊ EIRP (sat) dBW	26.0
◊ Kehilangan lintasan (dB)	-179.5
◊ Kehilangan Polarisasi (dB)	-0.5
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T pesawat di bumi (dBK)	-22.0
◊ C/No	47.6
◊ C/N	7.1

• G/T satelit

Terlihat bahwa faktor penguatan antena cukup 27 dB saja, yang diterjemahkan menjadi diameter antena ≈ 1.8 m

- EIRP/saluran sebesar 26 dBW dengan faktor penguatan antena sebesar 26.7 dB, dan karena untuk 5000 saluran aktif akan dilayani oleh 3 satelit, maka daya total per satelit = 1500 watt (DC power). Dengan 12 satelit dalam konstelasi, daerah cakupan yang sama dengan satu satelit GEO (dengan jumlah 4), dapat dilayani oleh 3 satelit MEO.
- Sehingga untuk mengurangi daya ini, kemungkinan diameter antena perlu diperbesar menjadi 2.3 m, dengan faktor penguatan = 29.0 dB pada frekuensi

1550 MHz, sehingga daya total per satelit cukup = 900 watt.

Jadi, kelihatannya bahwa sistem MEO dapat memenuhi persyaratan teknis dengan ukuran satelit yang tidak terlalu besar.

C) Untuk sistem LEO

i) Up link

◊ EIRP handset (dBW)	-3.0
◊ Kehilangan lintasan (dB)	-163.3 (ketinggian edar 770 km sudut elevasi 10°)
◊ Kehilangan polarisasi (dB)	-0.5
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T Satelit (dBK)	-6.0
◊ C/No	50.8

ii) Down link

◊ Kehilangan lintasan (dB)	-162.7
◊ Kehilangan Polarisasi (dB)	-0.5
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T handset (dB)	-22.0
◊ C/No	50.0

- Untuk mendapatkan G/T sebesar -6 dB, faktor penguat antena satelit cukup 20 dB saja. Dengan faktor penguat sekitar 20 dB pada frekuensi 1650 MHz, diameter antena cukup 0.8m saja.
- Dengan jumlah sekitar 80 satelit untuk mencakup luas permukaan bumi yang sama dengan EIRP/sal = 11.6 dBW, daya total persatelit untuk 5000 saluran yang aktif cukup sekitar 30 watt saja.

Jadi, terlihat bahwa sistem LEO, sangat layak untuk malayani komunikasi satelit bergerak ini.

Dari perhitungan terlihat, bahwa dengan memperbesar G/T dan EIRP satelitnya, suatu usaha yang masih sangat memungkinkan, fading margin masih dapat dinaikkan sampai 16 dB, agar cakupannya cukup memenuhi kebutuhan suatu komunikasi bergerak untuk dapat digunakan dalam keadaan dimana halangan cukup tinggi seperti dalam rumah, dalam kendaraan dan lain lain.

Misalnya, hal ini dapat dicari dengan memperbesar diameter antena satelit menjadi 1.5 m dan menaikkan daya satelit.

Melihat bahwa sebenarnya daya pancar satelit masih dapat ditingkatkan, maka kapasitas saluranpun masih dapat ditingkatkan. Sehingga memang sistem LEO dapat beroperasi seperti jaringan komunikasi yang terpisah dari PSTN. Hal ini diterapkan oleh sistem Iridium yang dapat beroperasi sendiri, terpisah dari PSTN.

Perbandingan antara sistem LEO, MEO dan GEO dapat juga terlihat dalam gambar berikut.

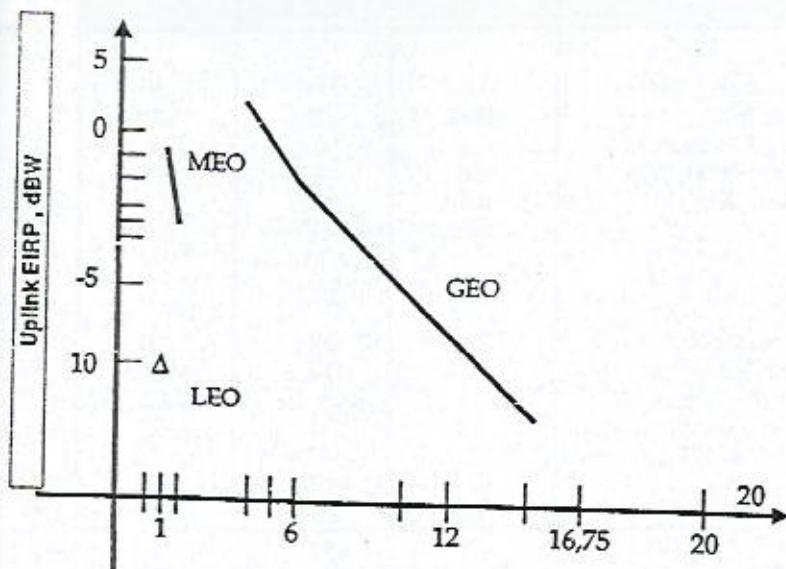
Dalam gambar 10.8 dimana diperlihatkan hubungan antara EIRP handset dan ukuran antena satelit.

Dari gambar terlihat bahwa untuk sistem LEO, EIRP handset (*up link*) masih dapat sebesar -10 dBW dan diameter satelit cukup 0.8 m untuk  $(C/N_0)_u = 43$  dB.

Sedang sistem MEO, EIRP up link bisa turun sampai  $\approx -3$  dB untuk diameter antena sekitar 2.3 m. Dalam keadaan ini, jumlah berkas per satelit dapat ditingkatkan menjadi sekitar 120 buah per satelit, sehingga kapasitas lalu lintas dapat diperbesar.

Untuk sistem GEO, EIRP up link sebesar -3 dBW hanya dapat dicapai jika ukuran antena diperbesar sampai  $\approx 6$  m. Sehingga untuk mendekati LEO, dengan EIRP up link= -10 dBW, diameter antena harus diperbesar menjadi sekitar 14 m.

Dan ini baru untuk fading margin sebesar 5 dB. Dapat dibayangkan ukuran antennanya jika fading margin akan dinaikkan menjadi 16 dB.



Gambar 10.8  
Hubungan EIRP Handset dan Diameter Antene Satelit

Rangkuman link-budget untuk hubungan satelit ke/dari handset untuk ketiga jenis garis edar diperlihatkan dalam tabel 10.7a.

Tabel 10.7a Link Budget Satelit – Handset  
 (Saluran suara = 4 kbps, FEC 4/3, QPSK, RFBW = 4 KHz) sal = 5  
 KHz, U/L = 1650 MHz, D/L = 1550

	GEO (36.000 km)	MEO (10.000 km)	LEO (770 km)
1) Up link			
EIRP handheld (dBw)	1.0	1.0	-3.0
Path loss (dB)	-189.0	-180.0	-163.0
Kehilangan Polarisasi (dB)	-0.5	-0.5	-0.5
Kehilangan Fading (dB)	-5.0	-5.0	-5.0
G/T Satelit (dBi)	8.0	1.0	-6.0
C/No	43.1	43.1	50.8
E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	7.1	7.1	14.8
2) Down link			
EIRP Satelit (dBw) / sal	30.0	26.0	11.6
Path loss (dB)	-188.0	-179.5	-162.7
Kehilangan Polarisasi (dB)	-0.5	-0.5	-0.5
Kehilangan Fading (dB)	-5.0	-5.0	-5.0
G/T hand hed (dBi)	-22.0	-22.0	-22.0
C/No	43.1	43.6	50.0
E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	7.1	7.6	14.0

#### 2.4.5 Link Calculation Hubungan Satelit dengan Gateway

Hubungan komunikasi antara satelit dan gateway tidak begitu kritis dalam design keseluruhan sistem. Stasiun bumi (*gateway*) bisa dibuat lebih besar dan lebih kuat, bahkan dapat didesign sedemikian sehingga EIRP dan G/T satelitnya bisa relatif kecil.

Selain itu, karena frekuensi yang digunakan adalah C-band bahkan K-band, ukuran antena relatif lebih kecil dibanding untuk L-band untuk faktor penguatan yang sama.

Namun, karena adanya beberapa satelit yang harus dapat "ditangkap", gateway harus mempunyai beberapa antena. Karena satelitnya terbit dan terbenam akan diperlukan antena dengan sistem "tracking".

Dalam tabel berikut diperlihatkan perhitungan hubungan untuk sistem GEO, karena sistem ini yang paling tinggi EIRP maupun G/T baik untuk satelit maupun stasiun bumi.

- i) Up link (6.4 GHz)
  - ◊ EIRP (dBW) +66.0
  - ◊ Pengurangan / Back off (dB) -7.0
  - ◊ Jumlah saluran (dB) -30.0 (5000 saluran / 6 transponder)
  - ◊ Kehilangan Lintasan / Path loss (dB) -200.0
  - ◊ Kehilangan polarisasi (dB) -0.5
  - ◊ Kehilangan Fading (dB) -1.0
  - ◊ G/T Satelit (dB) -2.0
  - ◊ C/No (dB) 54.1
- ii) Down link (3.6 GHz)
  - ◊ EIRP satelit (dBW) 37.0
  - ◊ OBO (dB) -4.0
  - ◊ Kehilangan-kehilangan (dB) -1.0
  - ◊ Jumlah saluran (dB) -30.0 (5000 saluran / 6 transponder)
  - ◊ Kehilangan Lintasan / Path loss (dB) -197.0
  - ◊ G/T stasiun bumi (dB) +21.0 (diameter 4 m)
  - ◊ C/No 54.6

Terlihat bahwa dengan dimensi-dimensi yang normal dari satelit dan stasiun bumi, masih dapat diusahakan agar C/No cukup tinggi, sehingga praktis C/No total hanya ditentukan oleh hubungan satelit ke handset.

#### 2.4.6 Prinsip Sistem Komunikasi Satelit Bergerak

Pada prinsipnya, cara kerjanya sama dengan suatu sistem komunikasi bergerak, dimana ada 3 elemen yang penting:

- a) Mobile terminal/handset sebagai pelanggan.

- b) Radio Base Station/Repeater, yang dalam sistem Komunikasi Satelit Bergerak di tempati oleh Satelitnya.
- c) Mobile Switching Centre (MSC), yang dalam sistem Komunikasi Satelit Bergerak, di tempati oleh Gateway.

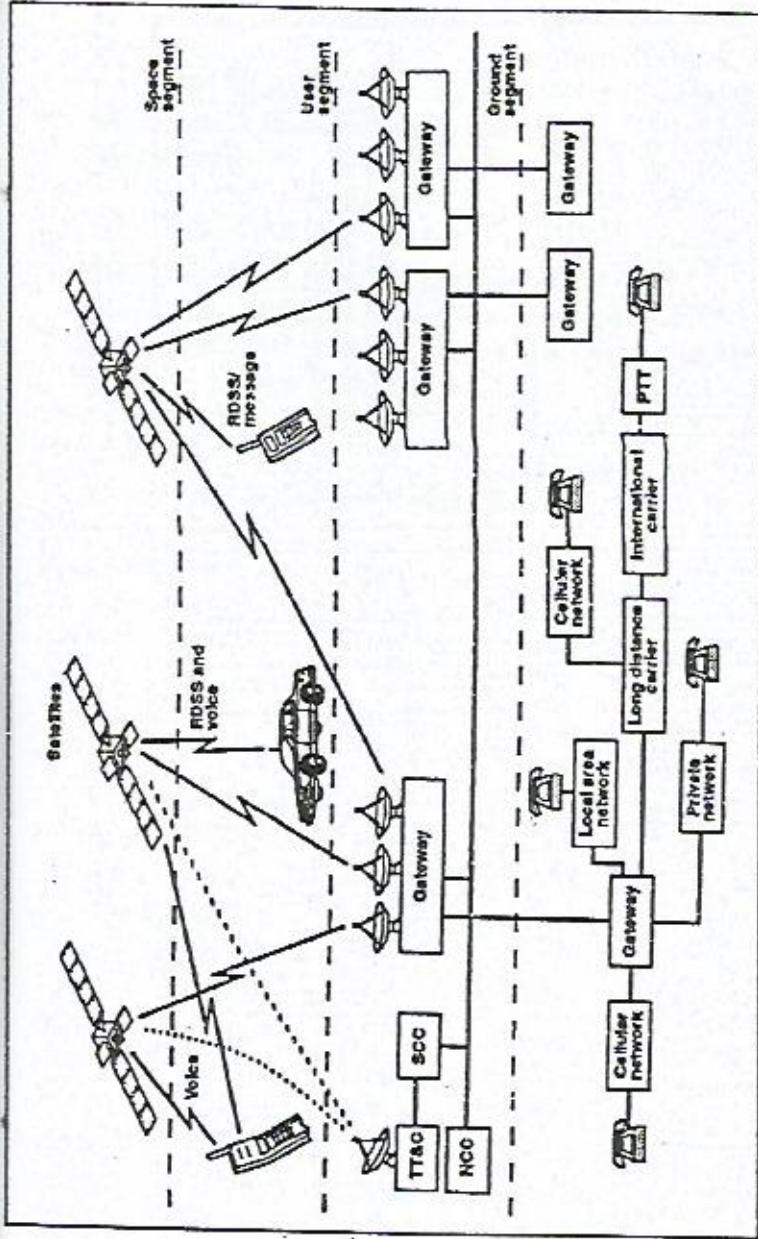
Diagram blok sistem secara umum, terlihat dalam gambar 10.9.

- ⇒ Gateway menghubungkan sistem LEO ke jaringan luar seperti PSTN, jaringan *cellular terrestrial* serta jaringan-jaringan lainnya.
- ⇒ Beberapa lokasi gateway akan terpasang juga stasiun TT&C untuk memantau dan mengontrol satelit-satelitnya.
- ⇒ Untuk Back-up barangkali akan diperlukan juga jaringan *terrestrial* yang saling menghubungkan gatewaynya sendiri, terutama gateway-gateway yang ada stasiun TT&C-nya

Satelitnya sendiri, pada prinsipnya akan mirip dengan satelit-satelit INMARSAT. Satelit menerima sinyal dari handset dalam frekuensi-L, lalu meneruskannya ke stasiun bumi (gateway) dalam frekuensi C . Seterusnya, jawaban dari lawan bicara diterima oleh satelit dari stasiun bumi dalam frekuensi C dan diteruskan ke handset dalam frekuensi-L

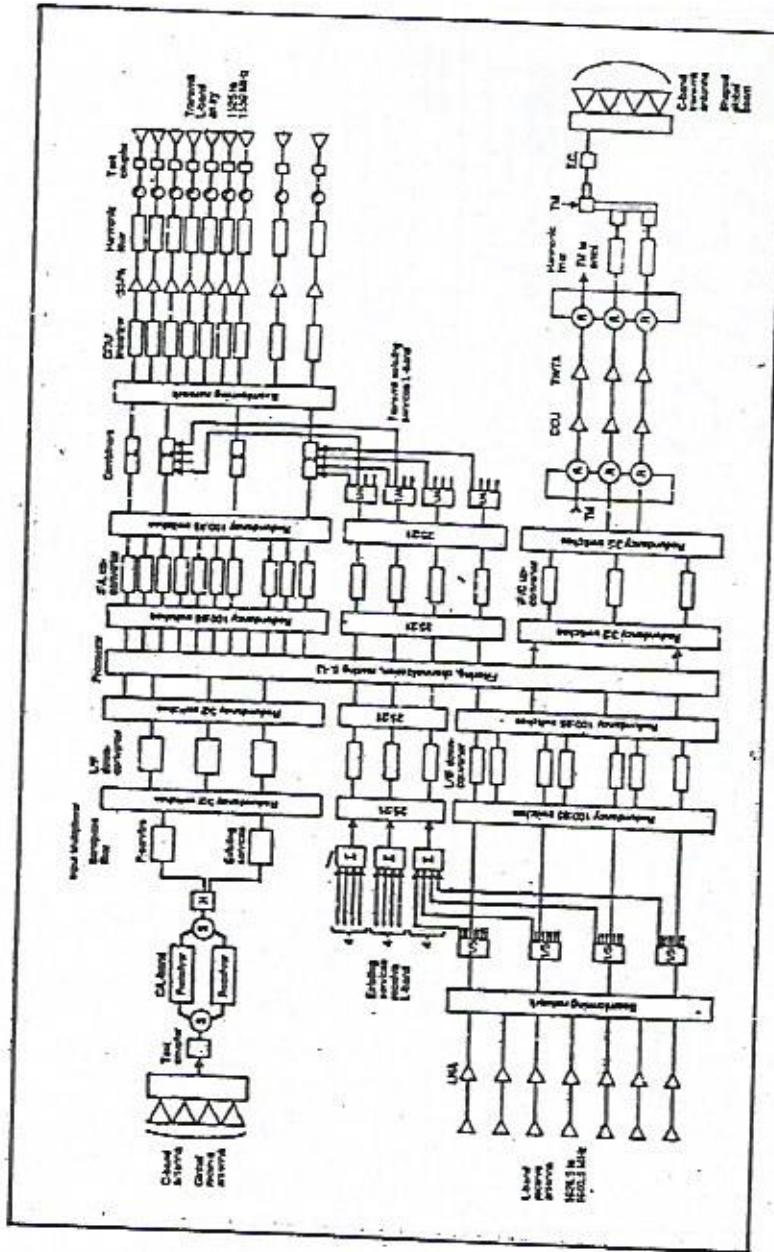
Salah satu prinsip satelit untuk sistem GEO adalah seperti di gambar 10.10

- ⇒ Karena akan digunakan pancaran berberkas banyak (*multibeam*) dalam L-bandnya, jadi akan diperlukan banyak antena di depan reflectornya ataupun suatu *array antena* dalam routing networknya berupa beam forming network.
- ⇒ Bagian-bagian lain dari satelitnya mirip satelit yang biasa. Dalam jalur penerimaan, sinyal dilewatkan LNA, baru frekuensi diturunkan ke IF. Namun, sebelum diteruskan ke up converter (U/C), sinyal lebih dulu melewati processor yang mengatur saluran (*channneling*) dan pemindahan berkas (Routing). Baru di U/C frekuensi sinyal dinaikkan ke frekuensi radionya, sebelum diteruskan ke antena.



Gambar 10.9

Prinsip Sistem Komunikasi Satelit Bergerak



Gambar 10.10  
Diagram Blok Satelit untuk Komunikasi Satelit Bergerak Sistem GEO

- ⇒ Karena digunakan banyak berkas (satu pasang pemancar/penerima melayani satu berkas), redundancy tidak perlu 1:1. Jadi, seperti pada contoh, unit untuk back-up lebih sedikit dari unit yang operasional (85:100, 21:25, 2:3 dan seterusnya)

### 3. SISTEM KOMUNIKASI SATELIT BERGERAK

Pada awalnya, sesuai perkembangan kebutuhan dan teknologi, ada beberapa Sistem Komunikasi Satelit Bergerak (MSCS) yang direncanakan, karena waktu itu diperkirakan penggunaan telepon bergerak akan meningkat dengan cepat dan akan diperlukan adanya jasa pelayanan komunikasi antar negara (*international roaming*).

Untuk ini, Sistem Komunikasi Satelit Bergerak merupakan salah satu jawaban.

Namun, disegi lain adanya kerja sama lintas negara antara operator seluler dan meningkatnya kebutuhan akan komunikasi data, mengakibatkan kurangnya kebutuhan akan SKSB ini.

Iridium yang pertama sekali beroperasi secara komersial akhirnya terpaksa ditutup karena kekurangan pelanggan.

Beberapa sistem lain ada yang akan beroperasi, walaupun dalam scope yang lebih kecil.

Pada bab-bab berikut ini, diuraikan beberapa jenis SKSB, sekadar memperlihatkan operasi sistemnya.

#### 3.1 Iridium

##### *Umum*

Sistem-sistem LEO yang diusulkan sampai sekarang ini, dapat dibagi dalam 2 kelompok besar :

- A. Sistem LEO yang secara teknis dapat beroperasi sendiri, terpisah dari jaringan PSTN yang ada.

Sistem ini dapat diwakili oleh IRIDIUM.

B. Sistem LEO yang beroperasi sebagai "kepanjangan" jaringan PSTN yang ada.

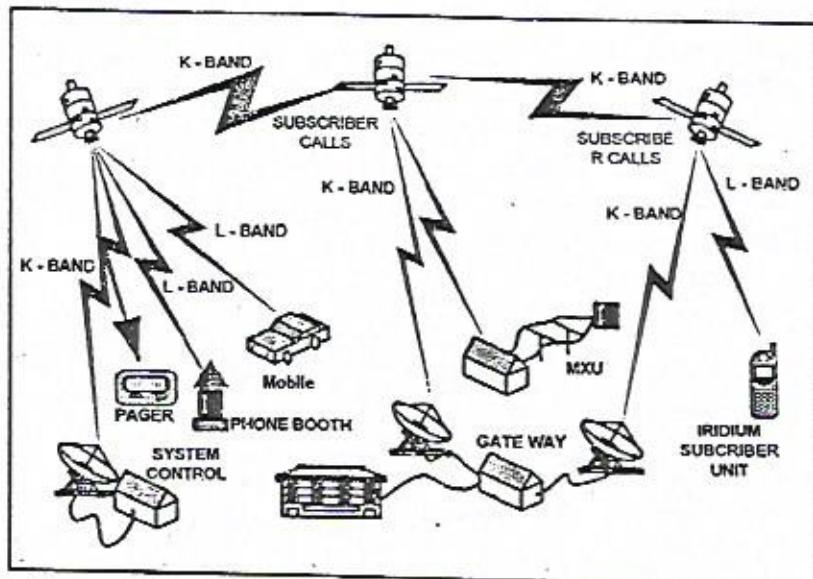
Karena dalam operasinya, sistem ini menggunakan jaringan PSTN sebagai bagian dari hubungan-nya.

Sistem ini dapat diwakili oleh GLOBALSTAR.

Waktu design awalnya, Iridium terdiri dari konstelasi 77 satelit yang terbagi dalam 7 bidang edar yang masing-masing mempunyai 11 buah satelit. Nama Iridium diambil dari nama atom elemen kimia Iridium yang punya 77 buah elektron.

Namun, dalam design lanjutan, jumlah satelit dikurangi menjadi 66 buah yang terbagi dalam 6 bidang edar dengan mengurangi "overlap" dan mengubah sudut inkiinasi bidang edarnya.

Prinsip jaringan sistemnya adalah seperti terlihat dalam gambar 10.11.



Gambar 10.11.  
Prinsip Jaringan Sistem Iridium

Jenis jasa yang dilayani adalah:

- suara (vocoder 2400 dan 4800 bps);
- facsimile;
- paging;
- data kecepatan rendah.

Beberapa alasan yang menyebabkan Komunikasi Satelit Bergerak ini cukup menarik adalah :

- ❖ mobilitas manusia yang semakin meningkat, sehingga diperlukan adanya komunikasi yang sesaat (instant) dan bisa mencapai ujung dunia sekalipun, seperti di tengah hutan lebat atau padang pasir.
- ❖ Akan sangat sulit dengan sistem terrestrial baik PSTN maupun cellular untuk mencapai pelosok-pelosok terpencil di muka bumi ini. Komunikasi Satelit Bergerak ini dapat menempatkan misalnya telepon umum di sudut manapun dengan biaya yang relatif rendah.

Jadi, seperti terlihat pada gambar, Iridium bisa menghubungkan terminal bergerak dengan terminal bergerak lain, ataupun terminal yang tetap (*fixed terminal*) yang tersambung ke Iridium ataupun jaringan lainnya (PSTN, Cellular, Closed User Group dan lain lain).

Iridium dapat "mem-bypass" jaringan PSTN karena adanya ISL (*Inter Satellite Link*), yang memungkinkan sinyal diteruskan antara satelit Iridium dan baru "diturunkan", dilokasi gateway yang terdekat dengan tujuan.

Namun, untuk dapat melakukan ini, satelitnya agak tinggi sofistikasinya karena sinyal yang ditangkap oleh satelitnya diproses dulu seperti demodulasi, rerouting baru remodulasi lagi. Jadi, satelitnya tidak lagi hanya "meneruskan" sinyal, tetapi sudah melaksanakan sebagian dari proses persinyalan dan penyambungan.

## Satelite

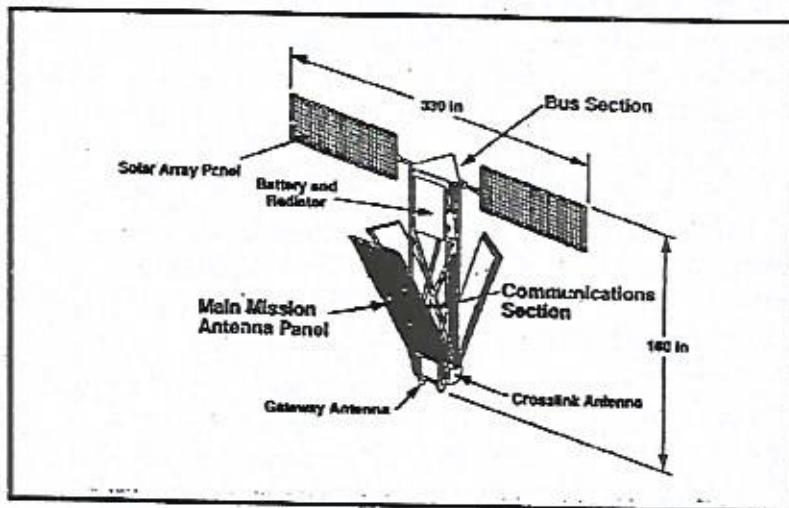
Seperti sudah diutarakan di atas, konstelasi satelit Iridium terdiri dari 66 satelit yang terbagi dalam 6 bidang edar dengan ketinggian garis edar sebesar 770 km.

Setiap satelit memancarkan gelombang radio dalam 48 berkas.

Satelitnya sendiri terlihat dalam gambar 10.12, dari tipe "three-axis stabilized" dengan "Sun-pointing".

"Pay-load" komunikasi terdiri dari:

- ⇒ 3 buah Antena Panel Utama untuk hubungan ke Terminal yang bergerak (*Main Mission Antenna*);
- ⇒ 4 buah Antena "Slotted array" pada daerah frekuensi Ka untuk komunikasi dengan satelit lain (*Cross-link Antenna*);
- ⇒ 4 buah Antena "Horn" dalam daerah frekuensi Ka untuk hubungan ke gateway (*Gateway Antenna*);
- ⇒ 1 buah Antena "Omnidirectional" untuk "back-up" fasilitas pengontrolan.



