

Bab 6

PROPAGASI GELOMBANG RADIO

POKOK BAHASAN:

- ✓ Pendahuluan
- ✓ Dasar-dasar Propagasi
- ✓ Gelombang Tanah
- ✓ Gelombang Ionosfir
- ✓ Troposcatter
- ✓ Gelombang *line of sight* (LOS)
- ✓ Dasar perancangan Link Radio LOS
- ✓ Perencanaan dan Perencanaan Link Radio LOS

TUJUAN BELAJAR:

Setelah mempelajari materi dalam bab ini, mahasiswa diharapkan dapat:

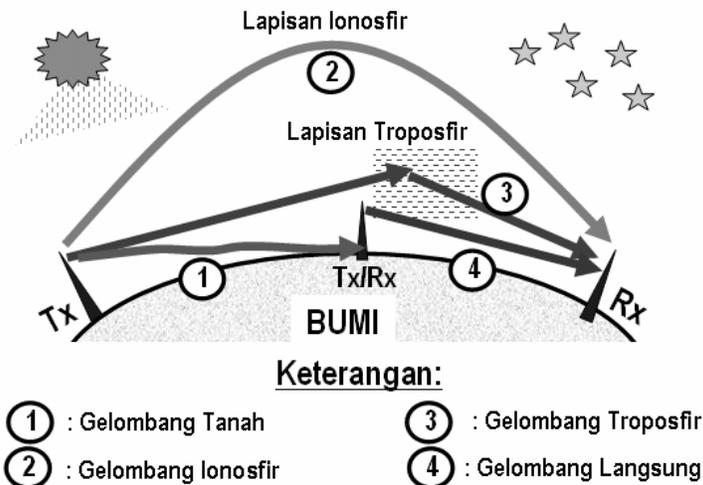
- ✓ Menjelaskan definisi gelombang radio, propagasi gelombang radio dan sifat-sifat gelombang radio.
- ✓ Menjelaskan mekanisme propagasi yang meliputi: gelombang tanah, gelombang Ionosfir, *troposcatter*, dan gelombang *line of sight* (LOS).
- ✓ Menjelaskan dasar perancangan link radio LOS, yang meliputi: efek terrain, daerah Fresnel, peta topografi, faktor K, dan mencari ketinggian antena.
- ✓ Merancang dan merencanakan link radio LOS secara mendasar dan memprediksi kinerja sistem.

6.1 PENGERTIAN PROPAGASI

Seperti kita ketahui, bahwa dalam penransmisian sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain dapat dilakukan melalui beberapa media, baik media fisik, yang berupa kabel/kawat (*wire*) maupun media non-fisik (bukan kabel/kawat), yang lebih dikenal dengan *wireless*, seperti halnya udara bebas.

Dengan beberapa pertimbangan teknis dan terutama ekonomis, untuk komunikasi pentransmisi gelombang dalam jarak yang jauh, akan lebih efisien apabila menggunakan udara bebas sebagai media transmisinya. Hal ini memungkinkan karena gelombang radio atau RF (*radio frequency*) akan diradiasikan oleh antenna sebagai *matching device* antara sistem pemancar dan udara bebas dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang ini merambat atau berpropagasi melalui udara dari antenna pemancar ke antenna penerima yang jaraknya bisa mencapai beberapa kilometer, bahkan ratusan sampai ribuan kilometer.

Pada bab ini akan dikhususkan membahas tentang beberapa mekanisme gelombang elektromagnetik berpropagasi antara dua tempat. Pada Gambar 6-1 diperlihatkan beberapa jenis lintasan propagasi yang merupakan mekanisme perambatan gelombang radio di udara bebas.



Gambar 6-1: Mekanisme propagasi gelombang radio

6.2 PROPAGASI GELOMBANG TANAH (*GROUND WAVE*)

Gelombang tanah (*ground wave*) adalah gelombang radio yang berpropagasi di sepanjang permukaan bumi/tanah. Gelombang ini sering disebut dengan gelombang permukaan (*surface wave*). Untuk berkomunikasi dengan menggunakan media gelombang tanah, maka gelombang harus terpolarisasi secara vertikal, karena bumi akan menghubungkan-singkatkan medan listriknya bila berpolarisasi horisontal.

Perubahan kadar air mempunyai pengaruh yang besar terhadap gelombang tanah. Redaman gelombang tanah berbanding lurus terhadap impedansi permukaan tanah. Impedansi ini merupakan fungsi dari konduktivitas dan frekuensi. Jika bumi mempunyai konduktivitas yang tinggi, maka redaman (penyerapan energi gelombang) akan berkurang. Dengan demikian, propagasi gelombang tanah di atas air, terutama air garam (air laut) jauh lebih baik dari pada di tanah kering (berkonduktivitas rendah), seperti padang pasir. Rugi-rugi (redaman) tanah akan meningkat dengan cepat dengan semakin besarnya frekuensi. Karena alasan tersebut, gelombang tanah sangat tidak efektif pada frekuensi di atas 2 MHz.

Namun demikian, gelombang tanah sangat handal bagi hubungan komunikasi. Penerimaan gelombang tidak terpengaruh oleh perubahan harian maupun musiman, sebagaimana yang terjadi pada gelombang langit (gelombang ionosfir). Propagasi gelombang tanah merupakan satu-satunya cara untuk berkomunikasi di dalam lautan.

Untuk memperkecil redaman laut, maka digunakan frekuensi yang sangat rendah, yaitu band ELF (*Extremely Low Frequency*), yaitu antara 30 hingga 300 Hz. Dalam pemakaian tertentu dengan frekuensi 100 Hz, redamannya hanya sekitar 0,3 dB per meter. Redaman ini akan meningkat drastis bila frekuensinya makin tinggi, misalnya pada 1 GHz redamannya menjadi 1000 dB per meter.

6.3 PROPAGASI GELOMBANG IONOSFIR

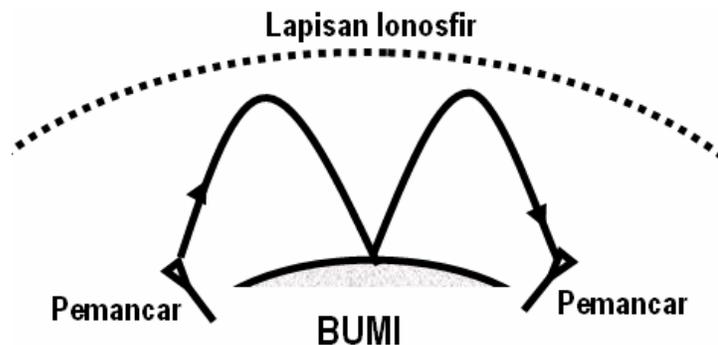
Pada frekuensi tinggi atau daerah HF, yang mempunyai range frekuensi 3 – 30 MHz, gelombang dapat dipropagasikan menempuh jarak yang jauh akibat dari pembiasan dan pemantulan lintasan pada lapisan ionosfer. Gelombang yang berpropagasi melalui lapisan ionosfir ini disebut sebagai gelombang ionosfir (*ionospheric wave*) atau juga disebut gelombang langit (*sky wave*).

Gelombang ionosfir terpancar dari antenna pemancar dengan suatu arah yang menghasilkan sudut tertentu dengan acuan permukaan bumi. Dalam perjalanannya, bisa melalui beberapa kali pantulan lapisan ionosfir dan permukaan bumi, sehingga jangkauannya bisa mencapai antar pulau, bahkan antar benua.

Aksi pembiasan pada lapisan ionosfir dan permukaan bumi tersebut disebut dengan *skipping*. Ilustrasi dari efek *skipping* ini, dapat dilihat pada Gambar 6-3.

Gelombang radio yang dipancarkan dari pemancar melalui antena menuju ionosfir, dan dibiaskan/dipantulkan kembali pada titik B ke permukaan bumi pada titik C. Kemudian oleh permukaan tanah dipantulkan kembali ke ionosfir dan sekali lagi dibiaskan ke bumi kembali pada titik D menuju penerima di titik E pada permukaan bumi.

Untuk memahami proses pembiasan lebih lanjut pada atmosfer bumi, maka susunan kita harus mengetahui proses kimiawi lapisan atmosfer dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.



Gambar 6-3: Ilustrasi efek *skipping* gelombang ionosfir

Lapisan atmosfer bumi terdiri dari 3 (tiga) lapisan, yaitu : lapisan troposfir (*troposphere*), stratosfir (*stratosphere*) dan ionosfir (*ionosphere*). Troposfir terletak di permukaan bumi hingga mencapai ketinggian kira-kira 6,5 mil. Lapisan berikutnya (stratosfir) berada mulai dari batas troposfir sampai ketinggian sekitar 25 mil. Dari batas stratosfir hingga ketinggian 250 mil adalah lapisan ionosfir. Di atas ionosfir adalah ruang angkasa.

Lapisan troposfir adalah lapisan terendah dari bumi, dan di dalamnya berisi zat-zat yang diperlukan untuk kelangsungan hidup. Lapisan ini dapat dilalui gelombang yang berfrekuensi tinggi menuju lapisan berikutnya. Karena itu, tidak akan terjadi inversi temperatur atau juga tidak bisa menyebabkan pembiasan yang berarti. Lapisan stratosfir dengan temperaturnya yang konstan tersebut disebut juga daerah *isothermal*.

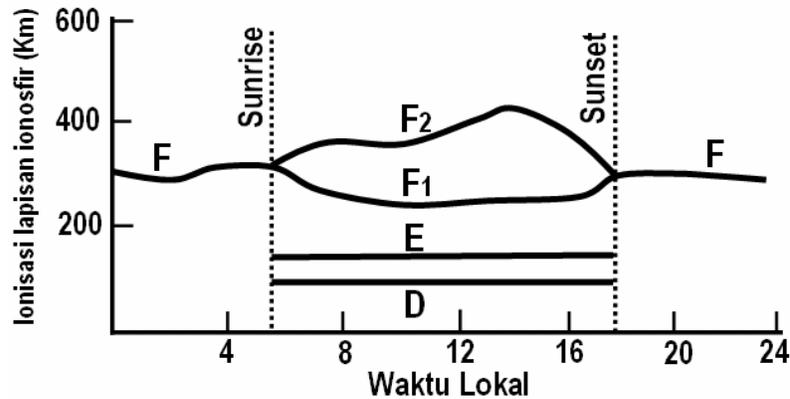
Ionosfir adalah nama yang benar-benar sesuai, karena lapisan ini tersusun dari partikel-partikel yang terionisasi. Lintasan ini tidak terkontrol dan bervariasi terhadap waktu, musim dan aktivitas matahari. Kerapatan pada bagian yang paling atas adalah

sangat rendah dan semakin ke bawah, makin tinggi kerapatannya. Bagian yang lebih atas mengalami radiasi matahari yang relatif lebih kuat. Radiasi ultraviolet dari matahari menyebabkan udara yang terionisasi menjadi ion-ion positif, dan ion-ion negatif. Sekalipun kerapatan molekul udara di bagian atas ionosfir kecil, namun partikel-partikel udara di ruang angkasa mempunyai energi yang sedemikian tinggi pada daerah tersebut. Sehingga menyebabkan ionisasi dari molekul-molekul udara bisa bertahan lama. Ionisasi ini meluas ke bagian bawah di seluruh lapisan ionosfir dengan intensitas yang lebih rendah. Karena itu, derajat paling tinggi terjadi proses ionisasi adalah bagian paling atas dari ionosfir, sedangkan derajat ionisasi terendah terjadi pada bagian paling bawah.

