EFISIENSI PENGGUNAAN MENARA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS) UNTUK BEBERAPA OPERATOR TELEKOMUNIKASI

SKRIPSI

KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Oleh:
Mohamad Hanif Bachtiar
NIM. 0410630056-63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2009

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

EFISIENSI PENGGUNAAN MENARA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS) UNTUK BEBERAPA OPERATOR TELEKOMUNIKASI

SKRIPSI

KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:
M. HANIF BACHTIAR
NIM. 0410630056-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :
Dosen Pembimbing,

Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc.	**Ir. Endah Budi Purnomowati., MT.**
NIP. 19600518 198802 1 001	**NIP. 19621116 198903 2 002**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

EFISIENSI PENGGUNAAN MENARA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS) UNTUK BEBERAPA OPERATOR TELEKOMUNIKASI

Disusun Oleh:

M. HANIF BACHTIAR

NIM. 0410630056-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal **14 AGUSTUS 2009**

Majelis Penguji :

Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT.
NIP. 19720630 200003 1 002

M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.
NIP. 19710609 200002 1 001

Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT
NIP. 19530714 198203 1 003

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc.
NIP. 19710615 199802 1 003

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah membesarkan hati untuk tidak menyerah dan berputus asa. Tanpa campur tanganNya, rasanya mustahil penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Efisiensi Penggunaan Menara *Base Transceiver Station* (BTS) untuk Beberapa Operator Telekomunikasi" yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Ibunda tercinta atas dukungan, kepercayaan, doa, dan kasih sayang yang tak pernah putus, serta almarhum ayah atas inspirasi yang diwariskan untuk pantang berputus asa.
2. Mas Rizal, kakak sekaligus sahabat terdekat, atas teladan, kepercayaan, doa, dan dukungan yang membangunkan singa tidur di dalam diri bernama motivasi.
3. Bapak Rudy Yuwono., ST. MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
5. Ibu Ir. Endah Budi P., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi sekaligus dosen pembimbing skripsi.
6. Bapak Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc. selaku dosen pembimbing skripsi.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
8. Bapak dan Ibu Sudarno, atas dukungan dan doa yang sangat berarti.
9. Eri, Handoko, dan Feri, tiga potong puzzle yang menggenapkan "Punokawan" menjadi satu komposisi melodis-ritmis yang tiada duanya.
10. Wildan, Dimas, dan Adit, sahabat-sahabat yang menjaga sekaligus memacu motivasi untuk tetap berjalan di trek.
11. Aji, Roghib, Icha, Gamma, Robie, Daniel, Agus, Dion, Djarot dan seluruh personel Generator'04 atas dukungan dan solidaritas yang luar biasa.
12. Rekan-rekan RisTIE-HME periode 2005 hingga 2007, untuk solidaritas dan ilmu pengetahuan yang dibagi.
13. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro atas kebersamaan dan pengetahuannya.

14. John Mayer untuk ”*Stop This Train*” yang dengan setia menemani masa kontemplasi, serta D’Masiv untuk ”Jangan Menyerah” yang membangun kembali puing-puing kepercayaan diri di tengah periode frustasi.
15. Devy Andarwani sang juara hati, untuk dukungan tak ternilai dalam mewujudkan bangunan di hati dan kepalaku, yang mendenyutkan nyawa ke dalam cetak biru. Satu demi satu batu mimpi itu tersusun rapi olehmu, berlandaskan fondasi mantap, terekatkan semen kuat-kuat. Berkali-kali bangunan itu roboh sebelum jadi, tapi sejumlah itu pula kau dirikan lagi. Lengkapilah, genapilah, hingga suatu saat nanti terlahir utuh ke dunia materi.
16. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan sehingga saran dan kritik membangun sangat penulis harapkan untuk mengisi kekurangan tersebut. Akhirnya, semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, khususnya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Malang, 30 Juli 2009

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
HALAMAN PENGESAHAN
PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **iii**
DAFTAR GAMBAR ..... **vii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
ABSTRAKSI ..... **xii**

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Ruang Lingkup 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Sistematika Penulisan 3
1.6 Kontribusi 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Umum 5
2.1.1 Sistem Konvensional (*Large Zone*) 5
2.1.2 Sistem Selular (*Multi Zone*) 6
2.2 Metode Analisis Garis Tren Linier 7
2.3 Sifat Geometri Sel 8
2.4 Konsep Pengulangan Frekuensi (*FrequencyReuse*) 9
2.5 Pembelahan Sel (*Cell Splitting*) 13
2.6 Mekanisme *Handover* 15
2.7 Sistem Komunikasi Bergerak Seluler GSM 18
2.7.1 Komponen-komponen GSM 20
2.7.1.1 MS (*Mobile Station*) 21
2.7.1.2 BTS (*Base Transceiver Station*) 22
2.7.1.2.1 Antena BTS 24
2.7.1.2.2 Menara BTS 28

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.7.1.3 BSC (*Base Station Controller*) 31
2.7.1.4 TRAU (*Transcoding Rate and Adaption Unit*) 32
2.7.1.5 MSC (*Mobile Services Switching Center*) 32
2.7.1.6 HLR (*Home Location Register*) 33
2.7.1.7 AuC (*Authentication Center*) 33
2.7.1.8 VLR (*Visitor Location Register*) 34
2.7.2 Konsep Kanal pada GSM 35
2.7.2.1 Kanal Fisik (*Physical Channel*) 35
2.7.2.2 Kanal Logika (*Logical Channel*) 35
2.7.2.2.1 Kanal Kontrol (*Control Channel*, CCH) 35
2.7.2.2.2 Kanal Trafik (*Traffic Channel*, TCH) 37
2.7.3 Alokasi Frekuensi GSM 37
2.8 Teori Dasar Trafik 38
2.8.1 Besaran Trafik 38
2.8.2 Macam-macam Trafik 41
2.8.3 Distribusi Probabilitas 41
2.8.3.1 Distribusi Poisson 41
2.8.3.2 Distribusi Erlang 42
2.8.4 GOS (*Grade of Service*) 44
2.8.5 Waktu Rata-rata Pelanggan dalam Antrian 45
2.9 Parameter Performansi Sistem 46
2.9.1 *Fading* 46
2.9.1.1 *Fading* panjang 50
2.9.1.2 *Fading* pendek 54
2.9.2 Interferensi Frekuensi 56
2.9.2.1 Interferensi Kanal Sama (*Co-channel Interference*) 57
4.5.1.2.1 Antena Tiga Sektor (120°) 61
4.5.1.2.2 Antena Enam Sektor (60°) 62
2.9.2.2 Interferensi Kanal Bersebelahan (Adjacent *Channel Interference*) 63
2.9.3 Level Penerimaan Sinyal 65
2.9.4 *Path Loss* 67
2.9.4.1 *Free Space Path Loss* 69
2.9.4.2 *Flat Earth Path Loss* 70

2.9.5 Jari-jari Sel 71
2.9.5.1 Sel Besar 71
2.9.5.2 Sel Kecil 72
2.9.5.3 *Microcell* 73
2.9.6 *Coverage Area* (Cakupan Wilayah Sel) 73
2.10 Parameter Performansi Jaringan GSM (Parameter *Network*) 74
2.10.1 SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*)*Blocking*... 75
2.10.2 TCH (*Traffic Channel*)*Blocking* 78
2.10.3 *Successful Call* 80

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum 86
3.2 Tahap Awal 86
3.3 Tahap Studi Literatur 86
3.4 Tahap Studi Lapangan 87
3.5 Tahap Analisis Data 88
3.6 Tahap Pengambilan Kesimpulan 90

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS EFISIENSI PENGGUNAAN MENARA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS) UNTUK BEBERAPA OPERATOR TELEKOMUNIKASI

4.1 Umum 91
4.2 Karakteristik Geografis dan Kependudukan Wilayah Pengamatan 92
4.2.1 Jumlah Penduduk di Wilayah Pengamatan 95
4.2.2 Kepadatan Penduduk di Wilayah Pengamatan 97
4.2.3 Peramalan Jumlah Pengguna Telepon Seluler di Wilayah Pengamatan 98
4.2.4 Peramalan Trafik Telekomunikasi Seluler di Wilayah Pengamatan 100
4.3 Data menara BTS *Existing* di Wilayah Pengamatan 102
4.4 Peramalan menara BTS Bersama di Wilayah Pengamatan 103

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.5 Perhitungan Parameter-Parameter Performansi 104
4.5.1 Perhitungan Interferensi Frekuensi 104
4.5.1.1 Perhitungan Nilai Konstanta redaman Akibat Rugi-rugi Propagasi (γ) 105
4.5.1.2 Perhitungan Nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I)..108
4.5.1.2.1 Perhitungan Nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I) pada Sistem *One Tower, One Operator* 108
4.5.1.2.2 Perhitungan Nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I) pada Sistem Menara Bersama 109
4.5.2 Perhitungan Kapasitas Kanal 111
4.5.2.1 Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem *One Tower, One Operator* 111
4.5.2.2 Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem Menara Bersama 112
4.5.3 Perhitungan Waktu Rata-rata Pelanggan Dalam Antrian 114
4.5.3.1 Perhitungan Waktu Rata-rata Pelanggan Dalam Antrian pada Sistem *One Tower, One Operator* 114
4.5.3.2 Perhitungan Waktu Rata-rata Pelanggan Dalam Antrian pada Sistem Menara Bersama 115
4.5.4 Perhitungan GOS (*Grade of Service*) 116
4.5.4.1 Perhitungan GOS (*Grade of Service*) pada Sistem *One Tower, One Operator* 116
4.5.4.2 Perhitungan GOS (*Grade of Service*)pada Sistem Menara Bersama 117
4.6 Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi pada Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan 118
4.6.1 Performansi Sistem Sebelum Dilakukan Pengaturan 119
4.6.2 Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi 124
4.6.3 Performansi Sistem Setelah Dilakukan Pengaturan.....129
4.7 Efisiensi Penggunaan Menara pada Sistem Menara Bersama 132

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 133

5.2 Saran 134

DAFTAR PUSTAKA..... xiii

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Bentuk sel pada suatu wilayah cakupan	9
Gambar 2.2.	Jenis-jenis sel berdasarkan antena BTS yang digunakan dan tempat peletakannya	9
Gambar 2.3.	Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 3 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=3)	10
Gambar 2.4.	Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 4 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=4)	10
Gambar 2.5.	Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 7 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=7)	10
Gambar 2.6.	Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 9 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=9)	10
Gambar 2.7.	Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 12 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=12)	11
Gambar 2.8.	Kaidah penentuan *co-channel cell*	11
Gambar 2.9.	Cara menentukan sel-sel *co-channel* pada *K*=7	12
Gambar 2.10.	Jarak antara dua sel dengan frekuensi yang berulang	12
Gambar 2.11.	Pembelahan sel (*cell splitting*)	13
Gambar 2.12.	Kondisi sel-sel sebelum (a) dan sesudah (b) dilakukan proses pembelahan sel (*cell splitting*)	14
Gambar 2.13.	Mekanisme *handover*	16
Gambar 2.14.	Proses dan wilayah terjadinya *handover*	17
Gambar 2.15.	Arsitektur PLMN	21
Gambar 2.16.	Diagram blok MS	22
Gambar 2.17.	Diagram blok BTS dengan 1 TRX	23
Gambar 2.18.	Antena BTS yang terpasang pada menara	24
Gambar 2.19.	Komponen-komponen antena BTS pada suatu sel	25
Gambar 2.20.	Pola radiasi antena *omnidirectional* dengan *gain* 6 dB	26
Gambar 2.21.	Pola radiasi horizontal antena *directional* 120˚ dengan *gain* 8 dB	27

Gambar 2.22.	Pola radiasi vertikal antena *directional* 120˚ dengan *gain* 8 dB	27
Gambar 2.23.	Diagram blok NSS (*Network Switching Subsystem*)	33
Gambar 2.24.	Proses autentikasi	34
Gambar 2.25.	Hubungan antara ketiga macam trafik, dengan G adalah elemen gandeng (*switching network*)	41
Gambar 2.26.	Metode propagasi sinyal (a)direct Line-of-Sight (b) reflection (c)diffraction (d) scattering	47
Gambar 2.27.	Grafik amplitudo sinyal terhadap waktu pada *multipath propagation* (a)sinyal saat dikirim (b)sinyal saat diterima	48
Gambar 2.28.	Ilustrasi *Doppler Shift*.	49
Gambar 2.29.	Daya rata-rata lokal sepanjang interval 2L	51
Gambar 2.30.	Kurva distribusi normal	52
Gambar 2.31.	Kurva distribusi *Rayleigh*	55
Gambar 2.32.	Interferensi pada sistem komunikasi bergerak	57
Gambar 2.33.	Interferensi *co-channel*	58
Gambar 2.34.	Sel-sel yang saling berinterferensi dengan *K*=7 (dua tingkat)	60
Gambar 2.35.	Penentuan rasio *C/I* pada sistem antena *directional*	61
Gambar 2.36.	*Adjacent channel interference*	63
Gambar 2.37.	Ilustrasi *Near end-Far end Interference* pada Sistem *One Tower, One Operator*	64
Gambar 2.38.	Ilustrasi *path loss*.	68
Gambar 2.39.	*Flat earth propagation*	70
Gambar 2.40.	SDCCH *blocking*	75
Gambar 2.41.	Diagram blok proses *call set-up*	76
Gambar 2.42.	TCH *blocking*	78
Gambar 2.43.	*Successful call*	81
Gambar 3.1.	Diagram alir proses analisis data	88
Gambar 4.1.	Tiga Menara BTS *Existing* di Wilayah Desa Mulyoagung Tahun 2007	94
Gambar 4.2.	Nilai P (*Propagation Path Loss*) pada Area Sub	106

	Urban	
Gambar 4.3.	Ilustrasi Near end-Far end Interference pada Sistem One Tower, One Operator	108
Gambar 4.4.	Ilustrasi *Near end-Far end Interference* pada Sistem Menara Bersama	110
Gambar 4.5.	Penggunaan Kanal Frekuensi yang Tidak Teratur antara Satu Operator dengan Lainnya	120
Gambar 4.6.	Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi dengan K=7	127
Gambar 4.7.	Penomoran Kanal pada Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung dan Desa-desa Sekitarnya	128

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Spesifikasi dan Karakteristik GSM	19
Tabel 2.2.	Standar Pengkanalan Frekuensi di Indonesia	20
Tabel 2.3.	Perbandingan radiasi yang dihasilkan oleh antena BTS dengan batas radiasi yang ditoleransi oleh aturan dari WHO	30
Tabel 2.4.	Alokasi Frekuensi GSM untuk 3 Operator Besar di Indonesia	38
Tabel 2.5.	Tabel Erlang	43
Tabel 4.1.	Data Jumlah Penduduk Desa Mulyoagung Tahun 2004-2008	95
Tabel 4.2.	Data Jumlah Penduduk untuk Menentukan Koefisien Trend Linier	96
Tabel 4.3.	Hasil Peramalan Jumlah Penduduk Desa Mulyoagung Tahun 2009-2013	97
Tabel 4.4.	Hasil Peramalan Kepadatan Penduduk Desa Mulyoagung Tahun 2009-2013	98
Tabel 4.5.	Persentase Jumlah Pengguna Telepon Seluler di Indonesia	99
Tabel 4.6.	Hasil Peramalan Jumlah Pengguna Telepon Seluler di Desa Mulyoagung tahun 2009-2013	100
Tabel 4.7.	Hasil Peramalan Trafik Total Telekomunikasi Seluler di Desa Mulyoagung tahun 2009-2013	101
Tabel 4.8.	Hasil Peramalan Trafik Efektif Telekomunikasi Seluler di Desa Mulyoagung tahun 2009-2013	102
Tabel 4.9.	Data menara BTS *Existing* di Wilayah Desa Mulyoagung	102
Tabel 4.10.	Peramalan menara BTS bersama di Desa Mulyoagung	103
Tabel 4.11.	Nilai Penerimaan Sinyal pada Percobaan di Daerah Suburban	106

Tabel 4.12.	Hasil Perhitungan Nilai γ Berdasarkan Percobaan di Daerah Suburban	107
Tabel 4.13.	Hasil Perhitungan Nilai C/I pada Kondisi Terburuk Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama	110
Tabel 4.14.	Alokasi Frekuensi GSM di Indonesia	111
Tabel 4.15.	Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem *One Tower, One Operator* di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung	112
Tabel 4.16.	Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung	113
Tabel 4.17.	Kapasitas Kanal pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama	113
Tabel 4.18.	Waktu Rata-Rata Pelanggan dalam Antrian pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama	116
Tabel 4.19.	Persentase *grade of Service* (GOS) pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama	118
Tabel 4.20.	Nilai Parameter-parameter Performansi pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara Bersama	118
Tabel 4.21.	Pengaturan Penomoran Kanal Frekuensi pada Sel A dengan Sistem Menara Bersama	128
Tabel 4.22.	Pengaturan Penomoran Kanal Frekuensi pada Sel-sel dengan Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung dan Desa Sekitarnya	129
Tabel 4.23.	Nilai Persentase Probabilitas *Blocking* pada Permintaan *Handover* Sebelum dan Setelah Dilakukan Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi di Wilayah Pengamatan	132

repository.ub.ac.id

ABSTRAKSI

M. HANIF BACHTIAR, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2009, *Efisiensi Penggunaan Menara Base Transceiver Station (BTS) untuk Beberapa Operator Telekomunikasi*, Dosen Pembimbing : Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc. dan Ir. Endah Budi Purnomowati, MT.

Penetrasi bisnis yang dilakukan secara agresif oleh operator telekomunikasi seluler di Indonesia memicu semakin banyaknya pembangunan infrastruktur prasarana pendukung seperti menara *Base Transceiver Station* (BTS) oleh operator-operator tersebut. Masalahnya, menara-menara tersebut didirikan, dimiliki, dan digunakan sendiri oleh masing-masing operator. Hal ini menyebabkan utilitas pendirian menara menjadi tidak maksimal. Untuk menyelesaikan masalah-masalah disektivitas dan disefisiensi pembangunan menara, diperlukan pembahasan teknis tentang efisiensi penggunaan menara BTS ini secara bersama oleh beberapa operator telekomunikasi.

Analisis dilakukan terhadap performansi dari BTS-BTS yang menggunakan sistem *one tower, one operator* di suatu wilayah pengamatan jika dibandingkan dengan ketika menggunakan sistem menara bersama, dengan beberapa parameter yaitu rasio sinyal carrier dan sinyal penginterferensi (nilai C/I), kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase *Grade of Service* (GOS).

Pembahasan dilakukan dengan membandingkan niliai dari parameter-parameter performansi pada kedua sistem. Jika performansi pada sistem menara bersama tidak lebih buruk dengan sistem one tower, one operator maka sistem penggunaan menara bersama layak diterapkan. Selanjutnya dilakukan pengaturan penggunaan kanal frekuensi sedemikian rupa sehingga tidak terjadi interferensi antar BTS-BTS yang beroperasi.

Berdasarkan analisis yang dilakukan, nilai parameter-parameter performansi yakni nilai C/I, kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase GOS pada sistem *one tower, one operator* dan sistem menara bersama relatif sama. Sehingga sistem menara bersama layak diterapkan karena dari segi efisiensi pembangunan menara, sistem ini lebih efisien hingga 1/3 dibandingkan sistem *one tower, one operator*.

Kata Kunci : BTS, menara bersama, one tower-one operator.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Penetrasi bisnis yang dilakukan secara agresif oleh operator-operator telekomunikasi seluler di Indonesia memicu terjadinya perang tarif dan pengembangan jaringan besar-besaran, yang menimbulkan efek domino berupa semakin banyaknya pembangunan infrastruktur prasarana pendukung seperti menara *Base Transceiver* Station (BTS) oleh operator-operator tersebut. Indikasi ini dapat dilihat dari semakin menjamurnya menara BTS di banyak wilayah di Indonesia.

Pembangunan ribuan menara BTS ini bukannya tanpa konsekuensi. Banyak di antara operator-operator telekomunikasi tersebut yang mendirikan, memiliki, dan menggunakan menara mereka sendiri-sendiri. Atas nama perluasan jaringan, jadilah menara-menara dari beberapa operator berdiri di suatu wilayah yang berdekatan. Pemakaian satu menara untuk satu operator, terlebih hanya dipasang satu antena, menyebabkan utilitas pendirian menara menjadi tidak maksimal.

Beberapa tahun terakhir, gagasan dan wacana tentang penggunaan menara BTS bersama untuk semua operator semakin menghangat. Demi alasan efektivitas dan efisiensi penggunaan lahan dan biaya pembangunan, beberapa operator telekomunikasi mendukung ide tersebut. Tapi ada juga pihak-pihak yang tidak sepakat, karena mereka memandang masih banyak masalah yang menyertai realisasi gagasan tersebut, diantaranya tentang kekuatan menara untuk menampung antena-antena dari beberapa operator, kemungkinan terjadinya penurunan kualitas layanan seluler, hingga kemungkinan terjadinya interferensi frekuensi antar operator pada menara-menara yang digunakan bersama tersebut.

Untuk menyelesaikan masalah-masalah disektivitas dan disefisiensi pembangunan menara, diperlukan pembahasan teknis tentang efisiensi penggunaan menara BTS ini secara bersama oleh beberapa operator telekomunikasi.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Mengacu pada masalah yang diuraikan pada latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

a) Bagaimana konfigurasi sistem komunikasi bergerak seluler.
b) Bagaimana kondisi kependudukan dalam hubungannya dengan beban trafik yang harus dilayani oleh BTS-BTS di suatu wilayah pengamatan.
c) Bagaimana performansi dari BTS-BTS yang menggunakan sistem *one tower, one operator* di suatu wilayah pengamatan jika dibandingkan dengan ketika menggunakan sistem menara bersama, ditinjau dari besar kecilnya rasio sinyal *carrier* dan sinyal penginterferensi (nilai C/I), kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase *Grade of Service* (GOS).
d) Bagaimana penerapan sistem menara bersama di wilayah pengamatan, dalam hubungannya dengan pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS pada suatu menara bersama dan pada menara-menara bersama di sekitarnya.

1.3 RUANG LINGKUP

Berdasarkan penekanan pembahasan seperti tersebut di atas, maka ruang lingkup pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan dilakukan hanya pada satu wilayah pengamatan.
2. Teknologi telekomunikasi seluler yang dibahas hanya teknologi *Global System for Mobile Communications* (GSM) saja.
3. Parameter performansi yang digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi penggunaan menara bersama adalah nilai rasio sinyal *carrier* dan sinyal penginterferensi (C/I), kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase *Grade of Service* (GOS).
4. Tidak dilakukan pembahasan mengenai dampak sosial ekonomi yang mengiringi maupun regulasi pemerintah yang mengatur tentang penggunaan menara BTS bersama ini.

1.4 TUJUAN

Tujuan dari pembahasan pada skripsi ini adalah untuk membandingkan performansi sistem *one tower, one operator* dengan sistem menara bersama dan untuk merancang penerapan sistem menara bersama di wilayah pengamatan, dalam hubungannya

dengan pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS pada suatu menara bersama dan pada menara-menara bersama di sekitarnya.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Mengkaji teori-teori yang menunjang dalam penulisan skripsi ini, antara lain konsep pengulangan frekuensi (*frequency reuse*), pembelahan sel (*cell splitting*), mekanisme *handover,*sistem komunikasi bergerak seluler GSM yang meliputi komponen-komponen GSM, konsep kanal pada GSM, juga alokasi frekuensi pada GSM. Selain itu juga teori dasar trafik telekomunikasi, parameter performansi sistem, yang meliputi *fading*, interferensi frekuensi, level penerimaan sinyal, *path loss*, jari-jari sel, dan *coverage area* (cakupan wilayah sel), serta parameter performansi jaringan GSM (parameter *network*) yang meliputi SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*) *blocking*, TCH (*Traffic Channel*) *blocking*, dan *successful call*.

BAB III METODOLOGI

Membahas metode yang dilakukan dalam pembuatan skripsi ini, meliputi penggambaran proses studi literatur, pengambilan data, tahap analisis dan pembahasan data, dan penarikan kesimpulan.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Membahas perbandingan performansi sistem *one tower, one operator* dengan sistem menara bersama serta perumusan bentuk penerapan penggunaan menara BTS bersama. Selengkapnya, poin-poin yang akan dibahas pada bab ini antara lain:

a) Kondisi kependudukan dalam hubungannya dengan beban trafik yang harus dilayani oleh BTS-BTS di suatu wilayah pengamatan.
b) Performansi dari BTS-BTS yang menggunakan sistem *one tower, one operator* di suatu wilayah pengamatan jika dibandingkan dengan ketika menggunakan sistem menara bersama, ditinjau dari besar

kecilnya rasio sinyal *carrier* dan sinyal penginterferensi (nilai C/I), kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase *Grade of Service* (GOS).

c) Pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS pada suatu menara bersama dan pada menara-menara bersama di sekitarnya.

BAB V PENUTUP

Menyimpulkan hasil analisis teknis efisiensi penggunaan menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi berdasarkan hasil dari analisis yang dilakukan. Juga disimpulkan saran teknis pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS pada sistem menara bersama.

1.6 KONTRIBUSI

Kontribusi yang disumbangkan oleh skripsi ini antara lain adalah sebagai acuan teknis dilakukannya penggunaan satu menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi di Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sistem komunikasi bergerak adalah suatu sistem komunikasi yang menghubungkan antara seorang pengguna bergerak dengan pengguna bergerak lainnya, atau antara pengguna bergerak dengan pengguna yang tidak bergerak. Ditinjau dari segi daerah jangkauan, sistem komunikasi bergerak dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sistem konvensional (*large zone*) dan sistem selular (*multi zone*). Dalam bab ini akan dilakukan kajian terhadap teori-teori konsep pengulangan frekuensi (*frequency reuse*), pembelahan sel (*cell splitting*), mekanisme *handover,*sistem komunikasi bergerak seluler GSM yang meliputi komponen-komponen GSM, konsep kanal pada GSM, juga alokasi frekuensi pada GSM. Selain itu juga teori dasar trafik telekomunikasi, parameter performansi sistem, yang meliputi *fading*, interferensi frekuensi, level penerimaan sinyal, *path loss*, jari-jari sel, dan *coverage area* (cakupan wilayah sel), serta parameter performansi jaringan GSM (parameter *network*) yang meliputi SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*) *blocking*, TCH (*Traffic Channel*) *blocking*, dan *successful call*.

2.1.1 Sistem Konvensional (*Large Zone*)

Pada sistem ini, BTS (*Base Transceiver Station*) melayani suatu daerah dengan cakupan yang sangat luas, dengan radius ± 40 km. Sampai dekade 80-an di beberapa kota besar di Indonesia sempat beroperasi sistem komunikasi bergerak non-seluler yang bernama STKB INTI (Sambungan Telepon Kendaraan Bergerak PT. INTI), dengan suatu wilayah layanan yang luas hanya dicakup oleh satu *Radio Base Station* (RBS). Keuntungan dari sistem ini adalah kemudahan dalam melakukan proses *switching, charging*, dan transmisi. Sedangkan beberapa kekurangannya adalah:

1. Kesanggupan pelayanan yang terbatas

   Pada sistem konvensional, daya yang dipancarkan harus besar, antena harus dibuat tinggi, dan area layanan dibatasi oleh kelengkungan bumi. Jika pengguna melakukan pembicaraan dan keluar dari area layanan maka pembicaraan akan

terputus dan harus dilakukan inisialisasi ulang untuk mengatasinya (tidak mengenal mekanisme *handover*).

2. Unjuk kerja pelayanan yang kurang baik

   Pada sistem konvensional, kanal yang digunakan hanya sedikit, sehingga kemungkinan terjadinya *blocking* menjadi sangat besar.

3. Pemakaian *bandwidth* tidak efisien

   Pada sistem konvensional, tidak dikenal konsep pengulangan frekuensi (*frequency reuse*) sehingga jumlah kanal yang dialokasikan akan sangat sedikit. Akibatnya, penggunaan *bandwidth* menjadi tidak efisien.

2.1.2 Sistem Selular (*Multi Zone*)

Pada sistem ini, daerah layanan dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yang berukuran lebih kecil yang disebut sel (*cell*). Setiap sel ini dilayani oleh sebuah BTS. Beberapa BTS saling berintegrasi dan dikendalikan oleh sebuah BSC (*Base Station Controller*).

Prinsip dasar sistem selular adalah sebagai berikut:

1. Pemancar yang digunakan memiliki daya pancar yang lebih rendah dan luas area layanan yang lebih sempit dibandingkan sistem konvensional.
2. Adanya proses pembelahan sel (*cell splitting*) pada sel yang telah jenuh dengan pengguna (terlalu banyak pengguna melakukan panggilan pada sel tersebut).
3. Menggunakan prinsip pengulangan frekuensi (*frequency reuse*).
4. Terdapat mekanisme pengalihtanganan layanan pada pengguna yang melakukan perpindahan sel atau sektor (proses *handover/handoff*).

Jika dibandingkan dengan sistem konvensional, beberapa keuntungan dari sistem selular ini adalah:

1. Kapasitas pengguna lebih besar.
2. Efisien dalam pemakaian *bandwidth* karena menggunakan prinsip pengulangan frekuensi.
3. Kemampuan adaptasi yang baik terhadap kepadatan trafik komunikasi karena sel dapat dibelah.
4. Kualitas pembicaraan baik, karena tidak sering terputus meski pengguna bergerak meninggalkan satu area layanan menuju area layanan yang lain.
5. Kemudahan dan kenyamanan yang didapatkan oleh pengguna.

Dalam komunikasi bergerak, terdapat dua kriteria yang perlu dipenuhi, yaitu kapasitas pengguna yang besar dan penggunaan *bandwidth* yang efisien. Pada kenyataannya, pada sistem konvensional, kedua kriteria ini saling bertentangan satu sama lain. Kapasitas pengguna yang besar membutuhkan *bandwidth* yang lebar, begitu juga jika diinginkan pemakaian *bandwidth* yang hemat, kapasitas pengguna akan menurun. Konsep sistem komunikasi selular mengatasi masalah-masalah tersebut, dengan memanfaatkan penggunaan kembali/pengulangan frekuensi (*frequency reuse*).

2.2 Metode Analisis Data Garis Tren Linier

Metode analisis data garis tren linier digunakan untuk meramalkan kecenderungan pekembangan di masa yang akan datang. Metode ini digunakan jika pertumbuhan penduduk pada waktu yang akan datang diperkirakan akan sama dengan tingkat pertumbuhan pada waktu sebelumnya. Jika sekumpulan data memiliki rata-rata a dari data awal sampai data terakhir menunjukkan perkembangan dengan membentuk garis linear sebesar b, dan dengan asumsi bahwa dalam kurun waktu x ke depan akan terbentuk pola perkembangan yang sama dengan perkembangan data di masa lalu, maka garis kecenderungan (tren) linear untuk meramalkan data di masa lalu ditunjukkan dalam Persamaan (2-1) berikut (Dajan, 1986).

$$y = a + bx \qquad (2\text{-}1)$$

dengan

y	=	Variabel yang diramalkan
x	=	Periode waktu (bulan/tahun)
a dan b	=	Konstanta

Untuk menentukan jumlah penduduk pada periode tertentu (i) dan nilai periode tahun atau bulan ke-i maka digunakan Persamaan (2-2)

$$\sum y_i = a + bx_i \tag{2-2}$$

dengan

y_i = Jumlah penduduk dalam periode x_i

x_i = Periode waktu (bulan/tahun) ke-i

a dan b = Konstanta

Untuk memperoleh nilai konstanta a dan b digunakan persamaan (2-3)

$$\begin{aligned} y_i &= na + b\sum x_i \\ \sum y_i x_i &= a\sum x_i + b\sum (x_i)^2 \end{aligned} \tag{2-3}$$

dengan

n = Jumlah data

y_i = Jumlah penduduk dalam periode x_i

x_i = Periode waktu (bulan/tahun) ke-i

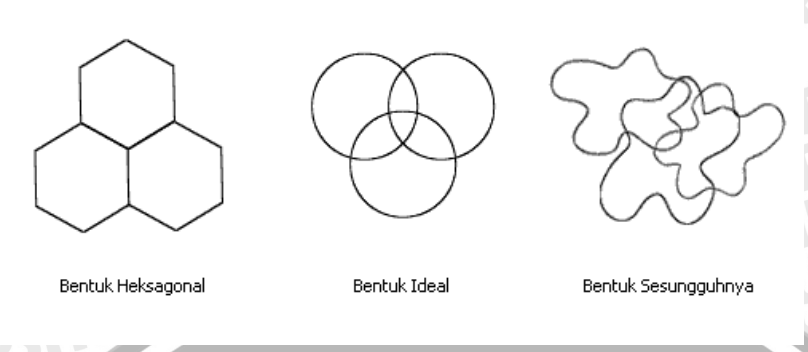
sehingga nilai a dan b dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum y_i - b\sum x_i}{n} \\ b &= \frac{n\sum y_i - b\sum x_i}{n} \end{aligned} \tag{2-4}$$

2.3 Sifat Geometri Sel

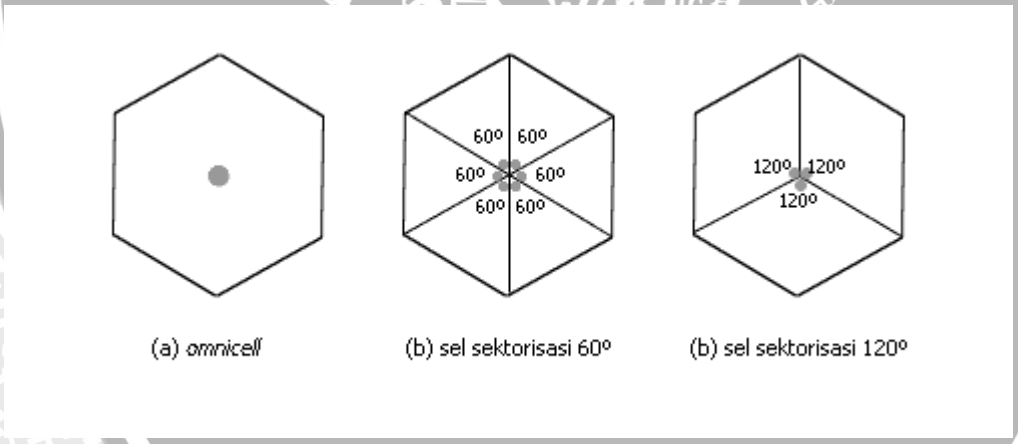
Bentuk ideal dari sebuah sel adalah lingkaran dengan antena BTS terletak di tengahnya dan mencakup area di sekitarnya seluas area radiusnya, namun dalam pelaksanaannya bentuk ini sulit untuk diterapkan. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor geografi daerah cakupan yang tidak teratur, dan juga jenis antena yang digunakan ikut mempengaruhi bentuk cakupan sel, serta ada kalanya daerah cakupan yang diinginkan tidak berbentuk lingkaran, sehingga bentuk cakupan sel sebenarnya didekatkan dengan bentuk sel heksagonal (segi enam beraturan) sebagai sel model. Dengan radius sel yang sama, penggunaan sel heksagonal memerlukan jumlah sel yang lebih sedikit untuk mencakup suatu wilayah layanan dibanding dengan bentuk

sel yang lain. Selain itu, bentuk heksagonal juga memudahkan untuk melakukan sektorisasi antena untuk dapat mencakup daerah yang lebih luas.



Gambar 2.1 Bentuk sel pada suatu wilayah cakupan
Sumber : Lee (1995:27)

Pada setiap sel, terdapat sebuah BTS yang diletakkan di tengah maupun di sudut wilayah. Bila BTS diletakkan di tengah wilayah yang dicakup, maka digunakan antena *omnidirectional* yang dapat melayani area cakupan di sekelilingnya (keseluruhan arah 360º), sedangkan bila diletakkan di sudut wilayah yang dicakup, maka digunakan antena *directional* yang dapat melayani area cakupan sesuai dengan lebar sudut cakupannya (60º atau 120º).



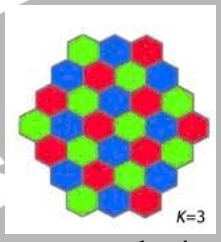
Gambar 2.2 Jenis-jenis sel berdasarkan antena BTS yang digunakan dan tempat peletakannya

2.4 Konsep Pengulangan Frekuensi (*Frequency Reuse*)

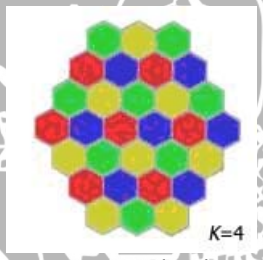
Pengulangan Frekuensi (*Frequency Reuse*) merupakan inti dari konsep sistem komunikasi bergerak selular. Dengan menggunakan konsep *Frequency Reuse* ini, pengguna yang berada pada wilayah lain (sel lain) dapat secara simultan

menggunakan frekuensi yang sama. Kedua sel yang menggunakan frekuensi yang sama ini disebut sel *co-channel*.

