

## BAB II

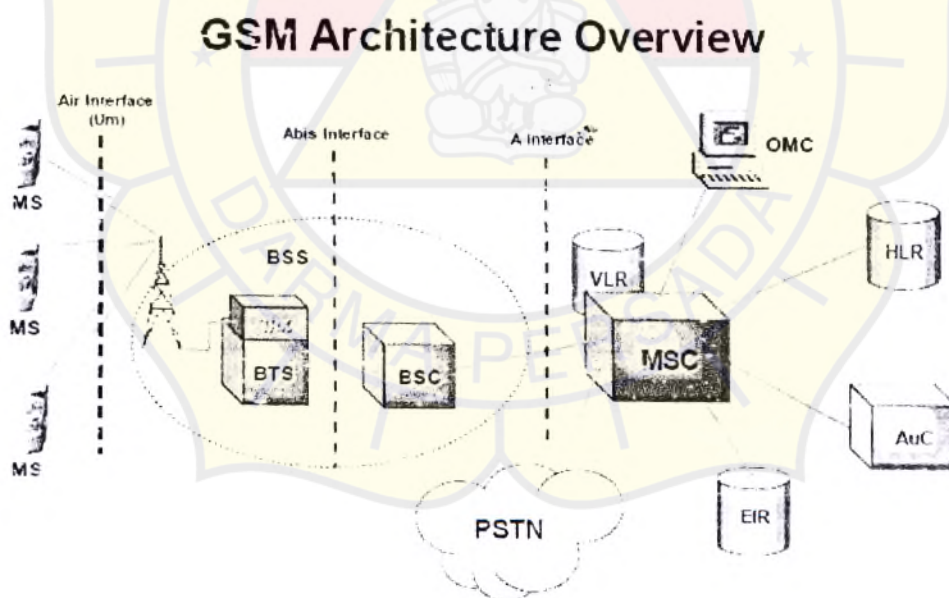
### SISTEM JARINGAN SELULAR GSM

#### 2.1. Tujuan Utama Sistem Jaringan Selular GSM

Sistem jaringan selular GSM berpedoman pada pemakaian optimal spektrum frekuensi yang tersedia, yang bertujuan untuk mendapatkan :

1. **Coverage** – penggunaan sinyal radio yang dapat dijangkau seluruh area didalam jaringan.
2. **Capacity** – penanganan *traffic* panggilan yang dilakukan oleh pelanggan.
3. **Quality** – tingkat interferensi (gangguan) rendah, minimnya tingkat *drop-call* dan lain sebagainya.

#### 2.1.1. Arsitektur Jaringan Selular GSM



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan Selular GSM

Sebuah jaringan GSM dibentuk oleh tiga buah subsistem :

### 2.2.1. *Mobile Station (MS)*

*Mobile station* terdiri dari :

1. *Mobile Equipment (ME)* atau biasa disebut perangkat genggam (telepon genggam).



Gambar 2.2 Mobile Equipment (ME)

2. *Subscriber Identity Module (SIM)*.



Gambar 2.3 Subscriber Identity Module (SIM)

SIM menyimpan data permanen dan data sementara tentang sistem *mobile*, data pelanggan, dan jaringan, termasuk didalamnya :

1. *The International Mobile Subscriber Identity (IMSI)*.
2. Nomor MS ISDN pelanggan.
3. *Authentication Key (K<sub>i</sub>)* dan algoritma yang digunakan untuk otentifikasi.

*Mobile equipment (ME)* memiliki *International Mobile Equipment Identity (IMEI)*, yang akan digunakan oleh *Equipment Identity Register (EIR)* di *Mobile Switching Centre (MSC)*.

Dua bagian dari *mobile station (ME dan SIM)* dapat dipisahkan antara perlengkapan sebenarnya dengan pelanggan yang menggunakan.

IMSI berguna untuk mengidentifikasi pelanggan pada jaringan GSM, sementara MS ISDN merupakan nomor telepon pelanggan yang sebenarnya (kemungkinan berada dalam jaringan lain) digunakan untuk menghubungi pelanggan tersebut.

Untuk keamanan dikendalikan oleh penggunaan *authentication key* dan transmisi dari *Temporary Subscriber Identity (TMSI)* melalui jaringan radio yang memungkinkan untuk mencegah penggunaan identitas IMSI secara permanen.

