

SATELLITE LINK

1. *Review parameter antena, thermal noise, etc*
2. *Anatomi link satelit*
3. *Rugi-rugi*
4. *Analisa link budget dasar untuk kondisi clear sky dan hujan*

- Dapat memahami antena dan mekanisme kerjanya
- Dapat memahami link komunikasi satelit dan rugi-rugi.
- Dapat memahami link budget

Referensi :

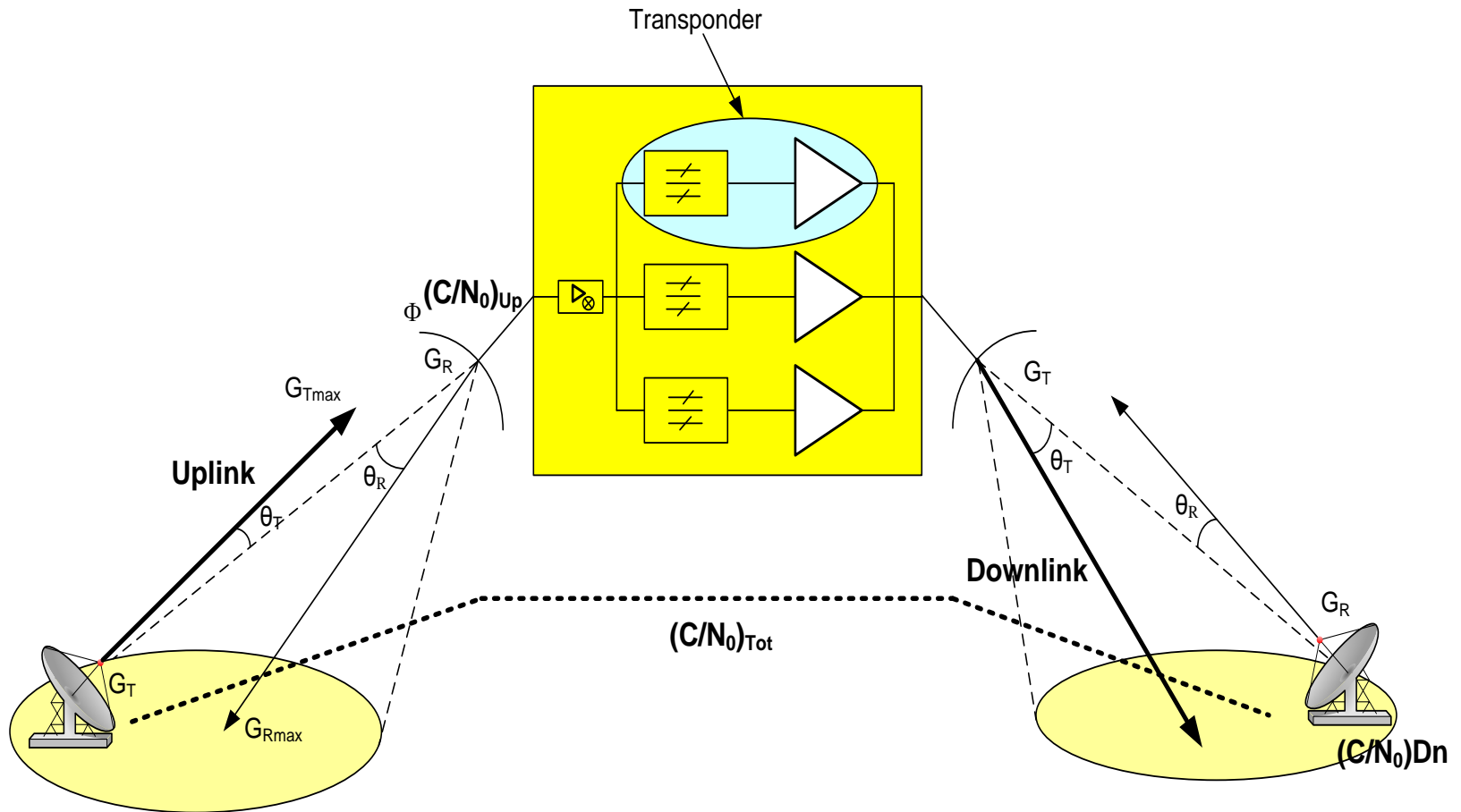
Maral, G and Bousquet, M., “*Satellite Communication Technology : System and Design*”, John Willey and Son, 1995

Chapter 2, page

Agenda Perkuliahan

- Parameter antena
- Anatomi link satelit
- Analisa link budget dasar untuk kondisi clear sky dan hujan

Basic Link Analysis

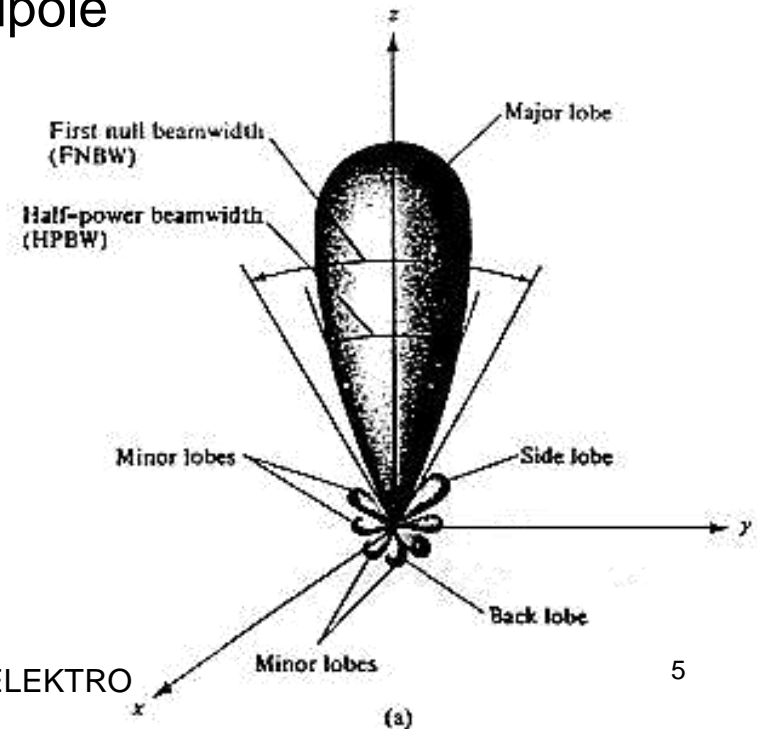
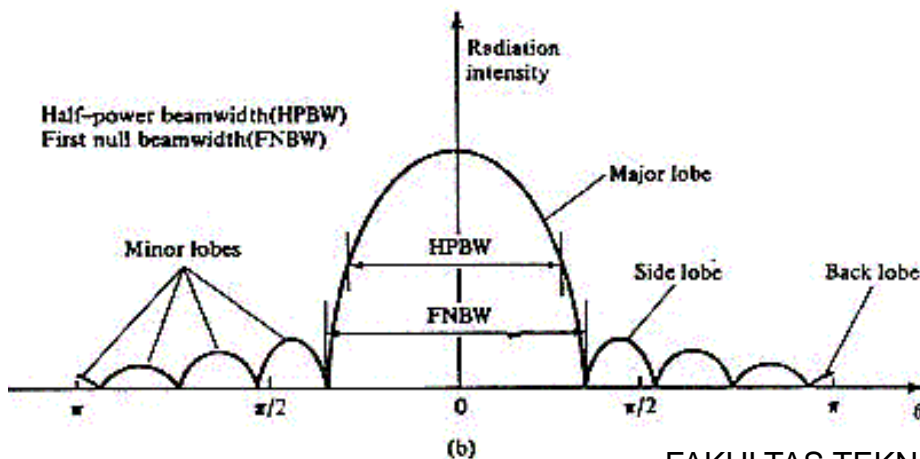
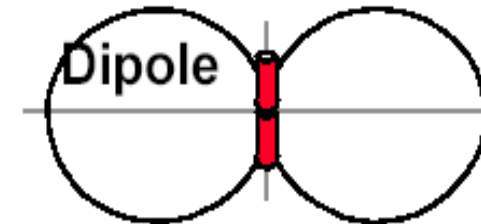
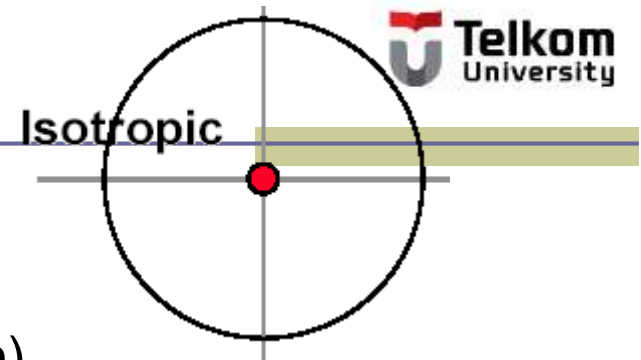


Parameter Antena

■ Gain

- Antena adalah divais pasif (tidak menghasilkan daya atau penguatan)
- Gain yang dimaksud adalah bila dibandingkan antena lain
- Satuannya adalah dBi (ref. antena isotropis) dan dBd (ref. antena dipole $\lambda/2$)

■ Radiation pattern



Gain

$$G_{\max} = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) A_{\text{eff}}$$

$$A_{\text{eff}} = \eta A = \eta \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

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

$$55\% \leq \eta \leq 75\%$$

$$\eta = \eta_i \times \eta_s \times \eta_f \times \eta_z \times \dots$$

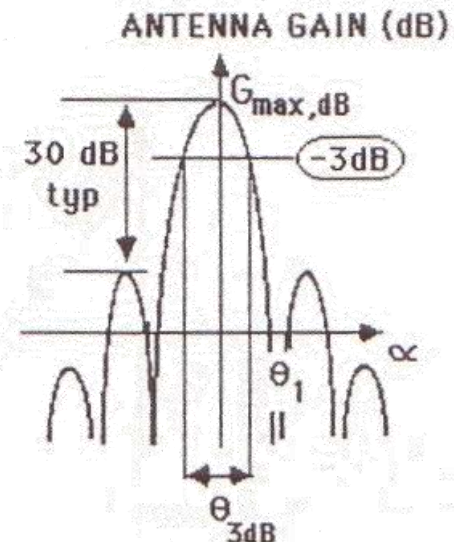
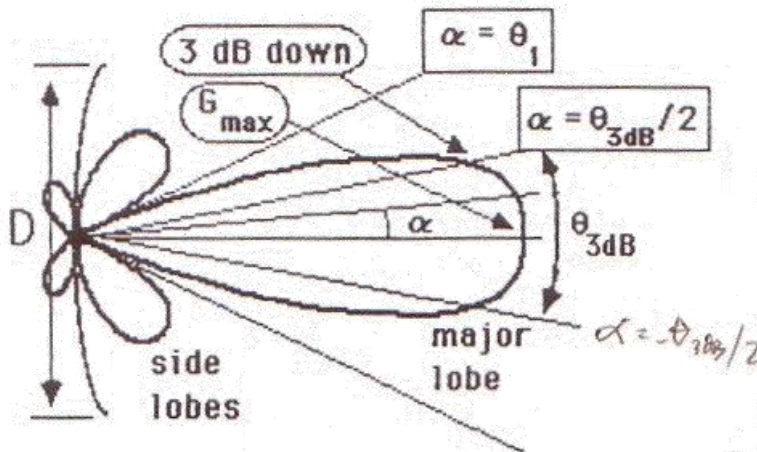
- Efisiensi akibat : iluminasi, spill over, kerataan permukaan, ketidaksesuaian impedansi, loss ohmic, dll