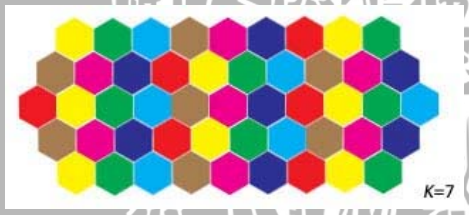
Pelayanan selular dicakup oleh beberapa kelompok sel yang disebut *cluster*. Satu *cluster* terdiri dari beberapa buah sel (*K* buah sel). *K* bisa bernilai 3, 4, 7, 9, 12. Penerapan konsep *frequency reuse* dapat dilihat pada beberapa gambar di bawah ini. Warna yang sama menunjukkan sel-sel *co-channel* (sel-sel yang menggunakan frekuensi yang sama).



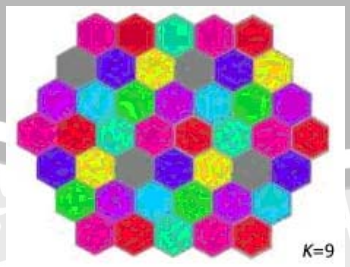
Gambar 2.3 Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 3 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=3)



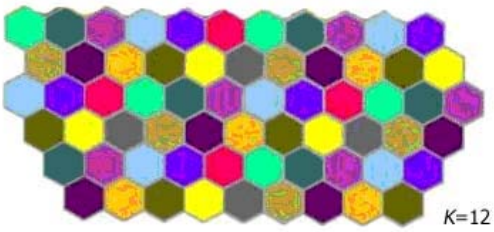
Gambar 2.4 Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 4 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=4)



Gambar 2.5 Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 7 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=7)



Gambar 2.6 Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 9 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=9)



Gambar 2.7 Penerapan *frequency reuse* pada sistem selular dengan 12 buah sel dalam satu *cluster* (*K*=12)

Dalam menentukan sel-sel yang menggunakan frekuensi yang sama (*co-channel*), digunakan kaidah yang diilustrasikan seperti pada Gambar 2.8 berikut.

Gambar 2.8 Kaidah penentuan *co-channel cell*

Pertama harus ditentukan terlebih dahulu sebuah sel yang dijadikan referensi. Untuk mengetahui sel mana yang merupakan *co-channel cell* dari sel referensi tersebut, dihitung beberapa sel sejumlah i yang dilewati searah salah satu sisi segi enam. Kemudian arah pergerakan diubah 60º dari arah semula, dan dihitung beberapa sel sejumlah j untuk mendapatkan sel yang dicari. Untuk mendapatkan nilai i dan j, digunakan Persamaan (2-5).

$$K = i^2 + j^2 + ij \qquad (2\text{-}5)$$

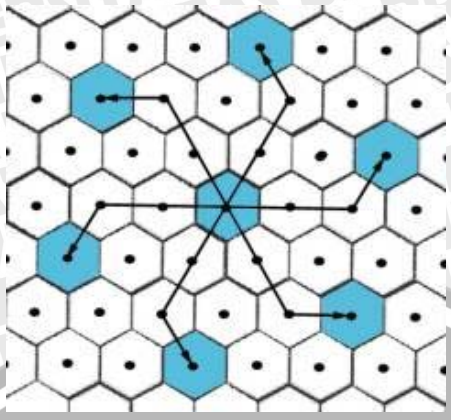
dengan

K = jumlah sel dalam satu *cluster*

i = jumlah sel yang dilewati pada arah pergerakan awal

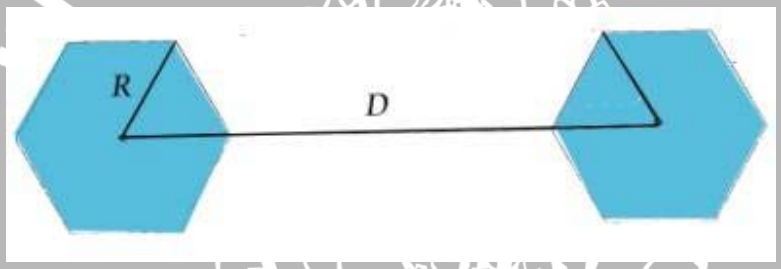
j = jumlah sel yang dilewati pada arah pergerakan semula diputar 60˚

Sebagai contoh, untuk K=7, maka nilai i dan j masing-masing adalah 2 dan 1.



Gambar 2.9 Cara menentukan sel-sel *co-channel* pada K=7

Untuk sel heksagonal, jarak pengulangan frekuensi (jarak antara dua sel *co-channel*) dapat ditentukan dengan Persamaan (2-6).



Gambar 2.10 Jarak antara dua sel dengan frekuensi yang berulang

$$D = R\sqrt{3K} \tag{2-6}$$

dengan

D = jarak antara dua sel *co-channel* (km)

R = jari-jari sel (km)

K = jumlah sel dalam satu *cluster*

Jarak minimum antara sel *co-channel* yang diperbolehkan dalam pengulangan frekuensi dipengaruhi oleh jumlah sel *co-channel* yang berdekatan dengan sel referensi (sel yang kita jadikan objek pembahasan), bentuk geografi, tinggi antena, dan besarnya daya pancar pada masing-masing sel. Jika jarak antara sel *co-channel* dan jari-jari sel diketahui, maka dapat dihitung rasio penggunaan kembali (*reuse ratio*) q dengan Persamaan (2-7) berikut.

$$q = \frac{D}{R} \tag{2-7}$$

dengan

q = *reuse ratio*

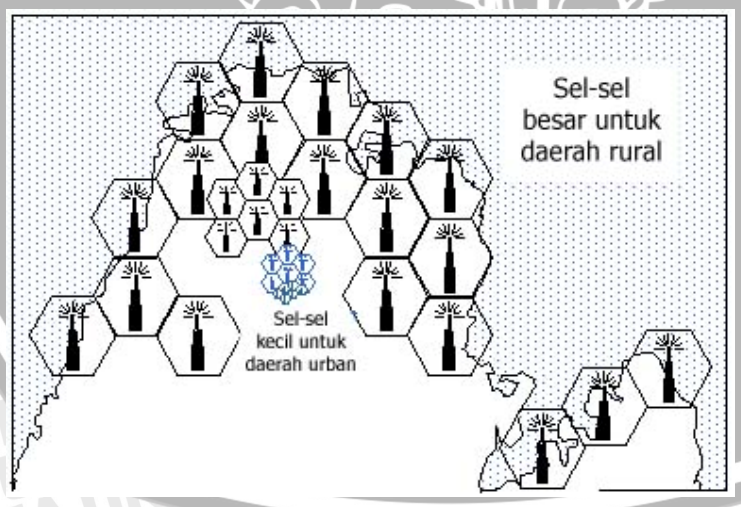
D = jarak antara dua sel *co-channel* (km)

R = jari-jari sel (km)

Nilai q ini nantinya akan berhubungan dengan interferensi *co-channel*. Semakin besar nilai q, interferensi *co-channel* akan semakin kecil. Karena itu, nilai q disebut juga sebagai faktor pengurangan interferensi *co-channel* (*co-channel interference reduction factor*).

2.5 Pembelahan Sel (*Cell Splitting*)

Cell splitting adalah salah satu konsep yang digunakan untuk melakukan perbaikan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi pada sistem telekomunikasi bergerak selular. Pada konsep *cell splitting*, sel-sel pada daerah yang padat populasi dipecah menjadi *cluster* baru (beberapa sel baru) yang lebih kecil untuk menambah kapasitas.



Gambar 2.11 Pembelahan sel (*cell splitting*)
Sumber : Lee (2006:55)

Pada saat terjadi banyak panggilan, dan sebagian tidak dapat dilayani karena tidak mendapatkan kanal frekuensi, saat itulah terjadi *blocking*. Probabilitas *blocking* yang terjadi dapat dihitung dengan Persamaan (2-8)

$$Pb = \frac{A^{\frac{N}{N!}}}{\sum_{k=0}^{N} A^{\frac{k}{k!}}} \qquad (2\text{-}8)$$

dengan

Pb = probabilitas *blocking* yang terjadi

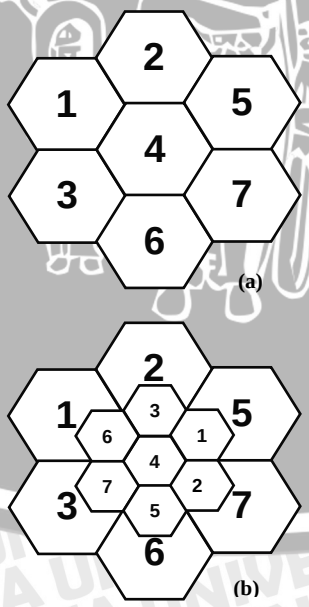
A = besar intensitas trafik

N = jumlah kanal frekuensi yang tersedia (kanal)

k = jumlah panggilan yang terjadi

Ketika probabilitas *blocking* yang terjadi pada suatu sel meningkat, salah satu cara untuk tetap memberikan layanan maksimal pada pengguna adalah dengan mengaplikasikan *cell splitting*.

Dalam melakukan pembelahan sel ini, satu buah sel dipecah menjadi beberapa buah sektor, umumnya tiga sektor (masing-masing 120°) atau enam sektor (masing-masing 60°). Setiap sektor akan dilayani oleh antena *directional* dengan frekuensi yang berbeda-beda. Dalam arti, konsep *frequency reuse* akan kembali diterapkan pada sektor-sektor baru hasil pembelahan sel. Ilustrasi Kondisi sel-sel sebelum dan sesudah dilakukan pembelahan sel (*cell splitting*) dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Kondisi sel-sel sebelum (a) dan sesudah (b) dilakukan proses pembelahan sel (*cell splitting*)

Radius sel baru akan menjadi:

$$\text{Radius sel baru} = \frac{\text{Radius sel lama}}{2} \quad (2\text{-}9)$$

Sedangkan luas cakupan sel yang baru akan menjadi:

$$\text{Luas sel baru} = \frac{\text{Luas sel lama}}{4} \quad (2\text{-}10)$$

Selanjutnya, setiap sel yang baru akan memuat beban beban trafik maksimum yang sama dengan beban trafik satu sel lama. Dengan demikian, bila kita melakukan *cell splitting*, maka:

$$\text{Trafik baru} = 4 \times \text{Trafik lama} \quad (2\text{-}11)$$

$$\frac{\text{Trafik baru}}{\text{Satuan luas}} = 4 \times \frac{\text{Trafik lama}}{\text{Satuan luas}} \quad (2\text{-}12)$$

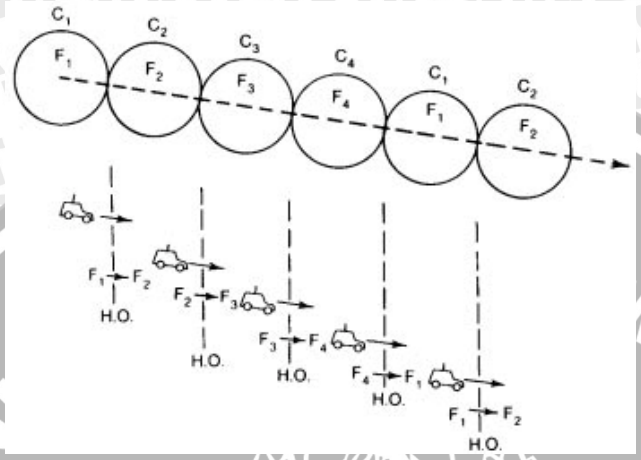
Sebagai contoh, ketika sebuah sel dibelah dengan radius sel baru ½ radius sel lama, maka luas area sel baru akan menjadi ¼ luas area sel lama. Sehingga kapasitas trafik baru per unit area menjadi 4 kali kapasitas trafik lama per unit area (Kepadatan/densitas trafik setelah pemecahan sel meningkat 4 kali lipat).

2.6 Mekanisme *Handover*

Handover atau *handoff* adalah proses pemindahan secara otomatis penanganan suatu pembicaraan yang sedang berlangsung apabila terjadi perpindahan dari satu sel ke sel yang lain akibat dari sifat pengguna telepon seluler yang selalu bergerak. Dengan mekanisme ini, hubungan yang berlangsung antar pengguna (MS) dapat tetap tersambung tanpa perlu melakukan pemanggilan kembali (*redialling*). Dalam suatu area yang ditangani oleh sebuah BSC, *handover* dapat terjadi dari suatu kanal ke kanal yang lain pada satu area pelayanan BTS yang sama maupun dari area pelayanan suatu BTS ke area pelayanan BTS yang lain dalam satu area operasional BSC.

Pelanggan pada sistem telepon bergerak seluler cenderung bersifat selalu *mobile*, atau dengan kata lain berpindah dari satu sel ke sel yang lain. Akibatnya,

ketika pengguna (MS) berada pada batas antara dua buah sel, maka akan terdapat dua kemungkinan level sinyal penerimaan, yaitu semakin kecil atau semakin besar. MS akan mendeteksi secara otomatis untuk mencari level sinyal penerimaan yang paling besar dan pengidentifikasian ulang pada frekuensi yang digunakan. (Lee, 2006:53)

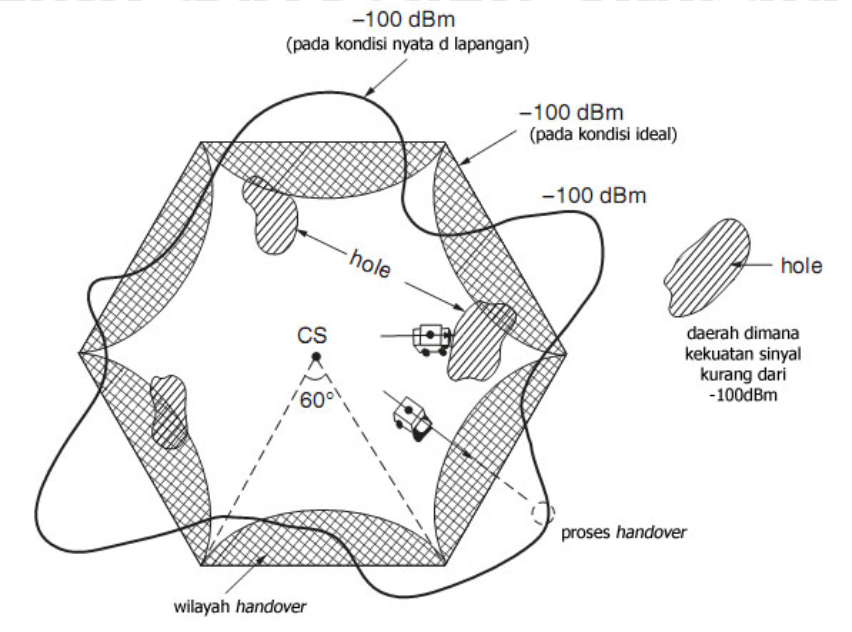


Gambar 2.13 Mekanisme *handover*
Sumber : Lee (2006:53)

Gambar 2.13 di atas memberikan gambaran bagaimana proses *handover* terjadi. Setiap MS akan dipantau level sinyal yang dikirimkannya oleh BTS. BTS yang menerima level sinyal terkuat dari MS tersebutlah yang akan melayani MS tersebut. Bila mobil (MS) mulai berjalan dari sel C1 menuju sel C2, jarak antara BTS pada sel C1 dengan MS akan menjauh, sehingga hubungan sinyal radio antara BTS sel C1 dengan MS akan melemah. Agar hubungan tidak terputus, maka frekuensi dipindahkan dari F1 (frekuensi di sel C1) ke F2 (frekuensi di sel C2). Proses perpindahan frekuensi ini berjalan secara otomatis sehingga pelanggan tidak merasakan adanya perpindahan tersebut. BTS pada sel-sel terdekat secara terus menerus memonitor level daya pancar dari MS tersebut. BTS yang menerima daya pancar terkuat akan mengambil alih proses hubungan tersebut.

Handover dilakukan pada dua kondisi dimana BTS menerima sinyal yang lemah dari MS, yaitu:

1. Saat MS berada pada tepian sel. Misalnya dalam kondisi tersebut sinyal yang diterima BTS mencapai -100 dBm, yang merupakan level untuk menjalankan mekanisme *handover*.
2. Saat MS berada pada daerah dalam sel yang lemah sinyalnya (*hole*), seperti dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Proses dan wilayah terjadinya *handover*
Sumber : Lee (2006:486)

Dalam kondisi trafik sibuk/padat, terdapat dua kondisi kegagalan panggilan pada jaringan GSM. Kondisi pertama adalah *blocked call*, yaitu kegagalan yang terjadi pada sistem saat proses pembentukan panggilan (*call set-up*). Kemungkinan terjadinya *blocked call* ini direpresentasikan oleh persentase GOS.

Kondisi kegagalan panggilan yang kedua adalah *dropped call*, yaitu peristiwa terputusnya hubungan pada saat pembicaraan sedang berlangsung dikarenakan kegagalan proses *handover*. Seperti pada asumsi yang berlaku pada penggunaan distribusi Erlang C, jumlah saluran yang tersedia (N) terbatas, sehingga apabila semua saluran sedang terpakai maka panggilan berikutnya harus menunggu hingga ada saluran yang bebas (*idle*). Dalam hal ini berarti ketika saluran sedang penuh, sebuah permintaan *handover* akan diantrikan atau diblok untuk sementara hingga tersedia saluran bebas.

Untuk menilai performansi *handover* pada suatu wilayah pengamatan, dapat dihitung probabilitas dilakukannya *blocking* pada sebuah permintaan *handover* untuk diantrikan hingga tersedia saluran bebas. Untuk menghitung probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* ini, digunakan persamaan berikut (Lee, 1995:291).

$$B_{hq} = \left(\frac{b_2}{N}\right)^{M_2} \times P_q(0) \qquad (2\text{-}13)$$

dimana $P_q(0)$ dapat diperoleh dari:

$$P_q(0) = \left(N!.\sum_{n=0}^{N-1} \frac{a^{n-N}}{n!} + \frac{1-\left(b_1/N\right)^{M_1+1}}{1-\left(b_1/N\right)} \right)^{-1} \quad (2\text{-}14)$$

dengan

B_{hq}	=	probabilitas *blocking* pada permintaan handover	
b_1	=	λ_1/μ	
b_2	=	λ_2/μ	
λ_1	=	jumlah permintaan panggilan normal (*originating calls*)	(panggilan/s)
λ_2	=	jumlah permintaan *handover*	(panggilan/s)
a	=	$\frac{(\lambda_1+\lambda_2)}{\mu}$	
$1/\mu$	=	rata-rata waktu percakapan pada jam sibuk	(s)
N	=	jumlah saluran (kanal) yang tersedia	(kanal)
M_1	=	jumlah antrian panggilan normal (*originating calls*)	(kanal)
M_2	=	jumlah antrian permintaan *handover*	(kanal)

2.7 Sistem Komunikasi Bergerak Seluler GSM

GSM (*Global System of Mobile Telecommunications*) adalah generasi kedua dari standar sistem seluler yang hingga kini terus dikembangkan. Penggunaan alokasi frekuensi 900 MHz oleh GSM ini diambil berdasarkan rekomendasi *Groupe Special Mobile Comittee* yang merupakan salah satu grup kerja pada CEPT (*Conference Europe'ene Postes des Telecommunication*). GSM pertama kali diperkenalkan di Eropa pada tahun 1991, kemudian pada akhir 1993 beberapa negara non Amerika seperti Amerika Selatan, Asia dan Australia mulai mengadopsi GSM yang akhirnya menghasilkan standar baru yang mirip yaitu DCS (*Digital Communication System*) 1800, yang mendukung PCS (*Personal Communication Service*) pada frekuensi 1800 MHz sampai 2 GHz.

Sebagai sistem yang digunakan secara global, GSM memiliki spesifikasi dan karakteristik yang standar. Dengan adanya standar baku ini, operator telekomunikasi

diperbolehkan menggunakan komponen sistem dari pabrikan yang berbeda-beda asalkan tetap sesuai dengan standar. Pada Tabel 2.1 berikut akan diberikan beberapa spesifikasi dan karakteristik GSM.

Tabel 2.1. Spesifikasi dan Karakteristik GSM

Modulation	GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)
Frequency Bands Uplink (from MS to BTS) Downlink (from BTS to MS)	 890 - 915 MHz 935 - 960 MHz
Duplex Separation	45 MHz
RF Carrier Spacing	200KHz
Total RF Duplex Channels	124
Nominal Mobile Station Transmit Power peak / average	20 W / 2,5 W 8 W / 1 W 5 W / 0,625 W 2 W / 0,25 W
Cell Radius Minimum Maximum	 0,5 km 35 km
Access Method	TDMA (*Time Division Multiple Access*)
Traffic Channels per Carrier	8
Channel Coding	Rate one half convolutional code with interleaving and error detection
Control Channel Structure Common Control Channel Associated Control Channel Broadcast Control Channel	 Yes Fast and Slow Yes

Sumber : Groves (2005:20)

Pemerintah Indonesia, melalui Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi, juga membuat aturan mengenai persyaratan teknis alat dan perangkat jaringan GSM 900 dan DCS 1800 untuk diterapkan di Indonesia. Beberapa spesifikasi dan karakteristik sistem GSM 900 dan DCS 1800 yang ditetapkan oleh Dirjen Postel pada tahun 2004 adalah sebagai berikut.

1) Karakteristik Radio

a) GSM 900

- *Uplink* : 890 - 915 MHz
- *Down Link* : 935 - 960 MHz

DCS 1800

- *Uplink* : 1710 - 1785 MHz
- *Downlink* : 1805 - 1880 MHz

b) Metode akses : Kombinasi FDMA dan TDMA
c) Modulasi : GSMK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)
d) *Voice coding* : RPE - LTP
e) *Voice rate* : 13 kbps
f) Sektor per *base station* : minimal 1 sektor
g) *Carrier spacing* : 200 kHz
h) *Output RF modulation* : Mengacu pada GSM 11.10
i) *Reference interference level* : Mengacu pada GSM 5.5
j) *Spectrum modulation* : Mengacu pada GSM 5.5

2) Pengkanalan Frekuensi

Tabel 2.2. Standar Pengkanalan Frekuensi di Indonesia

GSM 900	$Fl(n) = 890 + (0{,}2 \times n)$	$1 < n < 124$	$Fu(n) = Fl(n) + 45$
DCS 1800	$Fl(n) = 1710{,}2 + \{0{,}2 \times (n - 512)\}$	$512 < n < 885$	$Fu(n) = Fl(n) + 95$

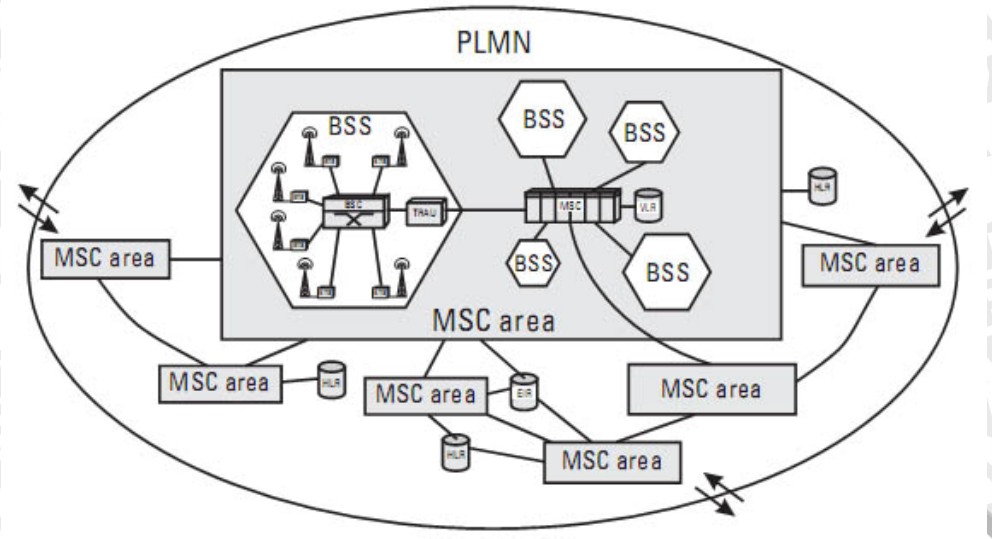
(*Frekuensi dalam satuan MHz*)

Sumber : (Dirjen Postel, 2004)

Selain kedua kriteria tersebut, Dirjen Postel Indonesia juga mengatur beberapa persyaratan teknis lain mengenai alat dan perangkat jaringan GSM 900 dan DCS 1800 di Indonesia.

2.7.1 Komponen-komponen GSM

Sebuah jaringan GSM tersusun atas beberapa elemen, yakni MS (*Mobile Station*), SIM (*Subscriber Identity Module*), BTS (*Base Transceiver Station*), BSC (*Base Station Controller*), TRAU (*Transcoding Rate and Adaption Unit*), MSC (*Mobile Services Switching Center*), HLR (*Home Location Register*), VLR (*Visitor Location Register*), dan EIR (*Equipment Identity Register*). Komponen-komponen tersebut membentuk PLMN (*Public Land Mobile Network*).



Gambar 2.15 Arsitektur PLMN
Sumber : Heine (1999:5)

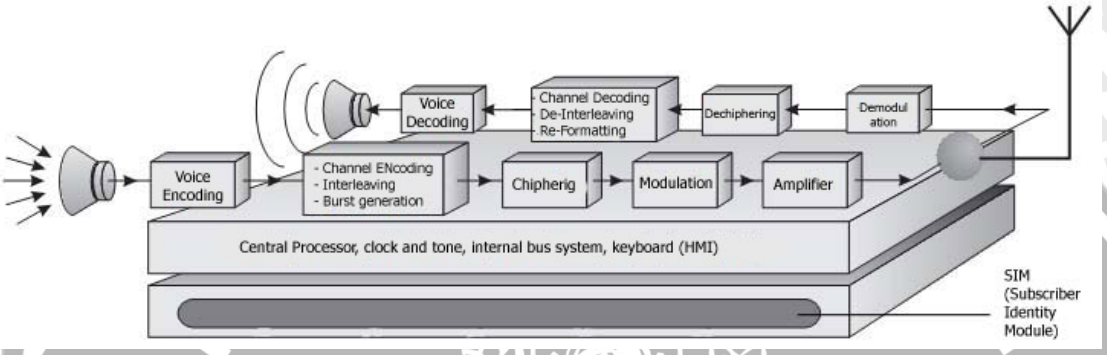
Berdasarkan fungsi kerjanya, elemen-elemen GSM tersebut dikelompokkan dalam tiga kelompok besar sebagai berikut.

1) Kelompok pertama adalah BSS (*Base Station Subsystem*). Seluruh aktivitas radio pada sistem GSM dilakukan oleh elemen-elemen yang termasuk di dalamnya, yaitu BTS dan BSC.
2) Kelompok kedua adalah NSS (*Network Switching Subsystem*). Kelompok ini bertanggung jawab untuk melakukan proses panggilan dan fungsi-fungsi yang berhubungan dengan pelanggan. Elemen yang termasuk dalam kelompok ini adalah MSC, HLR, AuC, VLR, dan EIR.
3) Kelompok ketiga adalah OSS (*Operation and Support Subsystem*). OSS adalah implementasi dari OMC (*Operation and Maintenance Center*) yang tersambung dengan NSS maupun BSS. OSS merupakan wujud fungsional dari pemantauan jaringan operator dan pengontrollan sistem. Fungsi dari OSS adalah untuk memberikan dukungan untuk operasional sentral, regional, maupun lokal dan melakukan aktivitas pemeliharaan yang diperlukan untuk jaringan GSM.

2.7.1.1 *MS (Mobile Station)*

MS menjalankan berbagai fungsi, diantaranya dalam hubungannya dengan BTS (*Base Transceiver Station*), dari modulasi/demodulasi GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) hingga proses *channel coding*/*decoding*. Selain itu, ada pula fungsi spesifik yang dilakukan oleh perangkat MS seperti penggunaan DTMF (*Dual*

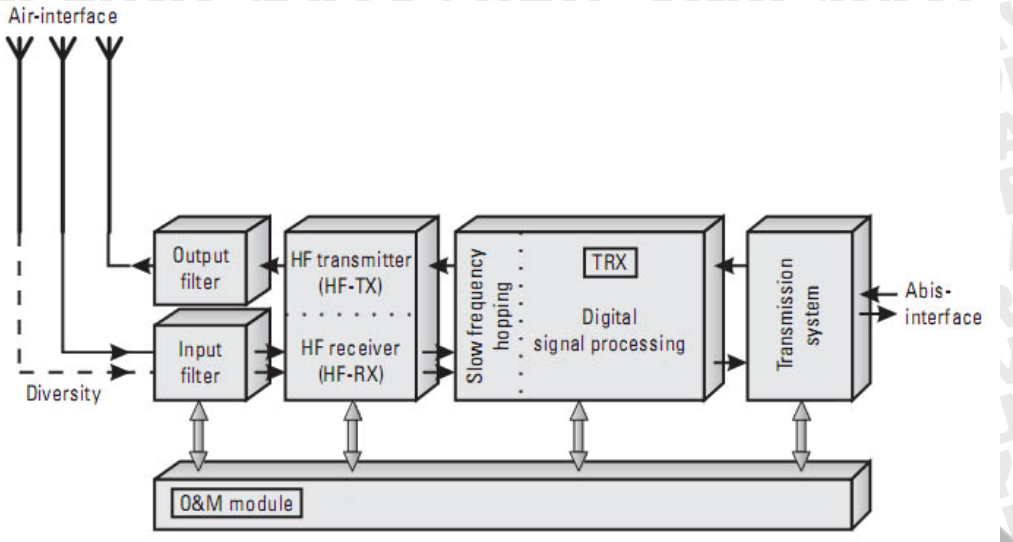
Tone Multi Frequency) dan penggunaan baterai sebagai catu daya perangkat yang begitu ekonomis. Dari sudut pandang protokol, MS tidak hanya berhubungan dengan BTS, tetapi juga berkomunikasi langsung dengan MSC (*Mobile Services Switching Center*) dan VLR (*Visitor Location Register*) dengan MM (*Mobility Management*) dan CC (*Call Control*). Selain itu, MS juga mempunyai *interface* TAF (*Terminal Adaption Function*) untuk koneksi data dan fax dengan perangkat-perngkat eksternal.



Gambar 2.16 Diagram blok MS
Sumber : Heine (1999:14)

2.7.1.2 BTS (*Base Transceiver Station*)

BTS memfasilitasi hubungan antara jaringan GSM dengan MS melalui *Air-interface*. Di sisi lain, BTS juga berhubungan dengan BSC (*Base Station Controller*) menggunakan *Abis-interface*. BTS berfungsi sebagai pengirim dan penerima (*transceiver*) sinyal komunikasi dari/ke MS serta menghubungkan MS dengan elemen jaringan yang lain dalam jaringan GSM, seperti BSC, MSC, dan lain-lain dengan menggunakan *radio interface*. Sementara kinerja beberapa BTS akan dikontrol oleh sebuah BSC.



Gambar 2.17 Diagram blok BTS dengan 1 TRX
Sumber : Heine (1999:20)

Gambar 2.17 di atas adalah diagram blok dan aliran sinyal pada sebuah BTS dengan satu TRX. GSM *Recommendations* memperbolehkan satu BTS untuk menangani hingga 16 TRX. Pada penerapannya di lapangan, sebagian besar BTS menangani satu hingga empat TRX.

Karena fungsinya sebagai *transceiver*, maka bentuk fisik sebuah BTS pada umumnya berupa sebuah menara dengan dilengkapi antena sebagai *transceiver*, dan perangkatnya. Sesuai nilai maksimum dari Timing Advance, sebuah BTS dapat mencakup area sejauh 35 km (Janus Christian Krarup, 1998). Beberapa fungsi dasar BTS adalah:

a. Berinteraksi langsung dengan MS
b. Mendukung pengaturan daya pancar MS
c. Mendukung penyediaan kanal radio bagi MS baik untuk trafik baru maupun trafik *handoff*
d. Manajemen *physical layer* di *radio interface*

Bangunan BTS terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

a. Satu atau lebih antena *transceiver*
b. Sebuah menara atau bangunan yang berfungsi untuk meletakkan antena BTS di tempat yang tinggi
c. *Feeder* yang menghubungkan BTS dengan antenanya.
d. *Power supply* yang digunakan sehari-hari dan cadangannya

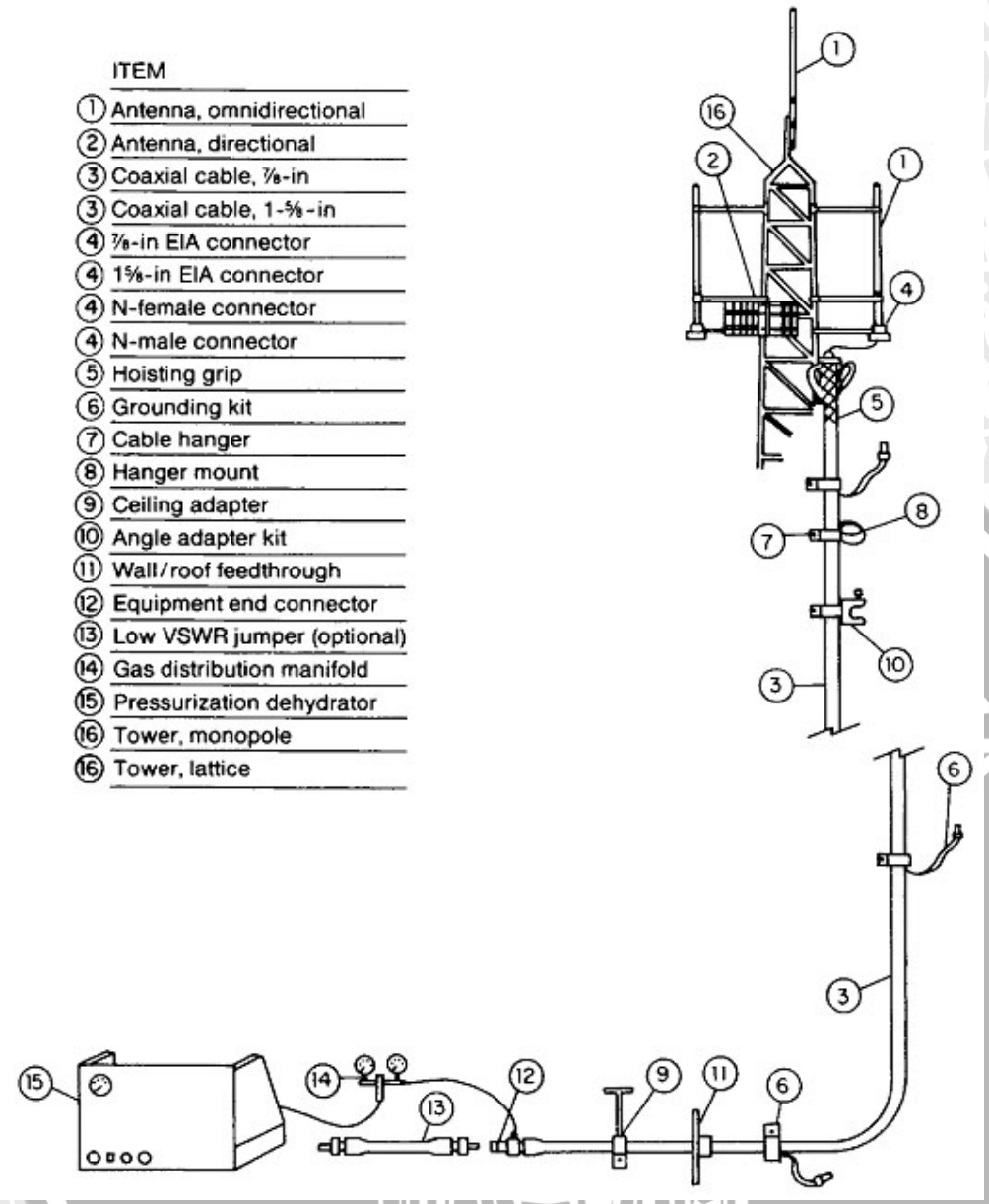
e. *Shelter site* yang berisikan BTS, *microwave indoor unit*, dan *rectifier system*. Di dalamnya juga terdapat *Air Conditioner* (AC) untuk menjaga suhu didalam ruangan pada suhu optimum (+20C) sehingga life time equipment akan terjaga. Selain itu ada pula beberapa alarm pengaman, seperti alarm banjir, kebakaran, dll.

2.7.1.2.1 Antena BTS

Antena BTS berbentuk persegi panjang. Fungsinya adalah mengakomodasi hubungan antara MS dengan perangkat BTS yang terhubung dengan antena tersebut.