Di beberapa negara, IMEI dapat digunakan pada beberapa tipe perangkat genggam untuk memblokir akses penggunaan jaringan saat keadaan terdesak, sebagai contoh apabila perangkat genggam dicuri atau hilang.

### **2.2.2. Base Station Subsystems (BSS)**

BSS terhubung dengan *Base Transceiver Station (BTS)* atau pun *Repeater* dan satu atau lebih *Base Station Controller (BSC)*.

Kegunaan dari BSC adalah memberikan akses radio ke *mobile station (MS)* dan mengatur aspek akses radio pada sistem jaringan.

#### **2.2.2.1. Base Transceiver Station (BTS)**

BTS terdiri dari :



- a. *Radio Transmitter Receiver (TRx)*.
- b. *Signal Processing dan Equipment Control*.
- c. Antena dan kabel *feeder* (penghubung).

Fungsi dari BTS adalah :

- a. Mengalokasikan kanal selama panggilan berlangsung.
- b. Memonitor kualitas saat panggilan berlangsung.
- c. Mengontrol daya yang dikirim oleh BTS atau MS.
- d. Memproses *handover* terhadap sel lain apabila diperlukan.

Lokasi penempatan sebuah BTS sangat penting untuk menunjang *coverage* radio. Efek kuat dan lemahnya peralatan BTS dalam menyalurkan kekuatan sinyal menuju antena merupakan pertimbangan yang penting untuk perhitungan *link budget*. Perencanaan lokasi penempatan BTS membutuhkan *software* khusus (*planning tool*) seperti Ericsson TEMS *Cell Planner*. Menempatkan *sites* dan mengimplementasikan perencanaan melibatkan kombinasi dari survey tempat, merancang dan pekerjaan khusus lainnya.

#### 2.2.2.2. Repeater



Gambar 2.4 Konfigurasi BTS Donor ke Repeater

*Repeater* kadang digunakan untuk mengganti BTS untuk mengisi area kecil yang sepenuhnya tercover oleh BTS selain lebih murah dan sangat berguna, tapi keterbatasannya harus dimengerti. *Repeater* berguna pada daerah isolasi atau *low density area*.

Berdasarkan fungsinya repeater dibagi menjadi dua yaitu *Digital Repeater* dan *Band Selective*.

*Digital Repeater* dapat menggunakan *channel selective repeaters* dimana *Surface Acoustic Wave (SAW) filter* digunakan untuk memastikan hanya frekuensi BTS donor yang diperlukan di *repeat*, biasanya *carrier bandwidth* yang digunakan 200khz digunakan untuk GSM dan 1,25khz untuk CDMA.

*Band Selective* dibagi lagi menjadi dua berdasarkan tipenya yaitu:

a. *Broad band repeater (Cell Extender Repeater)*

Mencover dari sebuah sel untuk memperluas secara murah pada sel utama yang tidak tercover. Tidak ada modifikasi yang dibutuhkan pada sel *site* asli, tipe ini menggunakan *wide band amplifier* yang mengampli (memperkuat) dan merepeat (mengulang) *channel Base Station* utama

b. *Cell Replacement repeater*

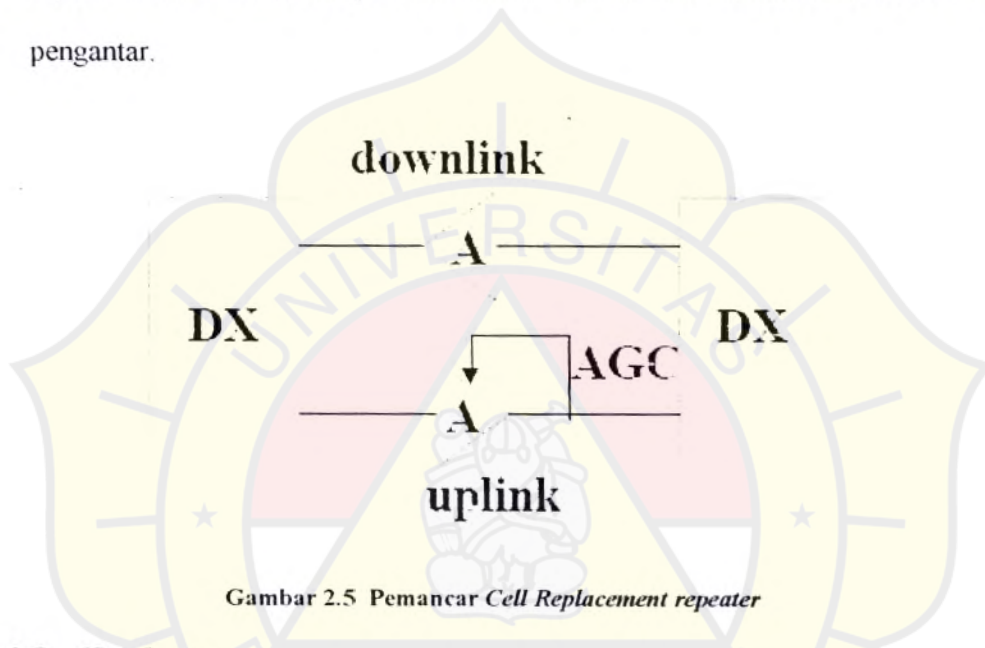
Beroperasi sangat berbeda dari *simple repeater* dan memerlukan *hardware* dan *software interface* dengan *main base* dan *switch*.

