

STASIUN BUMI

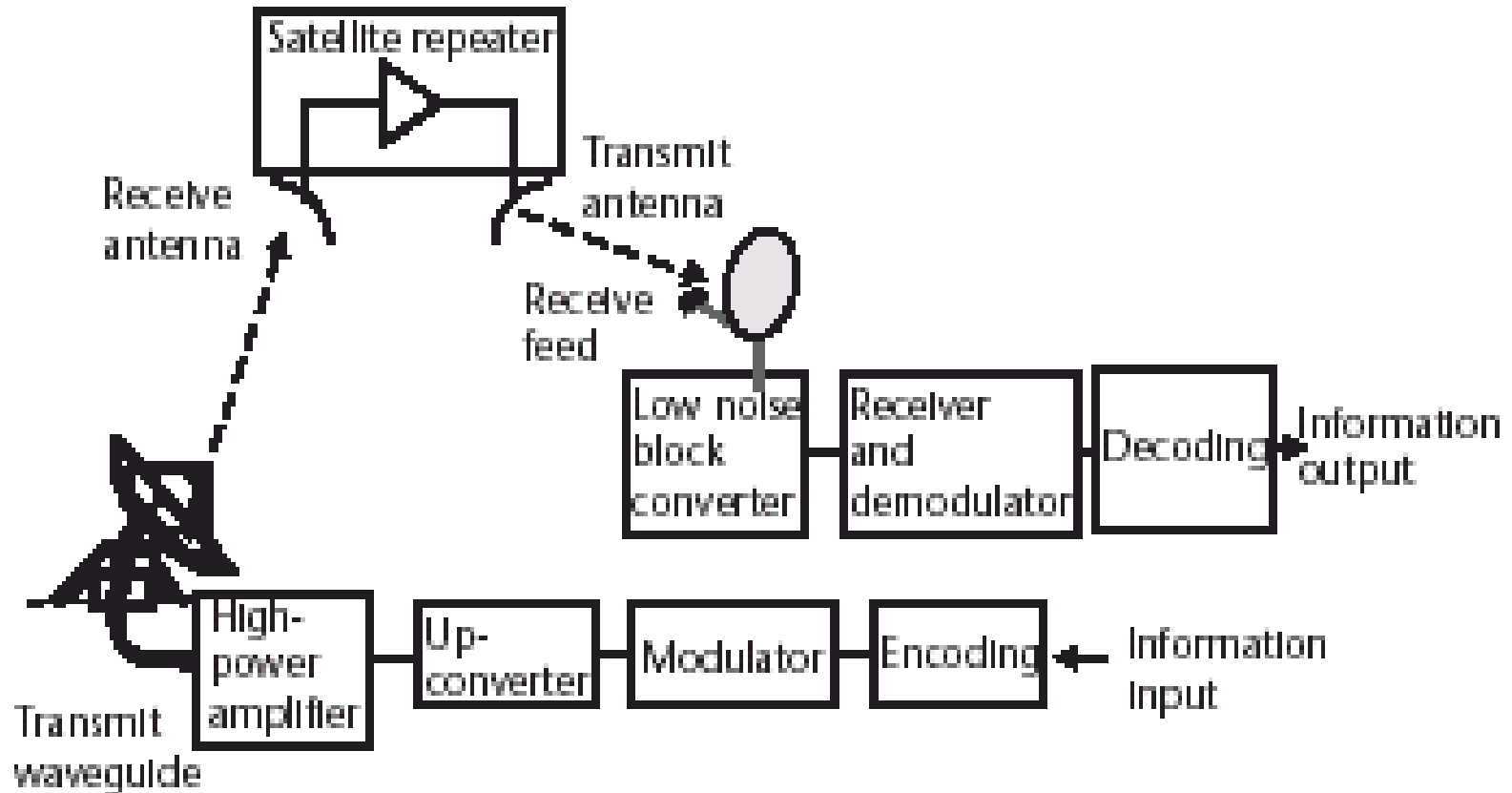
OBYEKTIF PERKULIAHAN

- Dapat memahami kembali blok diagram stasiun bumi (SB) dan mekanisme kerjanya
- Dapat memahami komponen SB
- Dapat memahami sistem tracking/penjejakan

AGENDA PERKULIAHAN

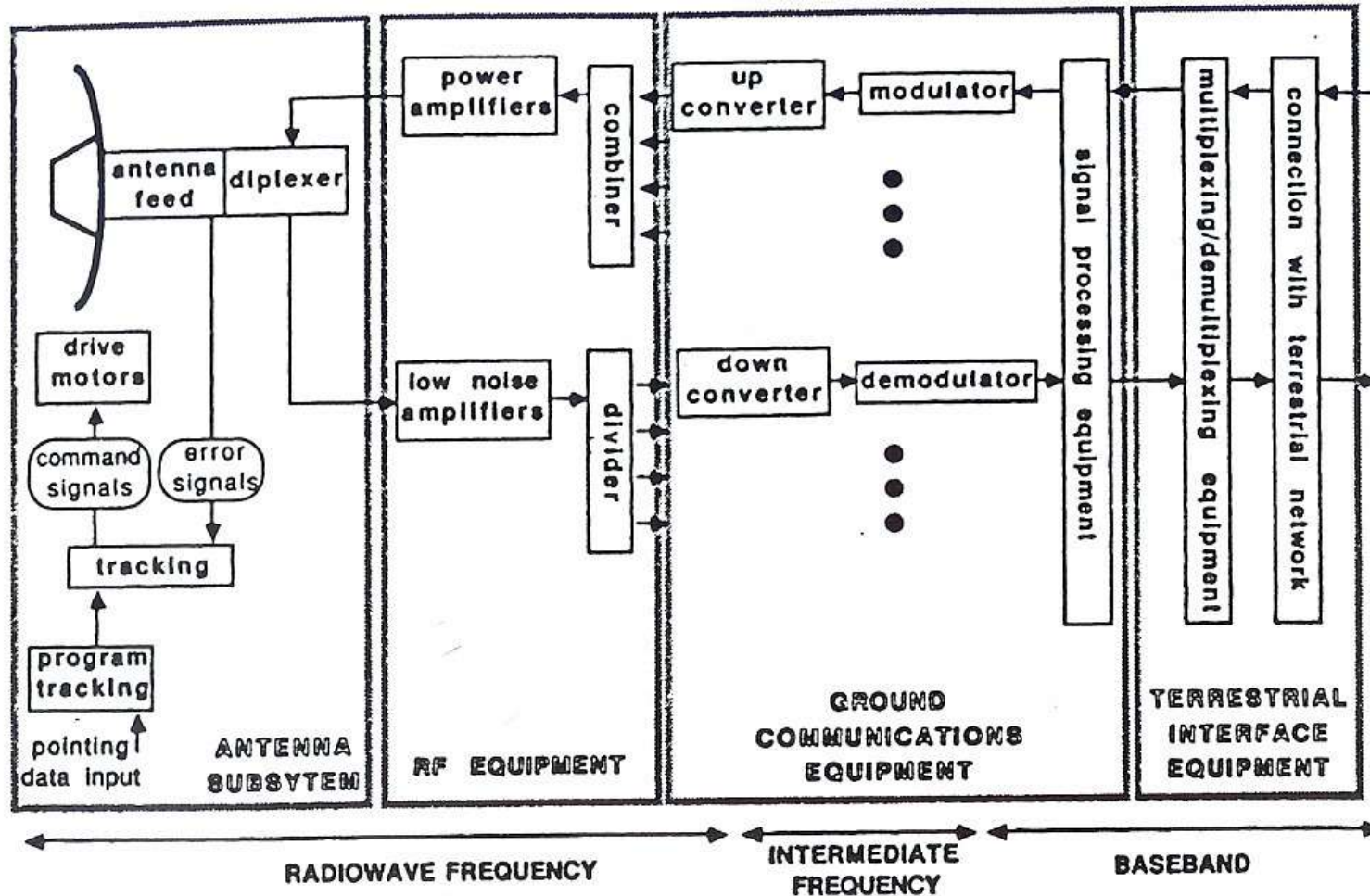
- Arsitektur umum SB
- Sistem Antena
- Komponen RF, IF, dan Baseband
- Sistem penjejakan
- Penentuan Azimuth dan Elevasi untuk instalasi SB

Arsitektur umum SB



Elemen lintasan satelit

ORGANISASI STASIUN



KARAKTERISTIK FREKUENSI RADIO

- Karakteristik unjuk kerja RF Stasiun Bumi :
- Uplink

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_U = (P_T G_T)_{ES} \left(\frac{1}{L_U}\right) \left(\frac{G}{T}\right)_{SL} \left(\frac{1}{K}\right) \quad (\text{Hz})$$

- Downlink

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D = (P_T G_T)_{SL} \left(\frac{1}{L_D}\right) \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{1}{k}\right) \quad (\text{Hz})$$

KARAKTERISTIK FREKUENSI RADIO

- EIRP : Effective Isotropic Radiated Power
 - $EIRP = (P_T G_T)_{ES}$ (W)
 - P_T : Daya pada input antenna (W)
 - $P_T = (P_{HPA})_{ES} (1/L_{FTX})_{ES} (1/L_{MC})_{ES}$ (W)
 - G_T : Penguatan antenna arah satelit
 - $G_T = (G_{Tmax}/L_T)_{ES}$
 - $G_{Tmax} = \eta_T (\pi D f_U / c)^2$
 - $L_T = 10^{1,2(\theta_T / \theta_{3dB})^2}$
 - θ_T : sudut kesalahan arah
 - θ_{3dB} : sudut antara penguatan $1/2$ maks

