

BAB VII

SISTEM KOMUNIKASI SATELIT

7.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi selular akhir-akhir ini telah cukup merebak, termasuk di Indonesia. Kini sudah sangat terbiasa kita melihat seorang manajer membawa sebuah handheld berjalan hilir mudik dikantornya atau sedang mengendarai mobilnya. Bagi mereka banyak juga yang merasa cukup dengan pager atau sebagian lain merasa lebih tepat bila membawa keduanya. Tetapi seorang pekerja supermarket di Hongkong nampaknya lebih menyukai CT-2 handheld, karena mungkin lebih murah biaya langganannya, walaupun untuk itu ia harus mengorbankan tidak dapat dipanggil dari luar. Akhir-akhir ini PT RATELINDO telah memperkenalkan pelayanan fixed service dengan teknologi selular. jadi, bagi mereka yang telah mengajukan pasang baru kepada TELKOM namun karena sesuatu hal ia belum bisa dilayani, maka lebih baik segera memutuskan untuk menjadi pelanggan RATELINDO agar segera bisa mempunyai akses telekomunikasi

Ilustrasi di atas menggambarkan apa yang disebut sebagai teknologi wireless-access, yakni teknologi radio yang menggantikan kabel lokal (local loop), sedemikian hingga dalam daerah cakupan tertentu seseorang masih bisa berkomunikasi sekalipun dalam keadaan bergerak. Teknologi wireless yang disebut di atas adalah berdasarkan sistem jaringan radio terrestrial, yang terdiri atas stasiun-stasiun basis radio yang terpola dalam sel-sel, yang satu dengan yang lainnya terkait dengan suatu pusat intelijen, dan seluruh jajaran jaringan ini terhubung dengan jaringan telepon tetap (Public Switched Telephone Network = PSTN). Tentu saja daerah cakupan radio-sel tersebut sangat terbatas. Untuk daerah-daerah di luar cakupan, tentunya seorang pelanggan yang ingin berkomunikasi tidak dapat dilayani.

Perkembangan teknologi nampaknya tidak berhenti sampai disini,. Dalam menjangkau daerah yang amat jauh dari perkotaan, misalnya daerah pedesaan maupun daerah terpencil lainnya, termasuk di tengah laut, maka orang merencanakan sistem wireless access yang lain dengan menggunakan teknologi satelit. Dalam hal ini ada dua kemungkinan, pertama menggunakan LEO (Low Earth Orbit Satellites) dan ke dua dengan GEO (Geosynchronous Orbit Satellites). Para ahli telekomunikasi, khususnya ahli

jaringan lebih menyukai untuk menganggap LEO/GEO ini sebagai salah satu bentuk dari wireless access, tetapi orang-orang satelit menganggap bahwa LEO/GEO ini sebagai salah satu bentuk Mobile Satellites Services (MSS).

7.2 Jenis – jenis Satelit

Satelit astronomi adalah satelit yang digunakan untuk mengamati planet, galaksi, dan objek angkasa lainnya yang jauh.

Satelit komunikasi adalah satelit buatan yang dipasang di angkasa dengan tujuan telekomunikasi menggunakan radio pada frekuensi gelombang mikro. Kebanyakan satelit komunikasi menggunakan orbit geosinkron atau orbit geostasioner, meskipun beberapa tipe terbaru menggunakan satelit pengorbit Bumi rendah.

Satelit pengamat Bumi adalah satelit yang dirancang khusus untuk mengamati Bumi dari orbit, seperti satelit reconnaissance tetapi ditujukan untuk penggunaan non-militer seperti pengamatan lingkungan, meteorologi, pembuatan map, dll.

Satelit navigasi adalah satelit yang menggunakan sinyal radio yang disalurkan ke penerima di permukaan tanah untuk menentukan lokasi sebuah titik dipermukaan bumi. Salah satu satelit navigasi yang sangat populer adalah GPS milik Amerika Serikat selain itu ada juga Glonass milik Rusia. Bila pandangan antara satelit dan penerima di tanah tidak ada gangguan, maka dengan sebuah alat penerima sinyal satelit (penerima GPS), bisa diperoleh data posisi di suatu tempat dengan ketelitian beberapa meter dalam waktu nyata.

Satelit mata-mata adalah satelit pengamat Bumi atau satelit komunikasi yang digunakan untuk tujuan militer atau mata-mata.

Satelit tenaga surya adalah satelit yang diusulkan dibuat di orbit Bumi tinggi yang menggunakan transmisi tenaga gelombang mikro untuk menyorotkan tenaga surya kepada antena sangat besar di Bumi yang dapat digunakan untuk menggantikan sumber tenaga konvensional.

Stasiun angkasa adalah struktur buatan manusia yang dirancang sebagai tempat tinggal manusia di luar angkasa. Stasiun luar angkasa dibedakan dengan pesawat angkasa lainnya oleh ketiadaan propulsi pesawat angkasa utama atau fasilitas pendaratan; Dan kendaraan lain digunakan sebagai transportasi dari dan ke stasiun.

Stasiun angkasa dirancang untuk hidup jangka-menengah di orbit, untuk periode mingguan, bulanan, atau bahkan tahunan. Satelit cuaca adalah satelit yang digunakan untuk mengamati cuaca dan iklim Bumi. Satelit miniatur adalah satelit yang ringan dan kecil. Klasifikasi baru dibuat untuk mengkategorikan satelit-satelit ini: satelit mini (500–200 kg), satelit mikro (dibawah 200 kg), satelit nano (di bawah 10 kg).

7.3 Jenis-jenis Orbit

Banyak satelit dikategorikan atas ketinggian orbitnya, meskipun sebuah satelit bisa mengorbit dengan ketinggian berapa pun.

- **Orbit Rendah** (Low Earth Orbit, LEO): 300 - 1500km di atas permukaan bumi.
- **Orbit Menengah** (Medium Earth Orbit, MEO): 1500 - 36000 km.
- **Orbit Geosinkron** (Geosynchronous Orbit, GSO): sekitar 36000 km di atas permukaan Bumi.
- **Orbit Geostasioner** (Geostationary Orbit, GEO): 35790 km di atas permukaan Bumi.
- **Orbit Tinggi** (High Earth Orbit, HEO): di atas 36000 km.

Orbit berikut adalah orbit khusus yang juga digunakan untuk mengkategorikan satelit:

- **Orbit Molniya**, orbit satelit dengan perioda orbit 12 jam dan inklinasi sekitar 63°.
- **Orbit Sunsynchronous**, orbit satelit dengan inklinasi dan tinggi tertentu yang selalu melintas ekuator pada jam lokal yang sama.
- **Orbit Polar**, orbit satelit yang melintasi kutub.

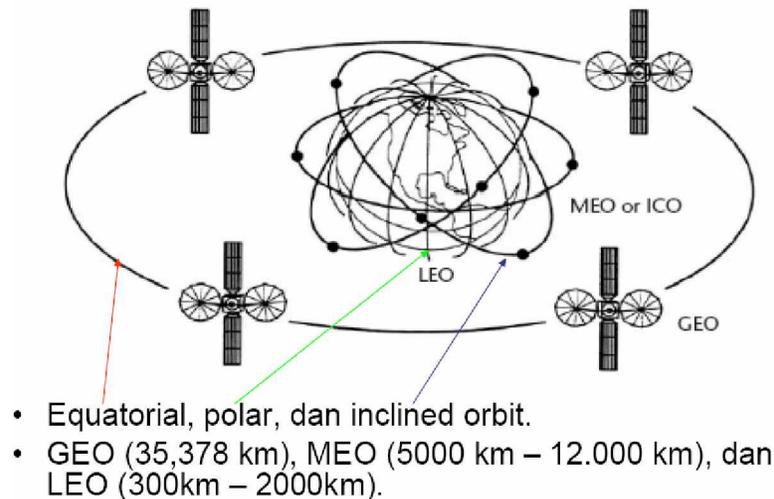
7.3.1 Jenis – jenis orbit satelit

Ada posisi dasar orbit, tergantung posisi relatif satelit terhadap bumi :

1. Geostasioner (geostationary). Orbit ini juga dikenal sebagai geosynchronous atau synchronous. Ketinggian orbit ini kira-kira 22.223 mil atau 1/10 jarak ke bulan. Jalur ini juga dikenal sebagai "tempat parkir satelit", sebab begitu banyak satelit, mulai dari satelit cuaca, satelit komunikasi hingga satelit televisi. Akibatnya, posisi masing-masing harus tepat agar tidak saling menginterferensi sinyal. Penerbangan Space Shuttle yang terjadwal, menggunakan yang lebih rendah yang dikenal dengan asynchronous orbit, yang berada pada ketinggian rata-rata 400 mil (644 km). Berikut detail dari orbit satelit:

2. 70 -1.200 mil (asynchronous orbits) : digunakan oleh satelit pengamat, yang biasanya mengorbit pada 300 -600 mil (470-970 km), berfungsi sebagai fotografer. Misalnya satelit Landsat 7, ia bertugas untuk pemetaan, pergerakan es dan tanah, situasi lingkungan (semisal menghilangnya hutan hujan tropis), lokasi deposit mineral hingga masalah pertanian; satelit SAR (search-and-rescue) juga disini, dengan tugas menyiarkan ulang sinyal-sinyal darurat dari kapal laut atau pesawat terbang yang dalam bahaya; Teledesic, yaitu satelit yang di-backup sepenuhnya oleh Bill Gates, memberikan layanan komunikasi broadband (high-speed), dengan sarana satelit yang mengorbit pada ketinggian rendah (LEO, Low Earth Orbiting).
3. 3.000 -6.000 mil (asynchronous orbits) : digunakan oleh satelit sains, yang biasanya berada pada ketinggian ini (4.700 -9.700 km), dimana mereka mengirimkan data-data ke bumi via sinyal radio telemetri. Satelit ini berfungsi untuk penelitian tanaman dan hewan, ilmu bumi, seperti memonitor gunung berapi, mengawasi kehidupan liar, astronomi (dengan IAS, infrared astronomy satellite) dan fisika.
4. 6.000 -12.000 mil (asynchronous orbits) : satelit GPS menggunakan orbit ini untuk membantu penentuan posisi yang tepat. Ia bisa digunakan untuk kepentingan militer maupun ilmu pengetahuan.
5. 22.223 mil (geostationary orbits) : digunakan oleh satelit cuaca, satelit televisi, satelit komunikasi dan telepon.