*Repeater channel* adalah frekuensi cerdas dan dapat berubah dari frekuensi normal ke frekuensi repeater, sistem ini menghindari interferensi dari *main base* ke *extended base* karena *channel* berbeda (*frequency translation*) digunakan pada tiap *base*. Dan repeater ini memiliki

AGC(Automatic Gain Control) alat pengontrol gain dari antena RBS ke antena MS

Berguna pada saat pada *coverage* tambahan pada area luas dengan sedikit *subscriber*(langganan) sehingga dapat di antisipasi.

Repeater base terdiri dari dua *back to back repeater* memunculkan seperti normal BTS, tetapi tidak membutuhkan *link* sistem dan tidak ada pengantar.



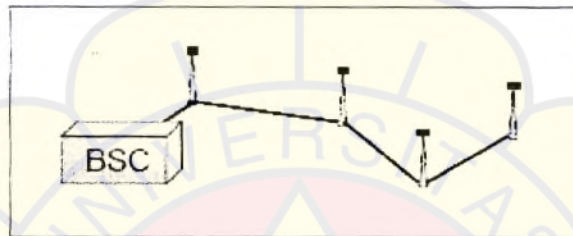
Gambar 2.5 Pemancar Cell Replacement repeater

### 2.2.3. Handover

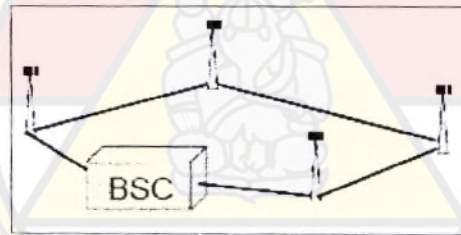
*Handover* merupakan situasi yang rumit, yang pada kenyataannya bahwa perangkat genggam hanya melakukan *link* (*traffic channel*) dengan satu BSS pada saat bersamaan. Ini merupakan kenyataan yang harus diterima oleh sistem yang mempunyai banyak frekuensi (*multiple frequencies*), karena perangkat genggam harus melakukan *tuning* ulang pada saat *handover*. Sistem frekuensi tunggal (*single frequencies* seperti CDMA) dapat menggunakan metode *soft handover*.



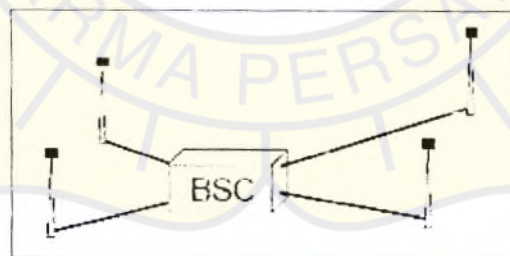
Membandingkan kualitas dan tingkat kekuatan dari sebuah radio *link* dengan sel yang berdekatan (*neighbour*) merupakan masukan yang penting untuk menentukan keputusan *handover* oleh BSC (*Base Station Controller*). Di beberapa topologi jaringan standar Base Station terhubung dengan induk BSC, topologi jaringan BSS dapat dilihat pada gambar 2.4, 2.5, dan 2.6 Perangkat penghubungnya dapat berupa gelombang mikro, serat fiber (FO), atau kabel. Perencanaan perangkat penghubung ini dapat menggunakan *software Connect*.