KARAKTERISTIK FREKUENSI RADIO

- FIGURE OF MERIT
- $(G/T)_{ES}$: Perbandingan antara Penguatan penerimaan komposit G terhadap suhu noise sistem T
- $G = (G_R/L_{FRX})_{ES} = (G_{Rmax}/L_R)_{ES} (1/L_{FRX})_{ES}$
- $G_{Rmax} = \eta_T (\pi D f_D / c)^2$
- $T = (T_A/L_{FRX})_{ES} + T_F (1 - 1/L_{FRX})_{ES} + T_{eRX} \quad (^{\circ}K)$
- G/T : untuk sudut elevasi minimal dan kondisi cuaca cerah

KARAKTERISTIK FREKUENSI RADIO

- STANDARD
- Intelsat → IESS
 - Seri 100 : Pengenalan dan daftar dokumen yg telah disahkan
 - Seri 200 : penggolongan stasiun yg diberi otorisasi misalnya unjuk kerja antena, G/T, aras cuping samping
 - Seri 300 : akses, modulasi, pengkodean dan EIRP pembawa
 - Seri 400 : spesifikasi tambahan misalnya spesifikasi satelit, aras intermodulasi, sirkit layanan
 - Seri 500 : TV dijital
 - Seri 600 : standard G

KARAKTERISTIK FREKUENSI RADIO

- Eutelsat → EESS
 - EESS 100 : Pengenalan dan tinjauan dokumen
 - EESS 200 : Layanan teleponi misalnya standar T-2 TDMA, TDMA/DSI, DCME, IDC
 - EESS 300 : Layanan TV misalnya TV uplink, transmisi TV temporer
 - EESS 400 : SB generik menyediakan layanan TV, telepon/data
 - EESS 500 : Satellite Multi Services (SMS), misalnya perangkat baseband dan modulasi untuk QPSK dengan pengkodean Viterbi laju $\frac{3}{4}$ atau $\frac{1}{2}$ FEC

KARAKTERISTIK FREKUENSI RADIO

- Inmarsat
- Komponen : MES, Satelit, NCS, LES
- MES :
 - INMARSAT-A : antene 90 cm, telepon analog moda SCPC/FM, fax dan data moda SCPC/BPSK/TDMA
 - INMARSAT-B : serupa inmarsat A versi dijital telepon SCPC/OQPSK
 - INMARSAT-C : antene omni directional, layanan data paket dua arah, memungkinkan adanya penyimpanan pesan dan data
 - INMARSAT-D⁺ : portable, terintegrasi dengan GPS untuk penjejukan, penelusuran, berita data pendek dan SCaDA
 - INMARSAT-E : layanan pemberitahuan bencana maritim global
 - INMARSAT-M : untk inmarsat-3 menyediakan panggilan telepon dengan viece-coding 4 Kb/s, fax dan data 9 Kb/s.
- Aeronautical : AERO-C, AERO-H, AERO-H⁺, AERO-I, AERO-L, AEROmini-M, Swift-64

ANTENE

- Karakteristik diminta :
 - Direktifitas tinggi pada arah satelit
 - Direktifitas rendah pada arah lainnya terutama pada satelit berdekatan
 - Efisiensi tinggi
 - Isolasi tinggi dengan polarisasi yg tegak lurus terhadapnya
 - Suhu noise rendah
 - Pengarahan kontinyu dengan ketepatan sesuai persyaratan
 - Minimal dari gangguan alam seperti angin, suhu

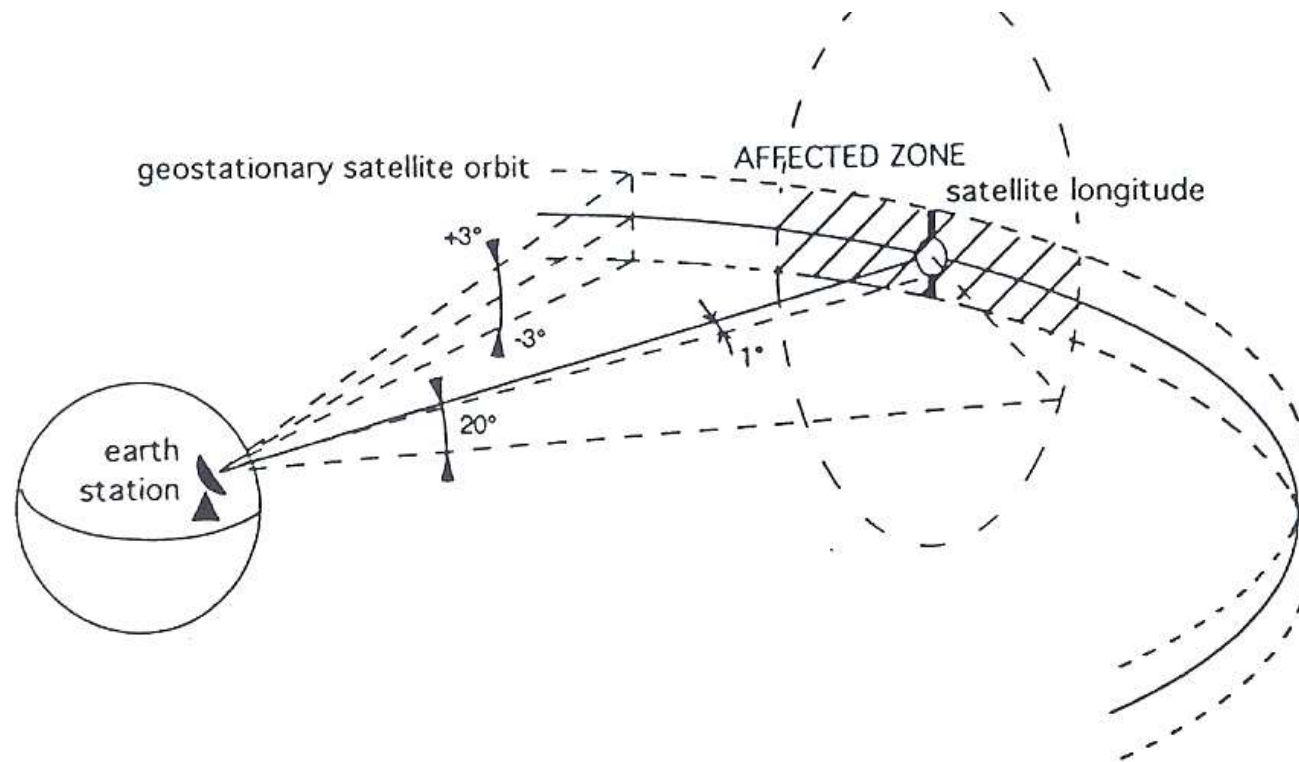
ANTENE

- Radiasi cuping utama (major lobe)
 - Biasanya menggunakan reflektor parabola
 - Parameter penting radiasi cuping utama :
 - Penguatan → EIRP dan G/T
 - Angular beamwidth → jenis sistem penjejukan
 - Isolasi polarisasi → polarisasi tegak lurus
- Radiasi cuping samping
 - Menentukan besarnya interferensi dengan satelit lain
 - ITU-R S.465-5 batas interferensi pada 2 - 30 GHz :
 - $G(\theta) = 32 - 25 \log \theta$ untuk $\theta_{\min} \leq \theta < 48^\circ$ (dBi)
 - $G(\theta) = -10$ untuk $48^\circ \leq \theta < 180^\circ$ (dBi)
 - $\theta_{\min} = 1^\circ$ atau jika lebih besar $(100\lambda/D)^\circ$

ANTENE

- ITU-R S.580-5 (untuk lebih membatasi interferensi GEO) :
 - Penguatan G paling tidak 90 % puncak cuping samping tidak melebihi :
 - untuk $D/\lambda > 150$
 - $G = 32 - 25 \log \theta$ (dBi)
 - θ : sudut penyimpangan dari sumbu
 - $1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ dan $\theta \leq 3^\circ$ dari orbit geostasioner
 - Untuk $50 < D/\lambda \leq 150$
 - $G = 32 - 25 \log \theta$ (dBi) dipasang sebelum 1995
 - $G = 29 - 25 \log \theta$ (dBi) dipasang setelah 1995

ANTENE



Wilayah sekitar orbit satelit geostasioner yg perlu diperhatikan dalam perencanaan antene SB

ANTENE

- Suhu noise antene
 - Sumber noise antene adalah Langit dan Radiasi tanah sekitar
 - Besarnya noise tergantung pada :
 - Frekuensi
 - Sudut elevasi
 - Kondisi atmosfer (cerah atau hujan)
 - Jenis antenna mounting
 - Posisi matahari, satelit dan stasiun bumi saat konjungsi
 - Kondisi sekitar jika penguatan cuping samping tidak nol
- Suhu brightness matahari
 - Tergantung pada :
 - Panjang gelombang
 - Posisinya pada cakram matahari
 - Aktifitas matahari

ANTENE

- Suhu brightness matahari tanpa memperhatikan aktifitasnya pada pita operasi C :

$$T_{SUN} = \left(\frac{1.9610^5}{f}\right) \left[1 + \left(\sin 2\pi \left\{\frac{\log 6(f - 0.1)}{2.3}\right\}\right) / 2.3\right] \quad (^\circ\text{K})$$