Lapisan ionosfer terdiri dari beberapa/bermacam-macam lapisan yang terionisasi kira-kira ketinggian 40 – 400 km (25 mil – 250 mil) di atas permukaan bumi. Ionisasi ini disebabkan oleh radiasi sinar ultraviolet dari matahari yang mana lebih terasa pada siang hari dibandingkan pada malam hari.

6.3.1 Lapisan-lapisan Ionosfir

Ionosfir tersusun dari 3 (tiga) lapisan, mulai dari yang terbawah yang disebut dengan lapisan D, E dan F. Sedangkan lapisan F dibagi menjadi dua, yaitu lapisan F₁ dan F₂ (yang lebih atas), seperti Gambar 64. Ada atau tidaknya lapisan-lapisan ini dalam atmosfer dan ketinggiannya di atas permukaan bumi, berubah-ubah sesuai dengan posisi matahari. Pada siang hari (tengah hari), radiasi dari matahari adalah terbesar, sedangkan di malam hari adalah minimum. Saat radiasi matahari tidak ada, banyak ion-ion yang bergabung kembali menjadi molekul-molekul. Keadaan ini menentukan posisi dan banyaknya lapisan dalam ionosfir. Karena posisi matahari berubah-ubah terhadap titik-titik tertentu di bumi, dimana perubahan itu bisa harian, bulanan, dan tahunan, maka karakteristik yang pasti dari lapisan-lapisan tersebut sulit untuk ditentukan/dipastikan.



Gambar 6-4: Lapisan-lapisan ionosfir yang berpengaruh untuk propagasi

Untuk lebih jelasnya tentang fenomena masing-masing lapisan pada ionosfir diberikan berikut ini.

- Lapisan D terletak sekitar 40 km – 90 km. Ionisasi di lapisan D sangat rendah, karena lapisan ini adalah daerah yang paling jauh dari matahari. Lapisan ini mampu membiaskan gelombang-gelombang yang berfrekuensi rendah. Frekuensi-frekuensi yang tinggi, terus dilewatkan tetapi mengalami redaman. Setelah matahari terbenam, lapisan ini segera menghilang karena ion-ionnya dengan cepat bergabung kembali menjadi molekul-molekul.
- Lapisan E terletak sekitar 90 km – 150 km. Lapisan ini, dikenal juga dengan lapisan Kenelly – Heaviside, karena orang-orang inilah yang pertama kali menyebutkan keberadaan lapisan E ini. Setelah matahari terbenam, pada lapisan ini juga terjadi penggabungan ion-ion menjadi molekul-molekul, tetapi kecepatan penggabungannya lebih rendah dibandingkan dengan lapisan D, dan baru bergabung seluruhnya pada tengah malam. Lapisan ini mampu membiaskan gelombang dengan frekuensi lebih tinggi dari gelombang yang bisa dibiaskan lapisan D. Dalam praktek, lapisan E mampu membiaskan gelombang hingga frekuensi 20 MHz.
- Lapisan F terdapat pada ketinggian sekitar 150 km – 400 km. Selama siang hari, lapisan F terpecah menjadi dua, yaitu lapisan F₁ dan F₂. Level ionisasi pada

lapisan ini sedemikian tinggi dan berubah dengan cepat seiring dengan pergantian siang dan malam. Pada siang hari, bagian atmosfer yang paling dekat dengan matahari mengalami ionisasi yang paling hebat. Karena atmosfer di daerah ini sangat renggang, maka penggabungan kembali ion-ion menjadi molekul terjadi sangat lambat (setelah terbenam matahari). Karena itu, lapisan ini terionisasi relatif konstan setiap saat. Lapisan F bermanfaat sekali untuk transmisi jarak jauh pada frekuensi tinggi dan mampu membiaskan gelombang pada frekuensi hingga 30 MHz.

Sebagai tambahan, pada lapisan-lapisan ionosfir yang ditunjukkan di atas, ada juga variasi-variasi lain yang tidak menentu yang terjadi akibat dari partikel-partikel radiasi dari matahari, sehingga mengakibatkan kacau atau rusaknya propagasi gelombang radio. Jenis badai ini dapat berlangsung beberapa hari, tetapi komunikasi masih dapat dipertahankan dengan menurunkan frekuensi kerjanya.

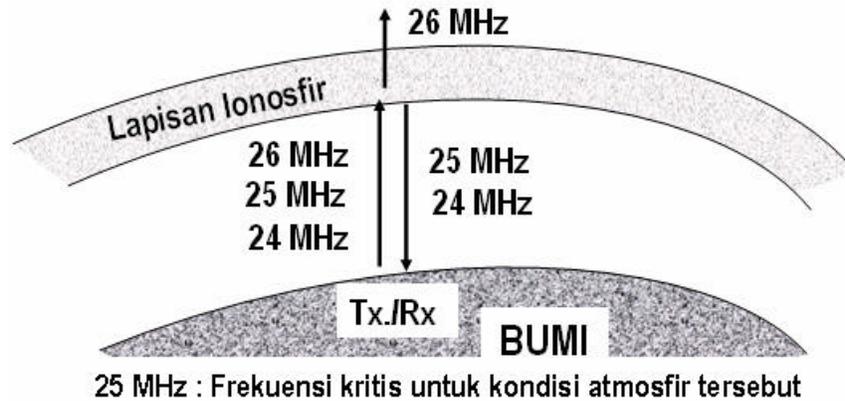
Radiasi yang berlebihan dari matahari, juga dapat mengakibatkan ionisasi yang berat sekali pada daerah/lapisan bawah yang dapat menyebabkan komunikasi *black out* sama sekali untuk gelombang dengan frekuensi di atas 1 MHz.

6.3.2 Frekuensi Kritis

Jika frekuensi gelombang radio yang dipancarkan secara vertikal perlahan-lahan dipertinggi, maka akan dicapai titik dimana gelombang tidak akan bisa dibiaskan untuk kembali ke bumi. Gelombang ini tentu akan ke atas menuju lapisan berikutnya, dimana proses pembiasan berlanjut. Bila frekuensinya cukup tinggi, gelombang tersebut akan dapat menembus semua lapisan ionosfir dan terus menuju ruang angkasa. Frekuensi tertinggi dimana gelombang masih bisa dipantulkan ke bumi bila ditransmisikan secara vertikal pada kondisi atmosfer yang ada disebut dengan **frekuensi kritis**.

Sebagai ilustrasi tentang frekuensi kritis gelombang untuk frekuensi 25 MHz, ditunjukkan pada Gambar 6-5. Gelombang ditembakkan secara vertikal oleh *transmitter* (pemancar dan sekaligus penerima), dengan frekuensi yang bervariasi, mulai 24 MHz sampai 26 MHz. Untuk frekuensi kerja 25 MHz ke bawah, gelombang yang dipancarkan ke atas, dapat diterima kembali di bumi. Tetapi untuk gelombang yang

dipancarkan dengan frekuensi 26 MHz ke atas, gelombang tidak dapat diterima oleh *transmitter* di bumi.



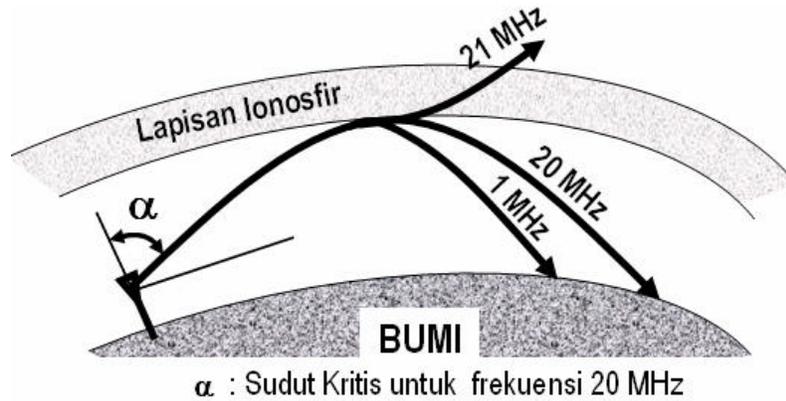
Gambar 6-5: Ilustrasi frekuensi kritis dalam propagasi gelombang

6.3.3 Sudut Kritis

Secara umum, gelombang dengan frekuensi lebih rendah akan mudah dibiaskan, sebaliknya gelombang dengan frekuensi lebih tinggi lebih sulit dibiaskan oleh ionosfir. Gambar 65 menggambarkan hal yang demikian, dimana sudut pancaran memegang peranan penting dalam menentukan apakah suatu gelombang dengan frekuensi tertentu akan dikembalikan ke bumi oleh ionosfir atau tidak. Di atas frekuensi tertentu, gelombang yang dipancarkan secara vertikal merambat terus menuju ruang angkasa. Namun demikian, bila sudut radiasi (*angle of radiation*)-nya lebih rendah, maka sebagian dari gelombang berfrekuensi tinggi di bawah frekuensi kritis akan dikembalikan ke bumi.

Sudut terbesar dimana suatu gelombang dengan frekuensi yang masih bisa dikembalikan (dibiaskan ke bumi) disebut dengan sudut kritis bagi frekuensi tersebut.

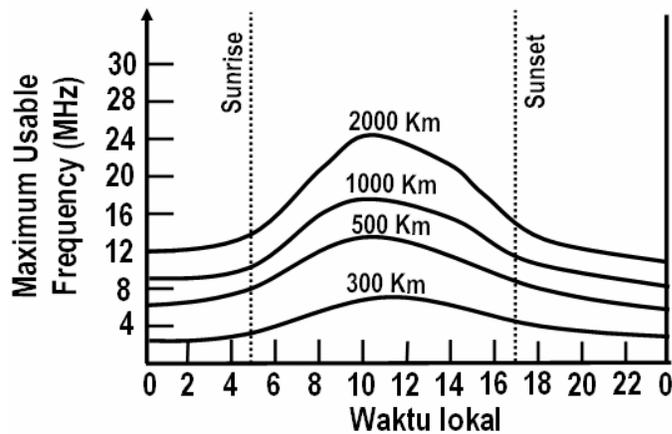
Sudut kritis adalah sudut yang dibentuk oleh lintasan gelombang yang menuju dan masuk ionosfir dengan garis yang ditarik dari garis vertikal titik pemancar di bumi ke pusat bumi. Gambar 6-6 menunjukkan sudut kritis untuk 20 MHz. Semua gelombang yang mempunyai frekuensi di atas 20 MHz (misalnya 21 MHz) tidak dibiaskan kembali ke bumi, tetapi terus menembus ionosfir menuju ruang angkasa.



Gambar 6-6: Ilustrasi sudut kritis dalam propagasi gelombang

6.3.4 Maximum Usable Frequency (M U F)

Ada frekuensi terbaik untuk bisa berkomunikasi secara optimum antara dua titik, pada setiap kondisi ionosfir yang bagaimanapun. Seperti yang bisa dilihat dalam Gambar 6-7, jarak antara antena pemancar dan titik dimana gelombang tersebut kembali ke bumi tergantung pada sudut propagasinya, yang mana sudut tersebut dibatasi oleh frekuensinya.