Tipe Orbit



Gambar 7.1

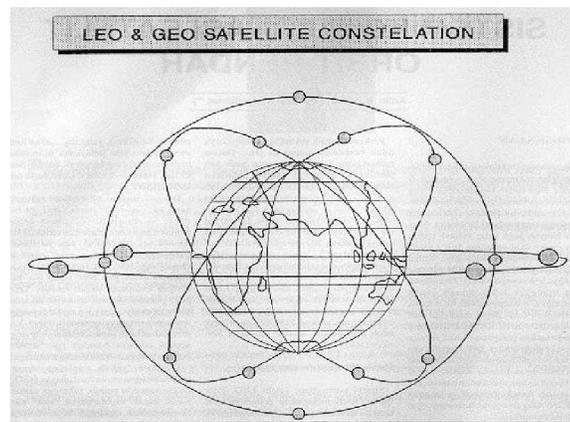
Tipe-tipe Orbit

Sistem komunikasi satelit LEO (Low Earth orbit) merupakan pengembangan terakhir sistem komunikasi satelit bergerak yang sekarang sudah ada, seperti INMARSAT, AMSC. Sistem komunikasi satelit bergerak (mobile communications satellites) yang beroperasi sekarang ini menggunakan satelit yang beredar 36.000 km di atas permukaan bumi dan mempunyai waktu edar sekitar 24 jam. Ditambah dengan lintasan yang berimpit dengan bidang katulistiwa, dari suatu titik bumi, satelit kelihatan seolah-olah bergerak (GEO= Geostationary Earth Orbit). Dengan sistem GEO dikembangkan :

- Fixed Satellite Service (contohnya PALAPA INTELSAT, dll) yang memungkinkan terjalannya suatu hubungan komunikasi dan pertukaran informasi yang sangat handal antara dua titik, tidak peduli apakah informasi tersebut berupa suara (telepon), data maupun video (televiisi).
- Satelit Komunikasi Bergerak (Mobile Communications Satellites), yaitu digunakan untuk memberikan jasa pelayanan komunikasi bagi pemakai yang bergerrak, baik di darat, di laut, maupun di udara. Contohnya ialah INMARSAT.

Dengan tingkat pencapaian teknologi yang ada saat ini, sistem GEO ini baru dapat memberikan pelayanan kepada pemakai jasa satelit melewati terminal yang relatif masih mahal dan berukuran transportabel (briefcase size), seperti terminal INMARSATM. Jenis Informasi yang dilewatkannya pun baru suara dan data, dengan kecepatan lebih rendah. Terasa bagi pemakai bahwa terminal ini masih merupakan investasi yang mahal di samping biaya per menitnya juga masih tinggi. Yang diinginkan ialah suatu terminal yang ringan seperti cellular handset type terminal dengan biaya sewa komunikasi terjangkau.

Di lain pihak, seiring dengan perkembangan ekonomi, lintasan GEO ini terasa semakin penuh, sehingga semakin susah untuk mendapatkan "slot" untuk menempatkan satelitnya. Sejalan dengan kemampuan teknologi, orang berpaling lagi ke sistem satelit, yang beredar dengan orbit rendah (LEO= Low Earth orbit Satellites). Karena orbitnya rendah, waktu edarnya lebih cepat (2 sampai 3 jam) sehingga dari suatu titik di permukaan bumi, satelit kelihatan bergerak dan mengalami waktu-waktu terbit dan terbenam gambar 7.2.



Gambar 7.2

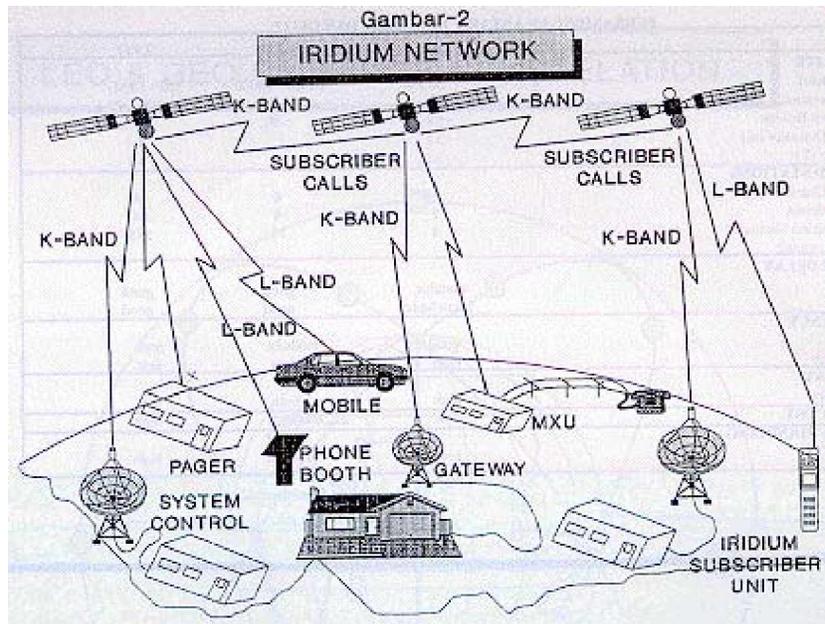
Lintasan orbit Leo dan Geo

Maka untuk menjamin kelangsungan hubungan, perlu diorbitkannya beberapa satelit sistem satelit), yang diletakkan di angkasa dengan pola tertentu sesuai dengan misi yang diembannya. Susunan demikian disebut konstelasi sistem LEO. Contohnya ialah IRIDIUM dengan 66 satelit yang terletak pada 6 bidang orbit polar dengan 11 satelit pada masing-masing garis edar.

Keuntungannya adalah karena jaraknya dekat, ditambah dengan sistem Vocaded, terminal di bumi bisa berukuran kecil menjadi handheld. Dengan antena yang agak omni, terminal dapat menangkap sinyal satelit dari saat terbit sampai terbenam dalam lintasannya, atau sampai ia dapat menangkap sinyal satelit LEO berikutnya. Namun, untuk keperluan penjejakan satelit, hanya stasiun pengendali (gateway) yang perlu mempunyai antena dengan kemampuan tracking. Sesuai dengan sifat alamiahnya, baik LEO, GEO maupun MEO (Medium Earth Orbit dengan ketinggian antena LEO dan GEO) masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti terlihat dalam Tabel-1. Kekurangan LEO ialah jumlah satelitnya, umumnya lebih banyak untuk mencakup daerah tertentu, dibandingkan MEO atau GEO, yang berarti biaya investasi maupun operasionalnya lebih tinggi. Pada ketinggian edar LEO, umur satelit menjadi berkurang dibandingkan ketinggian MEO atau GEO. Namun seperti telah diuraikan sebelumnya, satelit LEO mampu memberikan daya pancar pada permukaan bumi lebih tinggi dari pada MEO atau GEO, sehingga terminal tipe handheld dapat bekerja. Disamping itu secara teoritis jumlah sel dalam suatu daerah cakupan bisa lebih banyak, yang berarti juga kapasitasnya bisa lebih banyak.

Dengan demikian, sifat yang menonjol dari sistem LEO adalah terminal yang kecil dan "mobile" dengan cakupan global yang memenuhi kebutuhan para pengusaha pada saat ini. Dengan perkembangan teknologi, harganya pun tidak begitu mahal, yaitu harga terminal hanya US \$ 1500,- dan biaya pulsa adalah US\$ 0.30 s.d. US\$ 3.00 permenit.

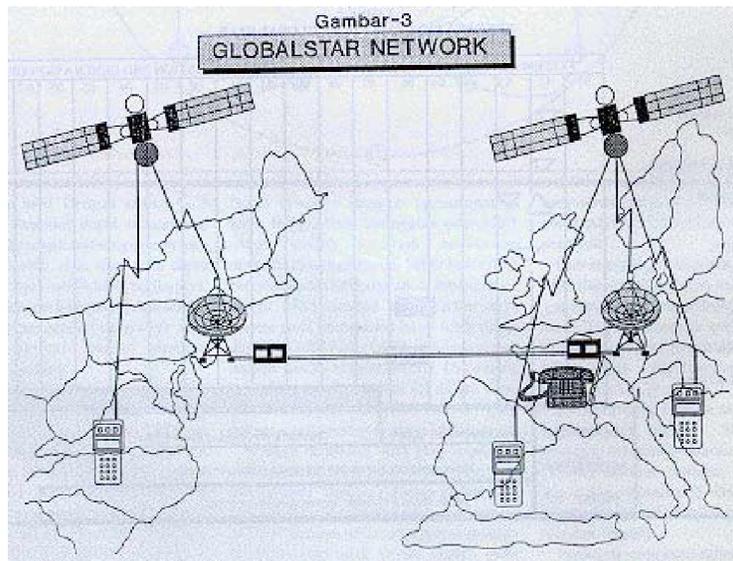
Dari segi penggunaannya, sistem - sistem LEO dapat dibagi dalam dua sistem : Sistem yang dapat beroperasi dengan mem"bypass" jaringan telekom yang ada. Dalam group ini hanya IRIDIUM yang baru dapat digolongkan kedalamnya. Lihat gambar dibawah :



Gambar 7.3

Sistem “bypass” pada jaringan telekom

- a. Sistem yang bekerja melalui jaringan telekom yang ada. Sehingga dapat dianggap sebagai perluasan sistem Cellular ataupun jaringan telekom yang ada. Lihat gambar dibawah :



Gambar 7.4

Sistem perluasan Cellular atau jaringan telekom.

Dalam group ini termasuk : Global Star, Ellipsat, Constellation dan Odessy. Tidak ada yang aneh dalam desain kedua sistem ini., karena masing-masing ditujukan untuk pasar yang sesuai. IRIDIUM akan menarik pasar-pasar segmen atas (CEO global companies, Luxury pleasure boats, kedutaan-kedutaan, dsb), sedang Global Star dan lain-lain, manrik kalangan dunia usaha menengah keatas. Namun demikian persentase terbesar hubungan komunikasi dari setiap pelanggan, adalah hubungan lokal dan interlokal.