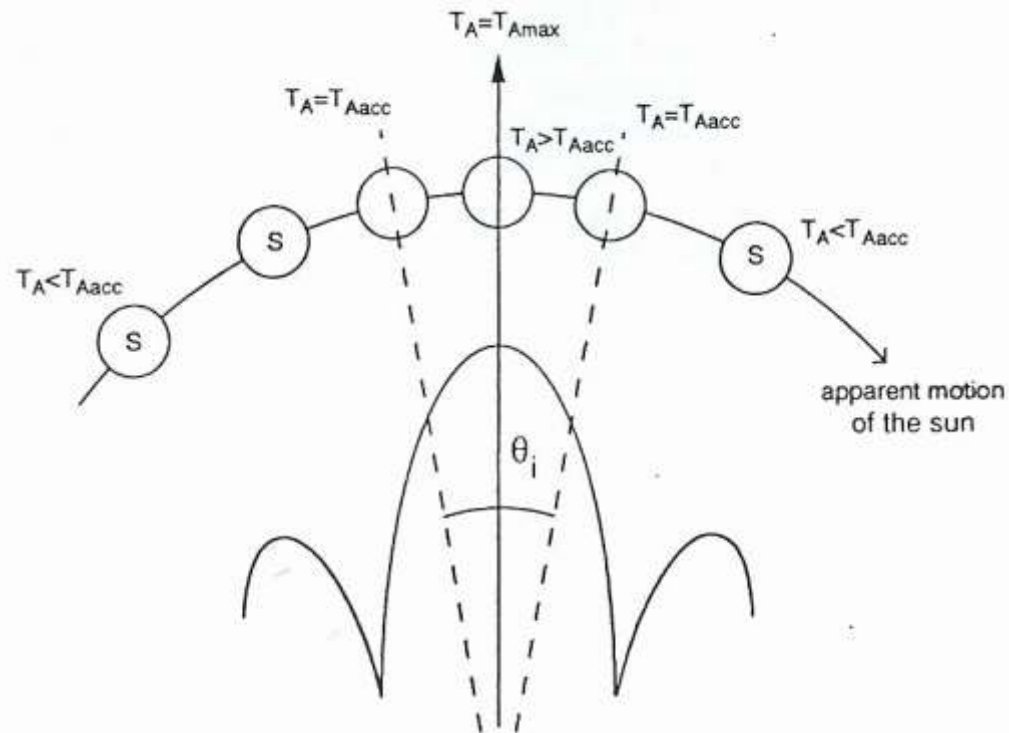
Atau dengan formula pendekatan lain :

$$T_{SUN} = 120000 f^{-0.75} \text{ dimana } f : \text{frekuensi (GHz)}$$

- Peningkatan suhu noise saat konjungsi

$$\Delta T_A = \left(\frac{1}{4\pi}\right) \iint_{\text{solardisc}} T_{SUN}(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi$$

ANTENE

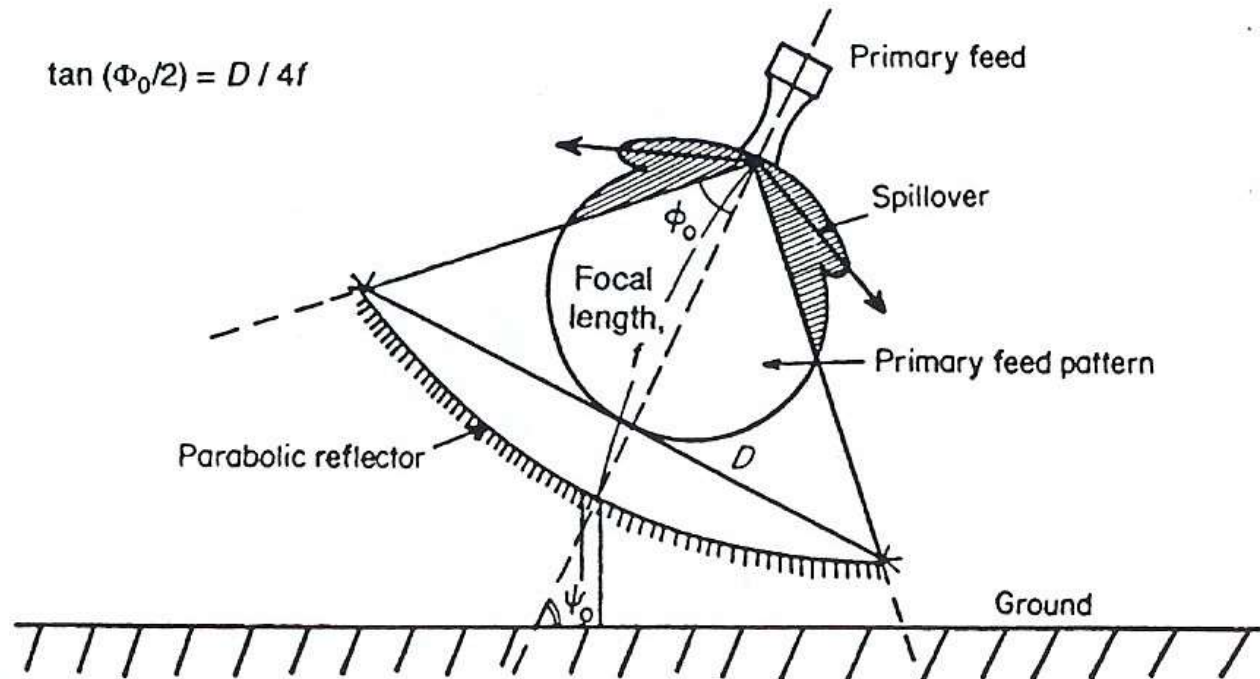


Variasi suhu noise antene dan pergerakan matahari

ANTENE

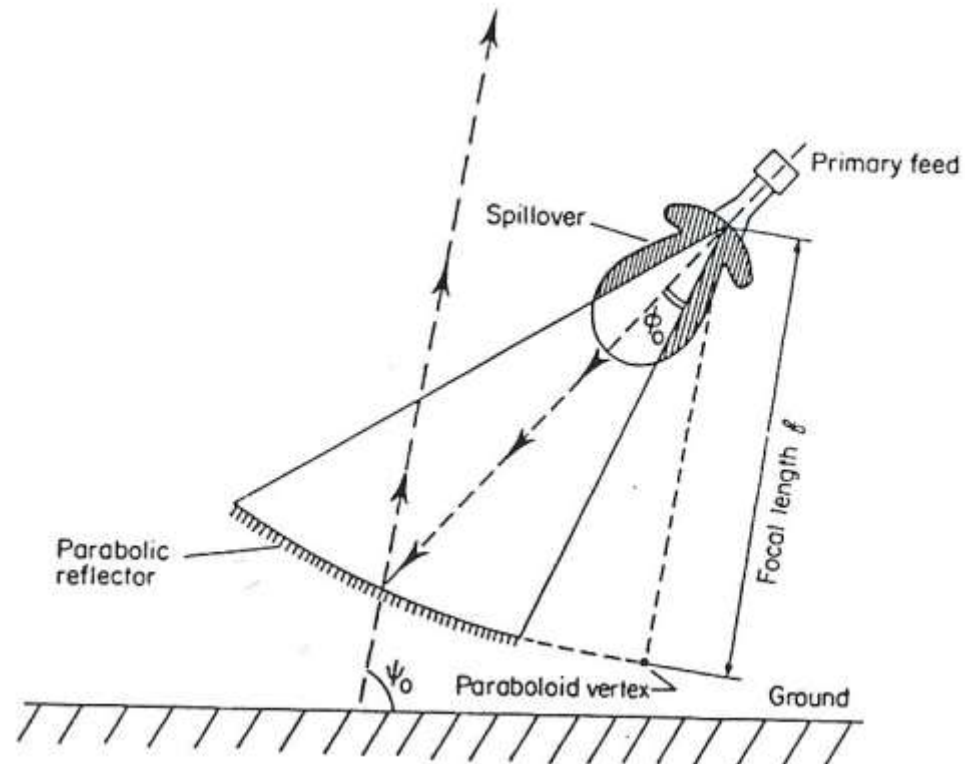
- Jenis antene :
 - Horn → G/T tinggi, mahal, tdk digunakan
 - Parabolik → banyak digunakan
 - Phase array → menguntungkan utk yg bergerak konstan
- Mounting antene parabolik
 - Simetri atau aksisimetri → kelemahan feed support dan aperture blocking → efisiensi rendah
 - Offset → dpt menempatkan sirkit gel mikro tepat dibelakang primary feed
 - Cassegrain →