Beam Width

Koefisien iluminasi 70° →
$$\theta_{3dB} = \frac{70\lambda}{D}$$

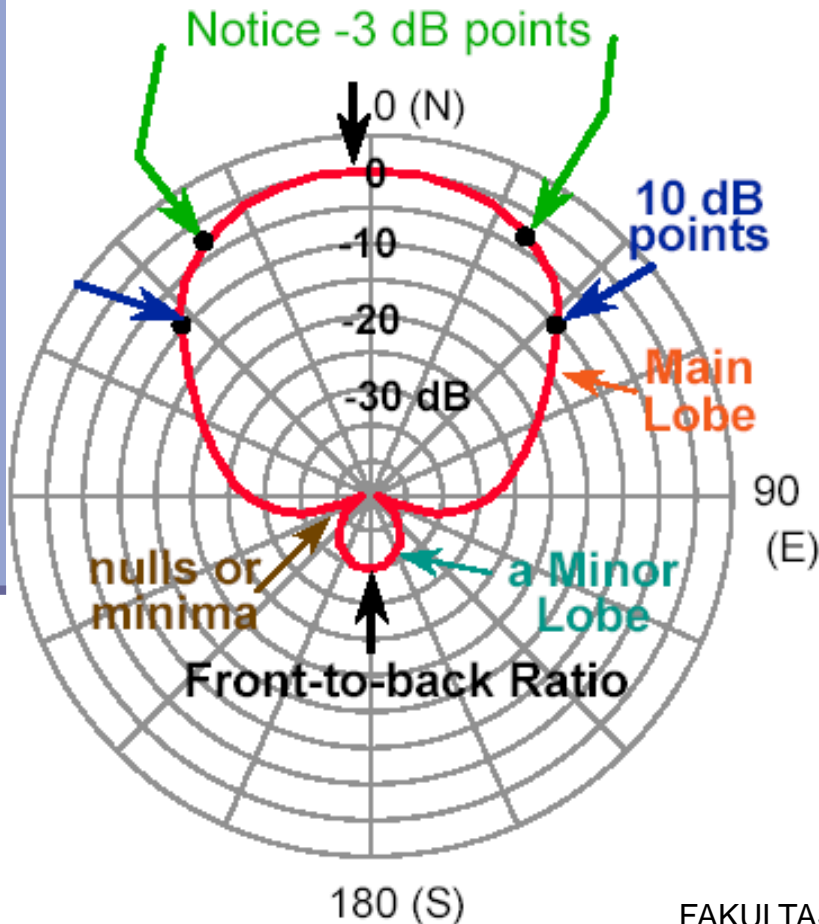
Efisiensi 0,6 →
$$G_{max} = \frac{29000}{(\theta_{3dB})^2}$$

$$\theta_{3dB} = \frac{170}{10^{(G_{max,dBi}/20)}}$$

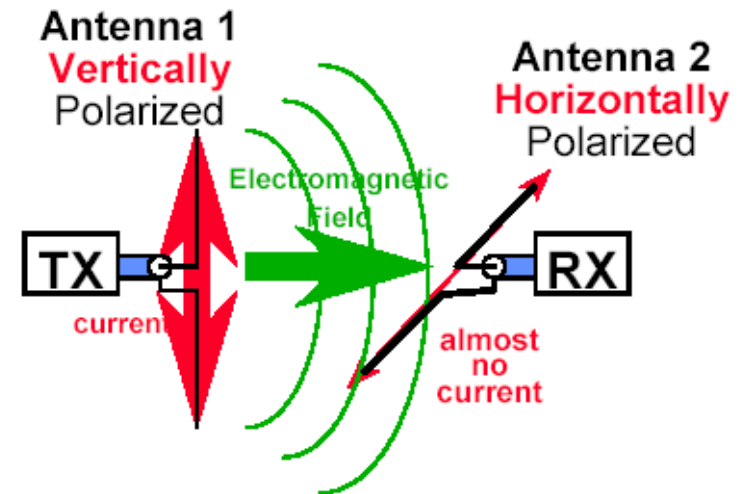


Parameter Antena

Typical Example Horizontal Plane Pattern



- Polarisasi
 - Orientasi antena



- Loss yang timbul akibat ketidaksesuaian polarisasi antena dengan gelombang datang

$$PLF = (\vec{a}_{ER} \cdot \vec{a}_A)^2 = \cos^2 \varphi$$

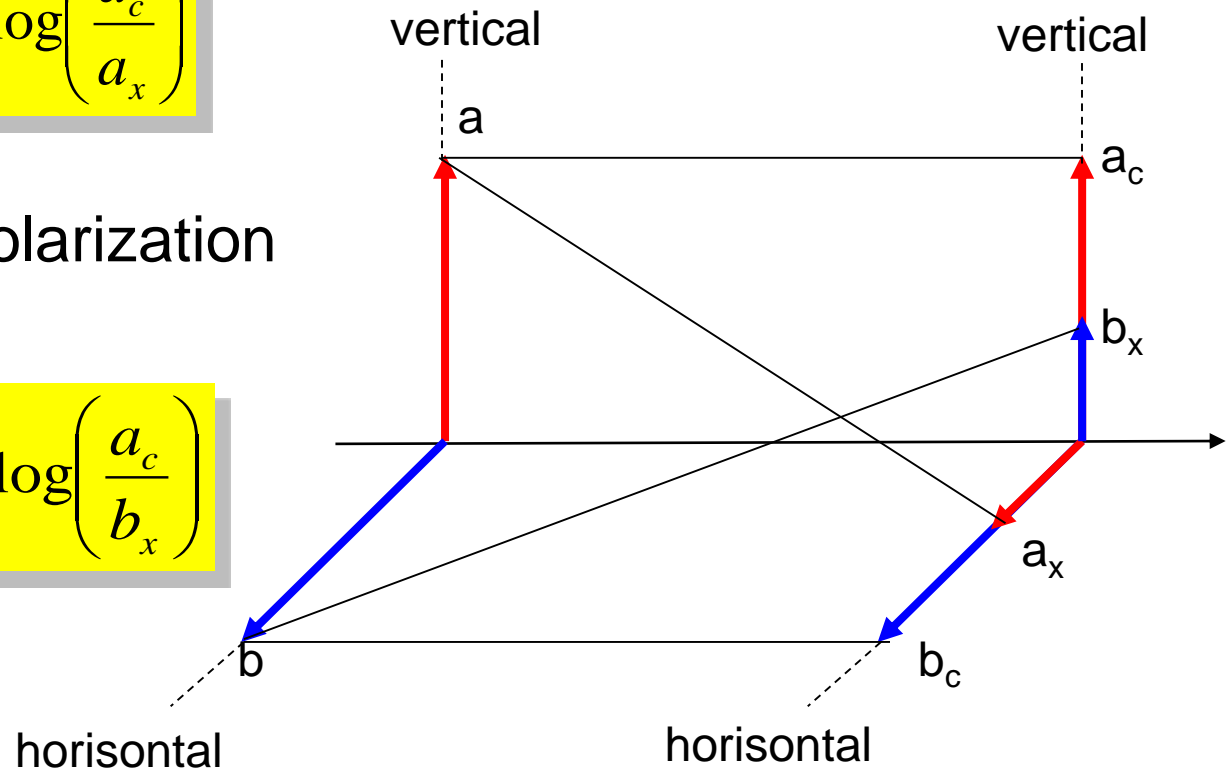
Parameter Antena

- XPD (cross polarization discrimination)

$$XPD(dB) = 20 \log \left(\frac{a_c}{a_x} \right)$$

- XPI (cross polarization isolation)

$$XPI(dB) = 20 \log \left(\frac{a_c}{b_x} \right)$$

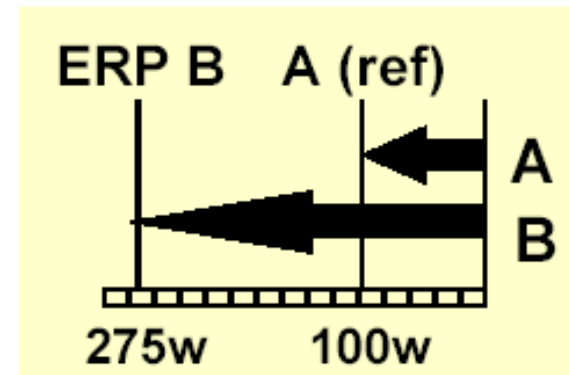
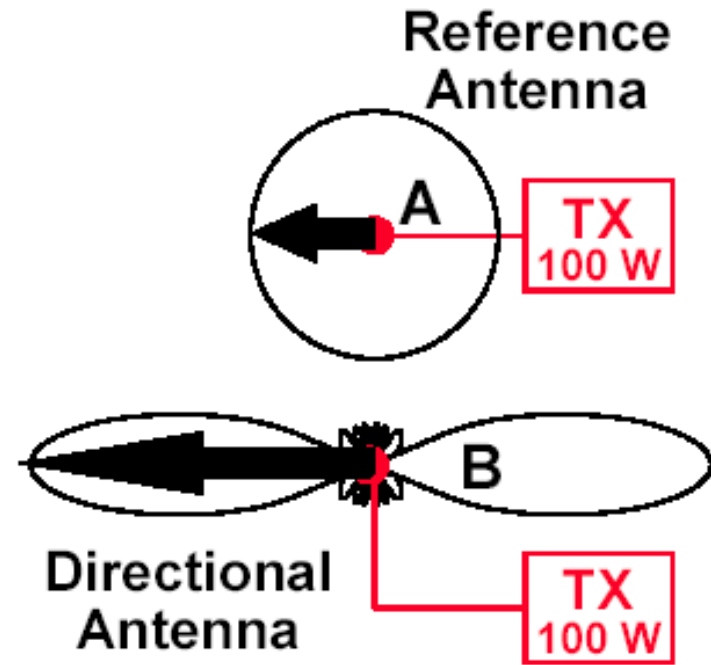


Parameter Antena

- Effective Radiated Power
 - Sama dengan daya output HPA dikalikan dengan Gain antena (dengan antena referensi adalah antena dipole)

$$ERP = P_T G_T$$

- EIRP = ERP dengan antena referensi adalah antena isotropis



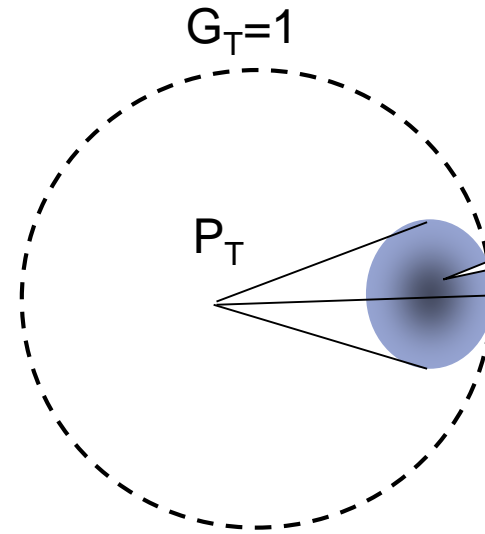
Parameter Antena

Power Flux Density

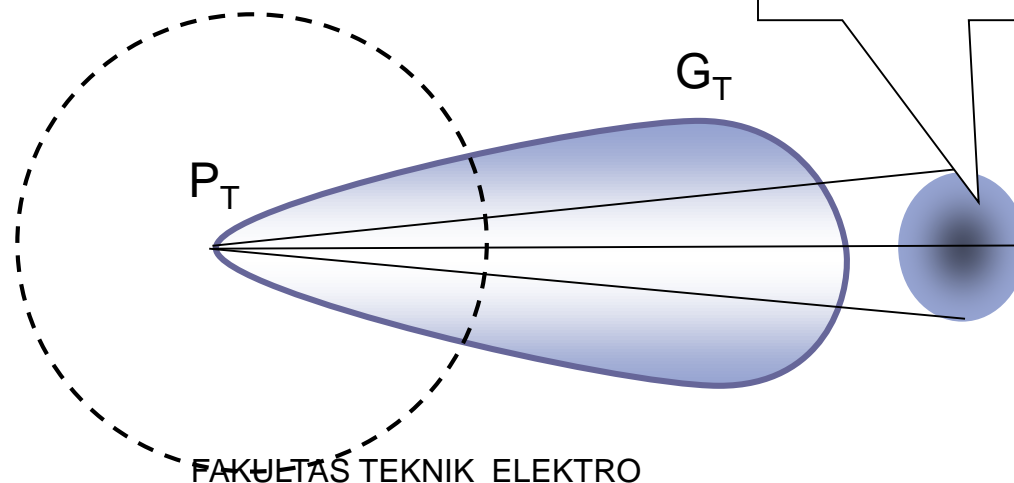
$$\Phi = \left(\frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \right)$$