Gambar 2.6 Topologi Jaringan BSS Model *Chain*



Gambar 2.7 Topologi Jaringan BSS Model *Ring*



Gambar 2.8 Topologi Jaringan BSS Model *Star*

#### 2.2.4. Network Switching Systems (NSS)

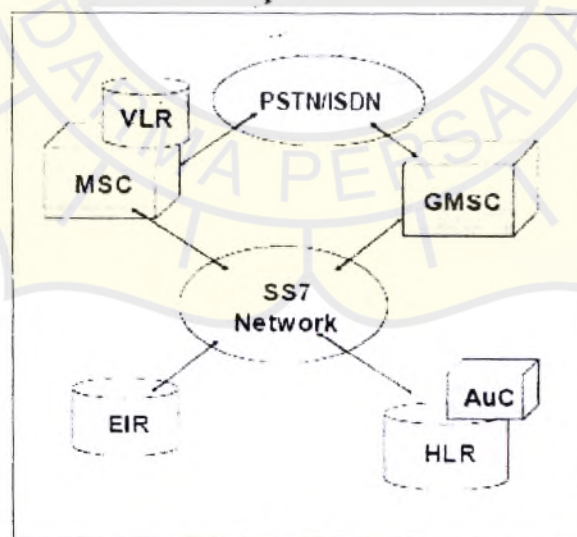
NSS mengkombinasikan proses *call routing switches* (oleh MSC dan GMSC) dengan register basis data yg berfungsi untuk tetap menjaga jalur pergerakan pelanggan dan penggunaan sistem. *Call routing* antara MSC ke MSC lainnya menggunakan jaringan PSTN (*Public Switched Telephone Network*) atau ISDN yang sudah ada.

NSS memiliki elemen-elemen penting, yaitu :

1. *Mobile Switching Centre (MSC)* yang didalamnya terdapat *Visitor Location Register (VLR)*.
2. *Home Location Register (HLR)* yang didalamnya terdapat *Authentication Centre (AuC)*.
3. *Equipment Identity Register (EIR)*.
4. *Gateway MSC (GMSC)*.

Elemen-elemen tersebut saling terhubung dalam jaringan yang disebut SS7

(Gambar 2.9).



Gambar 2.9 Elemen-Elemen NSS dalam Jaringan SS7



#### 2.2.4. *Mobile Switching Centre (MSC)*

MSC berfungsi untuk :

1. *Switching* panggilan, mengontrol dan mencatat panggilan.
2. Antarmuka dengan PSTN, ISDN, dan PSPDN.
3. Manajemen mobilitas pada jaringan radio dan jaringan lainnya.
4. Manajemen sumberdaya radio – *handover* antar BSC.
5. Informasi biaya.

#### 2.2.5. *Visitor Location Register (VLR)*

Setiap MSC memiliki VLR. VLR menyimpan data sementara perangkat genggam dari MSC.

Informasi yang disimpan antara lain :

1. *International Mobile Subscriber Identity (IMSI)*.
2. Nomor *Mobile Station ISDN (MS ISDN)*.
3. Nomor *Mobile Station Roaming*.
4. *Temporary Mobile Station Identity (TMSI)*.
5. *Local Mobile Station Identity*.
6. Informasi lokasi area *mobile station* terdaftar.
7. Parameter layanan tambahan.

Untuk catatan, bahwa VLR menyimpan informasi lokasi area pelanggan terdaftar, sedangkan HLR menyimpan informasi lokasi MSC / VLR yang digunakan pelanggan. Informasi ini digunakan untuk *paging* ke pelanggan pada saat menerima panggilan masuk.

### 2.2.6. Home Location Register (HLR)

HLR menyimpan data semua pelanggan jaringan, antara lain :

1. Informasi berlangganan.
2. Informasi lokasi : nomor roaming MS, VLR, dan MSC.
3. *International Mobile Subscriber Identity (IMSI)*.
4. Nomor *Mobile Station ISDN (MS ISDN)*.
5. Informasi layanan berlangganan.
6. Pembatasan layanan.
7. Layanan tambahan.

Dengan *Authentication Center (AuC)*, HLR mengecek validitas dan profil layanan pelanggan. Secara logika, hanya terdapat satu HLR dalam jaringan, walaupun terdiri dari beberapa komputer terpisah.

Bentuk Implementasi HLR :

1. Satu HLR didalam jaringan.
2. Dapat dipisah menurut daerah.
3. Menyimpan informasi detail seluruh pelanggan.
4. Sistem komputer yang berdiri sendiri (*stand alone*) – tanpa kemampuan *switching*.
5. Dapat ditempatkan dimana saja di jaringan SS7.
6. Digabungkan dengan AuC.