ANTENE



Antene dengan reflektor parabolik axisymmetric

ANTENE

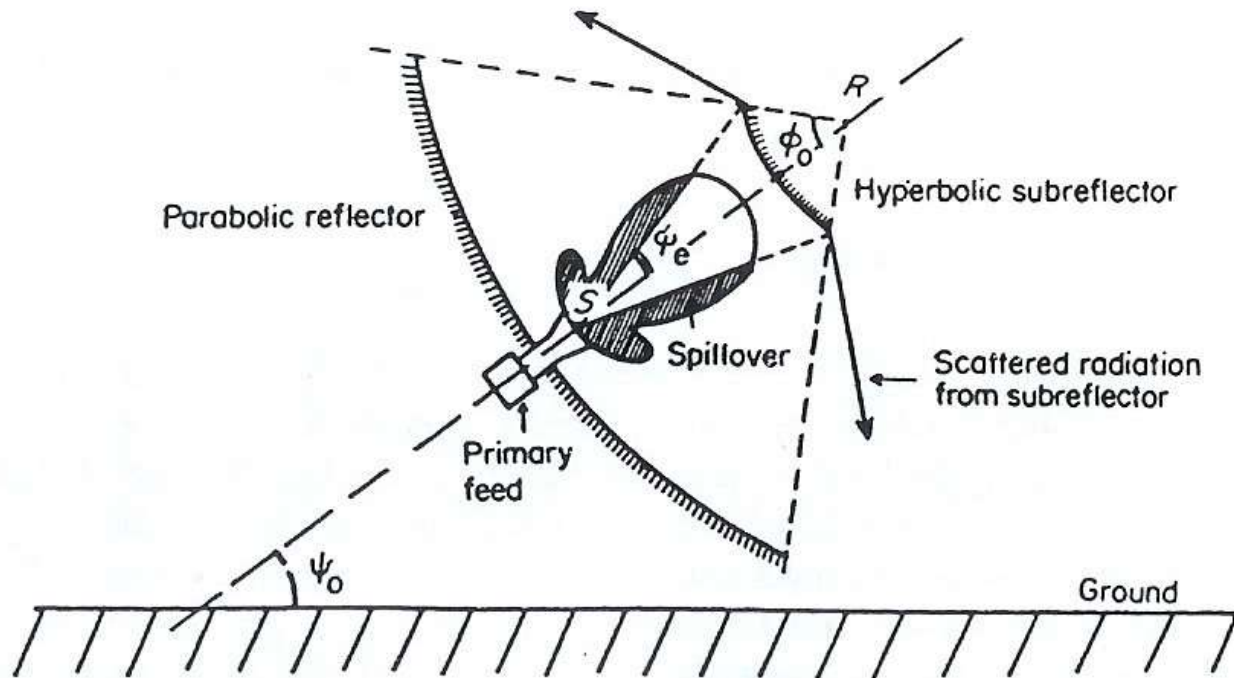


Antene reflektor parabolik offset-feed

Antena Offset-feed



ANTENE



Antene cassegrain reflektor ganda

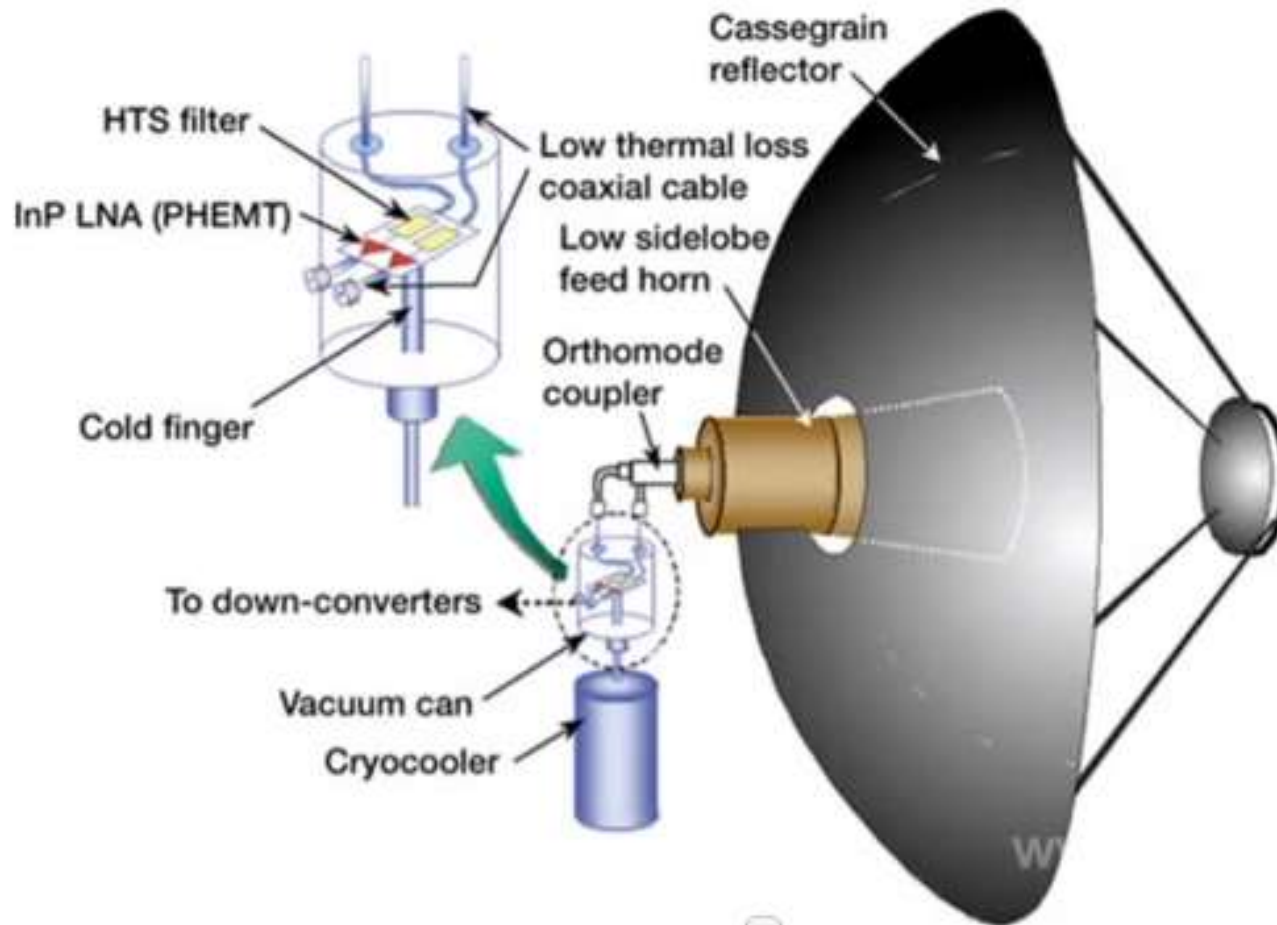
Elliptical Multi Satellite Dish 7 Antenna



Antena Cassegrain

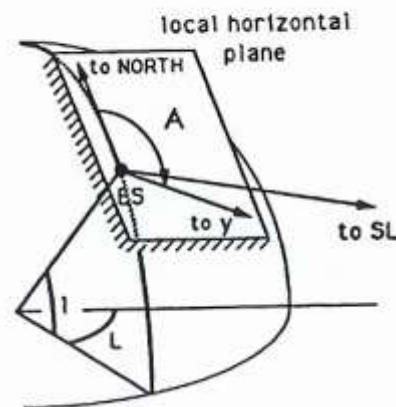
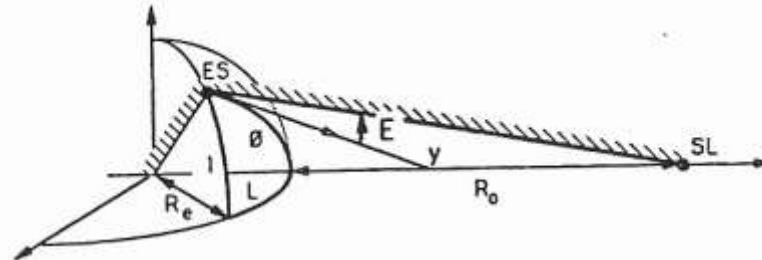


Antena Cassegrain



ANTENE

ARAH ANTENE



	SL East of ES	SL West of ES
ES In NH*	$A=180-a$	$A=180+a$
ES In SH*	$A=a$	$A=360-a$

* NH = North hemisphere
SH = South hemisphere

with:
 $a = \text{Arctan}(\tan L / \sin l)$

Sudut azimuth dan elevasi

ANTENE

- ARAH ANTENE SB

- Arah sumbu antene ke satelit dinyatakan dengan dua sudut – Azimuth A dan Elevasi E
- Ke dua sudut tsb merupakan fungsi lintang (latitude) I dan relative longitude (bujur) L
- L : harga absolut perbedaan dari garis bujur stasiun bumi dan satelit.
- $E = \arctan [(\cos \Phi - R_E / (R_E + R_O)) / (1 - \cos^2 \Phi)^{1/2}]$
 - $\cos \Phi = \cos I \cos L$
 - R_E : Jari-jari bumi = 6378 Km
 - R_O : ketinggian satelit = 35.786 Km

ANTENE

- Sudut Polarisasi

- Sudut polarisasi di SB ψ : sudut antara bidang yg dibentuk oleh garis vertikal lokal dan antena boresight dgn bidang polarisasi
- Jika polarisasi gelombang linier, maka feeder antene stasiun bumi polarisasinya harus sesuai dengan bidang polarisasi gelombang yg diterima.

$$\cos \psi = \frac{\sin l \left(1 - \frac{R_E}{r} \cos \phi\right)}{\sqrt{(1 - \cos^2 \phi) \sqrt{1 - 2 \frac{R_E}{r} \cos \phi + \frac{R_E}{r} \cos^2 l}}}$$



- r : jarak satelit ke pusat bumi = $R_E + R_O$
 - R_E : Jari-jari bumi = 6378 Km
 - R_O : ketinggian satelit = 35.786 Km
- $\cos \Phi = \cos l \cos L$
- L : selisih bujur l : lintang

ANTENE

- Untuk GEO dng kesalahan $< 0,3^\circ$ pers disederhanakan menjadi :

$$\cos \psi = \frac{\sin l}{\sqrt{(1 - \cos^2 \phi)}} \quad \text{atau} \quad \tan \psi = \frac{\sin L}{\tan l}$$

JARAK STASIUN BUMI – SATELIT GEO

$$d^2 = R_o^2 + 2R_E(R_E + R_o)(1 - \cos L \cos l)$$

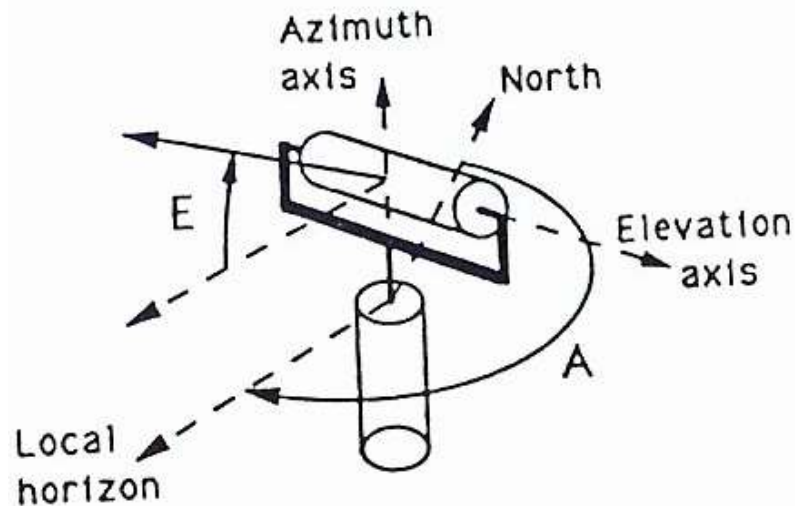
R_o : ketinggian satelit dr muka bumi

ANTENE

- Mounting → mengarahkan antene
- Jenis :
 - Azimuth – Elevasi
 - X-Y
 - Polar atau Equatorial
 - Tripod