RSL (Received Signal Level)

$$P_R = \Phi A_{\text{reff}}$$



Antena isotropis
Daya radiasi per
sudut ruang $P_T/4\pi$



Antena isotropis
Daya radiasi per
sudut ruang $P_T G_T/4\pi$

Parameter Antena

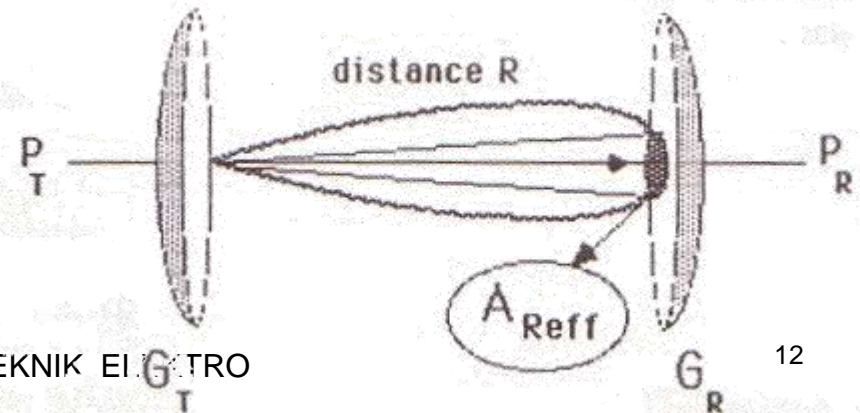
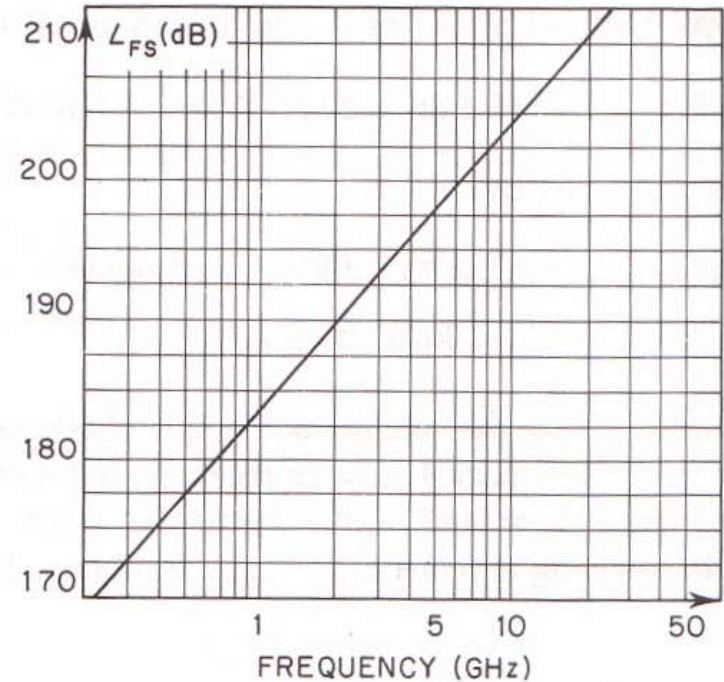
- Received Signal Power
 - Gunakan teori transmisi Friis

$$P_R = (P_T G_T) \left(\frac{1}{L_{FS}} \right) G_R$$

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$$



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



■ UPLINK

$$D_{SB} = 4m; P_{TSB} = 100W; f_u = 14GHz; R = 40000Km$$

$$\theta_{3dBsat} = 2^\circ; \eta_{sat} = 0,55; \eta_{SB} = 0,6$$

$$\phi_{Maxsat} = ?; P_{Rsat} = ?$$

■ DOWNLINK

$$P_{Tsat} = 10W; f_D = 12GHz; \theta_{3dBsat} = 2^\circ; \eta_{sat} = 0,55$$

$$D_{SB} = 4m; R = 40000Km; \eta_{SB} = 0,6$$

$$\phi_{MaxSB} = ?; P_{RSB} = ? LFS = ?$$

- Rugi-rugi yang harus diperhitungkan
 - Redaman propagasi atmosfer → free space loss dan redaman hujan
 - Rugi-rugi pada perangkat pemancar dan penerima → redaman kabel feeder
 - Rugi-rugi kesalahan pengarahannya antena
 - Rugi-rugi ketidaksesuaian polarisasi → XPD, XPI
- Sumber noise
 - Sumber natural yang meradiasi di sekitar lokasi antena
 - Noise yang dihasilkan oleh komponen perangkat penerima

- Redaman di atmosfer (hujan, awan, salju, es, gas-gas di troposfer dan ionosfer)

$$L = L_{FS} L_A$$

- Redaman di Perangkat Tx dan Rx

$$P_{Rx} = P_R / L_{FRx} [W]$$

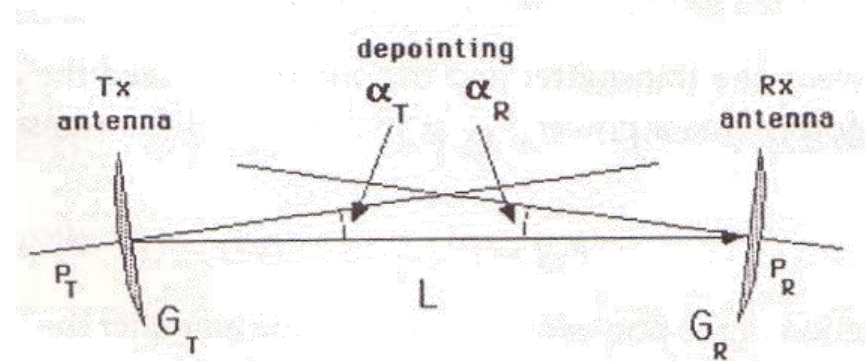
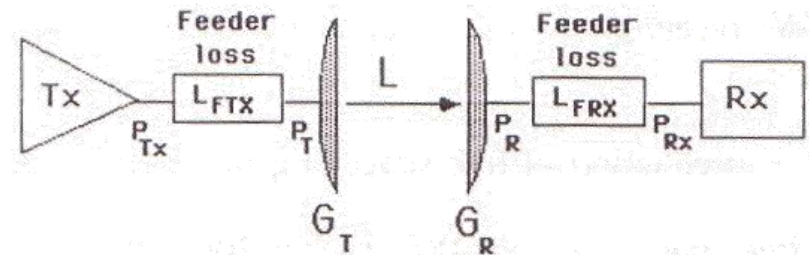
- Loss karena ketidaktepatan pengarahannya

$$L_T = 12 \left(\frac{\alpha_T}{\theta_{3dB}} \right)^2 [dB]$$

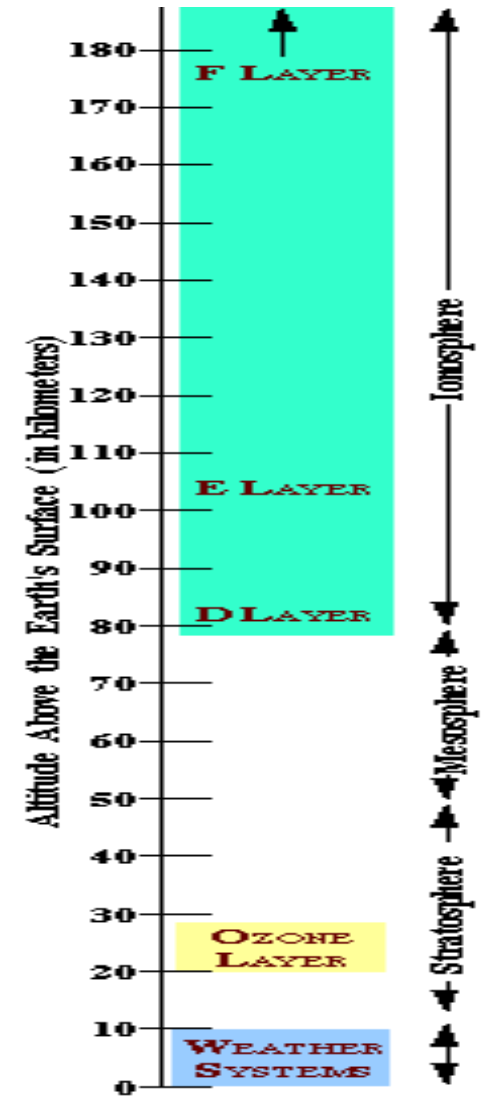
$$L_R = 12 \left(\frac{\alpha_R}{\theta_{3dB}} \right)^2 [dB]$$

- Loss karena ketidaksesuaian polarisasi

- Lihat penjelasan sebelumnya



LAPISAN ATMOSFIR



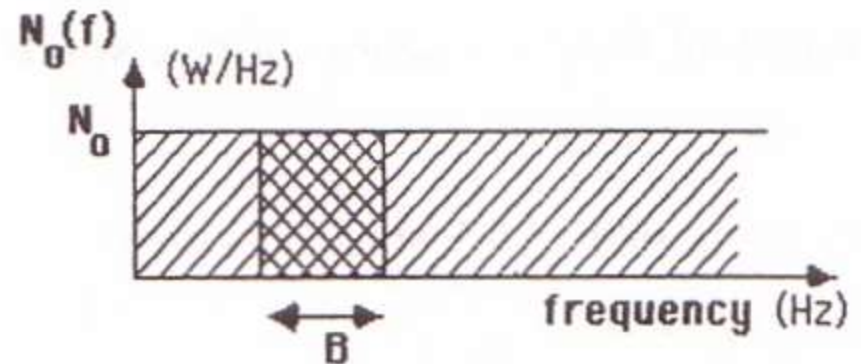
Noise

- Sumber noise
 - Noise yang dihasilkan oleh sumber radiasi natural terletak dalam daerah penerimaan antena
 - Noise yang dihasilkan oleh komponen elektronik sebagai interferensi