Gambar 6-7: Peta Maximum Usable Frequency (MUF)

Frekuensi tertinggi, dimana gelombang masih bisa dikembalikan ke bumi dengan jarak tertentu disebut dengan “ Maximum Usable Frequency (MUF) “. Parameter ini mempunyai nilai rata-rata bulanan tertentu. Frekuensi kerja optimum

adalah frekuensi yang memberikan kualitas komunikasi paling konsisten dan oleh karenanya paling baik digunakan.

Untuk propagasi yang menggunakan lapisan F_2 , frekuensi kerja optimum adalah sekitar 85 % dari MUF, sedangkan propagasi melalui lapisan E akan tetap konsisten/bekerja dengan baik, bila frekuensi yang digunakan adalah sekitar MUF. Karena redaman ionosfir terhadap gelombang radio adalah berbanding terbalik dengan frekuensinya, maka menggunakan MUF berarti menghasilkan kuat medan yang maksimum. Karena adanya variasi frekuensi kritis, maka dibuatlah data-data dan tabel frekuensi yang berisi perkiraan-perkiraan MUF untuk tiap-tiap jam dan hari dari tiap-tiap daerah. Informasi-informasi ini dibuat berdasarkan data yang didapatkan secara eksperimental dari stasiun-stasiun yang tersebar di penjuru dunia.

6.3.4 Fading dan Distorsi

Fading terjadi karena adanya fenomena lebih dari satu lintasan, dan bahkan banyak/ganda lintasan (*multipath fenomena*). Fading bisa terjadi di sembarang tempat, dimana kedua sinyal gelombang tanah dan gelombang ionosfir/langit diterima. Kedua gelombang tersebut mungkin tiba dengan fasa yang berbeda, sehingga menyebabkan efek saling menghilangkan. Fading jenis ini dijumpai dalam komunikasi jarak jauh yang melewati daerah berair dimana propagasi gelombang bisa mencapai tempat yang jauh. Di tempat/daerah di luar jangkauan gelombang tanah, yaitu daerah yang hanya bisa dijangkau oleh gelombang langit, fading bisa terjadi karena adanya dua gelombang langit yang merambat dengan jarak yang berbeda. Keadaan ini bisa disebabkan oleh karena sebagian gelombang yang terpancar dibiaskan kembali ke bumi oleh lapisan E, sedangkan sebagian yang lain dibiaskan dan dikembalikan oleh lapisan F. Efek saling menghilangkan bisa terjadi bila kedua gelombang tiba di antena penerima dengan beda fasa 180 derajat dan mempunyai amplitudo sama. Biasanya salah satu sinyal lebih lemah dari yang lain dan karena itu masih ada sinyal yang bisa diterima.

Karena ionosfir menyebabkan efek-efek yang sedikit berbeda pada frekuensi-frekuensi yang berlainan, maka sinyal yang berlainan akan mengalami distorsi fasa. SSB (*single side band*) paling sedikit mengalami distorsi fasa ini, sedangkan FM (*frequency modulation*) sangat terganggu oleh distorsi ini, karena itu FM jarang

digunakan pada frekuensi di bawah 30 MHz (dimana propagasinya adalah dengan gelombang ionosfir/langit). Semakin besar *bandwidth*-nya, semakin besar masalah yang timbul karena distorsi fasa ini.

Badai ionosfir sering menyebabkan komunikasi radio menjadi tidak menentu. Beberapa frekuensi akan benar-benar hilang, sedangkan yang lain mungkin akan menjadi lebih kuat. Kadang-kadang badai ini terjadi beberapa menit dan ada kalanya beberapa jam, dan bahkan beberapa hari.

Untuk mengurangi masalah fading ini, digunakan beberapa bentuk penganaeka-ragaman penerimaan atau *diversity reception*. Diversiti adalah suatu proses memancarkan dan atau menerima sejumlah gelombang pada saat yang bersamaan dan kemudian menambah/menjumlahkan semuanya di penerima atau memilih salah satu yang terbaik. Beberapa jenis diversiti adalah sebagai berikut :

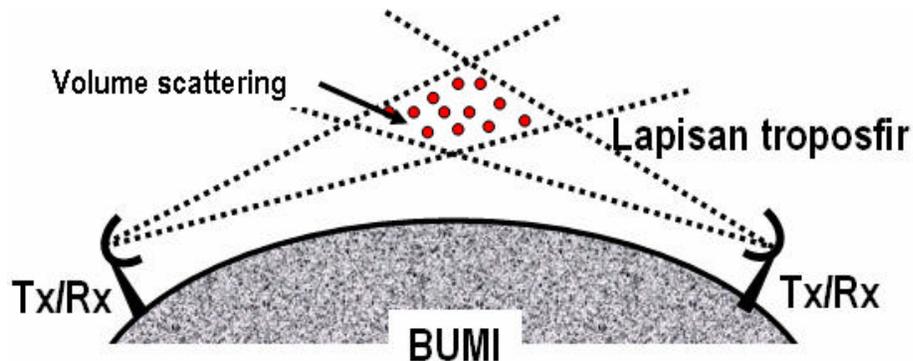
- (1) Diversiti ruang (*space diversity*) yaitu memasang/menggunakan dua atau lebih antena dengan jarak tertentu. Sinyal yang terbaik yang akan diterima, akhirnya dipilih untuk kemudiandiolah di penerima.
- (2) Diversiti frekuensi (*frequency diversity*), yaitu mentransmisikan sinyal informasi yang sama meng-gunakan dua buah frekuensi yang sedikit berbeda. Frekuensi yang berbeda mengalami fading yang berbeda pula sekalipun dipancarkan/diterima dengan antena yang sama. Kemudian penerima memilih mana yang terbaik.
- (3) Diversiti sudut (*angle diversity*), yaitu mentransmisikan sinyal dengan dua atau lebih sudut yang berbeda sedikit. Hal ini akan menghasilkan dua atau lebih lintasan yang memiliki volume hamburan yang berbeda.

6.4 PROPAGASI TROPOSFIR (*TROPOSPHERE SCATTER*)

Propagasi troposfir bisa dianggap sebagai kasus dari propagasi gelombang langit. Gelombang tidak ditujukan ke ionosfir, tetapi ditujukan ke troposfir. Batas troposfir hanya sekitar 6,5 mil atau 11 km dari permukaan bumi. Frekuensi yang bisa digunakan adalah sekitar 35 MHz sampai dengan 10 GHz dengan jarak jangkauan mencapai 400 km.

Proses penghaburan (*scattering*) oleh lapisan troposfir, dilukiskan seperti Gambar 6-8. Seperti ditunjukkan oleh gambar tersebut, dua antena pengarah diarahkan

sedemikian rupa sehingga tembakan keduanya bertemu di troposfir. Sebagian besar energinya merambat lurus ke ruang angkasa. Namun demikian, dengan proses yang sulit dimengerti, sebagian energinya juga dihamburkan ke arah depan. Seperti juga ditunjukkan dalam gambar tersebut, sebagian energi juga dihamburkan ke arah depan yang tidak dikehendaki.



Gambar 6-8: Ilustrasi propagasi troposfir (*troposcatter*)

Frekuensi yang terbaik dan paling banyak digunakan adalah sekitar 0,9,2 dan 5 GHz. Namun demikian, besarnya gelombang yang diterima hanyalah seper seribu hingga seper satu juta dari daya yang dipancarkan. Disini jelas diperlukan daya pemancar yang sangat besar, dan penerima yang sangat peka.

Selain itu, proses hamburan mengalami dua macam fading. Yang pertama, fading yang disebabkan oleh transmisi dengan banyak lintasan (*multipath fading*) yang bisa timbul beberapa kali dalam 1 menit. Yang kedua, fading yang disebabkan oleh perubahan atmosfer, tetapi lebih lambat dari yang pertama, yang mengakibatkan perubahan level/kuat gelombang yang diterima.

Meskipun sistem propagasi radio dengan menggunakan hamburan lapisan ini memerlukan daya yang sangat besar dan perlunya diversiti, penggunaan sistem ini telah tumbuh pesat sejak pemakaian pertamanya tahun 1955. Karena sistem ini memberikan jarak jangkauan jauh yang handal di daerah-daerah seperti padang pasir dan daerah-daerah seperti padang pasir dan daerah pegunungan dan antar pulau. Jaringan ini digunakan untuk komunikasi suara dan data dalam militer dan komersial.

6.5 PROPAGASI GARIS PANDANG (*LINE OF SIGHT*)

Sesuai dengan namanya, propagasi secara garis pandang yang lebih dikenal dengan *line of sight propagation*, mempunyai keterbatasan pada jarak pandang. Dengan demikian, ketinggian antena dan kelengkungan permukaan bumi merupakan faktor pembatas yang utama dari propagasi ini. Jarak jangkauannya sangat terbatas, kira-kira 30 – 50 mil per link, tergantung topologi daripada permukaan buminya. Dalam praktek, jarak jangkauannya sebenarnya adalah $4/3$ dari *line of sight* (untuk $K = 4/3$), karena adanya faktor pembiasan oleh atmosfer bumi bagian bawah.

Propagasi *line of sight*, disebut dengan propagasi dengan *gelombang langsung (direct wave)*, karena gelombang yang terpancar dari antena pemancar langsung berpropagasi menuju antena penerima dan tidak merambat di atas permukaan tanah. Oleh karena itu, permukaan bumi/tanah tidak meresamnya. Selain itu, gelombang jenis ini disebut juga dengan *gelombang ruang (space wave)*, karena dapat menembus lapisan ionosfir dan berpropagasi di ruang angkasa.

Propagasi jenis ini garis pandang merupakan andalan sistem telekomunikasi masa kini dan yang akan datang, karena dapat menyediakan kanal informasi yang lebih besar dan keandalan yang lebih tinggi, dan tidak dipengaruhi oleh fenomena perubahan alam, seperti pada propagasi gelombang langit pada umumnya.

Band frekuensi yang digunakan pada jenis propagasi ini sangat lebar, yaitu meliputi band VHF (30 – 300 MHz), UHF (0,3 – 3 GHz), SHF (3 – 30 GHz) dan EHF (30 – 300 GHz), yang sering dikenal dengan band gelombang mikro (*microwave*).

Aplikasi untuk pelayanan komunikasi, antara lain : untuk siaran radio FM, sistem penyiaran televisi (TV), komunikasi bergerak, radar, komunikasi satelit, dan penelitian ruang angkasa.

6.5.1 Faktor K dan Profil Lintasan

Pengalaman menunjukkan bahwa lintasan propagasi berkas gelombang radio selalu mengalami pembiasan/pembengkokan (*curved*) karena pengaruh refraksi (pembiasan) oleh atmosfer yang paling bawah. Keadaan ini, tergantung pada kondisi atmosfer pada suatu daerah, yang pada akhirnya bisa diketahui indeks refraksi atmosfer di daerah itu. Karena adanya indeks refraksi yang berbeda-beda ini, maka bisa

diperkirakan kelengkungan lintasan propagasi di atas permukaan bumi. Akibatnya, kalau dipandang bahwa propagasi gelombang langsung merupakan *line of sight*, maka radius bumi seakan-akan berbeda dengan radius bumi sesungguhnya (*actual earth radius*). Sebagai gantinya, dalam penggambaran radius bumi dibuat radius ekuivalen (*equivalent earth radius*), dengan tujuan sekali lagi agar lintasan propagasi gelombang radio dapat digambarkan secara lurus.