### 2.2.7 Equipment Identity Register (EIR)

EIR merupakan basis data yang menyimpan nomor tunggal (*unique*) *International Mobile Equipment Identity (IMEI)* untuk setiap perangkat genggam.

EIR mengontrol akses ke jaringan dengan memberikan status perangkat genggam terhadap respon *query* IMEI.

Level status yang mungkin terjadi :

- *White-list* Perangkat genggam diperbolehkan melakukan koneksi ke jaringan.
- *Grey-list* Perangkat genggam dalam tahap pengamatan oleh jaringan karena alasan tertentu.
- *Black-list* Perangkat genggam telah dilaporkan dalam keadaan hilang atau dicuri, merupakan keadaan yang tidak diijinkan untuk jaringan GSM. Perangkat genggam tidak diperbolehkan melakukan koneksi ke jaringan.

EIR secara opsional dapat digunakan oleh operator jaringan untuk mengontrol akses beberapa tipe perangkat genggam ke jaringan, atau untuk monitor hilangnya perangkat genggam atau telah dicuri.

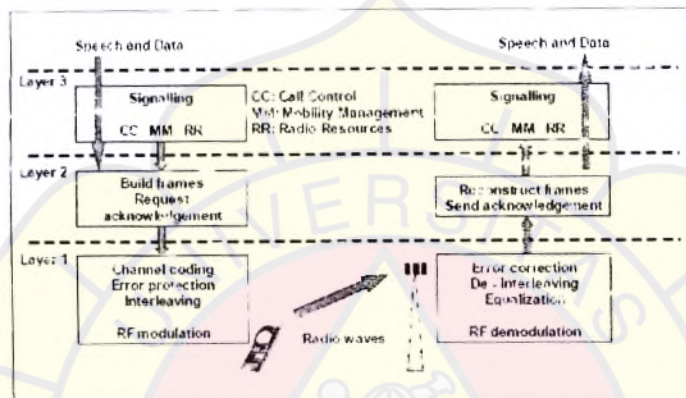
#### **2.2.7. Gateway MSC (GMSC)**

GMSC merupakan perangkat yang membuat jalur-jalur menuju jaringan agar dapat mencapai tujuan dengan benar. GMSC mengakses jaringan HLR untuk menemukan lokasi dari pelanggan yang dibutuhkan. Beberapa MSC dapat difungsikan sebagai GMSC, dalam kaitan ini operator jaringan dapat menentukan lebih dari satu GMSC.



### 2.3. Protokol Jaringan GSM

Protokol digunakan untuk komunikasi antar sistem, jaringan GSM merujuk standar 7-OSI Layer, menggunakan Layer 1 – 3. Pada Layer 3 digunakan untuk *Call Control (CC)*, *Mobility Management (MM)*, dan *Radio Resources (RR)*. Untuk lebih jelasnya, ditunjukkan pada gambar 2.10.

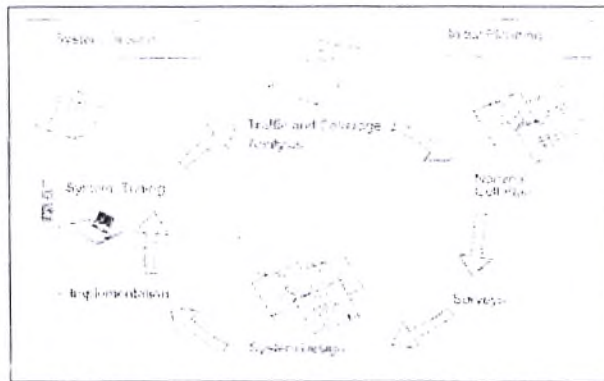


Gambar 2.10 Protokol Jaringan GSM

### 2.4. Prinsip Perencanaan Site

*Radio Network Planning* dapat dijelaskan sebagai segala kegiatan yang terkait dalam menentukan site yang akan digunakan untuk menempatkan peralatan-peralatan radio, peralatan apa saja yang akan digunakan dan bagaimana peralatan tersebut harus dikonfigurasi.

Untuk memastikan *coverage* area dan menghindari interferensi, setiap jaringan selular membutuhkan perencanaan (*planning*). Bentuk kegiatan utama yang terkait didalam proses Radio Network Planning dapat dilihat pada gambar 2.11.