Gambar 2.18 Antena BTS yang terpasang pada menara

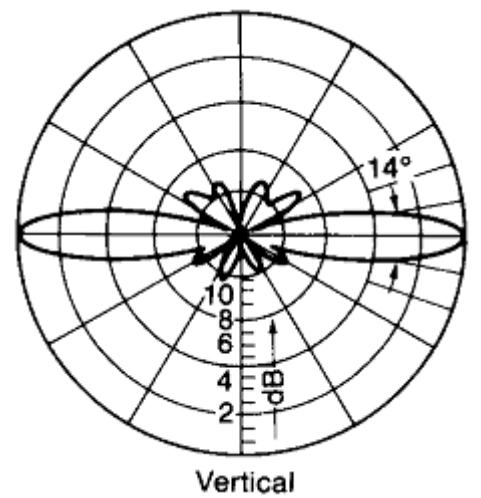
Dalam kaitannya dengan pita frekuensi GSM di Indonesia yang menggunakan 900/1800 MHz, yang merupakan merupakan frekuensi yang dipancarkan oleh antena BTS dan merupakan frekuensi yang ditangkap oleh MS, ada antena BTS yang bersifat *dual band*, ada pula yang bersifat *single band*. Untuk antena *dual band*, GSM 900 dan GSM 1800, perangkat BTS bisa dihubungkan ke antena yang sama. Sedangkan pada antena *single band*, umumnya antena GSM 900 berukuran lebih besar daripada antenna GSM 1800 (dari prinsip *dipole antena*=½λ). Gambar 2.19 menjelaskan komponen-komponen pada antena BTS yang terdapat di suatu sel.



Gambar 2.19 Komponen-komponen antena BTS pada suatu sel
Sumber : Lee (2006:405)

Tinggi rendahnya pemasangan antena BTS pada menara tergantung dari luas area yang ingin dicakup. Semakin tinggi posisi antena BTS, cakupannya akan semakin luas. Selain tinggi, cakupan BTS juga dipengaruhi oleh banyaknya MS. Semakin banyak MS yang menggunakan BTS, daerah jangkauan akan semakin sempit. Banyaknya pengguna telepon seluler yang bisa dilayani oleh BTS terbatas. Karena itu di daerah-daerah dimana banyak pengguna telepon seluler, jarak antar BTS akan semakin sempit. Sehingga antena yang digunakan biasanya tidak setinggi di daerah pedesaan karena menghindari terjadinya interferensi antar BTS-BTS yang memiliki frekuensi yg sama.

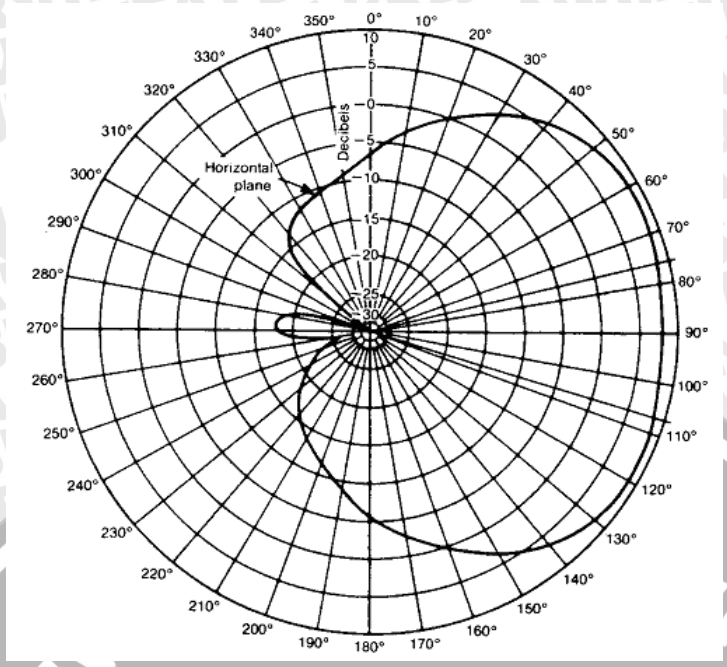
Antena yang digunakan pada BTS GSM dapat berupa antena *omnidirectional* atau antena *directional*. Antena *omnidirectional* adalah jenis antena yang memancaran gelombang radio ke segala arah dengan daya dan penguatan yang sama. Antena jenis ini umumnya digunakan pada BTS yang berada di tengah-tengah sel. Pola radiasi antena *omnidirectional* ditunjukkan oleh Gambar 2.20.



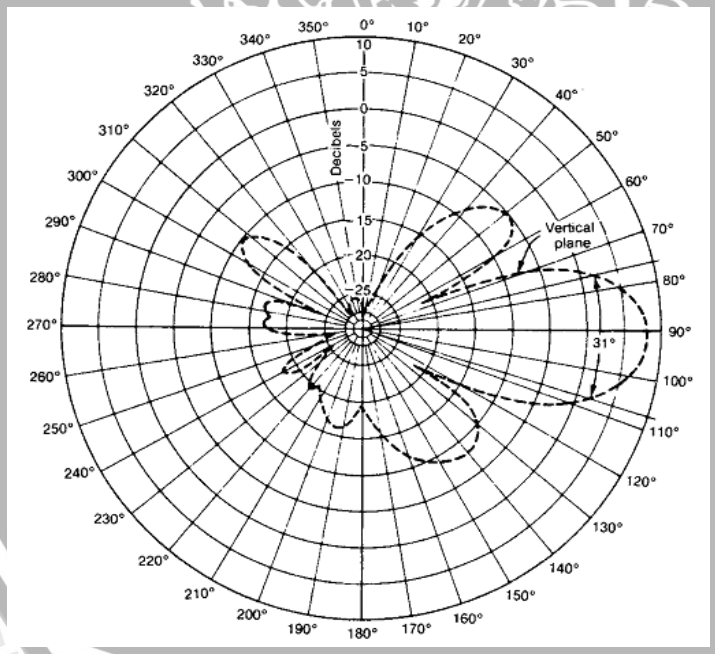
Gambar 2.20 Pola radiasi antena *omnidirectional* dengan *gain* 6 dB
Sumber : Lee (2006:396)

Gambar 2.20 di atas merupakan diagram vertikal antena *omnidirectional* dengan *gain* 6 dB. Diagram vertikal menggambarkan ke arah mana daya dipancarkan secara maksimal dilihat secara vertikal. HPBW (*Half-Power Beam Width*) pada *main beam* dari gambar di atas sebesar 14˚ menunjukkan bahwa *range* angular dari sebagian besar daya yang dipancarkan oleh antena ditujukan ke arah tersebut, dilihat secara vertikal.

Jenis antena yang lain, yaitu antena *directional*, merupakan antena yang memancarkan gelombang radio hanya ke arah tertentu, dengan lebar sudut pengarahan tertentu, umumnya 60˚ atau 120˚. Pola radiasi antena *directional* 120˚ dapat dilihat pada Gambar 2.21 dan 2.22 berikut.



Gambar 2.21 Pola radiasi horizontal antena *directional* 120˚ dengan *gain* 8 dB
Sumber : Lee (2006:398)



Gambar 2.22 Pola radiasi vertikal antena *directional* 120˚ dengan *gain* 8 dB
Sumber : Lee (2006:398)

Pada Gambar 2.21, area yang ditunjukkan *main lobe* menggambarkan 120˚ wilayah yang dicakup oleh antena tersebut, dilihat secara horizontal. Sementara pada Gambar 2.22, area *main beam* dari gambar di atas sebesar 31˚ menunjukkan bahwa *range*

angular dari sebagian besar daya yang dipancarkan oleh antena ditujukan ke arah tersebut, dilihat secara vertikal.

Komunikasi GSM menggunakan dua buah *band* dengan lebar masing-masing arah *link data* sebesar 25 MHz. Frekuensi 890-915 MHz *band* digunakan untuk *uplink* ke arah *Base Station*, sedangkan frekuensi 935-960 MHz digunakan untuk alokasi frekuensi *downlink* ke arah *Mobile Station.*

Penentuan jarak antar BTS dipengaruhi banyak hal. Diantaranya kepadatan pengguna pada suatu daerah atau jangkauan yang ingin dicapai oleh BTS yang bersangkutan. Kedua hal tersebut sangat berlawanan. Bila kita ingin mendapatkan jangkauan yang luas untuk 1 BTS, maka jumlah pelanggan yang dilayani akan berkurang. Karena pada sistem GSM, tiap BTS sudah mempunyai alokasi frekuensi tersendiri, yang biasa disebut FA (*Frequency Assignment*). Karena tiap GSM menganut sistem TDMA (*Time Division Multiple Access*), maka tiap frekuensi bisa dibagi-bagi dalam 8 *time slot*. Tiap *time slot*, hanya bisa diisi oleh 1 orang pelanggan, dalam 1 waktu. Pada tiap BTS, bisa dialokasikan beberapa frekuensi (FA), tergantung dari desain jaringannya. Jadi, bila sang desainer menginginkan jumlah pelanggan yang bisa dilayani dalam 1 daerah banyak, maka dia harus meletakkan banyak BTS dalam 1 daerah (*coverage* dari BTS tersebut menjadi sempit). Pola seperti ini umumnya diaplikasikan di daerah perkotaan. Begitu juga sebaliknya, bila sang desainer menginginkan *coverage* yang luas untuk tiap BTS, maka ia harus mengorbankan jumlah pelanggan dalam area tersebut.

2.7.1.2.2 Menara BTS

Dalam pembahasan mengenai efisiensi penggunaan menara *Base Transceiver Station* (BTS) untuk beberapa operator telekomunikasi ini, tentunya diperlukan pengetahuan mengenai menara BTS sebagai salah satu unsur dari objek pembahasan. Nantinya akan dianalisis penggunaan lebih dari satu antena dari beberapa operator yang akan terpasang pada menara. Selain perhitungan teknis mengenai performa antena-antena yang dipasang bersamaan, diperlukan juga pembahasan mengenai menara tempat antena-antena tersebut dipasang. Di dalamnya termasuk jenis-jenis menara BTS dan sejauh mana kemungkinan kemampuan menara tersebut untuk dipasangi lebih dari satu antena.

Menara BTS adalah menara yang terbuat dari rangkaian besi atau pipa baik segi empat atau segi tiga, atau hanya berupa pipa panjang (tongkat), yang bertujuan

untuk menempatkan antena dan radio pemancar maupun penerima gelombang telekomunikasi dan informasi.

Secara umum, menara BTS terbagi menjadi 3 macam:

a) Menara dengan 4 kaki, atau disebut juga menara rangka dirancang dengan konsep rangka kokoh, kuat terhadap tekanan angin. Ketinggian menara ini berkisar antara 30 sampai 70 meter. Umumnya jenis ini banyak menampung *hardware* diatasnya. Menara rangka biasa dijumpai di area *green field*, meski beberapa juga ada ditempatkan di *roof top*. Menara jenis ini sangat kokoh, karena memiliki kekuatan tiang pancang yang kuat, dan sudah dipertimbangkan konstruksinya. Biaya pembangunan menara tipe ini mencapai 650 juta hingga 1 milyar rupiah (Adronafis, 2008). Namun kelebihannya adalah pada kekuatan dan kemampuannya menampung banyak antena. Tipe menara ini banyak dipakai oleh operator-operator telekomunikasi besar di Indonesia (Telkomsel, Indosat, XL).

b) Menara segitiga yang dikokohkan dengan tali pancang/*spanner*. Menara jenis ini memakai besi dengan diameter 2 cm atau lebih. Beberapa kejadian robohnya menara jenis ini karena memakai besi dengan diameter di bawah 2 cm. Ketinggian maksimal menara jenis ini yang direkomendasikan adalah 60 meter. Ketinggian rata-rata adalah 40 meter (Adronafis, 2008). Menara jenis ini disusun atas beberapa *stage* (potongan). 1 stage ada yang 4 meter namun ada yang 5 meter. Makin pendek *stage* maka menara akan makin kokoh, namun biaya pembuatannya makin tinggi, karena setiap *stage* membutuhkan tali pancang/*spanner*. Jarak patok *spanner* dengan menara setidaknya 8 meter. Makin panjang makin baik, karena ikatannya makin kokoh, sehingga tali penguat tersebut tidak makin meruncing di *tower* bagian atas.

c) Pipa besi yang dikuatkan dengan tali *spanner*. Menara jenis ini cenderung digunakan secara personal. Tinggi menara pipa ini sangat disarankan tidak melebihi 20 meter, karena akan melengkung. Kekuatan pipa sangat bertumpu pada *spanner*. Sekalipun masih mampu menerima sinyal koneksi, namun menara jenis ini tidak direkomendasikan untuk penerima sinyal informatika (internet dan intranet) yang stabil, karena jenis ini mudah bergoyang dan akan mengganggu sistem koneksi datanya, sehingga komputer akan mencari data secara terus menerus (*searching*). Menara ini bisa dibangun pada areal yang dekat dengan pusat transmisi/NOC (*Network Operation Systems*), maksimal 2 km, tidak

memiliki angin kencang, serta benar-benar diproyeksikan dalam rangka efisiensi biaya.

Dibangunnya menara BTS di beberapa daerah ditanggapi secara negatif oleh masyarakat, disebabkan adanya isu kesehatan (radiasi, anemia, dll), isu keselamatan (dapat roboh, dll), hingga isu pemerataan sosial. Hal ini semestinya perlu disosialisasikan ke masyarakat bahwa kekhawatiran akan ketiga hal tersebut tidak benar.

a) Isu tentang gangguan kesehatan dapat ditepis dengan fakta bahwa radiasi yang diakibatkan menara BTS jauh diambang batas toleransi yang ditetapkan WHO (*World Health Organization*). Pada Tabel 2.3 berikut diberikan keterangan mengenai perbandingan antara radiasi yang dihasilkan oleh antena BTS dengan batas radiasi yang ditoleransi oleh aturan dari WHO.

Tabel 2.3. Perbandingan radiasi yang dihasilkan oleh antena BTS dengan batas radiasi yang ditoleransi oleh aturan dari WHO

Jenis antena	**Radiasi yang Dihasilkan**	**Batas Radiasi yang Ditoleransi oleh aturan WHO**
Antena BTS 900 MHz pada menara setinggi 40 meter (terendah)	1 watt/m^2	4,5 watt/m^2
Antena BTS 1800 MHz pada menara setinggi 40 meter (terendah)	2 watt/m^2	9 watt/m^2

Sumber : (Adronafis, 2008)

Nilai radiasi akan semakin lemah apabila menara semakin tinggi. Rata-rata menara BTS yang dibangun di Indonesia memiliki ketinggian 70 meter. Dengan demikian radiasinya tentu jauh lebih kecil lagi.

b) Isu terancamnya keselamatan disebabkan oleh robohnya menara, akan dapat diatasi dengan penerapan standar material, dan konstruksinya yang benar, serta pewajiban perawatan tiap tahunnya.

c) Isu pemerataan ekonomi harus disikapi dengan bijaksana. Oleh karena peruntukan menara ini untuk kepentingan bisnis, maka sudah selayaknya dilakukan

pembagian keuntungan dengan masyarakat, karena memang pembangunan menara harus memiliki dimensi ekonomi masyarakat.

Pembangunan infrasruktur menara BTS terbilang mahal, mencapai 1 miliar rupiah sejak dari proses *site acqusition* hingga pendirian menara dan membangun *shelter*, itu belum termasuk perangkat BTS (Sutadi, 2007). Karena itu, pada bulan Mei 2007, perusahaan seluler Mobile-8 melakukan sewa menara untuk pemasangan antenanya. Biaya yang dikeluarkan hanya 15 juta/bulan untuk 1 operator penyewa (Wibisono, 2007). Jumlah ini dipastikan akan menurun bila lebih dari 1 penyewa yang akan memasang antenanya di menara tersebut. Ruas efektif untuk pemasangan antena di menara adalah pada ketinggian 40 m hingga 70 m. Selang antar antena yang secara normal bisa dipasang adalah setiap 2 meter (Purwanto, 2008).. Untuk mempertahankan kualitas transmisinya, maka secara normal 1 BTS bisa memiliki 15 antena. Dengan asumsi bahwa Rp. 15 juta/bulan untuk sewa BTS tersebut merupakan kemampuan sewa suatu operator telekomunikasi, maka dapat diperhitungkan bahwa dalam satu menara apabila disewakan akan dapat menuai pendapatan sewa kotor 15 x Rp 15 juta = Rp. 225 juta sebulan. Dengan demikian, investasi menara sebesar 1 miliar secara bruto akan mengalami BEP (*Break Even Point*) paling cepat selama ± 4,5 bulan (1 Miliar : 225 juta). Namun apabila secara ekstrim menara hanya "laku" disewa oleh 1 operator saja, maka biaya investasi menara tersebut akan mengalami BEP setelah 5,5 tahun (1 Miliar : 180 juta).

2.7.1.3 BSC (*Base Station Controller*)

Sebuah BSC mengontrol kinerja dan berhubungan dengan beberapa BTS pada area kerjanya melalui *Abis-Interface*. BSC dan beberapa BTS yang terhubung dengannya membentuk suatu subsistem jaringan GSM yang dinamakan BSS (*Base Station Subsystem*). Beberapa fungsi dari BSC antara lain:

a). Melakukan kontrol terhadap proses panggilan (*call setup* dan *call release*)
b). Melakukan kontrol terhadap proses *handover*
c). Melakukan *vocoding* pada sinyal suara
d). Mengatur database pada elemen jaringan BSS
e). Interface ke MSC dengan IS 634
f). Interface ke BTS dengan proprietary (E1)

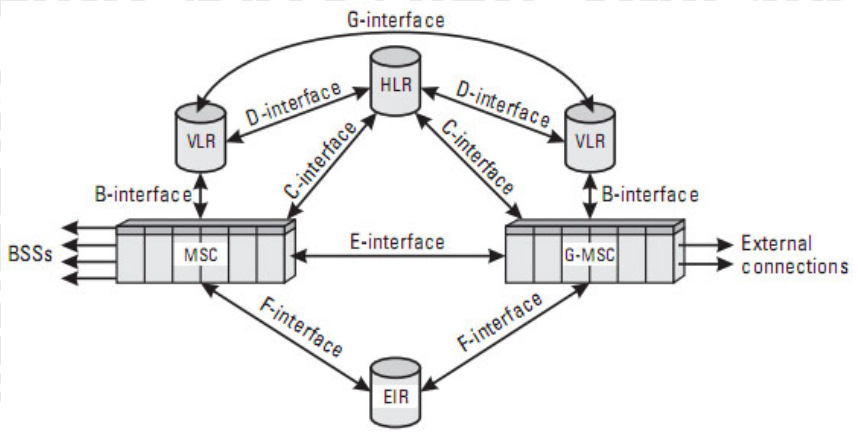
2.7.1.4 TRAU (*Transcoding Rate and Adaption Unit*)

TRAU adalah *interface* antara BSC dan MSC. Meskipun TRAU merupakan bagian dari BSS, biasanya TRAU diletakkan dekat MSC. Hal ini dimaksudkan untuk penghematan *link* transmisi.

Pada perangkat TRAU terjadi pengompresan *link* dari 64 Kbps (MSC ke TRAU) menjadi 16 Kbps (TRAU ke BSC). Proses kompresi ini dilakukan hanya dilakukan pada *traffic channel*. Hal tersebut dimaksudkan agar *traffic channel* yang digunakan untuk percakapan pelanggan bisa lebih banyak 4 kali dari sebelumnya. Sedangkan pada *time slot* 0 yang digunakan untuk *frame alignment signal* dan *time slot* 16 untuk *signalling* tidak dilakukan kompresi, kecepatannya tetap 64 Kb/s sebab jika dilakukan kompresi pada dua jenis *time slot* ini, proses pensinyalan akan menjadi lambat. Sebagai konsekuensi dari proses kompresi yang dilakukan, TRAU juga melakukan adaptasi suara agar suara pengguna sama seperti aslinya, tidak terkompres menjadi semakin tinggi atau semakin rendah.

2.7.1.5 MSC (*Mobile Services Switching Center*)

Sebuah MSC merupakan induk dari sejumlah BSC. MSC dan BSC berkomunikasi melalui *A-interface*. Tanggung jawab utama dari MSC adalah menangani panggilan di dalam areanya, dengan cara me-*routing*kan panggilan masuk dan panggilan keluar, dan menentukan kanal-kanal telepon yang digunakan pengguna. Selain itu, MSC juga berfungsi untuk menjalankan proses *inter-MSC handover* dan sebagai penghubung antara satu jaringan GSM dengan jaringan lainnya (koneksi eksternal) melalui Internetworking Function (IWF). Pada Gambar 2.23 dapat dilihat posisi MSC pada NSS (*Network Switching Subsystem*).



Gambar 2.23 Diagram blok NSS (*Network Switching Subsystem*)
Sumber : Heine (1999:32)

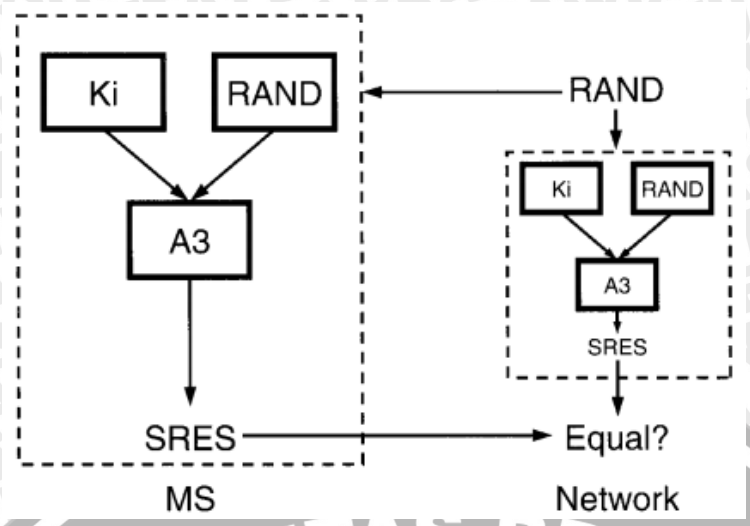
Dapat dilihat pada Gambar 2.23, bahwa MSC berhubungan dengan HLR, VLR, EIR, dan BSS area yang menjadi tanggungjawabnya. Selain itu, beberapa MSC dilengkapi dengan fungsi *gateway* yang memungkinkan MSC berhubungan dengan jaringan lain (*external connection*). MSC seperti ini disebut G-MSC (*Gateway* MSC)

2.7.1.6 HLR (*Home Location Register*)

HLR merupakan sebuah basis data yang menyimpan seluruh informasi administratif dari tiap pengguna GSM yang terdaftar, meliputi termasuk layanan profil pengguna, informasi lokasi terkini, dan status aktivitas dari pengguna. Data yang tersimpan pada HLR bersifat permanen, dalam arti tidak tergantung pada posisi pengguna. HLR bertindak sebagai pusat informasi yang sewaktu-waktu akan diperlukan oleh VLR untuk merealisasikan panggilan oleh pengguna. Dalam pelaksanaannya, VLR selalu berhubungan dengan HLR dan memberikan informasi lokasi pengguna.

2.7.1.7 AuC (*Authentication Center*)

AUC adalah sebuah unit yang berfungsi menyediakan tiga buah parameter autentikasi, yaitu SRES (*signed response*), RAND (*random number*), dan K_i, lalu menyimpannya di VLR. Parameter-parameter autentikasi ini diberikan untuk melakukan verifikasi terhadap identitas pengguna dan menjamin kerahasiaan dari setiap panggilan.



Gambar 2.24 Proses autentikasi
Sumber : Lee (2006:126)

Pada Gambar 2.24 dapat dilihat proses autentikasi yang terjadi. Fase pertama terjadi pada SIM. Setiap SIM diproteksi oleh sebuah PIN (*Personal Identification Number*). Pada fase pertama ini, SIM melakukan pengecekan internal terhadap SIM-nya sendiri. Pada fase kedua, jaringan GSM mengirimkan pertanyaan kepada MS berupa RAND 128-bit. RAND ini selanjutnya akan diproses bersama K_i, parameter rahasia milik MS dengan algoritma pemrosesan A3, yang akhirnya akan menghasilkan SRES 32-bit. SRES ini nantinya akan dikirimkan ke jaringan GSM untuk proses verifikasi.

2.7.1.8 VLR (*Visitor Location Register*)

VLR merupakan sebuah basis data yang berisi informasi sementara tentang pengguna, dimana informasi ini diperlukan oleh MSC untuk melayani pelanggan yang datang berkunjung. VLR selalu terintegrasi dengan MSC. Ketika MS bergerak menuju area MSC yang baru, VLR akan tersambung ke MSC baru yang akan meminta data tentang MS tersebut dari HLR. Selanjutnya, jika MS melakukan panggilan, VLR akan mempunyai informasi yang diperlukan untuk melakukan *setup* panggilan tanpa harus meminta informasi dari HLR setiap saat.

2.7.2 Konsep Kanal pada GSM

Konsep kanal yang digunakan pada GSM menggunakan prinsip TDMA, dimana setiap satu frekuensi pembawa akan dibagi menjadi 8 *timeslot*. Pada sistem TDMA ini, terdapat dua macam kanal, yaitu:

1. Kanal fisik (*Physical channel*)
2. Kanal logika (*Logical channel*)

2.7.2.1 Kanal Fisik (*Physical Channel*)

Kanal fisik adalah kanal yang menentukan saluran tempat komunikasi berangsung, dan didasarkan pada prinsip akses jamak FDMA dan TDMA. Terdapat 8 kanal fisik pada setiap frekuensi pembawa dalam GSM, yaitu kanal 0-7 (*timeslot* 0-7). Keuntungan sistem ini adalah spasi kanal yang dihasilkan lebih lebar dan penggunaan peralatan *transceiver* lebih sedikit, yaitu hanya dibutuhkan satu pemancar dan satu penerima untuk melayani kedelapan kanal pembicaraan.

2.7.2.2 Kanal Logika (*Logical Channel*)

Kanal logika adalah kanal yang digunakan untuk pengoperasian, seperti transmisi dan informasi subsistem radio. Kanal ini dihasilkan dengan perbedaan jenis informasi yang ditransmisikan antara BTS dan MS. Kanal logika ini dipetakan dalam kanal fisik dan dikategorikan menjadi 2 macam, yaitu:

1. Kanal kontrol (*Control Channel,* CCH)
2. Kanal trafik (*Traffic Channel*, TCH)

2.7.2.2.1 Kanal Kontrol (*Control Channel,* CCH)

Kanal kontrol adalah kanal yang dipakai untuk fungsi pengecekan dan sinkronisasi agar hubungan antar BTS dan MS tetap terjaga. Kanal kontrol ini meliputi:

1) BCH (*Broadcast Channel*) atau kanal penyiaran. Digunakan sebagai media penghubung antara BTS dan MS untuk memberikan informasi sistem atau pensinyalan. Informasi yang ditransmisikan pada kanal ini yaitu sel tempat MS sedang berada, sel yang berdekatan, *frame* sinkronisasi, identifikasi BTS, dan koreksi frekuensi pembawa (*carrier*) MS. BCH dapat dibagi lagi menjadi 3 jenis kanal, yaitu:

a). FCCH (*Frequency Correction Channel*)

Berfungsi membawa informasi sehingga MS dapat menangkap frekuensi BTS yang sedang *broadcast*.

b). SCCH (*Synchronization Control Channel*)

Berfungsi membawa informasi bahwa MS telah terhubung ke salah satu frekuensi BTS.

c). BCCH (*Broadcast Control Channel*)

Berfungsi membawa informasi frekuensi yang digunakan MS pada saat *call set-up*.

2) DCCH (*Dedicated Control Channel*) adalah kanal kontrol yang terdedikasikan. Kanal ini digunakan dalam pengontrolan kanal selama *set-up* panggilan, pengukuran transmisi sinyal, serta proses pemutusan hubungan. Kanal ini terdiri dari:

a). SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*) adalah kanal *uplink* dan *downlink* yang digunakan selama pembentukan pembicaraan sebelum alokasi TCH.

b). SACCH (*Slow Associated Control Channel*) adalah kanal yang tergabung dengan SDCCH dan setiap TCH. Dalam proses *uplink*, SACCH ini digunakan dalam pengukuran data-data MS untuk *handover*, untuk mengetahui apakah diperlukan mekanisme *handover*. Sedangkan dalam proses *downlink,* SACCH digunakan untuk mengatur daya keluaran MS dan mengukur jarak antara BTS dengan MS.

c). FACCH (*Fast Associated Control Channel*) digunakan untuk mengetahui apakah mekanisme *handover* diperlukan, jika SACCH tidak berfungsi.

3) CCCH (*Common Control Channel*) adalah kanal kontrol bersama yang digunakan untuk mentransfer informasi sinyal ke seluruh MS dan BTS untuk melakukan panggilan. Kanal ini terdiri dari:

1) PCH (*Paging Channel*)

merupakan kanal *downlink* yang digunakan BTS untuk mengakses MS jika ada panggilan masuk..

2) RACH (*Random Access Channel*)

merupakan kanal *uplink* untuk meminta agar SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*) diproses.

3) AGCH (*Access Grant Channel*)

merupakan kanal *downlink* yang digunakan untuk mengalokasikan satu SDCCH untuk MS.

2.7.2.2.2 Kanal Trafik (*Traffic Channel*, TCH)

Kanal trafik adalah kanal yang digunakan untuk pengiriman informasi seperti pembicaraan, *signalling*, data *uplink*, dan *downlink*. Saluran ini ditumpangkan pada kanal fisik dan kecepatannya dapat diatur, yaitu:

1) *Full rate*. Kecepatan transmisi penuh, yaitu 22,8 kbps.
2) *Half rate*. Kecepatan transmisi setengah, yaitu 11,4 kbps.

Agar MS mengetahui adanya jaringan GSm, maka semua BTS memancarkan BCH (*Broadcast Channel*) yang merupakan tanda keberadaan BTS. Hal ini bertujuan untuk memberitahukan pada MS tentang BTS terdekat. BCH selalu diterima MS, baik ketika sedang mengadakan pembicaraan atau tidak.

TCH (*Traffic Channel*) digunakan ketika MS berhubungan dengan BTS. TCH berupa dua jalur kanal, yaitu *uplink* dan *downlink*, yang digunakan untuk pertukaran informasi antara MS dengan BTS. BCH berada pada kanal *downlink* ketika TCH sedang digunakan, sedangkan kanal *uplink* digunakan MS untuk RACH. Ketika MS akan menghubungi BTS, maka MS dapat menggunakan kanal *uplink* yang sedang tidak digunakan untuk mengirim RACH. Bila pada saat yang sama terdapat beberapa pelanggan yang akan melakukan hubungan sehingga terjadi tabrakan RACH, maka akses akan diulang.

2.7.3 Alokasi Frekuensi GSM

Alokasi spektrum frekuensi untuk GSM dibagi untuk dua buah *sub-band* masing-masing sebesar 25 MHz, antara 890 MHz – 915 MHz sebagai frekuensi *uplink* dan 935 MHz – 960 MHz sebagai frekuensi *downlink*.

Kedua *sub-band* tersebut dibagi lagi menjadi kanal-kanal, dimana sebuah kanal pada satu *sub-band* berpasangan dengan sebuah kanal pada *sub-band* yang lain. Tiap *sub-band* dibagi menjadi 124 kanal, yang kemudian masing-masing diberi nomor yang dikenal sebagai ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). Jadi sebuah MS yang dialokasikan pada sebuah ARFCN akan beroperasi pada satu frekuensi untuk mengirim dan satu frekuensi untuk menerima sinyal.

Untuk GSM, jarak antara sepasang kanal dengan ARFCN sama selalu 45 MHz, dan *bandwidth* tiap kanal sebesar 200 kHz. Kanal pada tiap awal *sub-band*

digunakan sebagai *guard band*. Jika dihitung, spektrum GSM akan menghasilkan 124 ARFCN, masing-masing diberi nomor 1 sampai 124. Kanal sebanyak 124 inilah yang nantinya dibagi-bagi kepada operator-operator GSM yang ada di suatu negara.

Di Indonesia, frekuensi GSM dibagi untuk 3 operator besar, yakni Indosat, Telkomsel, dan Excelcomindo. Alokasi frekuensi untuk ketiga operator tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Riyantoro, 2007).

Tabel 2.4. Alokasi Frekuensi GSM untuk 3 Operator Besar di Indonesia

Operator	Range Frekuensi Uplink	Range Frekuensi Downlink	Lebar Pita Frekuensi
Indosat	890-900 MHz	935 - 945 MHz	10 MHz
Telkomsel	900 - 907,5 MHz	945 - 952,5 MHz	7,5 MHz
Excelcomindo	907,5 - 915 MHz	952,5 - 960 MHz	7,5 MHz

Untuk mengantisipai perkembangan jaringan di masa mendatang, telah dilokasikan tambahan 10 MHz frekuensi pada masing-masing awal *sub-band*. Ini dikenal sebagai EGSM (*Extended* GSM). Jadi spektrum EGSM ini 880 MHz - 915 MHz untuk *uplink* dan 925 MHz - 960 MHz untuk *downlink*. Penambahan tersebut memberi tambahan 50 ARFCN menjadi 174. Tambahan ARFCN ini diberi nomor 975 sampai 1023.

2.8 Teori Dasar Trafik

Secara umum, trafik dapat diartikan sebagai perpindahan informasi dari satu tempat ke tempat lain melalui jaringan telekomunikasi. Besaran dari suatu trafik telekomunikasi diukur dengan satuan waktu, sedangkan nilai trafik dari suatu kanal adalah lamanya waktu pendudukan pada kanal tersebut. Salah satu tujuan perhitungan trafik adalah untuk mengetahui unjuk kerja jaringan (*Network Performance*) dan mutu pelayanan jairngan telekomunikasi (*Quality of Service*).

2.8.1 Besaran Trafik

Terdapat dua macam besaran yang sering digunakan dalam pembahasan teori dasar trafik, yaitu volume trafik dan intensitas trafik.

1. Volume trafik, didefinisikan sebagai jumlah total waktu pendudukan. Nilai volume trafik dapat diperoleh dengan menggunaan persamaan berikut.

$$V = \int_{t=0}^{t=T} J(t)dt \qquad (2\text{-}15)$$

dengan

V = volume trafik
T = periode waktu pengamatan (s)
t = waktu pendudukan (s)
$J(t)$ = jumlah kanal yang diduduki saat t (kanal)

2. Intensitas trafik, didefinisikan sebagai jumlah total waktu pendudukan (volume trafik) dalam suatu selang pengamatan tertentu (per satuan waktu).

$$A = \frac{V}{T} \qquad (2\text{-}16)$$

dengan

A = intensitas trafik
V = volume trafik
T = periode waktu pengamatan (s)

Intensitas trafik juga dapat dilihat dari tinjauan lainnya, seperti pada Persamaan (2-17) berikut

$$\begin{aligned} A &= \frac{V}{T} \\ &= \frac{1}{T}\int_{0}^{t} J(t)dt \qquad \text{dimana } 0 \le t \le T \\ &= \frac{1}{T}\sum_{p=0}^{n} pt_p \qquad J(t) = \text{diskrit} = p \\ &= \sum_{p=0}^{n} p\,\frac{t_p}{T} \end{aligned} \qquad (2\text{-}17)$$

dengan

A	=	intensitas trafik	
V	=	volume trafik	
t	=	waktu pendudukan	(s)
T	=	periode waktu pengamatan	(s)
p	=	jumlah saluran yang diduduki	(kanal)
t_p	=	total waktu pemdudukan p saluran	(s)

Dari tinjauan lainnya, intensitas trafik merupakan jumlah seluruh waktu pendudukan pada N buah saluran per satuan waktu pengamatan T, seperti dapat dilihat pada Persamaan (2-18)

$$A = \frac{1}{T}\sum_{n=1}^{N} t_n \qquad (2\text{-}18)$$

dengan

A	=	intensitas trafik	
T	=	periode waktu pengamatan	(s)
N	=	jumlah saluran yang diamati	(kanal)
t_n	=	total waktu pendudukan saluran ke-n	(s)

Sementara waktu pendudukan rata-rata tiap saluran dan jumlah pendudukan rata-rata per satuan waktu masing-masing dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-19) dan (2-18)

$$t_r = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} t_n \qquad (2\text{-}19)$$

$$C = \frac{A}{t_r} = \frac{N}{T} \qquad (2\text{-}20)$$

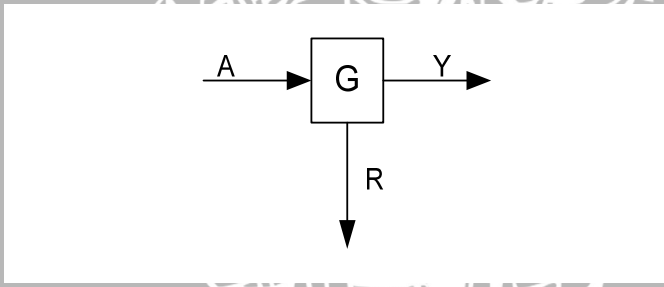
dengan

t_r	=	waktu pendudukan rata-rata tiap saluran	(s)
C	=	jumlah pendudukan rata-rata per satuan waktu	(kanal/s)
A	=	intensitas trafik	
T	=	periode waktu pengamatan	(s)
N	=	jumlah saluran yang diamati	(kanal)
t_n	=	total waktu pendudukan saluran ke-n 9	(s)

2.8.2 Macam-macam Trafik

Dari sudut pandang masuknya trafik ke sebuah jaringan, terdapat 3 macam trafik, yaitu:

1. *Offered Traffic* (A) adalah trafik yang ditawarkan atau yang mau masuk ke jaringan.
2. *Carried Traffic* (Y) adalah trafik yang dimuat atau yang mendapat saluran.
3. *Lost Traffic* (R) adalah trafik yang hilang atau yang tidak mendapat saluran.