Parameter yang menyatakan perbandingan antara radius bumi ekuivalen (*equivalent earth radius*) dengan bumi sesungguhnya (*actual earth radius*), disebut dengan **faktor kelengkungan ; faktor K**.

Dinyatakan :

$$K = \frac{a_e}{a} \dots\dots\dots (6.1)$$

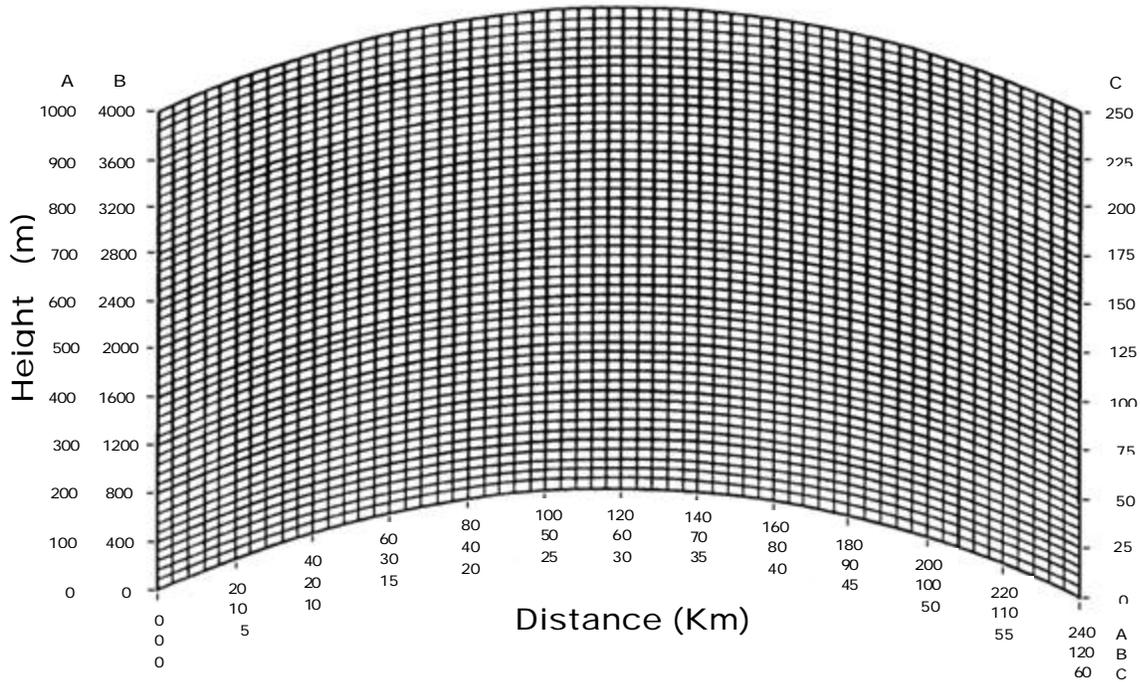
Dimana :

a_e = radius bumi ekuivalen (*equivalent earth radius*) , dan

a = radius bumi sesungguhnya (*actual earth radius*).

Pada kondisi atmosfir normal, dalam perhitungan radius bumi ekuivalen biasanya digunakan $K = 4/3$. Bila kita menggunakan $K = 4/3$ dan dengan mengalikan radius bumi yang sesungguhnya dengan harga K tersebut, maka pada waktu memetakan lintasan propagasi gelombang, kita dapat memodifikasi kurvatur bumi sedemikian rupa , sehingga lintasan radio dapat digambarkan secara garis lurus (*straight line*). Gambar 6-9 menunjukkan hasil modifikasi kurvatur bumi untuk radius bumi ekuivalen untuk harga $K = 4/3$, yang disebut dengan Profile Lintasan atau *Path Profile* $K = 4/3$.

PATH PROFILE $K = 4/3$



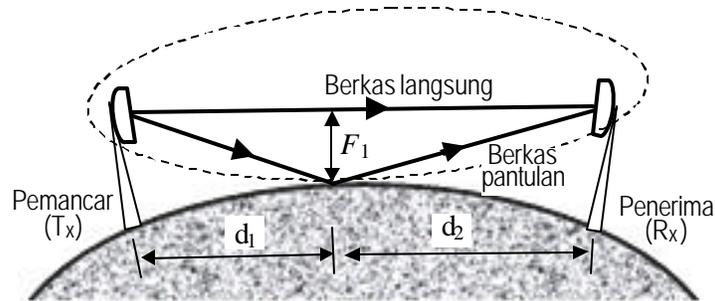
Gambar 6-9: Kurvatur bumi dari radius bumi ekuivalen untuk harga $K = 4/3$

6.5.2 Daerah Fresnel Pertama

Daerah Fresnel pertama merupakan hal yang patut diperhatikan dalam perencanaan lintasan gelombang radio line of sight. Daerah ini sebisa mungkin harus bebas dari halangan pandangan (*free of sight obstruction*), karena bila tidak, akan menambah redaman lintasan.

Untuk memahami daerah Fresnel pertama, marilah diikuti keterangan berikut ini. Gambar 6-10 menunjukkan 2 (dua) berkas lintasan propagasi gelombang radio dari pemancar (T_x) ke penerima (R_x), yaitu berkas lintasan langsung (*direct ray*) dan berkas lintasan pantulan (*reflected ray*), yang mempunyai radius F_1 dari garis lintasan langsung. Jika berkas lintasan pantulan mempunyai panjang setengah kali lebih panjang dari berkas lintasan langsung, dan dianggap bumi merupakan pemantul yang sempurna (koefisien pantul = -1, artinya gelombang datang dan gelombang pantul berbeda fasa 180 derajat), maka pada saat tiba di penerima akan mempunyai fasa yang sama dengan

gelombang langsung. Akibatnya akan terjadi intensitas kedua gelombang pada saat mencapai antena penerima akan saling menguatkan.



Gambar 6-10: Daerah Fresnel pertama di sekitar lintasan langsung

Berdasarkan Gambar 6-10 dan keterangan di atas, F_1 disebut sebagai radius daerah Fresnel pertama, yang dirumuskan dengan:

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \text{ (meter) } \dots\dots\dots (6.2)$$

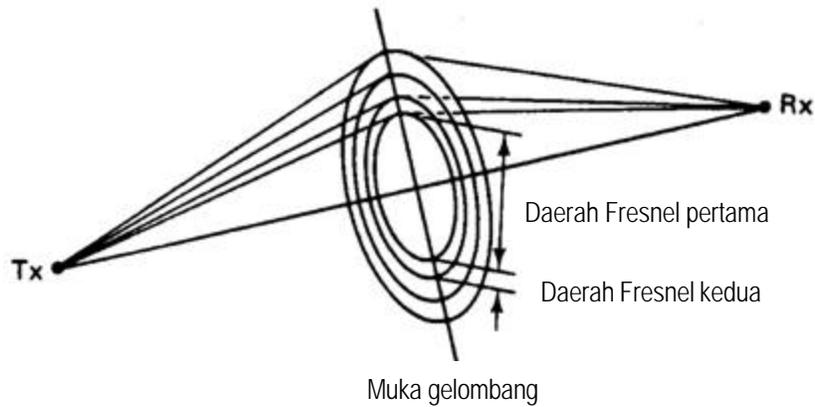
- dimana :
- F_1 = radius daerah Fresnel pertama (m)
 - f = frekuensi kerja (GHz)
 - d_1 = jarak antara T_x dengan halangan (km)
 - d_2 = jarak antara R_x dengan halangan (km)
 - $d = d_1 + d_2$ = jarak antara T_x dan R_x (km)

Untuk daerah Fresnel pertama di tengah lintasan $d = d_1 + d_2$, dan $d_1 = d_2 = 1/2 d$, sehingga:

$$F_1 = 8,67 \sqrt{\frac{d}{f}} \text{ (meter) } \dots\dots\dots (6.3)$$

Di daerah yang dekat dengan antena, misal d_1 dari antena :

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_1}{f}} \text{ (meter) } \dots\dots\dots (6.4)$$



Gambar 6-11: Pemetaan daerah-daerah Fresnel

Sedangkan untuk radius daerah Fresnel kedua, daerah Fresnel ketiga, dan seterusnya seperti diilustrasikan pada Gambar 6-11, dinyatakan dengan rumusan berikut:

$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{n (d_1 d_2)}{f (d_1 + d_2)}} \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (6.5)$$

$n = 1,2,3, \dots$. Atau secara singkat dinyatakan:

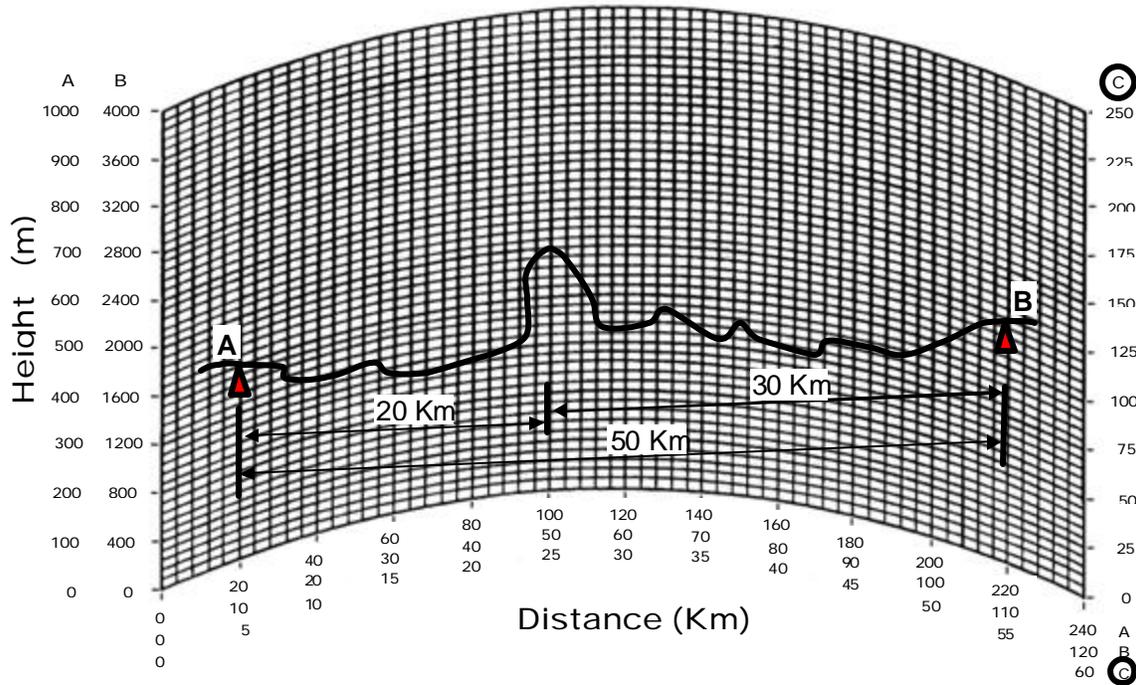
$$F_n = \sqrt{n} F_1 \quad \dots\dots\dots (6.6)$$

dimana F_1 = radius daerah Fresnel pertama (m)

Contoh 6-1: Merancang ketinggian antena

Diketahui profil lintasan (*path profile*) seperti pada Gambar 6-12. Jarak antara T_x (pada titik A) dan R_x (pada titik B) adalah 50 Km. Pada jarak 20 Km dari A, terdapat bukit dengan ketinggian tertentu. Rancanglah ketinggian antena pada T_x dan R_x , agar lintasan tersebut bisa digunakan untuk mentransmisikan gelombang pada frekuensi 3 GHz secara *line of sight*.