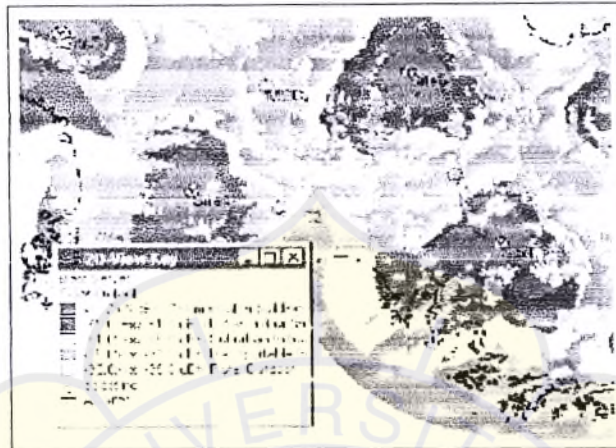
Gambar 2.11 Proses Radio Network Planning

#### 2.4.1. Traffic and Coverage Prediction:

Proses perencanaan dimulai dengan menganalisa *traffic* pemakaian dan *coverage*. *Coverage* adalah area dimana sinyal radio cukup kuat untuk digunakan. Tingkat kebutuhan sinyal sangat tergantung pada keadaan lingkungan pengguna, sebagai contoh : area komersial di suatu gedung, daerah urban, suburban, *hand portable* didalam mobil, dan *rural outdoor*. Tingkatan sinyal dapat ditentukan oleh tingkatan daya khusus (dBm) yang diperlukan untuk pemberian layanan pada area tertentu. Analisa harus menghasilkan informasi tentang bentuk geografis area dan kebutuhan kapasitas yang diharapkan. Tipe data yang didapatkan adalah :

1. Biaya.
2. Kapasitas.
3. Jangkauan.
4. Tingkat Layanan (GoS).
5. Frekuensi yang tersedia.

6. Indeks Kualitas Suara.
7. Sistem kapabilitas pertumbuhan.



**Gambar 2.12 Contoh Coverage Prediction**

*Traffic* pemakaian oleh pelanggan (yaitu berapa banyak pelanggan yang akan bergabung dan berapa besar *traffic* yang akan didistribusikan) menampilkan basis dari teknik jaringan selular. Distribusi geografis dari *traffic* pelanggan dapat diperkirakan dengan menggunakan data demografik, antara lain :

1. Distribusi populasi.
2. Distribusi pemakaian transportasi.
3. Data penggunaan lahan.
4. Statistik penggunaan telepon.
5. Faktor lain, seperti biaya penggunaan, biaya panggilan, dan harga perangkat genggam.



### 2.4.2. Propagation Model

Untuk memprediksi *coverage* dari sebuah antena, dibutuhkan gambaran bagaimana suatu gelombang radio dapat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang dilalui.

Beberapa faktor yang harus diperhitungkan, antara lain :

1. Presisi jarak *path loss*.
2. Tipe *diffraction loss*.
3. *Clutter loss*.
4. *Diffraction*.

Parameter-parameter untuk gambaran tersebut nantinya diinput ke *Planning Tool* pada bagian Propagation Model editor.

Propagation model harus dicocokkan dan dites, dengan tujuan dapat digunakan di berbagai area. Kegiatan ini melibatkan *drive testing* pada area tersebut untuk memperoleh pengukuran sinyal radio yang lebih banyak, kemudian mencocokkan faktor *k* pada propagation model guna menemukan yang terbaik melalui pengukuran tersebut. *Drive testing* dalam tahapan ini disebut juga CW analysis (dimana CW adalah *carrier* atau *continuous wave*).

Hasil dari *drive testing* tersebut merupakan satu set nilai yang akan diimport ke program, parameter-parameter kemudian disesuaikan sehingga *path loss* yang diprediksi propagation model mendekati keadaan asli yang telah diukur. tahapan ini disebut *model tuning*.

### 2.4.3. Network Dimensioning

#### 2.4.3.1. Link Budget

*Link budget* atau *power budget* melacak kuat dan lemahnya sinyal radio antara base station dengan perangkat genggam pelanggan. Hal ini membuat pentingnya kegunaan prediksi *path loss* dari propagation model yang telah dibuat. Hasil dari analisa *link budget* berguna untuk mendapatkan area maksimum dari *coverage* yang dapat diberikan oleh base station, hasilnya dapat menunjukkan area dari sel jaringan.