Gambar 2.25 Hubungan antara ketiga macam trafik, dengan G adalah elemen gandeng (*switching network*)

2.8.3 Distribusi Probabilitas

2.8.3.1 Distribusi Poisson

Terdapat beberapa asumsi yang berlaku pada distribusi Poisson, yaitu:

1. Jumlah sumber panggilan tak terhingga
2. Jumlah saluran yang menumpang panggilan tak terhingga
3. Kedatangan panggilan acak (*random arrival*) dengan rata-rata jumlah panggilan yang datang konstan
4. Jumlah saluran yang tersedia (N) tak terhingga, sehingga panggilan yang datang selalu dapat dilayani oleh saluran-saluran tersebut

5. Pola pendudukan kanal eksponsif negatif
6. Harga mean = harga variansi
   = mean / rata-rata jumlah saluran yang diduduki selama 1 jam, dalam 1 jam pengamatan
   = jumlah Erlang (intensitas trafik)

Persamaan distribusi Poisson diberikan oleh Persamaan (2-21) berikut (Wahyu Adi Priyono, 2004:55)

$$P(n) = \frac{A^n}{n!} e^{-A} \qquad (2\text{-}21)$$

dengan

$P(n)$ = probabilitas n buah saluran diduduki
n = jumlah saluran diduduki (kanal)
A = intensitas trafik rata-rata

2.8.3.2 Distribusi Erlang

Terdapat beberapa asumsi yang berlaku pada distribusi Erlang, yaitu:

1. Jumlah sumber panggilan tak terhingga
2. Jumlah saluran yang menumpang panggilan tak terhingga
3. Kedatangan panggilan acak (*random arrival*) dengan rata-rata jumlah panggilan yang datang konstan
4. Pola pendudukan kanal eksponensial negatif
5. Harga mean = harga variansi
   = mean jumlah saluran yang diduduki selama 1 jam, dalam 1 jam pengamatan
   = jumlah Erlang (intensitas trafik)
6. Jumlah saluran yang tersedia (N) terbatas, sehingga
7. Apabila semua saluran sedang terpakai maka panggilan berikutnya tidak dapat dilayani (hilang/*loss*), dan
8. Semua saluran bebas selalu dapat diduduki oleh panggilan yang datang

Persamaan distribusi Poisson diberikan oleh Persamaan (2-22) berikut (Wahyu Adi Priyono, 2004:61)

$$P(n) = \frac{A^N / n!}{\sum_{i=0}^{N} A^i / i!} \quad (2\text{-}22)$$

dengan

$P(n)$ = probabilitas n buah saluran diduduki
n = jumlah saluran diduduki (kanal)
N = jumlah saluran yang tersedia (kanal)
A = intensitas trafik rata-rata

Pada saat N buah saluran diduduki, maka semua panggilaan ditolak. $P(n)$ tidak lain adalah nilai probabilitas dari trafik yang hilang. $P(n)$ disebut juga sebagai rugi Erlang atau GOS (*Grade of Service*) atau B.

Untuk menghitung kapasitas trafik, digunakan perhitungan Erlang, persamaannya adalah sebagai berikut :

$$x\ Erlangs = \frac{call\ per\ hour \times average conversation\ time}{3600 \text{sec}} \quad (2\text{-}23)$$

Dengan mengetahui Erlang maka kita dapat melihat nilai GOS (*Grade of Service*) untuk mengetahui besarnya antrian (*congestion*) yang dipebolehkan. Dengan menentukan persentase GOS berdasarkan tabel Erlang maka dapat diketahui jumlah kanal yang dibutuhkan. Tabel Erlang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Tabel Erlang

Chs	1%	2%	3%	5%	Chs	1%	2%	3%	5%
1	0.01	0.02	0.03	0.05	21	12.80	14.00	14.90	16.20
2	0.15	0.22	0.28	0.38	22	13.70	14.90	15.80	17.10
3	0.46	0.60	0.72	0.90	23	14.50	15.80	16.70	18.10
4	0.87	1.09	1.26	1.52	24	15.30	16.60	17.60	19.00
5	1.36	1.66	1.88	2.22	25	16.10	17.50	18.50	20.00
6	1.91	2.28	2.54	2.96	26	17.00	18.40	19.40	20.90
7	2.50	2.94	3.25	3.75	27	17.80	19.30	20.30	21.90
8	3.13	3.63	3.99	4.54	28	18.60	20.20	21.20	22.90
9	3.78	4.34	4.75	5.37	29	19.50	21.00	22.10	23.80
10	4.46	5.08	5.53	6.22	30	20.30	21.90	23.10	24.80
11	5.16	5.84	6.33	7.08	31	21.20	22.80	24.00	25.80
12	5.88	6.61	7.14	7.95	32	22.00	23.70	24.90	26.70
13	6.61	7.40	7.97	8.83	33	22.90	24.60	25.80	27.70
14	7.35	8.20	8.80	9.73	34	23.80	25.50	26.80	28.70
15	8.11	9.01	9.65	10.60	35	24.60	26.40	27.70	29.70
16	8.88	9.83	10.50	11.50	36	25.50	27.30	28.60	30.70
17	9.65	10.70	11.40	12.50	37	26.40	28.30	29.60	31.60
18	10.40	11.50	12.20	13.40	38	27.30	29.20	30.50	32.60
19	11.20	12.30	13.10	14.30	39	28.10	30.10	31.50	33.60
20	12.00	13.20	14.00	15.20	40	29.00	31.00	32.40	34.60

2.8.4 *Grade of Service* (GOS)

Grade of Service (GOS) adalah probabilitas panggilan ditolak/diblok selama jam sibuk. Secara sederhana pengertiannya adalah sebagai berikut, untuk GOS sebesar 2% berarti dalam 100 panggilan akan terdapat 2 panggilan yang tidak mendapatkan saluran atau diblok oleh sistem. Dalam konteks *wireless*, target desain GOS adalah 2% atau 5%. Tabel GOS diperlukan untuk mengetahui berapa kanal yang dibutuhkan untuk minimum GOS yang disyaratkan.

Untuk menghitung besarnya GOS ini, dapat digunakan Persamaan (2-24) berikut.

$$GOS = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^{N} A^i / i!} \qquad (2\text{-}24)$$

dengan

GOS	=	*Grade of Service*	
A	=	intensitas trafik yang dilayani	(erlang)
N	=	jumlah kanal	(kanal)
i	=	kanal ke-0 hingga ke-N	

Terdapat perbedaan antara *blocking rate* dan *blocking probability*. *Blocking rate* didefinisikan sebagai jumlah *blocking* yang terukur dari suatu *Base Station*, sedangkan *blocking probability* didefinisikan sebagai peluang suatu panggilan diblok karena ketiadaan kanal bebas pada suatu *Base Station*. Pada sejumlah kanal, ketika beban bertambah maka *blocking probability* juga meningkat. *Blocking probability* digunakan sebagai ukuran *Grade of Service* (GOS).

Terdapat beberapa model yang digunakan untuk mendapatkan nilai GOS. Salah satunya adalah model Erlang-B. Pada model ini berlaku beberapa asumsi:

1. Sistem berada dalam kondisi *statistical equilibrium*.
2. Besar beban yang ditawarkan tertentu (diketahui), dan memenuhi Persamaan (2-25) berikut.

$$A = \frac{\lambda}{\mu} \qquad (2\text{-}25)$$

dengan

A = intensitas trafik rata-rata
λ = pola kedatangan Poisson (panggilan/s)
μ = waktu pelayanan panggilan (s/panggilan)

3. Kedatangan panggilan berdasarkan proses Poisson, yaitu distribusi kedatangan antar panggilan adalah eksponensial, dan panggilan yang di *block* tidak dapat langsung membuat hubungan baru.
4. Distribusi waktu kedatangan panggilan eksponensial.

2.8.5 Waktu Rata-rata Pelanggan dalam Antrian

Untuk menghitung lamanya waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, digunakan rumus J.D. Little sebagai berikut (Wahyu A.P, 2005:191).

$$t = D_N(A)\frac{h}{N-1} \qquad (2\text{-}26)$$

dengan

t = waktu rata-rata pelanggan dalam antrian (s)
$D_N(A)$ = probabilitas antrian (erlang)
h = waktu rata-rata pelanggan dalam pelayanan (s)
N = kapasitas kanal yang tersedia (erlang)

Sebelum menggunakan Persamaan (2-26) di atas, perlu terlebih dahulu digunakan rumus tunggu Erlang untuk mencari nilai $D_N(A)$. Rumus tunggu Erlang yang dimaksud adalah sebagai berikut (Wahyu A.P, 2005:190).

$$D_N(A) = \frac{\frac{A^N}{N!}\times\frac{N}{N-A}}{\sum_{i=0}^{N}\frac{A^i}{i!}\times\frac{N}{N-A}} \qquad (2\text{-}27)$$

dengan

$D_N(A)$	=	probabilitas antrian	(erlang)
N	=	kapasitas kanal yang tersedia	(erlang)
A	=	intensitas trafik yang dilayani	
i	=	N-1	

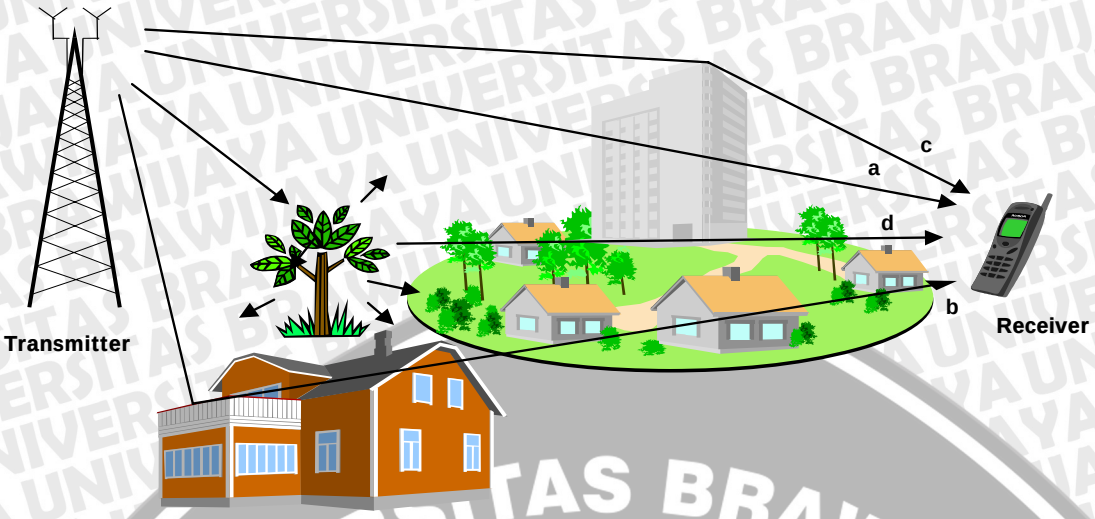
2.9 Parameter Performansi Sistem

Pembahasan dalam skripsi ini mengenai penggunaan satu menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi mempunyai dua buah parameter utama yang menggambarkan performansi sistemnya, dimana keduanya mempunyai parameter-parameter sekunder yang mempengaruhinya. Kedua parameter utama tersebut adalah:

1. *Coverage area* (cakupan wilayah sel). Parameter sekundernya adalah *pathloss* pada sistem dan jari-jari sel.
2. Level penerimaan sinyal. Parameter sekundernya adalah *C/I* (*Carrier to Interference*) dan nilai *fading margin*.

2.9.1 *Fading*

Dalam kaitannya dengan kondisi permukaan bumi, proses perambatan/propagasi sinyal pada telekomunikasi seluler terjadi dalam 4 metode, yaitu propagasi langsung (*direct Line-of-Sight*), pemantulan (*reflection*), difraksi (*diffraction*), dan penghamburan/penyebaran (*scattering*).

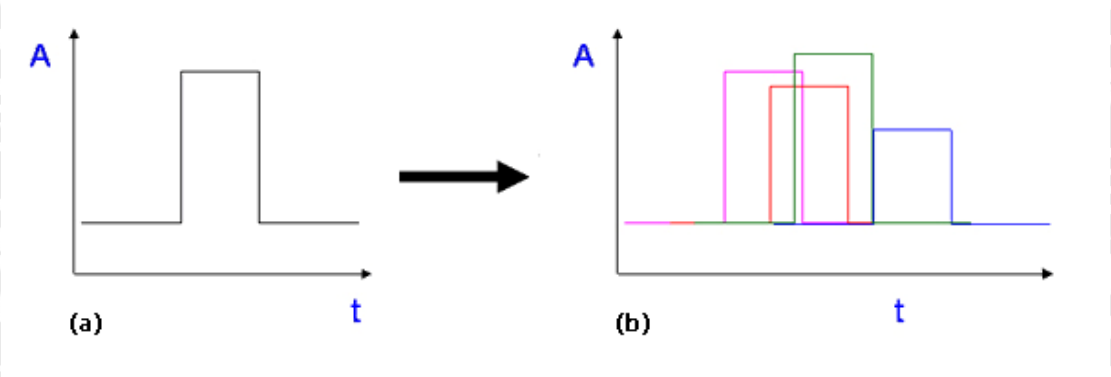


Gambar 2.26 Metode propagasi sinyal (a)*direct Line-of-Sight* (b) *reflection* (c)*diffraction* (d) *scattering*

1. Propagasi langsung (*direct Line-of-Sight*) terjadi ketika *transmitter* dan *receiver* berada pada kondisi *Line-of-Sight* (LOS), maksudnya, dari sudut pandang *receiver*, *transmitter* dapat terlihat langsung tanpa terhalang benda apapun, begitu pula sebaliknya.
2. Pemantulan (*reflection*) terjadi ketika gelombang radio menumbuk sesuatu yang permukaannya rata dan relatif luas bila dibandingkan dengan panjang gelombang (λ).
3. Difraksi (*diffraction*) terjadi ketika gelombang radio menabrak sudut yang cukup tajam dari suatu benda yang relatif luas dibandingkan panjang gelombang (λ).
4. Penghamburan/penyebaran (*scattering*) terjadi ketika gelombang radio menumbuk sesuatu yang luasnya relatif seimbang atau lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang (λ). Selanjutnya gelombang ini akan menyebar ke segala arah. Benda-benda kecil dapat menyebabkan terjadinya *scattering*, seperti lampu jalan raya, bahkan dedaunan.

Beberapa jenis sinyal yang mencapai *receiver* melalui metode yang berbeda-beda menyebabkan propagasi sinyal pada telekomunikasi seluler disebut *multipath propagation*. *Multipath propagation* ini menyebabkan terjadinya fluktuasi daya pada *receiver* dikarenakan adanya perubahan amplitudo kuat sinyal yang diterima dalam kurun waktu singkat. Selain itu, *multipath propagation* ini juga menyebabkan

terjadinya dispersi waktu (*echo*) karena gelombang yang dirambatkan berhasil mencapai *receiver* pada waktu yang berbeda-beda.



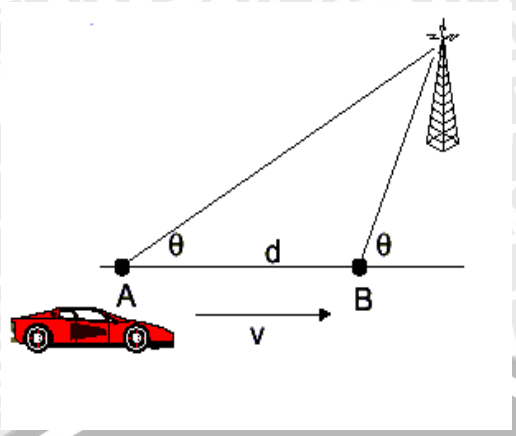
Gambar 2.27 Grafik amplitudo sinyal terhadap waktu pada *multipath propagation* (a)sinyal saat dikirim (b)sinyal saat diterima
Sumber : Willis (2007)

Dapat dilihat pada Gambar 2.27(a), sinyal yang dikirim berupa sinyal tunggal yang "bersih". Sementara Gambar 2.27(b) menggambarkan kondisi sinyal saat diterima, terdapat beberapa sinyal yang saling tumpang tindih dengan amplitudo yang berbeda-beda dan waktu *delay* antara satu dengan yang lainnya.

Selain itu, terjadi juga modulasi frekuensi secara acak yang berkaitan dengan efek Doppler yang terjadi pada masing-masing sinyal yang sampai dengan metode yang berbeda-beda. Peristiwa-peristiwa yang diakibatkan adanya *multipath propagation* ini disebut *small-scale fading*.

Small-scale fading, atau *rayleigh fading*, atau disebut *fading* saja, dapat terjadi karena adanya sinyal-sinyal *multipath propagation* yang saling bersuperposisi atau saling menghilangkan. Penyebab lainnya bisa jadi pergerakan yang dilakukan *transmitter* atau *receiver*, atau bisa juga karena *bandwidth* dari sinyal yang ditransmisikan.

Pergeseran Doppler (*Doppler Shift*) adalah pergeseran frekuensi yang disebabkan oleh perpindahan *receiver*. *Doppler shift* ini bernilai positif bila *receiver* bergerak mendekati *transmitter*, begitu pula sebaliknya. *Doppler shift* akan meningkatkan *bandwidth* dari sinyal yang dikirimkan.



Gambar 2.28 Ilustrasi *Doppler Shift*.
Sumber : Triggs (2001)

Pada Gambar 2.28, mobil (*receiver*) bergerak sejauh *d* dari titik A ke titik B dengan kecepatan *v*. Sudut θ adalah sudut yang dibentuk antara arah pergerakan mobil (arah *v*) dengan arah propagasi sinyal datang. Pergeseran frekuensi (*doppler shift*) yang terjadi dapat dihitung dengan Persamaan (2-28)

$$f_d = \frac{v}{\lambda}\cos\theta \qquad (2\text{-}28)$$

dengan

f_d = pergeseran frekuensi (*doppler shift)* (Hz)
v = kecepatan pergerakan relatif *receiver* (m/s)
λ = panjang gelombang (m)
θ = sudut antara arah propagasi sinyal datang dengan arah pergerakan *receiver*

Nilai pergeseran frekuensi (*doppler shift*) maksimum, saat θ sebesar 0˚, disebut juga *doppler spread*, dirumuskan dengan Persamaan (2-29)

$$f_m = \frac{v}{\lambda} \qquad (2\text{-}29)$$

dengan

f_m = pergeseran frekuensi maksimum (*doppler spread)* (Hz)
v = kecepatan pergerakan relatif *receiver* (m/s)
λ = panjang gelombang (m)

Padanan dari *doppler spread* pada domain waktu yang menunjukkan level dispersif frekuensi suatu kanal disebut *coherence time*. Selain itu, c*oherence time* bisa juga diartikan sebagai ukuran statistik dari durasi waktu dimana impulse respon dari kanal masih bisa dikategorikan *invariant* dan mengkuantifikasi kesamaan respon kanal pada waktu yang berbeda. *Coherence time* daihitung dengan Persamaan (2-30) berikut.

$$T_C = \sqrt{\frac{9}{16.\pi.f_m^{\ 2}}} = \frac{0{,}423}{f_m} \qquad (2\text{-}30)$$

dengan

T_C = *coherence time* (s)

f_m = pergeseran frekuensi maksimum (*doppler spread)* (Hz)

Apabila kuat sinyal penerimaan dalam domain waktu dinyatakan sebagai *r(t)*, maka persamaannya dapat ditulis sebagai Persamaan (2-31) berikut (Lee, 1989:13)

$$r(t) = m(t).r_0(t) \qquad (2\text{-}31)$$

dengan

$r(t)$ = kuat sinyal yang diterima oleh *receiver*

$m(t)$ = *local mean*/fading panjang

$r_0(t)$ = *multipath fading*/fading pendek

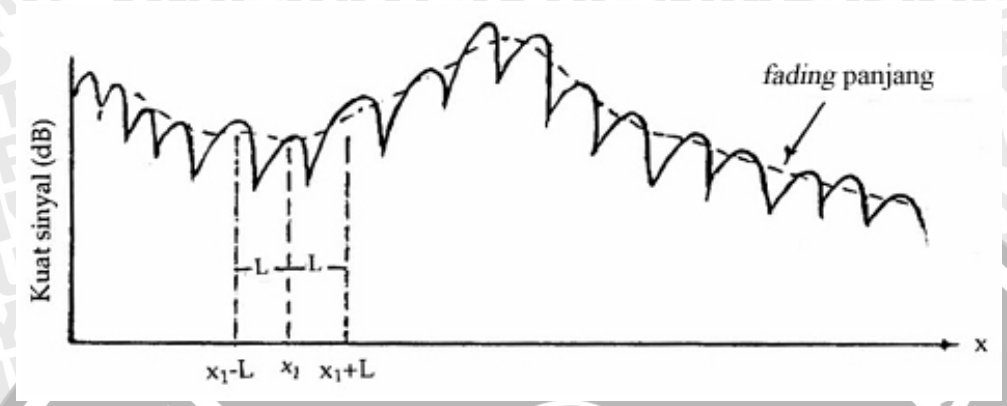
Sedangkan dalam domain jarak, persamaan kuat sinyal penerimaan dinyatakan sebagai *r(x)*, dan persamaannya adalah sebagai berikut (Lee, 1989:13)

$$r(x) = m(x).r_0(x) \qquad (2\text{-}32)$$

2.9.1.1 *Fading* Panjang

Fading panjang disebabkan oleh adanya perubahan konfigurasi alam yang dilalui oleh sinyal yang merambat dari BTS ke MS atau sebaliknya, sehingga sinyal yang diterima oleh MS akan mengalami fluktuasi *path loss* akibat efek bayangan dari penghalang alam (*shadowing*). *Fading* panjang disebut juga *local mean*, *long term*

fading, atau *log normal fading*, yaitu daya rata-rata lokal dari sinyal yang diterima pada sistem penerima selama MS bergerak dan terdistribusi mengikuti distribusi log normal. Fading panjang ini merupakan rata-rata dari sinyal fading r(t) yang digambarkan dengan garis putus-putus pada Gambar 2.29.

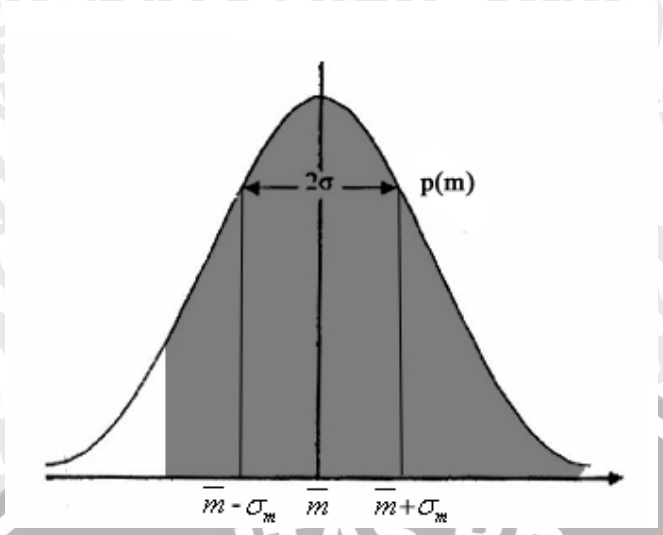


Gambar 2.29 Daya rata-rata lokal sepanjang interval 2L
Sumber : Lee (1993:10)

Perkiraan *local mean m(x)* pada suatu titik x_1 sepanjang sumbu x dapat dinyatakan secara matematis seperti Persamaan (2-33) berikut (Lee, 1989:13)

$$m(x_1) = \frac{1}{2L}\int_{x_1-L}^{x_1+L} r(x)dx = \frac{1}{2L}\int_{x_1-L}^{x_1+L} m(x)r_0(x)dx \qquad (2\text{-}33)$$

Fading panjang pada sinyal radio bergerak bervariasi pada setiap titik pada jarak *R* dari *base station* mengikuti distribusi normal, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.30.



Gambar 2.30 Kurva distribusi normal
Sumber : Lee (1993:10)

Fungsi rapat peluang dari distribusi normal adalah

$$p(m) = \frac{1}{\sigma_m \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(m-\overline{m})^2}{2\sigma_m^2}} \qquad (2\text{-}34)$$

dengan

$p(m)$ = fungsi kerapatan peluang sinyal penerimaan yang mengalami *fading* panjang

m = *fading* panjang/*local mean* (dB)

$\overline{m}$ = rata-rata dari semua *fading* panjang/*local mean* (dB)

σ_m = standar deviasi dari x (dB)

Standar deviasi (σ) merupakan variasi level sinyal m di sekitar nilai $\overline{m}$. Besarnya nilai σ_m tergantung dari kondisi tempat yang dirambati sinyal dan frekuensi yang digunakan.

Untuk menghitung keandalan sinyal penerimaan terhadap *fading* panjang, perlu ditentukan nilai batas *fading* (*fading margin*) untuk menaikkan level sinyal penerimaan menjadi di atas sensitivitas penerimaan. Sensitivitas penerimaan ini merupakan kuat sinyal penerimaan terendah yang masih dapat diterima dengan baik oleh *receiver*. Dalam menghitung *fading margin* ini, terlebih dahulu harus ditentukan persentase dari *fading* panjang/*local mean* (m) berada di atas nilai tertentu (R_m),

dengan cara mengintegralkan Persamaan (2-35) menjadi sebagai berikut (Reudink, 1994)

$$P(m \geq R_m) = \int_{R_m}^{\infty} \frac{1}{\sigma_m \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(m-\overline{m})^2}{2\sigma_m^2}} dm \qquad (2\text{-}35)$$

dengan

$P(m \geq R_m)$ = Probabilitas *fading* panjang/*local mean* (m) berada di atas nilai tertentu (R_m)

R_m = nilai minimum *fading* panjang/*local mean* (dB)

m = *fading* panjang/*local mean* (dB)

$\overline{m}$ = rata-rata dari semua *fading* panjang/*local mean* (dB)

σ_m = standar deviasi dari x (dB)

Persamaan (2-35) di atas dapat disederhanakan dengan memisalkan $x = \frac{m - \overline{m}}{\sigma_m}$, sehingga akan diperoleh Persamaan (2-36) sebagai berikut (Reudink, 1994)

$$P(m \geq R_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{R_m}^{\infty} e^{-x^2/2} dx \qquad (2\text{-}36)$$

Sedangkan Persamaan (2-36) akan dapat diselesaikan dengan menggunakan *error function*,

$$erf(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-x^2/2} dx \qquad (2\text{-}37)$$

Kurva distribusi normal akan simetris terhadap nilai rata-ratanya, seperti dalam Gambar 2.30. Daerah yang diarsir menunjukkan kemungkinan *fading* panjang/*local mean* (m) berada di atas suatu nilai tertentu (R_m), sedangkan pada daerah di bawah kurva yang tidak diarsir, kemungkinan *fading* panjang/*local mean* (m) berada di atas suatu nilai tertentu (R_m) adalah satu dikurangi dengan kemungkinan *fading* panjang/*local mean* (m) berada di bawah suatu nilai tertentu (R_m)

$$P(m \geq R_m) = 1 - erf(x) \quad (2\text{-}38)$$

Sebagai contoh, akan dihitung *fading margin* dari *fading* panjang/*local mean*, apabila diketahui bahwa keandalan terhadap *fading* panjang/*local mean* adalah 95% dan simpangan baku (σ_m) pada daerah urban adalah 6. Maka:

$$P(m \geq R_m) = 1 - erf(x)$$
$$0{,}95 = 1 - erf(x)$$
$$erf(x) = 0{,}05$$

Berdasarkan tabel *error function*, dengan nilai *erf(x)*=0,05 maka diperoleh nilai *x* sebesar -1,65 sehingga nilai *fading margin* dari *fading* panjang/*local mean* adalah

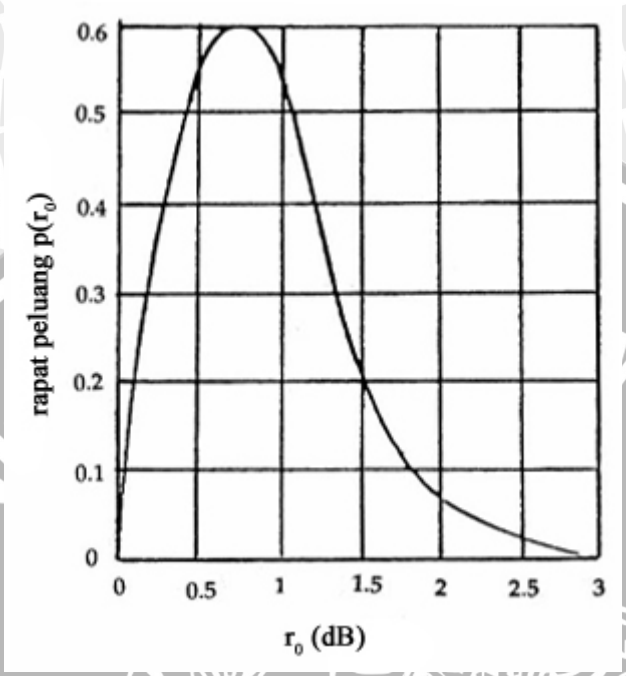
$$x = \frac{m - \overline{m}}{\sigma_m}$$
$$x = \frac{m - \overline{m}}{6} = 1{,}65$$
$$m - \overline{m} = -9{,}9$$

Berdasarkan perhitungan di atas, *fading margin* dari *fading* panjang/*local mean* yang perlu ditambahkan pada nilai minimumnya adalah 9,9 dB.

2.9.1.2 *Fading* Pendek

Fading pendek disebut juga sebagai fading lintasan jamak (*multipath fading*), atau *fading* cepat. *Fading* pendek terjadi karena sinyal merambat melalui lintasan jamak 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 MS. 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 MS. Sinyal-sinyal itu dapat saling meniadakan apabila fasanya berbeda 180˚ dan saling menguatkan apabila fasanya sama.

Gambar 2.31 menunjukkan hasil percobaan yang dilakukan oleh William C.Y. Lee mengenai pengukuran kuat sinyal penerimaan, sinyal yang mengalami *fading* pendek akan terdistribusi sesuai dengan distribusi *Rayleigh*.



Gambar 2.31 Kurva distribusi *Rayleigh*
Sumber : Lee (1993:29)

Fading pendek terdistribusi mengikuti distribusi *Rayleigh*, sehingga *fading* ini disebut juga *Rayleigh fading*, yang mempunyai persamaan fungsi rapat peluang sebagai berikut

$$p(r_0) = \begin{cases} \dfrac{\pi . r_0}{2\overline{r_0}^2} e^{-\frac{\pi . r_0^2}{4\overline{r_0}^2}} & r_0 > 0 \\ 0 & r_0 \leq 0 \end{cases} \qquad (2\text{-}39)$$

dengan

$p(r_0)$ = fungsi kerapatan peluang sinyal penerimaan yang mengalami *fading* pendek

r_0 = *fading* pendek sinyal penerima (dB)

$\overline{r_0}$ = rata-rata dari semua *fading* pendek (dB)

Dalam menghitung *fading margin* untuk mengatasi penurunan kuat sinyal penerimaan akibat *fading* pendek, digunakan Persamaan (2-40) berikut (Panter, 1992)

$$P(r_0 \geq R_0) = \int_{R_0}^{\infty} \frac{\pi . r_0}{2\overline{r_0}^2} e^{-\frac{\pi . r_0^2}{4\overline{r_0}^2}} dr_0 \qquad (2\text{-}40)$$

dengan

$P(r_0 \geq R_0)$ = Probabilitas kuat sinyal penerimaan (r_0) berada di atas nilai tertentu (R_0)

R_0 = nilai minimum *fading* panjang/*local mean* (dB)

Dengan mengintegralkan persamaan di atas, akan diperoleh Persamaan (2-41) yang dapat digunakan untuk menentukan *fading margin* dari *fading* pendek.

$$P(r_0 \geq R_0) = e^{\left(-\pi R_0^2 / 4\overline{r_0}^2\right)} \qquad (2\text{-}41)$$

Sebagai contoh, apabila keandalan sistem yang dikehendaki adalah 95%, maka:

$$P(r_0 \geq R_0) = e^{\left(-\pi R_0^2 / 4\overline{r_0}^2\right)} = 0{,}95$$

$$R_0 / \overline{r_0} = \sqrt{\frac{-4 \ln 0{,}95}{\pi}} = 0{,}2556$$

$$R_0(dB) - r_0(dB) = 20 \log 0{,}2556$$

$$= 11{,}85 dB$$

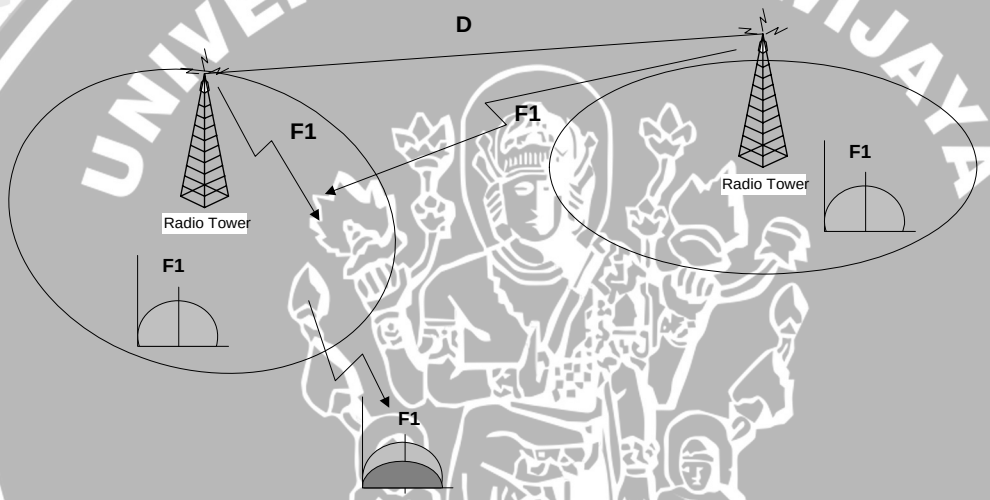
Dengan demikian, untuk mendapatkan keandalan sinyal penerimaan sebesar 95% terhadap *fading* pendek, diperlukan *fading margin* sebesar 11, 85 dB.

2.9.2 Interferensi Frekuensi

Dalam sistem telekomunikasi selular, terdapat dua parameter yang membatasi kemampuan sistem, yaitu derau (*noise*) dan interferensi. Jika hanya terdapat dua perangkat komunikasi pemancar-penerima (*transceiver*) dalam satu area, maka yang dominan membatasi unjuk kerja sistem adalah derau. Sedangkan ketika dalam suatu area terdapat beberapa unit komunikasi pemancar-penerima (*transceiver*) dan

beberapa pemakai menggunakan kanal yang sama atau berdekatan, maka unjuk kerja sistem lebih dipengaruhi oleh interferensi.

Pada sistem komunikasi selular yang memanfaatkan penggunaan frekuensi atau kanal yang sama pada area yang berdekatan, masing-masing perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik daerah sekitarnya, tetapi juga dipengaruhi oleh sinyal yang secara simultan dihasilkan oleh sejumlah perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) di sekitarnya. Fenomena ini dinamakan interferensi. Definisi interferensi sendiri adalah gangguan pada komunikasi yang disebabkan oleh ikut diterimanya sinyal frekuensi yang lain di luar sinyal frekuensi yang dikehendaki.



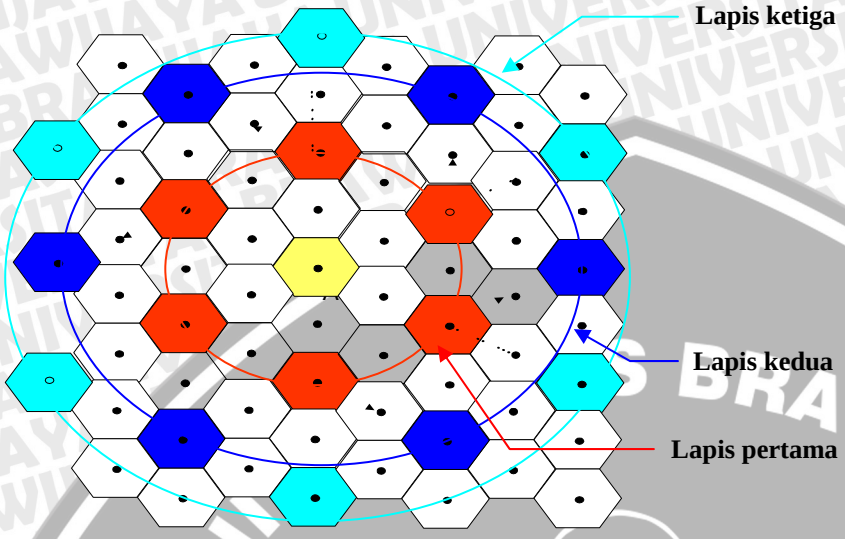
Gambar 2.32 Interferensi pada sistem komunikasi bergerak

Berdasarkan jenis penyebab terjadinya, interferensi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu interferensi kanal sama (*co-channel interference*) dan interferensi kanal berdekatan (*adjacent channel interference*).