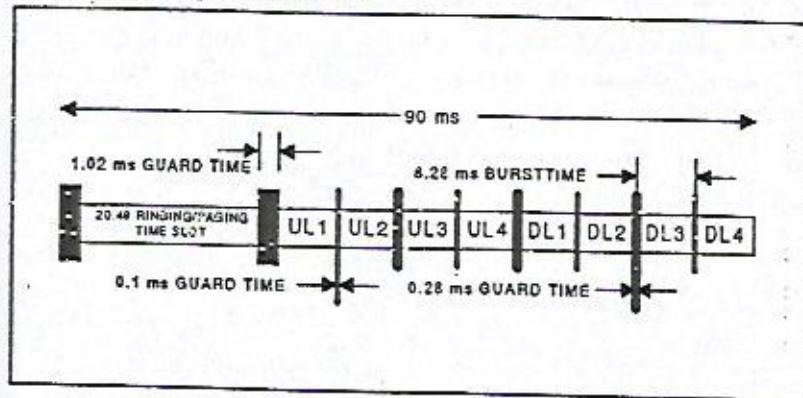
Gambar 10.12  
Konfigurasi Satelit Iridium

## Sistem Komunikasi

Iridium menggunakan sistem akses FDMA/TDMA dengan spesifikasi sebagai berikut :

- ◊ Saluran suara 2400 dan 4800 bps
- ◊ Burst rate per saluran TDMA-nya adalah 50 Kbps, sedang 1 saluran TDMA terdiri dari 4 saluran suara

1 Frame TDMA-nya akan dibagi dalam 9 slot seperti terlihat dalam gambar 10.13.



Gambar 10.13  
Struktur Frame TDMA

Seperti terlihat, slot pertama sebanyak 1024 bit digunakan untuk signaling dan paging.

Sisa frame selama 66.48 msec digunakan untuk saluran-saluran komunikasi suara/data. Tetapi hanya setengah waktu digunakan untuk up-linking dari terminal bergerak dan setengah sisanya untuk down-link.

Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi interferensi antar saluran dan antar berkas serta processing sinyal di satelitnya agak lebih sederhana.

Cuma daya penampungan data di prosesor baik di satelit maupun sistem di bumi harus cukup besar.

Daerah frekuensi yang tersedia antara 1616 - 1626.5 MHz dibagi dalam 30 sub-band (Wi dan Bi). Tiap sub-band dibagi lagi dalam 8 saluran TDMA. Dengan modulasi QPSK dan 40% raised cosine, FEC dan lain lain, untuk 8 saluran dengan 50 Kbps dan overhead, memang akan diperlukan sekitar 333.3 KHz.

Sama seperti pada sistem cellular terrestrial, disinipun akan ada "frequency reuse" antar berkas, dan untuk mengurangi interferensi pada setiap slot hanya 30 dari 48 berkas yang akan diaktifkan secara bersamaan.

### *Perhitungan Hubungan*

Spesifikasi Teknis Terminal Bergerak adalah sebagai berikut :

☛ Daya pancar rata-rata	7 W (8.45 dBW)
☛ Faktor penguat antena	1 dB pada sudut elevasi 10°
☛ Temperatur derau sistem	3 dB pada sudut elevasi 90° 334° K (25.3 dBK)

Sedang spesifikasi teknis untuk hubungan satelit adalah:

☛ EIRP/carrier TDMA	30.9 dBW
☛ Temperatur derau sistem	592° K (28 dBK)
☛ G/T maksimum	-3.2 dB

Dengan harga-harga ini terlihat bahwa kinerja hubungan satelit - terminal bergerak adalah:

i) Up link	
◊ EIRP (dBW)	8.45
◊ Kehilangan Lintasan/Path loss (dB)	-163.3
◊ Kehilangan polarisasi (dB)	-0.5
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T Satelit	-3.2
◊ C/No (dB)	65.05
◊ E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> (dB)	18.05

ii) Down link	
◊ EIRP (dBW)	30.9
◊ Kehilangan Lintasan/Path loss (dB)	-163.3
◊ Kehilangan Polarisasi (dB)	-0.5
◊ Kehilangan Fading (dB)	-5.0
◊ G/T terminal (dB)	-24.3
◊ C/No (dB)	66.4
◊ E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub> (dB)	19.4

Terlihat bahwa memang hubungan margin masih cukup tinggi, sehingga sesuai untuk komunikasi bergerak.

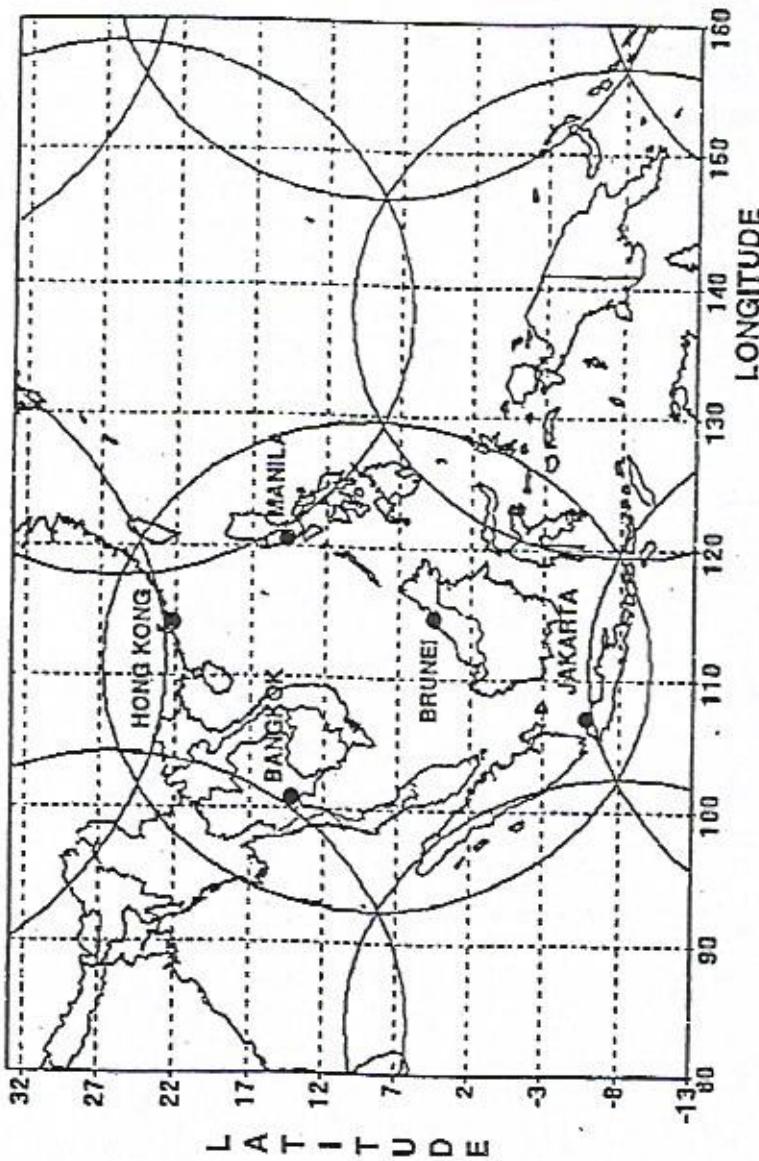
Catatan : Hal-hal yang dibicarakan di atas, baru boleh dianggap sebagai harga-harga yang tipikal.

Sebagai penutup ditunjukkan "footprint" dari satelit-satelit Iridium di Indonesia pada suatu saat, seperti terlihat pada gambar 10.14.

Gambar tersebut hanya berlaku untuk satu saat, karena satelit bergerak dalam garis edarnya, sedang bumi berputar pada sumbunya.

Dengan kedua macam pergerakan ini, dari satu lokasi di daerah khatulistiwa setiap kali hanya akan terlihat satu satelit, dan setiap satelitnya untuk selama kira-kira 9 menit.

Terlihat bahwa diameter daerah cakupan adalah sekitar 3000 km di daerah khatulistiwa.



Gambar 10.14

Daerah Cakupan Geografis Satelit-satelit Iridium untuk Indonesia dan Sekitarnya.

### 3.2 Globalstar

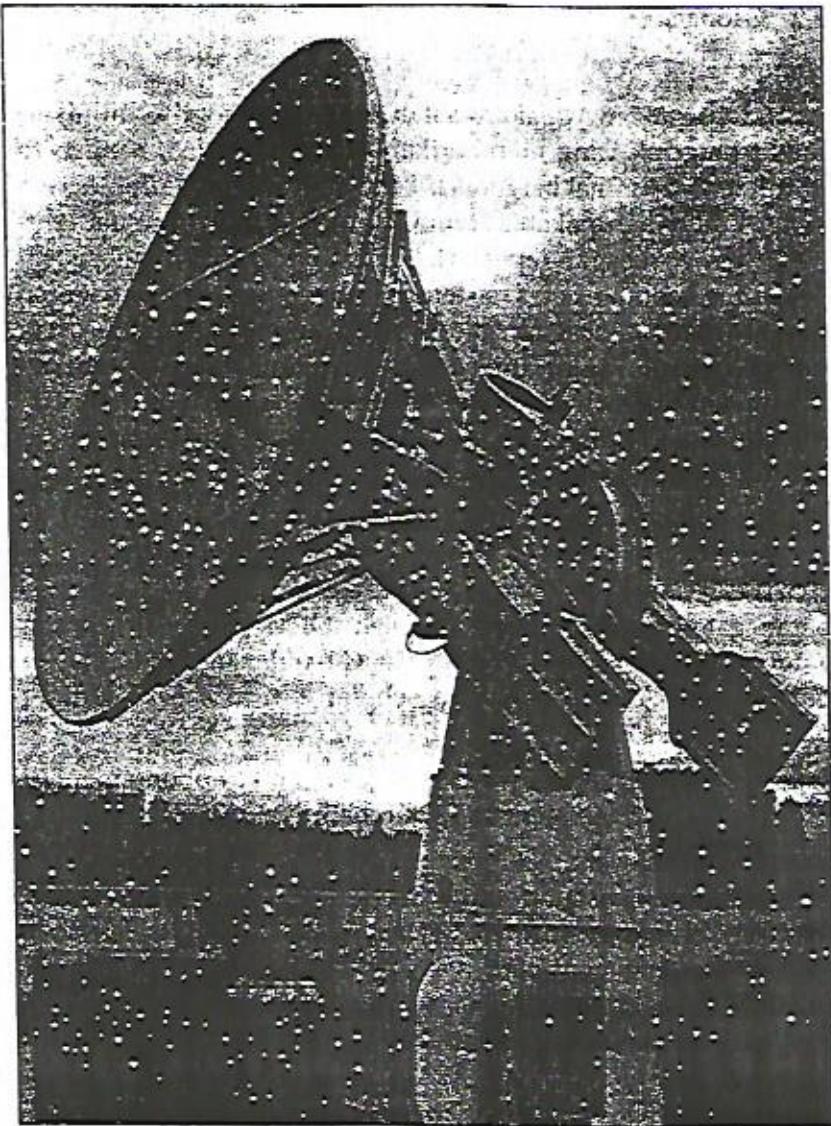
#### *Umum*

Globalstar merupakan salah satu teknologi komunikasi satelit bergerak yang memberikan fasilitas terminal hand-held untuk user (terminal bergerak). Teknologi sistem multiple access yang dipilih merupakan sistem CDMA dan satelit bersifat *bent-pipe* (hanya sebagai repeater). Dengan menggunakan sistem bent-pipe, kompleksitas sistem semua berada pada segmen bumi, seperti Globalstar gateway, stasiun pengontrolan, dan user terminal. Faktor ini sangat membantu jika diperlukan perubahan sistem karena semua perubahan dikerjakan pada segmen bumi sehingga konstelasi satelit yang sama tetap dapat digunakan sampai habis masa baktingnya.

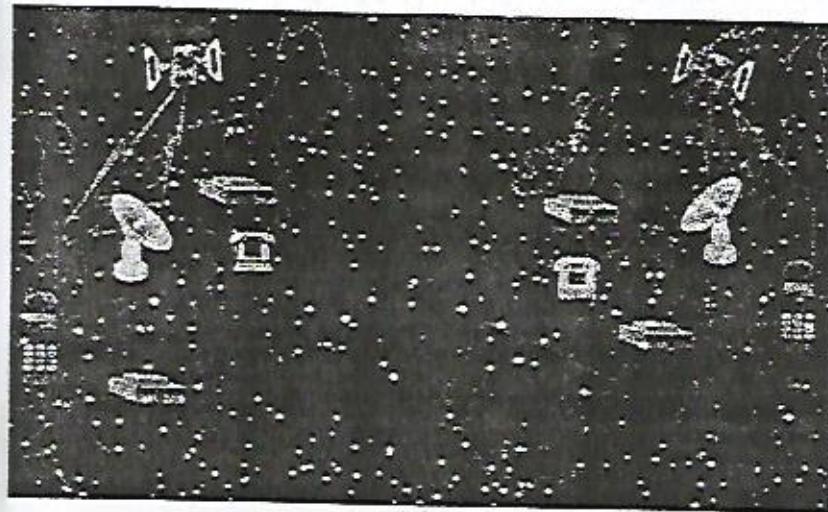
Pengembangan sistem elektronika pada user terminal menggunakan VLSI chip yang dikembangkan oleh QUALCOMM, sedangkan sistem elektronika dan software pada gateway dikembangkan oleh OEM processors. Pada gateway digunakan sistem antena C-band yang berjumlah 4 buah dengan diameter antena sebesar ~ 6 m seperti terlihat pada gambar 10.15.

Dari Globalstar gateway inilah jaringan terhubung menuju ke PSTN dan PLMN dengan sistem baik AMPS, GSM, maupun CDMA selular.

Sistem Globalstar terdiri dari space segment, ground segment, dan user segment. Pada ground segment terdapat dua sistem pengontrolan yaitu GOCC (*Ground Operation Control Centers*) dan SOCC (*Satellite Operation Control Centers*). GOCC bertugas untuk mengatur trafik pada stasiun bumi baik yang menuju PSTN dan PLMN maupun antar gateway, sedangkan SOCC bertanggungjawab untuk mengontrol konstelasi satelit Globalstar seperti proses tracking, telemetry, dan kontrol. Secara umum, untuk layanan komunikasi sistem Globalstar dapat dilihat pada gambar 10.16.



**Gambar 10.15**  
**Antena Globalstar Gateway**



Gambar 10.16  
Sistem komunikasi Globalstar secara umum

Sebagai contoh, user terminal yang akan berhubungan dapat mengakses satelit secara langsung, diteruskan ke Globalstar gateway untuk diarahkan kemana user terminal tersebut akan berhubungan. Apabila user tersebut mau berhubungan dengan jaringan PSTN maka secara otomatis Globalstar gateway akan meneruskan ke jaringan tersebut, sedangkan apabila user tersebut mau berhubungan dengan user terminal lain pada daerah tertentu, gateway akan mencari user terminal yang dituju untuk mengetahui gateway dan satelit mana yang melayaninya, sehingga user dapat diteruskan ke gateway yang melayani satelit untuk menuju ke user yang dituju.

#### *Space Segment*

Jumlah satelit pada konstelasi Globalstar adalah 48 buah dengan satelit cadangan sebanyak 8 buah, berada pada ketinggian 1414 km dengan 8 bidang orbit dengan sudut

inklinasi sebesar  $52^\circ$  yang setiap orbitnya berjumlah 6 buah satelit dengan periode edar sebesar 114 menit. Antena satelit Globalstar mempunyai jangkauan dengan sudut nadir sebesar  $+54^\circ$ . Gambar dari satelit Globalstar dapat dilihat pada gambar 10.17.



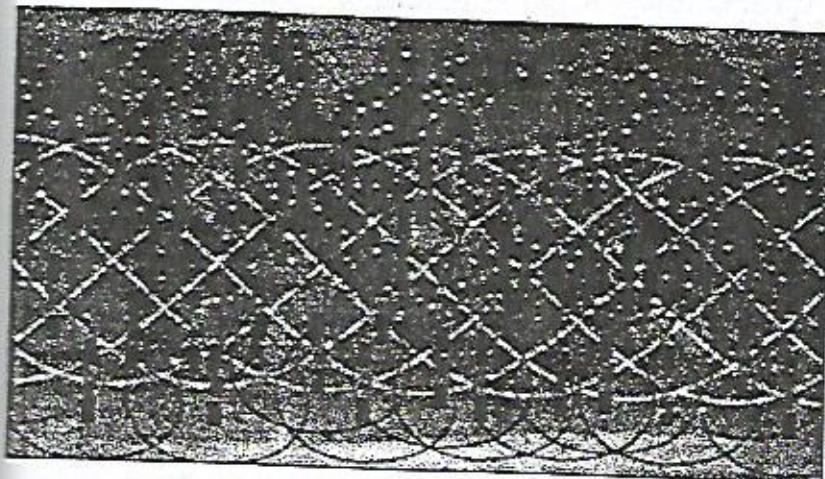
Gambar 10.17  
Satelit Globalstar

Peluncuran pertama satelit Globalstar dari Cape Canaveral pada tanggal 15 Oktober 1997 dilakukan dengan roket Delta II. Untuk memudahkan peluncuran, pada saat peluncuran, solar panelnya belum dibuka. Setelah satelit berada pada orbitnya dan terjadi proses stabilisasi, baru solar panel dibuka. Antena pada satelit berjumlah 4 buah, 2 antena array untuk berkomunikasi dengan user terminal dan 2 antena conical horn untuk berkomunikasi dengan gateway. Keempat antena ini terdapat pada permukaan "satelit bus" yang menghadap ke bumi, pada sisi satelit lain yang membelaangi bumi (anti sinyal earth) terdapat antena GPS untuk menangkap sinyal GPS.

### *Susunan Satelit Globalstar*

Satelit Globalstar dirancang untuk mengcover seluruh dunia atau permukaan bumi selama 24 jam nonstop dengan cara menjalankan secara bersama-sama ke 48 satelit tersebut, sehingga satelit dapat berkomunikasi secara *line of sight* dan secara terus menerus dengan gateway dan user terminal. Coverage satelit dapat dilihat pada gambar 10.18.

Orbit satelit Globalstar dirancang agar setiap pengguna dan stasiun bumi dapat melihat tiga atau empat satelit sekaligus.



Gambar 10.18  
Coverage satelit Globalstar

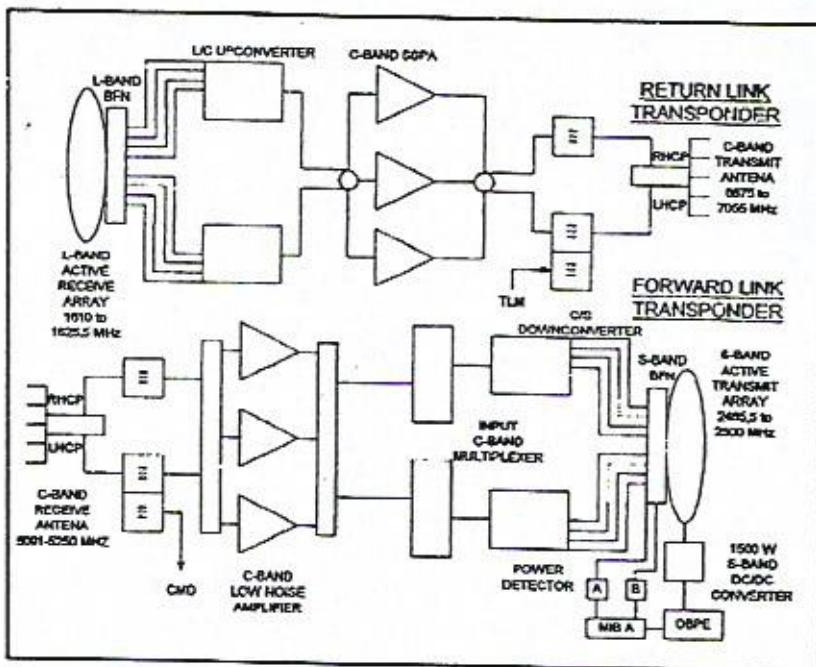
### *Pembagian frekuensi pada Globalstar*

Pembagian frekuensi pada sistem Globalstar adalah sebagai berikut:

User terminal ke satelit	:	L-band (1610 – 1626,5 MHz)
Satelit ke user terminal	:	S-band (2483,5 – 2500 MHz)
Gateway ke satelit	:	C-band (5091 – 5250 MHz)
Satelit ke gateway	:	C-band (6875 – 7055 MHz)

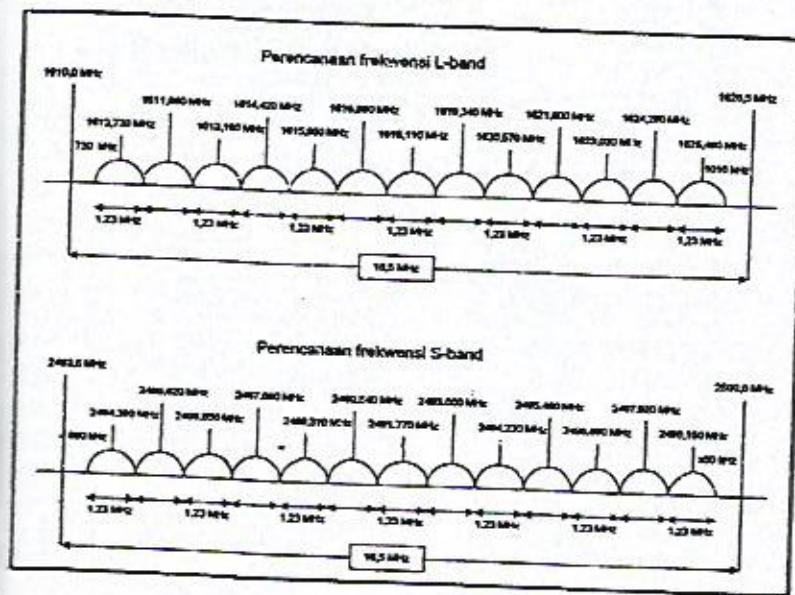
## *Globalstar payload*

Diagram blok dari Globalstar payload arah forward (C/S band) dan arah return (L/C band) dapat dilihat pada gambar 10.19. Antena active-array membangkitkan secara bersama-sama 16 beam pada setiap link. Jalur RF (Radio Frequency) pada Globalstar payload dibagi dalam tiga bagian yaitu LNA (Low Noise Amplifier), kanal translasi frekuensi (downconverter pada arah forward dan upconverter pada arah return), dan SSPA (Solid State Power Amplifier). Sistem pengontrolan me-manage daya yang dibutuhkan dari sumber tenaga satelit untuk selanjutnya memberikan daya tersebut pada transponder-transponder.



Gambar 10.19  
Diagram blok Globalstar payload

Pada gambar 10.20 diperlihatkan perencanaan frekuensi L-band dan S-band. Setiap kanal CDMA mempunyai lebar pita RF sebesar 1,23 MHz akan berisi 128 kode Walsh untuk mendukung sekitar 60 pengguna yang dapat berbicara bersamaan. Seluruh band untuk link dengan user baik S-band maupun L-band dibagi dalam 13 saluran dengan masing-masing lebar pita 1,23 MHz.



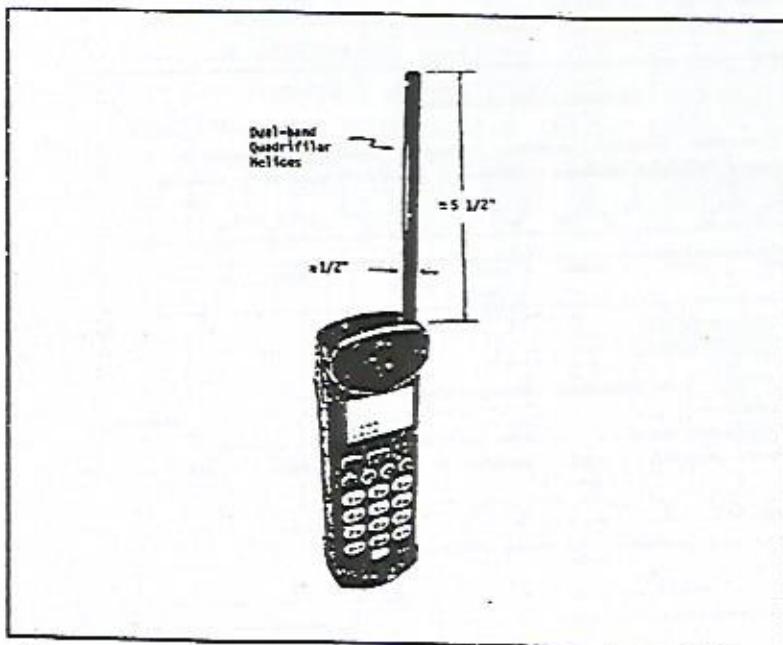
Gambar 10.20  
Perencanaan frekuensi L-band dan S-band

## User Segment

### Telepon Genggam

Produk telepon genggam pada sistem Globalstar diproduksi oleh QUALCOMM, Ericsson, dan Telital dengan bentuk yang sangat handheld atau bentuk saku menyerupai telepon-telepon seluler yang ada di pasaran pada saat ini.

Telepon tersebut didukung dengan teknologi dual-mode dan tri-mode, dimana dual-mode bisa beroperasi pada jaringan Globalstar dan GSM, sedangkan tri-mode dapat beroperasi pada jaringan Globalstar, AMPS, dan IS-95 (CDMA). Contoh dari telepon satelit Globalstar dapat dilihat pada gambar 10.21.



Gambar 10.21  
Globalstar Handset

Spesifikasi atau parameter-parameter dari telepon satelit Globalstar dapat dilihat pada tabel 10.7 di bawah ini.

Tabel 10.7. Spesifikasi Globalstar Handset

Berat	Kurang dari 350 g
<u>Dimensi :</u>	
Antena Open	290 x 60 x 30 mm
Antena Stowed	190 x 60 x 30 mm
<u>Battery Performance :</u>	
AMPS	
Stand-by/Talk time	10/1 jam
GSM	
Stand-by/Talk time	12/2 jam
IS-95	
Stand-by/Talk time	24/3 jam
Globalstar	
Stand-by/Talk time	8/1 jam
<u>Unit EIRP</u>	
Power	0.25 – 2 watt
Rata-rata	26 dBm
Minimum	23 dBm
Temperatur	0 – 40° Celcius
G/T (minimum)	-25 dB

### *Link Budget*

Frekuensi-frekuensi yang dipakai pada area service link adalah L-band untuk uplink (1610 – 1626,5 MHz) dengan 61 LNA dan S-band untuk downlink (2483,5 – 2500 MHz) dengan 91 SSPA (*Solid State Power Amplifier*) yang terhubung dengan *antena array microstrip ring* membentuk 16 beam dengan Sistem Multiple Access CDMA. Untuk area feeder link adalah C-band 5 GHz dan 7 GHz dengan masing-masing bandwith sebesar 160 MHz membentuk single beam, dimana sinyal dari masing-masing beam disusun dalam suatu sistem FDMA.