*Power budget* menghasilkan perkiraan dari radius dan area sel, yang nantinya berguna untuk menentukan jumlah sel yang dibutuhkan. Perhitungan seharusnya telah selesai dilakukan untuk masing-masing tipe keadaan lingkungan (rural, suburban, urban dll.) tempat jaringan berada, proses ini disebut *initial network design*.

#### 2.4.3.2. *Network Dimensioning for Coverage*

Pendekatan sederhana untuk menentukan jumlah base station dalam suatu jaringan adalah :

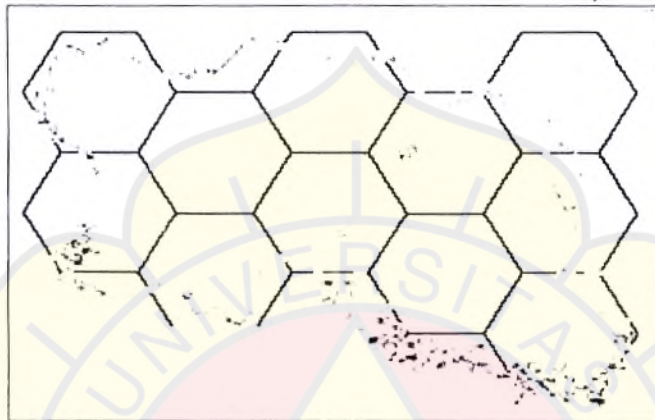
$$\text{Jumlah Sel yang dibutuhkan} = \frac{\text{Total area}}{\text{Area di dalam Sel}}$$

Perhitungan tersebut biasanya dalam bentuk *spreadsheet*, agar *link budget* dan parameter geografis dapat dengan mudah diubah dan diperbarui

#### 2.4.3.3. *Dimensioning for Traffic*

Pertimbangan penting lainnya saat perancangan jaringan adalah *capacity*.

*Capacity* adalah kemampuan suatu jaringan menangani *traffic*, sebagai contoh panggilan yang dilakukan pelanggan. Teori *traffic* berdasar atas konsep *trunking*, dimana hubungan antar penelpon potensial dibuatkan jalur menuju kanal yang terbatas.



Gambar 2.13 Contoh Network Dimensioning for Coverage

*Trunking* diperlukan di semua jaringan telekomunikasi, karena dapat memungkinkan penyediaan hubungan antar pelanggan secara terpisah. Hal ini mengacu kepada konsep *blocking* dan *grade of service (GoS)* yang harus dipertimbangkan.

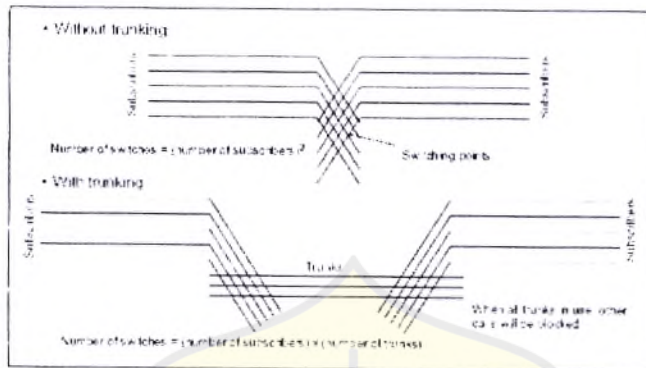
#### 2.4.4. Traffic Capacity

##### 2.4.4.1. Trunking

Gambar 2.14 mendemonstrasikan kebutuhan *trunking* pada jaringan apapun. Menghubungkan hanya 5 pasang pelanggan tanpa *truunking* membutuhkan 25 buah *switch*. *Trunking* mengurangi kebutuhan tersebut menjadi ukuran yang dapat diatur untuk jumlah pelanggan, namun mengikutkan konsep



*blocking*. Pada antarmuka jaringan GSM, *trunks* berhubungan dengan *traffic channels*.



Gambar 2.14 Trunking

#### 2.4.4.2. Blocking

Karena terdapat sedikitnya *trunks (channels)* daripada panggilan yang dapat dilakukan, maka beberapa panggilan akan terblokir. Prosentase dari panggilan yang terblokir disebut dengan *Grade of Service (GoS)*. Tingkat GoS yang rendah akan menjadi efek yang baik bagi pelanggan, namun tidak baik bagi jaringan, karena kanal akan digunakan bersamaan secara simultan. Efisiensi *trunking* menunjukkan prosentase pemakaian yang dilakukan oleh *channels*.