Dalam group kedua ini, Aries dan Odessy hanya menawarkan jasanya di Amerika Serikat. Namun bagi negara-negara berkembang seperti Indonesia, kehadiran LEO tidak hanya dapat dimanfaatkan oleh pangsa pasar selular dan traveller, namun juga cocok untuk daerah terpencil dan daerah pedesaan, yang membutuhkan akses ke dalam jaringan PSTN. Dengan cara tradisional, bisa saja untuk daerah tertentu-karena kondisi geografisnya-biaya akses ke PSTN mahal serta implementasinya relatif lebih lama. Dengan sistem LEO yang tepat, akses ke PSTN bisa dalam waktu yang amat singkat dan biaya bisa lebih murah. Tetapi dengan sistem LEO, seperti juga dengan sistem INMARSAT, hanya dapat dilewatkan sinyal yang kecepatannya relatif rendah. LEO tidak / belum difikirkan untuk menggantikan fixed satellite service yang kecepatan bitnya umumnya cenderung tinggi.

Link Budget

Dengan perhitungan link budget sederhana dan dengan menggunakan spesifikasi umum yang dapat diperoleh di internet, yaitu antena [5] dan modem [7] dan menggunakan parameter Telkom-1 untuk standard C-band [7], maka tabel 1 memperlihatkan bahwa untuk kecepatan data 2 Mbps, maka antenna yang diperlukan di pelanggan minimum adalah 2 meter. Sedangkan untuk kecepatan data 30 Mbps yang menggunakan satu transponder penuh, maka antenna 1.7 meter dapat digunakan.

Pada simulasi ini coding yang digunakan adalah Viterbi $\frac{3}{4}$, jenis modulasi QPSK. Terlihat bahwa margin yang diperoleh sangat kecil bila terjadi redaman (misalnya hujan) di lokasi pelanggan. Untuk meningkatkan margin ini maka penggunaan antena yang lebih besar akan sangat membantu karena akan meningkatkan C/N dan juga mengurangi pengaruh kelemahan LNB yang disebutkan diatas. Kemungkinan lain untuk meningkatkan margin adalah dengan menggunakan jenis coding yang lebih baik (misal;

reed solomon) dan kecepatan coding yang lebih rendah (misal; 0.5). Tetapi setiap perubahan parameter harus selalu diikuti dengan proses optimasi penggunaan transponder mengingat jumlah sinyal di transponder dibatasi oleh lebar pita frekuensi dan daya pancarnya.

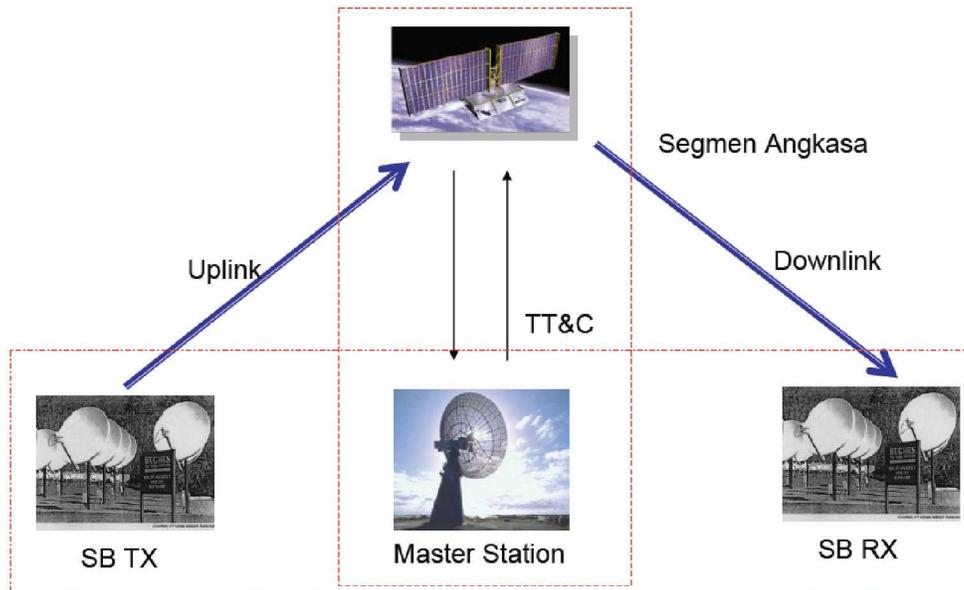
Tabel 7.1. Link Budget

Parameter			Clear Sky	Up Fad	Dn Fad	Clear Sky	Up Fad	Dn Fad	Satuan
SB	Bit rate	Antenna Eb/No yang dibutuhkan[3]	2 Mbps 2 Meter			30 Mbps 1.8 Meter			
			7.9 dB dengan Viterbi 3/4			7.9 dB dengan Viterbi 3/4			
UPLINK	1	SFD satelit	-89,00	-89,00	-89,00	-89,00	-89,00	-89,00	dBW/m ²
	2	IBO total	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	dB
	3	IBO per signal	-16,30	-16,30	-16,30	-4,00	-4,00	-4,00	dB
	4	Cnr Flux Density	-105,30	-105,30	-105,30	-93,00	-93,00	-93,00	dBW/m ²
	4	Gain per m ²	36,96	36,96	36,96	36,96	36,96	36,96	dB/m ²
	5	Redaman uplink	-199,37	-201,37	-199,37	-199,37	-201,37	-199,37	dB
	6	EIRP stasiun Bumi	57,10	59,10	57,10	69,41	71,41	69,41	dBW
	7	G/T satelit	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	dB/K
	8	C/N Uplink	23,19	23,19	23,19	23,84	23,84	23,84	dB
	9	C/I Uplink Adj Sat	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	dB
		C/I Xpol	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	dB
		C/N uplink TOTAL	18,01	18,01	18,01	18,20	18,20	18,20	dB
DNLINK	1	EIRP saturasi satelit	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	dBW
	2	Aggregate OBD	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	dB
	3	Jumlah carrier/tpdr	17,00	17,00	17,00	1,00	1,00	1,00	
	4	OBD per signal	-13,30	-13,30	-13,30	-1,00	-1,00	-1,00	dB
	5	C/I Intermod (E/S)	18,00	18,00	18,00	25,00	25,00	25,00	dB
	6	EIRP downlink	24,70	24,70	24,70	37,00	37,00	37,00	dBW
	7	Redaman downlink	-195,19	-195,19	-195,69	-195,19	-195,19	-195,69	dB
	8	G/T st. Bumi	17,12	17,12	17,12	16,20	16,20	16,20	dB/K
	9	Penurunan G/T	0,00	0,00	-1,15	0,00	0,00	-1,15	dB
	9	C/N Downlink	13,08	13,08	11,43	12,81	12,81	11,16	dB
	10	C/I Dnlink Adj Sat	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	dB
		C/I X-pol	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	dB
		C/N Downlink	10,65	10,65	9,63	11,16	11,16	9,97	dB
TOTAL		C/N(up,dn,im,i) total	9,92	9,92	9,04	10,38	10,38	9,36	dB
MARGIN		C/N required	8,87	8,87	8,87	8,87	8,87	8,87	dB
		LINK MARGIN	1,05	1,05	0,17	1,51	1,51	0,49	dB

7.5 Sistem Komunikasi Satelit (Segmen Bumi dan Segmen Angkasa)

Bagian penting dalam sistem komunikasi satelit yaitu :

- **Space segment** (bagian yang berada di angkasa)
- **Ground segment** (biasa disebut stasiun bumi).



Gambar 7.5

Arsitektur Komunikasi Satelit

Segmen Angkasa :

- Struktur/Bus
- Payload
- Power Supply
- Kontrol temperature
- Kontrol Attitude dan Orbit
- Sistem propulsi
- Telemetry, tracking, dan Command (TT & C).

Segmen Bumi :

- User terminal, SB Master dan jaringan.

Apa yang sebenarnya terdapat di dalam satelit ?

Satelit sesungguhnya sama dalam bentuk dan ukuran dan memainkan beberapa peran tertentu. Sebagai misal dapat dilihat beberapa contoh berikut :

- Satelit cuaca. Satelit ini membantu ahli meteorologi untuk meramalkan cuaca atau melihat apa yang terjadi pada suatu waktu. Satelit jenis ini diantaranya TIROS, COSMOS dan GOES. Mereka menyimpan kamera di dalam tubuhnya untuk dikirim ke bumi, baik melalui posisi geostasioner maupun kutub orbit.
- Satelit komunikasi. Melayani transmisi telepon dan data. Satelit jenis ini misalnya Telstar dan Intelset. Komponen terpentingnya adalah transponder yakni sebuah radio yang menerima percakapan dalam satu frekuensi, kemudian memperkuatnya serta mentransmisikannya kembali ke bumi melalui frekuensi lain. Dalam sebuah satelit komunikasi, terdapat ratusan hingga ribuan transponder, dan biasanya satelit ini menggunakan geosynchronous.
- Satelit penyiaran. Ia menyebarkan sinyal televisi dari satu titik ke titik lain (hampir mirip dengan satelit komunikasi).
- Satelit sains. Mengemban bermacam tugas sains. Misal, Hubble Space Telescope yang merupakan satelit sains terkenal.
- Satelit navigasi. Ia membantu kapal laut dan pesawat terbang dan yang lain dikenal adalah satelit GPS NAVSTAR.
- Satelit penyelamatan. Membantu menangkap sinyal radio yang meminta pertolongan.
- Satelit observasi bumi. Ia mengobservasi planet bumi tentang segala perubahan, misal cuaca, temperatur udara, wilayah hutan hingga lapisan es. LANDSAT merupakan satelit terkenal dari jenis ini
- Satelit militer. Mempunyai tugas atau misi rahasia, sehingga jenis informasinya pun berbeda. Fungsinya antara lain : merelai komunikasi terenkripsi, monitoring nuklir, mengobservasi pergerakan-pergerakan musuh, peringatan awal akan peluncuran rudak oleh musuh, radar imaging, fotografi.