Format sinyal dari sistem Globalstar dapat dilihat pada tabel 10.8 berikut ini.

Tabel 10.8 Format Sinyal Sistem Globalstar

Parameter	Rate
Bit Rate	1,2 – 9,6 Kbps
Average Bit Rate	2,8 Kbps
Modulation	QPSK
Multiple Access	CDMA
RFBW	1,23 MHz
F	1,3
Required Eb/No	5 dB
EIRP S-band	29 dBW
G/T L-band	-18 dB/K (minimum)
EIRP C-band	29 dBW
G/T C-band	-29 dB (minimum)

Secara umum, link calculation dalam arah forward maupun arah return diperlihatkan pada tabel 10.9 dan 10.10 berikut ini.

Tabel 10.9. Typical forward link budget untuk sudut nadir 0°

Forward Link Budget		
Parameter		
<u>Uplink</u>		
Uplink Frequency	GHz	5
Gateway Nadir Angle	Degrees	0
Free Space Loss	dB	169.42
EIRP/carrier	dBw	46.7
G/T Satellite	dB/Kelvin Degrees	-6
C/N	dB	38.99
<u>Downlink</u>		
Downlink Frequency	GHz	2.4
EIRP/carrier	dBW	16.96
Free Space Loss	dB	163.05
G/T Handset	dB/Kelvin Degrees	-25
Spreading gain	dB	23
C/N	dB	-3.38
(C/N) 4 kHz	dB	19.62
Eb/No	dB	17.7

Tabel 10. 10. Typical return link budget untuk sudut nadir  $0^{\circ}$

Return Link Budget		
Parameter		
<u>Uplink</u>		
Uplink Frequency	GHz	1.6
UT Nadir Angle	Degrees	0
EIRP Handset	dBW	-4
G/T Satellite	dB/Kelvin Degrees	-18
Free Space Loss	dB	159.53
Spreading Gain	dB	23
C/N/antenna	dB	-13.82
(C/N) 4 kHz total	dB	18.1
E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	dB	16.23
<u>Downlink</u>		
Downlink Frequency	GHz	7
EIRP/carrier	dBW	11.95
Free Space Loss	dB	172.3
G/T G.way	dB/Kelvin Degrees	30.6
C/N	dB	37.91

#### *Analisis Return Link 1,6 GHz uplink dan 7 GHz downlink*

Return link secara berturut-turut merupakan hubungan dari pengguna (user) ke satelit (uplink) kemudian diteruskan ke stasiun bumi (downlink). Parameter-parameter yang telah diketahui adalah :

- Frekuensi 1,6 GHz uplink dan 7 GHz downlink
- Pada sudut nadir  $0^{\circ}$  maksimum total EIRP 27 dBW/polarisasi
- Diameter antena gateway sebesar ~6 m
- EIRP handset sebesar 26 dBm = -4 dBW
- G/T per antena satelit sebesar -18 dB/ $^{\circ}$ K

### *Analisis Uplink: (handset ke Satelit)*

Perhitungan Lfs didapat dari :

$$Lfs = 32,44 + 20 \log 1600 + 20 \log 1414 = 159,53 \text{ dB}$$

Jadi C/N /antena didapat dari perhitungan:

$$C/N = -4 - 18 - 159,53 + 228,6 - 60,89 = -13,82 \text{ dB}$$

Spreading gain = 23 dB, sehingga untuk C/N 4 KHz untuk setiap antena adalah:

$$C/N_{4\text{KHz}} = -13,82 + 23 = 9,18 \text{ dB}$$

Namun, karena pada setiap antena terdapat 1 buah LNA, maka terdapat perbaikan C/N sesuai dengan rumus penerimaan dengan sistem diversity:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{Total}}^2 = \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{Antena 1}}^2 + \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{Antena 2}}^2 + \dots + \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{Antena 61}}^2$$

Jadi, C/N 4 KHz total dalam sistem desibel menjadi:

$$(C/N)_{4\text{KHz}} = \frac{2(C/N) + 10 \log 61}{2} = 18,1 \text{ dB}$$

Untuk Eb/No adalah:

$$\begin{aligned} Eb/No &= C/N + B - R = 18,1 + 10 \log 6240 - 10 \log 9600 \\ &= 16,23 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dapat kita lihat bahwa Eb/No yang dipersyaratkan telah terpenuhi yaitu 5 dB, sehingga sisanya dapat dipakai sebagai link margin untuk atenuasi lingkungan.

Selain itu, dari hasil pengukuran keadaan sebenarnya G/T satelit di daerah frekuensi 1,6 GHz adalah sekitar -15,3 dB sehingga keadaan rata-rata masih ada perbaikan 2,7 dB lagi.

### *Analisis Downlink*

Gain antena gateway dapat kita hitung dari:

$$G = 10 \log \eta - 39,6 + 20 \log D(m) + 20 \log f (\text{MHz}) = 50,6 \text{ dB}$$

( $\eta = 60\%$ )

Untuk  $T = 100^{\circ}\text{K} \rightarrow G/T = (G - T) \text{ dB} = 30,6 \text{ dB}/^{\circ}\text{K}$

$$L_{fs} = 32,44 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log R (\text{km}) = 172,3 \text{ dB}$$

Satu buah transponder terdiri dari 4 buah carrier, jadi EIRP/carrier dapat ditentukan dari:

$$\text{EIRP}_{\text{Total}} = \text{EIRP}/\text{carrier} + 10 \log 8 + 10 \log 4$$

$$= 27 - 10 \log 8 - 10 \log 4 = 11,95 \text{ dBW}$$

$$\text{sehingga } C/N = \text{EIRP} + G/T - L_{fs} - K - B = 37,91 \text{ dB.}$$

#### *Analisis Forward Link (5 GHz uplink dan 2,4 GHz downlink)*

Forward link secara berturut-turut merupakan hubungan dari stasiun bumi ke satelit (*uplink*) dan diteruskan ke pengguna (*downlink*). Parameter-parameter yang telah diketahui adalah:

- Frekuensi 5 GHz uplink dan 2,4 GHz downlink
- Pada sudut nadir  $0^{\circ}$  G/T C-band pada satelit minimum sebesar  $-29 \text{ dB}/^{\circ}\text{K}$
- EIRP S-band perbeam maksimum 25% dari total EIRP 29 dBW
- G/T handset minimum sebesar  $-25 \text{ dB}$

#### *Analisis Uplink*

Dalam arah uplink ini yang merupakan link antara stasiun bumi (dengan *fully steerable*) dan satelit, kualitas hubungan dapat diusahakan cukup tinggi.

C/N dapat ditentukan lebih besar dari 40 dB dengan ukuran antena dan RFA yang biasa saja agar pada C/N total faktor yang mempengaruhi hanya pada C/N *uplink* ini dikarenakan C/N *downlink* terbatas, sesuai dengan rumus C/N total:

$$\frac{1}{(C/N)_T} = \frac{1}{(C/N)_{up}} + \frac{1}{(C/N)_{down}}$$

Free Space Loss dapat diperoleh dari:

$$L_{fs} = 32,44 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{km}) = 169,42 \text{ dB}$$

Untuk perhitungan EIRP didapat dari:

$$C/N = EIRP + G/T - L_{fs} - L - K - B$$

$$16 \text{ dB} = EIRP/\text{carrier} - 29 - 169,42 - (-228,6) - 10 \log 1230000$$

$$EIRP/\text{carrier} = 46,7 \text{ dBW}$$

Dengan  $G/T$  minimum disatelitnya, dan untuk  $C/N$  feeder link ini minimum diminta 16 dB, maka dengan EIRP stasiun bumi sebesar 46,6 dBW, dengan gain antena sekitar 47,7 dB  $\rightarrow$  transmisioner output cukup  $P_t = 0 \text{ dBW}$  atau 1 watt saja.

Untuk proses penerimaan satelit dengan *gain antena conical horn* sekitar  $G = 21 \text{ dB}$  dan dengan temperatur sistem  $450^\circ\text{K} = 26,5 \text{ dBOK}$ , sebenarnya  $G/T$  antena adalah sekitar  $-6 \text{ dB}$  sehingga  $C/N$  feeder link adalah:

$$C/N = 46,7 - 6 - 169,42 + 228,6 - 60,89 = 38,99 \text{ dB.}$$

### Analisis Downlink

$$\text{EIRP total} = 29 \text{ dBW}$$

$$\text{EIRP maksimum perbeam} = 29 + 10 \log 0,25 = 22,98 \text{ dBW}$$

Jumlah carrier perbeam sebanyak 4 buah atau  $6,02 \text{ dB}$

$$EIRP/\text{carrier} = 22,98 - 6,02 = 16,96 \text{ dBW}$$

Free Space Loss dapat dicari dari perhitungan:

$$L_{fs} = 32,33 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{km}) = 163,05 \text{ dB}$$

$$C/N = EIRP + G/T - L_{fs} - K - B = 16,96 + (-25) - 163,05 - (-228,6) - 60,89 = 3,38 \text{ dB}$$

$$\text{Spreading gain} = 23 \text{ dB} \rightarrow \text{jadi } (C/N)_{4KHZ} = -3,38 + 23 = 19,62 \text{ dB}$$

$$Eb/No = C/N + B - R_S = 19,62 + 10 \log 6240 - 10 \log 9600 = 17,7 \text{ dB}$$

Dapat kita lihat bahwa Eb/No memenuhi yang dipersyaratkan sebesar 5 dB sisanya dipakai untuk link margin seperti attenuasi lingkungan (gedung, pohon).

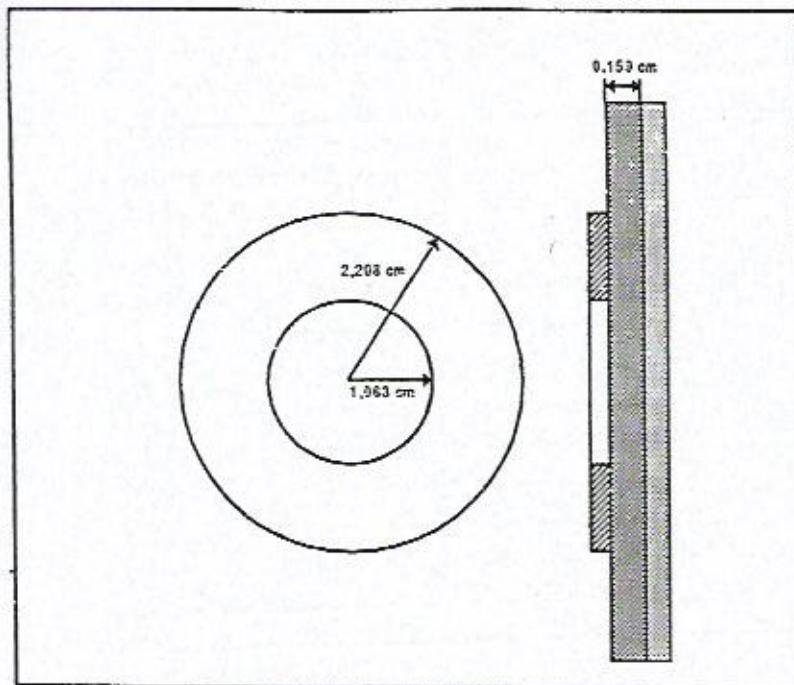
Untuk keadaan paling jelek, dimana diperkirakan  $G/T$  handset adalah  $-25 \text{ dB}$ , Eb/No masih sekitar  $17,7 \text{ dB}$ , masih cukup tinggi diatas persyaratan minimal 5 dB, sehingga margin  $11 - 16 \text{ dB}$  memang dapat dicapai.

Sesuai dengan CDMA, perbaikan ( $E_b/N_0$ ) masih didapatkan dari pancaran yang diterima dari beberapa satelit sekaligus ataupun dari pantulan bangunan di sekitar terminal.

### *Antena S-band*

Antena yang dipakai pada S-band dengan frekuensi 2,4 GHz adalah antena microstrip ring. Geometri untuk antena tersebut dapat dilihat pada gambar 10.24.

Untuk  $h = 0,159$  cm,  $\epsilon_r = 2,32$  (duroid), maka dengan menggunakan rumus-rumus pada Bab III (tabel 3.2), akan diperoleh:  $K = 2,4056$  cm,  $b = 2,208$  cm dan  $a = 1,063$  cm.



Gambar 10.22  
Geometri antena microstrip ring S-b

Jadi, diameter seluruh antena adalah:

$$D = 2 \times 2,208 \times 11 \text{ antena} = 48,576 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

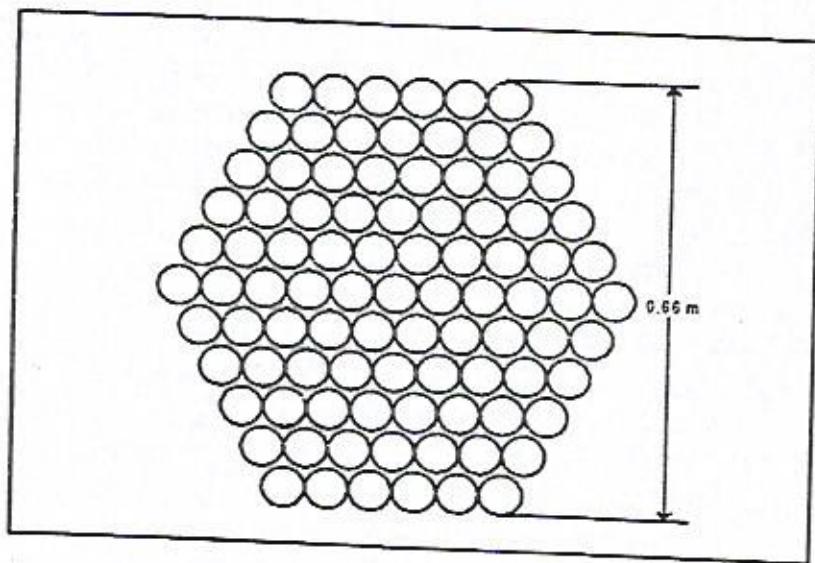
Dengan memperhitungkan jarak antar antena, diameter fisik antena  $\approx 0,66 \text{ m}$ .

Hitungan ini agak sesuai dengan perkiraan yang lain. Dari minimum EIRP 29 dBW di input setiap antena ada SSPA dengan output maksimum 3,6 Watt (5,6 dBW) dan seluruh antena membentuk arraynya, maka:

$$\begin{aligned}\text{EIRP} &= G_{\text{antena}} + Pt + \sum_{\text{antena}} \\ &= G_{\text{antena}} + 5,6 + 19,5\end{aligned}$$

$$G_{\text{antena}} = 4 \text{ dB}$$

Cocok untuk gain "patch antenna".



Gambar 10.23  
Diameter antena microstrip ring S-band  
yang terdiri dari 91 ring antena

### *Antena L-band*

$$K = 3,608$$

$$b = 3,496 \text{ cm}$$

$$a = 1,683 \text{ cm}$$

Gambar geometri dari antena L-band dapat dilihat pada gambar 10.24 berikut.

Sehingga lebar diameter antena L-band secara keseluruhan adalah:

$$\begin{aligned} D &= 2 \times 3,496 \times 9 \text{ antena} \\ &= 62,928 \text{ cm} \approx 0,63 \text{ m} \end{aligned}$$

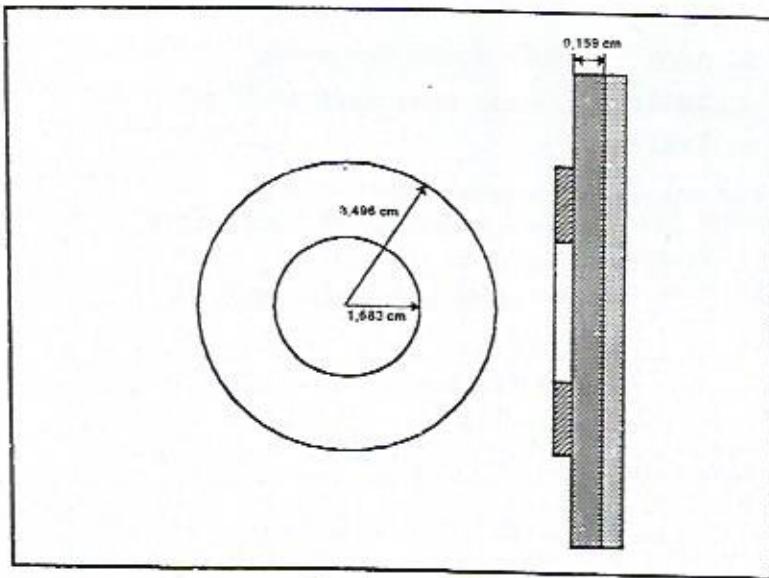
Dengan memperhitungkan jarak antar antena, diameter fisik antar antena  $\approx 0,85 \text{ m}$ .

Gain seluruh antena adalah:

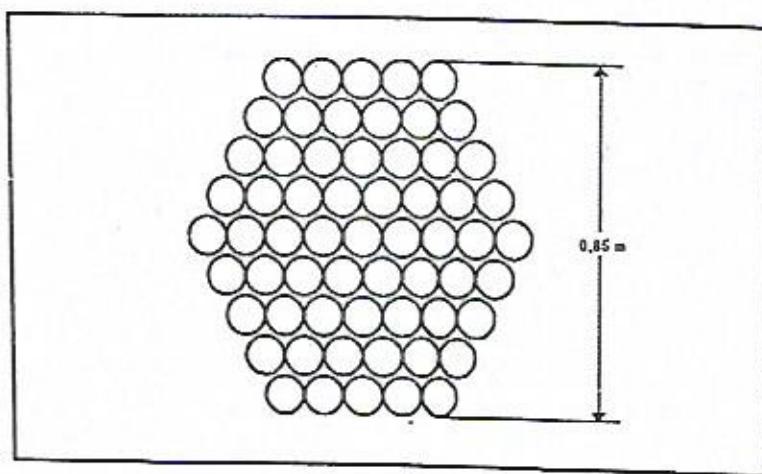
$$\begin{aligned} G &= 10 \log \eta - 39,6 + 20 \log D (\text{m}) + 20 \log f (\text{MHz}) \\ &= 10 \log 0,65 - 39,6 + 20 \log 0,85 + 20 \log 1600 \\ &= 21,2 \text{ dB} \end{aligned}$$

Untuk gain setiap antena

$$G_{\text{ant}} = 21,2 - 10 \log 61 = 3,35 \text{ dB}$$



Gambar 10.24  
Geometri antena microstrip ring L-band



Gambar 10.25  
Geometri antena microstrip ring L-band  
yang terdiri dari 61 ring antena

### *Analisis Perancangan Antena Feeder Link*

Untuk frekuensi 5 GHz dari gambar diperkirakan diameter antena 36,5 cm sehingga  $d_\lambda = 6.08 \lambda$ . Dari tabel 3.2 didapat  $L_\lambda = 10 \lambda = 60 \text{ cm} \rightarrow \text{Gain antena} = 22,7 \text{ dB}$ .

Untuk frekuensi 7 GHz diperkirakan diameter antena = 25,5 cm sehingga  $D_\lambda = 6 \lambda$ . Dari tabel 3.2 didapat  $L_\lambda = 10 \lambda = 43 \text{ cm}$ . Gain antena = 22,5 dB, EIRP sebesar 27 dBW, maka daya Pt =  $27 - 22 = 5 \text{ dBW}$ .

Dari spesifikasi EIRP yang ada (27 sampai 32 dBW) berarti daya pemancar satelit akan berkisar 3 sampai 10 Watt, hal ini dapat diberikan oleh pemancar-pemancar yang umumnya terpasang di satelit.

Untuk proses penerimaan satelit dengan gain antena sekitar 21 dB dan dengan temperatur sistem sekitar  $450^\circ \text{ K} = 26,5 \text{ dBOK}$ , sebenarnya G/T antena sebesar  $-6 \text{ dB}$  sehingga C/N feeder link adalah sekitar 38,99 dB.

Yang jelas, dari perkiraan di atas, *design feeder link* tidak begitu kritis. Kinerja sistem komunikasinya sangat bergantung kepada hubungan antara handset dan satelitnya.

Tabel 10.11 System Characteristics

CHARACTERISTIC	IRIDIUM	GLOBALSTAR	COSSYEY	ELLISSAT	ARIES	ICO (PROJECT 21)
OPERATOR	MOTOROLA	LOSS [L51%, Q40%] 48 8	TMM 12	ELLOPSAT 12+6 3	CONSTITUTION COM 48 4	ICO 12 2
NUMBER OF SATELITE	68	GLOBAL	NORTHERN TEMP 3-AXIS STABILIZED	GLOBAL 3-AXIS FAIRCHILD 620 X 7646	GLOBAL 3-AXIS STABILIZED 1020	GLOBAL 3-AXIS HS 60 10355
COVERAGE	6	3-AXIS STABILIZED	3-AXIS STABILIZED	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR
SPACECRAFT/ SATELLITE TYPE	LOCKHEED BUS	1414	10330	ELLIPICAL	90	45
ALTITUDE (KM)	780	CIRCULAR	CIRCULAR	ELLIPTICAL	LINK TO PSTN 8	: LINK TO PSTN 163
ORBIT	86.4	62	60	LINK TO PSTN 8	LINK TO PSTN 7	
INCLINATION (°)	48	16	61			
TYPE OF OPERATION						
NUMBER OF BEAM PER SATELLITE						
BEAM SIZE (KM)	790	980 X 5900	...	3800	1010	1000
BEAM FOOTPRINT (KMSQ)	218K - 445K	1986K	509742K	9700K	800K	...
SATELLITE MASS (KG)	700	460	1134	240 + 360	130	2600
POWER (WATT)	1369	900	1800	800	270	8700
LIFE TIME (Y)	5	7.5	10	6	5	12
COMM PAYLOAD	ON BOARD PROC	BENT PIPE	BENT PIPE	BENT PIPE	BENT PIPE	BENT PIPE
MODULATION	FDM/TDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA	FORMATOMA
USER LINKS	UL	SL	SL	SL	SL	SL
FEEDER LINKS	Ka BAND	C BAND	Ka BAND	C BAND	C BAND	C BAND
INTERSATLINKS	2	—	—	—	—	—
SYSTEM COST (BILLION \$)	3.4	1.2	1.2	0.45	0.4	1.7 - 2.2

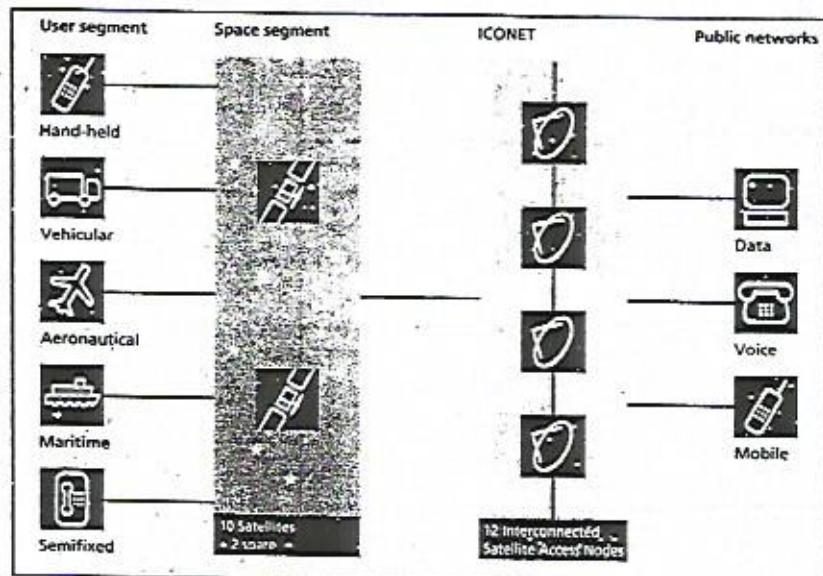
CHARACTERISTIC	INDUM	GLOBALSTAR	QUESY	ELPERF	ARES	ICCO (PROJECT 2)
USER-TERMINAL MARKET	HANDHELD WORLD TRAVELLER MOBILE-MOBILE	HANDHELD EXTENSION OF CELLULAR	HANDHELD EXTENSION OF CELLULAR	HANDHELD EXTENSION OF CELLULAR	HANDHELD EXTENSION OF CELLULAR	HANDHELD COMBINATION
COST PER MINUTE (\$)	3	0.3 + PSTN 5000	1.0 4500	0.5 + PSTN 1210	- 420	- 2 4500
MAX. CH CAPACITY (CONUS)	9000	4	-	3	3	-
No of SATELLITE/GATEWAY ANTENNA-GATEWAY SERVICES	MNIN 3 VOICE, DATA, MESSAGE '98 32000	MNIN 3 VOICE, DATA, MESSAGE '98 -	MIN 3 VOICE, DATA, MESSAGE '98 -	3 0.62900	3 - 160	3 VOICE, DATA, MESSAGE '96 - - 200
OPERATIONAL DATE						3 VOICE, DATA, MESSAGE 2000 - - 200
CUSTOMER BASE (M)	400	120	-	7	-	- 12
YEAR MAX. ONE WAY DELAY (MS)	11	- 100				
No. of Gateway						

### 3.3 INTERMEDIATE CIRCULAR ORBIT (ICO)

#### Umum

ICO merupakan salah satu jenis SKSB yang menyediakan jasa komunikasi satelit bergerak secara global dengan menggunakan satelit di orbit menengah. ICO ini dirancang dengan menggabungkan jaringan satelit komunikasi dengan jaringan terestrial yang ada.