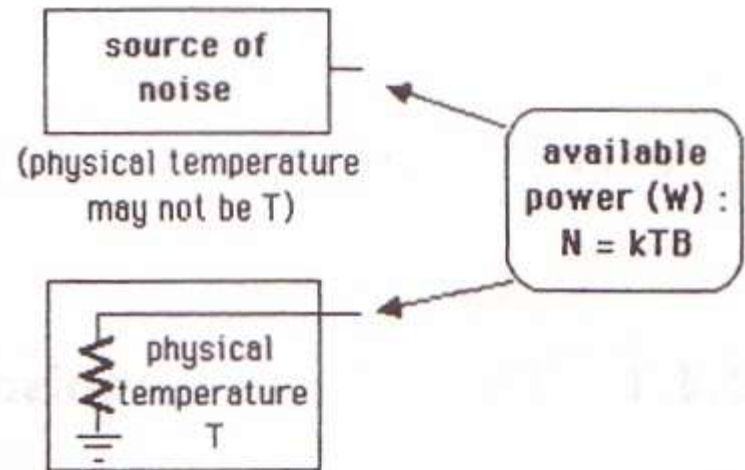
$$N = N_0 B_N$$

$$T = N/kB$$

k : Konst Boltzman



Rapat spektral white noise



$$k = 1,379 \times 10^{-23} \left(\frac{W}{HzK} \right)$$

$$k = -228,6 \left(\frac{dBW}{HzK} \right)$$

- Temperatur derau elemen 2-port

$$T = N/kB$$

- Temperatur derau elemen 4-port

$$F = \left(\frac{Gk(T_e + T_o)B}{GkT_oB} \right) = \frac{T_e + T_o}{T_o} = 1 + \frac{T_e}{T_o}$$

- T_e : suhu noise efektif
- $T_o = 290$ K : suhu noise referensi
- Temperatur derau sebuah antenna

$$T_A = \left(\frac{1}{4\pi} \right) \iint T_b(\theta, \phi) G(\theta, \phi) d\Omega$$

- Temperatur derau sebuah atenuator

$$T_e = (L_{ATT} - 1)T_{ATT}$$

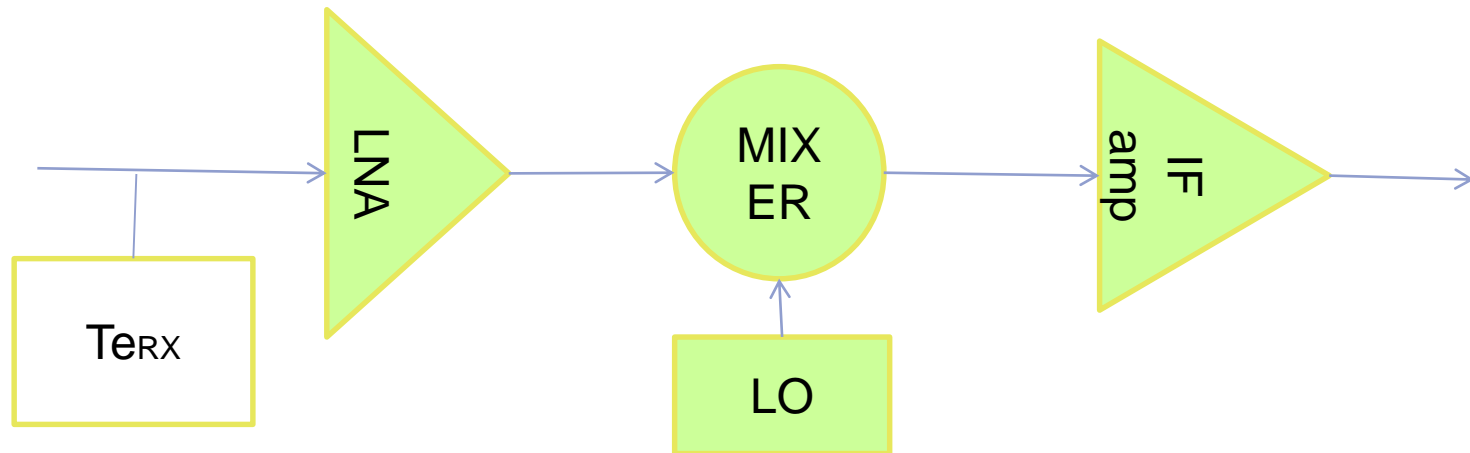
$$T_{ATT} = T_o \implies F_{ATT} = L_{ATT}$$

- Temperatur derau sebuah divais yang terdiri dari beberapa elemen secara kaskade

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 G_2} + \dots$$

$$F = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \frac{(F_3 - 1)}{G_1 G_2} + \dots$$

TURUNKAN PERSAMAAN INI !!!



LNA : $T_{LNA} = 150 \text{ K}$, $G_{LNA} = 50 \text{ dB}$

Mixer : $T_{MX} = 850 \text{ K}$, $G_{MX} = -10 \text{ dB}$ ($L_{MX} = 10 \text{ dB}$)

IF Amplifier : $T_{IF} = 400 \text{ K}$, $G_{IF} = 30 \text{ dB}$

Maka :

$$T_{eRX} = 150 + (850/10^5) + (400/(10^5 * 10^{-1}))$$

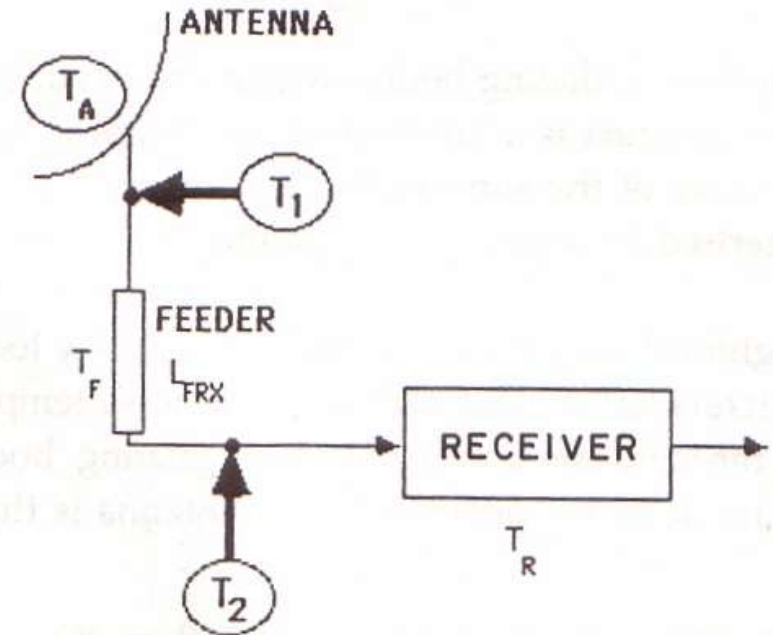
$$T_{eRX} = 150 \text{ K}$$

Noise

- Temperatur noise di Rx

$$T_1 = T_A + (L_{FRx} - 1)T_F + \frac{T_R}{G_{FRx}}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{L_{FRx}} = \frac{T_A}{L_{FRx}} + \left(1 - \frac{1}{L_{FRx}}\right)T_F + T_R$$



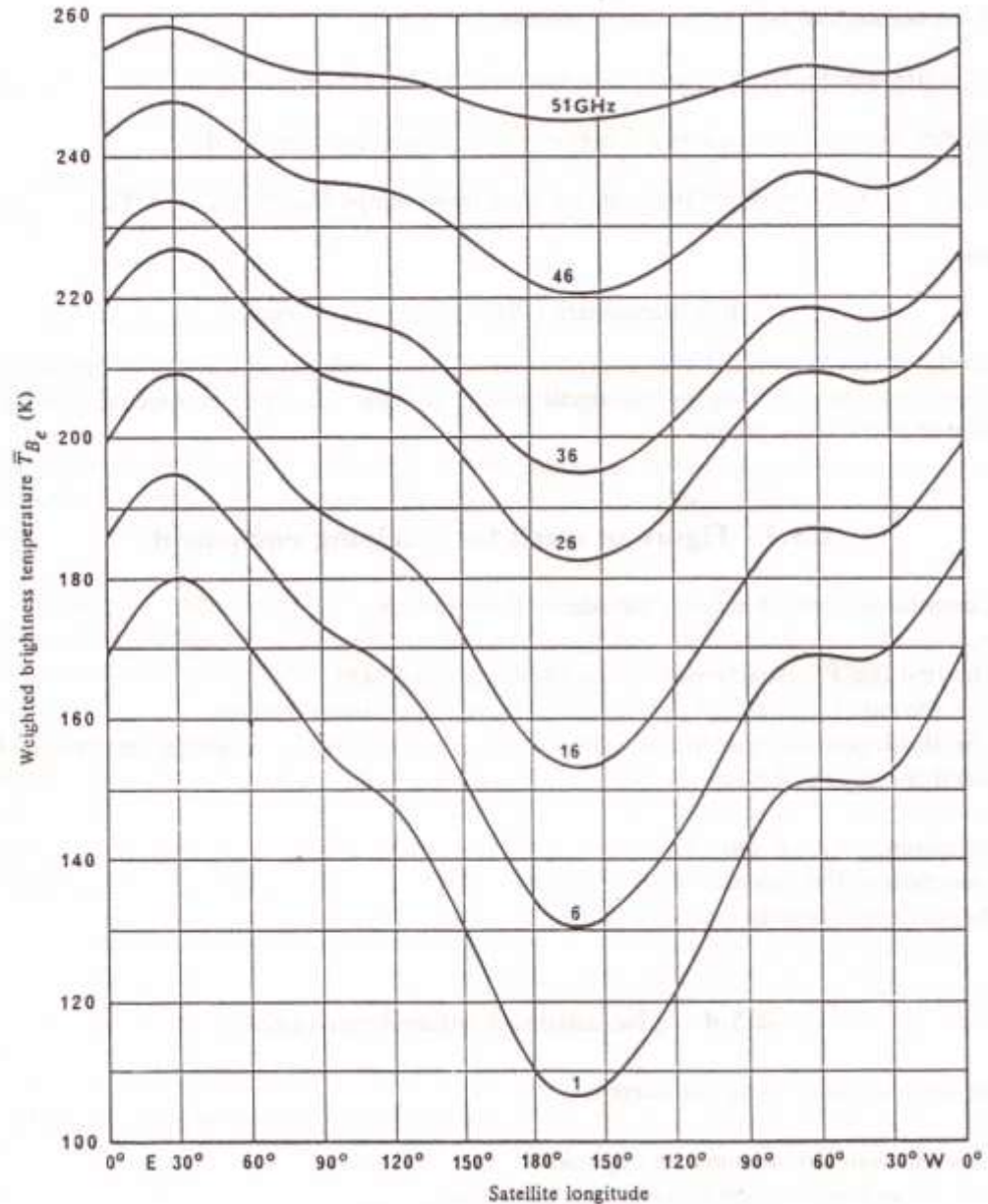
TURUNKAN PERSAMAAN INI !!!