PATH PROFILE $K = 4/3$



Gambar 6-12: Profil lintasan untuk contoh 6-1

Penyelesaian: Evaluasi dari profil lintasan pada Gambar 6-12, menunjukkan bahwa halangan pandangan atau (*sight obstruction*) harus kita antisipasi adalah bukit yang berjarak 20 Km dari A atau 30 Km dari B. Perlu dicari radius Fresnel pertama dari persamaan berikut :

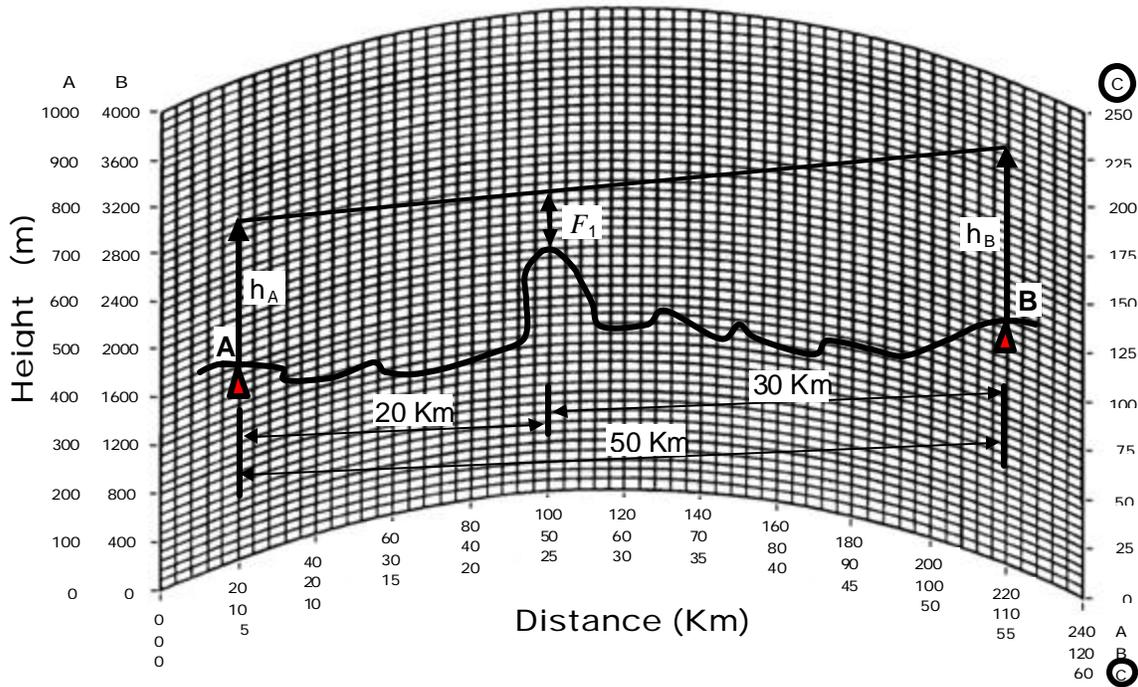
$$d_1 = 20 \text{ Km}, d_2 = 50 - 20 = 30 \text{ Km}.$$

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{1}{3} \frac{20 \times 30}{(20 + 30)}}$$

$$F_1 \approx 34,5 \text{ m}$$

Harga F_1 ini merupakan daerah Fresnel pertama ini dipetakan di atas bukit tersebut. Setelah garis *line of sight* geometris di atas F_1 dibuat, maka ketinggian antenna di titik A dan B dapat ditentukan (Gambar 6.13). Dari profil lintasan tersebut, ketinggian antenna di titik A: $h_A = \pm 75 \text{ m}$, dandi titik B: $h_B = \pm 90 \text{ m}$.

PATH PROFILE K = 4/3



Gambar 6-13: Hasil penyelesaian untuk contoh 6-1

6.6 PERANCANGAN DAN PERENCANAAN LINK RADIO GARIS PANDANG

Pada umumnya, dimaksud dengan sistem radio link *line of sight* (LOS) adalah hubungan telekomunikasi (jarak jauh) pita-lebar (*broadband*) yang menggunakan perangkat radio pada frekwensi gelombang mikro (*microwave*). Aplikasi secara umum, hubungan radio LOS ini merupakan subsistem dari jaringan telekomunikasi, berupa jaringan *terrestrial* di daratan. Jaringan tersebut akan membawa salah satu ataupun gabungan dari kanal-kanal telepon, data, telegraph/teleks, faksimil, video, telemetri atau kanal-kanal program lainnya. Gelombang yang ditransmisikan selain dalam bentuk gelombang analog FM, juga dalam bentuk digital.

Pada waktu kita akan merencanakan suatu sistem jaringan radio LOS, hasil-hasil perhitungan di atas kertas biasanya disusun dalam sebuah tabel yang kita sebut sebagai

Tabel Perhitungan Lintasan (*Path Calculation Table*). Ada 4 langkah proses dalam merencanakan suatu radio link LOS, yaitu :

- Rencana awal dan penentuan/pemilihan lokasi.
- Menggambar profil lintasan (*path profile*).
- Survey lapangan.
- Analisa lintasan (*path*).

Langkah yang satu, saling terkait dengan langkah-langkah yang lain. Dalam praktek, bisa saja diadakan pergeseran/perubahan lokasi jika dipandang perlu, karena lintasan radio link tersebut kurang layak disebabkan karena medan, faktor kualitas, dan atau faktor ekonomis kurang menguntungkan.

6.6.1 Rencana Awal dan Pemilihan Lokasi

Suatu rute gelombang mikro LOS terdiri dari stasiun pemancar dan stasiun penerima dan atau beberapa/stasiun pengulang (*repeater*), yang bisa membawa informasi dalam bentuk gelombang analog maupun digital. Seorang perencana pasti akan mencari tahu untuk memastikan, apakah subsistem LOS ini adalah sistem yang terisolasi, seperti misalnya : sistem gelombang mikro pribadi, jaringan dari studio ke pemancar, atau perluasan jaringan TV-Kabel (CATV). Ataupun merupakan bagian dari jaringan telekomunikasi yang lebih besar, dimana jaringan LOS ini merupakan tulang-punggung dari sistem tersebut. Untuk itu harus diperhatikan hal-hal dibawah ini.

A. Persyaratan Dasar

Marilah kita anggap bahwa akan direncanakan suatu subsistem gelombang mikro LOS untuk jaringan telekomunikasi. Kriteria perencanaan akan didasarkan pada rencana/spesifikasi arus transmisi sesuai dengan aturan badan telekomunikasi dunia. Untuk militer, standart yang benar adalah versi MIL-STD-188. Untuk sistem tranmisi video dan kanal program yang lain, mengikut EIA-250 dan rekomendasi CCIR.

Suatu rencana transmisi, paling tidak akan menyatakan kualitas sinyal sebagai berikut :

- Untuk sinyal analog : Akumulasi noise dalam kanal suara untuk FDM. S/N untuk program video dan program lain (misalnya : rekomendasi CCIR no.567.

Pada jaringan referensi hipotetis merekomendasi S/N :57 dB untuk lebih 20 % per bulan dan 45 dB untuk lebih dari 0,1 % per bulan).

- Untuk sinyal digital *Bit error rate* (BER), misalnya dalam rekomendasi CCIR no.G.821 untuk ISDN. BER < 1×10^{-6} harus kurang dari 10 % per menit. BER > 1×10^{-6} harus lebih dari 90 % per menit.

Umur suatu sistem transmisi biasanya sekitar 15 tahun, walaupun beberapa sistem masih bisa bekerja di atas waktu tersebut. Perencanaan sistem harus mempertimbangkan perkembangan 15 tahun yang akan datang, dengan rencana 5 tahunan untuk perbaikan dan penggantian. Perencanaan yang demikian memang akan memakan biaya awal yang relatif lebih besar, tetapi sebenarnya secara ekonomis akan menghemat, karena umur sistem menjadi lebih panjang. Hal yang tidak boleh dilupakan dalam perancangan yang menyangkut perkembangan di masa yang akan datang adalah masalah kompatibilitas (kesesuaian) dengan perangkat yang sudah ada, yang pada akhirnya juga akan mempengaruhi sistem secara keseluruhan.

B. Tabel Perencanaan Lintasan

Untuk memudahkan perancangan link radio dan menentukan kinerja sistem, diperlukan Tabel Perhitungan Lintasan (*Path Calculation*). Salah satu contoh tentang tabel tersebut, dapat dilihat pada Tabel 6-1.

Selain itu, juga dibutuhkan peta topografi yang akurat untuk *layout rute* dan pemilihan lokasi. Dianjurkan untuk menggunakan peta skala kecil, misalnya 1 : 200.000 untuk pemilihan rute kasar, 1: 50.000 untuk perencanaan dan skala 1 : 250.000 diperlukan juga sebagai bahan pelengkap. Kertas profil lintasan (seperti Gambar 69) dan beberapa peralatan ATK seperti mistar segitiga, paku payung, mesin hitung (*calculator*), dan mistar geser.

Untuk perancangan/perencanaan jaringan, maka lokasi dari stasiun-stasiun yang termasuk dalam jaringan (*link*), juga stasiun pengulang, lokasi dan target. Dan yang harus diperhatikan adalah bagaimana mengurangi jumlah stasiun pengulang sekecil mungkin. Karena disamping secara ekonomis merupakan pemborosan, penambahan satu stasiun pengulang berarti menambah noise pada sistem. Untuk sistem digital, setiap

stasiun pengulang akan menambah *jitter* pada sinyal dan memperbesar kemungkinan kesalahan.