Walaupun terdapat perbedaan yang sangat signifikan dari satelit-satelit tersebut diatas, ada beberapa hal yang sama secara umum :

- Semuanya terdiri dari kerangka dan badan dari metal atau komposit, yang biasanya disebut "bus". Bus ini menjaga agar semua yang ada di dalamnya tetap utuh selama dalam peluncuran dan ketika berada di angkasa luar.
- Mereka juga sumber tenaga (biasanya solar cell) dan baterai sebagai cadangan dan penyimpan tenaga.
- Mereka juga dilengkapi dengan komputer untuk mengendalikan dan memonitor sekian banyak sistem yang berbeda.
- Perlengkapan transmitter/receiver radio dan antena juga digunakan untuk membantu pengawas di bumi untuk mendapatkan informasi dari satelit dan memonitor kesehatannya. Banyak satelit dapat dikendalikan dari bumi dengan banyak cara, dari merubah orbit hingga memprogram ulang sistem komputer.
- Ada juga perlengkapan sistem kendali letak (ACS, attitude control system), yang berfungsi untuk menjaga arah satelit. Sebagai contoh, Hubble Space Telescope memiliki sistem kendali yang dapat menjaga satelit pada posisi yang selalu sama tiap hari tiap jam pada satu waktu. Sistemnya dilengkapi dengan gyroscope, accelerometer, reaction wheel stabilization system, thrusters dan beberapa sensor yang memperhatikan bintang-bintang sebagai penentu posisi.

7.6 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Komunikasi Satelit

Salah satu keunggulan sistem komunikasi satelit adalah "kemampuannya menyelenggarakan telekomunikasi yang meliputi wilayah yang lebih luas, dengan waktu yang relatif pendek". Sistem komunikasi satelit Palapa misalnya, digelar hanya dalam waktu sekitar dua tahun, langsung mampu meliputi kawasan Nusantara dan Asia Tenggara. Sebaliknya, kelemahan sistem komunikasi satelit, yang pernah kita alami, antara lain peluncuran tidak mencapai orbitnya.

Tanpa diperintah, satelit meninggalkan kavlingnya, dan gangguan rutin dari matahari, sun outage. Gangguan yang terakhir ini terjadi lamanya hanya beberapa menit, terjadinya beberapa kali setiap tahun, sifatnya lokal, dan waktu kedatangannya dapat diramalkan dengan perhitungan komputer. Prinsip gangguan ini sangat sederhana, terjadi bila matahari, satelit, dan sorot antena parabola pada garis lurus.

Maka operator stasiun bumi Satelit Palapa segera mematikan perangkat penjejak satelit otomatis, auto track-nya, agar antena parabolanya tidak mencari cari satelitnya, karena pada saat terjadi gangguan sinyal dari satelit tersembunyi di balik derau yang besar dari matahari.

BAB VIII

TEORI SELULAR

8.1 Konsep Selular

Saat ini terdapat sejumlah teknologi selular yang beroperasi diseluruh dunia. Namun hampir tidak ada standar yang baku dalam teknologi tersebut. Hal ini ternyata membatasi pengembangan sistem selular itu sendiri, khususnya yang menyangkut masalah roaming.

a. Teknologi selular analog

Beberapa tipe sistem selular analog yang ada saat ini antara lain:

- TACS United Kingdom, Ireland
- NMT 450 dan NMT 900 Scandinavia, Benelux, Spain, Austria
- C450 Germany
- RTMS Italy
- Radio Com 2000 France
- AMPS

Di antara sistem analog tersebut, sistem AMPS memiliki teknologi yang lebih unggul, terutama bila ditinjau dari kapasitas kanal kendali dan laju transmisinya. Di Indonesia, sistem AMPS ini telah dijadikan sebagai STB nasional sejak tahun 1989.

b. Teknologi selular digital

Dalam perkembangan selanjutnya, dimana peningkatan efisiensi pemanfaatan spektrum dan kualitas serta jenis layanan merupakan hal yang sangat dibutuhkan, penerapan teknologi selular digital menjadi pertimbangan utama.

Alasan utama dari penerapan teknologi digital ini adalah:

- Sinyal digital relative lebih kebal dari pada sinyal analog.
- Perangkatnya cenderung lebih murah, seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi digital.
- Dengan adanya teknik-teknik modulasi digital yang hemat spektrum, maka kapasitas sistem dapat lebih di tingkatkan.
- Jenis-jenis layanan baru bisa di peroleh, terutama bila berintegrasi dengan ISDN.
- Keamanan relatif lebih baik.

Teknologi radio selular digital yang sedang beroperasi di dunia antara lain:

NADC (North American Digital Cellular), GSM (Global Cellular Mobile), DAMPS (Digital AMPS), JDC (Japan Digital Cellular), dan IS-95 (yang menggunakan metode akses CDMA).

Sedangkan sistem yang beroperasi di Indonesia adalah GSM (berdasarkan surat keputusan Dirjen Postel No.4243/Dirjen /1993 tanggal 14 Oktober 1993, yang mengesahkan implementasi GSM di Batam-Bitan sebagai proyek STBD)

c. Personal Communication System (PCS) dan Personal Communication Network (PCN)

Teknologi ini berkembang dari masyarakat komunikasi tanpa kabel dengan mobilitas tinggi yang makin berkembang jumlahnya. PCS berkembang di Amerika Serikat, sedangkan PCN berkembang di Eropa. PCS/PCN dapat diartikan sebagai sebuah bentuk layanan baru dari sistem komunikasi bergerak yang bersifat lebih portable dan berukuran lebih kecil. Teknologi ini juga memungkinkan di integrasikan dengan jaringan komunikasi lain seperti PSTN. Ditinjau dari jaringannya, maka PCN/PCS ini dapat di kelompokkan menjadi dua, yaitu yang melalui satelit dan teresterial.

PCS di Amerika Serikat merupakan pengembangan teknologi 800 MHz selular yang dikenal sebagai Digital AMPS (IS – 54). Di samping itu juga PCS pita lebar (spektrum 2 GHz) dan PCS pita sempit (spektrum 900 MHz). Sedangkan perkembangan PCS di Jepang mengacu pada pengembangan layanan dasar yang dikenal sebagai personal connection ke layanan modern yang mempunyai mobilitas tinggi yang menggunakan akses radio, sehingga berkembang sistem Personal Handy Phone (PHP) dan sekarang berubah menjadi Personal Handyphone System (PHS).

Perkembangan teknologi PCN di Eropa merupakan pengembangan teknologi sistem telekomunikasi bergerak generasi kedua, yaitu Global System for Mobile Communication (GSM-900) yang bekerja pada spektrum frekuensi 900 MHz ke teknologi Digital Cellular System (DCS-1800) yang bekerja pada frekuensi 1,8 GHz.

Ditinjau dari segi daerah jangkauan (coverage), maka sistem komunikasi bergerak dapat dibedakan menjadi dua macam:

a. Sistem Konvensional (Large Zone)

Pada sistem ini base station melayani wilayah yang sangat luas dengan radius

40 km. Keuntungan dari sistem ini adalah relatif mudah dalam hal switching, charging dan transmisi. Sedangkan kekurangannya:

1. Kesanggupan pelayanan terbatas

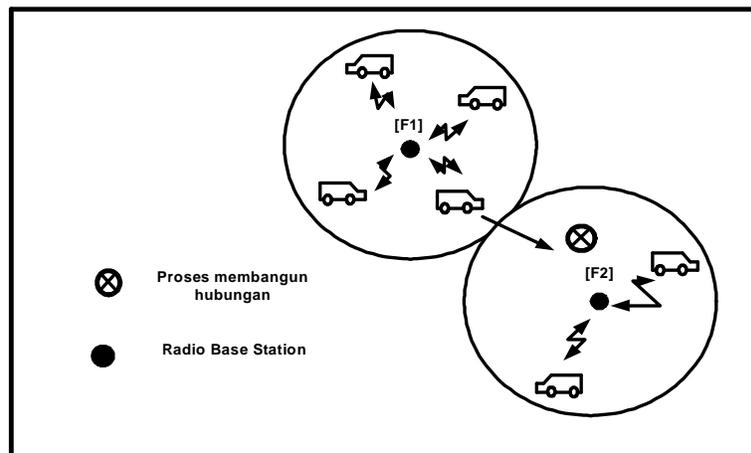
Daya yang dipancarkan harus besar dan antena harus tinggi. Selain itu area pelayanan dibatasi oleh kelengkungan bumi. Ketika user sedang melakukan pembicaraan dan keluar dari suatu wilayah pelayanan, maka pembicaraan terputus karena tidak memiliki fasilitas handoff dan harus dilakukan inisialisasi ulang.

2. Unjuk kerja pelayanan kurang baik

Sistem konvensional ini hanya memiliki jumlah kanal yang sedikit, sehingga blocking menjadi sangat besar.

3. Tidak efisien dalam penggunaan bandwidth

Tidak menggunakan pengulangan frekuensi sehingga jumlah kanal yang dialokasikan pada setiap sel akan sangat kecil.



Gambar 8.1

Sistem komunikasi bergerak konvensional

b. Sistem Selular (Multi Zone)

Dalam sistem ini pelayanan dibagi menjadi daerah-daerah yang lebih kecil disebut sebagai sel dan setiap sel dilayani oleh sebuah RBS (Radio Base Station). Antara RBS masing-masing sel saling terintegrasi dan dikendalikan oleh suatu MSC

(Mobile Switching Centre). Prinsip dasar dari arsitektur sistem selular adalah:

1. Pemancar mempunyai daya pancar yang rendah dan cakupan yang kecil.
2. Menggunakan prinsip penggunaan kembali frekuensi (Frequency Reuse).
3. Pemecah sel (Cell Splitting) pada sel yang telah jenuh dengan user.

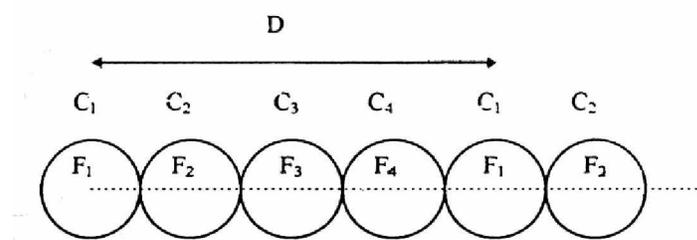
Sistem ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan sistem konvensional, yaitu:

- a. Kapasitas user lebih besar.
- b. Efisien dalam penggunaan pita frekuensi karena memakai prinsip pengulangan frekuensi
- c. Kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kepadatan lalu lintas atau trafik karena sel dapat dipecah.
- d. Kualitas pembicaraan baik karena tidak sering terputus.
- e. Kemudahan bagi pemakai.