Signal to Noise pada Input Rx

- Figure of Merit
 - EIRP → perangkat pemancar
 - Path loss → medium transmisi
 - G/T → perangkat penerima
- Temperatur noise antena
 - Antena satelit
 - Bergantung pada frekuensi dan posisi orbit
 - Antena stasiun bumi
 - Clear sky
 - Kondisi Hujan

Temperatur Antena

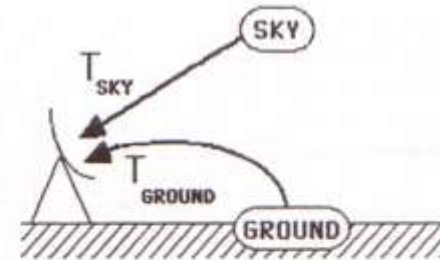
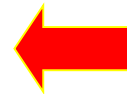
- Temperatur antena satelit



Temperatur Antena

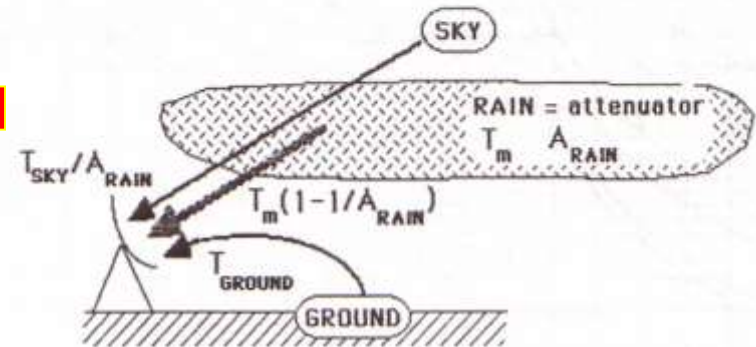
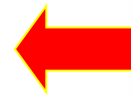
- Temperatur antena SB

$$T_A = T_{SKY} + T_{Ground}$$



$$T_A = \frac{T_{SKY}}{A_{hjn}} + T_m \left(1 - \frac{1}{A_{hjn}} \right) + T_{Ground}$$

$$T_m = 260K - 280K$$



- Sangat dipengaruhi

- Frek
- Sudut elevasi
- Kondisi atmosfer

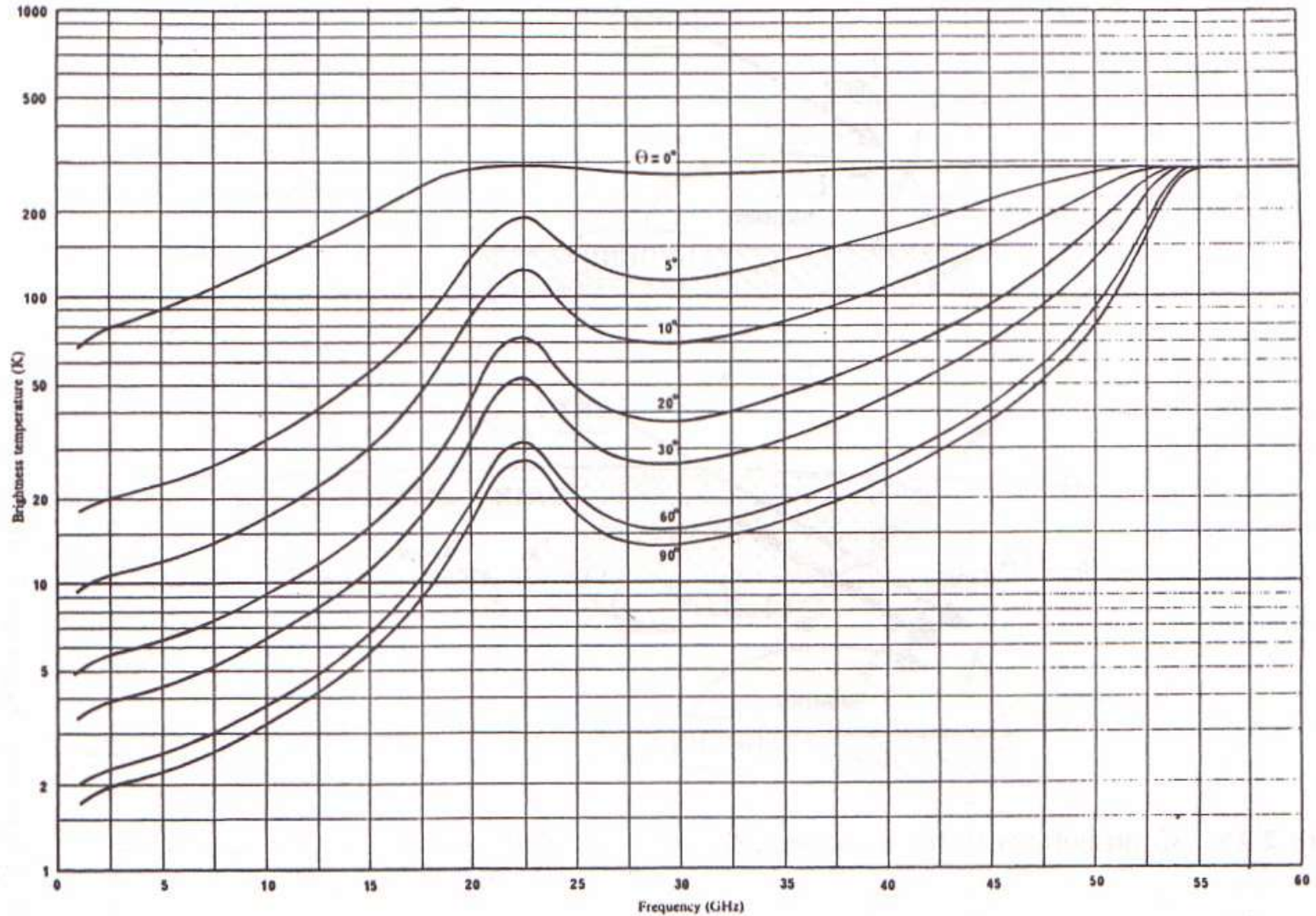
T_m : mean thermodynamic temp.

Harga T_G berdasarkan ITU-R

- $T_G = 290K$ for lateral lobes whose elevation angle E is less than -10°
- $T_G = 150K$ for $-10^\circ < E < 0^\circ$
- $T_G = 50K$ for $0^\circ < E < 10^\circ$
- $T_G = 10K$ for $10^\circ < E < 90^\circ$

Temperatur Antena

- Temperatur derau clear sky \rightarrow frek & sudut elevasi



Temperatur Noise

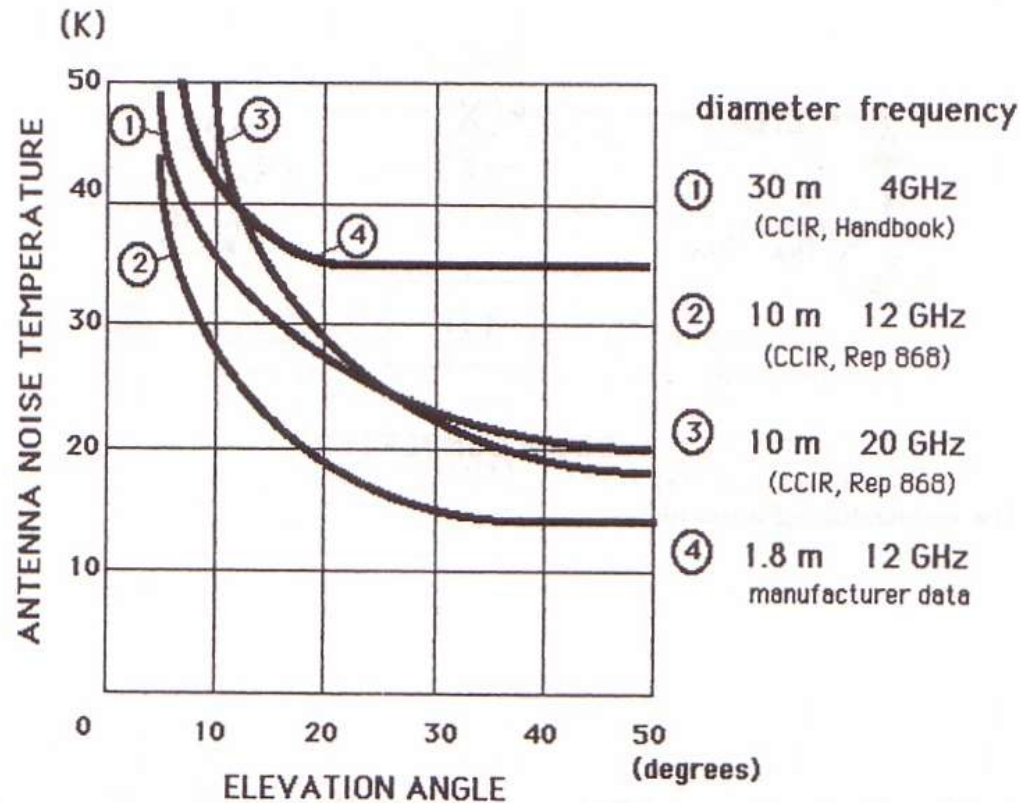
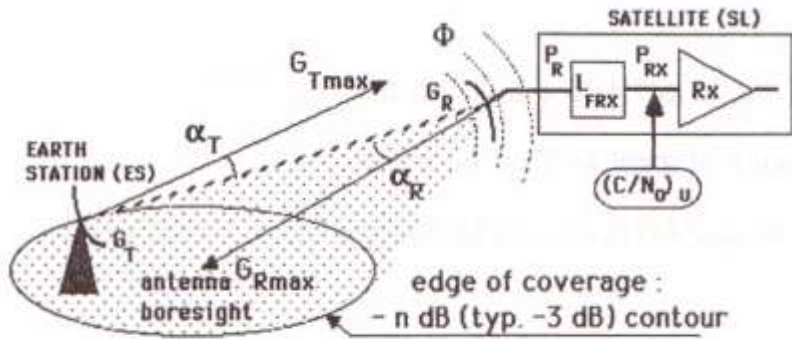


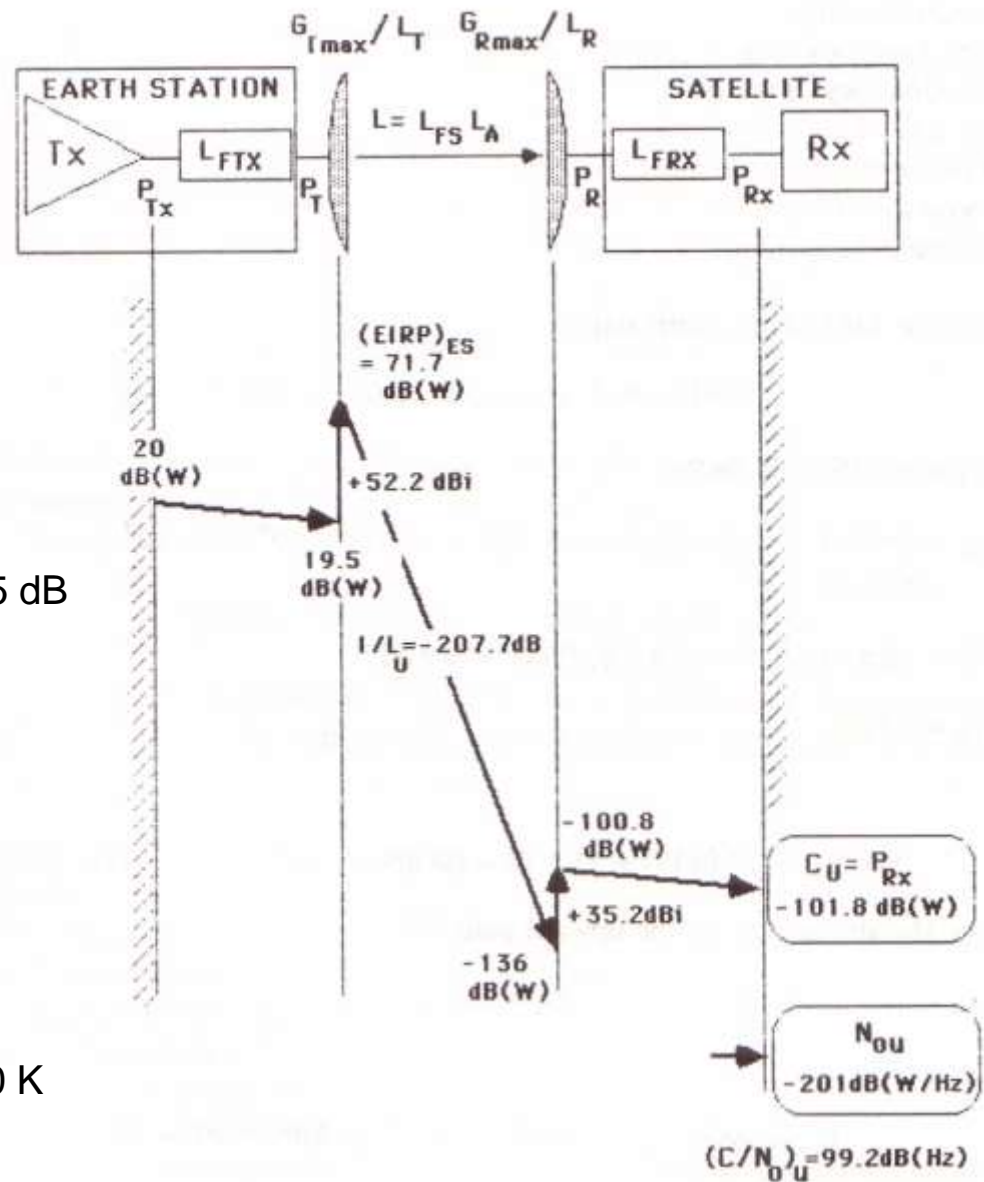
Figure 2.17 Typical values of antenna noise temperature T_A as a function of elevation angle E . Curve 1: diameter = 30 m, frequency = 4 GHz. Curve 2: diameter = 10 m, frequency = 12 GHz. Curve 3: diameter = 10 m, frequency = 20 GHz. Curve 4: diameter = 1.8 m, frequency = 12 GHz [Curve 1: *CCIR Handbook on Satellite Communications*, p. 209, 1985] [Curves 2 and 3: CCIR Report 868] [Curve 4: manufacturer's data (Accatel Telspace)].