ANTENE

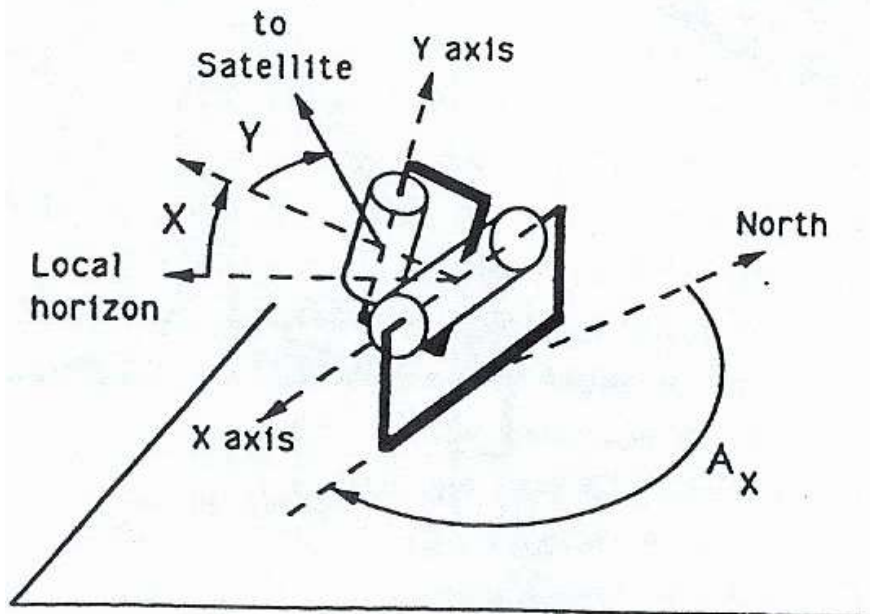
Azimuth - elevasi



Kekurangan : jika elevasi $> 90^\circ$ akan terjadi kesulitan mekanis

ANTENE

X - Y → Lebih cocok untuk LEO dari pada untuk GEO



$$X = \arctan\left[\frac{\tan E}{\sin A_R}\right]$$

$$Y = \arcsin[-\cos A_R \cos E]$$

A_R : azimuth satelit relatif thd sumbu primer (sumbu X)

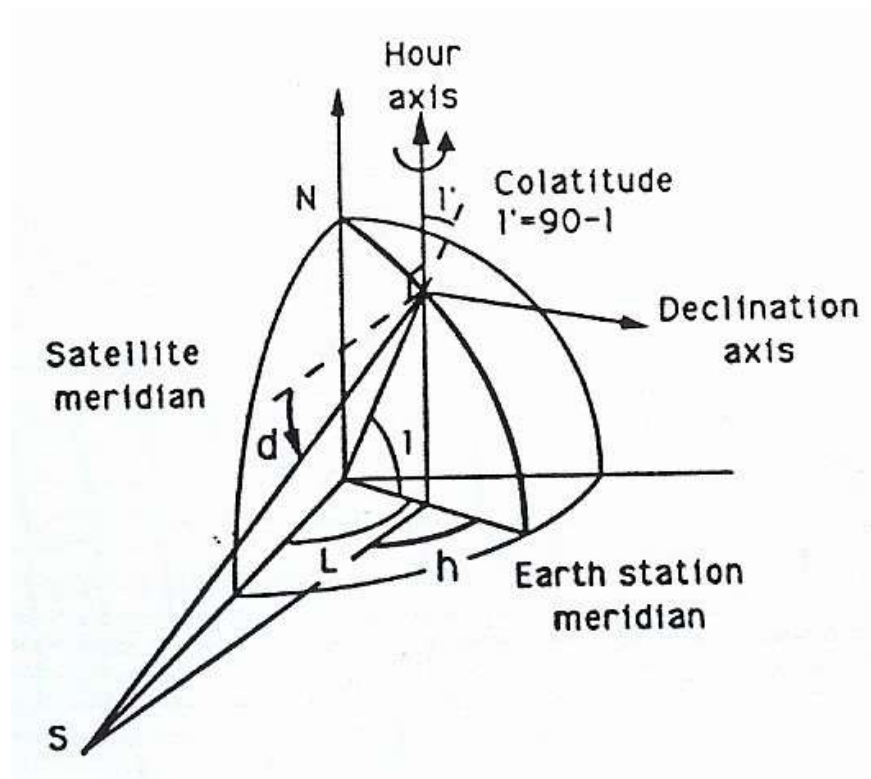
$$A_R = A - A_X$$

A : Azimuth (= sebelumnya)

A_X : orientasi sumbu X thd arah utara

ANTENE

Polar



h : hour angle

d : declination

ANTENE

- Polar atau Equatorial

- Sumbu hour sejajar dengan sumbu rotasi bumi
- Sumbu declination tegak lurus thd sumbu hour sejajar proyeksi garis bujur ke ekuator

$$h = \tan^{-1} \left[\frac{\sin L}{(\cos L - 0.15126 \cos l)} \right]$$

$$d = \tan^{-1} \left[\frac{-0.15126 \sin l \sinh}{\sin L} \right]$$

L : Bujur Timur SB – Bujur Timur Satelit

l : positif utk Lintang Utara & negatif utk Lintang Selatan

Untuk L = 0, d tidak terdefinisi sehingga berlaku :

$$d_{L=0} = \tan^{-1} \left[\frac{-l}{6.61078} - \cos l \right]$$

6.61078 : harga nominal dari $(R_O + R_E)/R_E$

ANTENE

- Tripod
 - Sangat baik untuk GEO
 - Antene tetap ditopang oleh 3 kaki dengan 2 kaki memiliki panjang bervariasi.
 - Kebergantungan elevasi dan azimuth tergantung pada mounting yang digunakan
 - Mounting sederhana
 - Variasi sudut pengarahannya terbatas (sekitar 10 derajat).

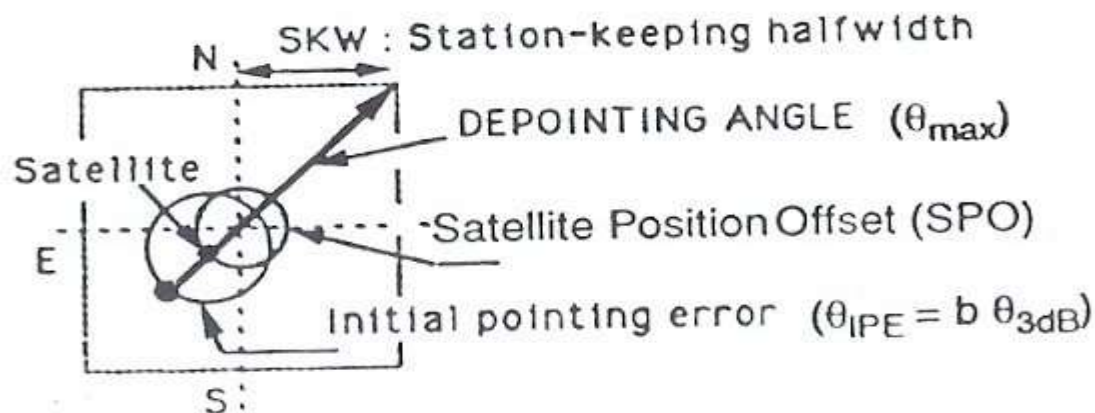


ANTENE

- Tracking/penjejakan
 - Menjaga sumbu beam antene tetap ke arah satelit walaupun satelit atau SB bergerak.
 - Pemilihan jenis penjejakan tergantung pada lebar beam antene dan besarnya pergerakan satelit.
- Pengaruh karakteristik antene
 - Depointing loss L
 - $L = \Delta G = 12 (\theta/\theta_{3dB})^2$ [dB]
- Pergerakan nyata satelit
 - Pergerakan mengakibatkan variasi sudut elevasi
 - Pergerakan GEO terdapat dalam station keeping box

ANTENE

- Antene tetap tanpa penjejakan
 - Penjejakan tidak diperlukan bila lebar beam antene besar
 - GEO → dibanding dng station keeping box
 - Sistem satelit pd inklinasi orbit eliptis → melebihi sudut ruang pergerakan nyata satelit orbit aktif
 - $\theta_{MAX} = (SKW \sqrt{2} + SPO) + \theta_{IPE}$
 - $\theta_{MAX} = a + b \theta_{3dB}$



ANTENE

- Penjejukan terprogram
 - Pengarahan antene terjaga karena adanya sistem pengendali orientasi yg berkaitan dgn nilai sudut azimuth dan elevasi setiap saat
 - Pointing error tergantung pd keakuratan pergerakan nyata satelit dr perhitungan sudut pengarahan yng berbeda-beda dan keakuratan pengarahan antene pada arah tertentu.
 - Terutama digunakan pada SB dng antene λ/D besar (lebar beam besar).
 - Jika λ/D kecil, digunakan pd non GEO utk preposisi antene diwilayah satelit akan tampak guna memastikan akuisisi sistem penjejukan loop tertutup beroperasi pada beacon satelit

ANTENE

- Penjejakan komputasi
 - Baik untuk λ/D menengah yang tidak cocok menggunakan penjejakan beacon loop tertutup.
- Penjejakan otomatis loop tertutup
 - Deteksi amplitudo berurutan
 - Conical scanning
 - Step by step tracking
 - Smoothed step-track
 - Electronic tracking
 - Teknik monopulse
 - Multi source monopulse
 - Mode extraction monopulse