8.1.1 Konsep Pengulangan Frekuensi

Sebuah kanal radio terdiri dari sepasang frekuensi, masing-masing arah memakai satu frekuensi untuk keperluan komunikasi full duplex. Dalam sistem selular, suatu kanal frekuensi F_1 yang digunakan dalam sel C_1 dengan jari-jari cakupan R , dapat digunakan kembali di sel lain yang terpisah sejauh D terhadap sel tersebut.

Pengulangan frekuensi merupakan inti dari konsep sistem radio selular. Dengan menggunakan sistem pengulangan frekuensi maka pemakai yang berada di wilayah lain dapat secara simultan menggunakan frekuensi yang sama. Kedua sel yang sama tersebut disebut sebagai sel co-channel. Dengan demikian pengulangan frekuensi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi, akan tetapi apabila sistem tersebut tidak dirancang dengan baik dapat menimbulkan interferensi yang merupakan masalah utama dalam sistem selular. Interferensi yang berasal dari sel lain yang menggunakan frekuensi yang sama disebut interferensi co-channel.



Gambar 8.2

Secara teori diinginkan harga K yang besar, tetapi jika K terlalu besar, sedangkan jumlah total kanal yang dialokasikan adalah tetap maka jumlah kanal yang ditetapkan untuk masing-masing sel menjadi kecil, sehingga terjadi ketidak efisienan trunk.

Tantangan dalam perencanaan adalah untuk memperoleh K terkecil yang masih memenuhi performasi sistem yang dibutuhkan. Hal ini meliputi perkiraan interferensi co-channel dan penentuan jarak minimum pengulangan frekuensi D untuk mengurangi interferensi co-channel. Nilai terkecil dari K adalah $K = 3$, diperoleh dengan memilih $i = 1, j = 1$ dari persamaan $K = i^2 + ij + j^2$.

8.1.2 Pembelahan Sel

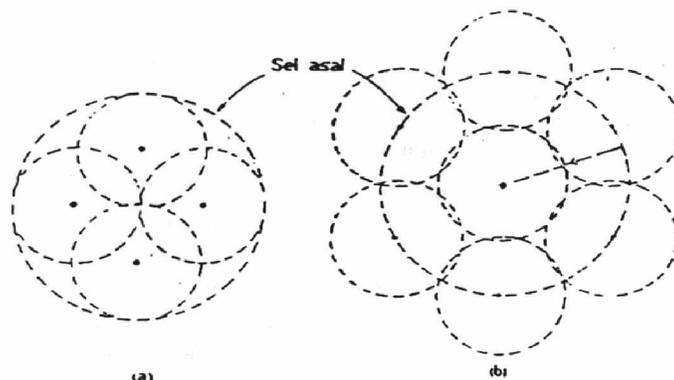
Ketika jumlah mobile station meningkat dan mencapai jumlah maksimum yang dapat dilayani sebuah sel, sel-sel harus dipecah menjadi sel-sel yang lebih kecil, masing-masing mempunyai jumlah kanal yang sama seperti sel asalnya. Setiap sel dapat melayani jumlah mobile station yang sama seperti sel asal yang besar. Hal yang penting juga adalah mengurangi daya dari transmitter untuk memperkecil interferensi co-channel. Dengan proses pembelahan sel, jumlah mobile station potensial dapat ditingkatkan tanpa kebutuhan tambahan bandwidth.

Terdapat dua cara pembelahan sel. Pada gambar 4.a, pusat sel asal tidak terpakai setelah pembelahan sel tetapi dengan cara pembelahan pada gambar 4.b pusat sel asal masih dipakai setelah pembelahan sel.

$$\text{Radius sel baru} = \frac{\text{Radius sel lama}}{2} \quad (8.3)$$

Sedangkan perbandingan luas sel:

$$\text{Luas sel baru} = \frac{\text{Luas sel lama}}{4} \quad (8.4)$$



Gambar 8.4

Pembelahan sel (Cell Splitting)

Daya yang dipancarkan oleh sel baru hasil pemecahan (P_{t1}) dapat diturunkan dari besarnya daya yang dipancarkan oleh sel lama (P_{t0}). Jika diasumsikan daya yang diterima pada batas sel adalah P_r , maka:

$$P_r = \alpha P_{t0} R_0^{-\gamma} \quad (8.5)$$

$$P_r = \alpha P_{t1} (R_0/2)^{-\gamma} \quad (8.6)$$

Dimana α adalah konstan dan γ adalah kemiringan redaman. Persamaan 8.5 menyatakan besarnya daya yang diterima pada batas sel yang lama, sedangkan persamaan 8.6 adalah besarnya daya yang diterima pada batas sel baru setelah dibelah. Karena diinginkan daya yang diterima pada batas ke dua sel tersebut sama P_r , maka:

$$P_{t1} = P_{t0} (2)^{-\gamma} \quad (8.7)$$

Bila dimasukkan harga $\gamma = 4$ (untuk komunikasi mobil), maka diperoleh:

$$P_{t1} = P_{t0}/16 = P_{t0} - 12 \text{ dB} \quad (8.8)$$

Terlihat bahwa daya yang dipancarkan dari sel baru adalah 12 dB dibawah daya pancar sel lama.

Selanjutnya setiap sel yang baru akan memuat beban trafik maksimum yang sama dengan beban trafik satu sel lama, dengan begitu apabila terjadi pembelahan sel, maka:

$$\text{trafik yang baru} = 4 \times \text{trafik yang lama}$$

$$\frac{\text{trafik yang baru}}{\text{satuan luas}} = 4 \times \frac{\text{trafik yang lama}}{\text{satuan luas}} \quad (8.9)$$

8.1.3 Saat Peralihan (Handoff/Handover))

Pada komunikasi bergerak, setiap user memiliki tingkat mobilitas yang tinggi. Ada kemungkinan user bergerak dari satu sel menuju sel lain yang memakai pasangan frekuensi yang berbeda ketika sedang terjadi percakapan. Untuk menjamin bahwa pembicaraan akan terus tersambung diperlukan fasilitas handoff yaitu proses otomatis pergantian frekuensi ketika mobile station bergerak ke dalam daerah atau sel yang mempunyai kanal dengan frekuensi berbeda dengan sel sebelumnya, sehingga pembicaraan dijamin akan terus tersambung tanpa perlu melakukan pemanggilan kembali atau inisialisasi ulang.

Untuk memberi gambaran yang jelas tentang handoff dapat dijelaskan dengan gambar 8.5 berikut:

Ketika mobil station mulai melakukan panggilan di dalam sel C_1 yang berfrekuensi F_1 kemudian bergerak memasuki sel C_2 , maka harus terdapat proses otomatis yang melakukan pemindahan frekuensi yang dipakai dari F_1 ke F_2 tanpa campur tangan pemakai agar panggilan dapat terus tersambung, begitu seterusnya jika mobil station bergerak ke sel yang berbeda.

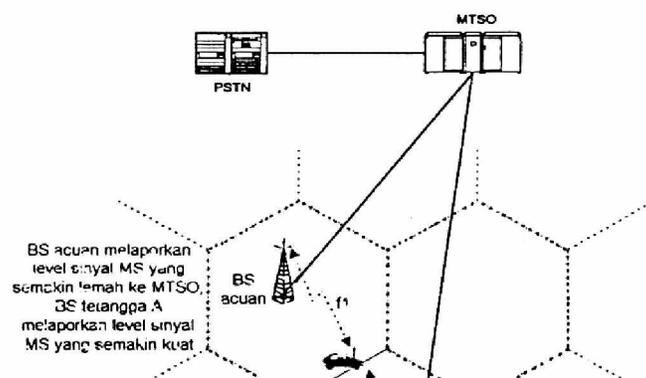
Ada dua tipe proses handoff:

1. Berdasarkan pada kuat medan
2. Berdasarkan pada perbandingan Carrier to Interference

Kriteria handoff berbeda untuk kedua tipe ini, pada tipe 1, level threshold kuat medan untuk handoff -100 dBm dalam sistem yang dibatasi oleh noise. Dan -95 dBm dalam sistem yang dibatasi oleh interferensi. Pada tipe 2, nilai C / I pada perbatasan sel untuk proses handoff adalah 18 dBm untuk mendapatkan kualitas suara yang baik. Kadang-kadang nilai C / I yang lebih rendah diperlukan untuk alasan kapasitas.

Tipe 1 mudah dilakukan. Penerima pada sel site mengukur semua kuat medan yang berasal dari mobil station. Kuat sinyal terima ini sudah meliputi interferensi.

$$\text{Kuat sinyal terima} = C + I \quad (8.10)$$



Gambar 8.5

Mekanisme proses handoff

Dimana C adalah daya gelombang pembawa dan I adalah interferensi. Misalkan menset level threshold untuk kuat sinyal terima, karena I kadang-kadang sangat besar, level kuat sinyal terima tinggi dan jauh diatas level threshold. Dalam situasi ini kualitas suara cukup baik walaupun kuat medan terima kecil, tetapi karena kuat sinyal terima kecil, dilakukan handoff yang tidak perlu. Jadi tipe 1 ini mudah untuk dilaksanakan tetapi tidak cukup akurat dalam menentukan handoff.

Handoff dapat dikontrol dengan menggunakan perbandingan carrier to interference C / I . Dapat menset level tertentu berdasarkan C / I ini, C menurun sebagai fungsi dari jarak tetapi I tergantung pada lokasi. Nilai C / I turun sebagai akibat semakin jauhnya jarak propagasi atau akibat meningkatnya interferensi. Dalam kedua kasus ini, handoff memang harus dilakukan. Jadi metode ini lebih akurat jika dibandingkan dengan metode yang pertama.

8.1.4 Masalah Interferensi

Jika suatu daerah mempunyai beberapa unit komunikasi pemancar-penerima (*transceiver*) dan beberapa pemakai menggunakan kanal yang sama atau kanal yang berdekatan, maka kinerja dipengaruhi oleh interferensi baik interferensi kanal yang sama (*co-channel interference*) maupun interferensi yang disebabkan oleh kanal yang berdekatan (*adjacent channel interference*), selain itu interferensi dapat pula timbul dari sistem selular lain dan juga dari sistem non selular.