2.9.2.1 Interferensi Kanal Sama (*Co-Channel Interference*)

Metode penggunaan kembali frekuensi (*frequency reuse*) berguna untuk meningkatkan efisiensi dalam pemakaian spektrum frekuensi. Tetapi di sisi lain, hal ini berpotensi menimbulkan interferensi *co-channel*, dimana penyebabnya adalah kanal frekuensi yang sama digunakan secara berulang-ulang dalam sel-sel lain yang berbeda (*co-channel cell*). Interferensi *co-channel* ini merupakan masalah utama dalam sistem komunikasi bergerak selular, sebab sinyal interferensi berada dalam

band yang sama dengan sinyal yang diinginkan, sehingga tidak bisa dipisahkan dengan cara penyeleksian sinyal menggunakan filter.



Gambar 2.33. Interferensi *co-channel*

Dari Gambar 2.33, dapat dilihat bahwa sinyal yang diterima oleh MS pada sel berwarna kuning bukan hanya berasal dari pemancar di pusat sel tempat MS tersebut berada, melainkan juga dari pemancar yang berasal dari sel dengan kanal frekuensi yang sama, dengan enam sel berwarna merah sebagai penyebab utama, enam sel berwarna biru tua sebagai penyebab berikutnya, dan seterusnya.

Jarak antara dua sel *co-channel* (D) dapat dituliskan sebagai fungsi dari K_I dan C/I, yaitu:

$$D = f(K_I, C/I) \tag{2-42}$$

dengan

D = jarak antara dua sel *co-channel* (km)

K_I = jumlah sel penginterferensi *co-channel* pada lapisan pertama

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio*

dan

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{K=1}^{K_I} I_K} \tag{2-43}$$

Interferensi *co-channel* dapat ditinjau dari MS maupun BTS pada pusat sel. Jika diasumsikan *noise* lokal jauh lebih kecil daripada level interferensi dan dapat diabaikan, maka C/I dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{K=1}^{K_I} D_K} \qquad (2\text{-}44)$$

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

R = jari-jari sel (km)

D = jarak antara dua sel *co-channel* (km)

γ = konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi

Nilai konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi (γ) berbeda-beda untuk setiap daerah pelayanan, umumnya berkisar antara 2 hingga 5. Nilai γ minimum yakni 2 merupakan nilai konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi di area *free space* (Lee, 1995:12). Untuk mendapatkan nilai γ, dilakukan percobaan pada berbagai daerah pelayanan, dengan menghitung selisih penerimaan sinyal rata-rata pada suatu titik dengan penerimaan sinyal rata-rata pada titik lainnya yang berjarak 10 mil (16,09344 km) dari titik pertama.

Sementara hubungan antara nilai redaman akibat rugi-rugi propagasi (γ) dengan level penerimaan sinyal (P) dapat dinyatakan seperti pada Persamaan (2-45) berikut (Lee, 1995:114).

$$P_x = P_0 - \gamma . \log\left(\frac{r_x}{r_0}\right) \qquad (2\text{-}45)$$

dengan

P_x = level sinyal yang diterima pada jarak r (dBm)

P_0 = level sinyal yang diterima pada jarak acuan (dBm)

γ = redaman akibat rugi-rugi propagasi (dB/dec)

r_x = jarak antara MS dengan BTS pemancar (mil)

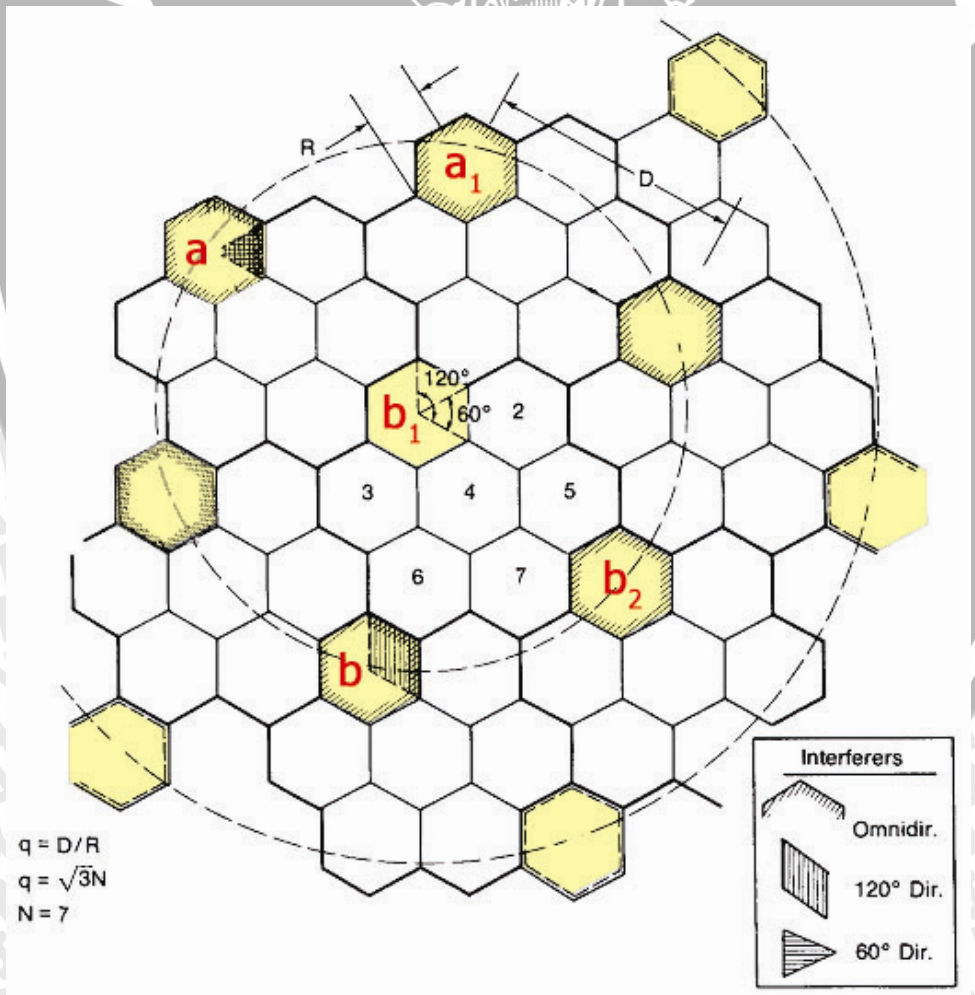
r_0 = jarak acuan antara MS dengan BTS pemancar (mil)

Dalam hal ini, yang dimaksud dengan jarak acuan adalah jarak percobaan terdekat, yaitu 1 mil dari BTS pemancar.

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2-9) pada Persamaan (2-44), diperoleh:

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\sum_{K=1}^{K_I} \left(\frac{D_K}{R} \right)^{-\gamma}} = \frac{1}{\sum_{K=1}^{K_I} (q_K)^{-\gamma}} \qquad (2\text{-}46)$$

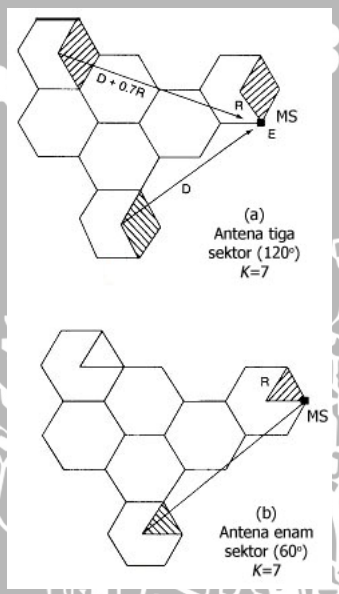
Untuk mengurangi interferensi *co-channel* , salah satu caranya adalah dengan menerapkan sistem selular yang menggunakan antena berarah (*directional*). Dengan teknik ini, setiap sel dibagi menjadi tiga atau enam sektor dengan menggunakan tiga atau enam antena *directional* pada BTS. Pada masing-masing sektor digunakan satu set frekuensi yang berbeda. Dengan ini, interferensi yang terjadi pada dua sel *co-channel* akan berkurang, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.34.



Gambar 2.34 Sel-sel yang saling berinterferensi dengan *K*=7 (dua tingkat)
Sumber : Lee (2006:433)

Pada gambar 2.34 di atas, antena enam sektor (60°) pada sel a hanya akan menginterferensi sel a_1 saja, bukan lagi keenam sektor yang ada di sekelilingnya. Sementara antena tiga sektor (120°) pada sel b hanya akan menginterferensi sel b_1 dan b_2 saja, bukan lagi keenam sektor yang ada di sekelilingnya. Jadi dapat dilihat bahwa antena *directional*, baik antena tiga sektor (120°) maupun antena enam sektor (60°) digunakan untuk meminimalisir terjadinya interferensi *co-channel*.

Adapun kondisi terburuk dalam pemakaian antena *directional* tiga sektor dan enam sektor dengan K=7 dapat dilihat pada Gambar 2.35 berikut.



Gambar 2.35 Penentuan rasio *C/I* pada sistem antena *directional*
Sumber : Lee (2006:486)

2.9.2.1.1 Antena Tiga Sektor (120°)

Pada pemakaian antena tiga sektor, jumlah sel *co-channel* yang merupakan sumber interferensi akan berkurang dari enam menjadi hanya dua buah sel, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.34. Kondisi terburuk pada pemakaian antena tiga sektor terjadi ketika MS berada di posisi E. Pada posisi ini, MS akan menerima sinyal terlemah dari sel tempatnya berada, tetapi justru akan mendapatkan sinyal interferensi yang cukup kuat dari sel *co-channel*-nya. Jarak antara MS dengan kedua antena sumber interferensi pada sel *co-channel*-nya adalah D dan D+0,7R, seperti dapat dilihat pada gambar 2.35(a). Nilai *C/I* dapat diperoleh dengan Persamaan (2-47).

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{(D+0{,}7R)^{-\gamma} + D^{-\gamma}} = \frac{1}{(q+0{,}7)^{-\gamma} + q^{-\gamma}} \quad (2\text{-}47)$$

dengan

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

q = *reuse ratio*

D = jarak antara dua sel *co-channel* (km)

R = jari-jari sel (km)

2.9.2.1.2 Antena Enam Sektor (60°)

Pada pemakaian antena enam sektor, digunakan antena *directional* dengan lebar berkas pancar 60°. Dengan teknik ini, maka sel *co-channel* yang akan menjadi sumber interferensi hanya satu buah, dengan jarak dari sumber sel sebesar $D+0{,}7R$. Sehingga nilai *C/I* pada kasus ini akan dapat diperoleh dengan Persamaan (2-48).

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{(D+R)^{-\gamma}} = \frac{1}{(q+1)^{-\gamma}} \quad (2\text{-}48)$$

dengan

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

q = *reuse ratio*

D = jarak antara dua sel *co-channel* (km)

R = jari-jari sel (km)

Dapat dilihat bahwa pemakaian antena enam sektor ini memberikan pengurangan yang lebih besar terhadap terjadinya interferensi *co-channel*.

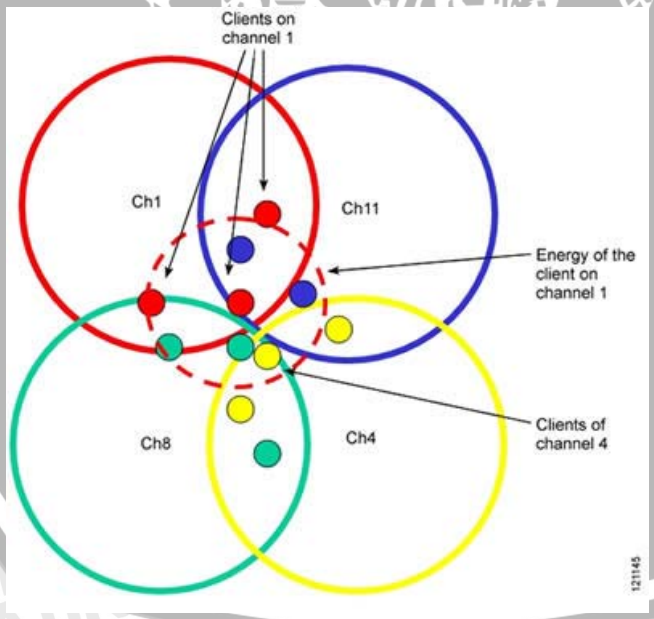
Salah satu keuntungan sistem yang memakai antena enam sektor (60°), yaitu akan diperoleh unjuk kerja yang baik, terutama dalam kualitas suara. Tetapi sistem ini tetap saja memiliki beberapa kekurangan, antara lain:

1. Membutuhkan antena yang lebih banyak pada menara BTS suatu sel, sehingga relatif tidak ekonomis.
2. Akan sering terjadi mekanisme *handover*, karena meningkatnya kemungkinan MS bergerak melintasi sektor.

Dengan demikian, jika desain antena *directional* 120° telah mencukupi unjuk kerja sistem yang diinginkan, dengan mempertimbangkan kekurangan-kekurangan pemakaian antena enam sektor, biasanya lebih dipilih sistem antena dengan tiga sektor (120°).

2.9.2.2 Interferensi Kanal Bersebelahan (*Adjacent Channel Interference*)

Interferensi kanal bersebelahan akan terjadi ketika energi sinyal dari suatu kanal memasuki kanal di sebelahnya, atau karena filter yang digunakan terlalu lebar. Sinyal yang tidak diinginkan ini dapat berasal dari kanal dengan *band* frekuensi sel lain di sebelahnya (*next channel interference*), maupun yang berasal dari kanal yang dioperasikan dalam satu sel atau sektor yang sama dan digunakan secara simultan pada satu BTS yang sama (*neighboring channel interference*).



Gambar 2.36 *Adjacent channel interference*
Sumber : http://www.cisco.com

Seperti dapat kita lihat pada gambar 2.36, dimana frekuensi dari kanal sebelah dapat menginterferensi frekuensi asli dari kanal yang melayani seorang pengguna. Seharusnya, pengguna berwarna merah hanya dilayani oleh frekuensi pada lingkaran

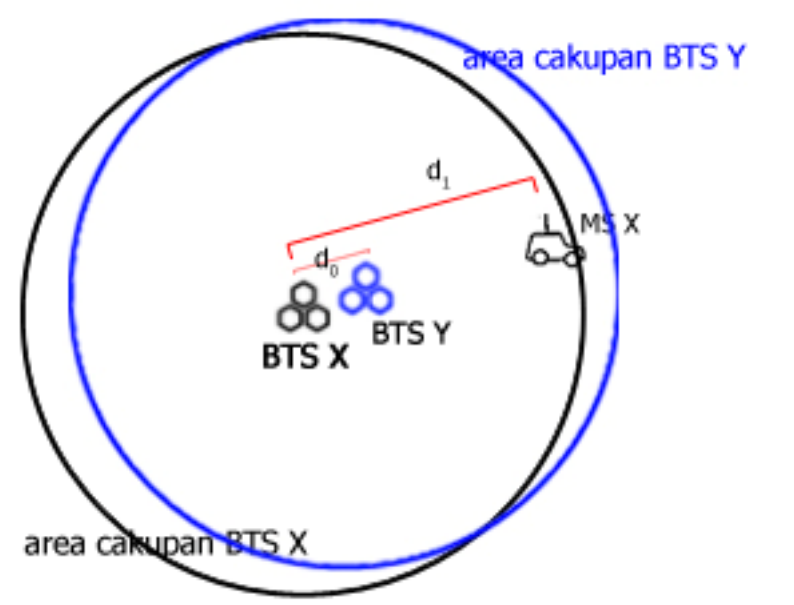
kanal yang berwarna merah. Tetapi di beberapa area, dia mengalami interferensi frekuensi dari lingkaran kanal sebelahnya yang berwarna biru dan hijau. Hal serupa juga terjadi pada pengguna berwarna biru, kuning, dan hijau.

Interferensi kanal bersebelahan ini lebih mudah dikendalikan daripada interferensi *co-channel*, sebab interferensi kanal bersebelahan ini berada di luar *band* frekuensi yang diinginkan, sehingga akan lebih mudah dipisahkan. Terdapat dua cara untuk mengurangi pengaruh interferensi kanal bersebelahan ini, yaitu:

1. Menggunakan filter yang baik
2. Melakukan pemisahan frekuensi

Pada prinsipnya, akan lebih mudah mengendalikan interferensi kanal bersebelahan dengan cara pemfilteran pada pemancar dan penerima. Filter pada pemancar bertujuan agar sinyal yang dipancarkan benar-benar berada dalam *band* frekuensi yang dimaksudkan. Sedangkan filter pada bagian penerima bertujuan untuk menahan sinyal di luar *band* frekuensi yang dimaksud.

Salah satu bentuk dari interferensi kanal bersebelahan (*adjacent channel interference*) adalah *near end-far end interference*, yang dapat dipahami seperti pada Gambar 2.37 berikut.



Gambar 2.37. Ilustrasi *Near end-Far end Interference* pada Sistem *One Tower, One Operator*

Seorang pengguna telepon seluler dengan SIM*card* dari operator X sedang berada di lebih dekat dengan BTS dari operator Y, sedangkan jarak dari pengguna tersebut ke BS operator X yang seharusnya melayaninya lebih jauh, meskipun sebenarnya masih berada dalam area cakupannya. Dalam kondisi seperti ini, sinyal yang diterima oleh MS X dari BTS X sangat mungkin terpengaruh interferensi dari sinyal yang dipancarkan BTS Y di dekatnya. Dengan catatan, interferensi hanya akan terjadi jika tidak ada koordinasi antara kedua operator (X dan Y) untuk menggunakan kanal frekuensi yang berjauhan pada BTS-BTS yang letaknya berdekatan (Lee, 2006:462).

Untuk menghitung besarnya *carrier to interference ratio* (C/I), digunakan Persamaan (2-49) berikut.

$$\frac{C}{I} = 10.\log\left(\frac{d_0}{d_1}\right)^{-\gamma} \qquad (2\text{-}49)$$

dengan

C/I	=	*carrier to interference ratio*	(dB)
d_0	=	jarak antara BTS yang seharusnya melayani dengan BTS yang menginterferensi	(m)
d_1	=	jarak antara MS dengan BTS yang seharusnya melayani	(m)
γ	=	konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi	

2.9.3 Level Penerimaan Sinyal

Interferensi sangat berpengaruh pada kriteria performansi sistem komunikasi seluler yaitu kualitas suara (*voice quality*), kualitas layanan (*service quality*) dan fasilitas tambahan (*special features*). Performansi sistem terhadap interferensi dilambangkan dengan *C/I* (*carrier to interference ratio*). Pada sistem GSM, *C/I* minimum bernilai 9 dB untuk GSM dengan *frequency hopping* dan 12 dB untuk GSM tanpa *frequency hopping*. Pengukuran terhadap *C/I* ini dapat dilakukan di MS (*Mobile Station*) maupun di BS (*Base Station*). Cara melakukan pengukuran *C/I* dari MS adalah sebagai berikut (Kurniawan, 2000).

1) Level sinyal diukur melalui sebuah kanal (f_1), kondisi tidak terjadi *co-channel interference*.
2) Melalui kanal lain (f_2), diukur level sinyal saat terjadi interferensi yang berasal dari enam sel lapis pertama.

Maka nilai *C/I* akan dapat dihitung dengan Persamaan (2-50).

$$\frac{C}{I} = \text{level } f_1 - \text{level } f_2 \qquad (2\text{-}50)$$

dengan

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

Level f_1 = level sinyal dalam kondisi normal

Level f_2 = level sinyal saat terjadi interferensi yang berasal dari enam sel lapis pertama

Sebagai contoh, dilakukan pengukuran interferensi *co-channel* dari MS. Dengan nilai *C/I* pada GSM tanpa *frequency hopping* minimum adalah 12 dB, kita akan mendapatkan dua hasil pengukuran.

- Jika C/I > 12 dB hampir di seluruh wilayah sel, bisa disimpulkan bahwa desain sistem sudah baik
- Jika C/I < 12 dB, bisa disimpulkan bahwa terjadi interferensi *co-channel* pada sistem.

Sedangkan untuk mengukur nilai *C/I* dari BS, kita harus melakukan pengukuran pada satu per satu kuat sinyal yang berasal dari setiap sel *interferer* pada base station yang ditinjau (Kurniawan, 2000).

Perencanaan level sinyal penerimaan minimum (SS_{design}) digunakan untuk merencanakan level sinyal penerimaan minimum berdasarkan berbagai kondisi MS di luar gedung (*outdoor*), di dalam mobil (*in-car*), dan di dalam gedung (*indoor*). Sebelum menghitung level sinyal penerimaan minimum yang direncanakan, terlebih dahulu dihitung level sinyal penerimaan minimum yang dibutuhkan dengan menggunakan Persamaan (2-51) berikut (Ericsson, 2000:24)

$$SS_{req} = MS_{sens} + RF_{m\arg} + IF_{m\arg} + BL \qquad (2\text{-}51)$$

dengan

SS_{req}	=	level penerimaan minimum yang dibutuhkan	(dBm)
MS_{sens}	=	sensitivitas MS	(dBm)
RF_{marg}	=	*rayleigh fading margin*	(dB)
IF_{marg}	=	*interference margin*	(dB)
BL	=	*body loss*	(dB)

Setelah diperoleh level sinyal penerimaan minimum yang dibutuhkan (SS_{req}), kemudian menghitung level sinyal penerimaan minimum yang akan direncanakan untuk berbagai kondisi letak MS dengan menggunakan persamaan berikut (Ericsson, 2000:25)

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} \quad \text{MS } outdooor \quad (2\text{-}52)$$

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} + CPL \quad \text{MS } in\text{-}car \quad (2\text{-}53)$$

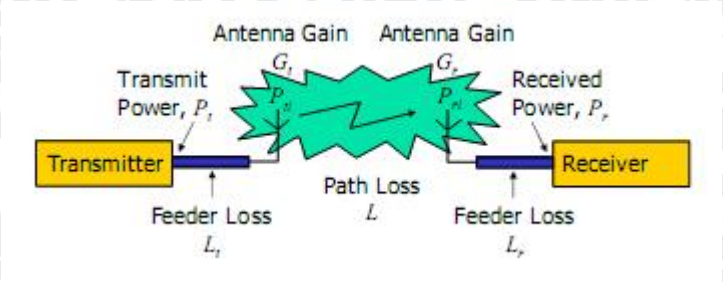
$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(i)} + BPL \quad \text{MS } indoor \quad (2\text{-}54)$$

dengan

SS_{design}	=	level sinyal penerimaan minimum yang direncanakan	(dBm)
SS_{req}	=	level sinyal penerimaan minimum yang dibutuhkan	(dBm)
$LNF_{marg(o)}$	=	*log-normal fading margin outdoor*	(dBm)
$LNF_{marg(i)}$	=	*log-normal fading margin indoor*	(dBm)
CPL	=	*car penetration loss*	(dB)
BPL	=	*building penetration loss*	(dB)

2.9.4 *Path Loss*

Path loss antara gelombang yang ditransmisikan dengan lingkungan yang dilewati sepanjang perjalanan dari dipancarkan meliputi semua efek redaman yang berkaitan dengan jarak propagasi maupun interaksi oleh *transmitter* hingga diterima oleh *receiver*.



Gambar 2.38 Ilustrasi *path loss*.
Sumber : Saunders (1999)

Dari Gambar 2.38 di atas, kita bisa menghitung daya yang masuk ke terminal input dari *receiver* (P_r) dengan Persamaan (2-55) berikut.

$$P_r = \frac{P_t.G_t.G_r}{L_t.L.L_r} \tag{2-55}$$

dengan

P_r = daya yang diterima (watt)
P_t = daya yang dipancarkan (watt)
G_r = *gain* antena *receiver* (dB)
G_t = *gain* antena *transmitter* (dB)
L_r = *feeder loss* pada *receiver* (dB)
L_t = *feeder loss* pada *transmitter* (dB)
L = *path loss*

Sementara EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) dan *Effective Isotropic Received Power* dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2-56) dan (2-57) berikut.

$$P_{ti} = \frac{P_t.G_t}{L_t} \tag{2-56}$$

$$P_{ri} = \frac{P_r.G_r}{L_r} \tag{2-57}$$

dengan

P_{ti} = *effective isotropic radiated power* (watt)

P_{ri} = *effective isotropic received power* (watt)

P_t = daya yang dipancarkan (watt)

P_r = daya yang diterima (watt)

G_t = *gain* antena *transmitter* (dB)

G_r = *gain* antena *receiver* (dB)

L_t = *feeder loss* pada *transmitter* (dB)

L_r = *feeder loss* pada *receiver* (dB)

Path Loss adalah perbandingan antara EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) dengan *Effective Isotropic Received Power*

$$L = \frac{P_{ti}}{P_{ri}} \tag{2-58}$$

dengan

L = *path loss*

P_{ti} = *effective isotropic radiated power* (watt)

P_{ri} = *effective isotropic received power* (watt)

atau untuk menyatakan *path loss* (L) dalam satuan dB, Persamaan (2-58) di atas dapat disesuaikan menjadi $L = 10 \log \frac{P_{ti}}{P_{ri}}$.

2.9.4.1 *Free Space Path Loss*

Pada jarak yang relatif jauh dari antena *transmitter*, kira-kira $d >> \frac{2D^2}{\lambda}$, dimana d adalah jarak antena *transmitter* dengan antena *receiver*, sedangkan D adalah dimensi terluas dari antena dan λ adalah panjang gelombang, *free space path loss* dapat dihitung dengan Persamaan (2-59) berikut.

$$L = \frac{(4\pi)^2 d^2}{\lambda^2} \tag{2-59}$$

dengan

L = *free space path loss*

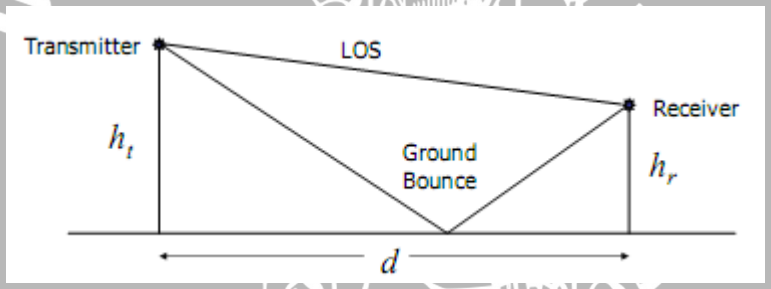
d = jarak antena *transmitter* dengan antena *receiver* (m)

λ = panjang gelombang (m)

free space path loss ini juga dapat dinyatakan dalam satuan dB, sehingga Persamaan (2-59) dapat disesuaikan menjadi $L = 10\log\frac{(4\pi)^2 d^2}{\lambda^2}$ atau $L = 20\log\frac{4\pi d}{\lambda}$.

2.9.4.2 *Flat Earth Path Loss*

Pada permukaan bumi yang rata (*flat earth area*), ketika terdapat jalur propagasi LOS (*Line-of-Sight*), maka jalur propagasi yang terkuat berikutnya adalah yang terlebih dahulu memantul ke tanah.



Gambar 2.39 *Flat earth propagation*
Sumber : Ingram (2003)

Pada Gambar 2.39 dapat kita lihat objek *transmitter* dan *receiver* yang berdiri di permukaan bumi yang datar, terpisah jarak sejauh *d*. Ada dua macam jalur propagasi yang ditempuh sinyal dari *transmitter* menuju *receiver*, yaitu jalur LOS (*Line-of-Sight*) dan jalur yang terlebih dahulu memantul ke tanah (*ground bounce*).

Untuk mendapatkan nilai *flat earth path loss*, kita dapat menggunakan Persamaan (2-60) berikut

$$L = \frac{d^4}{h_t^2 . h_r^2} \qquad (2\text{-}60)$$

dengan

L = *flat earth path loss*

h_t = tinggi antena *transmitter* (m)

h_r = tinggi antena *receiver* (m)

d = jarak antena *transmitter* dengan antena *receiver* (m)

atau untuk menyatakan *flat earth path loss* (L) dalam satuan dB, Persamaan (2-60) dapat disesuaikan menjadi $L = 10\log\frac{d^4}{h_t^2 . h_r^2}$ atau $L = 20\log\frac{d^2}{h_t . h_r}$.

2.9.5 Jari Jari Sel

Dalam perencanaan sel, penentuan jenis/tipe sel yang akan dirancang terlebih dulu harus ditentukan dengan memperhatikan tipe daerah lokasi layanan. Berdasarkan jari-jari sel terdapat tiga jenis sel yaitu sel besar, sel kecil, dan mikrosel.

2.9.5.1 Sel Besar

Pada sel besar, antena BS dapat dikonfigurasi untuk mencapai ketinggian yang optimal. Jarak sel minimal dalam perencanaan menggunakan perhitungan sel besar ini adalah 1 km dan biasanya digunakan untuk jari-jari sel di atas 3 km. Model perambatan gelombang dan rugi-rugi lintasan yang dipakai dalam sel ini adalah model Hatta untuk GSM 900 dan model COST 231-Hatta untuk DCS 1800.

Sel ini biasanya diaplikasikan untuk daerah *rural* dan *sub urban* karena akan menghasilkan jari-jari sel yang besar. Namun demikian, implementasi sel ini juga dilakukan untuk daerah *urban* dengan tujuan meningkatkan kapasitas trafik dengan menopang sel-sel kecil (*cell splitting*).

Berdasarkan model Hatta, persamaan umum dalam menentukan jari –jari sel GSM 900 adalah

$$\log(R) = \frac{Lp - 69.55 - 26.16\log f_c + 13.2\log(Hb) + a(Hm)}{44.9 - 66.5\log(Hb)} \qquad (2\text{-}61)$$

dengan

R	=	jari-jari sel besar	(m)
Lp	=	rugi-rugi lintasan	(dB)
f_c	=	frekuensi pembawa	(900 Mhz)
Hb	=	tinggi antena BTS	(m)
$a(Hm)$	=	faktor koreksi untuk tinggi antena MS dalam beberapa tipe daerah.	

Untuk menentukan jari-jari sel DCS 1800 yang menggunakan Model COST 231-Hatta digunakan Persamaan (2-62)

$$\log(R) = \frac{Lp - 46.3 - 33.9\log f_c + 13.2\log(Hb) + a(Hm) - Cm}{44.9 - 66.5\log(Hb)} \quad (2\text{-}62)$$

dengan

R	=	jari-jari sel besar	(m)
Lp	=	rugi-rugi lintasan	(dB)
f_c	=	frekuensi pembawa	(900 Mhz)
Hb	=	tinggi antena BTS	(m)
$a(Hm)$	=	faktor koreksi untuk tinggi antena MS dalam beberapa tipe daerah.	
Cm	=	faktor koreksi berdasarkan tipe daerah.	

2.9.5.2 Sel Kecil

Daerah cakupan untuk perhitungan jari-jari dengan metode sel kecil ini akurat untuk rentang 0,2 km sampai 5 km, biasanya sekitar 3 km. Karakteristik lain pada sel ini yaitu ketinggian antena yang berkisar 4 m – 50 m. Model perambatan dan rugi-rugi lintasan yang dipakai dalam sel kecil adalah model COST 231-Walfish-Ikegami baik untuk GSM 900 maupun DCS 1800. Persamaan umum untuk menghitung jari-jari sel adalah sebagai berikut

$$\log(R) = \frac{L_p - L_o - L_{rts} - L_{msd}}{20 + k_d} \quad (2\text{-}63)$$

dengan

R	=	jari-jari sel kecil	(m)
L_p	=	rugi-rugi lintasan	(dB)
L_o	=	*free space loss*	(dB)

L_{rts} = *rooftop-to-street diffraction loss*/losses akibat difraksi dari atap gedung jalan (dB)

L_{msd} = *multiple diffraction loss* (dB)

k_d = faktor ketergantungan *multiple diffraction loss* terhadap jarak gelombang

Perencanaan sel kecil biasanya digunakan untuk perencanaan sel dengan trafik seperti dalam kota, oleh sebab itu ada beberapa parameter tentang keadaan daerah seperti lebar jalan, tinggi gedung, sudut orientasi, dan jarak antar gedung yang merupakan ciri-ciri perkotaan atau daerah urban.

2.9.5.3 *Microcell*

Perencanaan menggunakan metode sel kecil juga dapat digunakan untuk perencanaan *microcell*, namun *microcell* yang dimaksud di sini adalah ketika antara MS dan BTS tidak terdapat suatu penghalang apapun. Model perambatan dan rugi-rugi lintasan yang dipakai untuk perencanaan *microcell* ini adalah suatu model yang diambil dari keadaan di jalan Canyon dan biasa digunakan untuk perencanaan *microcell* jangkauan 200 – 300 m yang mempunyai persamaan umum

$$\log(R) = \frac{L_{wm-LOS} - 42.64 - 20\log f_c}{20} \qquad (2\text{-}64)$$

dengan

R = jari-jari *microcell* (m)

$L_{wm\text{-}LOS}$ = rugi-rugi lintasan dalam kondisi LOS (*Line-of-Sight*) (dB)

f_c = frekuensi pembawa (900 Mhz)

2.9.6 *Coverage Area* (Cakupan Wilayah Sel)

Secara ideal, bentuk ideal dari sebuah sel adalah lingkaran, namun dalam pelaksanaannya bentuk ini sulit untuk diterapkan. Sehingga dalam sistem seluler, bentuk heksagonal (segi enam) ditetapkan sebagai bentuk sel, sebab bentuk inilah yang paling mendekati ideal. Selain itu, dengan radius sel yang sama, penggunaan sel heksagonal memerlukan jumlah sel yang lebih sedikit untuk mencakup suatu wilayah layanan dibanding dengan bentuk sel yang lain. Luas sel dengan bentuk segi enam ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Ericsson, 2000:31)

$$\text{Luas segi enam} = \frac{3}{2}\sqrt{3}R^2 = 2{,}598R^2 \quad (2\text{-}65)$$

dengan

R = jari-jari sel (km^2)

Luas setiap sel omni (sel dengan BTS yang menggunakan antena *omnidirectional*) sama dengan luas segi enam, seperti pada Persamaan (2-65). Sedangkan untuk sel tiga sektor (sel dengan BTS yang menggunakan antena *directional* 120º), luas setiap sektornya dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-66) berikut.

$$\text{Luas sektor} = \frac{9}{8}\sqrt{3}R^2 \quad (2\text{-}66)$$

dengan

R = jari-jari sel (km^2)

Cakupan trafik adalah radius maksimum dari sel ditinjau dari jumlah pelanggan pada daerah tertentu, pesamaannya adalah sebagai berikut

$$R = \sqrt{\frac{Atot}{As \times \pi \times \rho}} \quad (2\text{-}67)$$

dengan

$Atot$ = jumlah pelanggan yang dapat ditampung oleh BTS (tergantung banyaknya kanal yang tersedia juga GOS tiap BTS)

ρ = kerapatan pelanggan / km^2

R = Radius sel (km)

2.10 Parameter Performansi Jaringan GSM (Parameter *Network*)

Setelah menentukan dampak penggunaan satu menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi terhadap *coverage area* dan level penerimaan sinyal, diperlukan analisa yang lebih spesifik pada performansi sistem untuk melayani kebutuhan pelanggan melakukan panggilan. Aspek yang perlu kita analisa tersebut dapat tercakup pada sebuah parameter *network*.

Parameter *network* merupakan batasan atau ukuran yang digunakan sebagai alat bantu penilaian kondisi, unjuk kerja dan kehandalan sebuah jaringan telekomunikasi (Divlat. PT. TELKOM-2000). Parameter *network* mempunyai beberapa fungsi, diantaranya:

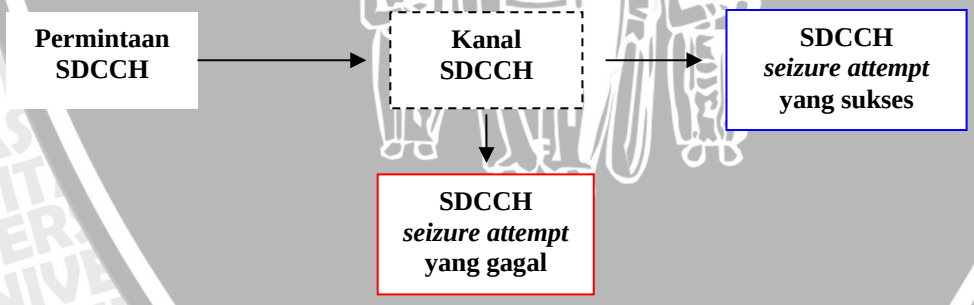
1. Untuk menganalisa dan mengevaluasi jaringan (*network*) secara sistem.
2. Untuk mengetahui titik lemah jaringan (*network*).
3. Untuk mempermudah pengambilan keputusan dan segera diambil tindakan yang cepat dan tepat.