C. Survei Lapangan

Survei lapangan diperlukan untuk mengevaluasi gambar profil lintasan yang telah dibuat untuk diuji bagaimana bila seandainya diterapkan di lapangan. Untuk itu, beberapa hal yang diperlukan dan dipertimbangkan untuk survei lapangan :

- Letak lokasi stasiun pemancar, stasiun-stasiun pengulang (bila ada) dan stasiun penerima secara lebih tepat, termasuk bangunan, dan menara antenna (*antenna tower*)-nya. Penjelasan mengenai lokasi juga mencakup jenis tanah, struktur, syarat pelaksanaan, dan sebagainya.
- Survey tentang EMI (*Electromagnetic Interference*). Survei ini, untuk mendapatkan data tentang gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh stasiun-stasiun lain di sekitar lokasi. Bila ada diukur EMI-nya, tentang EIRP, kuat medannya, bandwidth, dan emisi spuriousnya. Sehingga nantinya dapat dipastikan, bahwa stasiun baru yang dibangun nanti tidak akan mengganggu stasiun yang sudah ada.
- Ketersediaan sumber (catu) daya dekat dengan lokasi juga perlu dipertimbangkan. Sehingga nanti bisa dipastikan, apakah catu daya menggunakan PLN, genset, atau baterai dan sebagainya. Juga beberapa watt/kilowatt daya yang dibutuhkan. Pengetahuan tentang data geografi dan seismografi, untuk mengetahui tentang musim dan cuaca di sekitar lokasi.
- Peraturan daerah juga harus diperhatikan Misalnya bila lokasi stasiun yang akan dibangun berada dekat bandara, sehingga ketinggian antena dan jarak antar stasiun harus dipertimbangkan.
- Pelaksanaan lapangan. Perlu dipertimbangkan dan diusahakan juga ada jalan untuk menuju lokasi. Sehingga memudahkan pembangunan serta operasional/perawatan di kemudian hari. Untuk itu diperlukan data; apakah sudah ada jalan (beraspal, masih jalan tanah, dan sebagainya) atau bila belum ada mungkin membangun jalan baru, dan sebagainya.

Tabel 6-1: Contoh Tabel Perhitungan Lintasan

DIGITAL LOS RADIO LINK: PATH CALCULATION

	Station A	Station B
A. Link Discription		
(1) Link numbers	_____	
(2) Equipment type	_____	_____
(3) Station names	_____	_____
(4) Frequency, (GHz)	Sta.A: _____	Sta.B: _____ Band centre: _____
(5) Polarization	_____	
(6) Channel Capacity, Mbit/s	_____	
(7) Equipment modulation type	_____	
(8) Ordinance Survey map reference	_____	
(9) Site Evaluation, m	_____	_____
(10) Latitude/Longitude (deg,min,s)	_____	_____
(11) Path length, km	_____	
(12) Antenna height, m	_____	_____
(13) Divertisty antenna height, m	_____	_____
B. Losses		
(14) Free space loss L_u (dB)	_____	
(15) Feeder type	A _____; B _____	
(16) Feeder length, m	A _____ m; B _____	
(17) Feeder loss, dB	_____	_____
(18) Braching loss, dB	_____	_____
(19) Adaptor and connector losses, dB	_____	_____
(20) Attenuation or obstruction loss, dB	_____	
(21) Atmospheric absorption loss, dB	_____	
(22) Sum of the losses	+ _____	+ _____ = _____ dB
C. Gains		
(23) Antenna gain over isotropic, dB	_____	_____
(24) Transmitter power (P_t), dBm	_____	
(25) Sums of the gains	+ _____	+ _____ = _____ dB
(26) Total losses L_t (22)-(25)- P_t	_____	
(27) Receiver input level, dBm (26)+ P_t	_____ dBm	
(28) Receiver threshold level R_{x_a} , dBm	_____ dBm (Std)	
(29) Receiver threshold level R_{x_b} , dBm	_____ dBm (Std)	
(30) Flat fade margin FM_a , dB (27)-(28)	_____ dB	
(31) Flat fade margin FM_b , dB (27)-(29)	_____ dB	
(32) Multipath fading probability P_o	_____	
(33) Probability of reaching R_{x_a} P_a	_____	
(34) Probability of reaching R_{x_b} P_b	_____	
(35) Probability of exceeding BER of 10^{-3}	_____	
(36) Probability of exceeding BER of 10^{-6}	_____	
(37) Link availability, percent	_____	
(38) Space divertity improvement factor I_{p_s}	_____	

Kemudian hal-hal yang perlu diperhatikan untuk membangun stasiun-stasiun pengulang diperlukan syarat-syarat teknis sebagai berikut.

- (1) Lokasi antara stasiun pengulang satu dengan stasiun pengulang berikutnya sedapat mungkin diusahakan tidak sama ketinggiannya. Tujuannya adalah gelombang tidak sama ketinggiannya .tujuannya adalah agar gelombang tidak dapat dibelokkan oleh perubahan lapisan udara yang disebabkan cuaca.
- (2) Lokasi stasiun pengulang diusahakan berada pada tempat yang tinggi. Bila tidak ada tempat yang demikian, maka dipakai menara yang tinggi dengan tujuan untuk mendapatkan keadaan LOS.
- (3) Jalur-jalur stasiun yang membangun tidak merupakan garis lurus/ diusahakan zig-zag, agar tidak terjadi interferensi.
- (4) Sedapat mungkin diusahakan jalur transmisi tidak melewati daerah-daerah yang reflektif seperti danau, laut, daerah berawa. Untuk permukaan reflektif dimana memiliki koefisien refleksi mendekati 1 (satu) sehingga akan terpantul hampir dengan sempurna. Hal ini akan mengakibatkan gelombang terpantul akan melemahkan gelombang aslinya.
- (5) Tidak berada pada jalur gelombang lain.

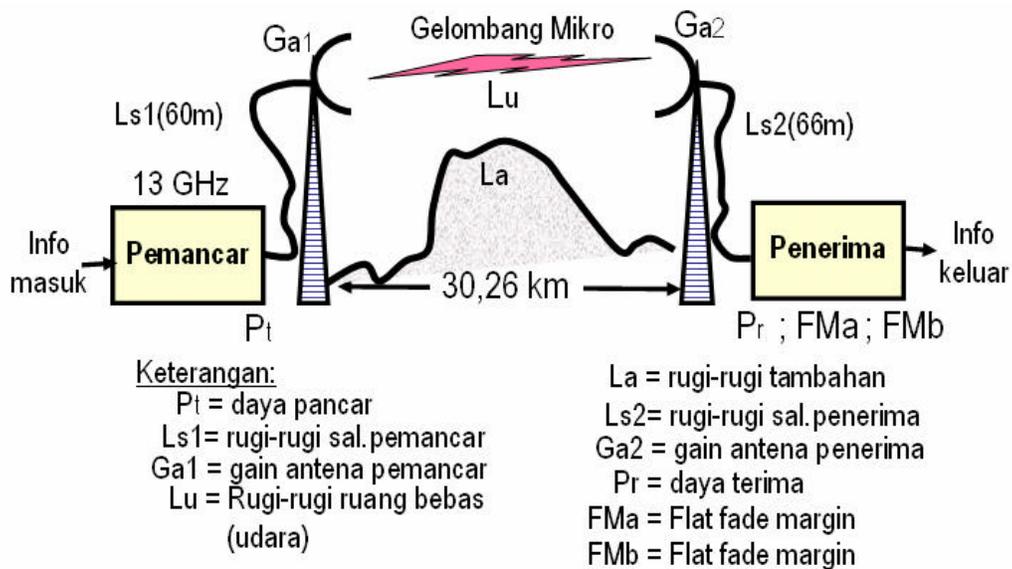
D. Analisa Lintasan

Analisa lintasan diperlukan, agar perencana dapat mengetahui parameter-parameter perencana yang dibutuhkan, sehingga bisa mengetahui konfigurasi terminal-terminal pada stasiun pemancar dan penerima, juga pada stasiun pengulang, yang pada akhirnya bisa mengetahui spesifikasi peralatan yang dibutuhkan. Pada pembahasan di nanti, akan diberikan contoh analisa lintasan pada sistem radio link digital. Semua data yang diisikan pada Tabel Perencanaan Lintasan, merupakan asumsi dengan pendekatan pada sistem yang nyata di lapangan. Sebagai contoh dari perencanaan sederhana sistem radio link LOS akan diberikan pada bagian berikutnya.

Contoh 6-2: Perancangan dan Perencanaan Link Radio LOS

Model sederhana dari sistem radio link LOS yang akan dirancang seperti Gambar 6-14, dengan data-data sebagai berikut:

- Stasiun pemancar A (Surabaya) terletak pada $113^{\circ}\text{BT}, 25'06'' / 20^{\circ}\text{LS}, 34'33''$ dan stasiun penerima B (Gresik) pada $114^{\circ}\text{BT}, 22'08'' / 20^{\circ}\text{LS}, 44'15''$, dengan ketinggian dari permukaan laut masing-masing 122 meter dan 155 meter.
- Jarak antara stasiun pemancar A dan stasiun penerima B 30,26 Km, sehingga tidak diperlukan pengulang (*repeater*).
- Frekuensi yang digunakan 12,5 GHz – 13,5 GHz, dengan frekuensi tengah 13 GHz, dengan polarisasi yang digunakan adalah horizontal.



Gambar 6-14: Model sistem radio link *line of sight* (LOS)

- Kapasitas yang direncanakan 34 Mbit/s, dan modulasi yang digunakan adalah QPSK.
- Ketinggian antena pada stasiun A 40 meter dan stasiun B 44 meter, keduanya menggunakan jenis antena parabola yang sama dengan gain 44 dBi.
- Saluran pencatu yang digunakan *circular waveguide* (Andreas-WC109).

Penyelesaian: Sebelum kita merencanakan parameter-parameter link radio digital, maka harus tersedia Table Perhitungan Lintasan (*Path Calculations*), seperti Tabel 6-1. Setelah itu, kita mencoba untuk mengisinya dengan langkah-langkah di bawah ini, dan hasilnya dimasukkan pada Tabel 6-2.

A. Link Discription

Pada bagian ini memberikan gambaran tentang data-data umum sekitar stasiun pemancar dan penerima dan keadaan link yang akan digunakan.

- (1) *Link numbers*. Jumlah hop dalam perencanaan sistem jaringan radio. Biasanya setiap hop jaraknya antara 25 – 60 km. Bila terdapat 1 (satu) pemancar dan penerima saja (tanpa adanya repeater), maka dikatakan hanya terdapat 1 (satu) link.
- (2) *Equipment type*. Perangkat yang digunakan; merk, tipe dan seterusnya. Dimisalkan, semua peralatan baik pemancar maupun penerima menggunakan merk NEC tipe TRP-13GD34MB-500A, maka keterangan ini dapat diisikan pada kolom (2).
- (3) *Station names*. Nama dan tempat stasiun pemancar dan stasiun penerima. Dimisalkan stasiun A : STA di Surabaya dan stasiun B :STB di Gresik, data ini dapat dimasukkan pada kolom ini.
- (4) *Frequencies*. Frekuensi kerja sistem. Dimisalkan frekuensi kerja yang digunakan 12,5 GHz – 13,5 GHz, dengan frekuensi tengah 13 GHz, dimasukkan pada table ini.
- (5) *Polarization*. Bentuk polarisasi gelombang yang dipakai untuk propagasi. Dimisalkan polarisasi yang digunakan adalah horizontal, maka dapat dimasukkan pada kolom ini.
- (6) *Channel capacity*. Kapasitas kanal dalam Kbit/s atau Mbit/s. Dimisalkan kapasitas yang direncanakan 34 Mbit/s, maka hal ini data dimasukkan pada kolom ini.
- (7) *Radio equipment modulation type*. Bentuk modulasi yang digunakan. Dimisalkan modulasi yang digunakan adalah QPSK, maka data ini dapat dimasukkan pada kolom ini.
- (8) *Ordinance Survey map reference or National Grid reference*. Peta referensi dari instansi berwenang.
- (9) *Site Evaluation*. Evaluasi ketinggian tempat terhadap level permukaan laut (*above mean sea level = amsl*) pada masing-masing stasiun. Salah satu cara dengan menggunakan peta topografi. Misalnya stasiun A mempunyai ketinggian 122 meter dan B 155 meter, maka dapat dimasukkan pada kolom (9).
- (10) *Latitude/longitude*. Letak lokasi masing-masing stasiun dalam lintang dan bujur. Dimisalkan stasiun A terletak $113^{\circ}\text{BT}, 25'06''/20^{\circ}\text{LS}, 34'33''$ dan stasiun B terletak $114^{\circ}\text{BT}, 22'08''/20^{\circ}\text{LS}, 44'15''$, maka dapat dimasukkan pada kolom ini.