Dalam sistem selular, masing-masing pemancar-penerima tidak hanya

dipengaruhi oleh karakteristik daerah sekitarnya, tetapi juga oleh sinyal yang secara simultan dihasilkan oleh sejumlah pemancar di daerah sekitarnya. Pengaruh interferensi pada sistem selular ini biasanya lebih besar dari pengaruh noise.

8.1.4.1 Interferensi Co-Channel (Co-Channel Interference)

Interferensi co-channel terjadi ketika dua atau lebih kanal komunikasi menggunakan frekuensi yang sama. Penggunaan frekuensi yang sama ini bertujuan meningkatkan utilitas frekuensi.

Interferensi co-channel merupakan fungsi dari parameter q yang didefinisikan sebagai:

$$q = \frac{D}{R} \quad (8.11)$$

dimana:

- D = jarak antara sel-sel yang menggunakan frekuensi yang sama
- R = radius sel

Nilai q disebut faktor pengurangan interferensi co-channel (co-channel reduction factor) dapat ditentukan untuk setiap level dari perbandingan sinyal terhadap interferensi yang diinginkan.

8.1.4.2 Interferensi Kanal Bersebelahan (Adjacent Channel Interference)

Interferensi kanal bersebelahan terjadi akibat dua buah sel yang bersebelahan menggunakan dua spektrum frekuensi yang berdekatan. Dalam sistem selular interferensi kanal bersebelahan lebih mudah dikontrol jika dibandingkan dengan interferensi co-channel yaitu dengan pemakaian filter yang curam.

8.1.4.3 Interferensi Intersymbol (Intersymbol Interference)

Interferensi intersymbol terjadi akibat adanya delay spread yang besar dalam medium multipath atau karena laju bit transmisi yang tinggi. Jika 1 bps membutuhkan 1 Hz, maka laju bit transmisi R_t dapat ditentukan dari:

$$R_t < \frac{1}{\Delta} \quad (8.12)$$

dimana Δ adalah delay spread.

Untuk daerah urban, sub-urban, dan daerah terbuka, delay spread berturut-

turut adalah 3 μ s, 0,5 μ s, dan < 0,2 μ s.

8.1.4.4 Interferensi Near Far (Near-end to Far-end Interference)

Interferensi near far terjadi karena adanya perbedaan jarak yang cukup besar antara mobile station satu dengan mobile station lain ke base station. Sinyal yang diterima oleh mobile station yang lebih dekat dengan base station lebih kuat dibandingkan sinyal yang diterima mobile station yang letaknya lebih jauh dari base station. Sinyal yang lebih kuat itu akan menutup sinyal yang lebih lemah. Derajat penutupannya tergantung pada jarak ke base station.

Jika daya pancar dari setiap mobile station dalam satu sel sama, level sinyal yang diterima base station hanya ditentukan oleh peredaman lintasan antara base station dan mobile station. Perbandingan daya near-end terhadap far-end (NE/FE) didapat dari:

$$\frac{NE}{FE} = \frac{\text{path loss terhadap } d_2 \text{ (near - end)}}{\text{path loss terhadap } d_1 \text{ (far - end)}} \quad (8.13)$$

$$\frac{NE}{FE} = 40 \log \frac{d_2}{d_1} \text{ (dB)} \quad (8.14)$$

dimana d_1 adalah jarak mobile station 1 ke base station dan d_2 adalah jarak mobile station 2 ke base station.

Untuk mengurangi interferensi near far ini dapat pula digunakan power control. Dengan power control, daya yang tiba di base station untuk mobile station yang berbeda jaraknya tetap sama. Ini dapat dilakukan dengan mengontrol daya yang ditransmisikan oleh mobile station sehingga mobile station yang lebih dekat dengan base station akan memancarkan daya yang lebih kecil jika dibandingkan dengan daya yang dipancarkan oleh mobile station yang letaknya jauh dari base station.

8.1.5 Mengurangi Interferensi dengan Sektorisasi

Sektorisasi sel merupakan upaya untuk mengurangi kontribusi interferensi agar diperoleh C / I minimum sehingga didapat faktor pengulangan frekuensi (K) yang minimum. Dengan demikian pemanfaatan pita frekuensi semakin efisien dan kapasitas tiap sel menjadi lebih besar.

Faktor pengurangan interferensi co-channel (q) ditentukan oleh batasan C / I minimum yang dapat diterima untuk menghasilkan pembicaraan yang terdengar baik,

jelas dan mempunyai keandalan tinggi. Nilai tipikal C / I untuk sistem digital TDMA adalah 12 dB pada posisi terburuk dan ditambah 6 dB untuk mengantisipasi trafik yang tinggi, ketidaksesuaian kontur dan lokasi RBS yang kurang menguntungkan.

Hubungan antara C / I dan q merupakan fungsi susunan sel (K) dan sektorisasi antena, dihitung pada posisi terburuk (sinyal pembawa terkecil dan sinyal interferensi terbesar berdasarkan jarak perambatan gelombang) oleh interferensi lapis pertama sel-sel dengan kanal frekuensi sama.

Dengan teknik ini setiap sel dibagi dalam tiga atau enam sektor dengan menggunakan tiga atau enam antena berarah pada base station. Pada masing-masing sektor dipakai satu set frekuensi yang berbeda.

1. Kasus tiga sektor (120°)

Sistem ini ditunjukkan dalam gambar 8.6. Pada sistem ini sel co-channel yang merupakan sumber interferensi tadinya enam buah tinggal hanya dua buah.

Situasi terburuk terjadi ketika mobile station berada pada posisi A, dimana jarak antara mobile station dengan antena sumber interferensi secara kasar adalah D dan $D+0,7R$, sehingga C / I adalah sebagai berikut:

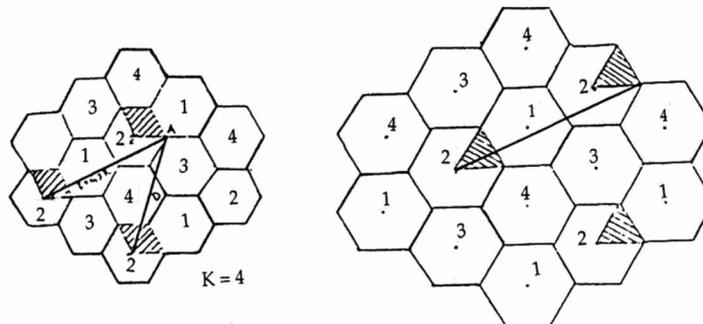
$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{(D + 0,7R)^{-4} + D^{-4}} \tag{8.15}$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{(q + 0,7)^{-4} + q^{-4}}$$

Dengan memasukkan harga $q = 3,46$ maka diperoleh:

$$C / I \text{ untuk kasus terburuk} = 96,9 = 19,9 \text{ dB.}$$

Terlihat hasilnya dalam kasus terburuk lebih besar dari 12 dB, yang merupakan syarat dalam sistem disain. Dalam kenyataannya C / I yang diperoleh mungkin 6 dB dibawah perhitungan itu. Walaupun demikian 13,9 dB merupakan hasil yang cukup.



Kasus terburuk pada sistem 120^0 ($K=4$) – gambar.a ; sistem 60^0

($K=4$) – gambar b

Gambar 8.6

Sistem antena berarah

2. Kasus Enam Sektor (60^0)

Pada kasus ini sel dibagi menjadi enam sektor, dengan menggunakan antena berarah yang mempunyai lebar berkas pancar 60^0 . Dengan teknik ini maka sel co-channel yang menjadi sumber interferensi hanya satu buah dengan jarak dari sumber sel sebesar $D + R$, sehingga C / I untuk kondisi terburuk adalah sbb:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{(D + R)^{-4}} \quad (8.16)$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{(q + 1)^{-4}}$$

Dengan memasukkan harga $q = 3,46$, maka diperoleh:

$$C / I \text{ kasus terburuk} = 395,6 = 25,9 \text{ dB} = 26 \text{ dB}$$

Jika 6 dB dikurangi dari 26 dB, maka 20 dB akan sangat cukup untuk memenuhi unjuk kerja sistem.

Salah satu keuntungan dari sistem dengan enam sektor (60^0) akan diperoleh unjuk kerja yang baik terutama dalam kualitas tetapi mempunyai kekurangan sbb:

1. Mempunyai lebih banyak antena yang dipasang di tiang antena (tidak ekonomis).
2. Akan lebih sering terjadi handoff karena meningkatnya kemungkinan mobile station bergerak melintas antar sektor.
3. Mengurangi efisiensi trunking.

Karena alasan-alasan diatas dalam desain suatu sistem selular apabila sistem tiga sektor (120^0) telah mencukupi unjuk kerja sistem, maka sistem ini lebih sering dipilih dibandingkan sistem enam sektor (60^0).

8.2 Propagation Loss

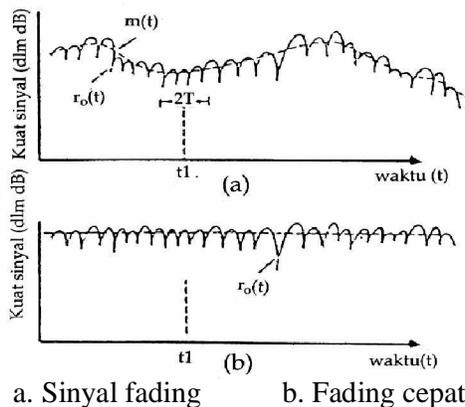
Propagation loss mencakup semua pelemahan yang diperkirakan akan dialami sinyal ketika berjalan dari base station ke mobile station. Adanya pemantulan dari beberapa obyek dan pergerakan mobile station menyebabkan kuat sinyal yang diterima oleh mobile station bervariasi dan sinyal yang diterima tersebut mengalami path loss. Path loss akan membatasi kinerja dari sistem komunikasi bergerak sehingga memprediksikan path loss merupakan bagian yang penting dalam perencanaan sistem komunikasi bergerak. Path loss yang terjadi pada sinyal yang diterima dapat ditentukan melalui suatu model propagasi tertentu. Model propagasi biasanya memprediksikan rata-rata kuat sinyal yang diterima oleh mobile station pada jarak tertentu dari base station ke mobile station. Disamping itu, model propagasi juga berguna untuk memperkirakan daerah cakupan sebuah base station sehingga ukuran sel dari base station dapat ditentukan. Model propagasi juga dapat menentukan daya maksimum yang dapat dipancarkan untuk menghasilkan kualitas pelayanan yang sama pada frekuensi yang berbeda. Perkiraan rugi lintasan propagasi yang dilalui oleh gelombang yang terpancar dapat dihitung dengan rumusan free space, Lee dan Hata.