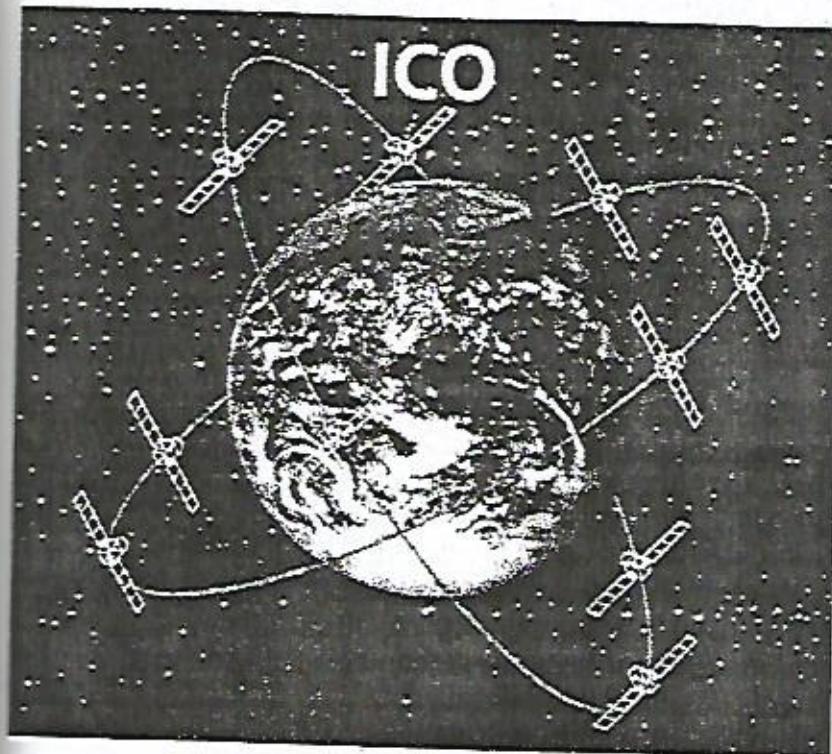
Pada sistem ICO ini, rute panggilan akan melalui ICONET, yang terdiri dari 12 stasiun bumi atau *satellite access node* (SAN'S) seperti pada gambar 10.26, dimana jaringan ini akan dihubungkan dengan terminal satelit bergerak dengan cara memilih salah satu satelit yang terdekat.



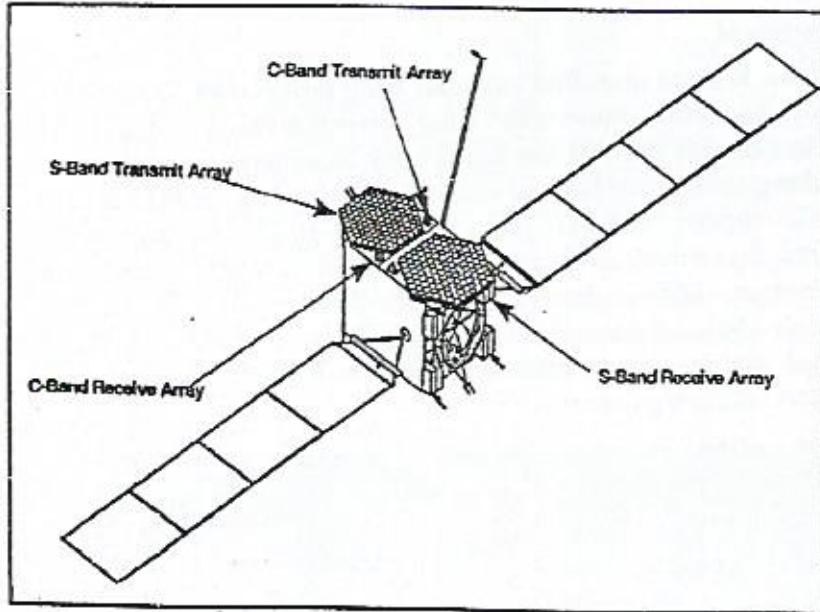
Gambar 10.26  
Sistem Operasi ICO

### *Space segment*

Sistem ICO ini memiliki susunan yang terdiri dari 10 buah satelit pada orbit menengah yang mempunyai ketinggian 10.355 km di atas permukaan bumi yang akan tersusun dalam dua bidang orbit yang masing-masing bidang akan terdiri dari 5 satelit seperti terlihat pada gambar 10.27, sedangkan satelitnya diperlihatkan pada gambar 10.28, sehingga jumlah satelit secara keseluruhan yang digunakan pada ICO ini berjumlah 12 buah (ditambah cadangan). Bentuk lintasan satelit ini dapat dilihat seperti gambar di bawah ini, kedua bidang orbit akan saling tegak lurus.



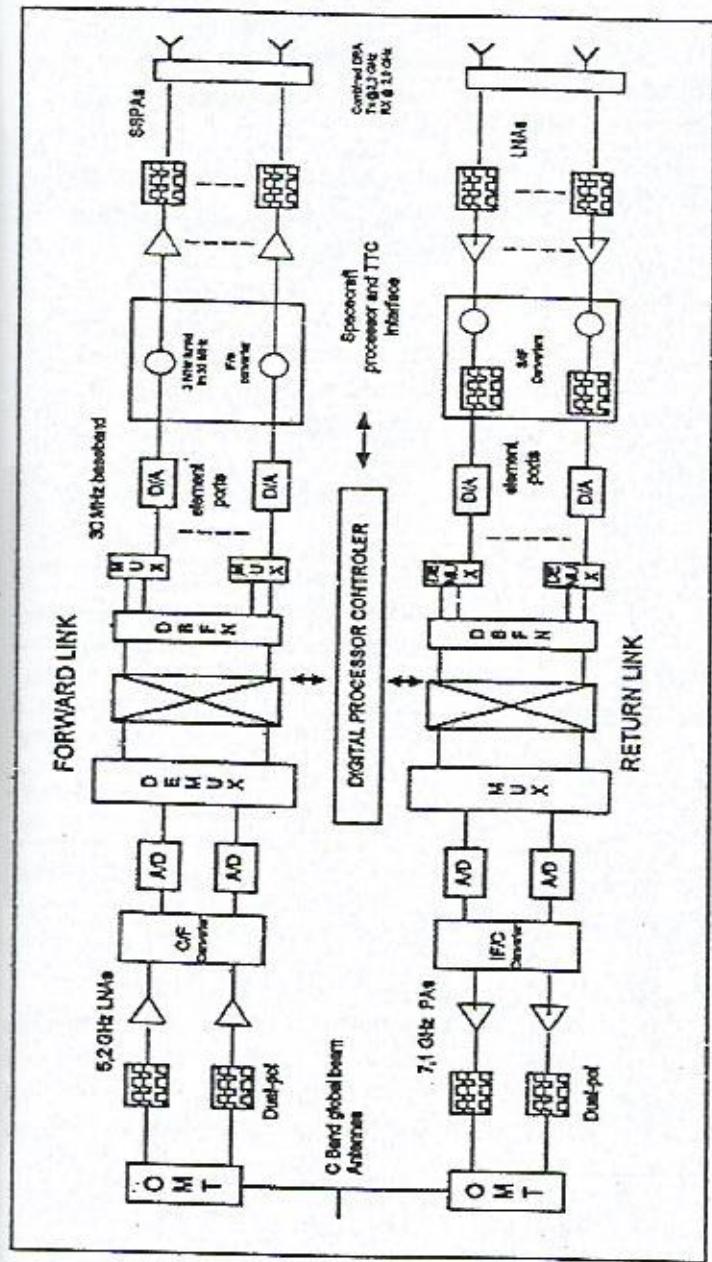
Gambar 10.27  
Jalur Lintasan Satelit ICO



Gambar 10.28  
Ilustrasi Satelit ICO

### *Design Satelit ICO*

Satelit ICO memiliki konfigurasi dasar dari satelit geostasioner HS601 yang telah teruji. Satelit komunikasi ini membawa fungsi-fungsi teknologi digital seperti pengkanalan dan pembangkit beam yang sebelumnya secara tradisional dilakukan dengan teknologi analog. Solusi digital memudahkan pengoperasian dan menawarkan keuntungan. Hal penting lainnya dalam disain satelit ICO adalah memisahkan *antena service link* untuk pemancaran dan penerima yang memungkinkan pembuatan yang lebih mudah dan perlindungan yang lebih baik terhadap intermodulasi dibanding antena yang digabung, seperti terlihat pada diagram *blok payload* (gambar 10.29).



Gambar 10.29  
Blok Diagram Satelit ICO

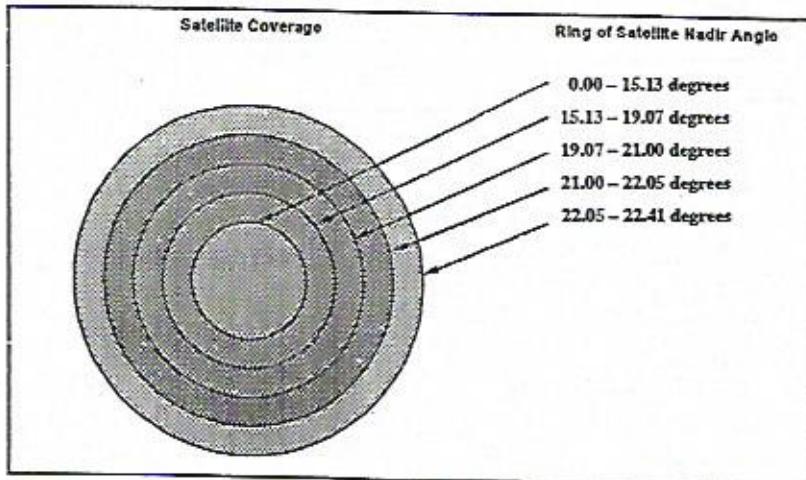
Untuk menyediakan link yang kuat terhadap terminal handheld, *antena service link* memiliki *aperture* lebih dari 2 meter. Penggunaan beam yang banyak pada setiap satelit memungkinkan adanya frekuensi reuse.

Setiap satelit dirancang untuk mendukung setidaknya 4500 kanal telepon dengan menggunakan TDMA yang dipilih setelah dibandingkan dengan teknologi lainnya.

### Teknologi Satelit ICO

Sinyal transmit dan receive dengan jumlah beam sebanyak 163 persatelit dibentuk untuk meliputi seluruh area bumi. Beam secara elektronik diperbaiki oleh processor digital, agar pola yang benar didapat sesuai dengan vektor kecepatan satelit, dimana arah beam berubah sekitar 2 dB mulai dari nadir ke arah ujung coverage.

Untuk membantu memperjelas kemampuan dari satelit EIRP dan G/T, gambar 10.30 dibuat dalam range yang bervariasi sesuai dengan sudut satelit nadir (mengikuti permukaan bumi).



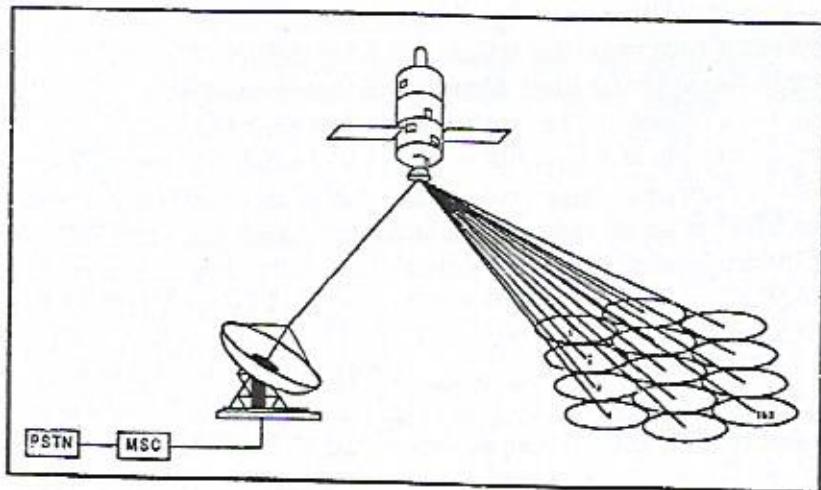
Gambar 10.30  
Definisi EIRP area dari sebuah Satelit ICO

Sumber EIRP dari S-band dialokasikan secara fleksibel pada setiap spot beam sejumlah 163 yang dipilih secara tepat, sehingga kanal satelit filter dirotasikan kearah spot beam yang diinginkan. Tabel 10.12 mengidentifikasi puncak EIRP dalam setiap cincin apabila semua EIRP diarahkan hanya kepada cincin itu saja, pada kenyataannya pengaplikasian trafik, EIRP akan terdistibusi pada semua cincin dengan EIRP yang lebih kecil dari pada puncak untuk setiap cincinnya. Sedangkan semua antena DRA akan mendapatkan power dari setiap beam dari 127 SSPA.

Tabel 10.12 Nilai EIRP maksimum pada S-band tiap ring

	Unit	Ring 1	Ring 2	Ring 3	Ring 4	Ring 5
SSPA combined output power	dBW	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Output losses	dB	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Antena average gain	dB	30,6	29,6	28,9	28,7	28,2
EIRP	dBW	58,5	57,4	56,7	56,6	56,1
Power robbing at worst gain setting	dB	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7
Useful EIRP	dBW	58,1	56,9	56,1	55,9	55,5

Kemampuan sistem akan mencapai tingkat pelayanan yang diinginkan. Beam-beam untuk mengirim dan menerima service link yang berjumlah 163 akan menyediakan hubungan dengan link margin lebih dari 8 dB dan batas rata-rata lebih dari 10 dB seperti terlihat pada gambar 10.31 berikut ini.



Gambar 10.31  
Pembentukan Multibeam dari satelit ICO

### *Telepon Genggam*

Kebanyakan dari pengguna terminal sistem ICO ini berupa telepon genggam, berukuran saku dan berkemampuan untuk beroperasi pada mode ganda (*dual mode*) yakni antara satelit dengan selular/PCS.

Telpon genggam ICO ini dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai keistimewaan untuk dapat memilih *external data ports* dan *internal buffer memory*, yang semua ini dapat mendukung data komunikasi, pesan (*messaging*) serta fax. Telepon genggam ini dirancang dengan menggunakan kartu pintar (*smart card*) SIM seperti yang terlihat pada gambar 10.32 di bawah.



Gambar 10.32  
Telepon Genggam ICO

Sedangkan parameter terminal pengguna pada sistem ini berupa handheld dapat kita lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 10.13 Parameter Terminal Handheld

<b>Physical Parameter</b>	
Volume	<300 cc
Weight	<300 g
<b>RF Parameter</b>	
EIRP	<4dBW average <6,8 dBW peak/burst
G/T	-23,8 dB/K
Polarisasi	RHCP
<b>Operational Parameter</b>	
Talk Time	>1 hour

## *Analisis Sistem ICO*

Satelite yang akan digunakan adalah satelite ICO pada ketinggian medium (MEO) yaitu 10.350 km dengan jumlah satelite sebanyak 10 buah satelite ditambah 2 buah satelite cadangan, dimana lintasan satelite ini akan dibagi dua dengan masing-masing lintasan terdapat 5 satelite. Frekuensi yang digunakan oleh satelite tersebut yaitu C-band sebagai feeder antara satelite dengan stasiun bumi dengan frekuensi 5150 ~ 5250 MHz untuk uplink dan 6975 ~ 7075 MHz sebagai downlink. Sedangkan untuk pelayanan (service) menggunakan frekuensi S-band yaitu 1990 ~ 2020 MHz untuk uplink dan 2065 ~ 2100 MHz untuk downlink.

### *Sistem Komunikasi yang digunakan*

Modulasi RF yang digunakan pada sistem satelite ICO yaitu modulasi QPSK. Format sinyal terdiri dari 6 slot TDMA, dengan rate 36 kBps dan bandwidth (QPSK, 40% roll-off) sebesar 25 kHz sesuai hubungan:

$$B = \frac{R}{2} F = \frac{36}{2} \times 1,4 = 25,2 \text{ kHz}$$

Sedangkan untuk channel perorangan rata-rata sebesar 4,8 kBps termasuk FEC. Untuk pelayanan suara (*voice*), *vocoder rate* sebesar 3,6 kHz (rate  $\frac{3}{4}$ , viterbi  $L = 7$ ). BER sebesar 4% dan C/No yang digunakan 48 dBHz.

Untuk pelayanan data menggunakan rate coding  $\frac{1}{2}$  dengan *vocoder rate* 2,4 kBps, BER (*after coding*) sebesar  $10^{-5}$  dan C/No yang digunakan 50,6 dBHz. Data diatas 2400 bps akan menggunakan beberapa *channel trafik*. Hal ini dapat kita lihat pada tabel 10.14 berikut ini.

Tabel 10.14 Format sinyal untuk voice dan data

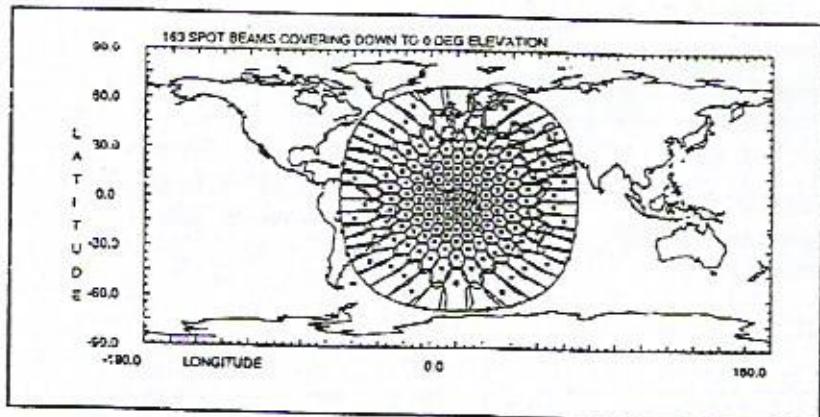
Signal format	Voice	Data
Net bit rate	3,6 kBps	2,4 kBps
Coding	Rate $\frac{3}{4}$ , viterbi L=7	Rate $\frac{1}{2}$ , viterbi L=7
Coded bit rate	4,8 kBps	4,8 kBps
Framing/In-band signaling	1,2 kBps	1,2 kBps
TDMA rate (6 slot)	36 kBps	36 kBps
E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	1,9 dB, 4% BER	4,5 dB, 10 <sup>-5</sup> BER
Margin	0,5 dB	0,5
C/No	48 dBHz	50,6 dBHz

Disini terlihat bahwasanya dengan perkembangan teknologi kompresi dan sistem modulasi QPSK dan sistem FEC dapat meningkatkan efisiensi penggunaan transponder dan penurunan C/No.

#### Perencanaan Service Link (S-band)

Perencanaan pada service link tidak terlepas dari pembentukan *antenna array*, dimana TX maupun RX membentuk 163 beam dalam daerah coverage dalam bentuk kisi-kisi hexagonal yang akan membentuk pola diatas bumi seperti gambar 10.33.

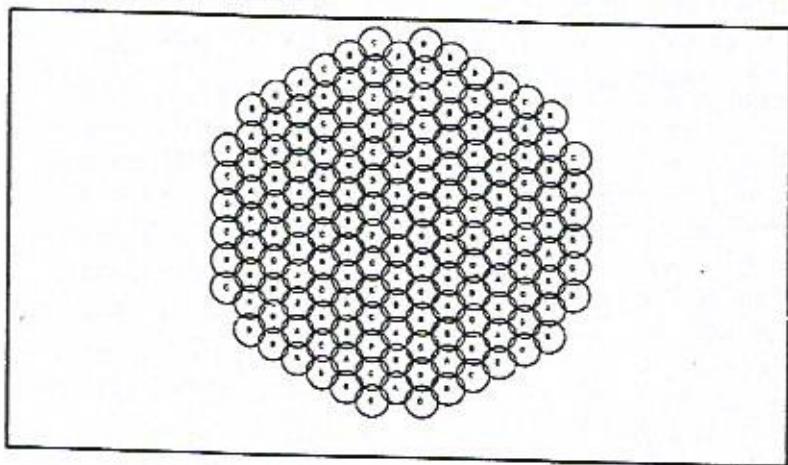
Pusat dari sel-sel menjadi sentral dari garis yang membentuk -3 dB pada setiap beamnya. *Beam sidelobe* dikontrol agar frekuensi reuse dari 4 sel dalam 163 spot beam membentuk pola seperti gambar diatas (gambar 10.33), yang mempunyai 19 tipe beam yang membentuk urutan berdasarkan tingkatan jarak angguler dari nadir. Setiap tipe beam memiliki *path delay* dengan range yang sama sekitar 10% doppler dalam range yang sama.



Gambar 10.33  
Coverage Spot Beam dari Satelit ICO

#### *Perencanaan frekuensi*

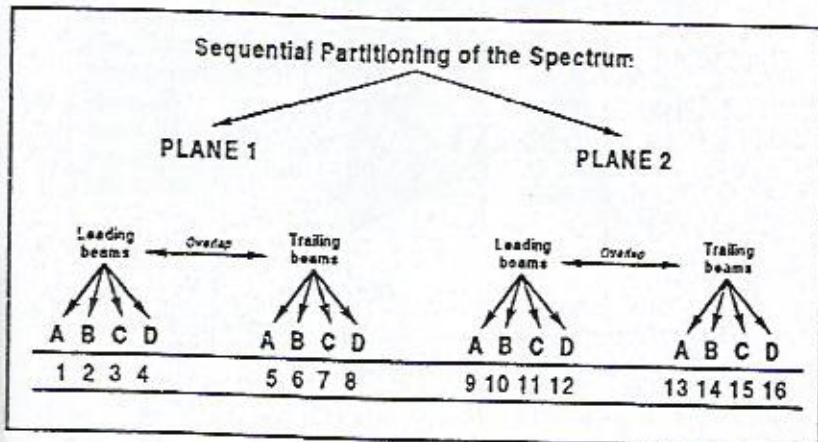
Perencanaan frekuensi pada satelit ICO dibuat untuk konstelasi dari 10 satelit dalam 2 orbit, dimana setiap satelit memiliki 163 spot beam tetap yang mengcover seluruh area dengan frekuensi pola reuse 4 sel seperti yang terlihat pada gambar 10.34 dibawah ini.



Gambar 10.34  
Pola 4 sel frekuensi reuse

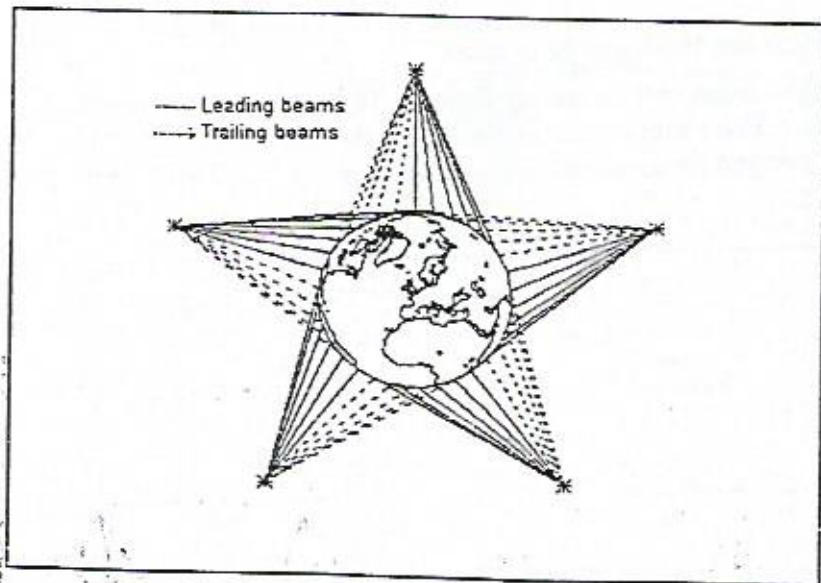
Untuk konstelasi 12 satelit bisa diperoleh dengan pola perencanaan frekuensi yang sama.

Spektrum mobile dibagi menjadi 16 blok frekuensi seperti gambar 10.35 dimana untuk setiap satelit dialokasikan pada 8 blok dengan perincian blok 1 – 8 untuk jalur 1 dan 9 – 16 untuk jalur 2.



Gambar 10.35  
Pembagian blok frekuensi

Posisi lintasan dari kelima satelit relatif tidak berubah. Jumlah beam 163 beam setiap satelit dibagi kedalam 2 grup mengikuti leading dan trailing dari setiap sudut pandang. Gambar 10.36 melukiskan *leading edge* dari kelima satelit yang tidak saling tumpang tindih dan begitu juga untuk kelima *trailing edge*. Oleh karena itu, 8 blok yang sedianya untuk lintasan 1 diatur menjadi 2 sub plan yang terpisah, 1 untuk *leading beam* (blok 1 – 4) dan yang lainnya untuk *trailing beam* (blok 5 – 8). Pembagian yang sama berlaku untuk lintasan 2. Dengan cara ini dapat dihindarkan *interferensi cochannel* antar beam satelitnya.



Gambar 10.36  
Leading dan Trailing beam pada sub-pans.

#### *Analisis perhitungan Link Budget*

Perhitungan link budget perlu dilakukan agar perangkat dapat menjadi lebih optimal sesuai dengan kebutuhan yang dimulai dengan perhitungan EIRP, perhitungan terhadap penguatan dan berapa besar loss dalam pengiriman sinyal serta untuk menyatakan kekuatan mutu dari sinyal penerima ( $C/N$ ).

Tabel 10.15 Typical Return Link Budget untuk sudut 90°

RETURN LINK BUDGET				
		TCH	RACH	SDCCH
<b>Uplink</b>				
Uplink Frequency	GHz	2,01	2,01	2,01
UT Elevation	deg	90	90	90
UT EIRP/carrier	dBw	2,76	6,8	2,76
Free Space Path Loss	dB	178,81	178,81	178,81
Atmospheric Loss	dB	0,1	0,1	0,1
Uplink pfd	dBW/m <sup>2</sup>	-148,54	-144,5	-148,54
Satellite G/T	dB/K	4,8	4,8	4,8
Propagasi Margin	dB	8	18	16
Uplink C/No	dB/Hz	49,25	43,29	41,25
<b>Downlink</b>				
Downlink Frequency	GHz	7,03	7,03	7,03
SAN Elevation	deg	90	90	90
Return Transponder Gain	dB	179,5	179,5	179,5
Satellite EIRP/carrier	dBW	-4,65	-10,61	-12,65
Path Loss	dB	189,68	189,68	189,68
System Noise Temperature	K	147,9	147,9	147,9
SAN G/T	dB/K	31	31	31
Propagasi Margin	dB	0	0	0
Downlink C/No	dB/Hz	65,27	59,31	57,27

Tabel 10.16 Typical Foward Link Budget untuk sudut 90°

FORWARD LINK BUDGET				
		TCH	RACH	SDCCH
<b>Uplink</b>				
Uplink Frequency	Ghz	5,2	5,2	5,2
SAN Elevation	deg	90	90	90
SAN EIRP/carrier	dBw	43,78	47,99	43,78
Free Space Path Loss	dB	187,06	187,06	187,06
Receive pfd	dBW/m <sup>2</sup>	-107,52	-103,3	-107,52
Satellite Feeder Link G/T	dB/K	-21,2	-21,2	-21,2
Propagasi Margin	dB	0	0	0
Uplink C/No	dB/Hz	64,11	68,33	64,11

		TCH	RACH	SDCCH
<b>Downlink</b>				
Downlink Frequency	GHz	2,2	2,2	2,2
UT Elevation	deg	90	90	90
Forward Transponder Gain	dB	175,5	175,5	175,5
Satellite EIRP/carrier	dBW	32,21	36,43	32,21
Free Space Path Loss	dB	179,59	179,59	179,59
Atmospheric Loss	dB	0,1	0,1	0,1
System Noise Temperature	K	151,4	151,4	151,4
UT G/T	dB/K	-23,8	-23,8	-23,8
Propagasi Margin	dB	8	18	16
Downlink C/No	dB/Hz	49,32	43,53	41,32

### *Analisis Traffic Channel (TCH) antara Gateway dan Satelit Downlink 7 GHz dan Uplink 5 GHz*

Untuk hubungan antara stasiun bumi dan satelit, pada antena sistem ada beberapa parameter yang perlu diketahui:

- ◆ Frekuensi sistem 5 GHz Uplink dan 7 GHz Downlink;
- ◆ Banyak antena 5 buah;
- ◆ Diameter antena 7,6 m;
- ◆ Tracking range 360° pada azimut dan 5° sampai 90° pada elevasi;
- ◆ G/T penerima pada 7 GHz lebih besar dari 31 dB/K.