- (11) *Path length*. Jarak antara stasiun (km). Dimisalkan berdasarkan pada profile lintasan panjang lintasan antara stasiun A dan stasiun B 30,26 km, maka dapat dimasukkan pada kolom ini.
- (12) *Antenna height*. Ketinggian antena pada sisi pemancar dan penerima terhadap permukaan tanah pada masing-masing stasiun. Berdasarkan profile lintasan, dimisalkan tinggi antena pada stasiun A 40 meter dan stasiun B 44 meter, maka dapat dimasukkan pada kolom ini.
- (13) *Diversity antenna height*. Jika menggunakan diversiti ruang (*space diversity*), ketinggian diversiti antena terhadap permukaan tanah harus diperhatikan.

B. Losses

Bagian ini memberikan rincian tentang jumlah redaman (*losses*) yang mungkin timbul pada link radio, yang pada akhirnya menentukan “*flat fade margin*”.

- (14) *Free space path loss* A_0 . Redaman ini umum dialami setiap gelombang yang merambat yang berpropagasi di ruang, yang dinyatakan dengan:

$$A_0 = 92,5 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \text{ dB.}$$

Dari data di atas $f = 13 \text{ GHz}$ dan $d = 30,26 \text{ km}$, sehingga dengan rumus di atas diperoleh $A_0 = 144,31 \text{ dB}$ dan dimasukkan pada kolom ini.

- (15) *Feeder type*. Saluran pencatu yang digunakan. Biasanya berupa kabel koaksial atau *waveguide*. Untuk sistem di atas 1 GHz, *waveguide* lebih efektif dari kabel koaksial. Dimisalkan pada sisi pemancar A dan B menggunakan *circular waveguide* (*Andreas-WC109*), maka data ini dimasukkan pada kolom ini.
- (16) *Feeder length*. Panjang saluran pencatu yang digunakan. Biasanya 1,5 kali dari ketinggian antena. Atau biasa menggunakan tinggi antena ditambah sekitar 10 sampai 25 meter, tergantung dari perkiraan letak menara antena terhadap peralatan pemancar dan penerima. Dimisalkan panjang saluran untuk pemancar ($40 \times 1,5$) m = 60 m dan penerima ($44 \times 1,5$) m = 66 m, dimasukkan pada kolom ini.
- (17) *Feeder loss*. Redaman total saluran pencatu yang digunakan (Hal ini berhubungan dengan langkah (15) dan (16). Dimisalkan dari data pabrik diperoleh informasi untuk WC 109 redaman $0,4 \text{ dB}/100 \text{ m} + 0,3 \text{ dB}$ untuk transisi ke peralatan, maka

redaman pencatu pada system pemancar = $(60 \times 4,5/100) + 0,3 = 3$ dB, dan pada system penerima = $(66 \times 4,5/100) + 0,3 = 3,3$ dB dan dimasukkan pada kolom ini.

- (18) *Branching loss*. Redaman yang diperkirakan dari filter RF (pemancar dan penerima), *circulator* atau perangkat ekstra lainnya. Redaman ini dapat diperkirakan antara 2 – 8 dB. Dari data NEC diterangkan rugi-rugi/ redaman percabangan 4,4 dB untuk pemancar dan 4,9 dB untuk penerima dan dimasukkan dalam kolom ini.
- (19) *Adaptor and connector losses*. Redaman dari transisi penyambungan *waveguide*, adaptor, konektor antar perangkat *waveguide*. Diperkirakan antara 0,2 – 1,0 dB. Dimisalkan redaman karena hal ini pada sisi pemancar dan penerima masing-masing 0,5 dB, dapat dimasukkan dalam kolom ini.
- (20) *Attenuator atau obstruction loss*. Redaman yang disebabkan oleh adanya difraksi atau halangan pada link radio. Jika link radio pada daerah Fresnel pertama bebas dari halangan maka nilai redaman adalah nol.
- (21) *Atmospheric absorption loss*. Redaman yang disebabkan oleh keadaan atmosfer setempat. Biasanya diperkirakan antara 0,5 sampai 1,0 dB. Dimisalkan redaman karena situasi ini 0,6 dB dan dimasukkan dalam kolom ini.
- (22) *Sum of the losses*. Jumlah redaman dari langkah-langkah (14), (17), (18), (19), (20) dan (21). Setelah dijumlahkan, hasilnya 161,51 dB.

C. Gains

Pada bagian ini diberikan gambaran tentang sumber-sumber penguatan (*gain*) yang menjadi penentu utama bagi kualitas sistem yang direncanakan.

- (23) *Antenna gain*. Gain antena direferensikan terhadap antena isotropis (dBi). Bila gain antena dinyatakan dengan dipole setengah panjang gelombang, maka dikalikan dengan 1,64 atau ditambahkan dengan 2,15 dB. Dimisalkan kedua stasiun menggunakan jenis antena parabola yang sama dengan gain 44 dBi, maka hal ini dimasukkan pada kolom ini.
- (24) Transmitter power (P_t). Daya yang keluar dari pemancar sebelum masuk ke saluran pencatu. Biasanya menggunakan tiga standart, yaitu:

$$1 \text{ W} = 1.000 \text{ mW} = 30 \text{ dBm}$$

$$3 \text{ W} = 3.000 \text{ mW} = 33 \text{ dBm, dan}$$

$$10 \text{ W} = 10.000 \text{ mW} = 40 \text{ dBm}$$

Dalam perancangan link radio, biasanya menggunakan daya pancar tertentu (misalnya 1 W) dan memilih harga-harga lain agar setelah diadakan perhitungan mencapai standard "flat fade margin" (30) dan (31). Dimisalkan daya yang keluar dari pemancar $1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$ dan dimasukkan pada kolom ini.

(25) *Sum of the gains*. Jumlah penguatan (*gain*) langkah (23) dan (24). Dalam hal ini ($30 \text{ dBm} + 44 \text{ dB} + 44 \text{ dB}$) = 118 dBm

(26) *Total loss A_L* . Merupakan perbandingan (rasio) antara jumlah redaman keseluruhan dari langkah (22) dan penguatan antena (tanpa P_t) langkah (23). Dalam hal ini $(22) - [(25)-(23)] = 161,51 - (118 - 30) = 73,51 \text{ dB}$.

(27) *Receiver input level P_r* (dBW or dBm). Merupakan level daya yang diterima pada input penerima. Jumlah langkah (26) dan daya P_t dimasukkan dalam perhitungan. Dalam hal ini langkah $-(26) + (24) = -73,51 + 30 = -43,51 \text{ dBm}$.

(28)-(29) *Receiver threshold level, R_{x_a} , R_{x_b}* dBm. R_{x_a} , R_{x_b} merupakan harga praktis dari level ambang (*threshold level*) yang ada hubungannya dengan BER 10^{-3} dan 10^{-6} . Harga ini harus diperhitungkan dalam perencanaan untuk menentukan kinerja link radio digital. Berdasarkan CCIR rec.594 yang berhubungan dengan harga BER 10^{-3} dan 10^{-6} memutuskan bahwa R_{x_a} dan R_{x_b} di bawah level -79 dBm dan $-76,9 \text{ dBm}$ menghasilkan BER yang tidak dapat ditolerir (*intolerable*).

(30)-(31) *Flat fade margin (FM_a and FM_b)*. FM_a dan FM_b merupakan parameter yang berhubungan dengan level ambang R_{x_a} dan R_{x_b} terhadap level penerimaan pada sistem penerima. Kedua harga ini bisa diterima bila harganya mencapai 30 dB atau lebih.

$$FM_a = P_r(27) - R_{x_a}(28) \text{ dB} \quad \text{untuk} \quad \text{BER} \leq 10^{-3}$$

$$FM_b = P_r(27) - R_{x_b}(29) \text{ dB} \quad \text{untuk} \quad \text{BER} \leq 10^{-6}$$

Bila harga salah satu atau keduanya lebih kecil dari 30 dB, harus diadakan perbaikan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan:

- (a) Mengganti antena dengan gain yang lebih tinggi.
- (b) Mengganti saluran transmisi dengan redaman (*losses*) yang lebih rendah.
- (c) Meningkatkan/mempertinggi daya pancar.

(d) Menggunakan teknik diversiti.

Dari contoh di atas diperoleh:

$$FM_a = (27) - (28) = -43,51 - (-79) = 35,49 \text{ dB, dan}$$

$$FM_b = (27) - (29) = -43,51 - (76,9) = 33,39 \text{ dB.}$$

(32) *Multipath fading probability* P_0 . Probabilitas dari *multipath fading* ini, dipengaruhi oleh faktor lapangan (*terrain factor*). Secara umum dinyatakan dengan:

$$P_0 = 1,4 \times 10^{-8} f B d C$$

Dimana: f (GHz), d (km), B (GHz) dan $C = \textit{terrain factor}$ (0,25 – 4,0). Dari contoh di atas, $f = 13$ GHz, $B = 1$ GHz dan C dimisalkan 3,5. Dari formulasi di atas $P_0 = 27,27 \times 10^{-3}$.

(33)-(34) *Probability of reaching* R_{x_a} and R_{x_b} yang dinyatakan dengan:

$$P_a = 10^{-FM_a/10}$$

$$P_b = 10^{-FM_b/10}$$

Dengan memasukkan harga $FM_a = 35,49$ dB dan $FM_b = 33,39$ dB dalam formulasi di atas diperoleh:

$$P_a = 282,49 \times 10^{-3} \quad \text{dan} \quad P_b = 458,14 \times 10^{-3}$$

(35) *Probability BER of* 10^{-3} . Harga ini menyatakan:

$$\text{Probabilitas untuk BER} > 10^{-3} = P_0. P_a = P_0 \cdot 10^{-FM_a/10}$$

Dengan memasukkan harga $P_a = 282,49 \times 10^{-3}$ dan $FM_a = 35,49$ dB, diperoleh harga $7,8363 \times 10^{-6}$.

(36) *Probability BER of* 10^{-6} . Harga ini menyatakan:

$$\text{Probabilitas untuk BER} > 10^{-6} = P_0. P_b = P_0 \cdot 10^{-FM_b/10}$$

Dengan memasukkan harga $P_b = 458,14 \times 10^{-3}$ dan $FM_b = 33,39$ dB, diperoleh harga $12,7 \times 10^{-6}$.