Contoh Perhitungan Uplink (clear sky)

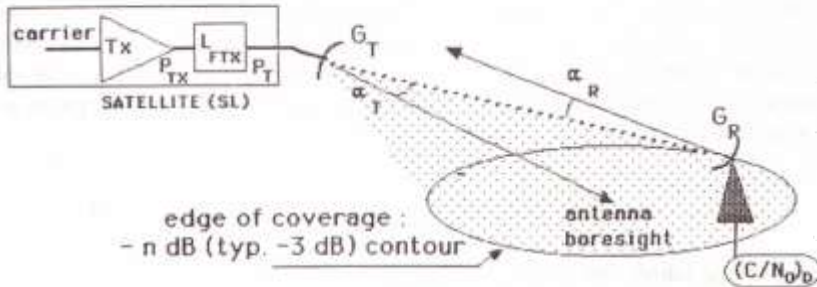


$$(C/N_0)_U = (EIRP)_{ES} (1/L)_U (G/T)_{SL} (1/k)$$

- F = 14GHz
 - Untuk ES:
 - $P_{TX} = 100W$,
 - Diameter Ant = 4 m
 - Efisiensi antena = 0,6
 - Pointing error = 0,1°
 - Jarak ES-Sat = 40000 km
 - $L_A = 0,3$ dB
 - Untuk Sat
 - Beamwidth = 2°
 - Efisiensi antena = 0,55
 - Noise figure = 3 dB
 - $L_{FRX} = 1$ dB,
 - $T_A = 290$ K
- $L_{FTX} = 0,5$ dB
- $T_F = 290$ K
FAKI

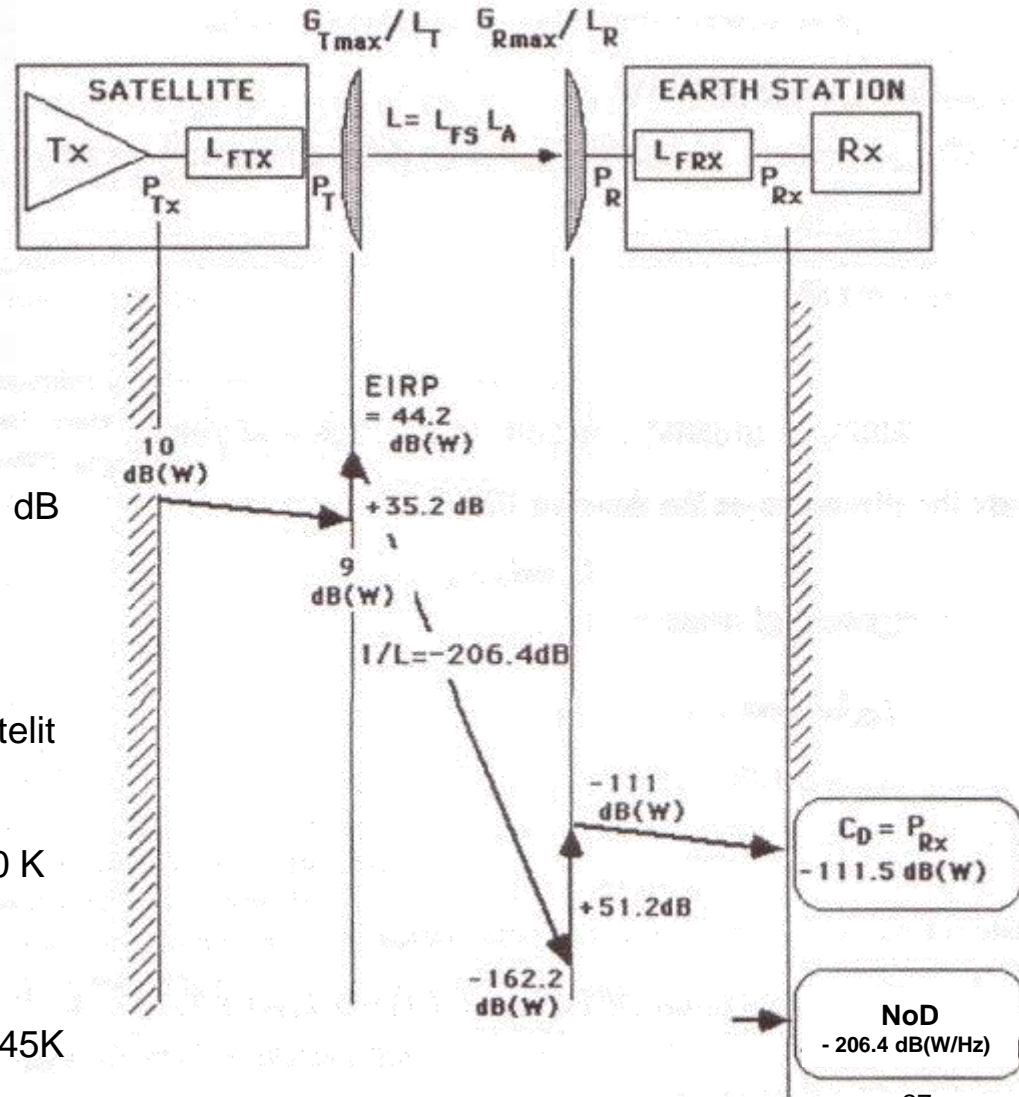


Contoh Perhitungan Downlink (clear sky)



$$(C/N_0)_b = (EIRP)_{SL} (1/L)_D (G/T)_{ES} (1/k)$$

- F = 12GHz
- Untuk Sat:
 - $P_{TX} = 10W$, $L_{FTX} = 1\text{ dB}$
 - Beamwidth = 2°
 - Efisiensi antena = 0,55
- Jarak Sat-ES = 40000 km
- $L_A = 0,3\text{ dB}$
- Untuk ES, terletak di ujung cakupan satelit
 - Efisiensi antena = 0,6
 - Noise figure Rx = 1 dB
 - $L_{FRX} = 0,5\text{ dB}$, $TF = 290\text{ K}$
 - Diameter antena = 4m
 - Kesalahan pointing = $0,1^\circ$
 - $T_o = 290\text{ K}$, $T_{Ground} = 45K$
 - $T_{sky} = 20\text{ K}$



Perhitungan Link Satelit

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{Total}^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_d^{-1}$$

TURUNKAN PERSAMAAN INI !!!

Perhitungan kondisi hujan

■ Uplink

$$L_U = L_{FS} + L_A$$

C/N₀ uplink akan berkurang akibat hujan karena adanya pengurangan daya carrier yang diterima oleh satelit (bertambahnya loss)

■ Downlink

$$L_D = L_{FS} + L_A$$

$$T_A = \frac{T_{SKY}}{A_{hjn}} + T_m \left(1 - \frac{1}{A_{hjn}} \right) + T_{Ground}$$

$$T_m = 260K - 280K$$

$$\left(\frac{G}{T} \right)_{stabum} = \text{berubah}$$

C/N₀ downlink akan berkurang akibat hujan selain karena adanya pengurangan daya carrier yang diterima oleh stabum (bertambahnya loss) juga akibat berkurangnya G/T akibat peningkatan temperatur noise di penerima

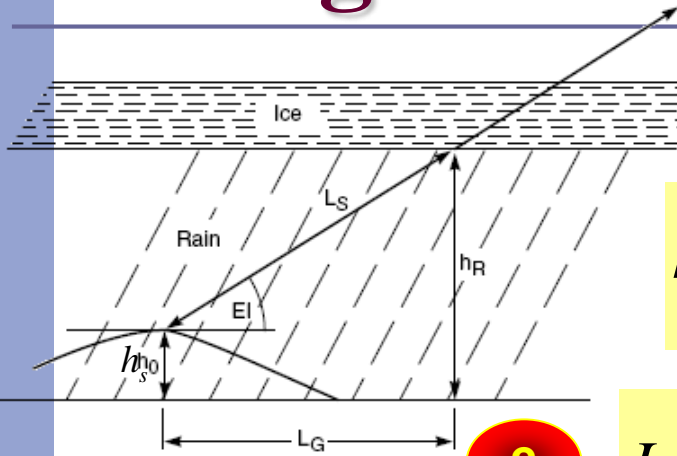
- Efek curah hujan
 - Redaman
 - Cross Polarisasi
- Redaman hujan

$$A_{Rain} = \gamma_R L_e$$

- γ_R (dB/km) → bergantung frek dan intensitas hujan (mm/h)
- L_e → panjang lintasan efektif gel dalam hujan

- Prosedur penentuan redaman hujan (berdasarkan ITU-R)
 - Hitung tinggi hujan
 - Hitung panjang slant path dalam hujan
 - Tentukan intensitas/laju hujan untuk outage time tertentu
 - Hitung faktor reduksi untuk outage time tertentu
 - Hitung L_e
 - Penentuan γ_R
 - Penghitungan A_{rain}