Beberapa parameter yang dapat digunakan untuk melihat performansi sistem setelah diberlakukannya penggunaan satu menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi secara bersama-sama adalah:

1. *SDCCH blocking*
2. *TCH blocking*
3. *Successful call*

2.9.1 SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*)*Blocking*

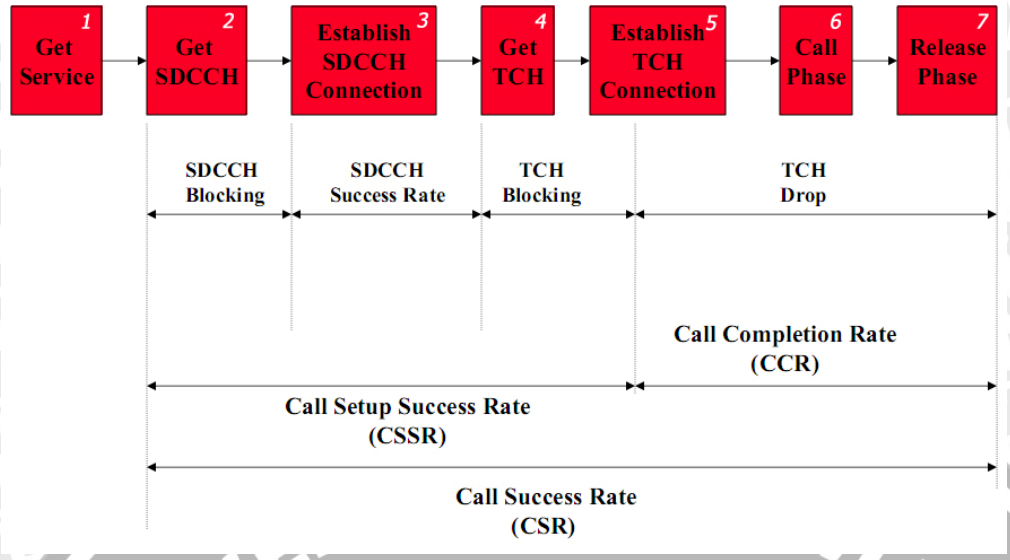
Untuk mendapatkan kanal pembicaraan (TCH), MS harus terlebih dahulu menduduki kanal SDCCH. Ketika terjadi kegagalan penyediaan kanal SDCCH dari suatu BSC inilah yang disebut SDCCH *blocking*.



Gambar 2.40 SDCCH *blocking*
Sumber : Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication

SDCCH *blocking* terjadi ketika MS tidak berhasil mendapatkan kanal SDCCH ketika memulai koneksi dengan BSC pada proses *call set-up*.

Proses *call set-up* dapat dilihat pada Gambar 2.41



Gambar 2.41 Diagram blok proses *call set-up*

Pada Gambar 2.41, jumlah permintaan SDCCH dilihat dari berapa kali MS melakukan proses 2 (*get* SDCCH). Dalam proses ini, MS mengirimkan sebuah *access burst* pada BSC melalui RACH. Jika permintaan ini dikabulkan, *call set-up* akan berlanjut dengan BSC mengalokasikan satu kanal SDCCH untuk MS, yang disampaikan melalui AGCH. Pada Gambar 2.41, proses ini digambarkan pada blok ke 3 (*etablish* SDCCH *connection*). Tapi jika permintaan MS ini tidak dikabulkan oleh BSC, *call set-up* akan terhenti di sini. Jumlah kegagalan pendudukan SDCCH dilihat dari berapa kali MS gagal meneruskan *call set-up* dari proses 2 ke proses 3. Setelah itu, MS juga mengirimkan keperluan-keperluan pensinyalan untuk menyukseskan sebuah *call set-up* seperti prosedur autentifikasi, identifikasi perangkat MS (IMEI), dan proses *ciphering* kepada MSC/VLR, juga melalui kanal SDCCH. MS juga menginformasikan layanan apa yang hendak dilakukan (pembicaraan, pesan singkat/SMS, atau layanan data yang lain) pada MSC/VLR dan nomor MS tujuan.

Selanjutnya, MSC/VLR yang akan melakukan panggilan yang hendak dilakukan mungkin untuk direalisasikan. Dalam proses ini, MSC/VLR akan melihat apakah MS tujuan terhubung dengan jaringan, juga apakah MS tujuan tidak sedang melakukan panggilan (sibuk).

SDCCH *blocking* dinyatakan dalam persen (%), dan nilai yang diharapkan adalah 0% yang berarti tidak terjadi kegagalan dalam penyediaan kanal SDCCH. Sementara standar yang dibolehkan adalah kurang dari 5%. SDCCH *blocking* ini

dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-68) berikut (Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication B5.1, GSM Network Monitoring)

$$\text{SDCCH } blocking = \frac{\sum \text{kegagalan pendudukan SDCCH}}{\sum \text{permintaan SDCCH}} \times 100\% \quad (2\text{-}68)$$

Sementara jumlah kegagalan pendudukan SDCCH dan jumlah permintaan SDCCH didapatkan dengan melihat performansi BTS dalam parameter-parameter khusus yang biasa digunakan oleh operator-operator seluler sebagai berikut.

$$\text{SDCCH } blocking = \frac{c4}{c4 + c148} \times 100\% \quad (2\text{-}69)$$

dengan

c4 = jumlah permintaan pendudukan SDCCH yang gagal, karena semua SDCCH sudah terpakai

c148 = jumlah permintaan SDCCH selain *handover*

Sementara SDCCH *drop*, yang terjadi ketika SDCCH yang diminta sudah berhasil diduduki tapi kemudian jatuh, dapat diperoleh dengan Persamaan (2-70) berikut.

$$\text{SDCCH } drop = \frac{\sum \text{SDCCH } dropped}{\sum \text{trafik SDCCH}} \times 100\% \quad (2\text{-}70)$$

$$\text{SDCCH } drop = \frac{c138 + c8 + c5}{c1 + c2} \times 100\% \quad (2\text{-}71)$$

dengan

c138 = jumlah kegagalan radio link yang dideteksi selama transaksi SDCCH

c8 = jumlah waktu MS untuk ke kanal terdahulu setelah tidak berhasil menduduki SDCCH

c5 = jumlah transaksi SDCCH yang gagal akibat problem pada BSS dan kegagalan pengaksesan

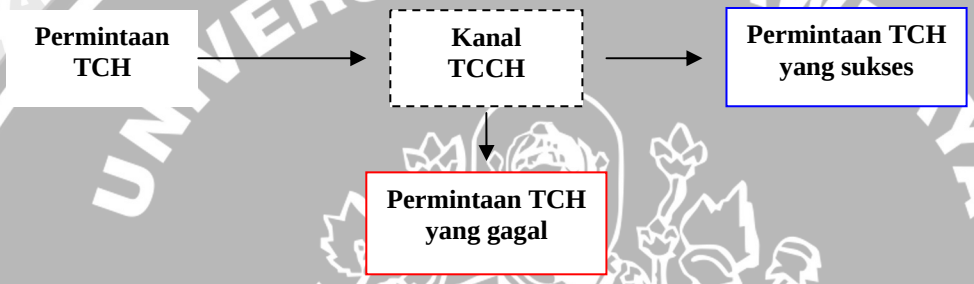
c1 = jumlah transaksi SDCCH yang sukses untuk *terminating call*

c2 = jumlah transaksi SDCCH yang sukses untuk *originating call*

Standar SDCCH *drop* yang masih ditolerir adalah kurang dari 4% (Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication B5.1, GSM Network Monitoring).

2.10.2 TCH (*Traffic Channel*) *Blocking*

Persentase dari kegagalan *call set-up* dikarenakan tidak berhasil didapatkannya kanal TCH dibandingkan dengan banyaknya permintaan terhadap kanal pembicaraan (kanal TCH) tersebut akan mengakibatkan terjadinya TCH *blocking*. Apabila kanal pembicaraan yang tersedia di BSC tidak sebanding dengan jumlah permintaan TCH, akan terjadi *loss call* atau disebut juga TCH *drop*.



Gambar 2.42 TCH *blocking*
Sumber : Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication

Besarnya TCH *blocking* dari suatu BTS dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2-72) berikut (Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication B5.1, GSM Network Monitoring).

$$\text{TCH } blocking = \frac{\sum \text{permintaan TCH yang gagal}}{\sum \text{permintaan TCH}} \times 100\% \qquad (2\text{-}72)$$

Sementara jumlah permintaan TCH yang gagal dan jumlah permintaan TCH didapatkan dengan melihat performansi BTS dalam parameter-parameter khusus yang biasa digunakan oleh operator-operator seluler sebagai berikut.

$$\text{TCH } blocking = \frac{c12 - c41a}{c18a + c12 - c41a} \times 100\% \quad (2\text{-}73)$$

dengan

c12 = jumlah permintaan pendudukan TCH yang gagal karena tidak tersedianya TCH

c41a = jumlah kegagalan *handover inter*-BSC karena tidak tersedianya TCH

c18a = jumlah kegagalan *handover inter*-BSC karena tidak tersedianya TCH

Standar TCH *blocking* yang diperbolehkan adalah kurang dari 2% (Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication B5.1, GSM Network Monitoring). Gagalnya permintaan TCH terjadi jika BSC tidak berhasil menyediakan kanal pembicaraan (kanal TCH) untuk MS yang melakukan *call set-up*.

Pada proses sebelumnya kanal SDCCH berhasil menyampaikan permintaan *call set-up* pada MSC/VLR. Selanjutnya, MSC/VLR ini akan menugaskan BSC untuk mengalokasikan TCH yang tepat untuk melayani permintaan MS. Proses ini digambarkan dengan blok nomor 4 (*get* TCH) pada Gambar 2.38. Setelah BSC menemukan kanal TCH yang tepat, kanal TCH tersebut akan diaktifkan pada BTS yang melayani MS, seperti digambarkan oleh blok nomor 5 (*establish* TCH *connection*) pada Gambar 2.41, sehingga proses *call set-up* dapat dilanjutkan.

Selain TCH *blocking*, parameter lain yang nantinya juga akan mempengaruhi kegagalan *call set-up* (*connection failure*) adalah TCH *fail radio* dan TCH *fail* BSS *problem*.

$$\text{TCH } fail\ radio = \frac{\sum mobile\ radio\ access\ failure}{\sum \text{permintaan TCH}} \times 100\% \quad (2\text{-}74)$$

$$\text{TCH } fail\ radio = \frac{c14b}{c18 + c12 - c41a} \times 100\% \quad (2\text{-}75)$$

dengan

c14b = jumlah transaksi RTCH (tidak termasuk *handover* dan prosedur permintaan panggilan) yang gagal karena kegagalan akses radio oleh MS

c12 = jumlah permintaan pendudukan TCH yang gagal karena tidak tersedianya TCH

c41a = jumlah kegagalan *handover inter*-BSC karena tidak tersedianya TCH

c18a = jumlah pendudukan TCH yang sukses sebagai akibat permintaan normal

Standar TCH *fail radio* yang diperbolehkan adalah lebih dari 1% (Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication B5.1, GSM Network Monitoring).

$$\text{TCH } \textit{fail BSS problem} = \frac{\sum \textit{internal BSS problem}}{\sum \text{permintaan TCH}} \times 100\% \quad (2\text{-}76)$$

$$\text{TCH } \textit{fail BSS problem} = \frac{c38}{c18a + c12 - c41a} \times 100\% \quad (2\text{-}77)$$

dengan

c38 = jumlah transaksi RTCH (tidak termasuk *handover* dan prosedur permintaan panggilan) yang gagal karena problem pada BSS

c12 = jumlah permintaan pendudukan TCH yang gagal karena tidak tersedianya TCH

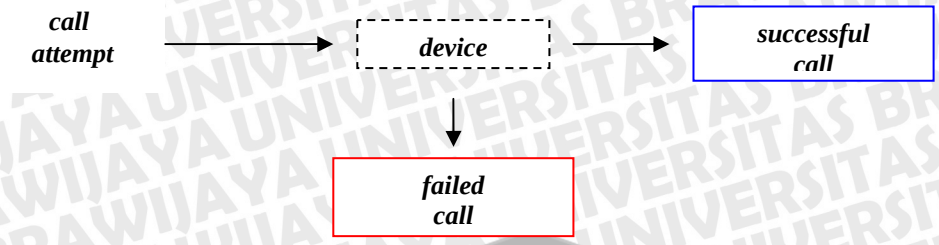
c41a = jumlah kegagalan *handover inter*-BSC karena tidak tersedianya TCH

c18a = jumlah pendudukan TCH yang sukses sebagai akibat permintaan normal

Standar TCH *fail BSS problem* yang diperbolehkan adalah kurang dari 0,5% (Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication B5.1, GSM Network Monitoring).

2.10.3 *Successful Call*

Successful call merupakan perbandingan antara jumlah panggilan yang berhasil dengan jumlah *call attempt*. Disebut juga sebagai tingkat keberhasilan panggilan dari satu pelanggan ke pelanggan lainnya. Suatu panggilan (*call*) dikatakan berhasil apabila berhasil mendapatkan jawaban. Sedangkan yang dimaksud *call attempt* adalah panggilan yang dibangkitkan sejak pelanggan melakukan *call*. *Device* merupakan peralatan yang digunakan dalam GSM untuk melakukan proses *call* yang meliputi pendudukan kanal SDCCH dan pendudukan kanal TCH.



Gambar 2.43 *Successful call*
Sumber : Alcatel, BSS-Definition of Quality of Service Indication

Untuk mendapatkan persentase *succesful call*, digunakan Persamaan (2-78).

$$\text{successful call} = 100\% - (\text{failed call} + \text{dropped call}) \quad (2\text{-}78)$$

Karena terdapat dua kejadian berbeda yang dapat menyebabkan gagalnya panggilan, yaitu *failed call* dan *dropped call*, perhitungan *successful call* dapat dilakukan dengan mengurangi kemungkinan optimal kesuksesan panggilan (100%) dengan persentase *failed call* dibanding jumlah percobaan panggilan (*call attempt*) dan persentase *dropped call* dibanding jumlah percobaan panggilan (*call attempt*).

Failed call adalah kondisi ketika MS gagal menjalani proses pendudukan SDCCH maupun TCH, seperti digambarkan oleh blok nomor 2 sampai nomor 5 pada Gambar 2.38. Dapat dikatakan, *failed call* ini terjadi sebelum pembicaraan berhasil dilakukan. Sedangkan kondisi d*ropped call* adalah suatu kondisi dimana pembicaraan yang sedang berlangsung terputus sebelum pembicaraan tersebut selesai (panggilan yang jatuh setelah kanal bicara digunakan).

Nilai *failed call*, atau seringkali juga disebut *connection failure*, bisa didapatkan dengan memperhitungkan parameter-parameter yang dijelaskan sebelumnya menggunakan Persamaan (2-79) berikut.

$$\begin{aligned} failed\ call &= SDCCH\ fail + TCH\ fail \\ &= (SDCCH\ blocking + SDCCH\ drop) + \\ &\quad (TCH\ blocking + TCH\ fail\ radio + TCH\ fail\ BSS\ problem) \end{aligned} \quad (2\text{-}79)$$

Dropped call dapat terjadi oleh berbagai hal yaitu :

1. Rugi-rugi Frekuensi Radio (*RF Loss*).
2. *Co-Channel Interference* dan *Adjacent Interference*.
3. Kegagalan *Handover* (*Handover Failure*). Terjadi jika waktu degradasi (yaitu lama waktu MS berada pada daerah yang melampaui kriteria sinyal yang ditetapkan) kurang dari waktu proses (yaitu waktu yang dibutuhkan sistem untuk melakukan proses handover)
4. MS sedang berada pada *Blank Spot Area*.

Nilai *dropped call* dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

$$dropped\ call = \frac{\sum TCH\ dropped\ after\ succesful\ assignment}{\sum \text{trafik TCH}} \times 100\% \qquad (2\text{-}80)$$

$$dropped\ call = \frac{c136 + c21 + c14c + c139}{c18b + c42 + c52 - c46 - c56} \times 100\% \qquad (2\text{-}81)$$

dengan

c136 = jumlah kegagalan *radio link* yang dideteksi sesudah pendudukan TCH oleh MS

c21 = jumlah TCH yang gagal kembali ke kanal terdahulu karena kegagalan TCH *handover*

c14c = jumlah kegagalan karena problem pada BSS sesudah pendudukan TCH oleh MS

c139 = jumlah panggilan yang dilepas karena *connecting failure/failed call* yang disebabkan oleh alarm *remote transcoder*

c18b = jumlah pendudukan TCH yang sukses dilihat dari MS untuk permintaan normal

c42 = jumlah *incoming handover inter*-MSC yang sukses

c52 = jumlah *incoming handover inter*-BSC yang sukses

c46 = jumlah *outgoing handover inter*-MSC yang sukses

c56 = jumlah *outgoing handover inter*-BSC yang sukses

Standar *dropped call* yang diperbolehkan di Indonesia adalah ≤ 5% (Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor:12/Per/M.Kominfo/04/2008 tentang Standar Kualitas Pelayanan Jasa Teleponi Dasar pada Jaringan Bergerak Selular).

Dropped call juga bisa terjadi karena mobilitas dan aktivitas pengguna ponsel yang begitu tinggi. Hal ini seringkali terjadi, misalnya ketika sekelompok pelanggan yang sedang bepergian atau *roaming* ke suatu daerah tertentu, melakukan panggilan komunikasi seluler secara serentak.

Sebuah nomor telepon seluler (contoh: 081XXXXXXX) sebenarnya teregistrasi hanya di satu wilayah tertentu. Ponsel yang nomornya terdaftar di Surabaya dan digunakan di Surabaya misalnya, sinyal panggilannya akan didefinisikan sebagai 'pelanggan bukan-tamu' oleh *Home Location Register* (HLR). Tapi bila ponsel bernomor Surabaya digunakan di Jakarta, maka sinyal panggilannya didefinisikan sebagai 'pelanggan tamu' oleh *Visitor Location Register* (VLR).

Saat sekelompok pelanggan berkomunikasi bersamaan hingga memenuhi kapasitas BTS, terjadilah *crowded channel*. Bila ini menimpa BSC (*Base Station Controller*), akan terjadi kelebihan beban, yang mengakibatkan terjadinya *dropped call*. Adapun kapasitas maksimum yang dapat dilayani oleh BTS dalam suatu sel ini disebut kapasitas kanal (*m*), yang dapat didefinisikan sebagai jumlah maksimum kanal atau *user* yang dapat disediakan/dilayani dalam sebuah frekuensi tertentu.

Kapasitas kanal (*m*) berhubungan dengan banyaknya sel dalam satu *cluster*. Sementara jumlah sel dalam satu *cluster* ini berhubungan dengan tinjauan pustaka pada sub-bab 2.8.2 tentang interferensi frekuensi. Hubungan antara jumlah sel dalam satu *cluster* dengan C/I diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (2-6), (2-7), dan (2-44) menjadi sebagai berikut.

$$K = \frac{\left(C/I\right)^{2/\gamma}}{3} \qquad (2\text{-}82)$$

dengan

K = jumlah sel dalam satu *cluster*

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

γ = konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi

Kapasitas kanal dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut, yang dibedakan menjadi kapasitas kanal sel *omnidirectional* dan kapasitas kanal sel *directional*.

a) Kapasitas kanal untuk sel *omnidirectional*

$$m = \frac{M}{K} \tag{2-83}$$

dengan

m = kapasitas kanal (kanal)

M = kapasitas kanal total dalam satu *cluster* (kanal)

K = jumlah sel dalam satu *cluster*

sementara kapasitas kanal total dalam satu *cluster* (M) dinyatakan dengan Persamaan (2-84) berikut

$$M = \frac{B_t}{B_c} \tag{2-84}$$

dengan

M = kapasitas kanal total dalam satu *cluster* (kanal)

B_t = bandwidth total *uplink/downlink* (Hz)

B_c = bandwidth tiap kanal (Hz)

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2-82) dan (2-84) ke dalam Persamaan (2-83), maka diperoleh:

$$m = \frac{3B_t}{B_c\left(C/I\right)^{2/\gamma}} \tag{2-85}$$

dengan

m = kapasitas kanal (kanal)

B_t = bandwidth total *uplink/downlink* (Hz)

B_c = bandwidth tiap kanal (Hz)

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

γ = konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi

b) Kapasitas kanal untuk sel *directional*

$$m = \frac{M}{S.K} \tag{2-86}$$

dengan

m = kapasitas kanal (kanal)

M = kapasitas kanal total dalam satu *cluster* (kanal)

S = jumlah sel penginterferensi

K = jumlah sel dalam satu *cluster*

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2-82) dan (2-84) ke dalam Persamaan (2-86), maka diperoleh:

$$m = \frac{3B_t}{B_c\left(S.C/I\right)^{2/\gamma}} \tag{2-87}$$

dengan

m = kapasitas kanal (kanal)

B_t = bandwidth total *uplink/downlink* (Hz)

B_c = bandwidth tiap kanal (Hz)

S = jumlah sel penginterferensi

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio* (dB)

γ = konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi

Nilai S pada Persamaan (2-87) di atas bernilai 2 untuk sistem sektorisasi 120˚ (3 sektor) atau bernilai 1 untuk sistem sektorisasi 60˚ (6 sektor).

Semakin banyak jumlah kanal yang tersedia dalam satu sel tentunya akan memperbesar kemungkinan MS akan berhasil melakukan *call set-up*, mengingat "jalan" yang tersedia cukup banyak, sehingga masing-masing MS yang melakukan penggilan tidak perlu berebut untuk menduduki kanal-kanal SDCCH maupun TCH dalam melakukan *call set-up*.

BAB III
METODOLOGI

3.1 Umum

Pembahasan dan analisis yang ditulis dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analitis, yakni penelaahan mengenai kelayakan penerapan usaha efisiensi penggunaan menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi.

Tahap-tahap kajian dan analisis yang dilakukan dalam menyelesaikan pembahasan adalah sebagai berikut.

3.2 Tahap Awal

Menentukan pokok permasalahan yang akan dibahas beserta tujuan penulisan skripsi. Selanjutnya untuk lebih memfokuskan pembahasan, diberikan batasan masalah.

3.3 Tahap Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penggunaan menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi. Materi-materi yang dipelajari di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Konsep pengulangan frekuensi (*frequency reuse*),
2. Pembelahan sel (*cell splitting*),
3. Mekanisme *handover*,
4. Sistem Komunikasi Bergerak Seluler GSM yang meliputi komponen-komponen GSM, konsep kanal pada GSM, juga alokasi frekuensi pada GSM,
5. Teori dasar trafik telekomunikasi,
6. Parameter performansi sistem, meliputi *fading*, interferensi frekuensi, level penerimaan sinyal, *path loss*, jari-jari sel, dan *coverage area* (cakupan wilayah sel),
7. Parameter performansi jaringan GSM (parameter *network*) yang meliputi SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*) *blocking*, TCH (*Traffic Channel*) *blocking*, dan *successful call*, serta
8. Teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

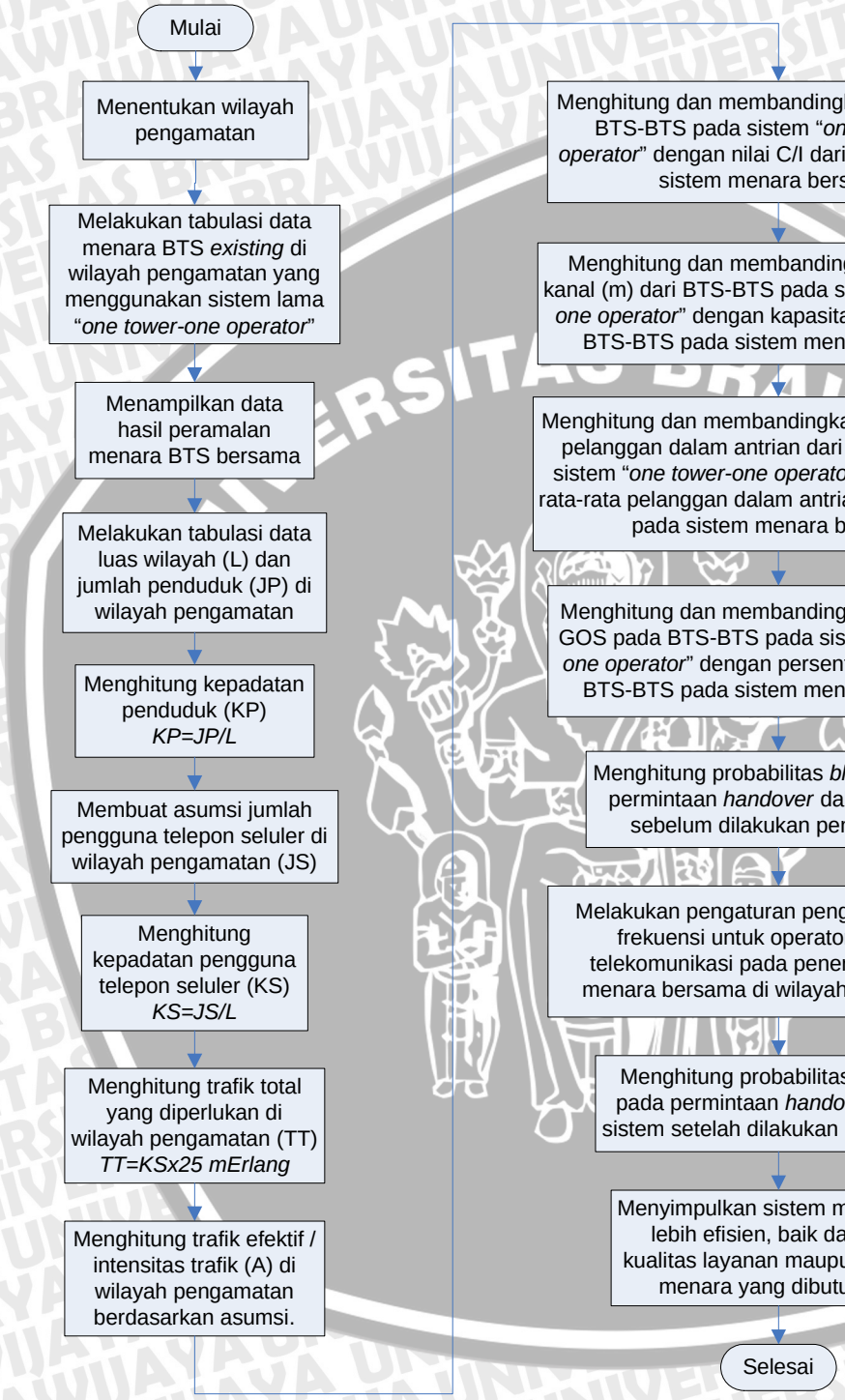
3.4 Tahap Pengambilan Data

Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, *thesis*, serta sumber-sumber dari internet berupa artikel-artikel maupun pembahasan-pembahasan di beberapa forum telekomunikasi dan informatika.

Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain adalah:

1. Luas wilayah dan jumlah penduduk di wilayah pengamatan. Pada pembahasan, kedua data ini dapat digunakan untuk menghitung kepadatan penduduk di wilayah yang diamati.
2. Persentase pengguna layanan telekomunikasi GSM di Indonesia dan jumlah penduduk Indonesia. Data-data ini akan digunakan sebagai asumsi untuk mengetahui kepadatan pengguna telepon seluler di wilayah pengamatan.
3. Besarnya trafik yang ditetapkan untuk setiap pengguna layanan telekomunikasi seluler oleh PT. Telkom selaku otoritas yang menjadi acuan pemberlakuan kebijakan telekomunikasi di Indonesia. Data ini nantinya dapat digunakan untuk menghitung besarnya beban trafik yang harus dilayani di wilayah pengamatan. Selain itu diperlukan juga data mengenai persentase trafik efektif pada suatu wilayah, yang akan digunakan sebagai asumsi untuk menentukan intensitas trafik pada wilayah pengamatan.
4. Menara-menara BTS yang *existing* di wilayah pengamatan. Data ini dapat digunakan sebagai asumsi untuk menghitung nilai C/I pada layanan telekomunikasi seluler di wilayah pengamatan.
5. Alokasi pembagian frekuensi untuk operator-operator telekomunikasi seluler di Indonesia, beserta pembagian penomoran kanal frekuensi yang ditentukan. Data ini akan digunakan untuk melakukan simulasi pengaturan penggunaan kanal frekuensi dengan sistem menara bersama di wilayah pengamatan agar layanan pada pelanggan menjadi optimal.

3.5 Tahap Analisis Data



Gambar 3.1 Diagram alir proses analisis data

Pada tahap analisis data ini, langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan tabulasi data mengenai karakteristik geografis dan kependudukan dari wilayah pengamatan. Data-data ini meliputi luas daerah dan jumlah penduduk di wilayah pengamatan.
2. Dengan data sekunder berupa persentase pengguna telepon seluler teknologi GSM di Indonesia, dapat diramalkan jumlah pengguna telepon seluler dengan teknologi GSM di wilayah pengamatan dan besarnya nilai beban trafik yang harus dilayani.
3. Dilakukan tabulasi data berikutnya mengenai menara-menara BTS *existing* yang ada di wilayah pengamatan dan sekitarnya, dimana sistem yang digunakan masih sistem lama *one tower, one operator.*
4. Ditampilkan data yang didapat dari penelitian terdahulu yang terkait dengan peramalan menara-menara BTS bersama (*co-location site*) di wilayah pengamatan dan sekitarnya.
5. Dilakukan perhitungan besarnya rasio sinyal *carrier* dan sinyal penginterferensi (nilai C/I) pada kedua sistem, baik pada sistem *one tower, one operator* maupun pada sistem menara bersama, kemudian hasilnya dibandingkan.
6. Dilakukan perhitungan kapasitas kanal yang disediakan berdasarkan nilai C/I yang didapat sebelumnya pada kedua sistem, baik pada sistem *one tower, one operator* maupun pada sistem menara bersama, kemudian hasilnya dibandingkan.
7. Dilakukan perhitungan waktu rata-rata pelanggan dalam antrian pada kedua sistem, baik pada sistem *one tower, one operator* maupun pada sistem menara bersama. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan besarnya beban trafik yang harus dilayani dan jumlah kanal yang tersedia. Selanjutnya hasil perhitungan dibandingkan.
8. Dilakukan perhitungan persentase *Grade of Service* (GOS) pada kedua sistem, baik pada sistem *one tower, one operator* maupun pada sistem menara bersama, kemudian hasilnya dibandingkan.
9. Melakukan perencanaan penerapan sistem menara bersama di wilayah pengamatan, dalam hubungannya dengan pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS pada suatu menara bersama dan pada menara-menara bersama di sekitarnya.
10. Melakukan perbandingan dan penentuan persentase efisiensi penggunaan sistem menara bersama dibandingkan dengan sistem yang digunakan sebelumnya.

3.6 Tahap Pengambilan Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, didapatkan nilai dari beberapa parameter yang dapat digunakan sebagai acuan untuk memberikan penilaian terhadap kelayakan penerapan usaha efisiensi penggunaan menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi ini, di antaranya nilai C/I (*carrier to interference ratio*) kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase *Grade of Service* (GOS). Jika nilai dari parameter-parameter tersebut masih dalam batas normal, dalam arti mendekati standar yang ada, berarti dapat disimpulkan bahwa usaha efisiensi penggunaan menara BTS untuk beberapa operator telekomunikasi ini layak diterapkan.

BAB IV
PEMBAHASAN DAN ANALISIS EFISIENSI PENGGUNAAN MENARA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS) UNTUK BEBERAPA OPERATOR TELEKOMUNIKASI

4.1 Umum

Pada tahap pembahasan dan analisis ini, akan dilakukan terlebih dulu tabulasi data mengenai kondisi geografis dan informasi kependudukan suatu wilayah, termasuk juga peramalan jumlah pengguna layanan telekomunikasi seluler dan besarnya beban trafik di wilayah tersebut. Selanjutnya, data-data tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis terhadap data-data sekunder yang ada mengenai menara-menara BTS *existing* di wilayah Malang Raya dan hasil penelitian terdahulu mengenai peramalan menara-menara BTS bersama di wilayah Malang Raya.

Analisis yang dilakukan bersifat teknis, yakni mengenai performansi dari layanan telekomunikasi selular yang diberikan oleh operator-operator penyedia kepada penggunanya setelah menggunakan sistem baru menara bersama dibandingkan dengan sistem sebelumnya, di antaranya meliputi interferensi frekuensi yang terjadi dan trafik panggilan yang berhasil dilayani maupun yang gagal. Selanjutnya, dapat dilakukan perbandingan dan penentuan efisiensi penggunaan sistem menara bersama dibandingkan dengan sistem yang digunakan sebelumnya.

Supaya pembahasan yang dilakukan lebih sederhana dan mudah dipahami, pengamatan akan difokuskan ke wilayah Desa Mulyoagung, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang. Di wilayah ini berdiri tiga buah menara BTS dari total lima menara yang terdapat di sepuluh desa di Kecamatan Dau. Ketiga menara ini masing-masing dimiliki dan digunakan oleh tiga operator telekomunikasi yang berbeda. Dalam pembahasan, akan dilakukan analisis sekiranya ketiga BTS yang terdapat di tiga menara tersebut disatukan dan dioperasikan dalam satu menara yang sama, apakah kualitas performansinya akan lebih baik, tetap atau bahkan lebih buruk daripada ketika dipasang di menara masing-masing.

Secara garis besar, tahap-tahap kajian dan analisis yang dilakukan dalam membahas dan menganalisis efisiensi penggunaan sistem menara bersama untuk beberapa operator telekomunikasi ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan tabulasi data mengenai karakteristik geografis dan kependudukan dari wilayah pengamatan. Dari informasi-informasi ini kita akan dapat meramalkan jumlah pengguna layanan telekomunikasi seluler di wilayah pengamatan dan besarnya nilai beban trafik yang harus dilayani.
2. Melakukan tabulasi data berikutnya mengenai menara-menara BTS *existing* yang ada di wilayah pengamatan dan sekitarnya, dimana sistem yang digunakan masih sistem lama *one tower, one operator*.
3. Menampilkan data yang didapat dari penelitian terdahulu yang terkait dengan peramalan menara-menara BTS bersama (*co-location site*) di wilayah pengamatan dan sekitarnya.
4. Melakukan analisis terhadap performansi BTS pada sistem penggunaan menara bersama untuk beberapa operator dibandingkan dengan sistem sebelumnya, meliputi besarnya rasio sinyal *carrier* dan sinyal penginterferensi (nilai C/I), kapasitas kanal yang disediakan, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, dan persentase *Grade of Service* (GOS). Jika performansi sistem menara bersama tetap atau lebih baik, atau masih dalam batas toleransi dibanding sistem lama *one tower, one operator*, pembahasan layak diteruskan pada perhitungan efisiensi. Tapi sebaliknya, jika performansi justru memburuk di luar batas toleransi, pembahasan dihentikan dengan kesimpulan sistem menara bersama tidak layak diterapkan karena berpotensi menurunkan kualitas pelayanan secara signifikan.
5. Melakukan perencanaan penerapan sistem menara bersama di wilayah pengamatan, dalam hubungannya dengan pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS pada suatu menara bersama dan pada menara-menara bersama di sekitarnya.
6. Melakukan perbandingan dan penentuan persentase efisiensi penggunaan sistem menara bersama dibandingkan dengan sistem yang digunakan sebelumnya.

Dalam pembahasan skripsi ini, diasumsikan *lifetime* operasional sebuah BTS adalah 5 tahun, sehingga perlu dilakukan peramalan jumlah penduduk (JP) dan pengguna telepon seluler (JS) untuk perhitungan beban trafik dalam periode tahun 2009-2013.

4.2 Karakteristik Geografis dan Kependudukan Wilayah Pengamatan

Data kependudukan dapat diperoleh melalui sensus, registrasi, dan jenis-jenis survei lainnya (BPS, 2008).

1. Sensus penduduk adalah kegiatan pengumpulan data kependudukan yang dilakukan terhadap seluruh penduduk di wilayah hukum Indonesia, dilakukan sepuluh tahun sekali, khususnya pada tahun yang berakhiran nol (0). Sensus penduduk terakhir dilakukan pada tahun 2000.
2. Registrasi penduduk adalah kegiatan pencatatan administrasi penduduk yang secara rutin mencatat kegiatan mutasi penduduk yaitu pencatatan kelahiran dan kematian (triplikat), maupun perpindahan (datang dan pergi).
3. Survei-survei lainnya adalah kegiatan pengumpulan data kependudukan yang dilaksanakan dengan menggunakan teknik sampel dan jenis data yang dikumpulkan tergantung jenis surveinya. Survei yang selama ini berjalan di antaranya adalah Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) dan Survei Tenaga Kerja Nasional (Sakernas).

Desa Mulyoagung merupakan satu dari sepuluh desa yang terdapat di Kecamatan Dau, Kabupaten Malang. Wilayah ini dilewati jalan poros yang menghubungkan Kotamadya Malang dengan Kecamatan Junrejo, Kecamatan Karangploso, juga Kota Batu. Di wilayah Desa Mulyoagung terdapat beberapa titik keramaian, di antaranya Kampus III Universitas Muhammadiyah Malang, dan beberapa kompleks perumahan.

Dari hasil registrasi yang dilakukan di Kecamatan Dau pada bulan November 2008, luas wilayah Desa Mulyoagung adalah 4,46182 km^2. Luas itu terbagi atas beberapa penggunaan lahan, di antaranya kawasan permukiman, area pertanian (sawah dan ladang), bangunan dan jalan, sarana olahraga, dan makam.