(37) *Link availability percent*. Ketersediaan link yang diukur dalam waktu 10 detik.

$$\text{Ketersediaan link} = 100 (1 - P_u), \text{ dimana: } P_u = P_0 \cdot P_a \cdot P(10)$$

Dari perhitungan di atas $P_u = (217,74)(282,49) P(10) = 4,9760 \times 10^{-7}$.

$$\text{Ketersediaan link} = 100 (1 - 4,9760 \times 10^{-7}) \%$$

Tabel 6-2: Hasil Perancangan dan Perencanaan Link Radio LOS (Contoh 6-2)

DIGITAL LOS RADIO LINK: PATH CALCULATION

	<u>Station A</u>	<u>Station B</u>
A. Link Discription		
(1) Link numbers	1 (one)	
(2) Equipment type	NEC TRP-13GD34M-500A	NEC TRP-13GD34M-500A
(3) Station names	STA Surabaya	STA Waru
(4) Frequency, (GHz)	Sta.A: 12.5 – 13.5 GHz	Sta.B: 12,5 – 13,5 GHz
(5) Polarization	Horizontal	
(6) Channel Capacity, Mbit/s	34	
(7) Equipment modulation type	QPSK	
(8) Ordinance Survey map reference		
(9) Site Evaluation, m	122	155
(10) Latitude/Longitude (deg,min,s)	113°E 25' 06"/ 20°S 34' 33"	114°E 30' 06"/ 20°S 44' 27"
(11) Path length, km	39.26	
(12) Antenna height, m	40	44
(13) Divertisty antenna height, m		
B. Losses		
(14) Free space loss L_u (dB)	144.31	
(15) Feeder type	A WC109	B WC109
(16) Feeder length, m	A 60 m;	B 66 m
(17) Feeder loss, dB	3.0	3.3
(18) Braching loss, dB	4.4	4.9
(19) Adaptor and connector losses, dB	0.5	0.5
(20) Attenuation or obstruction loss, dB	0	
(21) Atmospheric absorption loss, dB	0.6	
(22) Sum of the losses	7.9 + 144.91 + 8.7 = 161.51 dB	
C. Gains		
(23) Antenna gain over isotropic, dB	44	44
(24) Transmitter power (P_t), dBm	30	
(25) Sums of the gains	44 + 30 + 44 = 118 dBm	
(26) Total losses L_t (22)-(25)- P_t	75.51	
(27) Receiver input level, dBm (26)+ P_t	-43.51 dBm	
(28) Receiver threshold level R_{x_a} , dBm	-79 dBm (Std)	
(29) Receiver threshold level R_{x_b} , dBm	-79.9 dBm (Std)	
(30) Flat fade margin FM_a , dB (27)-(28)	35.49 dB	
(31) Flat fade margin FM_b , dB (27)-(29)	33.39 dB	
(32) Multipath fading probability P_o	27.74×10^{-3}	
(33) Probability of reaching R_{x_a} P_a	282.49×10^{-6}	
(34) Probability of reaching R_{x_b} P_b	458.14×10^{-6}	
(35) Probability of exceeding BER of 10^{-3}	7.8363×10^{-6}	
(36) Probability of exceeding BER of 10^{-6}	12.7×10^{-6}	
(37) Link availability, percent	$100 (1 - 4.98 \times 10^{-7})$	
(38) Space divertity improvement factor I_{ps}		

(38) *Space diversity improvement factor* I_{pe} . Jika diadakan faktor perbaikan dari penerimaan dengan menggunakan diversiti ruang, maka faktor perbaikannya dinyatakan dengan:

$$I_{pe} = 7 \times 10^{2+(FM_a/10)} [(a_r/d) \ln(1/r)]^2 / f$$

Dimana: f (GHz), d (km), ρ = faktor korelasi (0 - 0,6), dan a_r = gain relatif dari diversiti antenna.

SOAL-SOAL :

6.1 Jelaskan tentang definisi dari “propagasi”, “gelombang radio” dan “propagasi gelombang radio” dalam sistem komunikasi.

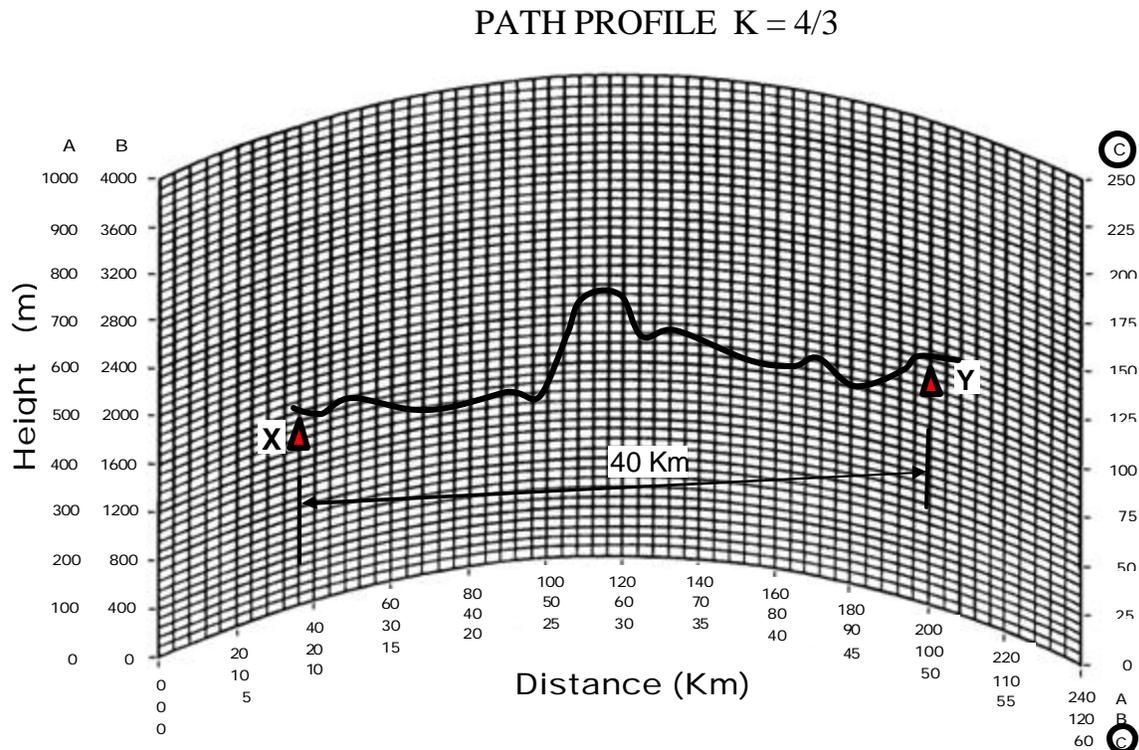
6.2 Sebutkan macam-macam mekanisme propagasi gelombang radio, dan sebutkan band-band frekuensi yang biasa digunakan.

6.3 Jelaskan mekanisme propagasi gelombang dengan menggunakan gelombang: (a) propagasi gelombang tanah; (b) propagasi gelombang ionosfir ; (c) *troposcatter*; (d) gelombang LOS.

6.4 Jelaskan tentang proses terjadinya fading dalam sistem penerima, dan jelaskan pula untuk mengatasinya dengan menggunakan teknik diversiti.

6.5 Jelaskan langkah-langkah apa saja dalam merancang link radio line of sight. Jelaskan secara lengkap jawaban anda !

6.6 Diketahui profil lintasan (*path profile*) seperti pada Gambar 6-15. Jarak antara T_x (pada titik X) dan R_x (pada titik Y) adalah 40 Km. Di tengah X dan Y, terdapat bukit dengan ketinggian tertentu. Rancanglah ketinggian antenna pada T_x dan R_x , agar lintasan tersebut bisa digunakan untuk mentransmisikan gelombang pada frekuensi 4 GHz secara *line of sight*.



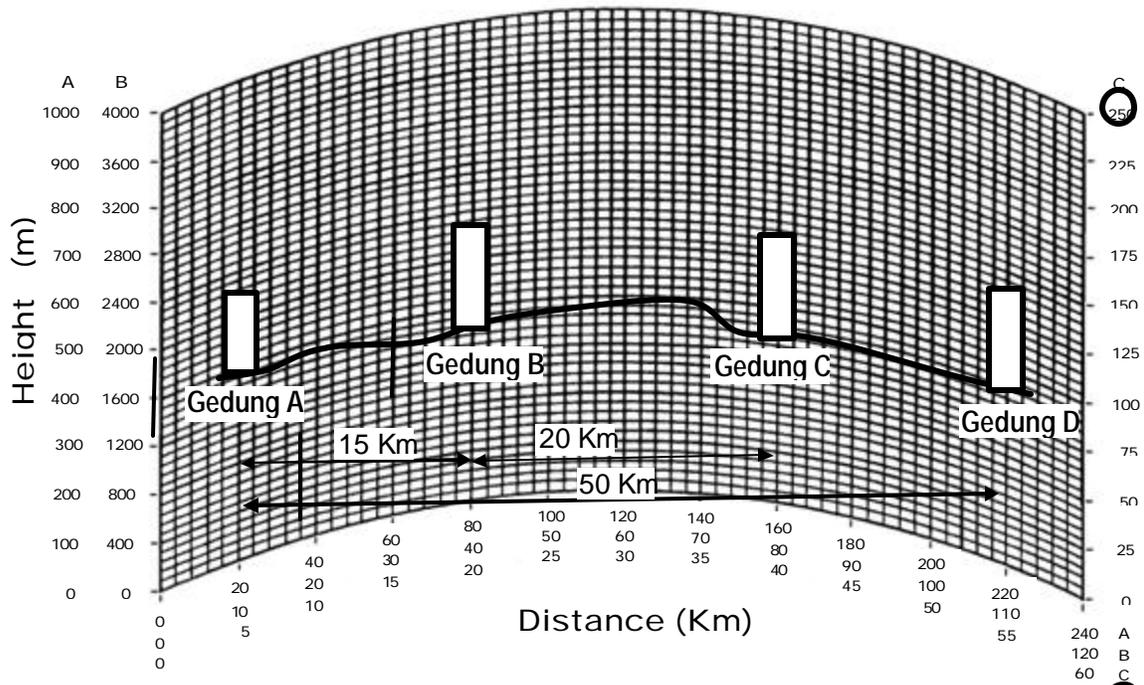
Gambar 6-15: Gambar untuk soal 6.6

6.7 Rancanglah link radio line of sight, pada model seperti Gambar 6-16, jika diketahui data-data sebagai berikut:

- Stasiun pemancar A di atas Gedung A terletak pada $120^{\circ}\text{BT}, 43^{\circ}14'' / 25^{\circ}\text{LS}, 36'45''$ dan stasiun penerima di atas Gedung D pada $144^{\circ}\text{BT}, 52'23'' / 27^{\circ}\text{LS}, 35'13''$.
- Jarak antara stasiun pemancar A dan stasiun penerima D 50 Km, di tengahnya ada Gedung B dan Gedung C dan tidak diperlukan pengulang (*repeater*).
- Frekuensi yang digunakan 17,5 GHz – 18,5 GHz, dengan frekuensi tengah 18 GHz, dengan polarisasi yang digunakan adalah horizontal.
- Kapasitas yang direncanakan 34 Mbit/s, dan modulasi yang digunakan adalah QPSK.
- Pemancar dan penerima menggunakan jenis antena parabola yang sama dengan gain 50 dBi.

- Saluran pencatu yang digunakan *circular waveguide (Andreas-WC109)*.

PATH PROFILE $K = 4/3$



Gambar 6-16: Gambar untuk soal 6-7