Pengaruh Medium Propagasi



$$h_R (km) = \begin{cases} 3 + 0,028 (\text{Latitude}) & \text{jika } 0 \leq \text{latitude} < 36^\circ \\ 4 - 0,075(\text{latitude} - 36) & \text{jika latitude} \geq 36^\circ \end{cases}$$

$$L_S = (h_R - h_S) / \sin E$$

} h_s : tinggi SB dari permukaan laut
Valid untuk $E > 5^\circ$

3 $R_{0,01}$ = bergantung dari daerah

Utk $R_{0,01} \geq 100$ mm/hr $\rightarrow R_{0,01} = 100$ mm/hr

4

$$L_0 (km) = 35e^{-0,015R_{0,01}}$$

$$\rightarrow r_{0,01} = \frac{1}{1 + (L_S / L_0) \cos E}$$

5

$$L_e = L_S r_{0,01}$$

6

γ_R = dari nomogram

7

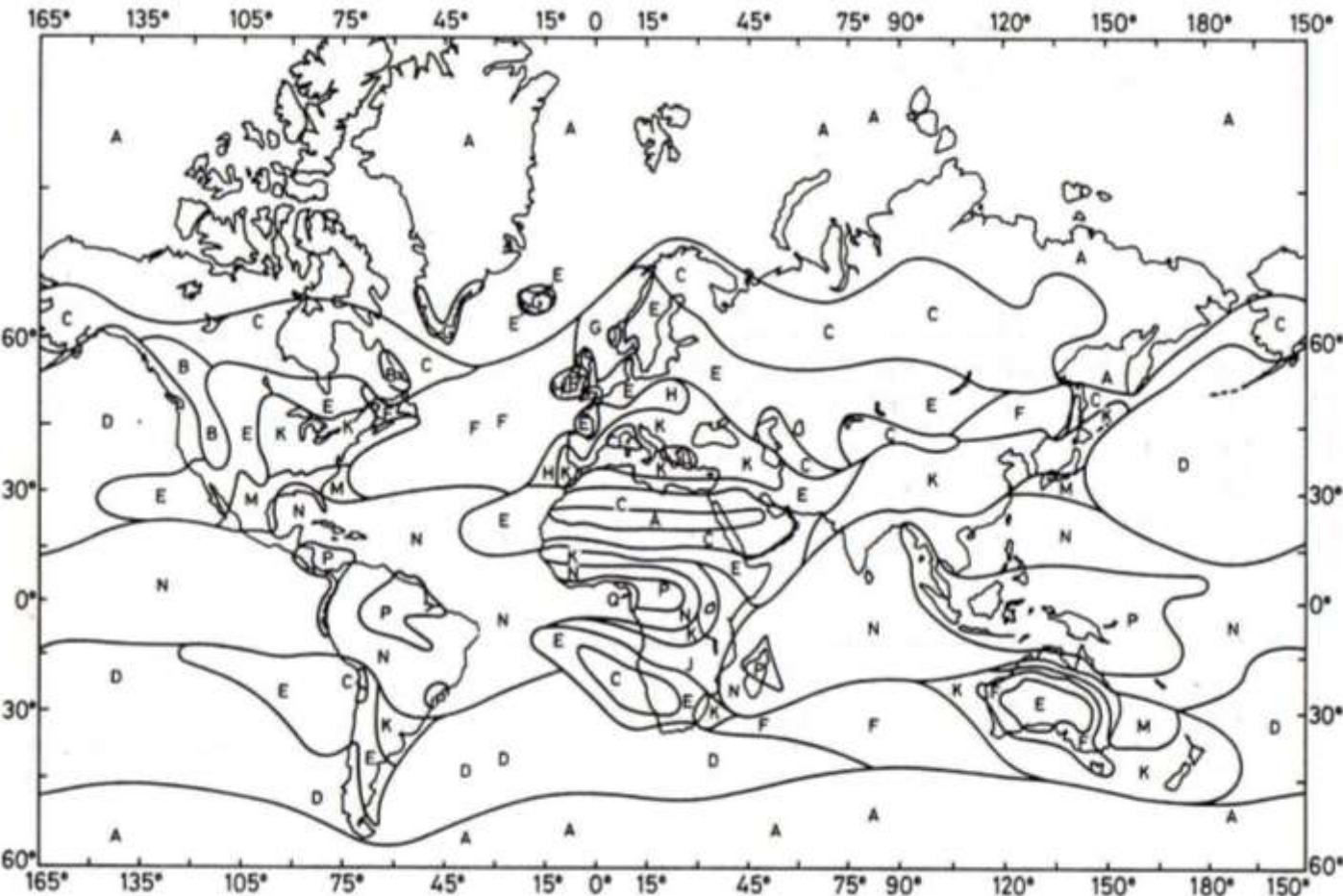
ITU-R 1997

$$A_{Rain} (p = 0,01) = \gamma_R L_e \rightarrow A_{Rain} (p) = A_{Rain} (p = 0,01) \times 12 p^{-(0,546 + 0,043 \log p)}$$

Pengaruh Medium Propagasi

Peta daerah hujan oleh CCIR [1988 ITU]

Rain climatic zones for ITU
Regions 1 and 3; rainfall
intensity at 0.01%

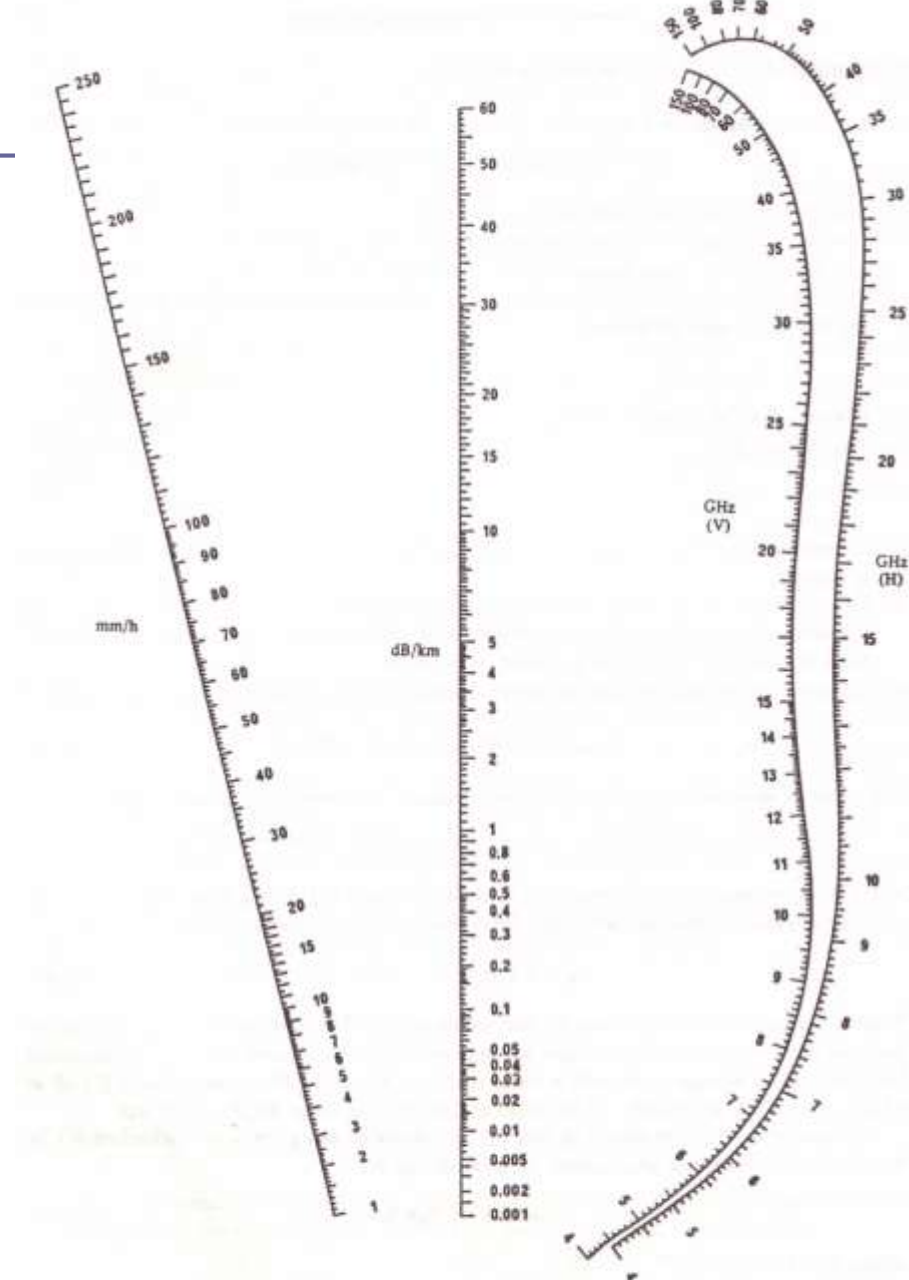


Rain zone	Rainfall intensity, mm/hr
A	8
B	12
C	15
D	19
E	22
F	28
G	30
K	42
M	63
N	95
P	145

Pengaruh Medium

- Nomogram untuk menentukan redaman γ_R

γ_R



FAKULTAS TE

with circular polarization use the arithmetic mean of attenuation with horizontal and vertical polarization

Figure 2.23 Nomogram for determination of the specific attenuation γ_R as a function of the frequency (GHz) and rain density R (mm/h) [CCIR Report 721]. (Reproduced by permission of the ITU.)

CONTOH

Diketahui :

Kota : Bandung

Posisi : 70 LS

Ketinggian : 0,7 Km

Elevasi : 800

Polarisasi : Horizontal

Frekuensi : 6 GHz

P : 0,01 %

Hitung $A_{hjn} = ?$

Pengaruh Medium Propagasi

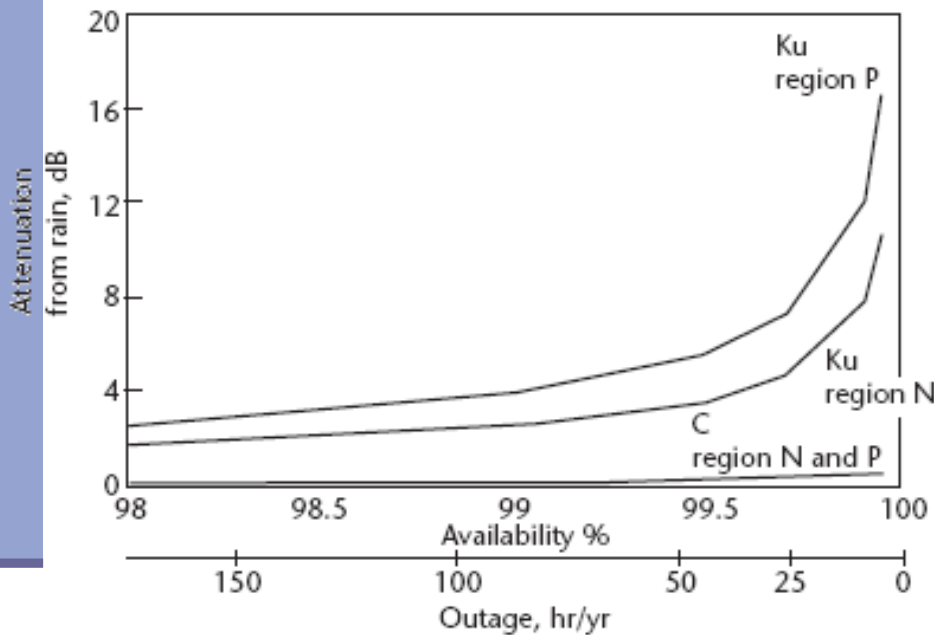


Figure 2.5 The rain attenuation, in decibels, for C- and Ku-bands, as related to the rain climactic zones in Figure 2.4.