Beberapa hal yang melatarbelakangi pemilihan Desa Mulyoagung sebagai wilayah pengamatan antara lain:

- Kepadatan penduduk. Wilayah ini dipadati selain oleh warga asli yang jumlahnya sudah cukup banyak, juga oleh mahasiswa-mahasiswa UMM yang menjalani kegiatan sehari-harinya di sekitar kampusnya, mulai kuliah, indekos, hingga aktivitas di luar kampus yang banyak difasilitasi oleh penduduk sekitar.
- Jarak pendirian bangunan menara BTS yang terbilang berdekatan. Dari tiga menara BTS yang diamati, dua di antaranya dibangun bersebelahan, sementara satu menara lainnya dibangun tidak sampai 50 meter dari kedua menara BTS tadi.

Gambar 4.1 (a) dan (b).
Tiga Menara BTS *Existing* di Wilayah Desa Mulyoagung Tahun 2007

Di kawasan Malang Raya memang terdapat beberapa titik lokasi padat penduduk, juga terdapat beberapa titik lain yang di sana berdiri beberapa menara BTS dalam jarak yang berdekatan. Tapi hanya sedikit di antaranya yang merupakan perpaduan kedua faktor tersebut, yaitu beberapa menara "berdempetan" di lokasi padat penduduk yang lalu lintas trafik selulernya juga padat. Lokasi ketiga menara BTS di Desa Mulyoagung ini adalah satu dari sedikit lokasi yang memenuhi kedua kondisi tersebut.

4.2.1 Jumlah Penduduk di Wilayah Pengamatan

Berdasarkan registrasi kependudukan terakhir yang dilakukan di Kecamatan Dau pada bulan November 2008, jumlah penduduk Desa Mulyoagung adalah sebanyak 11.922 jiwa, dimana jumlah yang direpresentasikan oleh data ini termasuk penduduk asli Desa Mulyoagung maupun penduduk temporer, yang kebanyakan merupakan mahasiswa Universitas Muhammadiyah Malang. Jumlah tersebut merupakan yang terbanyak dibanding sembilan desa lain yang ada di Kecamatan Dau. Dalam 5 tahun terakhir, jumlah penduduk di Desa Mulyoagung adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1. Data Jumlah Penduduk Desa Mulyoagung Tahun 2004-2008

Tahun	2004	2005	2006	2007	2008
Jumlah Penduduk	10.635	10.972	11.181	11.574	11.922

Sumber : Data Kependudukan Kecamatan Dau

Dalam peramalan ini, digunakan metode analisis data yang tepat, yaitu metode garis tren linier. Untuk melakukan peramalan, maka diperlukan nilai tertentu pada variabel waktu (x), sedemikian rupa sehingga jumlah nilai variabel waktu = 0. Data yang digunakan adalah data pada Tabel 4.1. Karena jumlah data yang digunakan adalah ganjil (n=5), maka :

$$n = 2k - 1$$

$$k = \frac{(n+1)}{2} = 3$$

Maka nilai nol variabel waktu (x) terletak pada data ke-3. Jarak antara dua variabel waktu diberi nilai satuan, diatas nol dengan tanda negatif dan dibawah nol dengan tanda positif.

Tabel 4.2 Data Jumlah Penduduk untuk Menentukan Koefisien Trend Linier

Tahun	Xi	Yi	XiYi	Xi²
2004	-2	10.635	(21.270)	4
2005	-1	10.972	(21.944)	1
2006	0	11.181	-	0
2007	1	11.574	23.148	1
2008	2	11.922	23.844	4
Σ	0	56.284	3.778	10

Sumber : Perhitungan

Dari Tabel 4.2, konstanta linear (a dan b) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-3)

$$\sum y_i = na + b\sum x_i$$
$$56.284 = 5a$$
$$\sum x_i y_i = a\sum x_i + b\sum (x_i)^2$$
$$3.778 = 10b$$

Persamaan diatas diselesaikan sehingga didapatkan nilai kostanta a dan b sebagai berikut :

$$a = 11.256{,}8$$
$$b = 377{,}8$$

Sehingga dari nilai a dan b yang didapat persamaan garis tren linier pada persamaan berikut

$$y = 11.256{,}8 + 377{,}8x$$

Persamaan garis tren linier diatas selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai tren dengan x variabel waktu. Untuk menghitung tren jumlah penduduk pada tahun 2009 yang x_i-nya bernilai 3 dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$y = 11.256,8 + 377,8x$$
$$y = 11.256,8 + (377,8 \times 3)$$
$$y = 12.390,2 \approx 12.390$$

Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk trend jumlah penduduk pada tahun 2010 hingga 2013, dengan nilai x_i masing-masing 4, 5, 6, dan 7. Hasil perhitungan peramalan jumlah penduduk di Desa Mulyoagung untuk tahun 2009-2013 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3. Hasil Peramalan Jumlah Penduduk Desa Mulyoagung Tahun 2009-2013

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013
Jumlah Penduduk	12.390	12.768	13.146	13.524	13.901

Sumber : Perhitungan

4.2.2 Kepadatan Penduduk di Wilayah Pengamatan

Kepadatan penduduk merupakan banyaknya penduduk per satuan luas kilometer persegi. Untuk mendapatkan nilai kepadatan penduduk, digunakan Persamaan (4-1) berikut.

$$KP = \frac{JP}{L} \qquad (4\text{-}1)$$

dengan

KP	=	Kepadatan penduduk	(jiwa/km^2)
JP	=	Jumlah penduduk	(jiwa)
L	=	Luas wilayah	(km^2)

Dari data pada Tabel 4.3 mengenai peramalan jumlah penduduk untuk tahun 2009-2013 dan data sebelumnya mengenai luas wilayah yang sifatnya tetap, dapat dihitung peramalan kepadatan penduduk Desa Mulyoagung untuk tahun 2009 sebagai berikut.

$$\text{kepadatan penduduk (KP)} = \frac{jumlahpenduduk(JP)}{luaswilayah}$$
$$= \frac{12.390}{4,46182}$$
$$= 2.776,89$$
$$\approx 2.777 \, jiwa/km^2$$

Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk kepadatan penduduk pada tahun 2010 hingga 2013. Hasil perhitungan peramalan kepadatan penduduk di Desa Mulyoagung untuk tahun 2009-2013 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.4. Hasil Peramalan Kepadatan Penduduk Desa Mulyoagung
Tahun 2009-2013

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013
Kepadatan Penduduk	2.777	2.862	2.946	3.031	3.116

Sumber : Perhitungan

4.2.3 Peramalan Jumlah Pengguna Telepon Seluler di Wilayah Pengamatan

Pengguna telepon seluler dengan teknologi GSM di Indonesia pada awal tahun 2009 adalah sebanyak 131,64 juta, yang merupakan peningkatan sebanyak 15,5 juta dari jumlah pengguna pada tahun 2008 sejumlah 116,14 juta (OkeZone, 2009).

Jumlah penduduk Indonesia yang tercatat pada tahun 2005 adalah 220 juta, dengan pertumbuhan per tahun sebesar 1,27% untuk tahun 2005-2010 (Lembaga demografi UI). Dari data ini dapat dihitung asumsi jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2008 dan 2009.

$$jumlahpendudukIndonesia2006 = 220\,juta + (1,27\% \times 220\,juta)$$
$$= 222.794.000\,jiwa$$
$$jumlahpendudukIndonesia2007 = 222.794.000 + (1,27\% \times 222.794.000)$$
$$= 225.623.484\,jiwa$$

$$jumlahpendudukIndonesia2008 = 225.623.484 + (1{,}27\% \times 225.623.484)$$
$$= 228.488.902\, jiwa$$
$$jumlahpendudukIndonesia2009 = 228.488.902 + (1{,}27\% \times 228.488.902)$$
$$= 231.390.711\, jiwa$$

Data mengenai jumlah penduduk dan jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia di atas dapat digunakan untuk membuat asumsi jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia.

Tabel 4.5. Persentase Jumlah Pengguna Telepon Seluler di Indonesia

Tahun	Jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia	Jumlah penduduk Indonesia	Persentase jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia
2008	116.140.000	228.488.902	50,83%
2009	131.640.000	231.390.711	56,89%

Sumber : Perhitungan

Dari Tabel 4.5 dapat dicari rata-rata persentase jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia.

$$rata - rata = \frac{50{,}83\% + 56{,}89\%}{2} = 53{,}86\%$$

Selanjutnya, persentase jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia diasumsikan dapat diterapkan juga untuk meramalkan jumlah pengguna telepon seluler di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung.

Dengan demikian, jumlah pengguna telepon seluler (JS) di Desa Mulyoagung adalah 53,86% dari jumlah penduduk. Selanjutnya dapat dicari peramalan jumlah pengguna telepon seluler di Desa Mulyoagung pada tahun 2009-2013. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\text{pengguna telepon seluler (JS) } 2009 = 53{,}86\% \times 12.390$$
$$= 6.673{,}254$$
$$\approx 6.673\, jiwa$$

Cara yang sama digunakan untuk mendapatkan peramalan jumlah pengguna telepon seluler di Desa Mulyoagung pada tahun 2010 hingga 2013. Hasilnya seperti pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Hasil Peramalan Jumlah Pengguna Telepon Seluler di Desa Mulyoagung tahun 2009-2013

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013
Jumlah pengguna telepon seluler	6.673	6.877	7.080	7.284	7.487

Sumber : Perhitungan

4.2.4 Peramalan Trafik Telekomunikasi Seluler di Wilayah Pengamatan

Untuk menentukan besarnya trafik total (TT), perlu diketahui besarnya trafik untuk setiap pelanggan. Telah didapatkan perkiraan jumlah pengguna telepon seluler (JS) di Desa Mulyoagung pada Tabel 4.6. Besarnya trafik yang ditetapkan untuk setiap pengguna layanan telekomunikasi seluler adalah 25 mErlang (PT. Telkom, 1994). Trafik total dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (4-2) berikut.

$$\text{trafik total (TT)} = \text{kepadatan (KS)} \times \text{trafik yang ditawarkan} \qquad (4\text{-}2)$$

dimana kepadatan pengguna layanan telekomunikasi seluler (KS) diperoleh dari Persamaan (4-3).

$$\text{kepadatan (KS)} = \frac{\sum \text{pengguna layanan telekomunikasi seluler (JS)}}{\text{luas wilayah (L)}} \qquad (4\text{-}3)$$

Dari Persamaan (4-2) dan (4-3) di atas, dapat dihitung trafik total (TT) telekomunikasi seluler di Desa Mulyoagung pada tahun 2009-2013:

$$\text{kepadatan (KS) tahun 2009} = \frac{6.673}{4{,}46182}$$

$$= 1.495{,}58 \approx 1.496 \, {}^{jiwa}/_{km^2}$$

$$\text{trafik total (TT) tahun } 2009 = 1.496 \times 0{,}025$$
$$= 37{,}4 erlang$$

Dengan cara yang sama, dapat diperoleh nilai trafik total telekomunikasi seluler di Desa Mulyoagung pada tahun 2009-2013 sebagai berikut.

Tabel 4.7. Hasil Peramalan Trafik Total Telekomunikasi Seluler di Desa Mulyoagung tahun 2009-2013

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013
Kepadatan pengguna telepon seluler ($\frac{jiwa}{km^2}$)	1.496	1.541	1.587	1.633	1.678
Trafik total (erlang)	37,4	38,525	39,675	40,825	41,95

Sumber : Perhitungan

Hasil perhitungan trafik total seperti pada Tabel 4.7 di atas merupakan nilai trafik maksimum, yakni kondisi ketika seluruh pengguna telepon seluler di wilayah pengamatan tersebut melakukan panggilan. Sementara berdasarkan asumsi yang mengacu pada data dari sebuah BTS Akar Daya sektor 1 PT. Telkomsel untuk sistem GSM, rata-rata terdapat 20% panggilan dari keseluruhan pengguna telepon seluler di suatu daerah pada jam sibuk. Sehingga berdasarkan asumsi tersebut, nilai trafik efektif pada wilayah pengamatan Desa Mulyoagung dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{nilai trafik efektif tahun } 2009 = \frac{20}{100} \times trafiktotal(TT)$$
$$= \frac{20}{100} \times 37{,}4$$
$$= 7{,}48\ erlang$$

Dengan cara yang sama, dapat diperoleh nilai trafik efektif telekomunikasi seluler di Desa Mulyoagung pada tahun 2009-2013 sebagai berikut.

Tabel 4.8. Hasil Peramalan Trafik Efektif Telekomunikasi Seluler di Desa Mulyoagung tahun 2009-2013

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013
Trafik efektif (erlang)	7,48	7,705	7,935	8,165	8,39

Sumber : Perhitungan

4.3 Data menara BTS *Existing* di Wilayah Pengamatan

Dari penelitian terdahulu, didapatkan data mengenai menara-menara BTS yang *existing* di wilayah Malang Raya pada tahun 2007. Data tersebut diperoleh dari hasil survei lapangan dan berdasarkan informasi dari pihak operator penyedia layanan telekomunikasi seluler. Pada saat dilakukan penelitian tersebut, total menara BTS yang ada di kawasan Malang Raya sebanyak 168 buah menara, yang dimiliki dan digunakan oleh 6 operator.

Seperti disebutkan sebelumnya, pembahasan pada skripsi ini akan difokuskan ke wilayah Desa Mulyoagung, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang. Di wilayah ini berdiri tiga buah menara BTS. Berikut adalah data-data mengenai menara-menara BTS GSM 900/DCS 1800 yang *existing* di wilayah tersebut pada tahun 2007.

Tabel 4.9. Data menara BTS *Existing* di Wilayah Desa Mulyoagung

No.	Nama BTS	Operator	Alamat	Kecamatan	Tinggi Menara (m)	Tinggi Antena (m)	Azimuth (°)		
							α	β	γ
1	A1 (GSM) A2 (DCS)	A	Jl. Raya Jetis	Dau	60	60 58	100 90	190 160	250 300
3	B1 (GSM) B2 (DCS)	B	Jl. Raya Jetis	Dau	50	50 32	50 100	130 220	310 325
5	C1 (GSM)	C	Jl. Raya Jetis	Dau	42	42	110	230	325

Sumber : (Radio Network Planning sebagai Acuan Penataan Tower/Pole Telekomunikasi Seluler di Area Malang Raya : Sub Bahasan Coverage Area, 2007)

4.4 Peramalan menara BTS bersama di Wilayah Pengamatan

Pada penelitian terdahulu, penentuan titik optimal menara BTS bersama atau *co-location site* dilakukan dengan melakukan analisis pada lokasi dan area cakupannya.

1. Analisis pertama dilakukan dengan mempertimbangkan lokasi BTS yang *existing* sebagai referensi. Lokasi menara BTS bersama ditentukan berada di sekitar wilayah yang banyak digunakan untuk mendirikan menara-menara BTS yang *existing*, karena jika ditinjau dari segi area cakupan dan kapasitas trafik yang optimal umumnya titik itulah yang paling tepat. Hal ini tidak menjadi syarat mutlak, tapi cukup kuat untuk dijadikan bahan pertimbangan.
2. Analisis kedua dilakukan dengan mempertimbangkan area cakupan BTS yang *existing* sebagai referensi. Analisis ini dijadikan sebagai referensi dalam menentukan arah *azimuth* menara BTS bersama. Dari hasil *plotting* menara-menara BTS yang *existing*, dapat dilihat bahwa daerah yang dicakup adalah kawasan yang potensi penggunanya cukup tinggi, seperti perumahan, pendidikan, pabrik, jalan utama, tempat wisata, pertokoan, dan lain-lain. Sebaliknya, daerah yang tidak dicakup oleh BTS-BTS pada menara-menara *existing* tersebut adalah kawasan yang potensi penggunanya terbilang rendah, seperti persawahan, pegunungan, atau pedesaan berpenduduk jarang.

Hasil analisis dari penelitian terdahulu mengenai menara BTS bersama dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10. Peramalan menara BTS bersama di Desa Mulyoagung

No.	Alamat	Kecamatan	Tinggi Menara (m)	Azimuth (°)		
				α	β	γ
1	Jl. Raya Jetis	Dau	50	130	180	300

Sumber : (Radio Network Planning sebagai Acuan Penataan Tower/Pole Telekomunikasi Seluler di Area Malang Raya : Sub Bahasan Coverage Area, 2007)

4.5 Perhitungan Parameter-Parameter Performansi

Ketika sebuah sistem baru ditawarkan, perlu dilakukan analisis terhadap performansi sistem tersebut, apakah lebih baik, tetap, atau justru lebih buruk dibanding sistem sebelumnya. Dalam konteks pembahasan skripsi ini, jika performansi sistem menara bersama tetap atau lebih baik, atau masih dalam batas toleransi dibanding sistem lama *one tower, one operator*, pembahasan layak diteruskan pada perhitungan efisiensi. Tapi sebaliknya, jika performansi justru memburuk di luar batas toleransi, pembahasan dihentikan dengan kesimpulan sistem menara bersama tidak layak diterapkan karena berpotensi menurunkan kualitas pelayanan secara signifikan.

4.5.1 Perhitungan Interferensi Frekuensi

Pada sistem komunikasi selular yang memanfaatkan penggunaan frekuensi atau kanal yang sama pada area yang berdekatan, masing-masing perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik daerah sekitarnya, tetapi juga dipengaruhi oleh sinyal yang secara simultan dihasilkan oleh sejumlah perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) di sekitarnya. Fenomena ini dinamakan interferensi. Performansi sistem terhadap interferensi dilambangkan dengan C/I (*carrier to interference ratio*). C/I ini dapat dipahami sebagai perbandingan antara daya dari sinyal *carrier* yang diterima oleh *receiver* dibandingkan dengan jumlah daya dari berbagai macam interferensi yang mempengaruhi penerimaan sinyal pada *receiver*. Dalam sistem analog, interferensi sudah dianggap mengganggu apabila nilai C/I lebih kecil dari 18 dB, sedangkan dalam sistem digital batasnya lebih rendah lagi, yaitu 11 dB.

4.5.1.1 Perhitungan Nilai Konstanta Redaman Akibat Rugi-rugi Propagasi (γ)

Berdasarkan klasifikasi daerah pelayanan, wilayah pengamatan Desa Mulyoagung digolongkan sebagai daerah suburban, karena desa ini merupakan wilayah dengan kondisi banyak rumah-rumah berderet dan beberapa bangunan lainnya, dengan ketinggian rata-rata 10-20 meter. Selain itu terdapat cukup banyak pohon-pohon yang cukup tinggi. Selain itu, berdasarkan tingkat kepadatan penduduk, desa dengan 2.777 jiwa penduduk per kilometer persegi ini digolongkan menjadi daerah suburban (BPS Kab. Malang, 2008).

Untuk mendapatkan nilai redaman akibat rugi-rugi propagasi (γ), dilakukan percobaan pada berbagai daerah pelayanan, dengan menghitung selisih penerimaan sinyal rata-rata pada suatu titik dengan penerimaan sinyal rata-rata pada titik lainnya yang berjarak 10 mil (16,09344 km) dari titik pertama (Lee, 1995:12). Hubungan antara nilai redaman akibat rugi-rugi propagasi dengan level penerimaan sinyal (P) dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-45) (Lee, 1995:114).

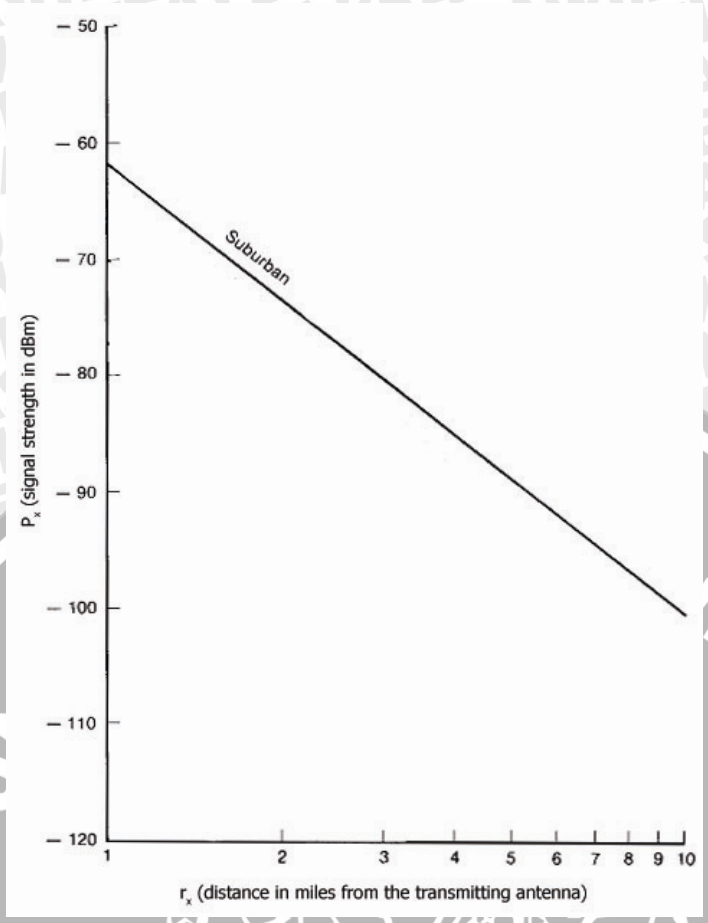
$$P_x = P_0 - \gamma . \log\left(\frac{r_x}{r_0}\right)$$

dengan

P_x	=	level sinyal yang diterima pada jarak r	(dBm)
P_0	=	level sinyal yang diterima pada jarak acuan	(dBm)
γ	=	redaman akibat rugi-rugi propagasi	(dB/dec)
r_x	=	jarak antara MS dengan BTS pemancar	(mil)
r_0	=	jarak acuan antara MS dengan BTS pemancar	(mil)

Dalam hal ini, yang dimaksud dengan jarak acuan adalah jarak percobaan terdekat, yaitu 1 mil dari BTS pemancar.

Nilai redaman akibat rugi-rugi propagasi (γ) berbeda-beda untuk setiap daerah pelayanan. Hasil percobaan level penerimaan sinyal pada daerah suburban ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2. Nilai P (*Propagation Path Loss*) pada Area Sub Urban

Sumber : Bell Laboratories

Dari kurva pada Gambar 4.2 di atas, didapatkan nilai penerimaan sinyal berdasarkan hasil percobaan di 10 titik yang berjarak 1 hingga 10 mil dari antena pemancar. Nilai-nilai tersebut dinyatakan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11. Nilai Penerimaan Sinyal pada Percobaan di Daerah Suburban

x	r_x (mil)	P_x (dBm)
0 (acuan)	1	- 61,5
1	2	- 73,5
2	3	- 80,0
3	4	- 85,5
4	5	- 89,0
5	6	- 92,0
6	7	- 94,5
7	8	- 97,5
8	9	- 99,0
9	10	- 100,0

Dengan menggunakan Persamaan (2-45), dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai redaman akibat rugi-rugi propagasi (γ) pada titik percobaan berjarak 2 mil dari BTS pemancar di daerah suburban.

$$P_1 = P_0 - \gamma.\log\left(\frac{r_1}{r_0}\right)$$

$$\gamma = \frac{P_0 - P_1}{\log\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}$$

$$\gamma_1 = \frac{-61{,}5 + 73{,}5}{\log\left(\frac{2}{1}\right)}$$

$$= 39{,}863$$

Cara yang sama digunakan untuk menghitung nilai γ untuk titik percobaan berjarak 2 hingga 10 mil dari BTS pemancar. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Nilai γ Berdasarkan Percobaan di Daerah Suburban

	r_x (mil)	r_0 (mil)	P_x (dBm)	P_0 (dBm)	γ (dB/dec)
0 (acuan)					
1	2	1	- 73,5	- 61,5	39,863
2	3	1	- 80,0	- 61,5	38,774
3	4	1	- 85,5	- 61,5	39,863
4	5	1	- 89,0	- 61,5	39,344
5	6	1	- 92,0	- 61,5	39,195
6	7	1	- 94,5	- 61,5	39,049
7	8	1	- 97,5	- 61,5	39,863
8	9	1	- 99,0	- 61,5	39,298
9	10	1	- 100,0	- 61,5	38,500
				Jumlah	353,749
				Rata-rata	39,305

Sumber : Perhitungan

Dari Tabel 4.12 di atas, dapat dihitung nilai γ rata-rata dari hasil beberapa kali percobaan adalah 39,305 dB/dec. Satuan dB/dec atau dB per *decade* ini menunjukkan bahwa nilai γ yang didapat sebesar 39,305 dB ini didapat dari percobaan pada titik

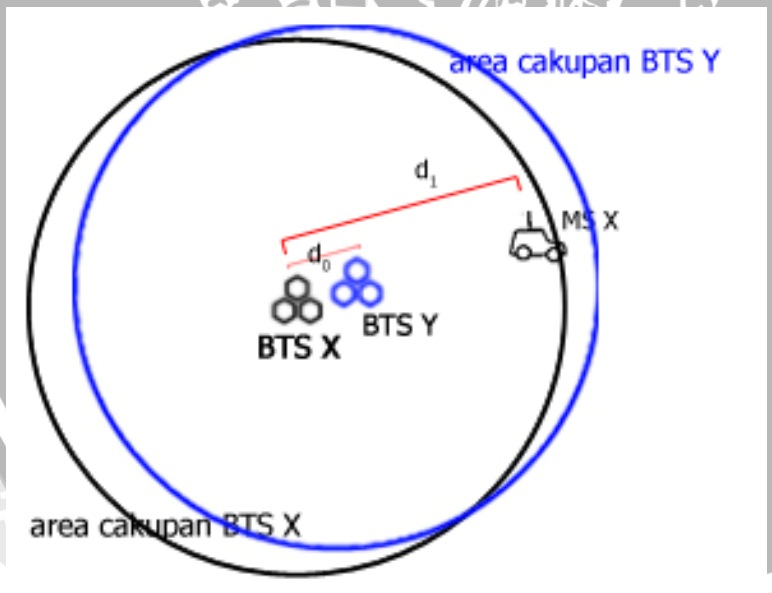
berjarak 1 hingga 10 mil dari BTS pemancar. Untuk digunakan dalam perhitungan C/I, γ harus berupa konstanta. Sehingga redaman rugi-rugi propagasi yang kita dapatkan dengan satuan dB tadi harus dikonversi menjadi konstanta redaman rugi-rugi propagasi yang berbentuk bilangan logaritmik dengan cara dibagi 10.

$$\gamma = \frac{39{,}305\ \text{dB}}{10} = 3{,}9305 \approx 3{,}93$$

4.5.1.2 Perhitungan Nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I)

Dari beberapa jenis interferensi, *near end-far end interference* adalah yang paling mungkin terjadi dalam kasus *one tower, one operator* maupun penggunaan menara bersama yang dibahas dalam skripsi ini.

4.5.1.2.1 Perhitungan Nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I) pada Sistem *One Tower, One Operator*



Gambar 4.3. Ilustrasi *Near end-Far end Interference* pada Sistem *One Tower, One Operator*

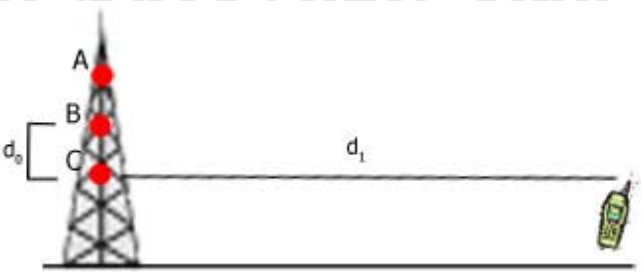
Pada kondisi *one tower, one operator* pada BTS-BTS di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung, *site* berdirinya menara BTS operator A bersebelahan dengan *site* berdirinya menara BTS milik operator B, dengan jarak antara keduanya sekitar 3

meter. Berarti nilai d_0 adalah 3 meter. Sementara, menara milik operator C berdiri sekitar 50 meter dari keduanya. Untuk menghitung kemungkinan terjadinya *near end-far end interference*, diasumsikan terjadi kondisi seperti pada Gambar 4.3, dimana terdapat seorang pengguna telepon seluler dengan SIM*card* operator B sedang berdiri sejauh 6 meter dari BTS operator B yang seharusnya melayani, sementara posisinya lebih dekat terhadap BTS operator A, hanya berjarak 3 meter. Berarti nilai d_1 adalah 6 meter. Maka dapat dihitung nilai C/I-nya dengan menggunakan Persamaan (2-49) sebagai berikut:

$$\frac{C}{I} = 10.\log\left(\frac{d_0}{d_1}\right)^{-\gamma}$$
$$= 10.\log\left(\frac{3}{6}\right)^{-3,93}$$
$$= 10.\log(0,5)^{-3,93}$$
$$= -39,3 \times \log(0,5)$$
$$= 11,83\ \text{dB}$$

4.5.1.2.2 Perhitungan Nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I) pada Sistem Menara Bersama

Pada perencanaan penerapan sistem menara bersama pada BTS-BTS di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung, perangkat BTS operator A, B, dan C akan berada di satu menara dan *site location* yang sama. Jarak antara satu antena BTS dengan yang lain pun berubah menjadi sangat dekat, dengan selang antar antena yang secara normal bisa dipasang secara vertikal adalah setiap 2 meter (Purwanto, 2008).



Gambar 4.4.
Ilustrasi *Near end-Far end Interference* pada Sistem Menara Bersama

Diasumsikan kondisi yang serupa dengan perhitungan pada sistem *one tower, one operator*, seperti diilustrasikan pada Gambar 4.4, ketika seorang pengguna SIM*card* operator B berdiri 6 meter dari menara BTS bersama. Maka nilai d_1 adalah 6 meter, sedangkan nilai d_0 atau jarak antara antena BTS A dan B adalah 2 meter. Setelah diketahui nilai d_0 dan d_1, dapat dihitung nilai C/I yang disebabkan adanya interferensi sinyal yang dipancarkan oleh BTS B dan C sebagai berikut:

$$\frac{C}{I} = 10.\log\left(\frac{d_0}{d_1}\right)^{-\gamma}$$
$$= 10.\log\left(\frac{2}{6}\right)^{-3,93}$$
$$= -39,3 \times \log 0,33$$
$$= 18,92 \text{ dB}$$

Dengan demikian, nilai C/I antara sistem *one tower, one operator* dengan sistem menara bersama dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Nilai C/I pada Kondisi Terburuk
Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama

Sistem yang Digunakan	Nilai C/I
Sistem *one tower, one operator*	11,83 dB
Sistem menara bersama	18,92 dB

Sumber : Perhitungan

Semakin besar nilai C/I, semakin baik performansi suatu sistem. Dalam hal ini dapat dilihat bahwa performansi sistem menara bersama lebih baik dibandingkan sistem *one tower, one operator*.

4.5.2 Perhitungan Kapasitas Kanal

Kapasitas maksimum yang dapat dilayani oleh BTS dalam suatu sel disebut kapasitas kanal (m), yang secara spesifik dapat didefinisikan sebagai jumlah maksimum kanal yang dapat disediakan atau *user* yang dapat dilayani dalam sebuah frekuensi tertentu.

Bandwidth tiap kanal pada GSM adalah sebesar 200 kHz. Sementara berdasarkan Tabel 2.5, frekuensi GSM dibagi-bagi untuk 3 operator besar sebagai berikut.

Tabel 4.14. Alokasi Frekuensi GSM di Indonesia

Operator	Range Frekuensi *Uplink*	Range Frekuensi *Downlink*	Lebar Pita Frekuensi
A	890-900 MHz	935 - 945 MHz	10 MHz
B	900 - 907,5 MHz	945 - 952,5 MHz	7,5 MHz
C	907,5 - 915 MHz	952,5 - 960 MHz	7,5 MHz

4.5.2.1 Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem *One Tower, One Operator*

Berdasarkan data pada Tabel 4.14, dapat dilakukan perhitungan kapasitas kanal BTS-BTS milik operator A, B, dan C pada sistem *one tower, one operator*. Berikut adalah perhitungan kapasitas kanal BTS milik operator A dengan asumsi kemungkinan kondisi terburuk ketika tingkat interferensi yang sangat tinggi dengan menggunakan Persamaan (2-87).

$$m = \frac{3B_t}{B_c\left(S.\frac{C}{I}\right)^{2/\gamma}}$$

$$= \frac{3 \times 10.10^6}{200.10^3 \left(2 \times 11{,}83\right)^{2/3{,}93}}$$

$$= \frac{3 \times 10.10^6}{200.10^3 \times 5{,}003}$$

$$= \frac{30.10^6}{1000{,}6.10^3}$$

$$= 29{,}98$$

$$\approx 30 \text{ kanal}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk BTS-BTS milik operator B dan C, sehingga didapatkan hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem *One Tower, One Operator* di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung

Operator	B_t (Hz)	B_c (Hz)	S	C/I (dB)	γ	m
A	10.10^6	200.10^3	2	11,83	3,93	30
B	$7{,}5.10^6$	200.10^3	2	11,83	3,93	23
C	$7{,}5.10^6$	200.10^3	2	11,83	3,93	23

Sumber: Perhitungan

4.5.2.2 Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem Menara Bersama

Persamaan (2-87) juga digunakan untuk melakukan perhitungan kapasitas kanal BTS-BTS di wilayah pengamatan jika sistem yang digunakan adalah sistem menara bersama dengan asumsi kemungkinan kondisi terburuk pada tingkat interferensi tertinggi. Berikut adalah perhitungan pada operator A.

$$m = \frac{3B_t}{B_c\left(S.\frac{C}{I}\right)^{2/\gamma}}$$

$$= \frac{3 \times 10.10^6}{200.10^3\left(2 \times 18{,}92\right)^{2/3{,}93}}$$

$$= \frac{30.10^6}{200.10^3 \times 6{,}354}$$

$$= \frac{30.10^6}{1270{,}8.10^3}$$

$$= 23{,}607$$

$$\approx 24 \text{ kanal}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk BTS-BTS milik operator B dan C, sehingga didapatkan hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal pada Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung

Operator	B_t (Hz)	B_c (Hz)	S	C/I (dB)	γ	m
A	10.10^6	200.10^3	2	18,92	3,93	24
B	$7{,}5.10^6$	200.10^3	2	18,92	3,93	18
C	$7{,}5.10^6$	200.10^3	2	18,92	3,93	18

Sumber: Perhitungan

Dengan demikian, kapasitas kanal pada sistem *one tower, one operator* dengan sistem menara bersama dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17. Kapasitas Kanal pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama

Sistem yang Digunakan	Kapasitas Kanal
Sistem *one tower, one operator*	30
Sistem menara bersama	24

Sumber : Perhitungan

Jumlah kanal yang tersedia pada sistem menara bersama lebih kecil dibanding pada sistem *one tower, one operator*. Hal ini berkaitan dengan waktu rata-rata pelanggan dalam antrian dan persentase GOS.

4.5.3 Perhitungan Waktu Rata-rata Pelanggan Dalam Antrian

Untuk menghitung lamanya waktu rata-rata pelanggan dalam antrian, digunakan rumus J.D. Little seperti pada Persamaan (2-26). Nilai intensitas trafik yang dilayani (A) direpresentasikan oleh nilai trafik efektif seperti dapat dilihat pada Tabel 4.8, dimana pada tahun 2009 sebesar 7,48 erlang.

4.5.3.1 Perhitungan Waktu Rata-rata Pelanggan Dalam Antrian pada Sistem *One Tower, One Operator*

Berdasarkan data nilai intensitas trafik di atas, dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus tunggu Erlang seperti pada Persamaan (2-27), dimana nilai N pada sistem *one tower, one operator* adalah 30.

$$D_N(A) = \frac{\frac{A^N}{N!} \times \frac{N}{N-A}}{\sum_{i=0}^{N} \frac{A^i}{i!} \times \frac{N}{N-A}}$$

$$= \frac{\frac{(7{,}48)^{30}}{30!} \times \frac{30}{30-7{,}48}}{\sum_{i=0}^{30} \frac{(7{,}48)^i}{i!} \times \frac{30}{30-7{,}48}}$$

$$= \frac{0{,}827.10^{-6}}{1771{,}241 \times 1{,}332}$$

$$= 0{,}351.10^{-9}$$

Dengan asumsi yang mengacu pada data dari sebuah BTS Akar Daya sektor 1 PT. Telkomsel untuk sistem GSM bahwa waktu rata-rata percakapan dalam jam sibuk (h) adalah 2 menit, maka waktu rata-rata pelanggan dalam antrian dapat dihitung sebagai berikut.

$$t = D_N(A)\frac{h}{N-1}$$
$$= 0{,}351.10^{-9} \times \frac{120 sekon}{30-1}$$
$$= 0{,}351.10^{-9} \times 4{,}14$$
$$= 1{,}45.10^{-9} \text{ sekon}$$

Ini berarti pada sistem *one tower, one* operator, secara rata-rata untuk mendapatkan pelayanan yang diminta seorang pelanggan di Desa Mulyoagung harus menunggu selama $1{,}45.10^{-9}$ sekon.