#### *Downlink*

Gain pada downlink didapat dengan cara:

$$G = 20 \log D(m) + 20 \log f(\text{GHz}) + 10 \log \eta + 20,40 \\ = 20 \log 7,6 + 20 \log 7 + 10 \log 0,55 + 20,4 = 52,3$$

Free space loss, dapat dicari dengan cara :

$$L_{\text{dB}} = 32,4 + 20 \log D(\text{km}) + 20 \log f(\text{MHz}) = 189,6 \text{ dB}$$

Untuk menentukan kinerja sistem penerima, maka perlu perhitungan terhadap G/T sistem.

$$G/T = G - 10 \log T_r$$

dimana  $T_r$  untuk 7 GHz = 147,9°K

sehingga didapat G/T sebesar = 52,3 - 21,7 = 30,7 = 31 dB.

*Carrier to noise density ratio (C/No)* untuk 7 GHz adalah sebagai berikut:

$$C/T = EIRP - L_{FS} + G/T$$

sedangkan diketahui EIRP percarrier dari satelit = -4,65 dBW

sehingga  $C/T = -4,65 - 189,68 + 31 = -163,33 \text{ dBK}$

atau  $C/No = C/T + 228,6 = 65,27 \text{ dB/Hz}$

### *Uplink*

Untuk uplink dapat dicari gain antena sebesar:

$$G = 20 \log 7,6 + 20 \log 5 + 10 \log 0,55 + 20,4 = 49,3 \text{ dB}$$

Sedangkan penerimaan per unit area sebesar:

$$W = EIRP - 20 \log S(\text{km}) - 71 \text{ (dBW/m}^2\text{)}$$

dimana; EIRP = 43,78 dBW dan  $S = 10355 \text{ km}$

maka;  $W = 43,78 - 20 \log 10355 - 71 = -107,52 \text{ dBW/m}^2$

Dan untuk free space loss didapat sebesar:

$$L_{dB} = 32,24 + 20 \log 10355 + 20 \log 5200 = 187,06 \text{ dB}$$

Untuk kinerja link C/No didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C/No &= EIRP - L_{FS} - G/T + 228,6 = 43,78 - 187,06 - 21,20 + \\ &228,6 = 64,11 \text{ dB/Hz}, \text{ karena } G/T \text{ satelit didaerah frekuensi} \\ &\text{ini adalah } -21,20 \text{ dB} \end{aligned}$$

Hubungan antara satelit dengan stasiun bumi dapat didesign lebih teliti (dengan margin 0), karena posisi stasiun bumi lebih bisa dipilih yang ideal, dan adanya antena tracking, sehingga kinerja stasiun bumi tetap selama mengikuti satelitnya.

Perbedaan yang besar dalam harga C/No dari link satelit ke stasiun bumi (65 dB) dibanding satelit ke terminal satelit (49 dB), menunjukkan bahwa kinerja hubungan praktis hanya bergantung kepada link antara satelit dan terminal.

## *Analisis Traffic Channel (TCH) antara Terminal Bergerak dan Satelit, Downlink dan Uplink pada frekuensi 2 GHz*

### *Downlink*

Diketahui untuk terminal bergerak:

$$G/T = -23,8 \text{ dB/K}$$

$$T_r = 151,4^\circ\text{K}$$

$$\text{EIRP}_{\text{Satelit}/\text{carrier}} = 32,21 \text{ dBW}$$

Sehingga didapat gain antena sebesar:

$$G/T = G - 10 \log T_r$$

$$-23,8 = G - 10 \log 151,4 \rightarrow G = -2 \text{ dB}$$

Free space loss, dapat dicari dengan cara:

$$L_{\text{dB}} = 32,4 + 20 \log D(\text{km}) + 20 \log f(\text{MHz}) = 179,59 \text{ dB}$$

Untuk mendapat kinerja linknya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C/\text{No} &= C/KT = \text{EIRP} - L_{\text{PS}} + G_r/T - L - K (\text{dB}) \\ &= 32,21 - 179,59 - 23,8 - 8 + 228,6 = 49,32 \text{ dB/Hz} \end{aligned}$$

Untuk output back off (OBO) didapat dengan cara:

$$\text{EIRP} = 58 \text{ dBW}$$

$$\text{EIRP}/\text{carrier} = 32 \text{ dBW}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga OBO} \rightarrow \text{EIRP}/\text{carrier} &= \text{EIRP} - \text{OBO} \\ &= \text{EIRP} - \text{EIRP}/\text{carrier} \\ &= 58 \text{ dBW} - 32 \text{ dBW} \\ \text{OBO} &= 26 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan back off gabungan sekitar 3 dB, jumlah carrier perring sekitar 23 dB atau 200 carrier setiap ringnya, atau sekitar 6 carrier perspot atau 36 saluran/spot yang berarti sekitar  $163 \times 36 = 5868$  saluran per satelit. Menurut data, efektifnya hanya sekitar 4500 saluran.

Dengan perkiraan gain antena penerima bisa hingga -2 dB dan margin masih 8 dB, komunikasi antara satelit dengan terminal bergerak cukup baik, dari segi sudut elevasi (gain -2dB) dan attenuasi lingkungan (pohon, gedung) sebesar 8 dB.

### *Uplink*

Diketahui EIRP handset sebesar -4 dBW sampai 6,8 dBW, EIRP untuk uplink dalam perhitungan sebesar 2,76 dBW dengan gain antena (*quadrifilar helix*) sekitar 2 dB, harga ini merupakan harga rata-rata dengan daya sekitar 1 watt.

Dalam komunikasi dengan handheld, memang dalam arah penerimaan lebih sensitif dibanding arah pengiriman, karena diharapkan setelah mendengar nada panggil, pelanggannya akan mencari lokasi yang lebih terbuka untuk melakukan pembicaraan.

Untuk kinerja link satelit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{C/No} &= \text{EIRP} - L_{\text{fs}} + G/T - L - K \text{ (dB)} \\ &= 2,76 - 178,81 + 4,8 + 228,6 + 187,06 \\ &= 49,25 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dari link budget terlihat untuk saluran signalling dan kontrol, diberi link margin yang lebih besar untuk menjaga kehandalan sistemnya. Margin yang lebih besar diperoleh dengan meningkatkan daya pancar dan/atau penggunaan saluran dengan bit rate yang lebih rendah.

Kanal-kanal RACH (*Random Access Channel*), BCCH (*Broadcast Control Channel*), SDCCH (*Stand Alone Dedicated Control Channel*), adalah kanal-kanal signaling dan kontrol yang diperlukan dalam managemen trafik.

### *Antena multibeam*

Prosesor digital membentuk 163 spot beam dengan mengatur amplitudo dan koefisien fasa sebanyak 127 elemen untuk setiap beamnya. Koefisien pembangkit didapat dengan

menggunakan sistem kalibrasi sendiri pada satelit, dimana sebuah *feed external* mendeteksi adanya koefisien pembangkit dalam setiap elemen. Dengan demikian, satelit dapat menjaga kinerja *beam spot* baik *main lobe* maupun *side lobe*. Pada perhitungan di bawah ini terlihat dari 127 SSPA yang memberikan power pada setiap beam sebagai berikut:

$$\text{Jumlah SSPA} = 127 \text{ SSPA}$$

$$\text{Jumlah ring} = 5$$

Maka didapat sekitar 25 SSPA pada setiap ringnya. Sedangkan total daya SSPA tiap ringnya sebesar 28,5 dBW atau sebesar 700 watt, sehingga didapat sebesar 28 watt (14,47 dBW) untuk tiap SSPA-nya atau daya total persatelit sekitar 3500 watt.

Sedangkan dari 127 elemen antena membentuk 5 ring dengan setiap ringnya punya gain sebesar 30 dB, sehingga didapat perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Array gain rata-rata} = 29 \text{ dB (tabel 10.12)}$$

$$\text{Jumlah elemen per ring} 25 \text{ buah atau} = 14 \text{ dB}$$

---

$$\text{Sehingga gain per antena} = 15 \text{ dB}$$

Hal ini dapat dicapai jika setiap antena terdiri dari 7 putaran (*turn*), sehingga *axial length antena* diperkirakan  $7 \times 3,4' = 22,8$  cm. Jadi, setiap 25 elemen dari array akan membentuk 1 buah beam, sehingga untuk 163 spot beam yang ada akan menghasilkan 5 ring, dimana setiap ringnya akan dibentuk oleh rata-rata 35 beam dengan detail sebagai berikut:

- Ring 5 = 36 spot
- Ring 4 = 36 spot
- Ring 3 = 30 spot
- Ring 2 = 24 spot
- Ring 1 = 36 spot

Untuk menganalisis sudut tiap-tiap ring dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

$$\frac{H + R_E}{\sin \left( 180 - \frac{\theta_0}{2} - \frac{\beta}{2} \right)} = \frac{R_E}{\sin \frac{\theta_0}{2}}$$

$$\sin \frac{\theta_0}{2} = \frac{R_E}{H + R_E} \left[ \sin \frac{\theta_0}{2} \cos \frac{\beta}{2} + \cos \frac{\theta_0}{2} \sin \frac{\beta}{2} \right]$$

$$\sin \frac{\theta_0}{2} \left[ 1 - \frac{R_E}{H + R_E} \cos \frac{\beta}{2} \right] = \cos \frac{\theta_0}{2} \sin \frac{\beta}{2} \frac{R_E}{H + R_E}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} = \frac{\sin \frac{\beta}{2} \frac{R_E}{H + R_E}}{1 - \frac{R_E}{H + R_E} \cos \frac{\beta}{2}}$$

Sehingga rumus umum :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\frac{R_E}{H + R_E} \sin \frac{2n+1}{2} \beta}{1 - \frac{R_E}{H + R_E} \cos \frac{2n+1}{2} \beta}$$

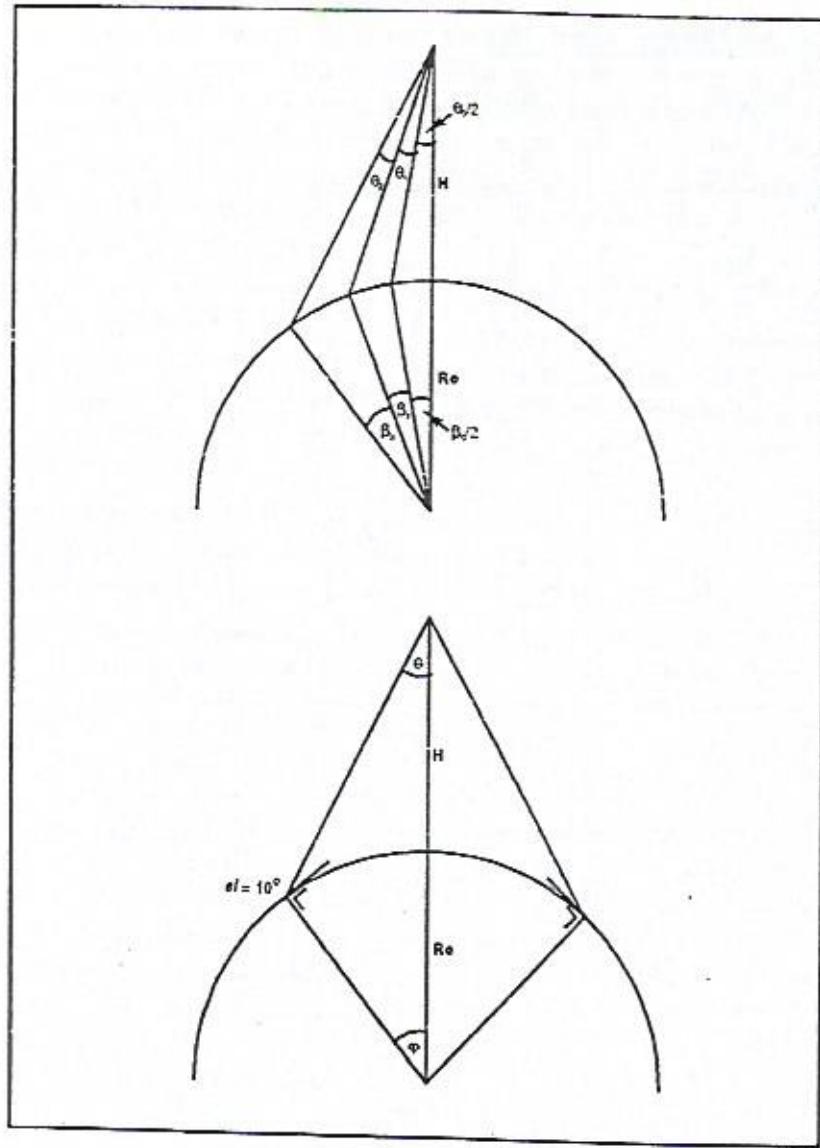
Jadi :

$$\theta_n = \operatorname{arctg} \frac{\frac{R_E}{H + R_E} \sin \frac{2n+1}{2} \beta}{1 - \frac{R_E}{H + R_E} \cos \frac{2n+1}{2} \beta} - \sum_{k=1}^{n-1} \theta_k - \frac{\theta_0}{2}$$

$$\text{Dimana sudut puncak total } \theta : \frac{R_E}{\sin \theta} = \frac{H + R_E}{\sin(90 + el)}$$

$$\sin \theta = \frac{R_E}{H + R_E} \operatorname{cosec} \theta = \frac{6378}{6378 + 10355} \cos 10^\circ = 0,37$$

$$\theta = 21,7^\circ$$



**Gambar 10.37**  
Pembentukan sudut antara satelit dengan bumi

Untuk  $\phi$  didapat dari:  $180 - (\theta + 90 + \epsilon\ell)$ , dimana  $\phi = 58,3^\circ$  dengan 7,5 ring, sehingga  $\beta$  didapat sebesar  $7,78^\circ$  ( $58,3^\circ$  sudut  $7\frac{1}{2}$  ring).

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} = \frac{\sin \frac{\beta}{2} \frac{R_e}{H + R_e}}{1 - \frac{R_e}{H + R_e} \cos \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin \frac{7,78}{2} \frac{6378}{16733}}{1 - \frac{6378}{16733} \cos \frac{7,78}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \theta = 0,0403$$

$$\frac{\theta_0}{2} = 2,3^\circ$$

Dari  $\operatorname{tg} \theta = \frac{\frac{R_e}{H + R_e} \sin \frac{2n+1}{2} \beta}{1 - \frac{R_e}{H + R_e} \cos \frac{2n+1}{2} \beta}$  dapat diperoleh:

### *Ring 1*

- Untuk  $n = 1$ ,  $\operatorname{tg} \theta_1 = 0,12$ ,  $\theta_1 = 6,84^\circ \rightarrow \theta_1 = 6,84 - 2,3 = 4,34^\circ$
- Untuk  $n = 2$ ,  $\operatorname{tg} \theta_2 = 0,19$ ,  $\theta_2 = 10,75^\circ \rightarrow \theta_2 = 10,75 - 6,84 = 3,91^\circ$
- Untuk  $n = 3$ ,  $\operatorname{tg} \theta_3 = 0,26$ ,  $\theta_3 = 14,6^\circ \rightarrow \theta_3 = 14,6 - 10,75 = 3,85^\circ$

### *Ring 2*

- Untuk  $n = 4$ ,  $\operatorname{tg} \theta_4 = 0,32$ ,  $\theta_4 = 18^\circ \rightarrow \theta_4 = 18 - 14,6 = 3,4^\circ$

### *Ring 3*

- Untuk  $n = 5$ ,  $\operatorname{tg} \theta_5 = 0,38$ ,  $\theta_5 = 20^\circ \rightarrow \theta_5 = 20 - 18 = 2^\circ$   
dan begitu seterusnya untuk ring 4 dan ring 5.

### *Analisis Antena*

Jenis antena yang digunakan pada satelit ICO ini adalah jenis antena Helix yang berbentuk *cuffed ground plane*, seperti terlihat pada gambar 10.38 dan gambar 10.39.

Dari data-data yang ada, ukuran antenanya diperkirakan adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \text{panjang gelombang} = 15 \text{ cm}$$

$$r = \frac{15}{2\pi} = 2,38 \text{ cm}, \text{ sehingga diameter dari antena Helix adalah, } D = 4,76 \text{ cm}$$

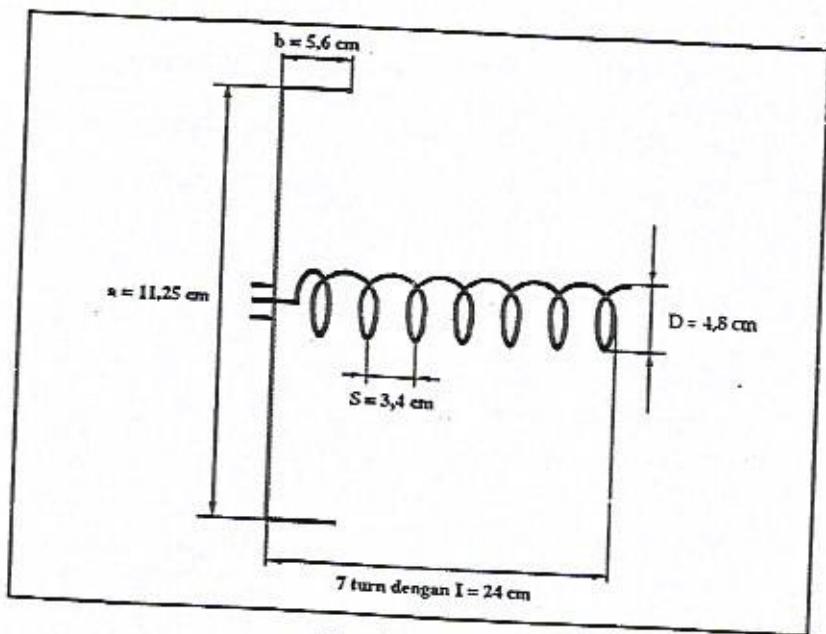
$$\text{Circumference of Helix, } C = \pi D = \pi \cdot 4,76 = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Spacing between turn, } S = 0,225\lambda = 0,225 \times 15 = 3,4 \text{ cm}$$

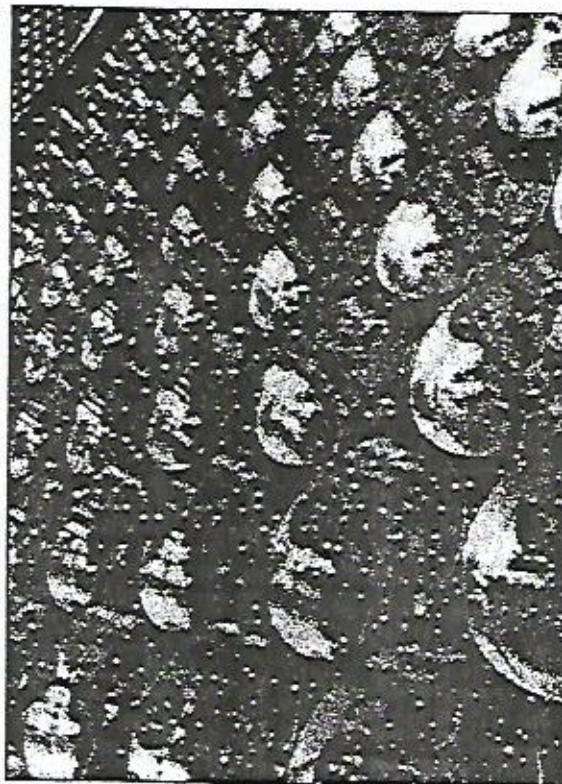
$$\text{Sehingga length of turn, } L = \sqrt{S^2 + C^2} = \sqrt{(3,4)^2 + (15)^2} \\ = 15,4 = 15 \text{ cm}$$

Dari hasil S dan C didapat pitch angle sebesar,

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{S}{C} = 12,8^\circ$$



Gambar 10.38  
Antena Helix pada Satelit ICO

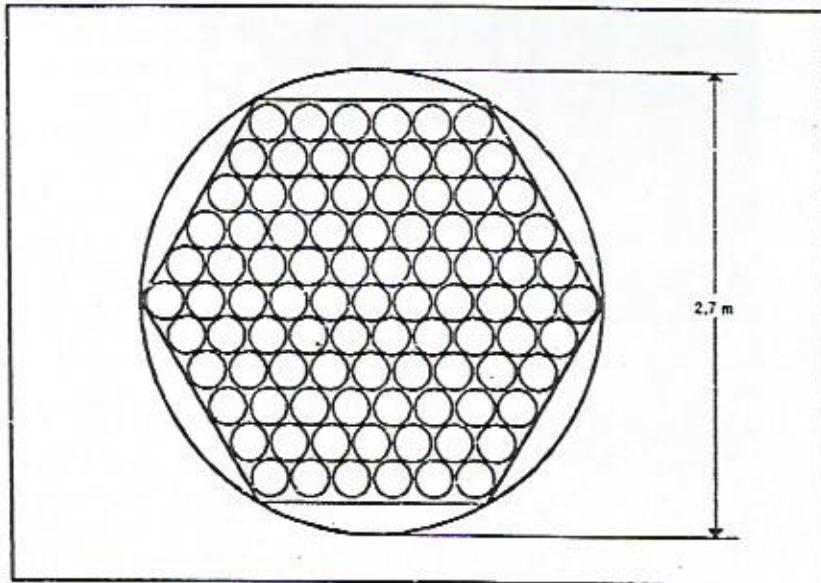


Gambar 10.39  
Susunan Antena Helix Satelit ICO

Sedangkan untuk ukuran antena satelit baik itu TX maupun RX didapat dari ukuran beam width sebesar  $3,860^\circ$ , yaitu dengan diameter sekitar 2,7 meter.

$$\theta^\circ = 70 \frac{\lambda}{D}$$

$$D = \frac{70 \times 0,15}{3,860^\circ} = 2,7 \text{ m}$$



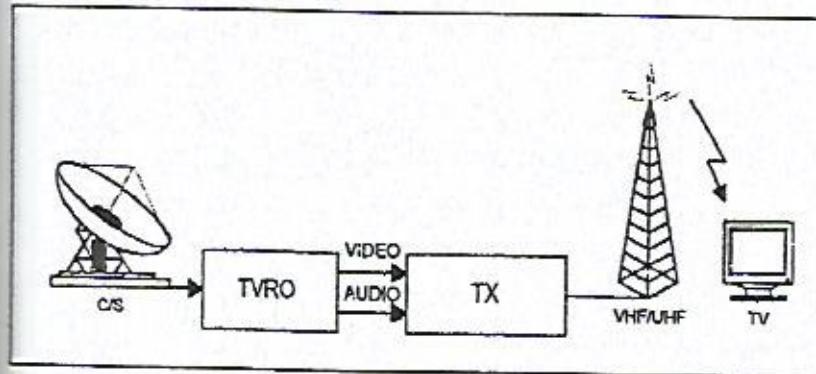
**Gambar 10.40**  
**Diameter Antena Satelit (TX dan RX)**

# Direct Broadcast Satellite (DBS)

## 1. UMUM

Satelit komunikasi sebagai sarana transmisi sinyal TV secara komersial digunakan pada tahun 1968. Satelit tersebut dipakai untuk siaran langsung (*live*) liputan siaran Olimpiade dari Tokyo ke USA. Sejak itu pemakaian satelit untuk sarana penyiaran (*broadcasting satellite*) meningkat dengan tajam.

Dalam sistem ini, sinyal diterima oleh suatu stasiun induk penerima (TVRO) dengan antena penerima yang agak besar, dan dipancarkan kembali dengan gelombang VHF/UHF (*rebroadcast*), yang diterima oleh pesawat-pesawat televisi biasa, seperti terlihat dalam gambar 11.1.



Gambar 11.1  
Prinsip Kerja Pemancar Induk dengan TVRO

Pada awalnya, penerima satelit untuk TV atau *Television Receive Only* (TVRO) menggunakan antena besar dan *Low Noise Amplifier* (LNA) yang mahal. Dengan keadaan ini harga TV receiver untuk satelit menjadi mahal. Dengan perkembangan teknologi di bidang komponen elektronika, harga komponen elektronik menjadi lebih murah. Disamping itu, kinerja (*performance*) komponen-komponen tersebut meningkat pula, sehingga daya pancar satelit meningkat dan dimensi antena menjadi lebih kecil. Usaha menurunkan harga dan dimensi antena penerima terus dilaksanakan agar dimensi antena menjadi lebih kecil sehingga dapat dipasang di rumah-rumah (*Direct to Home - DTH*). Usaha tersebut antara lain dengan memperbesar daya pancar transponder, penggunaan frekuensi yang lebih tinggi, dan menekan *noise figure* dari LNA. Dalam tabel 11.1 diperlihatkan beberapa satelit yang beroperasi di kawasan Asia Timur yang juga digunakan untuk siaran-siaran televisi yang langsung diterima di rumah-rumah dengan ukuran antena sekitar 3 m.