ANTENE

- Pengaruh jenis penjejakan thd penguatan antene

JENIS PENJEJAKAN	ERROR	LOSS PENGUATAN
None	Initial pointing error : $\theta_{IPE} = 0.1 - 0.2 \theta_{3dB}$	A function of the station-keeping box
Programmed or computed	Typical : 0.01°	A function of D/λ
Conical scanning	$0.05 - 0.2 \theta_{3dB}$ (typical : 0.01°)	$\Delta G = 0.03 - 0.5 \text{ dB}$
Step-by-step	$0.05 - 0.15 \theta_{3dB}$ (typical : 0.01°)	$\Delta G = 0.03 - 0.3 \text{ dB}$
Electronic deviation	$0.01 - 0.05 \theta_{3dB}$ (typical : 0.005°)	$\Delta G \leq 0.03 \text{ dB}$
Monopulse	$0.02 - 0.05 \theta_{3dB}$ (typical : 0.005°)	$\Delta G \leq 0.03 \text{ dB}$

ANTENE

Gain fallout

$$\Delta G = 12 \left(\frac{\theta_{MAX}}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

Minimum gain

$$G_{MIN} = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 10^{-1.2[c]^2} dB_i$$

Fixed mounting

$$\Delta G = 12(b + a / \theta_{3dB})$$

a : SKW V2 + SPO thd pusat box
b θ_{3dB} : initial pointing error

Minimum gain

$$G_{MIN} = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 10^{-1.2[b+(aD/70\lambda)]^2} dB_i$$

Programmed tracking

$$\Delta G = 12 \left(\frac{\theta_{MAX}}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

Automatic tracking

$$\Delta G = 12(c)^2$$

c : tracking error $0.05 \leq c \leq 0.15$

Minimum gain

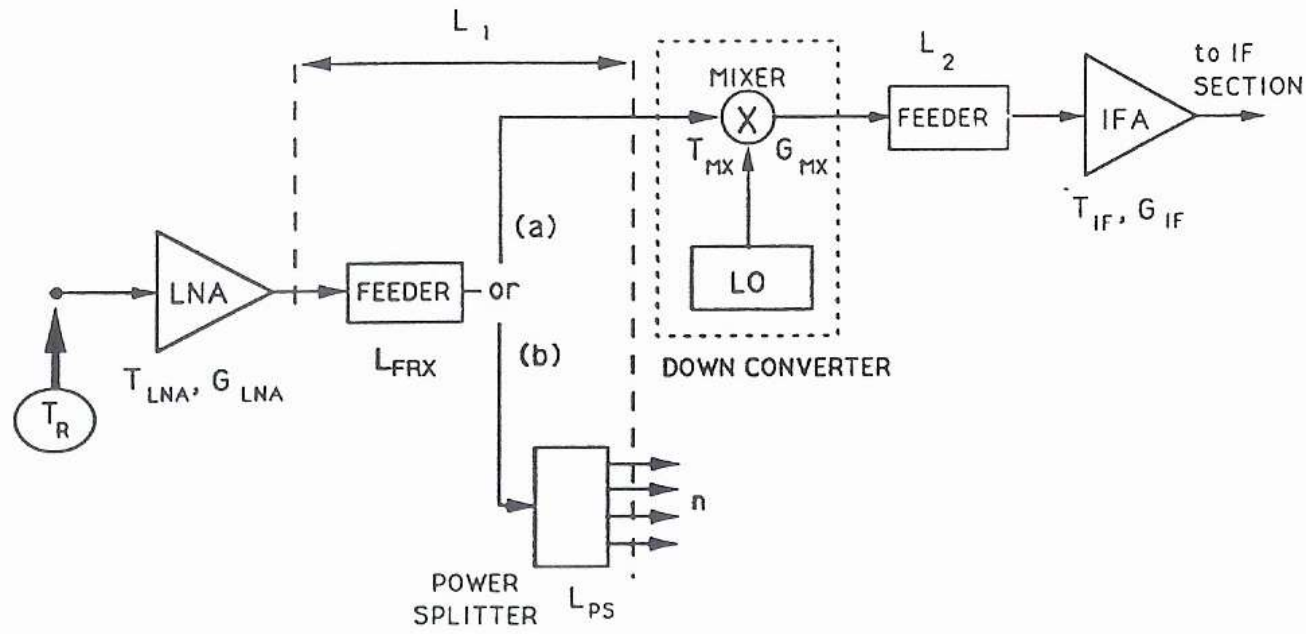
$$G_{MIN} = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 10^{-1.2[c]^2}$$

ANTENE

- Antene dipasang di perangkat bergerak (mobile)
 - Pd antene terarah penjejukan otomatis hanya dapat dilakukan dengan penjejukan loop tertutup
 - Penguncian servo loop membutuhkan landasan yg distabilkan secara inersial.
 - Arah beam dapat dijaga dengan antene yg dikendalikan secara elektronik
 - Pd pesawat terbang dpt digunakan antene array yg secara elektronik diarahkan ke azimuth dan diletakkan di badan pesawat.
 - Khusus utk bergerak darat dpt digunakan antene fixed zenith pointing
 - Utk lintasan satelit geo dng sudut elevasi kecil dpt digunakan antene omnidirectional agar sederhana dan murah

SUBSISTEM FREKUENSI RADIO

Perangkat penerimaan



(a) Konversi pita penuh

(b) Konversi tiap pembawa

SUBSISTEM FREKUENSI RADIO

G/T SB merupakan fungsi suhu noise T :

$$T = \left(\frac{T_A}{L_{FRX}}\right) + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_{eRX}$$

- T_A : suhu noise antene
- L_{FRX} : rugi-rugi feeder
- T_F : suhu fisik sambungan
- T_{eRX} : suhu noise masukan penerima

$$T_{eRX} = T_{LNA} + \frac{(L_1 - 1)T_F}{G_{LNA}} + \frac{T_{MX} L_1}{G_{LNA}} + \frac{(L_2 - 1)T_F L_1}{G_{LNA} G_{MX}} + \frac{T_{IF} L_2 L_1}{G_{LNA} G_{MX}} + \dots$$

SUBSISTEM FREKUENSI RADIO

- Penguat noise rendah
 - Struktur junction pd bipolar trans menghasilkan noise termal dan shot noise yg sanagt berpengaruh pd frek tinggi
 - FET menghasilkan noise termal yg dpt diturunkan dengan memilih bahan semikonduktor dan geometri transistor → GaAs dan submicron lithography
 - HEMT (High Electron Mobility Transistor) dapat menurunkan suhu noise terutama pd frek 20 GHz
 - Perangkat Peltier thermoelektric dpt menurunkan suhu noise sekitar 50°

SUBSISTEM FREKUENSI RADIO

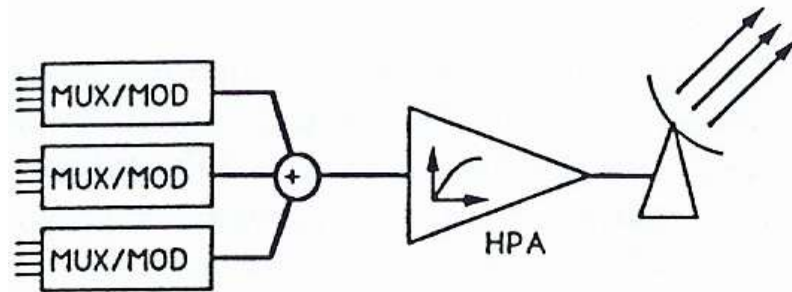
- Frequency downconversion
 - Konversi dapat dilakukan seluruh pita frekuensi atau masing-masing setiap pembawa.
 - Pd konversi seluruh pita frek distribusi pembawa ke demodulator yg berbeda dilakukan pd tingkat IF (140 MHz). Konversi ini biasanya dilakukan pada antene kecil dan perangkat konventor diletakkan terpadu dengan LNA.
 - Pd konversi setiap pembawa, IF (umumnya 70 MHz atau 140 MHz) sama tanpa melihat besarnya frekuensi pembawa, pengaturan dilakukan pada frekuensi osilator lokal.
 - Power splitter dibutuhkan utk membagi keluaran LNA ke beberapa demodulator.

SUBSISTEM FREKUENSI RADIO

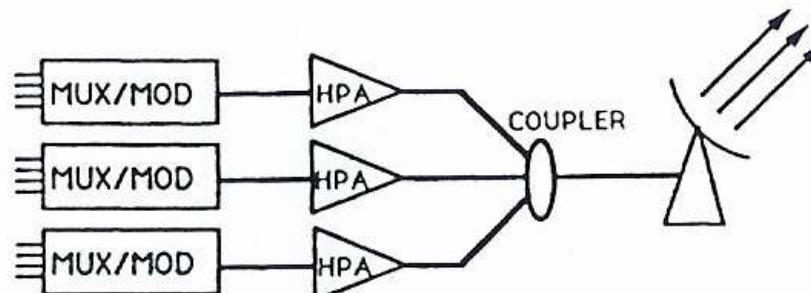
- Perangkat transmisi
 - $P_T = (P_{HPA})(1/L_{FTX})(1/L_{MC})$
 - P_T : Daya pembawa
 - P_{HPA} : Penguatan penguat daya
 - L_{FTX} : redaman koneksi antara keluaran HPA dan antena
 - L_{MC} : reduksi karena multi pembawa
- Penguat daya
 - Penguat daya dapat berupa transistor (FET) atau tabung (Klystron, TWT) yg digabung dengan penguat awal dan lineariser
- Lineariser
 - Digunakan utk membatasi efek ketidak linieran penguat.
 - Kebanyakan menghasilkan distorsi amplitudo dan fasa
 - Mereduksi back-off bila penguat beroperasi mendekati saturasi