4.5.3.2 Perhitungan Waktu Rata-rata Pelanggan Dalam Antrian pada Sistem Menara Bersama

Pada sistem menara bersama, nilai N adalah 24. Maka dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus tunggu Erlang seperti sebagai berikut.

$$D_N(A) = \frac{\frac{A^N}{N!} \times \frac{N}{N-A}}{\sum_{i=0}^{N} \frac{A^i}{i!} \times \frac{N}{N-A}}$$
$$= \frac{\frac{(7{,}48)^{24}}{24!} \times \frac{24}{24-7{,}48}}{\sum_{i=0}^{24} \frac{(7{,}48)^i}{i!} \times \frac{24}{24-7{,}48}}$$
$$= \frac{0{,}00221}{1771{,}24 \times 1{,}453}$$
$$= 0{,}858.10^{-6}$$

Dengan asumsi yang sama dengan yang dilakukan pada perhitungan sebelumnya, maka waktu rata-rata pelanggan dalam antrian dapat dihitung sebagai berikut.

$$t = D_N(A)\frac{h}{N-1}$$
$$= 0{,}858.10^{-6} \times \frac{120\, sekon}{24-1}$$
$$= 0{,}858.10^{-6} \times 5{,}217$$
$$= 4{,}48.10^{-6} \text{ sekon}$$

Ini berarti pada sistem menara bersama, secara rata-rata untuk mendapatkan pelayanan yang diminta seorang pelanggan di Desa Mulyoagung harus menunggu selama $4{,}48.10^{-6}$ sekon.

Dengan demikian, waktu rata-rata pelanggan dalam antrian pada sistem *one tower, one operator* dengan sistem menara bersama dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18. Waktu Rata-Rata Pelanggan dalam Antrian pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama

Sistem yang Digunakan	Waktu Rata-Rata Pelanggan dalam Antrian
Sistem *one tower, one operator*	$1{,}45.10^{-9}$ sekon
Sistem menara bersama	$4{,}48.10^{-6}$ sekon

Sumber : Perhitungan

Pada sistem menara bersama, pelanggan harus menunggu lebih lama dibandingkan pada sistem *one tower, one operator*. Tetapi waktu yang harus ditempuh itu pun masih berada dalam batas toleransi 2 sekon (Usman, 2006).

4.5.4 Perhitungan GOS (*Grade of Serice*)

Grade of Service (GOS) atau disebut juga derajat pelayanan, adalah probabilitas panggilan ditolak/diblok selama jam sibuk. Dalam perhitungan yang dilakukan pada sub bab sebelumnya, diketahui nilai intensitas trafik di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung adalah 7,48 erlang.

4.5.4.1 Perhitungan GOS (*Grade of Serice*) pada Sistem *One Tower, One Operator*

Berdasarkan data nilai intensitas trafik di atas, dapat dihitung nilai GOS pada sistem *one tower, one operator* dengan menggunakan Persamaan (2-24) sebagai berikut.

$$GOS = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^{N} A^i / i!}$$

$$= \frac{(7,48)^{30} / 30!}{\sum_{i=0}^{30} (7,48)^i / i!}$$

$$= \frac{0,621.10^{-6}}{1771,241}$$

$$= 0,351.10^{-6}$$

$$\%GOS = 0,351.10^{-6} \times 100\%$$

$$= 0,351.10^{-4}\ \%$$

4.5.4.2 Perhitungan GOS (*Grade of Serice*) pada Sistem Menara Bersama

Nilai GOS pada sistem menara bersama didapatkan dari perhitungan sebagai berikut.

$$GOS = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^{N} A^i / i!}$$

$$= \frac{(7,48)^{24} / 24!}{\sum_{i=0}^{24} (7,48)^i / i!}$$

$$= \frac{0,00152}{1771,24}$$

$$= 0,858.10^{-6}$$

$$\%GOS = 0,858.10^{-6} \times 100\%$$

$$= 0,858.10^{-4}\%$$

Dengan demikian, persentase GOS pada sistem *one tower, one operator* dengan sistem menara bersama dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut.

Tabel 4.19. Persentase *grade of Service* (GOS) pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara bersama

Sistem yang Digunakan	Persentase GOS
Sistem *one tower, one operator*	$0{,}351.10^{-4}$ %
Sistem menara bersama	$0{,}858.10^{-4}$ %

Sumber : Perhitungan

Persentase GOS pada sistem menara bersama lebih besar dibanding pada sistem *one tower, one operator*. Tetapi nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan, yaitu 5% (Mufti, 2003).

Hasil perhitungan parameter-parameter performansi yang dilakukan terhadap kedua sistem dalam sub bab 4.5, yaitu sistem *one tower, one operator* dan sistem menara bersama, dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20. Nilai Parameter-parameter Performansi pada Sistem *One Tower, One Operator* dan Sistem Menara Bersama

Parameter Performansi	Sistem *one tower, one operator*	Sistem menara bersama
C/I (dB)	11,83	18,92
Kapasitas Kanal (kanal)	30	24
Waktu Rata-Rata Pelanggan dalam Antrian (sekon)	$1{,}45.10^{-9}$	$4{,}48.10^{-6}$
Persentase GOS (%)	$0{,}351.10^{-4}$ %	$0{,}858.10^{-4}$ %

Sumber : Perhitungan

4.6 Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi pada Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan

Pengaturan penggunaan kanal frekuensi ini mutlak diperlukan untuk menghindari terjadinya interferensi. Dalam melakukan penataan area cakupan BTS-BTS GSM di suatu wilayah, perlu diperhatikan dengan baik pelaksanaan teknik *frequency reuse*. Terjadinya interferensi kanal bersebelahan yang akan menurunkan

kualitas pelayanan terhadap pelanggan dapat diminimalisir dengan memberikan kanal yang tidak berurutan untuk BTS-BTS yang berdekatan.

Penomoran kanal GSM di Indonesia sebanyak 124 kanal dibagi untuk 3 operator besar, yakni:

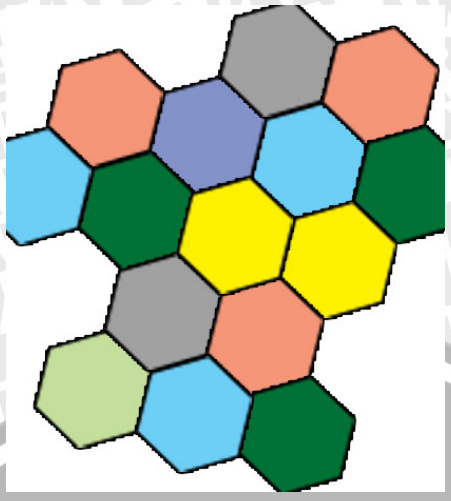
- kanal nomor 1-50 untuk PT. Indosat
- kanal nomor 51-87 untuk PT. Telkomsel
- kanal nomor 88-124 untuk PT. Excelcomindo (XL)

Untuk menghindari terjadinya *co-channel interference*, tentunya merupakan kebijakan masing-masing operator untuk mengatur *frequency reuse*, karena *co-channel* yang saling berinterferensi memiliki nomor kanal yang sama. Sedangkan untuk menghindari *adjacent channel interference*, termasuk di dalamnya *near end-far end interference*, perlu dilakukan juga koordinasi antar operator supaya sel-sel yang berdekatan tidak diberikan nomor-nomor yang bersebelahan yang dapat memicu terjadinya interferensi.

4.6.1 Performansi Sistem Sebelum Dilakukan Pengaturan

Pada sistem komunikasi selular yang memanfaatkan penggunaan frekuensi atau kanal yang sama pada area yang berdekatan, masing-masing perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik daerah sekitarnya, tetapi juga dipengaruhi oleh sinyal yang bekerja pada kanal frekuensi yang sama yang secara simultan dihasilkan oleh sejumlah perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) di sekitarnya. Fenomena ini dinamakan interferensi.

Jika tidak dilakukan pengaturan penggunaan kanal frekuensi, terdapat kemungkinan akan terjadi interferensi. Kondisi dimana tidak dilakukan pengaturan penggunaan kanal frekuensi antar operator telekomunikasi ini dapat diilustrasikan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5. Penggunaan Kanal Frekuensi yang Tidak Teratur antara Satu Operator dengan Lainnya

Pada Gambar 4.5 di atas, dua buah sel berwarna kuning yang menggunakan kanal frekuensi yang sama (sel-sel *co-channel*) saling bersebelahan. Padahal sebagaimana sudah dilakukan perhitungan sebelumnya, dalam sistem dengan K=7 ini seharusnya jarak antara 2 sel *co-channel* adalah sejauh diameter 2 sel ke suatu arah ditambah diameter 1 sel yang berada 60º dari arah semula agar tidak terjadi *co-channel interference* antara kedua sel.

Jika pada penerapan di lapangan akhirnya benar-benar terjadi kondisi seperti pada Gambar 4.5 di atas maka nilai C/I yang dipengaruhi terjadinya *co-channel interference* antara kedua sel dapat dihitung. Sebelum dilakukan perhitungan, terlebih dulu dicari nilai jari-jari sel (R), dengan asumsi bahwa wilayah pengamatan Desa Mulyoagung dicakup oleh satu sel layanan berbentuk segi enam. Dengan demikian, dari data mengenai luas wilayah pengamatan dapat dihitung nilai R dengan menggunakan Persamaan (2-65) sebagai berikut.

$$L = \frac{3}{2}\sqrt{3}R^2$$

$$4{,}46182 = 2{,}598.R^2$$

$$R^2 = \frac{4{,}46182}{2{,}598}$$

$$= 1{,}72$$

$$R = 1{,}31km$$

Sementara jarak antara kedua sel *co-channel* yang jika dilakukan pengaturan seharusnya didapat dari Persamaan (2-6):

$$D = R\sqrt{3K}$$

Dikarenakan adanya kekacauan dalam pengaturan penggunaan kanal frekuensi dimana dua sel *co-channel* terletak bersebelahan, sehingga nilai D bisa didapat dengan mengalikan nilai R dengan 2:

$$\begin{aligned} D &= 2 \times R \\ &= 2 \times 1{,}31 \\ &= 2{,}62km \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai C/I yang dipengaruhi terjadinya *co-channel interference* antara kedua sel menggunakan Persamaan (2-47), dengan asumsi yang mengacu data pada Tabel 4.9 bahwa BTS-BTS pada wilayah pengamatan menggunakan antena *directional* 120º.

$$\begin{aligned} \frac{C}{I} &= 10 \times \log\left(\frac{R^{-\gamma}}{(D+0{,}7R)^{-\gamma} + D^{-\gamma}}\right) \\ &= 10 \times \log\left(\frac{1{,}31^{-3{,}93}}{(2{,}62+0{,}7.1{,}31)^{-3{,}93} + 2{,}62^{-3{,}93}}\right) \\ &= 10 \times \log\left(\frac{1/2{,}89}{1/143{,}26 + 1/44{,}05}\right) \\ &= 10 \times \log\left(\frac{0{,}346}{0{,}03}\right) \\ &= 10 \times \log 11{,}53 \\ &= 10{,}62\ \text{dB} \end{aligned}$$

Nilai C/I sebesar 10,62 dB menunjukkan interferensi yang terjadi pada sistem ketika tidak dilakukan pengaturan cukup tinggi, sehingga tentunya akan berdampak pada buruknya kualitas layanan pada pelanggan.

Dari nilai C/I yang didapatkan, dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui kapasitas kanal yang tersedia pada sistem dalam kondisi sebelum dilakukan pengaturan.

$$m = \frac{3B_t}{B_c\left(S.\frac{C}{I}\right)^{2/\gamma}}$$

$$= \frac{3\times 10.10^6}{200.10^3\left(2\times 10{,}62\right)^{2/3{,}93}}$$

$$= \frac{3\times 10.10^6}{200.10^3\times 4{,}74}$$

$$= \frac{30.10^6}{948.10^3}$$

$$= 31{,}45$$

$$\approx 31 \text{ kanal}$$

Untuk menilai performansi *handover* pada suatu wilayah pengamatan, dapat dihitung probabilitas dilakukannya *blocking* pada sebuah permintaan *handover* untuk diantrikan hingga tersedia saluran bebas. Untuk menghitung probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* ini, digunakan Persamaan (2-13) dan (2-14).

$$B_{hq} = \left(\frac{b_2}{N}\right)^{M_2} \times P_q(0)$$

$$P_q(0) = \left(N!.\sum_{n=0}^{N-1} \frac{a^{n-N}}{n!} + \frac{1-\left(b_1/N\right)^{M_1+1}}{1-\left(b_1/N\right)} \right)^{-1}$$

dengan

B_{hq} = probabilitas *blocking* pada permintaan handover

b_1 = λ_1/μ

b_2 = λ_2/μ

λ_1 = jumlah permintaan panggilan normal (*originating calls*) (panggilan/s)

λ_2 = jumlah permintaan *handover* (panggilan/s)

a = $\dfrac{(\lambda_1+\lambda_2)}{\mu}$

$1/\mu$	=	rata-rata waktu percakapan pada jam sibuk	(s)
N	=	jumlah saluran (kanal) yang tersedia	(kanal)
M_1	=	jumlah antrian panggilan normal (*originating calls*)	(kanal)
M_2	=	jumlah antrian permintaan *handover*	(kanal)

Pada perhitungan sebelumnya, didapatkan bahwa jumlah saluran yang tersedia (N) adalah 31 kanal. Sementara untuk menghitung probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* diberikan asumsi-asumsi yang mengacu pada data dari sebuah BTS Akar Daya sektor 1 PT. Telkomsel untuk sistem GSM sebagai berikut (Zubair, 2002).

- λ_1 = 2270 panggilan normal (*originating calls*) per jam = 0,6306 panggilan per sekon
- λ_2 = 800 permintaan *handover* per jam = 0,222 permintaan per sekon
- $1/\mu$ = 2 menit = 120 sekon
- M_1 = 2 kanal
- M_2 = 1 kanal

Maka perhitungan probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* dalam penerapan sistem menara bersama ini adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{\mu}$$
$$= (0{,}6306 + 0{,}0222) \times 120$$
$$= 78{,}336$$

$$b_1 = \frac{\lambda_1}{\mu}$$
$$= 0{,}6306 \times 120$$
$$= 75{,}672$$

$$b_2 = \frac{\lambda_2}{\mu}$$
$$= 0{,}222 \times 120$$
$$= 26{,}64$$

$$P_q(0) = \left(31!.\sum_{n=0}^{30} \frac{(78,336)^{n-31}}{n!} + \frac{1-\left(75,672/31\right)^{2+1}}{1-\left(75,672/31\right)} \right)^{-1}$$

$$= \frac{1}{\left(8,223.10^{33} \times \sum_{n=0}^{30} \frac{(78,336)^{n-31}}{n!} \right) + \frac{1-14,545}{1-2,44}}$$

$$= \frac{1}{\left(8,223.10^{33} \times 7,7.10^{-35}\right) + 9,41}$$

$$= \frac{1}{0,6332 + 9,41}$$

$$= 0,0996$$

$$B_{hq} = \left(\frac{26,64}{31} \right)^{1} \times 0,0996$$

$$= 0,859 \times 0,0996$$

$$= 0,086$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* dalam penerapan sistem menara bersama sebesar 0,086. Jika dinyatakan dalam persen,

$$\%B_{hq} = 0,086 \times 100\%$$

$$= 8,6\%$$

$$\approx 9\%$$

Nilai persentase probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* sebesar 8,6% tersebut berarti pada penerapan sistem menara bersama, ada 9 dari 100 permintaan *handover* yang akan diantrikan sebelum dilayani.

4.6.2 Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi

Dalam melakukan pengaturan penomoran kanal frekuensi, harus diperhatikan aturan penggunaan sel-sel dengan frekuensi sama (*co-channel cell*) pada teknik *frequency reuse*. Terlebih dahulu ditentukan jumlah sel dalam satu *cluster* (K) dengan cara menganalisa hubungannya dengan *reuse ratio* (q) seperti Persamaan (4-4) berikut.

$$q = \sqrt{3K} \quad (4\text{-}4)$$

dengan

q = *reuse ratio*

K = jumlah sel dalam satu *cluster*

dimana hubungan antara q dengan C/I dinyatakan pada Persamaan (4-5) berikut (Lee, 1995:63):

$$q = \left(6 \times \frac{C}{I}\right)^{1/\gamma} \quad (4\text{-}5)$$

dengan

q = *reuse ratio*

$\frac{C}{I}$ = *carrier to interference ratio*

γ = konstanta redaman akibat rugi-rugi propagasi

Berdasarkan perhitungan pada sub bab sebelumnya, nilai C/I pada sistem menara bersama yang diterapkan di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung adalah 18,33 dB. Maka nilai q dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (4-5).

$$\frac{C}{I} = 18{,}33 \text{ dB}$$
$$= 10^{\frac{18{,}33}{10}}$$
$$= 68{,}077$$
$$q = \left(6 \times \frac{C}{I}\right)^{1/\gamma}$$
$$= (6 \times 68{,}077)^{1/3{,}93}$$
$$= 4{,}62$$

Dengan demikian, jumlah sel dalam satu *cluster* yang diasumsikan dalam penerapan sistem menara bersama di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung dapat dihitung dengan Persamaan (4-4):

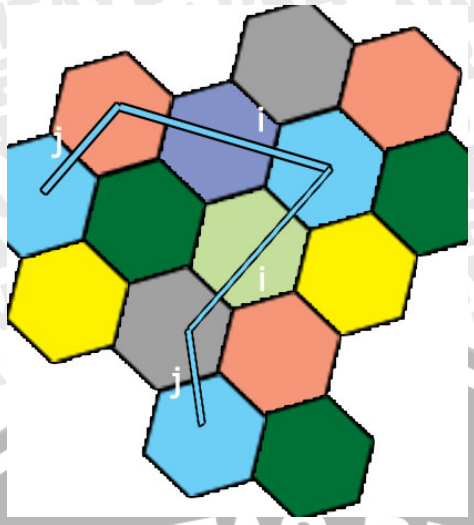
$$q = \sqrt{3K}$$
$$K = \frac{q^2}{3}$$
$$= \frac{4{,}62^2}{3}$$
$$= 7{,}115 \approx 7$$

Dengan nilai K=7, berarti perencanaan yang dilakukan, akan terdapat 7 sel dengan nomor kanal yang berbeda dalam satu *cluster*. Selanjutnya dapat dilakukan pengaturan penomoran kanal dengan terlebih dahulu menggunakan patokan seperti pada persamaan (2-5).

$$K = i^2 + j^2 + ij \quad (2.1)$$

Sehingga dalam melakukan pengaturan, nomor kanal frekuensi yang sudah digunakan pada suatu sel akan dapat digunakan kembali pada sel-sel lain yang memenuhi nilai i=2 dan j=1 dari sel awal sesuai dengan patokan Persamaan (2-5), dimana *i* adalah jumlah sel yang dilewati pada arah pergerakan awal dan *j* adalah jumlah sel yang dilewati pada arah pergerakan semula diputar 60˚.

Selain itu, hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa untuk menghindari terjadinya bentuk interferensi yang lain yakni *next channel interference*, penomoran kanal frekuensi untuk sel-sel yang bersebelahan / saling berbatasan langsung harus dibedakan sejauh 21 kanal, atau paling tidak berbeda 8 atau 10 kanal antara satu dengan yang lain (Lee, 1995:225). Pengaturan tersebut dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi dengan K=7

Untuk penerapan sistem menara bersama di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung, pada Gambar 4.7 berikut diberikan ilustrasi pengaturan nomor kanal pada BTS-BTS yang terlibat supaya interferensi yang terjadi dapat diminimalisir. Asumsi-asumsi yang dilakukan dalam mengatur penomoran kanal ini adalah:

1. Masing-masing sel sudah menerapkan sistem menara bersama.
2. Operator-operator yang terlibat dalam simulasi adalah 3 operator besar yakni PT. Indosat, PT. Telkomsel, dan PT. Excelcomindo (XL).
3. Simulasi pengaturan yang dilakukan tidak memperhatikan kondisi sebenarnya tentang penomoran kanal yang sekarang sudah dilakukan.
4. Objek pengaturan adalah daerah di sekitar wilayah pengamatan Desa Mulyoagung.

Gambar 4.7. Penomoran Kanal pada Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung dan Desa-desa Sekitarnya

Seperti terlihat pada Gambar 4.7 di atas, sel A, sel L, dan sel N merupakan sel-sel *co-channel* atau sel-sel yang menggunakan kanal frekuensi sama. Jadi, konfigurasi pengaturan penomoran kanal frekuensi pada sel A dapat digunakan juga untuk mengatur konfigurasi pada sel L dan N. Demikian juga konfigurasi yang sama diberlakukan pada sel-sel F, H, dan K. Juga sel-sel E-I-O, pasangan sel D-M dan G-J.

Dalam pengaturan ini, ketiga operator yang beroperasi di menara bersama pada sel A masing-masing menggunakan kanal frekuensi sebagai berikut.

Tabel 4.21. Pengaturan Penomoran Kanal Frekuensi pada Sel A dengan Sistem Menara Bersama

Operator	Range Frekuensi Uplink (KHz)	Range Frekuensi Downlink (KHz)	Nomor Kanal
Indosat	890001-890200	935001-935200	1
Telkomsel	900001-900200	945001-945200	51
XL	907501-907700	952501-952700	88

Konfigurasi pengaturan kanal frekuensi untuk sel A seperti pada Tabel 4.21 di atas akan diulang untuk sel L dan N. Sedangkan konfigurasi untuk sel-sel yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.22 berikut.

Tabel 4.22. Pengaturan Penomoran Kanal Frekuensi pada Sel-sel dengan Sistem Menara Bersama di Wilayah Pengamatan Desa Mulyoagung dan Desa Sekitarnya

Sel	Indosat			Telkomsel			XL		
	Range Frek. *Uplink* (KHz)	Range Frek. *Downlink* (KHz)	No. Kanal	Range Frek. *Uplink* (KHz)	Range Frek. *Downlink* (KHz)	No. Kanal	Range Frek. *Uplink* (KHz)	Range Frek. *Downlink* (KHz)	No. Kanal
A	890001 - 890200	935001 - 935200	1	900001 - 900200	945001 – 945200	51	907501 - 907700	952501 – 952700	88
B	892001 - 892200	937001 - 937200	11	902001 - 902200	947001 – 947200	61	909501 - 909700	954501 – 954700	98
C	894001 - 894200	939001 - 939200	21	904001 - 904200	949001 – 949200	71	911501 - 911700	956501 – 956700	108
D	896001 - 896200	941001 – 941200	31	906001 - 906200	951001 – 951200	81	913501 - 913700	958501 – 958700	118
E	892201 - 892400	937201 – 937400	12	902201 - 902400	947201 – 947400	62	909701 - 909900	954701 – 954900	99
F	894201 - 894400	939201 – 939400	22	904201 - 904400	949201 – 949400	72	911701 – 911900	956701 – 956900	109
G	896201 - 896400	941201 - 941400	32	906201 - 906400	951201 - 951400	82	913701 - 913900	958701 - 958900	119
H	894201 - 894400	939201 – 939400	22	904201 - 904400	949201 – 949400	72	911701 – 911900	956701 – 956900	109
I	892201 - 892400	937201 – 937400	12	902201 - 902400	947201 – 947400	62	909701 - 909900	954701 – 954900	99
J	896201 - 896400	941201 - 941400	32	906201 - 906400	951201 - 951400	82	913701 - 913900	958701 - 958900	119
K	894201 - 894400	939201 – 939400	22	904201 - 904400	949201 – 949400	72	911701 – 911900	956701 – 956900	109
L	890001 - 890200	935001 - 935200	1	900001 - 900200	945001 – 945200	51	907501 - 907700	952501 – 952700	88
M	896001 - 896200	941001 – 941200	31	906001 - 906200	951001 – 951200	81	913501 - 913700	958501 – 958700	118
N	890001 - 890200	935001 - 935200	1	900001 - 900200	945001 – 945200	51	907501 - 907700	952501 – 952700	88
O	892201 - 892400	937201 – 937400	12	902201 - 902400	947201 – 947400	62	909701 - 909900	954701 – 954900	99

Dengan pengaturan penomoran kanal yang rapi dengan jarak yang ditentukan seperti di atas, ketiga operator yang beroperasi pada menara yang sama di sel-sel tersebut tidak akan saling menginterferensi. Sehingga kualitas pelayanan operator-operator yang terlibat tidak terganggu dengan diberlakukannya sistem menara bersama.

4.7.2 Performansi Sistem Setelah Dilakukan Pengaturan

Salah satu kondisi kegagalan panggilan adalah *dropped call*, yaitu peristiwa terputusnya hubungan pada saat pembicaraan sedang berlangsung dikarenakan kegagalan proses *handover*. Seperti pada asumsi yang berlaku pada penggunaan distribusi Erlang C, jumlah saluran yang tersedia (N) terbatas, sehingga apabila semua saluran sedang terpakai maka panggilan berikutnya harus menunggu hingga

ada saluran yang bebas (*idle*). Dalam hal ini berarti ketika saluran sedang penuh, sebuah permintaan *handover* akan diantrikan atau diblok untuk sementara hingga tersedia saluran bebas.

Untuk menilai performansi *handover* pada suatu wilayah pengamatan, dapat dihitung probabilitas dilakukannya *blocking* pada sebuah permintaan *handover* untuk diantrikan hingga tersedia saluran bebas. Untuk menghitung probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* ini, digunakan Persamaan (2-13) dan (2-14).

Pada analisis penerapan sistem menara bersama pada sub bab sebelumnya, didapatkan bahwa jumlah saluran yang tersedia (N) adalah 12 kanal. Sementara untuk menghitung probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* diberikan asumsi-asumsi yang mengacu pada data dari sebuah BTS Akar Daya sektor 1 PT. Telkomsel untuk sistem GSM sebagai berikut (Zubair, 2002).

- λ_1 = 2270 panggilan normal (*originating calls*) per jam = 0,6306 panggilan per sekon
- λ_2 = 800 permintaan *handover* per jam = 0,222 permintaan per sekon
- $1/\mu$ = 2 menit = 120 sekon
- M_1 = 2 kanal
- M_2 = 1 kanal

Maka perhitungan probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* dalam penerapan sistem menara bersama ini adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{\mu}$$
$$= (0{,}6306 + 0{,}0222) \times 120$$
$$= 78{,}336$$

$$b_1 = \frac{\lambda_1}{\mu}$$
$$= 0{,}6306 \times 120$$
$$= 75{,}672$$

$$b_2 = \frac{\lambda_2}{\mu}$$
$$= 0{,}222 \times 120$$
$$= 26{,}64$$

$$P_q(0) = \left(24!.\sum_{n=0}^{23} \frac{(78{,}336)^{n-24}}{n!} + \frac{1-\left(75{,}672/24\right)^{2+1}}{1-\left(75{,}672/24\right)} \right)^{-1}$$

$$= \frac{1}{\left(6{,}204.10^{23} \times \sum_{n=0}^{24} \frac{(78{,}336)^{n-24}}{n!} \right) + \frac{1-31{,}345}{1-3{,}153}}$$

$$= \frac{1}{\left(6{,}204.10^{23} \times 3{,}84.10^{-38}\right) + 14{,}094}$$

$$= \frac{1}{23{,}82.10^{-15} + 14{,}094}$$

$$= 0{,}0709$$

$$B_{hq} = \left(\frac{26{,}64}{24}\right)^1 \times 0{,}0709$$

$$= 1{,}11 \times 0{,}0709$$

$$= 0{,}0787$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* dalam penerapan sistem menara bersama sebesar 0,0787. Jika dinyatakan dalam persen,

$$\%B_{hq} = 0{,}0787 \times 100\%$$

$$= 7{,}87\%$$

$$\approx 8\%$$

Nilai persentase probabilitas *blocking* pada permintaan *handover* sebesar 7,87% tersebut berarti pada penerapan sistem menara bersama, ada 8 dari 100 permintaan *handover* yang akan diantrikan sebelum dilayani.

Perbandingan performansi sistem sebelum dan setelah dilakukan pengaturan penggunaan kanal frekuensi, ditinjau dari nilai persentase probabilitas *blocking* pada permintaan *handover*, dapat dilihat pada Tabel 4.23 berikut.

Tabel 4.23. Nilai Persentase Probabilitas *Blocking* pada Permintaan *Handover* Sebelum dan Setelah Dilakukan Pengaturan Penggunaan Kanal Frekuensi di Wilayah Pengamatan

	Persentase Probabilitas *Blocking* pada Permintaan *Handover* (%)
Sebelum Dilakukan Pengaturan	8,6
Setelah Dilakukan Pengaturan	7,87

Sumber : Perhitungan

Dibanding kondisi sebelum dilakukan pengaturan dimana persentase probabilitas *blocking* pada permintaan *handover*, performansi sistem setelah dilakukan pengaturan penggunaan kanal frekuensi lebih baik dalam melakukan penanganan terhadap permintaan *handover*.

4.7 Efisiensi Penggunaan Menara pada Sistem Menara Bersama

Dalam sebuah usaha untuk melakukan efisiensi terhadap suatu sistem, tentu sistem yang baru harus lebih efisien dibanding sistem sebelumnya. Untuk mengetahui seberapa efisien sistem menara bersama dibandingkan dengan sistem *one tower, one operator*, diperhatikan jumlah menara yang didirikan di wilayah pengamatan Desa Mulyoagung pada saat kedua sistem diterapkan.

Pada sistem *one tower, one operator*, menara yang perlu didirikan di wilayah pengamatan untuk melayani pengguna telepon seluler adalah sebanyak 3, masing-masing untuk operator Indosat, Telkomsel, dan Excelcomindo. Sedangkan setelah diterapkan sistem menara bersama, BTS dari ketiga operator dapat ditempatkan secara bersama pada satu menara, sehingga menara yang perlu didirikan hanya satu saja. Dari sini dapat disimpulkan bahwa berdasarkan pengamatan yang dilakukan di Desa Mulyoagung, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, penerapan sistem menara bersama pada telekomunikasi seluler dapat mengefisienkan penggunaan menara hingga 1/3 dibandingkan pada saat diterapkan sistem *one tower, one operator*.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis efisiensi penggunaan menara *Base Transceiver Station* (BTS) bersama oleh beberapa operator telekomunikasi ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah menara yang perlu dibangun pada sistem menara bersama lebih efisien hingga 1/3 kali jumlah menara pada sistem *one tower, one operator*.
2. Parameter-parameter performansi pada kedua sistem memiliki nilai yang relatif sama dan masih berada dalam batas toleransi. Perbandingan hasil perhitungan beberapa parameter performansi kedua sistem adalah sebagai berikut.
   a) Perbandingan nilai *Carrier to Interference Ratio* (C/I). Pada sistem *one tower-one operator*, nilai C/I adalah 11,83 dB. Sedangkan pada sistem menara bersama nilai C/I adalah 18,92 dB. Semakin besar nilai C/I, semakin baik performansi suatu sistem. Dapat dilihat bahwa performansi sistem menara bersama lebih baik dibandingkan sistem *one tower, one operator*.
   b) Perbandingan kapasitas kanal. Pada sistem *one tower-one operator*, jumlah kanal yang tersedia adalah 30, sedangkan pada sistem menara bersama sebanyak 24. Jumlah kanal yang tersedia pada sistem menara bersama lebih kecil dibanding pada sistem *one tower, one operator*. Hal ini berkaitan dengan waktu rata-rata pelanggan dalam antrian dan persentase GOS.
   c) Perbandingan waktu rata-rata pelanggan dalam antrian. Pada sistem menara bersama, pelanggan harus menunggu selama $4{,}48.10^{-6}$ sekon, lebih lama dibandingkan pada sistem *one tower, one operator* dimana pelanggan harus menunggu selama $1{,}45.10^{-9}$ sekon. Tetapi waktu yang harus ditempuh itu pun masih berada dalam batas toleransi 2 sekon.
   d) Perbandingan nilai *Grade of Service* (GOS). Persentase GOS pada sistem menara bersama bernilai $0{,}858.10^{-4}$ %, lebih besar dibanding pada sistem *one tower, one operator* dimana persentase GOS-nya adalah $0{,}351.10^{-4}$ %. Tetapi nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan, yaitu 5%.

3. Dalam penerapan sistem menara bersama, perlu dilakukan pengaturan penggunaan kanal frekuensi oleh BTS-BTS dari masing-masing operator yang terlibat, sehingga kemungkinan terjadinya interferensi dalam satu menara maupun dengan BTS di menara-menara sekitarnya dapat diminimalisir. Sebelum dilakukan pengaturan, persentase permintaan *handover* yang diantrikan sebesar 8,6%. Sementara setelah dilakukan pengaturan, persentasenya menjadi sebesar 7,87%.
4. Nilai dari parameter- parameter performansi telekomunikasi selular pada sistem menara bersama masih berada dalam *range* toleransi, sementara jumlah menara yang perlu dibangun lebih sedikit, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem menara bersama layak diterapkan menggantikan sistem sebelumnya *one tower, one operator*.

5.2 Saran

Pembahasan mengenai penerapan sistem penggunaan menara *Base Transceiver Station* (BTS) bersama oleh beberapa operator telekomunikasi ini masih bisa dikembangkan lebih lanjut. Di antaranya adalah pembahasan mengenai beberapa hal berikut.

1. Pengaruh penggunaan sistem menara bersama untuk beberapa operator telekomunikasi terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat.
2. Penataan lokasi (*plotting*) penempatan menara-menara BTS bersama di suatu wilayah kota/kabupaten, dalam kaitannya dengan persebaran pelanggan yang harus dilayani dan estetika penataan kota.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, Pidekso. 2005. *Selayang Pandang tentang Telecenter "Daragati"PKK Kota Malang*. http://www.jatim.go.id/telecenter/malang/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=101. Diakses pada tanggal 20 Juli 2008.

Adronafis, Hidayatullah. 2008. *Mengenal Tower*. http://www.wikimu.com/News/DisplayNews.aspx?ID=9473. Diakses pada tanggal 24 Agustus 2008.

Anonim. 2000. *Investigation of the Technical Feasibility of Accommodating the International Mobile Telecommunications (IMT) 2000 Within the 1755 – 1850 MHz Band*. USA:Department of Defense IMT-2000 Technical Working Group.

Anonim. 2003. *Data Jumlah Penduduk Kota Malang Tahun 2003*. http://www.pemkot-malang.go.id/bdesosial.php. Diakses pada tanggal 19 Juli 2008.

Balanis, Constantine A. 1997. *Antenna Theory. Analysis, and Design*. Singapore:John Wiley&Sons Inc.

Dajan, Anton. *Statistik I*. Jakarta : Balai Pustaka, 1986

Ericsson. 2000. *RF Guidelines:1800 MHZ The Ericsson GSM System R8*. Ericsson.

Khumaini, Aris .2008. *Surat Cinta BTS Engineer*. http://kumanz.wordpress.com/2008/01/08/surat-cinta-bts-engineer/. Diakses pada tanggal 24 Agustus 2008.

Krarup, Janus Christian. 1998. *Explanation Of GSM Channel Structures*. http://www.tele-servizi.com/janus/engfield2.html. Diakses pada tanggal 25 Agustus 2008.

Lee, William C.Y. 1995. *Mobile Cellular Telecommunication Analog and Digital System*. Singapore:McGrawHill Book.

Lee, William C.Y. 2006. *Wireless and Cellular Telecommunication Third Edition*. Singapore:McGrawHill Book.

Nuh, Mohammad. 2008. *Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No. 2 Tahun 2008*. Jakarta:Depkominfo.

Riswan. *Base Transceiver Station (BTS)*. http://mobileindonesia.net/2008/05/22/base-transceiver-station-bts/. Diakses pada tanggal 23 Agustus 2008.

Rouzni Noor II, Achmad dan Wibisono, Ardian. 2007. *Biar Irit, Mobile-8 Pilih Sewa BTS*. http://www.detikinet.com/read/2007/05/09/110205/778239/328/biar-irit-mobile-8-pilih-sewa-bts. Diakses pada tanggal 19 Juli 2008.

Sutadi, Heru. 2007. *Menara Bersama, Antara Kebutuhan dan PAD*. http://www.detikinet.com/read/2007/07/16/110457/805305/328/menara-bersama-antara-kebutuhan-dan-pad. Diakses pada tanggal 19 Juli 2008.

Pemula, Sang. 2008. Balasan : *[Forum Pembaca KOMPAS] Kepentingan Bisnis di Menara BTS*. http://www.mail-archive.com/forum-pembaca-kompas@yahoogroups.com/msg36375.html. Diakses pada tanggal 23 Agustus 2008.

Priyambodo, Anton Ellyas. 2007. *FAQ BTS*. http://antzon.wordpress.com/2007/12/31/faq-bts/. Diakses pada tanggal 7 Agustus 2008.

Purwanto. 2008. *Telaahan Staf mengenai Tower sebagai Sarana Pendukung Komunikasi & Informatika sebagai Jawaban Rekomendasi LKPJ Bupati Kabupaten Purbalingga*. http://www.download.purbalinggakab.go.id/pgoid/kpde/tower%20sebagai%20sarana%20pendukung%20komunikasi%20dan%20informatika.pdf. Diakses pada tanggal 5 Agustus 2008.

Titus. 2008. *Hutan Tower di Bukit Gombel*. http://galerikecil.multiply.com/photos/album/16/hutan_tower_di_bukit_gombel#2. Diakses pada tanggal 5 Agustus 2008.

Usman, Uke Kurniawan. 2006. *Modul Sistem Komunikasi Bergerak – Struktur Jaringan CDMA-2000 1x*. Bandung:Program Studi D3 Teknik Transmisi Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.