Tabel 11.1 Satelit-satelit di Kawasan Asia Timur

Nama Satelit	Frekuensi	Longitude	Beroperasi
Thaicom - 2	10 C-band, 2 Ku-band	78,5° E	Okttober 1994
PAS-2	16 C-band, 16 Ku-band	169° E	Juli 1994
Apstar-1	24 C-band, 4 Ku-band	138° E	Juli 1994
PAS-4	16 C-band, 24 Ku-band	68,5° E	Agustus 1995
Rimsat 1	6 C-band, 7 Ku-band	130° E	Nopember 1993
Rimsat 2	6 C-band, 7 Ku-band	142° E	Mei 1994
Intelsat 701	42 C-band, 10 Ku-band	180° E	Okttober 1993
Palapa C-1	24 C-band, 4 Ku-band	113° E	Januari 1996
AsiaSat2	24 C-band, 9 Ku-band	100,5° E	Nopember 1995
Palapa C-2	24 C-band, 4 Ku-band	115,5° E	Juli 1994

Sistem DTH ini di Indonesia terkenal dengan nama "antena parabola", sebenarnya sudah cukup memadai sebagai sistem penerima langsung serta sudah agak luas pemanfaatannya.

Pada saat ini harga *receiver* satelit sudah cukup rendah dan sudah terjangkau oleh masyarakat luas terutama di negara-negara maju. Demikian pula dengan dimensi antena penerima, sudah dapat ditekan dengan menaikkan daya pancar transponder menjadi 120 - 300 watt, menurunkan temperatur derau LNB dan kompresi sinyal videonya. Hal ini memungkinkan Sistem Direct Broadcast (DBS) dapat diterapkan. Dalam sistem DBS, program siaran TV dapat langsung diterima di rumah-rumah dengan ukuran antena yang kecil (<1m). Tabel 11.2 memperlihatkan beberapa satelit DBS yang sudah beroperasi.

Tabel 11.2 Satelit DBS untuk Broadcasting

Satelit	Pemilik	Keterangan
CTS (Canadian Communication Satellite)	Canada	beroperasi sebelum ANIK
EKRAN	Rusia	terdiri dari 6 satelit
BSE	Jepang	digunakan untuk menyiarluarkan siaran-siaran HDTV
INSAT	India	Sistem satelit serba guna
ARABSAT	Arab	sistem satelit regional untuk negara-negara Arab
TDF-1 dan TDF-SAT	Jerman	kerja sama Perancis dan Jerman
AUSSAT	Australia	
RTL-ASTRA	Luxemburg	Siarannya mencakup Eropa barat
BSB dan SKY	Inggris	siaran DBS yang mencakup ASEAN
INDO STAR (CAKRAWARTA)	PT. Media Citra Indostar (Indonesia)	
DIREC TV/USSB	Amerika Serikat	3 satelit (DBS1, 2, 3) dengan 32 Xpndr dan 170 saluran
Prime Star	Amerika Serikat	90 saluran dengan beberapa satelit STATCOM
Echo Star	Amerika Serikat	70 saluran dari 21 Xpndr

Dari uraian di atas dapat dilihat bahwa kelebihan dan kekurangan sistem DBS adalah sebagai berikut:

*Kelebihan:*

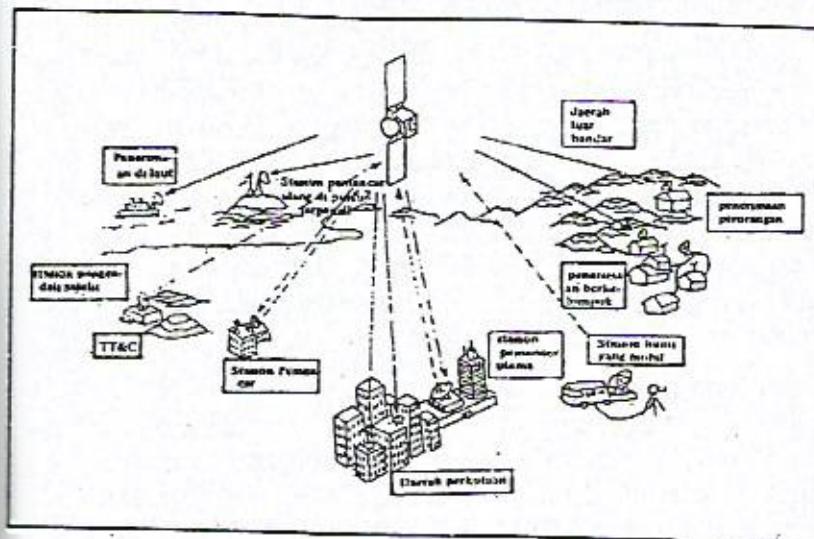
- a) Penguatan untuk antena penerima parabola yang ada di bumi cukup kecil, sehingga bisa menggunakan antena parabola dengan diameter relatif kecil.
- b) Dengan sistem DBS dimungkinkan pengadaan siaran televisi dengan tingkat ketajaman tinggi (HDTV), karena mempunyai lebar pita yang besar.
- c) DBS mampu menghindari efek "spill over" (peluberan), karena DBS dapat mempersempit daerah cakupan (misalnya negara tertentu).
- d) DBS tidak memerlukan pemancar ulang melalui media transmisi sekunder seperti transmittter terrestrial atau jaringan distribusi kabel.
- e) Dapat menjangkau daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh sistem komunikasi biasa.
- f) Harga sistem penerima DBS masih lebih murah dibanding dengan TVRO.

*Kekurangan:*

- a) Harga penerima DBS masih lebih mahal dibanding penerima TV biasa (*rebroadcast*).
- b) Karena sifat penyiaran yang terpusat, maka DBS tidak bisa mengakomodir siaran-siaran regional atau daerah.
- c) Karena daya pancar yang dibutuhkan cukup besar, maka sistem DBS memerlukan biaya investasi yang cukup besar pula.

## 2. SISTEM

Sistem DBS terdiri dari *ground segment* dan *space segment*. *Ground segment* terdiri dari *main station*, *TTC* dan *receiver*. Sedangkan *space segment* terdiri dari satelit dan peralatannya. Gambar 11.2 menggambarkan suatu sistem DBS.



Gambar 11.2  
Sistem DBS

Dalam sistem DBS ini, sinyal televisi yang dipancarkan oleh satelit langsung diterima di rumah-rumah khalayak pemirsa dengan antena yang cukup kecil. Sedangkan di pihak pemancar ada beberapa sub-sistem.

Studio sebagai sumber acara bertugas menyiapkan mata acara yang akan disiarkan. Studio ini kurang lebih mirip dengan studio televisi yang biasa. Acara yang akan disiarkan bisa berasal dari tape, adegan langsung ataupun siaran luar (OB) seperti biasa, bahkan dari satelit lain yang diterima dengan TVRO. Sinyal yang siap disiarkan dari studio

diteruskan ke Stasiun Induk Utama melalui kabel koaksial atau radio link.

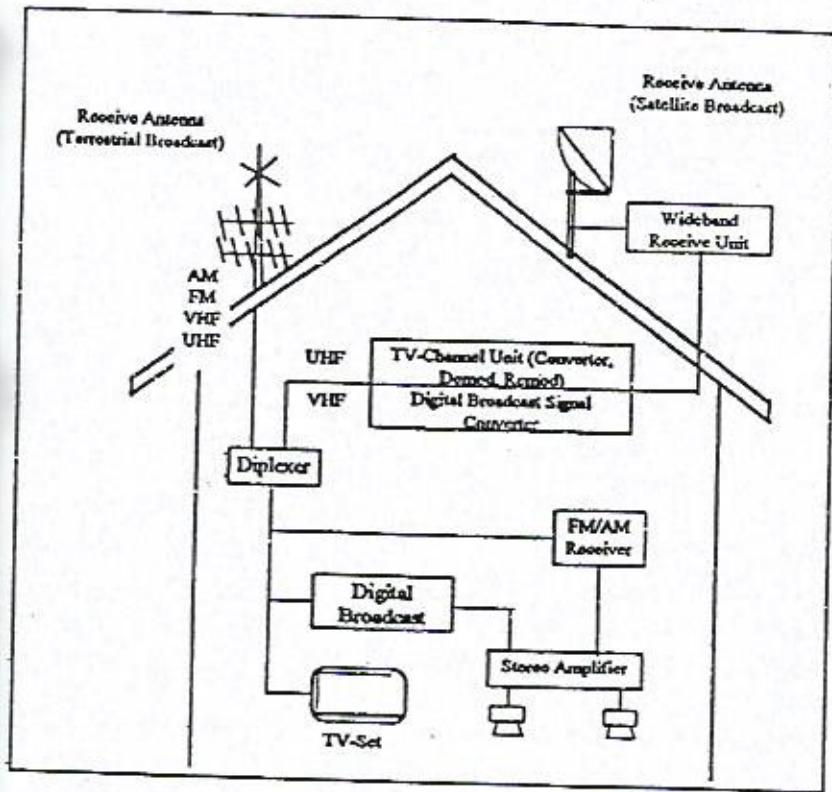
Stasiun induk utama dalam sistem DBS merupakan satu-satunya stasiun yang mempunyai kemampuan memancarkan informasi ke arah satelit. Pada prinsipnya, stasiun-stasiun lainnya hanya merupakan penerima saja.

Adakalanya di stasiun induk utama selain subsistem yang berkaitan langsung dengan siaran televisi, juga terdapat subsistem yang berfungsi mengontrol jaringan yang berhubungan dengan pemirsa atau langganan seperti menghalangi penerima-penerima yang belum bayar untuk dapat menerima siaran dengan baik (karena sinyal-sinyal televisinya diacak), melayani permintaan *Video on Demand* (VOD) dan lain-lain. Pengontrol jaringan ini dapat juga ditempatkan bersama-sama dengan stasiun induk utama.

Untuk mengontrol satelitnya sendiri, diperlukan stasiun pengontrol TT & C. Stasiun ini khusus untuk mengontrol dan memantau satelit seperti posisi satelit, kondisi satelit dan lain-lain (*station keeping*). Pada dasarnya, stasiun ini bertugas mengawasi satelit agar dapat berfungsi dengan baik untuk waktu yang selama mungkin.

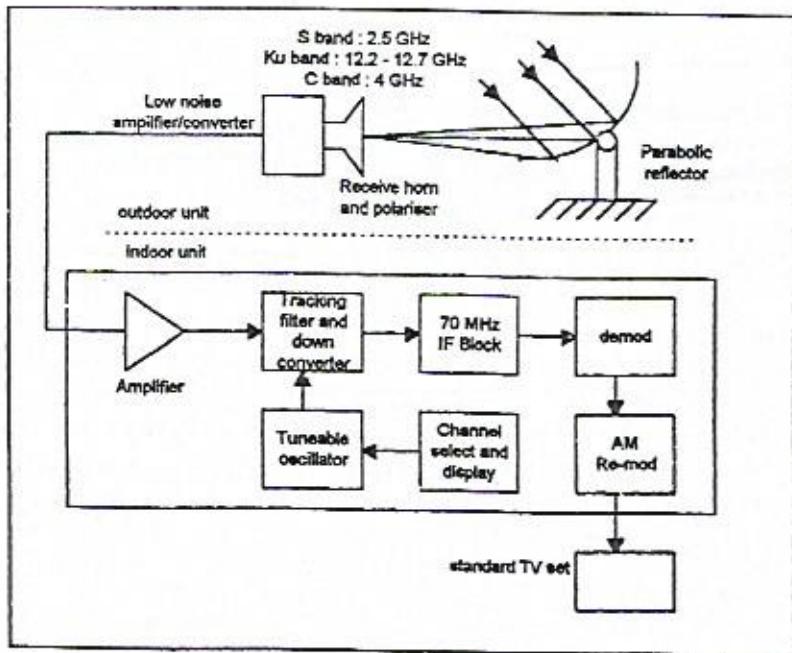
Siaran dari satelit diterima langsung di rumah dengan sistem yang cukup sederhana seperti ditunjukkan pada gambar 11.3. Sistem penerima terdiri dari dua bagian yaitu bagian luar (*outdoor unit - ODU*) dan bagian dalam (*indoor unit - IDU*). Untuk memperbanyak pilihan saluran, pesawat penerima di rumah-rumah masih tetap dapat menerima siaran televisi melalui frekuensi-frekuensi pancar di daerah VHF maupun UHF bahkan siaran radio AM dan FM.

Pada dasarnya, sinyal yang telah didemodulasi baik itu analog maupun digital, agar dapat diterima oleh pesawat penerima TV biasa, harus diremodulasi lebih dahulu ke frekuensi VHF/UHF dengan modulasi AM.



Gambar 11.3  
Sistem Penerima TV DBS

Secara lebih detail, diagram blok kerja penerima televisi DBS-nya diperlihatkan di gambar 11. 4.



Gambar 11.4  
Blok Diagram Sistem Penerima TV DBS

## 2.1 Bagian Luar (Outdoor Unit)

Bagian luar ini terdiri dari antena penerima yang secara langsung memberi sinyal ke kombinasi *low-noise amplifier/convertor* (LNA/C=LNB). Antena yang digunakan adalah antena parabola dengan *horn* penerima yang ditempatkan pada fokus antena. Diameter parabola adalah antara 0,6 - 1,6 meter (1,97 - 5,25 ft), sedangkan yang lebih sering dipakai adalah parabola dengan diameter 0,9 dan 1,2 meter (2,95 dan 3,94 ft). Untuk DBS dalam Ku-band, LNB dengan sistem temperatur sekitar 400 K, memberikan penguatan pada sinyal 12 GHz dan kemudian mengkonversi sinyal tersebut menjadi sinyal dengan frekuensi lebih rendah supaya kabel koaksial dapat digunakan untuk mengalirkan

sinyal ke sistem penerima bagian dalam. Frekuensi standar dari sinyal tersebut adalah 950-1450 MHz. Kabel koaksial digunakan juga untuk mencatut daya DC ke bagian luar dan kontrol *polarization-switching*.

## 2.2 Bagian Dalam (Indoor Unit)

Sinyal 950 - 1450 MHz yang masuk, dikuatkan dan dilewatkan ke *filter tracking* yang akan memilih saluran yang diinginkan. Hal ini mudah saja bagi *filter tracking* selama saluran-saluran alternatif dipisahkan secara baik pada daerah frekuensinya.

Saluran yang dipilih kembali diturunkan dari 950 -1450 MHZ ke frekuensi selanjutnya yang ditetapkan, biasanya 70 MHz, nilai lain dalam jangkauan VHF juga digunakan. Penguat 70 MHz menguatkan sinyal sampai level tertentu untuk demodulasi. Selanjutnya, diikuti oleh *descrambler* yang menjaga agar hanya langganan yang sudah bayar yang bisa menerima.

Perbedaan antara TV DBS dan TV konvensional adalah DBS menggunakan *frekuensi modulasi* (FM) atau sistem digital dengan BPSK atau QPSK, sedangkan TV konvensional menggunakan *amplitudo modulation* (AM) dalam bentuk VSB (*vestigial side band*). Oleh karena itu, diperlukan re-modulasi sinyal ke sinyal AM.

Selain penerima individual seperti diterangkan diatas, ada juga sistem penerima kelompok (*Community Receiver*). Disini penerimanya lebih besar dan sinyal pada frekuensi saluran televisi yang biasa disalurkan melalui jaringan koaksial ke rumah-rumah anggotanya. Dalam penyaluran sinyalnya ini sistemnya sudah mirip sistem CATV (Cable TV).

## 2.3 Daerah Frekuensi DBS

Sesuai dengan rekomendasi ITU, ada beberapa daerah frekuensi yang dapat digunakan untuk sistem DBS seperti terlihat dalam tabel 11.3.

Tabel 11.3 Pita-pita Frekuensi untuk Broadcasting Satellite Service

Pita Frekuensi	Dipergunakan bersama-sama dengan	PFD dan pembatasan lain
620 - 780 MHz	Pelayanan siaran terestrial, tetap (fixed) dan mobil, termasuk pelayanan navigasi radio di "region 3", bagi sebagian pita	dari -129 hingga -113 dB (W/m <sup>2</sup> ) ber-gantung kepada sudut jatuh.
<b>2.5 GHz Region I</b>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk pelayanan: mobil aeronautic Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic, satelit eksplorasi bumi (pasif), astronomiradio, pelayanan rssi ruang angkasa	Terbatas pada sistem nasional dan regional untuk "community reception"
<b>2500 - 2665 MHz</b>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic. Pelayanan satelit tetap (FSS - fixed satellite service) hubungan ke bawah (down link) Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan FSS (Uplink dan Downlink) satelit eksplorasi bumi (pasif), rssi ruang angkasa (pasif), astronomi radio.	Limit PFD: -152 hingga -137 dB (W/m <sup>2</sup> ) ber-gantung kepada sudut jatuh.
<b>Region II</b>		
2500 - 2655 MHz		
2655 - 2690 MHz		
<b>Region III</b>		
2500 - 2535 MHz	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan FSS.	Sama seperti di atas
2535 - 2655 MHz	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic.	
2655 - 2690 MHz	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan FSS (Uplink dan Downlink) satelit eksplorasi bumi (pasif), rssi ruang angkasa (pasif), astronomi radio.	

<b>12 GHz</b> <u>Region I</u>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan siaran terestrial	Menurut App. 30 pada RR
<b>11.7 - 12.5 GHz</b> <u>Region II</u>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan FSS downlink.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Terulama dialokasikan untuk BSS dengan EIRP maksimum tidak melebihi 53 dBW per channel</li> <li>Terbatas pada sistem nasional dan sub-regional</li> </ol>
<b>11.7 - 12.2 GHz</b>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan FSS downlink.	Menurut App. 30 pada RR
<b>12.2 - 12.7 GHz</b> <u>Region III</u>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan siaran terestrial.	Terbatas pada "community reception" PFD tidak lebih dari 111 dB (W/m <sup>2</sup> )
<b>11.7 - 12.2 GHz</b>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan siaran terestrial	
<b>12.5 - 12.75 GHz</b>	Pelayanan tetap dan mobil, tidak termasuk aeronautic dan FSS (downlink).	
<b>22 GHz</b> <u>Region I</u>	tidak ada alokasi	
<b>22.5 - 22.55 GHz</b> <u>Region II dan III</u>	Pelayanan tetap dan mobil	
<b>22.55 - 23 GHz</b>	Pelayanan tetap, mobil dan inter-satellite	
<b>40.5 - 42.5 GHz</b>	Pelayanan tetap dan mobil, dan siaran terestrial	
<b>84 - 86 GHz</b>	Pelayanan tetap dan mobil, dan siaran terestrial	

### 3. SISTEM PEMROSESAN SINYAL UNTUK DBS

Untuk mentransmisikan siaran televisi dengan pelayanan DBS, dari sistem yang analog telah dikembangkan dan digunakan sistem MAC di Eropa dan MUSE di Jepang. Di Amerika Serikat digunakan sistem-sistem digital *DigiCipher* dan DSS, serta di Eropa dikembangkan sistem DVB.

#### 3.1 MAC

*Direct broadcast satellite* (DBS), dimulai tahun 1990 untuk pengguna PAL dan SECAM di Eropa, menggunakan kanal di band 12-GHz dan 22-GHz. Lebar kanal yang disediakan untuk pelayanan satelit adalah 24 MHz di Amerika dan 27 MHz di Asia dan Eropa dengan menggunakan modulasi frekuensi.

Untuk menghasilkan sinyal gambar yang memadai dari gambar 625 garis, 50 fields/detik, pelayanan DBS Eropa pada kanal FM dengan lebar pita tersebut, baseband video harus dibatasi sekitar 8 MHz. Hal ini dilakukan di Eropa dengan cara *kompresi waktu* pada sinyal dengan menggunakan sebuah sistem yang dirancang khusus untuk DBS dan dikenal dengan *multiplexed analogue components* (MAC). Sistem ini mengirim sinyal luminance dan *chrominance* dalam urutan waktu, sehingga menghindari dampak campuran sinyal. Jumlah lebar pita yang diberikan pada komponen sinyal ini (dengan ruang tambahan untuk beberapa kanal suara berkualitas tinggi, data dan fungsi kontrol) tidak melampaui batas baseband satelit 8 MHz.

Sistem kompresi MAC telah mengadaptasi sinyal 625 garis 50 Hz pada batasan dari transponder satelit. Satu versi awal (B-MAC) telah digunakan oleh Australia untuk pelayanan DBS pada tahun 1985. Satu versi berikutnya (D2-MAC) telah digunakan di Eropa.

Metode kompresi waktu MAC menyesuaikan *luminance* dan *chrominance* dalam waktu garis 64  $\mu$ s dari patern 625 garis 50 Hz. Urutan dari komponen adalah sebagai berikut: segmen kedua dari setiap garis digunakan untuk *chrominance*, tetapi

dengan hanya satu sinyal selisih warna per garis, i.e. komponen R-Y dikirim pada satu garis dan komponen B-Y pada garis berikutnya. Hal ini mengurangi resolusi vertikal dari komponen chrominance.

Komponen luminance menempati dua kali waktu chrominance pada setiap garis, mengikuti segment chrominance. Awal waktu garis digunakan untuk kanal suara, sinyal sinkronisasi, data dan fungsi kontrol. Dengan demikian, resolusi horizontal dari chrominance adalah setengah dari luminance dan resolusi chrominance keseluruhan gambar adalah seperempatnya.

Kompresi waktu dilakukan dengan penyimpanan secara digital sinyal luminance dan dua sinyal chrominance dalam tiga bagian yang terpisah. Sampling input untuk luminance adalah 13,5 MHz dan 6,75 untuk sinyal chrominance. Setelah kompresi masing-masing 3/2 dan 3/1, sinyal-sinyal ini akan memiliki sampling rate yang sama, yaitu 20,25 MHz.

Isi dari penyimpanan luminance yang berhubungan dengan tiap garis dibaca, dikonversikan ke analog dan disisipkan ke garis scan, sehingga menempati segment yang telah disediakan. Sinyal analog ini adalah isi dari sinyal luminance yang dikompresi secara waktu dari garis tersebut.

Demikian juga dengan kedua sinyal chrominance yang dibaca secara berurutan dan dikonversikan ke sinyal analog. Sinyal-sinyal ini adalah sinyal R-Y dan B-Y dan disisipkan pada segmen yang disediakan pada garis yang berurutan. Penyimpanan digital diperbaharui selama tiap field scan. Sistem D2-MAC meliputi 4 kanal suara yang dikode secara digital dan disampel pada 32 KHz dengan 14 bit per sampel.

Pada penerima dilakukan pengolahan sinyal yang berlawanan. Sinyal baseband video analog MAC dikode dan disimpan secara digital. Sinyal yang disimpan kemudian dibaca dengan kecepatan yang lebih rendah untuk mengembalikan durasi awal.

### 3.2 MUSE

Sistem MUSE (*multiple-sub-Nyquist-sampling-encoding*) adalah adaptasi dari sistem HDTV NHK untuk pelayanan DBS dalam pita 12 GHz.

Baseband yang lebar dari sistem NHK 1125 garis (lebih dari 20 MHz) tidak sesuai dengan transponder satelit, kecuali jika dikompresi. Sistem MUSE mengurangi kebutuhan baseband video total menjadi 8,15 MHz, sesuai untuk pelayanan DBS.

Sinyal 1125 garis dikode dulu secara digital pada 48,6 Msampel/detik. Setelah pengolahan lebih lanjut, sinyal melalui dua tapis, yang satu tanggap terhadap bagian yang diam dari gambar, yang lain terhadap bagian yang bergerak. Tapis yang terakhir dikendalikan oleh dua detektor gerakan, yang satu mengikuti garis pinggir daerah yang bergerak dan yang lain arah gerakannya. Keluaran dari tapis-tapis tersebut digabungkan dan sinyal gabungan tersebut disample lagi pada kecepatan sub-Nyquist dari 16,2 MHz. Pulsa hasil, dikonversikan ke analog dengan lebar baseband 8,1 MHz. Sinyal analog ini memodulasi frekuensi transmisi ke satelit.

Sub sampling pada kecepatan 1/3 dari kecepatan awal menyebabkan transmisi berurutan dari sinyal yang merepresentasikan setiap tiga unsur gambar (*pixel*). Dengan demikian, tiga unsur gambar yang berdekatan muncul pada tiap scan yang berurutan pada garis yang sama. Karena unsur-unsur yang diam tidak bergerak selama interval tiga field, mereka muncul pada posisi yang benar pada penayangan.

Unsur yang bergerak dari gambar tidak muncul pada posisi sebelumnya. Gerakan lateral selama interval mengakibatkan *smearing effect* yang mengurangi resolusi sebesar 50 persen. Karena kamera dan pesawat televisi memiliki ketajaman yang lebih rendah terhadap benda yang bergerak, keseluruhan gambar akan muncul dengan resolusi tinggi. Namun, apabila kamera bergerak secara lateral, resolusi horizontal dari gambar secara keseluruhan menurun.

Pada penerima, dilakukan pengolahan sinyal yang berkebalikan. Sinyal analog yang dimodulasi dari satelit disampling pada 16,2 MHz. Kebalikan dari filtering bergerak melawan diam dilakukan, dan disampel 16,2 MHz dinaikkan menjadi kecepatan sampling awal analog, dari mana sinyal primer R, G dan B diambil pada frekuensi video sampai 22 MHz.

### 3.3 Digi Cipher

Sistem penyiaran Digi Cipher semuanya dikembangkan untuk HDTV. Namun, sistem ini telah digunakan oleh Prime Star di Amerika Serikat untuk penyiaran langsung melalui satelit, tetapi belum memenuhi standard frekuensi yang dialokasi-kan untuk DBS.

Digi Cipher 2 menggunakan MPEG-2 untuk pengkodean digitalnya.

### 3.4 Digital Satellite Sistem (DSS)

DSS menggunakan modulasi *Quadrature Phase Shift Key* (QPSK) untuk mengkodekan data digital pada frekuensi radio (RF). Suara dikode dengan MPEG-1 Layer II. Suara surround bisa dikodekan dengan Dolby Pro-Logic sebelum dikode dengan MPEG. Sedangkan videonya dikode dengan menggunakan MPEG-2, dengan kecepatan sampling sesuai dengan CCIR 601-1 yang mampu menghasilkan gambar 720x480, meskipun dewasa ini digunakan resolusi yang lebih rendah.

Sistem ini menggunakan pengkode statistical multi-program yang disebut StatMux yang secara dinamik mengubah bit-rate sesuai isi video dengan memperhatikan program lain yang dimultipleks pada transponder yang sama. Dengan cara ini satu transponder dengan lebar 24 MHz bisa menyampaikan 3 sampai 8 kanal siaran.