SUBSISTEM FREKUENSI RADIO

- Carrier pre-coupling

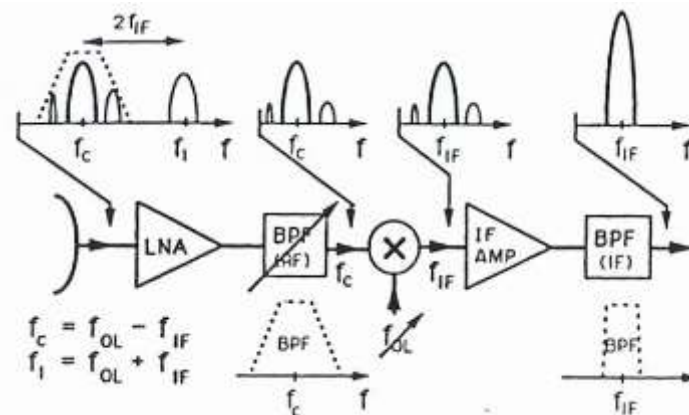


- Carrier post-coupling



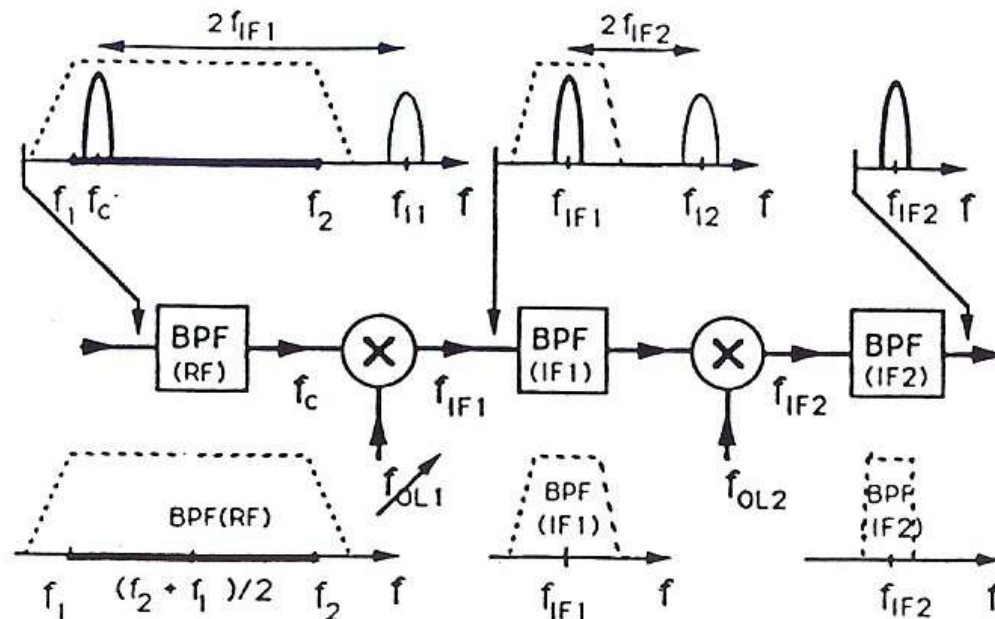
SUBSISTEM KOMUNIKASI

- Fungsi :
 - Pd sisi pengirim mengubah sinyal baseband menjadi pembawa frekuensi-radio
 - pd sisi penerima mengubah pembawa frekuensi-radio menjadi sinyal baseband.
- Translasi frekuensi :
 - Konversi frek tunggal



SUBSISTEM KOMUNIKASI

- Konversi frek ganda

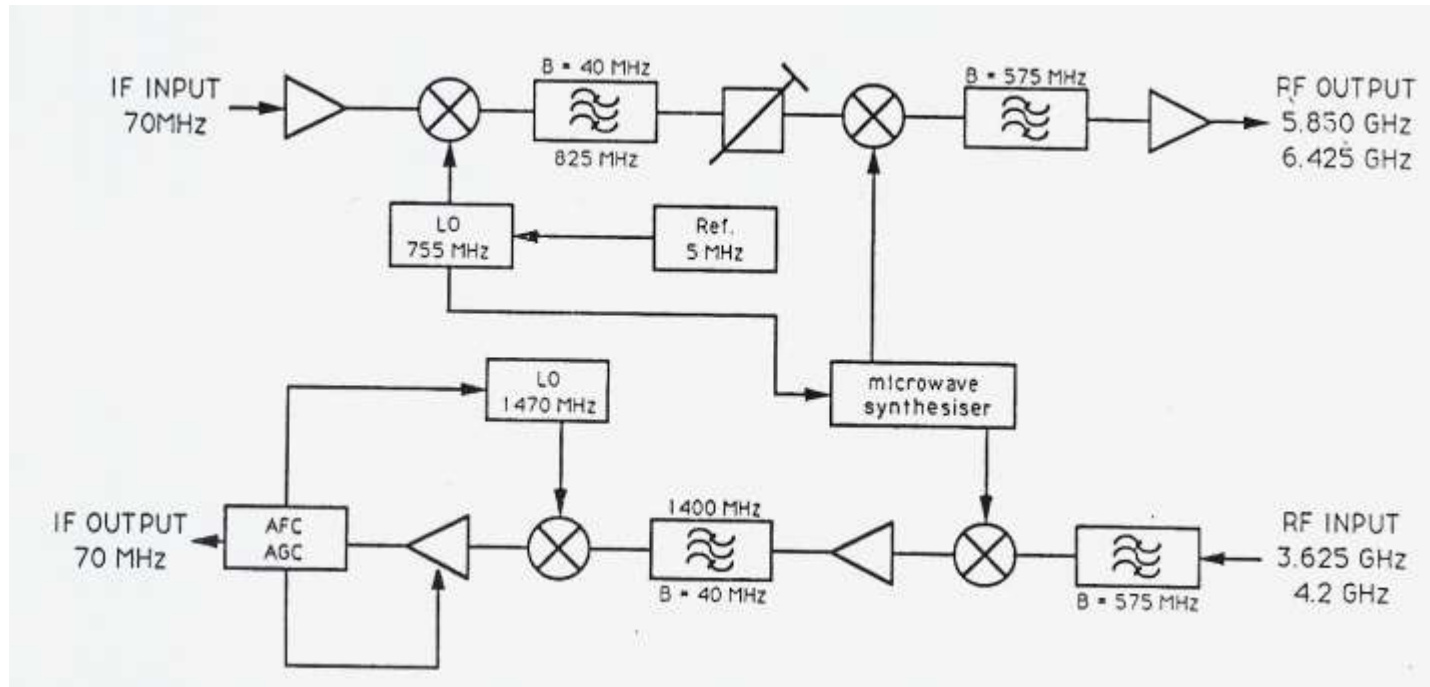


$(f_2 - f_1) = \text{Operational bandwidth}$

(The amplifiers have been omitted for clarity)

SUBSISTEM KOMUNIKASI

- Konversi fullband



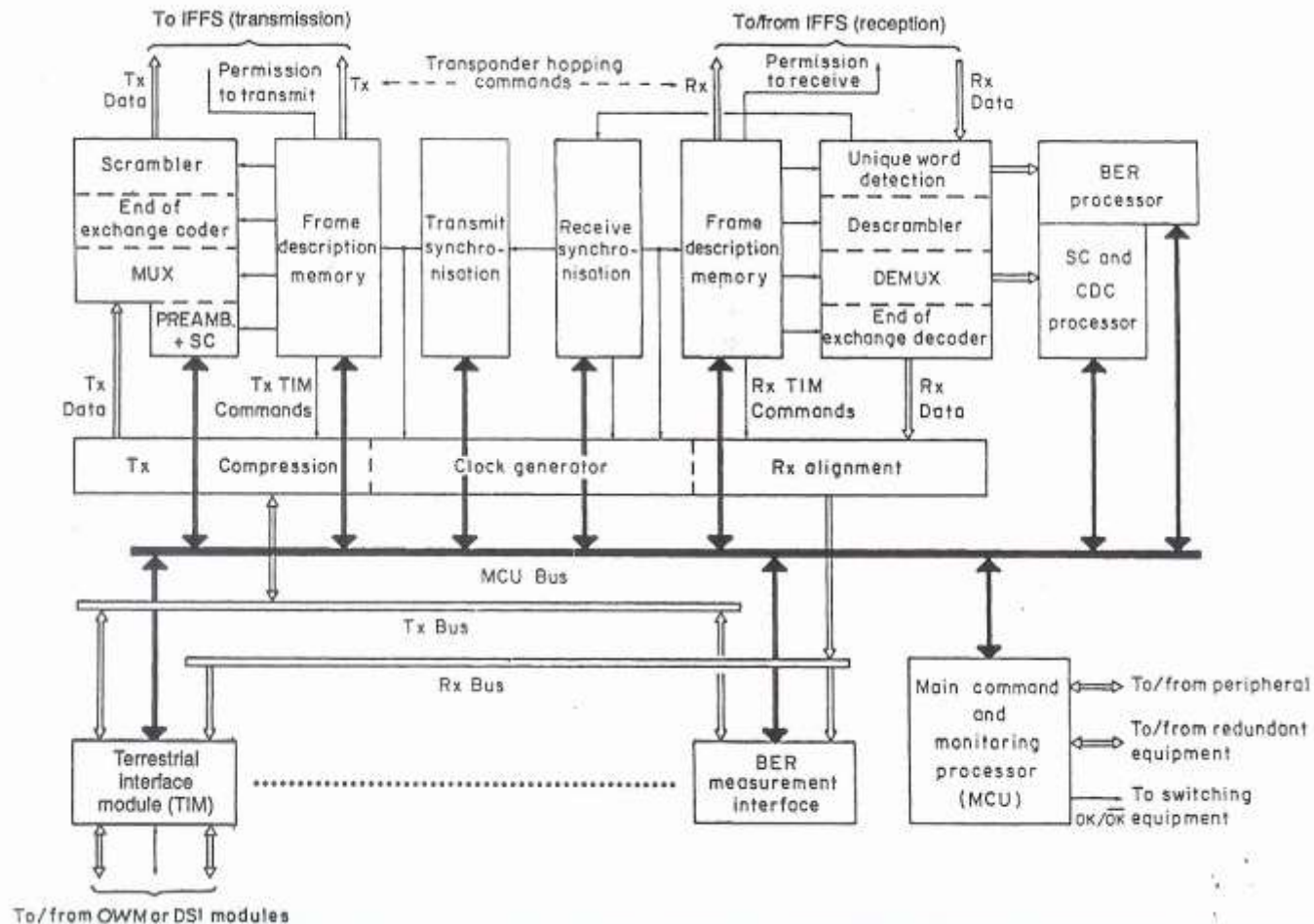
Modulasi dan demodulasi

- Modulasi dan demodulasi
 - Transmisi analog
 - Banyak menggunakan modulasi frekuensi
 - Harus memiliki linieritas yg baik dan group propagation delay konstan sepanjang pita frek
 - Perangkat tambahan : pre-emphasis dan de-emphasis
 - Transmisi digital
 - Banyak menggunakan modulasi BPSK atau QPSK
 - Perangkat tambahan : forward error correction