8.2.1 Fading

Sinyal radio bergerak secara matematis dapat ditulis sebagai:

$$r(t) = m(t) \cdot r_0(t) \tag{8.17}$$

Komponen $m(t)$ disebut local mean, long term fading, atau fading lambat yaitu fading yang disebabkan oleh kontur daerah antara base station dan mobile station ; komponen $r_0(t)$ disebut multipath fading, short term fading atau fading cepat yaitu fading disebabkan oleh gelombang pantul dari struktur di sekitar mobile station, seperti gedung dan rumah. Komponen $m(t)$ dan $r_0(t)$ diperlihatkan pada gambar 8.7.



Gambar 8.7

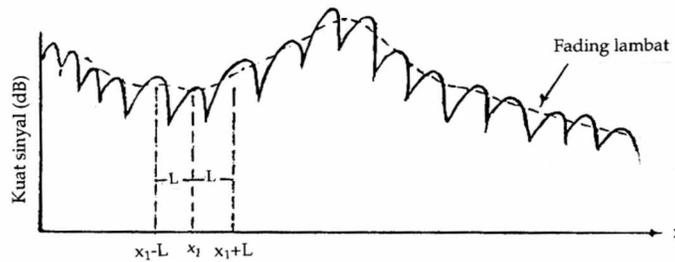
Representasi sinyal radio mobile

8.2.1.1 Fading Lambat

Fading lambat adalah rata-rata dari sinyal fading $r(t)$ berupa garis putus-putus pada gambar 8.8 yang juga disebut local mean. Perkiraan local mean $m(x)$ pada titik x_i sepanjang sumbu x dapat dinyatakan secara matematis dengan:

$$m(x) = \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} r(x) d(x)$$

$$m(x) = \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} m(x) r_0(x) dx \tag{8.18}$$



Gambar 1.8

Rata-rata $r(x)$ sepanjang $2L$

Berdasarkan perhitungan secara statistik diperoleh besar $2L$ yang tepat adalah $20\chi-40\chi$ (6-13 m pada frekuensi 900 MHz) dengan jumlah titik pengamatan 36 buah yang mempunyai kesalahan perkiraan sebesar 1 dB.

Penyebab fading lambat adalah perubahan konfigurasi alam antara base station dan mobile station yang akan menyebabkan fluktuasi path loss akibat efek bayangan dari penghalang alam (shadowing). Ketika bergerak mengitari base station akan terlihat kuat sinyal naik turun tergantung ada tidaknya penghalang. Fading lambat sinyal radio mobile bervariasi pada setiap titik pada jarak R dari base station mengikuti distribusi normal. Fungsi rapat peluang dari distribusi normal adalah:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (8.19)$$

dimana:

x = fading lambat (local mean)

\bar{x} = rata-rata dari semua fading lambat

σ = standar deviasi dari x (dB) merupakan variasi level sinyal x disekitar \bar{x} .

Besarnya σ tergantung dari lingkungan radio mobile dan frekuensi yang digunakan. Probabilitas dari nilai $p(x)$ dibawah harga tertentu, telah ditabelkan pada lampiran.

$$\text{fungsi kesalahan} = \text{erf}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x}^z e^{-\left(\frac{z^2}{2}\right)} dz \quad (8.20)$$

dimana:

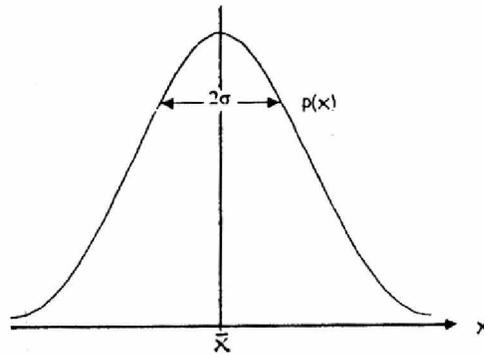
$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \text{ dan } \text{erfc}(z) = 1 - \text{erf}(z) \quad (8.21)$$

Apabila $z = 0$ atau $x = \bar{x}$ maka dilihat dari tabel $\text{erfc}(0) = 0,5$ atau 50% sehingga $\text{erf} = 1 - 0,5 = 0,5$ atau 50% yang menunjukkan keandalan dari sistem terhadap fading lambat. Dengan $x = \bar{x} = 0$ artinya tidak ada cadangan fanding yang diberikan. Jadi $\text{erfc} 50\%$ menunjukkan keandalan sistem tanpa cadangan.

Pada perencanaan umumnya diinginkan keandalan sistem diatas 90% artinya level sinyal penerima harus dinaikkan. Apabila keandalannya 90% maka dari tabel pada lampiran A diperoleh:

$\text{erfc}(z) = 0,9$

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} = -1,28$$



Gambar 8.9

Fungsi rapat peluang distribusi normal

Untuk nilai σ yang sesuai tergantung tipe daerah diperoleh:

$$z = 1,28 \times 6,5 = 8,32 \text{ dB pada daerah urban}$$

$$z = 1,28 \times 8,1 = 10,37 \text{ dB pada daerah sub-urban}$$

8.2.1.2 Fading Cepat

Fading cepat disebut juga fading lintas jamak, terjadi karena adanya lintasan ganda yang disebut sebagai multipath. Hal ini terjadi karena adanya pantulan gelombang dari benda-benda seperti rumah, gedung, mobil, pohon dan benda-benda lain di sekitar mobile station. Multipath ini dapat menyebabkan daya jelajah sinyal menjadi lebih besar, tetapi dapat pula menyebabkan delay spread yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan bit pada komunikasi digital.

Karena perbedaan lintasan yang ditempuh, maka akan menyebabkan perbedaan amplitudo dan fasa dari sinyal yang tiba pada mobile station. Sinyal-sinyal itu dapat saling meniadakan apabila fasanya berbeda 180^0 dan saling menguatkan apabila fasanya sama.

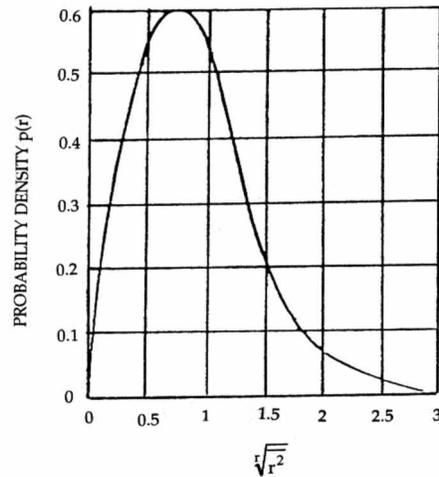
Fading cepat ini terdistribusi mengikuti distribusi Rayleigh, sehingga fading ini disebut Rayleigh fading, yang mempunyai persamaan fungsi rapat peluang.

$$P(r) = \begin{cases} \frac{\Pi r}{2m^2} e^{-\left(\frac{\pi r^2}{4m^2}\right)} & r \geq 0 \\ 0 & r < 0 \end{cases} \quad (8.22)$$

dimana:

r = fading cepat sinyal penerima

m = local mean dari r



Gambar 8.10

Fungsi rapat peluang distribusi Rayleigh

Cadangan fading untuk fading cepat biasanya diperoleh dari teknik diversitas pada antena penerima.

8.2.2 Prediksi Level Sinyal Penerima pada Propagasi Sinyal Sistem Selular

Prediksi redaman propagasi hanyalah dilihat propagasi gelombang dari base station ke mobile station. Beberapa metoda telah dikemukakan untuk maksud tersebut dan ternyata diperoleh hasil yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan setiap metoda memiliki keandalan prediksi yang baik hanya pada suatu wilayah tertentu. Setiap kota yang dijadikan tempat penelitian memiliki karakteristik yang berbeda walaupun sama-sama disebut daerah urban.

Secara garis besar metoda prediksi level sinyal dikelompokkan menjadi dua metoda, yaitu metoda yang memakai program komputer (model Longley, Durkin, JRC dan Allsebrook-Parsons) maupun yang secara manual (model Okumura, Egly, Murphy, Bullington, EPM-73 dan Lee).

8.2.2.1 Perencanaan Link Radio

Perencanaan link radio meliputi proses perhitungan daya dimulai dari dipancarkan sampai di terima guna menjamin bahwa daya yang dipancarkan masih

berada di atas level minimum penerimaan pada jarak tertentu.

Dalam komunikasi selular, kedua terminal base station dan mobile station bertindak sebagai pemancar sekaligus penerima. Dalam perencanaan berkas radio selalu diinginkan terjadi kesetimbangan daya (power balance) untuk mengurangi interferensi. Dalam sistem daya setimbang berlaku level sinyal yang diterima di mobile station sama dengan level sinyal yang diterima di base station.

Level sinyal yang diterima di base station:

$$P_{br} = P_{mt} - L_{bf} + g_b - L_p + g_d + g_m - L_{mf} \quad (8.23)$$

Level sinyal yang diterima di mobile station:

$$P_{mr} = P_{bt} - L_{bf} + g_b - L_p + g_m - L_{mf} \quad (8.24)$$

dimana:

- P_{bt} = Daya yang dipancarkan oleh base station (dikeluarkan dari combiner)
- P_{mt} = Daya yang dipancarkan oleh mobile station
- L_{bf} / L_{mf} = Fceder Loss
- g_b = Gain antena base station
- g_m = Gain antena mobile station
- g_d = Gain diversitas pada antena di base station
- L_p = Redaman propagasi pada komunikasi bergerak

Dari hal diatas diperoleh:

$$P_{bt} = P_{mt} + g_d \quad (8.25)$$

Bila terdapat perbedaan sensitivitas pada penerima di mobile station dan di base station (perbedaannya = S_d dB), maka persamaannya menjadi:

$$P_{br} = P_{mt} + g_d + S_d \quad (8.26)$$

Jadi daya pancar base station harus lebih besar dari pada mobile station tergantung perbedaan sensitivitas (dB) dan besarnya gain diversitas pada antena base station.