Rancang bangun DSS mampu menyiaran 40 Mbit/detik per transponder pada kedua mode error control. Pada mode tinggi, 30 Mbps dialokasikan untuk informasi dan 10 Mbps

sisanya untuk error control. Sedangkan pada mode rendah, 23 Mbps dialokasikan untuk informasi dan 17 Mbps sisanya untuk error control. Untuk mendapatkan kualitas end-to-end yang sama pada mode tinggi memerlukan power 3 dB lebih besar.

Di Amerika Serikat sistem ini telah digunakan oleh DIRECTV dan USSB, yang menggunakan tiga satelit DBS-1, DBS-2 dan DBS-3. Masing-masing satelit memiliki 16 transponder dengan power 120 watt dari *traveling wave tube amplifier* (TWTA). Satelit-satelit ini beroperasi pada daerah Broadcast Satellite Services (BSS) dari Ku-band (12,2 - 12,7 GHz) dan menggunakan polarisasi sirkuler.

### 3.5 Digital Video Broadcast (DVB)

DVB adalah standard penyiaran DBS di Eropa. DVB menspesifikasikan kesesuaian pada beberapa tingkat, termasuk channel coding (seperti *symbol rate*, *QPSK*, *Rced-Solomon forward error correction*, *Viterbi convolution* untuk outer error correction, *packet interleaving*), transport layer (MPEG-2 Sistem Transport Bitstreams) dan *elementary stream layers* (MPEG-2 Video, MPEG-1 Audio).

Unsur-unsur DVB hampir identik dengan DSS. Ada perbedaan-perbedaan kecil seperti panjang paket data (paket data DSS adalah 147 byte sedangkan MPEG-2 Transport stream adalah 188 byte), tetapi implementasi yang paling mahal (*modulasi*, *error correction*) sama. DVB juga mendefinisikan konvensi untuk penyiaran kabel (64 QAM) dan terestrial (QAM/QFDM).

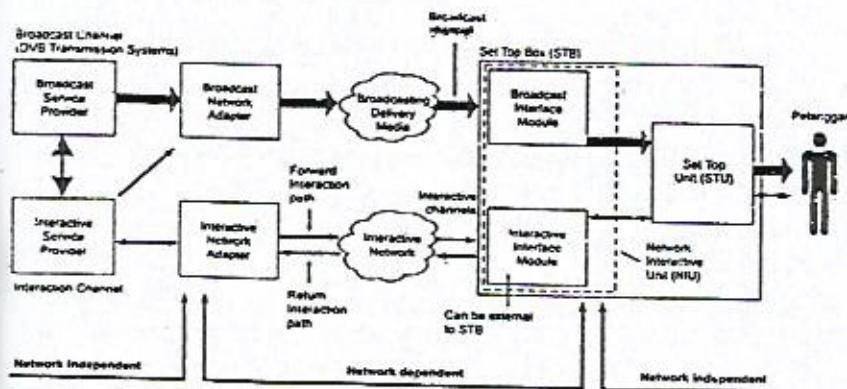
Dalam waktu yang tidak lama, pembuat perangkat akan memasarkan alat yang mampu mendekode baik sinyal DSS maupun DVB. Disamping digunakan di Eropa, DVB juga dipilih oleh EchoStar untuk DBS di Amerika.

Dalam sistem DVB ini, yang tadinya hanya untuk satu arah, tetapi dengan perkembangan, para pelanggan ingin juga dapat berkomunikasi dengan pengertian menghubungi stasiun

Pusat Pemancar, misalnya untuk memilih, memesan atau *complain* acara-acara yang mereka lihat. Hubungan balik ini bisa melalui telepon, atau jaringan internet. Akan tetapi, tentunya, kalau bisa komunikasi ini diinginkan melalui sistem yang sama.

Dalam perkembangannya, sejalan dengan menyatunya komunikasi dan penyiaran, hubungan balik juga dilakukan melalui satelit, sehingga sistemnya disebut DVB-RCS (DVB – *Return Channel via Satellite*). Komunikasi, baik yang arah "forward" maupun "return", dilakukan lewat satelitnya, dan yang dikirimkan bukan hanya siaran (video dan suara) tetapi juga data-data dalam format internet (IP).

Secara umum, rangkaian DVB yang interaktif adalah seperti digambar 11.5.

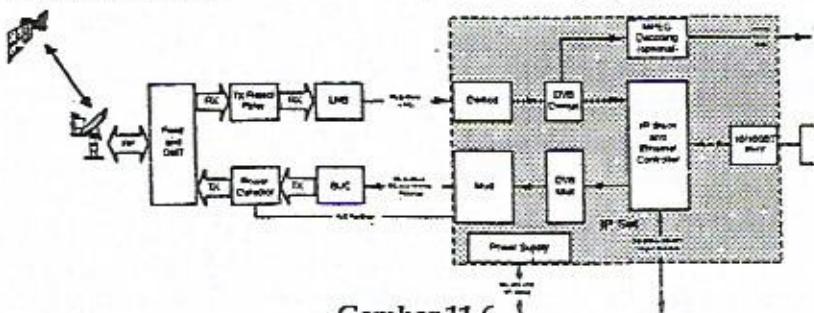


Gambar 11.5  
Jaringan interaktif DVB

Dalam arah "forward", siaran ditambah data-data kontrol pesawat remote (*set top box*) dikirimkan lewat satelit, dan biasanya sinyal yang dikirim terdiri dari sejumlah siaran video maupun audio atau sinyal pita lebar (*broad band*). Pelanggan dapat memilih siaran-siarannya sesuai dengan klasifikasinya.

Dalam DVB-RCS, hubungan interaktif yang tadinya melalui saluran terestrial lewat kabel khusus, jaringan telepon atau internet sekarang dilewatkannya satelitnya juga. Hubungan bolak-balik ini biasanya cukup dengan data kecepatan rendah, sehingga sistem selain untuk distribusi siaran, juga dapat digunakan untuk komunikasi data.

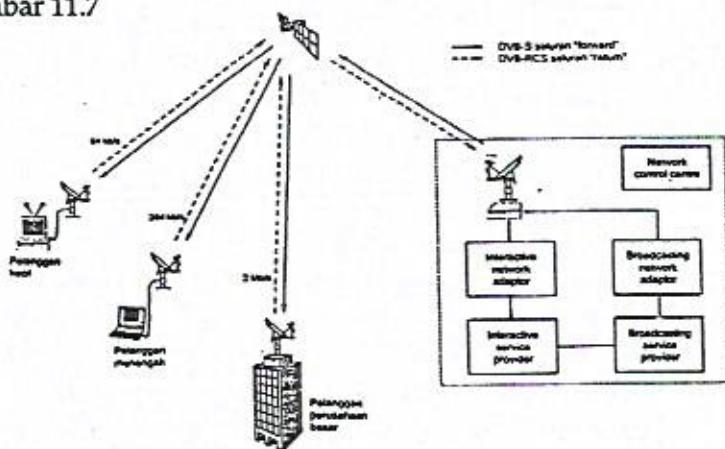
Diagram blok Stasiun Remote diperlihatkan pada gambar 11.6.



Gambar 11.6

Diagram Blok Sistem Remote IPSat

Sedangkan prinsip jaringan satelitnya terlihat seperti pada gambar 11.7



Gambar 11.7

Diagram perancangan jaringan untuk sistem DVB-RCS

Karakteristik sistem DVB-RCS dibandingkan dengan sistem VSAT yang ada diperlihatkan dalam tabel 11.4.

Tabel 11.4 DVB-RCS vs. VSAT

Karakteristik	VSAT	DVB-RCS
Protokol Hubungan "Return"	FDM-TDMA	MF-TDMA
Protokol Hubungan "Forward"	TDM	MPEG/DVB
Kecepatan Saluran "Return"	56 – 256 kbs	144 kbs – 2,048 Mbs
Kecepatan Saluran "Forward"	512 kbs – 10 Mbs	6 – 45 Mbs
Protokol Pengguna (User)	Protokol paket untuk transaksi	Multimedia (ATM) dan Internet (IP)
MAC Layer Support	Dirancang untuk hubungan yang bersifat Transaksional	Dirancang untuk Multimedia
Air Interface	Proprietary	Open Standard

## 4. PERKEMBANGAN DBS

### 4.1 Umum

Penerapan DBS dimungkinkan dengan turunnya harga perangkat penerima, yang fungsinya identik dengan TVRO, sampai dapat dijangkau oleh khalayak penerima siaran. Perkembangan teknologi di bidang satelit merupakan satu dari beberapa hal yang mengakibatkan menurunnya harga perangkat penerima. Sehingga, disamping kelebihan-kelebihan dasar yang dimilikinya, dengan kenyataan ini, DBS mampu bersaing dengan metode siaran lain seperti TV kabel.

### 4.2 Perkembangan Teknologi

Sejalan dengan perkembangan di bidang teknologi satelit dan teknologi penyiaran, yang didukung oleh komponen dan pemrosesan sinyal, teknologi DBS juga mengalami perkembangan yang pesat. Perkembangan ini meliputi antara lain:

- daya pancar satelit yang semakin kuat

- ❖ kinerja dari *low noise block* (amplifier dan converter) yang semakin bagus
- ❖ teknologi komponen yang semakin murah
- ❖ kinerja dari pemrosesan dan kompresi sinyal digital

Berkat daya pancar dari satelit yang lebih kuat, radiasi yang kita terima akan lebih kuat, sehingga untuk mendapatkan daya yang sama dibutuhkan faktor penguat antena yang lebih kecil. Kebutuhan faktor penguat pada antena yang lebih kecil berpengaruh pada konstruksi reflektor, dimana dibutuhkan reflektor parabolik yang berdiameter lebih kecil.

Di sisi lain, performance dari *noise block* yang semakin bagus mengakibatkan penerima lebih sensitif, sehingga dibutuhkan daya yang lebih kecil lagi untuk mendapatkan kualitas penerimaan yang sama. Diameter antena yang dibutuhkan juga menjadi lebih kecil lagi. Bahkan, dimungkinkan penggunaan antena datar berisi *dipole array*.

Mengingat bahwa harga antena pada unit penerima merupakan komponen yang penting dari harga keseluruhan unit, harga unit penerima akan sangat terpengaruh oleh harga antena. Jadi, harga unit penerima akan turun dengan adanya dua faktor di atas. Di samping itu, perkembangan teknologi komponen telah memungkinkan pembuatan komponen yang lebih murah, yang tentu saja akan mengakibatkan harga keseluruhan unit menjadi lebih murah.

DBS sebagai satu pelayanan yang memanfaatkan kemajuan teknologi di bidang elektronika juga tidak luput dari dampak revolusi besar-besaran yang terjadi di bidang elektronika akhir-akhir ini. Banyaknya keuntungan yang ditawarkan oleh penggunaan teknologi digital dibandingkan dengan teknologi analog juga dimanfaatkan oleh DBS ini. Sehingga pelayanan DBS-pun beralih dari analog ke digital. Keuntungan yang nyata dari penggunaan pemrosesan sinyal digital adalah kompresi sinyal video, yang memungkinkan penggunaan satu transponder standard (24 MHz) untuk mentransmisikan 3 sampai 8 (rata-rata 6) saluran siaran.

#### 4.3 Sistem DBS Digital

Melihat perkembangan yang ada pada pelayanan DBS di seluruh dunia, analog atau digital, bukan lagi pilihan. Semua pelayanan DBS, baik yang baru, yang sedang dalam perencanaan, maupun yang tinggal tunggu saat on air saja, berbondong-bondong menuju penggunaan sistem digital.

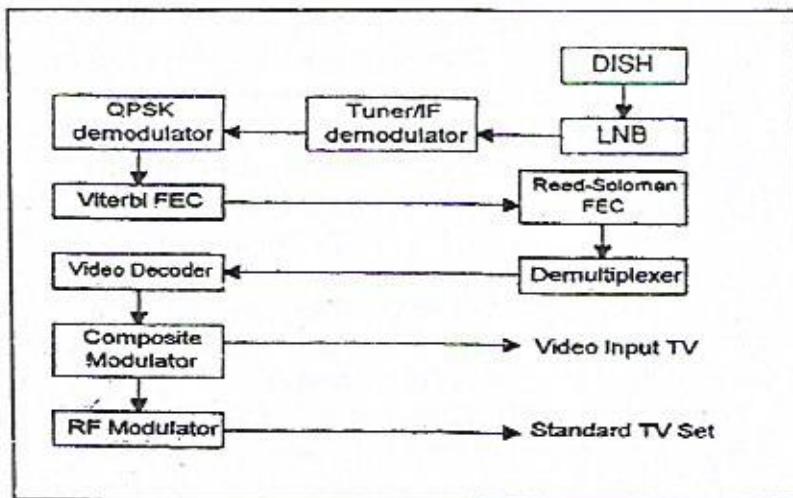
Dengan perbandingan kompresi 54:1, sebuah sinyal video yang telah didigitalkan dengan bit rate sebesar 120 Mbps dikompresikan menjadi 1,8 Mbps. Yang terakhir ini ditambah dengan audio 0,4 Mbps dan FEC (*error correction*) 0,8 Mbps, menghasilkan jumlah bit rate 3,0 Mbps. Satu transponder dengan lebar pita sebesar 24 MHz mampu membawa 20 juta simbol per detik menggunakan QPSK, atau data 40 Mbps, karena satu simbol terdiri dari 2 bit. Setelah dikurangi dengan kode konvolusi tersisa 34 Mbps untuk paket dan jika dikurangi lagi dengan header paket dan FEC maka tinggal 30 Mbps. Yang terakhir ini adalah bit rate data video dan audio yang sebenarnya. Sedangkan untuk transponder dengan daya yang lebih rendah membutuhkan lebih banyak bit rate untuk *error correction*, sehingga menghasilkan bit rate akhir sebesar 23 Mbps. Melihat kedua hal di atas, maka satu transponder dapat membawa beberapa program sekaligus. Sebagai contoh, penggunaan sebuah transponder dengan daya sebesar 240 watt (daya besar, 30 Mbps) oleh Direct TV, adalah sebagai berikut:

☒ 2 pay per view movies	@4 Mbps
☒ 2 variety channels	@5 Mbps
☒ 2 sports or high priority channel	@6 Mbps
<hr/>	
Total 6 program	30 Mbps

Metode untuk memultipleks beberapa program video ke dalam satu gelombang pembawa (transponder) adalah *statistical multiplexing*. Sebagai contoh, ketika satu video memiliki banyak perubahan diberi prioritas alokasi bit yang tinggi.

Sedangkan video dari program lain dengan gerakan yang terbatas diberi prioritas yang lebih rendah.

Penerima satelit digital secara garis besar terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:



Gambar 11.8  
Penerima TV DBS Digital

- ☞ LNB (Low Noise Block), memetakan lebar pita sebesar 500 MHz dari Ku atau C, S-band ke frekuensi pembawa sekitar 1 GHz dan menyalurkan ke kabel coaxial. Pada dual-LNB, kedua polaritas (16 transponder) dipetakan pada kabel coax yang sama.
- ☞ Tuner/IF Demodulator, mengisolasi satu gelombang pembawa dari 16 yang ada pada spektrum 500 MHz.
- ☞ QPSK Demodulator, mengkonversikan sinyal ke dalam bit stream.
- ☞ Viterbi decoder, melakukan dekonvolusi pada bit stream.
- ☞ Reed-Solomon FEC, melakukan error correction dengan menggunakan 17 bit per paket yang disediakan.

- ☛ System Demultiplexer, memisahkan audio, video, VBI (*vertical blanking information*, seperti teletex), program guide dan informasi akses bersyarat ke dalam bit stream yang terpisah.
- ☛ Video Decoder, mendekodekan video bit stream menjadi gambar 4:2:0 YCbCr.
- ☛ Composite Modulator, mengkonversikan format YCbCr ke dalam format video composit, seperti PAL, NTSC atau SECAM.
- ☛ RF Modulator, memodulasi sinyal komposit pada gelombang pembawa RF agar dapat diterima oleh pesawat penerima televisi biasa.

#### 4.4 Beberapa contoh DBS

Pelayanan DBS terbaru di Amerika Serikat adalah DIRECTV dan USSB. Mereka menggunakan secara bersama 3 satelit, yang dikonfigurasikan menjadi 16 transponder 120 watt (pada satelit DBS-1) dan 2 kali 8 transponder 240 watt (pada satelit DBS-2 dan DBS-3). Sehingga keseluruhan terdapat 32 transponder. Kedua broadcaster DSS (digital satellite system) yang dapat diterima dengan menggunakan antena dan dekoder yang sama.

PrimeStar adalah saingan DIRECTV/USSB yang menyediakan 90 saluran dan menggunakan satelit daya menengah Statcom K1 dan sistem broadcasting DigiCipher 1 yang juga digital penuh. Namun, PrimeStar belum memenuhi spesifikasi DBS secara penuh dan masih menggunakan parabola 3 kaki.

EchoStar menyediakan 70 kanal melalui 21 transponder dari satelitnya (EchoStar I). Berbeda dengan DIRECTV dan USSB yang menggunakan DSS, EchoStar menggunakan DVB (*Digital Video Broadcast*) yang digunakan di Eropa.

AlphaStar juga menyediakan 100 kanal, menggunakan parabola 24 cm, dan sistem DVB dan direncanakan akan ditingkatkan menjadi 200 kanal.

#### 4.5. IndoStar (Cakrawarta)

IndoStar yang beroperasi di Indonesia, menyediakan pelayanan DBS untuk televisi dan radio. Pelayanan ini menggunakan satelit "Star" dari ITI yang termasuk jenis lightsat dan frekuensi operasi terpilih untuk menghindari koordinasi internasional.

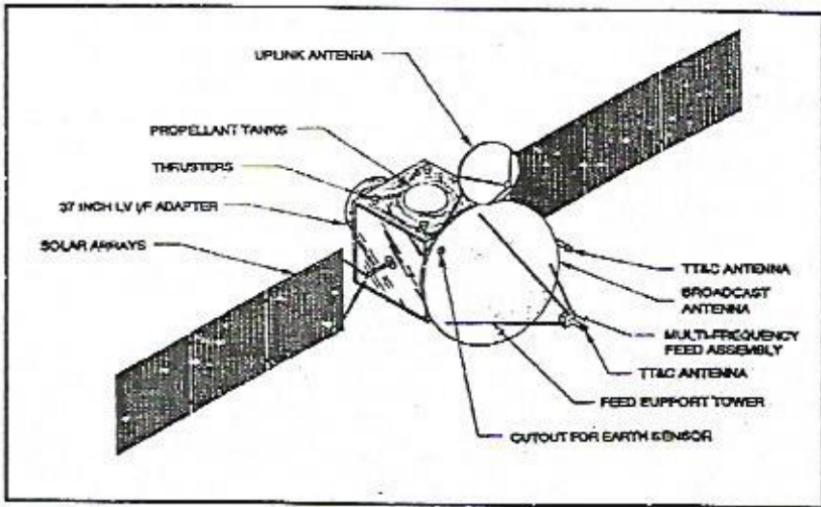
Dengan menggunakan sorotan tunggal secara nasional yang mencakup seluruh wilayah Indonesia, pelayanan ini menyediakan transponder yang mensupport baik sistem FM analog, maupun sistem video digital yang dikompresi. Sistem digital yang diadopsi adalah MPEG-2 DVB. Uplink band adalah 8.120 sampai 8.270 MHz (X band), sedang down link band adalah 2.520 sampai 2.670 MHz (S Band).

Untuk penerimaan digunakan antena parabola yang berdiameter kurang dari 1 meter, untuk analog maupun digital.

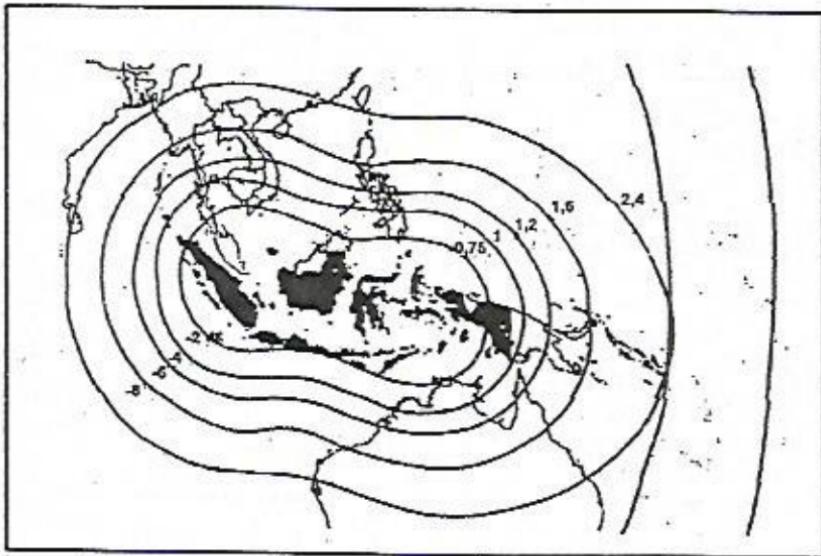
Sedangkan untuk penyiaran radio digunakan DAB (*Digital Audio Broadcast*), yang bermutu lebih baik dari FM. Up link band adalah 7.027 sampai 7.075 MHz, sedangkan down link adalah 1.427 sampai 1.475 MHz, atau 2.310 sampai 2.370 MHz

Dengan perkiraan 1 transponder dapat mengakomodasi 8 saluran DVB, maka dengan 5 transponder dalam daerah frekuensi sebesar 150 MHz, total saluran yang dapat disalurkan adalah 40 saluran. Sedangkan jumlah saluran siaran DAB adalah 133 saluran.

Satelitnya diperlihatkan dalam gambar 11. 9 sedangkan footprint diperlihatkan dalam gambar 11. 10. Spesifikasi teknisnya disusun dalam table 11. 5.



Gambar 11.9  
Konfigurasi Satelit INDOSTAR



Gambar 11.10  
Footprint INDOSTAR

Tabel 11.5 Spesifikasi Teknis Sistem Cakrawarta

BASELINE PARAMETER		Value	LINK PERFORMANCE	
Antenna diameter Single HPA (TVTA)	8.1 m	INDOSTAR-1 Located at RF Bandwidth (27 MHz)	107.7 Deg. East	73.8 dB-Hz
Output Backoff	2,000 watts	Jakarta slant range	35.83 km	
Available power	9 dB	Uplink Path Losses @ 8.2 GHz	201.8 dB	
Number of carriers	250 watts	Clear Sky Uplink C/N <sub>0</sub> (68.5+228.6-201.8)	97.6 dB-Hz	
Per carrier power Antenna Gain at 8.2 GHz (65% eff.)	5	UPLINK CALCULATIONS		
per carrier e.i.t.p.	50 watts	Clear Sky Uplink C/I	23.8 dB	
Waveguide loss	54.97 dB	Uplink Carrier/Intermodulation	24.0 dB	
Pointing & atmospheric loss	71.96 dBW	Uplink E/S antenna cross-pol	35.0 dB	
Uplink e.i.t.p./center	3.0 dB	Uplink S/C antenna cross-pol	28.0 dB	
Saturation Flux Density	0.5 dB	Up/lnk C/I(M+j)	20.71 dB	
Rx Antenna Gain	68.46 dBW	Receive station location (worst case)		
Edge of Coverage (EOC) at	-85 to -96 dBW/m <sup>2</sup>	Path length	37.14 km	
Antenna Pointing Loss	32.5 dB	Downlink path loss @ 2.6 GHz	192.1 dB	
Input Insertion Loss	-2.0 dB contour	Clear Sky downlink QPSK		
Available EOC RX gain	0.3 dB	C/N <sub>0</sub> (43.9+5.67+228.6-192.1)=	86.1 dB-Hz	
Transponder Noise Figure	0.8 dB	Clear Sky downlink QPSK C/N (86.1-73.8)=	12.3 dB	
System Noise Temperature	29.4 dB	Downlink CALCULATIONS		
Edge Of Coverage G/T	516 K	Clear Sky downlink FM C/N =	12.6 dB	
	2.3 dB/K	Earth station pointing & alignment loss	negligible	
		Earth station antenna cross-pol	27.0 dB	
		Satellite antenna cross-pol	20.0	
		Downlink C/I(M+j) for QPSK digital TV	11.4 dB	
		Downlink C/I(M+j) for analog FM TV	11.7 dB	

	Saturated Output Power	70 Watts (18.5 dBW)	Co-pol misalignment loss negligible	negligible
	Output Circuit Loss	1.3 dB	Pointing Loss 1.0 m	negligible
	QPSK Spectrum Truncation Loss	0.3 dB (QPSK only)	Antenna Diameter 26.1 dBi	1.0 m
	Available O/P power for Digital TV	16.9 dBW	Antenna Gain 55% ell. @ 2.6 GHz	26.1 dBi
	Available O/P power for FM TV		System Noise Temperature 110 K	110 K
	Required Coverage		Receive G/T 5.67 dB/K	5.67 dB/K
SATELLITE DOWNLINK	Tx Antenna Gain	17.2 dBW	1). FM DEMODULATOR THRESHOLDS C/N With threshold extension	
	Edge of Coverage at		2). DIGITAL DEMODULATOR THRESHOLD:	
		8.35 deg X	Required C/N @ 30.3	7.0 dB
		3.6 deg ellipse	Mbit/s Info. Rate	
			1.9 Required C/N (40.0	
		31.3 dB	Mbit/s in 24 MHz)	
		-4.0 dB		
		contour		
		0.3 dB		
	Antenna Pointing Loss		DEMODULATOR THRESHOLDS	
	Ned EOC Antenna Gain	27.0 dBj		
	EOC a.l.r.p. Available (Digital TV)	43.9 dBW		
	EOC a.l.r.p. Available (FM TV)	44.2 dBW		

OVERALL CLEAR SKY LINK PERFORMANCE			
<i>QPSK Digital TV</i>			
Overall link C/(N+1)=sum C/(N+1)up & C/(N+1)dn	10.93		dB
Required C/(N+1) (includes 1.0 dB margin)	7.00		dB
Overall link margin	3.93		dB
<i>Analog FM TV</i>			
Overall link C/(N+1)=sum C/(N+1) up & C/(N+1) dn	11.15		dB
Required C/(N+1) (i.e. extended FM threshold)	7.00		dB
Overall link margin	4.15		dB
Baseband S/N (includes 1 MHz EDF)	41.13		dB

Dalam gambar diperlihatkan daerah cakupan satelit dengan level penerimaan relatif terhadap level maksimum serta ukuran antena yang dapat digunakan.