Terminal TDMA

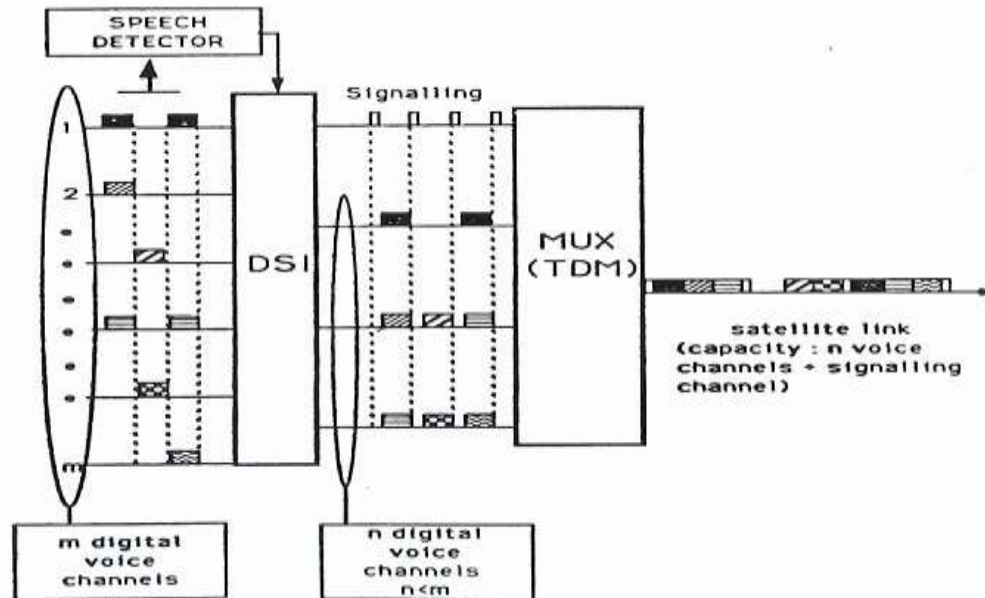
- Terdiri dari :
 - Intermediate freq subsystem (IFSS)
 - Common logic equipment (CLE)
- Intermediate freq subsystem (IFSS)
 - Modulasi phase, umumnya menggunakan 4 tingkat
 - Demodulasi, umumnya koheren
 - Transponder hopping,
 - Trans → mengarahkan paket dr modular ke konverter
 - Rec → multiplexing ke demodulator dr burst yg diterima dr konverter berbeda

CLE subsystem



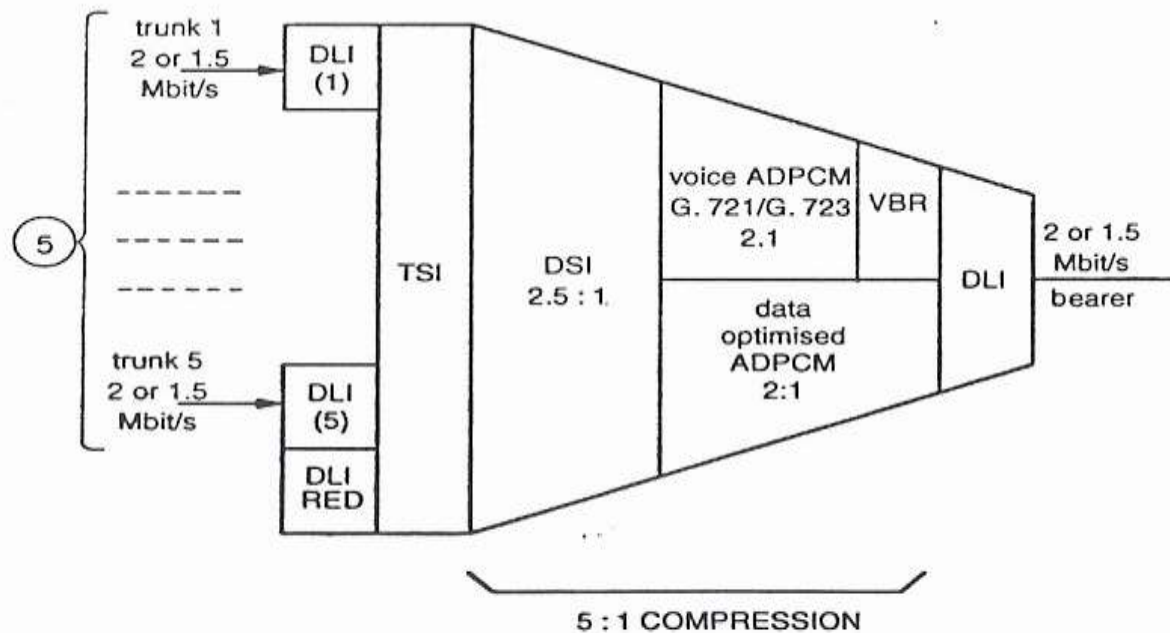
Subsistem antarmuka jaringan

- Multiplexing dan demultiplexing
 - FDM
 - TDM
- DSI



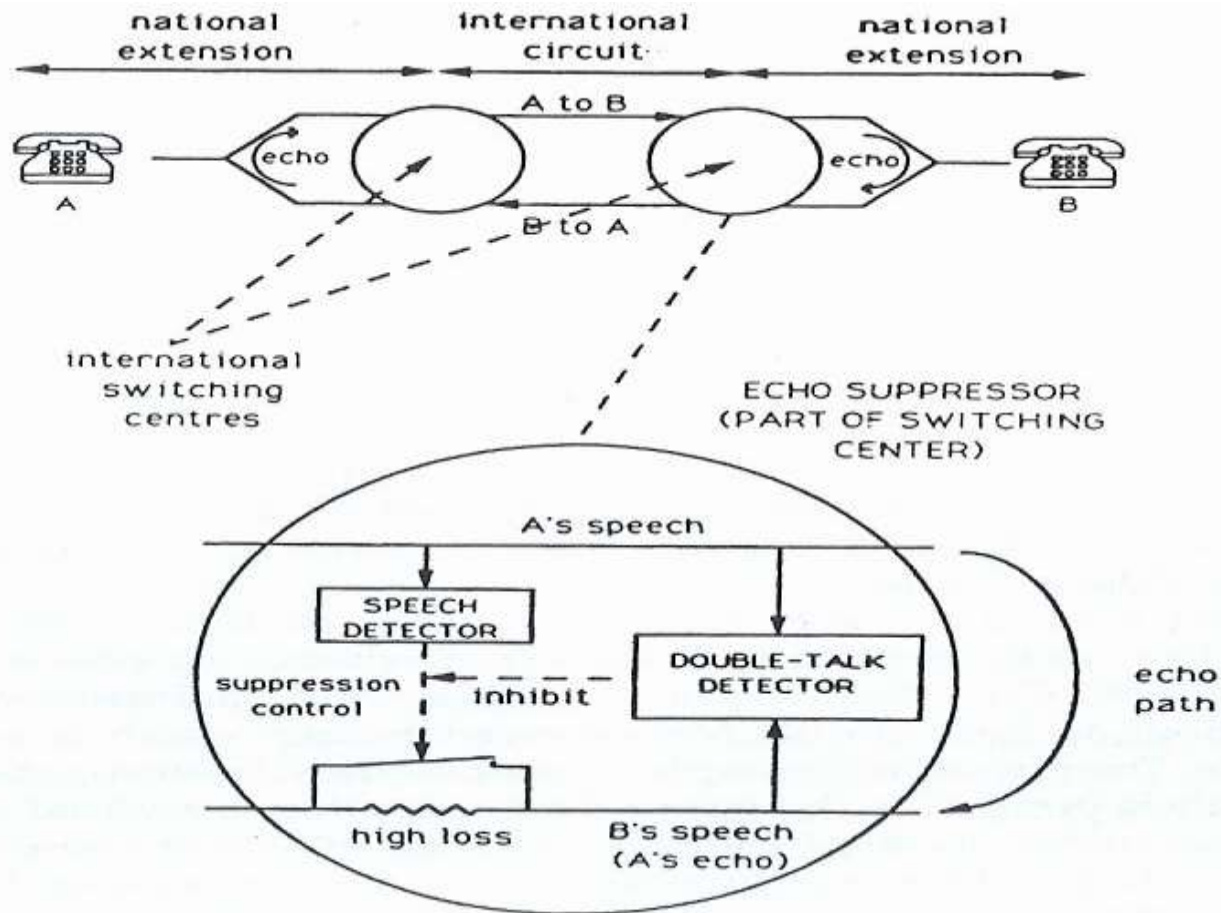
Digital Circuit Multiplication Equipment (DCME)

- DCME



ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulation
 DLI : Data Link Interface
 DSI : Digital Speech Interpolation
 TSI : Time-Slot Interchange
 VBR : Variable Bit Rate Control

Echo suppression and cancellation



Monitoring and control; auxiliary equipment

- **MAC (Monitoring, Alarm and Control)**
 - Maksud :
 - Menyediakan info utk pemantauan dan pengendalian serta pengelolaan trafik
 - Inisialisasi alarm jika salah operasi, unjuk kerja lintasan
 - Pengendalian perangkat stasiun
- **Electrical power**
 - Jenis catuan :
 - UPS
 - Stand-by
 - Tanpa stand-by