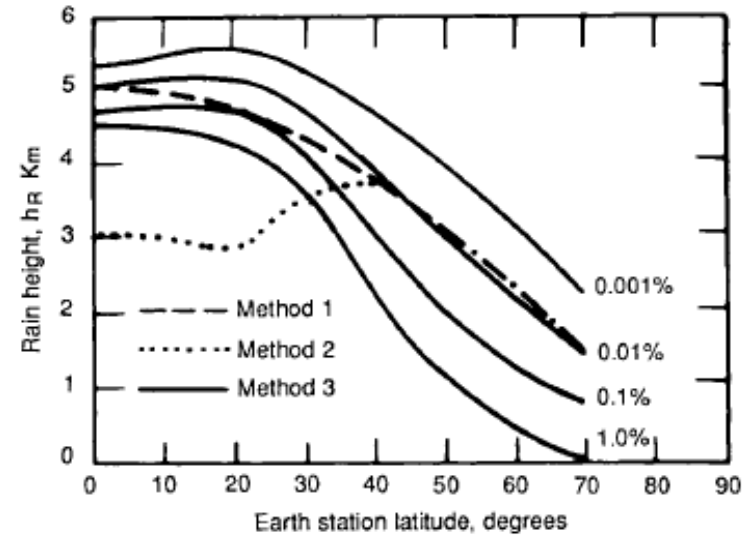


Figure 4.4 Rain height as a function of earth station latitude for different climatic zones.

[rodden]

Cross Polarization (ITU-R P618-7)

$$XPD(dB) = U - 20 \log(A_{Rain})$$

$$U(dB) = 30 \log(f) - D(E) + \kappa^2 + I(\tau)$$

$$D(E)_{dB} = 40 \log(E)$$

$$I(\tau) = -10 \log \left\{ 0,5 \left(1 - \cos(4\tau) e^{-\kappa_m^2} \right) \right\}$$

Keterangan :

- Berlaku untuk 3 – 37 GHz
- f : frek dalam GHz
- E : sudut elevasi dalam derajat
- τ : polarisation tilt angle relatif thdp horisontal

- $\kappa^2 = 0,0053 \sigma^2 \rightarrow$ distribusi sudut jatuhnya titik air
- $I(\tau)$ dapat diabaikan untuk polarisasi sirkular
- $\kappa_m^2 = 0,0053 \sigma_m$
- Dengan
 - σ : deviasi standar distribusi sdt inklinasi hujan
 - $\sigma = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ untuk $p = 1, 0.1, 0.01, 0.001$ pada 14/11 GHz

Harga XPD tipikal adalah :

20 dB untuk $p = 0,01\%$

■ Cross Polarization

- Uplink : mengkoreksi polarisasi antenna pemancar dengan mengantisipasi sedemikian sehingga gelombang datang matched thd antenna satelit
- Downlink : dengan menyesuaikan polarisasi antenna terhadap gelombang datang

■ Redaman

- Memberikan margin agar $(C/N_0)_{\text{hujan}} = (C/N_0)_{\text{req}} \rightarrow$ meningkatkan EIRP \rightarrow membutuhkan tambahan daya transmit \rightarrow bisa menimbulkan intermodulasi
- Site diversity
- Adaptivity

Kompensasi Akibat Propagasi

■ Teknik Perbaikan dalam Kom. Sat

Fixed resources

- Constant margin increase (power, bandwidth)
- Constant FEC coding

Dynamic resources

Earth-based allocation

Fixed-level increase:

- Site diversity
- Height diversity
- Angle diversity
- Frequency diversity
- Orbital diversity

Dynamic-level increase:

- Signal bandwidth
- Transmission buffering
- Uplink power control
- Downlink power control*

Satellite-based allocation

Fixed-level increase:

- Antenna gain
- Regeneration
- Frequency diversity
- Orbital diversity

Dynamic-level increase:

- SSFEC coding
- Shared resource TDMA
- Downlink power control

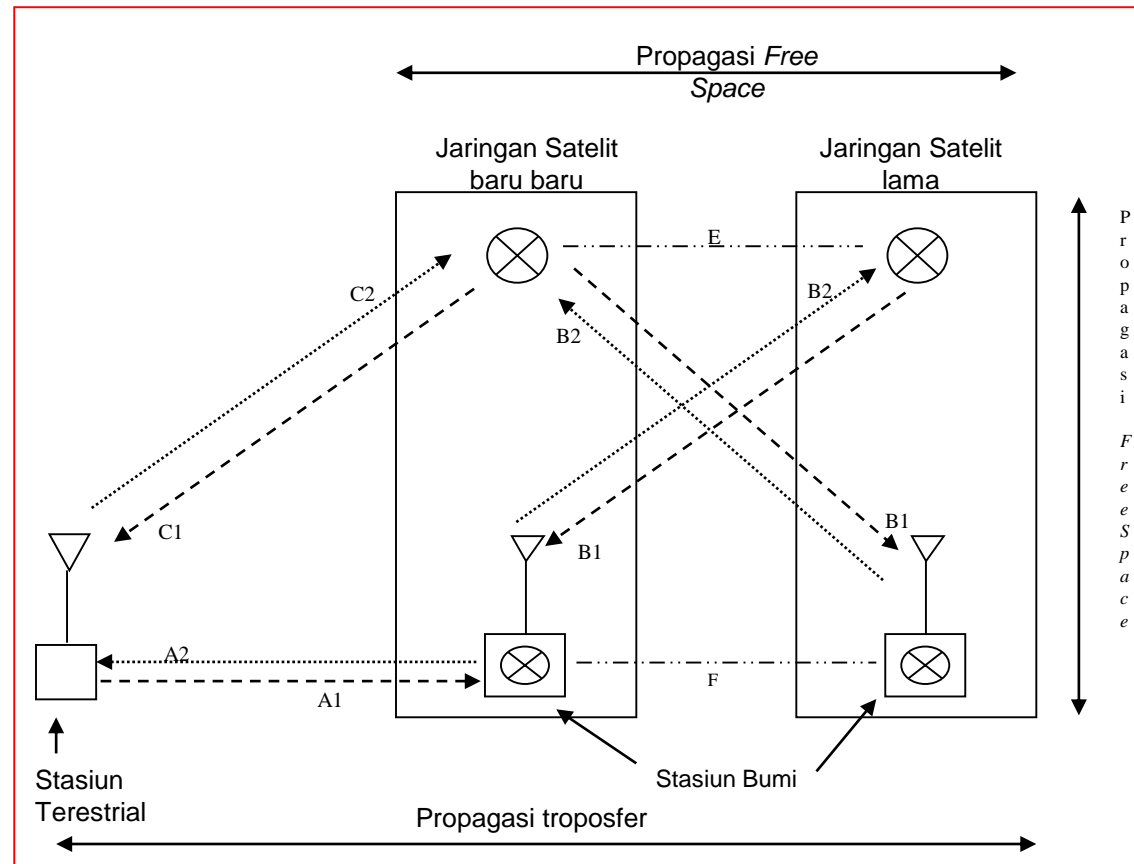
* Only possible with a linear satellite transponder under single-carrier, single-destination conditions. Fading on the downlink is compensated for at the transmitting end of the (up)link

Interferensi dari Satelit Berdekatan

Mode interferensi yang mungkin terjadi :

Macam-macam mode interferensi antara satelit dan terestrial :

- A1 Transmisi dari stasiun terestrial menyebabkan interferensi yang di terima oleh stasiun bumi baru
- A2 Transmisi dari stasiun bumi baru menyebabkan interferensi yang di terima oleh stasiun terestrial
- C1 Transmisi dari satelit baru menyebabkan interferensi yang di terima oleh stasiun terestrial
- C2 Transmisi dari stasiun terestrial menyebabkan interferensi yang di terima oleh satelit baru

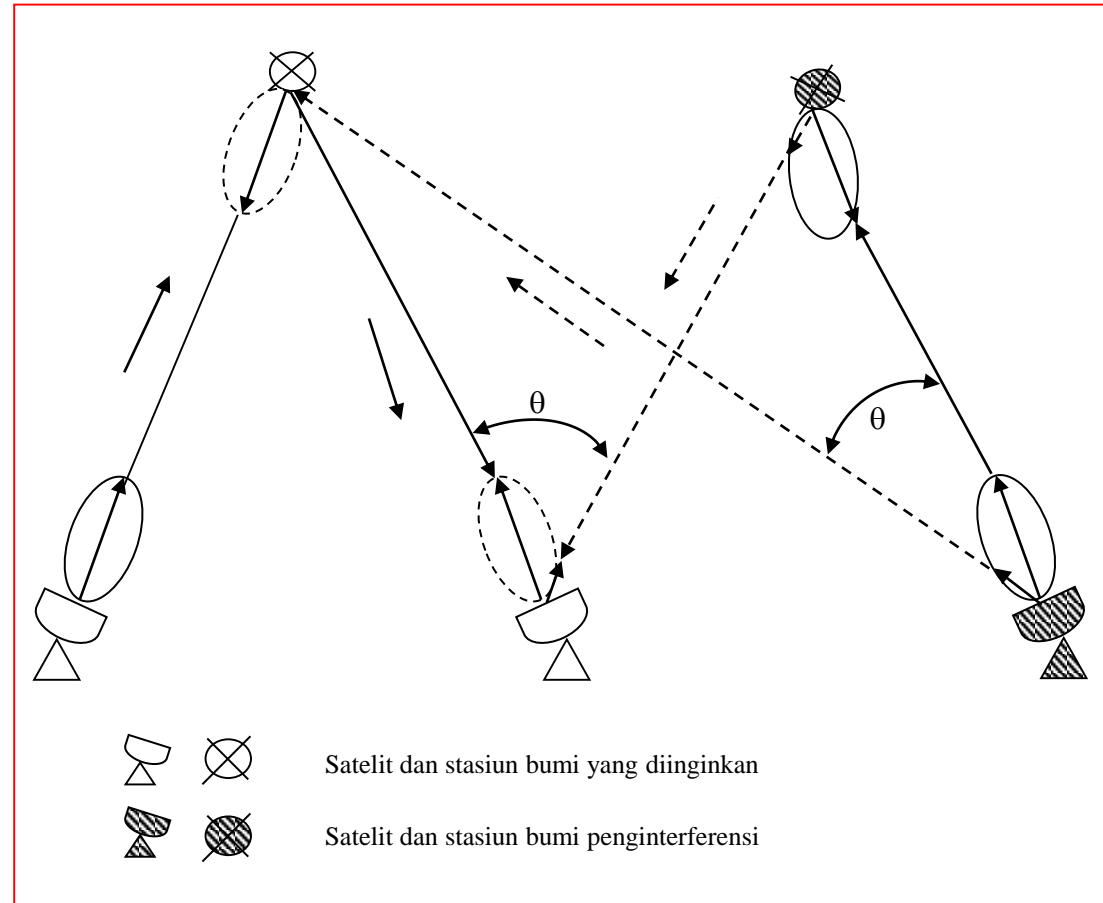


Interferensi dari Satelit Berdekatan

- Macam-macam mode interferensi antara jaringan satelit yang berlainan dengan penggunaan frekuensi yang sama :
 - B1 Transmisi dari satelit baru menyebabkan interferensi yang di terima oleh stasiun bumi lama dan sebaliknya
 - B2 Transmisi dari stasiun bumi baru menyebabkan interferensi yang di terima oleh satelit lama dan sebaliknya
- Macam-macam mode interferensi antara jaringan satelit yang berlainan dengan penggunaan frekuensi yang sama secara 2 arah :
 - E Transmisi dari satelit baru menyebabkan interferensi yang di terima oleh satelit lama dan sebaliknya
 - F Transmisi dari stasiun bumi baru menyebabkan interferensi yang di terima oleh stasiun bumi lama dan sebaliknya

Interferensi dari Satelit Berdekatan

- Kondisi propagasi yang menyebabkan interferensi :
 - Propagasi *Free Space* : antara stasiun bumi dengan satelit, contohnya : B1, B2, C1, C2 dan E.
 - Propagasi Troposfer : efektif pada permukaan bumi, contohnya : A1, A2, dan F.



Interferensi antara 2 jaringan satelit