Sebagian besar dari lokasi-lokasi di Indonesia, sebenarnya dapat menerima sinyal Cakrawarta dengan baik dengan antena ukuran diameter 0.75 m, tetapi dalam perhitungan perencanaan sistem, untuk Indonesia digunakan antena diameter 1.0 m.

#### *Catatan*

- Penggunaan limiter dalam rangkaian penerimaan, mengakibatkan fading dalam arah up-link tidak menimbulkan fading dalam arah down-link (seperti satelit yang lain). Menurut perhitungan, U/L bisa melayani fading sampai 14 dB, sebelum C/N+I turun sampai link threshold.
- Dengan margin sebesar ini dalam arah U/L, praktis sebenarnya hanya D/L yang berpengaruh.

Dari perhitungan terlihat bahwa fading dalam arah D/L bisa sampai 4,2 dB. Harga ini cukup besar untuk mengatasi pengaruh skintilasi ionosphere dan redaman hujan di Indonesia untuk daerah frekuensi S-band.

- Footprint yang diinginkan tentunya akan membatasi gain dari antena satelitnya. Dengan anggapan daerah cakupannya adalah  $8.35^\circ \times 3.6^\circ$ , akan memberikan gain sebesar:

$$G = \eta \frac{4\pi A}{\lambda^2} = \eta \frac{4\pi}{3.6} \frac{70\lambda}{\lambda^2} \frac{70\lambda}{8.35} \text{ (untuk -3dB beam width)}$$

$$= 31.3 \text{ dB untuk } \eta = 0.66$$

Namun, karena *edge of coverage* (EOC) ini sebenarnya adalah -4dB, tentunya efisiensi antena  $\eta$  lebih kecil lagi, mungkin hanya 0.55 yang memang normal untuk sebuah satelit.

- Hitungan D/L akan berlaku:

⇒ Daya keluaran transponder	= 75 watt	= 18.5 dBW
⇒ Kehilangan di saluran dan trunkasi QPSK (TV Digital)		= -1.6 dBW
⇒ Gain antene		= 31.3 dB
⇒ Pointing Loss		= -0.3 dB
⇒ EOC (Edge Of Coverage)		= -4.0 dB
EIRP Eff		= 43.9 dBW
⇒ LFS (Untuk jarak terjauh 37.144 km yang ekivalen dengan sudut elevasi $49^\circ$ - sekitar Irian)		= -192.1 dB
⇒ G/T		= 5.67 dB
⇒ Konstanta Boltzmann		= 228.6 dB <sup>0</sup> KHz

---


$$C/N_0 = 86.1 \text{ dB Hz}$$

- ⇒ Untuk lebar pita frekuensi 24 MHz  
 (karena kedelapan saluran digital  
 diintegrasikan menjadi satu dalam  
 1 saluran dengan kecepatan 40  
 Mbps dalam lebar pita 24 MHz)
- 

$$C/N = 12.3 \text{ dB}$$

- ⇒ Carrier to Noise C/N+I = 11.4 dB  
 total (diperoleh dengan perkiraan C/I = 18.7 dB)

- Hitungan U/L akan berlaku:
  - ◊ Sistem Noise Temperature

$$T_s = \frac{T_A}{L} + \frac{L-1}{L} T_o + (F-1) T_o$$

$$= \frac{300}{12} + \frac{1.2-1}{1.2} 273 + (1.8-1)273 \approx 516^\circ K$$

Insertion Loss 0.8 dB = 1.2;  $T_A$  (bumi yang panas) =  $300^\circ K$ ;  
 $F=2.5$  dB = 1.8; ambient temperature di satelit  $\approx 273^\circ K = 0^\circ C$ .

Terlihat bahwa, karena satelit selalu melihat bumi yang "panas",  $T_s$ -nya selalu tinggi, tetapi karena temperatur sekitar cukup rendah, kehilangan disaluran pengaruhnya cukup kecil. Dengan pertimbangan harga dan berat, LNA di satelitnya cukup yang sederhana saja.

## Daftar Pustaka

---

1. Adi Firdaus, "Analisa Perancangan Sistem DBS Indostar (Cakrawarta)", Tugas Akhir ITI, Serpong, 1998.
2. CCIR, "Handbook on Satellite Communications", Geneva, 1988.
3. Collin, Robert E., "Antennas and Radiowave Propagation", Mc. Graw Hill Book Co., Inc., 1985.
4. Ethenakis, Emanuel, "Manual of Satellite Communications", Mc. Graw-Hill Book Co., Inc., 1984.
5. Freeman, Roger L., "Telecommunication Transmission Handbook", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981.
6. Ha, Tri T., "Digital Satellite Communications", 2<sup>nd</sup> Edition, Mc. Graw-Hill Book Co., Inc., 1990.
7. Hughes ASI, "Final Report for a National Communication Satellite System for the Republic of Indonesia", HAC, 1975.
8. I.J. Bahl, and P. Bhartia, "Microstrip Antennas", Artech House, 1985.
9. Irwin, "Analisa Perancangan Sistem Komunikasi Satelit Bergerak ICO Dengan Aplikasi Pada Terminal HANDHELD", Tugas Akhir ITI, Serpong, 1999.
10. Kraus John D., "Antennas", McGraw-Hill, 1988.

11. Lintar M., "Sistem Komunikasi Satelit Bergerak GLOBALSTAR", Tugas Akhir ITI, Serpong, 2000.
12. Pattan, Bruno, "Satellite Based Cellular Communications", McGraw-Hill Telecommunications, 1998.
13. Simanjuntak, Tiur L.H., "Dasar Dasar Telekomunikasi", Alumni, Cetakan ke-2, 2002.
14. Young, Paul H. "Electronic Communication Techniques", 3rd Edition, Mc. Graw-Hill Book Co., Inc.,
15. Pratt, Timothy and Bastian Clarks W., "Satellite Communications", John Wilwy & Sons, 1986.
16. Morgan, Walter N. and Gordon D., "Communications Satellite Handbook", Wiley Interscience, 1989.
17. Morgan, Walter N. and Rouffet D., "Business Earth Stations", Wiley Interscience, 1988.
18. Comstream, "VSAT PLUS II", 1995.
19. Johannsen, Klaus G., "Trends in Mobile Satellite Communication, Hughes A.C., 1992. □

## LAMPIRAN

1. Daftar Istilah.
2. Daftar Satelit C-Band yang sudah operasional, sedang difabrikasi dan yang sedang dalam perencanaan pada tahun 1996.
3. Karakteristik teknis beberapa satelit yang sudah operasional.
  - PALAPA - C.
  - Satelit INTELSAT.
  - INMARSAT.

## DAFTAR ISTILAH

<b>A&amp;B</b>	Signaling leads derived from Tip and Ring; Ujung kabel signaling dari ujung dan cincin steker telepon.
<b>ADPCM</b>	Adaptive Differential Pulse Code Modulation; Salah satu sistem coding digital saluran suara yang memperkecil jumlah bit dari 64 Kbps menjadi 32 Kpbs atau yang lebih rendah.
<b>AGC</b>	Automatic Gain Control; Pengatur penguatan secara otomatis.
<b>bps</b>	Bits per second; Satuan kecepatan pengiriman pulsa (data) dalam pulsa perdetik.
<b>BPSK</b>	Bipolar Phase Shift Keying; Sistem Modulasi RF dengan beda fase 180°.
<b>BTP</b>	Burst Time Plan; Pengatur pembagian satu frame sistem TDM dalam saluran-saluran suara/data serta penetuan salurannya digunakan untuk hubungan antara node-node yang mana.
<b>C-band</b>	Satellite services in the 6/4 GHz bands; Frekuensi di daerah 4 dan 6 GHz yang digunakan untuk komunikasi satelit.
<b>C.O.</b>	Central Office; Sentral telepon.

	CAD/CAM Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing; Rekayasa dengan bantuan komputer/fabrikasi dengan bantuan komputer.
CCITT	The International Telegraph and Telephone Consultative Committee; Badan Internasional di bawah PBB untuk urusan komunikasi telepon dan telegram, yang sekarang digunakan istilah ITU-T.
CDMA	Code Division Multiple Access; Sistem pengaksesan saluran satelit dengan perbedaan kode.
CEPT	Conference of European Postal and Telecommunications; Asosiasi negara-negara Eropa untuk urusan pos dan telekomunikasi.
CSC	Common Signaling Channel; Kanal khusus untuk signaling yang digunakan untuk penyambungan dan pemutusan hubungan dalam suatu sistem TDMA maupun DAMA/FDMA.
CSI	Customer Service Information; Layanan informasi untuk pelanggan.
DAMA	Demand Assigned Multiple Access (Operating Mode); Cara pengaksesan saluran, dimana suatu saluran hanya dijatahkan sesuai dengan kebutuhan.
dB	Decibels; Ukuran perbandingan dua harga sesuai definisi $10 \log A/B = \dots \text{dB}$ .

<b>dBm</b>	Decibels referred to 1 milli Watt; Decibel relatif terhadap 1 mili Watt.
<b>dBW</b>	Decibels power relative to 1 Watt; Decibel relatif terhadap 1 Watt.
<b>D/C</b>	Down Converter; Bagian dari rangkaian penerima, dimana frekuensi sinyal pembawa diturunkan dari RF ke IF.
<b>DCE</b>	Data Communications Equipment; Peralatan komunikasi data.
<b>D/L</b>	Down Link communication from satellite to ground terminal; Arah komunikasi dari satelit ke stasiun bumi.
<b>DLM</b>	Data Line Multiplexer; Multipleks untuk saluran data, unit ini sanggup untuk saling menghubungkan 30 saluran data.
<b>DS1</b>	Data speed 1; Istilah kecepatan pengiriman data 1.
<b>DS1S</b>	Data Speed 1 Split (interface card); Istilah untuk kartu antar muka untuk pemisah kecepatan data 1.
<b>DTE</b>	Data Terminal Equipment; Peralatan akhir data.
<b>DTMF</b>	Dual Tone Multiple Frequency; Sistem dialing telepon dimana tiap nomor yang ditekan di pesawat telepon akan membangkitkan 2 frekuensi yang dikirim ke sentral. Disebut juga <i>push button</i> untuk membedakan dengan <i>dial pulse</i> .
<b>E&amp;M</b>	Ear (receiver) and mouth (transmit) signaling; Salah satu sistem signaling telepon.

E1	A term for a digital carrier facility used to transmit a CEPT formatted digital signal at 2.048 Mbps; Istilah untuk multiplekser digital untuk 30 saluran telepon atau pengiriman data dengan kecepatan data 2.048 Mbps.
ECSU	External Clock Synchronization Unit; Cara sinkronisasi dengan sumber sinkronisasi dari luar.
ELA	Electronic Industries Association; Nama asosiasi industri elektronika di Amerika Serikat.
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power; Besarnya daya efektif yang dipancarkan oleh sebuah antena dibanding antena yang isotropis.
FDMA	Frequency Division Multiple Access; Sistem pengaksesan saluran satelit dengan pembagian frekuensi.
FEC	Forward Error Correction; Suatu sistem koreksi pengiriman data dengan sengaja menambahkan pulsa-pulsa koreksi pada pengiriman.
FEP	Front End Processor; Klasifikasi peralatan komunikasi data.
FXO	Foreign Exchange Office; Saluran suara yang diklasifikasikan sebagai saluran yang terhubung ke PABX.
FXS	Foreign Exchange Subscriber; Saluran suara yang diklasifikasikan sebagai saluran yang terhubung langsung ke pesawat pelanggan.

<b>GEO</b>	Geostationary Earth Orbit; Klasifikasi satelit dengan orbit geostasioner dengan tinggi lintasan 35786 km di atas khatulistiwa.
<b>GPS</b>	Geo Positioning Satellite; Sistem satelit navigasi yang dapat menentukan koordinat suatu titik diperlukaan bumi.
<b>GT</b>	Guard Time; Selang waktu antara pengiriman deretan pulsa dari 2 stasiun yang berbeda.
<b>HPA</b>	High Power Amplifier; Penguat daya akhir.
<b>ID</b>	Identifier.
<b>IF</b>	Intermediate Frequency; Frekuensi antara.
<b>IFL</b>	Interfacility Link; Kabel koaksial yang menghubungkan IDU dan ODU.
<b>INTELSAT</b>	International Telecommunications Satellite Organization; Organisasi komunikasi satelit internasional.
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network; Jaringan digital jasa terintegrasi.
<b>Ku-Band</b>	Satellite systems employing frequencies between 10.7 and 18 GHz; Daerah frekuensi 10.7 dan 18 GHz yang digunakan untuk komunikasi satelit.
<b>LAN</b>	Local Area Network; Jaringan data daerah lokal.

LEO	Low Earth Orbit; Klasifikasi satelit berorbit rendah dengan ketinggian garis edar sebesar 500 – 10.000 km di atas permukaan bumi.
LNA	Low Noise Amplifier; Penguat derau rendah.
LHCP	Left Hand Circular Polarization; Polarisasi sirkuler dengan putaran berlawanan arah jarum jam.
LO	Local Oscillator; Osilator lokal.
LOC	Local Operator Console; Meja layanan untuk operator setempat.
M&C	Monitoring and Control; Pengontrolan dan pengamatan.
MEO	Medium Earth Orbit; Klasifikasi satelit berorbit menengah, dengan ketinggian 10.000 – 20.000 km di atas permukaan bumi.
MHz	Million Hertz; Juta Hertz.
MRCEPT	Multirate CEPT (interface card); Istilah kartu antar muka untuk pengiriman data yang bervariasi.
MRSD	Multirate Synchronous Data (interface card); Istilah kartu antar muka untuk data sinkron yang bervariasi.

MRVF	Multi Rate Voice Frequency (interface card); Istilah kartu antar muka untuk suara dengan kecepatan coding yang bervariasi.
NBC	Network Broadcast Channel; Saluran khusus untuk informasi dari hub ke remote-remote dalam suatu sistem TDMA.
NCC	Network Control Center; Pusat pengontrolan jaringan.
NPA	Numbering Plan Area; Sistem penomoran dengan menggunakan kode area, untuk membedakan dengan sistem <i>direct dialing</i> .
PABX	Private Automated Branch Exchange.
PBX	Private Branch Exchange.
PCM	Pulse Code Modulation; Sistem modulasi dengan kode pulsa.
PSK	Phase Shift Keying; Sistem modulasi RF dengan loncatan fasa.
PSN	Public Switched Network; Jaringan telepon untuk umum, atau biasa juga disebut PSTN (Public Switched Telephone Network)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying; Sistem modulasi RF dengan loncatan fasa $90^\circ$
RAM	Random Access Memory.
REF	Reference.
REFUW	Reference Unique Word; Suatu deretan pulsa khusus untuk referensi.

# LAMPIRAN 3

## COMPARISON OF PALAPA-B AND PALAPA-C CAPABILITIES

PARAMETER	PALAPA-B	PALAPA-C	UNIT
Frequency	Standard C-Band	Standard C-Band Extended C-Band Ku-Band	
Polarization	Linear	Linear	
Total transponder	24	34	Transponder
Total TWTA (include redundancy unit)	30	6 (Linearized)	Pcs
Total SSPA (include redundancy unit)	-	38	Pcs
WTB Output Power	9.6	130 (Ku-Band)	Watts
SSPA Output Power	-	21.75 (Standard C-Band) 26.75 (Extended C-Band)	Watts
IRP	34.3 (Area I) 32.3 (Area II)	27 (Beam C1) 37 (Beam C2) 50 (Beam K1) 50 (Beam K2)	dBW
I/T	-5 (Area I) -7 (Area II)	-2.5 (Beam C1) -2.5 (Beam C2) +3 (Beam K1) +3 (Beam K2)	dB/K
Weight At Separation	1300	3000	Kg
Weight At Beginning of life	780	1740	Kg
Life Time	8	14 (in normal operation) + 2 (inclined orbit)	Years
Power At EOL	796.4	3400	Watt

## PAYLOAD DESCRIPTION

PARAMETERS	STANDARD C-BAND	EXTENDED C-BAND	KU-BAND
NUMBER OF XPDNR	24	6	
AMPLIFIER	SSPA	SSPA	LINEARIZED TWTA
IRP EOC (dBW)	37	37	50
I/T EOC (dB/DECK)	-2.5	-2.5	3
I/F D (dB/m2)	-99	-99	-99
POLARIZATION	LINEAR	LINEAR	LINEAR
FREQUENCY REUSE	YES	NO	NO

## INTELSAT SPACECRAFT - SPECIAL CAPABILITIES

INTELSAT VII	INTELSAT VIII	INTELSAT VII	INTELSAT IX	INTELSAT X	INTELSAT K	INTELSAT K-TV	INTELSAT IX
Channel 9 is switchable to Hemi-Zone or Global/C-Spot	Channel 9 is Switchable to Hemi-Zone or Global/C-Spot	Channel 9 is Switchable to Hemi-Zone or Global/C-Spot	Can operate with up to 3° 100'	Can operate with Two simultaneous Uplink Beams	Ability to provide DTH Capable TV Broadcast To 50 m diameter Criteria	Ability to provide DTH Capable TV Broadcast To 50 m diameter Criteria	Ability to provide DTH Capable TV Broadcast To 50 m diameter Criteria
Compatible to operate with up to 3° 100'	Compatible to operate with up to 3° 100'	Operates in normal or inverted attitude	TV broadcast mode for simultaneous downlink towards multiple Beams	Automatic Context Feature	Selectable Earth Return Antenna	Selectable Earth Return Antenna	Selectable Earth Return Antenna
Operates in normal or inverted attitude	Operates in normal or inverted attitude	Ability to re-point either first or final pointing, plus In-space re-delivery	On-Demand Switching of Transponder Beam Collocation with up to 3 satellites	That Ability to operate in Split h Beam Collocation with up to 3 satellites	Global Channels 12 for SNG	Split uplink in Channel 5-6	Selectable Transporter Spill uplink in activation for 12 out of Hemispheres
Split uplink in Channel 5-6	Split uplink in Channel 5-6	In	In	In	In	In	In
Switchable Global or C-Spot in Channel 9 to 12	Switchable Global or C-Spot in Channel 9 to 12	12 GHz DL capability	Switchable Global or C-Spot in Channel 9 to 12	Capable to uplink From Indianatic Beam Switchable to 500 downlink to India 4 or 5 Zone Beam for up to 6 Channels	Capable to uplink From Indianatic Beam Switchable to 500 downlink to India 4 or 5 Zone Beam for up to 6 Channels	Capable to uplink From Indianatic Beam Switchable to 500 downlink to India 4 or 5 Zone Beam for up to 6 Channels	Capable to uplink From Indianatic Beam Switchable to 500 downlink to India 4 or 5 Zone Beam for up to 6 Channels

INTELSAT VI	INTELSAT VIIA	INTELSAT VIII	INTELSAT IX	INTELSAT X	INTELSAT XI
<p><b>Switchable Transponder and enhanced UL connectivity/in Zone Beams</b></p> <p>12 GHz DL capability</p> <p>Enhanced K-Spot 2 coverage for POR</p>	<p>Switchable Transponder A full enhanced UL connectivity/in Zone Beams</p> <p>12 GHz DL capability</p> <p>Enhanced K-Spot 2 Coverage for POR</p>	<p>TV broadcast mode In Zone Beams for • West Quasi - Hemis Coverge</p> <p>Ku- to C-Band X- Link connectivity In Channel 12 with A return path</p> <p>Flexible Transponder activation for 6 out of 10 Channels In Ku-Band</p>	<p>Switchable Transponder Allocation be- tween SV and SE Zone Beams</p> <p>Flexible Transponder Activation for 12 out of 16 Channels In Ku- Bands</p> <p>Equipped With an Automatic Level Control (ALC) feature for Ku-Band Transponder</p>	<p>Switchable Transponder Allocation be- tween SV and SE Zone Beams</p> <p>Flexible Transponder Activation for 12 out of 16 Channels In Ku- Bands</p> <p>Equipped With an Automatic Level Control (ALC) feature for Ku-Band Transponder</p>	<p>Paralleling of TWT In Ku-Band</p>

**COMPARISON OF THE COMMUNICATIONS SUBSYSTEM**

INTELSAT VI	INTELSAT VII	INTELSAT VIII	INTELSAT IX	INTELSAT K	INTELSAT K-1	INTELSAT X
SS/Loral	SS/Loral	Lockheed Martin	Lockheed Martin	Ge Astro Space	Alstec/Harris	SS/Loral
701-705 and 709	706-708	801-804	805-808	101	TBD	TBD
1993	1995	1997	1999	1992	1999	2000
26	26 14	38 6	28 3	None 16	None 30	44 12
C-Band: 42 Ku-Band: 20	C-Band: 42 Ku-Band: 20	C-Band: 64 Ku-Band: 12	C-Band: 36 Ku-Band: 8	C-Band None Ku-Band: 32	C-Band None Ku-Band: 30	C-Band: 76 Ku-Band: 20
2 Hemi-4 Zone, Global A and B, C-Spot A and B	2 Hemi-4 Zone, Global A (Global B) C-Spot A and B	2 Hemi-4 Zone Global A and B	1 Landmass & Hemis. A and Hemis. B	None	None	2 Hemi, 6 Zone Global A and B
Spot 1, Spot 2, Spot 3 and Enhanced Spot 2PA	Spot 10, Spot 2PA, Spot Enhanced Spot 2PA	Spot 1 and Spot 2	Spot 1	North America South America Europe	F1 (Indirect); F2 (Direct); S1 (PA E east), and S2 (Indirectly MultiPA)	Spot 1 and Spot 2

INTELSAT-X		INTELSAT-VIA		INTELSAT-VIA		INTELSAT-X		INTELSAT-X	
		INTELSAT-X		INTELSAT-VIA		INTELSAT-X		INTELSAT-X	
Uplink 6425 To 6425	Uplink 3423 To 6425	Uplink 6850 To 6425	Uplink 6850 To 6850	N/A	N/A	Uplink 6850 To 6850	N/A	Uplink 6850 To 6425	Uplink 6850 To 6425
Downlink 3700 To 4200	Downlink 3700 To 4200	Downlink 3626 To 4200	Downlink 3400 To 4200			Downlink 3625 To 4200		Downlink 3625 To 4200	Downlink 3625 To 4200
Uplink: 14.0 to 14.5	Uplink: 14.0 to 14.5	Uplink: 14.0 to 14.5	Uplink: 14.0 to 14.5			Uplink: 14.0 to 14.5	Uplink: 14.0 to 14.5	Uplink: 14.0 to 14.5	Uplink: 14.0 to 14.5
Downlink: 10.95 to 11.2 or 11.7 to 11.95 or 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7	Downlink: 10.95 to 11.2 or 11.7 to 11.95 or 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7	Downlink: 10.95 to 11.2 or 11.7 to 11.95 or 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7	Downlink: 10.95 to 11.2 or 11.7 to 11.95 or 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7			Downlink: 10.95 to 11.7 plus for 806 and 11.7 to 11.95 and 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7	Downlink: 10.95 to 11.7 plus for 806 and 11.7 to 11.95 and 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7	Downlink: 10.95 to 11.7 plus for 806 and 11.7 to 11.95 and 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7	Downlink: 10.95 to 11.7 plus for 806 and 11.7 to 11.95 and 12.5 to 12.75 plus 11.45 to 11.7
4-fold with enhanced Zone connectivity	4-fold with enhanced Zone connectivity	6-fold with a 6-fold option for the POR	3-fold with a 3-fold option for the POR	N/A	N/A	6-fold except in Channels (1-2) And (3-4) which is 7-fold	N/A	N/A	N/A

Transponder Saturation e.i.r.p. at Beam - Edge in dBW

INTELSAT	INTELSAT A	INTELSAT VII	INTELSAT VII-A (1984)	INTELSAT VII-A (1991)	INTELSAT K-TVS (S)	INTELSAT K-TVS (E)	INTELSAT K
26°; 29°; 30° Channel 12 <sup>(1)</sup>	29.0	29	N/A	N/A	N/A	N/A	31
33.3°; 36.3°; 36.5° Channel 12 <sup>(2)</sup>	38.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
33	33	36.0; 34.5° + 36.1; 32.9° + 36.1	39.1; 0.23 for Hem. Only	37.5 for Hem. Only	N/A	N/A	37.1; 40.6
45.4; 43.4° et 35°W 46.7; 44.6° et 30°W	47.0; 44.7° et 46.9°W 49.5; 47.2° et 24.6°W	47.0; 44.0° 46.7	48.0	47.1 for (EU) Beam	India (F1) Beam 52 to 49	48.47°	
N/A	47.1; 44.8° et 45.9°W 49.3; 47.1° et 34.9°W	N/A	N/A	N/A	China (F2) Beam 51 to 36	N/A	
44.5; 41.4° et 35°W 45.8; 42.6° et 60°W	47.0; 44.1° et 47.3°W 49.4; 40.1° et 27.3°W	47.0; 44.0° 46.7	N/A	47.1 for (EU) For Beam	Far East (S1) Beam 52 to 51	48.47°	
N/A	45.7; 43.4° et 47.3°W 46.9; 45.6° et 24.7°W	N/A	N/A	N/A	Indonesia / Malaysia (S2) Beam 51 to 43	N/A	

INTERLEAVEN	INTERLEAVEN	INTERLEAVEN	INTERLEAVEN	INTERLEAVEN
VII	VIII	IX	X	XI
44.1A12.0135V	45.2A2.2.0175V	N/A	N/A	N/A
47.5A4.3.01275V	47.5A4.3.01275V	N/A	N/A	N/A
46.0A3.0.4135V	47.0A1.0.4149V	N/A	N/A	N/A
47.5A4.6.050V	44.5A2.7.0.50V	N/A	N/A	N/A
46.0A2.2.01249V	46.0A2.2.01249V	N/A	N/A	N/A
46.7A4.8.02773V	46.7A4.8.02773V	N/A	N/A	N/A

Note: (\*) Means cirp values are for inner and outer beam-edge coverage, respectively.

- (1) INTELSAT VII/VII-A Global Transponder e.i.r.p. in Channel 9A is 26.3 dBW and in Channel 9B is 33.2 dBW.
  - (2) INTELSAT VII and VII-A C-Spot transponder e.i.r.p. in Channel 9A is 35.2 dBW and in Channel 9B is 33.2 dBW.
  - (3) The INTELSAT VI e.i.r.p. for Channel (9-12) is 3 dB higher.
  - (4) Refer to the IESS 410 document for more detailed information.
  - (5) The INTELSTAR K-TV (95°E) beam coverage type is specified in its e.i.r.p. column.
  - (6) The INTELSAT IX combined Zone Beam (4 Zone mode) in the IOR have a minimum 'beam-edge' e.i.r.p. of 35 dBW.