8.3 Komunikasi Radio Digital

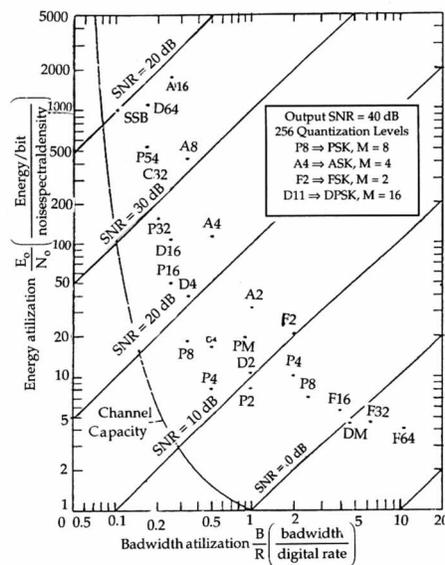
8.3.1 Modulasi Digital

Pada komunikasi radio digital sinyal baseband memodulasi sinyal pembawa

dengan tiga teknik dasar:

8.3.1.1 Amplitude Shift Keying (ASK)

Amplitudo sinyal pembawa dimodulasi oleh data-data biner dari sinyal baseband digital dimana sinyal pembawa akan on dan off setiap perioda sinyal baseband merepresentasikan data termuat (logik “0” atau “1”). Modulasi ini memerlukan daya relatif besar dan sangat rentan terhadap redaman. Gambar 8.11 menunjukkan trade off pemanfaatan energi dan lebar pita frekuensi pada beberapa sistem modulasi digital.



Gambar 8.11

Trade off pemanfaatan energi dan lebar pita frekuensi sistem beberapa pada modulasi digital

8.3.1.2 Frequency Shift Keying (FSK)

Frekuensi sinyal pembawa dimodulasi oleh data-data biner dari sinyal baseband digital beberapa frekuensi pembawa dikirim bergantian merepresentasikan data termuat baseband pada tiap simbolnya. Modulasi ini memerlukan pita frekuensi yang lebar.

8.3.1.3 Phase Shift Keying (PSK)

Fasa dari sinyal pembawa bervariasi menurut data-data biner sinyal baseband.

Modulasi ini sering digunakan pada komunikasi digital karena pita frekuensi relatif sempit dari FSK dan daya yang diperlukan lebih kecil dari ASK. Selain itu PSK paling tidak sensitif terhadap fading dan redaman hujan serta lebih toleran terhadap interferensi.

Masing-masing modulasi mempunyai beberapa derivatif dengan m level, dimana m adalah dua pangkat jumlah bit data tiap simbol. Pemilihan teknik modulasi untuk aplikasi tertentu tergantung dari beberapa persyaratan bit error rate, efisiensi lebar pita frekuensi, efisiensi daya dan kompleksitas aplikasi berdasarkan sinkronisasinya. Perbandingan dari beberapa teknik modulasi ditunjukkan oleh tabel dibawah ini.

Tabel 8.1 Perbandingan dari beberapa modulasi digital

System Informasi Designation	Information Density (bps/Hz)	Signal-to-Noise Ratios for BER = 10^{-4} (dB)		Peak to Average Ratio (dB) ^o
		E_o/N_o on the Channel	SNR at Decision CKT	
2.PSK	1	10.6	13.6	0.0
4.PSK. 4.QAM	2	10.6	16.6	0.0
QPR	2*	12.6	17.6	2.0
8.PSK	3	14.0	18.8	0.0
16.QAM	4	14.5	20.5	2.55
16.QPR	4*	16.5	24.5	4.55
16.PSK	4	18.3	24.3	0.0
32.QAM	5	17.4	24.4	2.3
64.QAM	6	18.8	26.6	3.08

8.3.2 Kinerja Modulasi Digital

8.3.2.1 Ketersediaan Circuit

Failure rate (λ) mengacu pada laju rata-rata dimana kegagalan dapat

diperkirakan selama masa pakai suatu peralatan.

Reliability, $R(t)$ mengacu pada peluang bahwa peralatan akan menunjukkan kinerja tanpa kegagalan untuk selang waktu t :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (8.26)$$

Mean time between failure (MTBF) mengacu pada perbandingan dari waktu operasi dibagi jumlah kegagalan pada periode yang sama:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (8.27)$$

Mean time to service restoral adalah waktu rata-rata untuk mengembalikan layanan termasuk waktu reparasi dan administrasi.

Availability (A) adalah peluang bahwa peralatan akan beroperasi pada setiap waktu sembarang atau bagian dari waktu dimana peralatan akan beroperasi sesuai fungsi yang diharapkan dalam selang waktu tertentu:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTSR} \quad (8.28)$$

Outage (O) adalah kondisi dimana pemakai kehilangan layanan berkaitan dengan kegagalan dalam sistem komunikasi.

8.3.2.2 Kinerja Kesalahan

Peluang kesalahan pada masing-masing teknik modulasi ditentukan oleh perbandingan daya sinyal terhadap derau (S/N). Pada sistem digital, S/N biasanya dinyatakan dalam perbandingan energi tiap bit terhadap derau (E_b/N_0). Untuk menghubungkan S/N dengan E/N , didefinisikan daya rata-rata S sinyal $s(t)$ selama selang waktu T, yaitu:

$$S = \frac{1}{T} \int s^2(t) dt \quad (8.29)$$

Persamaan diatas dapat ditulis kembali sebagai:

$$S = \frac{1}{T} \int s^2(t) dt = \frac{E_s}{T} \quad (8.30)$$

dimana:

E_s = energi tiap simbol

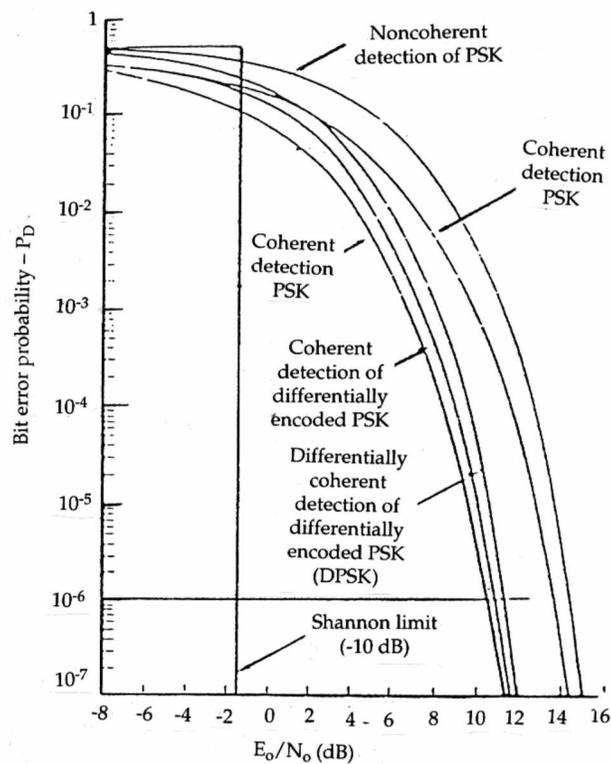
Untuk bit rate R, energi rata-rata tiap bit adalah:

$$E_b = \frac{S}{R} = \frac{E_s}{T.R} = \frac{E_s}{\log_2 M} \tag{8.31}$$

dimana:

M = jumlah level pada sistem modulasi

Hubungan BER dengan E_b / N_0 untuk berbagai sistem komunikasi ditunjukkan oleh gambar 8.12.



Gambar 8.12

BER untuk berbagai sistem modulasi digital

Sumber derau dianggap terdistribusi secara Gaussian dan mempunyai spektrum yang rata. Daya derau N merupakan perkalian dari lebar pita frekuensi B dan daya rapat derau N_0 sehingga $N = N_0 B$. Maka harga S/N dapat ditulis menjadi:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_s / T}{N_0 \cdot B} = \frac{E_b \cdot R}{N_0 \cdot B} \quad (8.32)$$

Dengan menggunakan lebar pita Nyquist minimum $B = 1 / 2T$, persamaan (8.31) dan (8.32) dapat ditulis sebagai:

$$\frac{C}{N} = 2 \frac{E_0}{N_0} \log_2 M \quad (8.33)$$

Dalam sistem praktis, pita derau penerima lebih besar dari pita minimum Nyquist, sehingga C / N lebih sering dituliskan sebagai:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} \frac{R}{B_N} \quad (8.34)$$

dengan:

B_N = lebar pita derau penerima

Kualitas pelayanan sistem transmisi digital diukur melalui bit error rate (BER), yaitu jumlah bit yang salah terhadap seluruh bit yang ditransmisikan dalam selang waktu yang sama. CCIR memberikan pedoman untuk BER dalam CCIR Rep. 378-3. Dalam pedoman ini, laju kesalahan dibagi dua kategori yaitu:

1. Laju kesalahan rendah bernilai 80 % dari waktu.
2. Laju kesalahan tinggi bernilai melebihi selang waktu 0,1 % dan 0,01 %.

8.3.2.3 Level Sinyal Terima Minimum

Hubungan antara level sinyal terima minimum (RSL_m) yang diperlukan untuk mendapatkan laju kesalahan bit (BER) tertentu adalah:

$$RSL_m = 10 \log(k \cdot T_0 \cdot R \cdot NF) + E_b / N_0$$

$$RSL_m = \frac{E_b}{N_0} - 204 + 10 \log(R) + NF_{dB} \quad (8.35)$$

dimana:

k = konstanta Boltzmann = $1,3805 \times 10^{-23}$ J/K

T = Temperatur absolut (Kelvin)

R = Laju bit per detik (bps)

NF_{dB} = Noise Figure (dB)

E_b/N₀ = Perbandingan energi per bit terhadap rapat spectral derau (dB)

Latihan

1. Sebutkan rumusan-rumusan yang digunakan untuk menghitung perkiraan rugi lintasan propagasi yang dilalui oleh sinyal ketika berjalan dari *base station* ke *mobile station*.
2. Jelaskan perbandingan FDMA, TDMA dan CDMA dalam domain frekuensi dan waktu.
3. Bagaimana cara mengatasi masalah yang dihadapi dunia komunikasi selular saat ini yaitu meningkatkan kapasitas tanpa harus mengurangi kualitas pelayanan secara berlebihan.
4. Jelaskan menurut anda standarisasi untuk sistem komunikasi bergerak generasi ketiga (3G), yang saat ini sedang dipersiapkan oleh beberapa badan standarisasi regional.