#### 2.4.4.3. Traffic Channel Dimensioning

*Traffic* diukur dalam satuan *erlang* (1 erlang = 1 kanal yang digunakan secara kontinyu).

Menurut Agner Erlang dalam bukunya berjudul *The Theory of Probability and Telephone Conversations*, tahun 1909, untuk menentukan dimensi jaringan dalam *traffic capacity* dilakukan tahapan sebagai berikut :

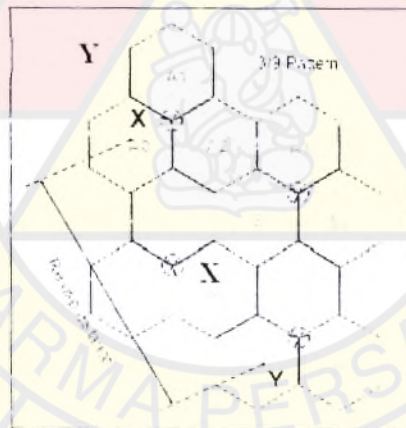
1. Tentukan *traffic* total yang dilakukan oleh pelanggan di area jaringan.

2. Tentukan *traffic* yang dapat ditangani satu TRX di base station.
3. Tentukan jumlah base station yang memerlukan TRX.

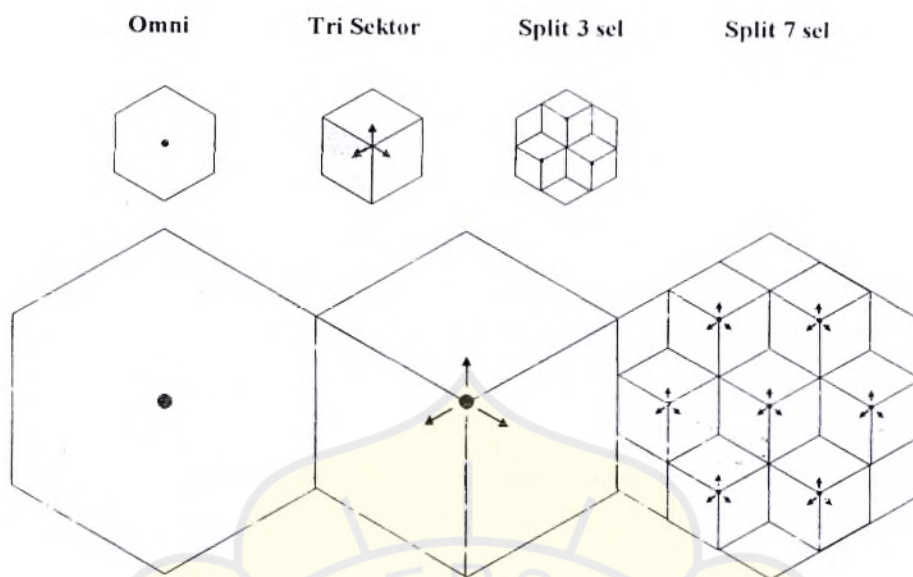
#### 2.4.5. Frequency Planning

Dalam sistem GSM, perencanaan frekuensi sangat penting untuk meminimalisasi interferensi antar sel selagi penentuan *coverage* dan *capacity* dibutuhkan. Operator umumnya memiliki jumlah *carrier* frekuensi dalam jumlah yang amat terbatas, beberapa diantaranya mungkin dibutuhkan di tiap-tiap sel.

Parameter penting adalah penggunaan kembali *distance* yang tergantung pada penggunaan kembali pola frekuensi. Pola umum penggunaan kembali frekuensi adalah 3/9, artinya didalam satu *cluster* terdiri atas 3 site, tiap sektor terdiri dari 3 sel, yang memberikan nilai total 9 sel dalam satu *cluster*.



Gambar 2.15 Pola Frekuensi 3/9



2.16 contoh pembagian sel

Berdasarkan ukurannya sel dibagi menjadi beberapa bentuk, yaitu:

#### 2.4.5.1 Makrosel

*Coverage area(cell)* yang diperuntukan pada daerah cakupan yang besar seperti area terbuka, perkampungan(*sub-urban*), hutan, perkebunan, dan lainnya. Pada makrosel penggunaan *repeater* sering dipergunakan.

#### 2.4.5.2 Mikrosel

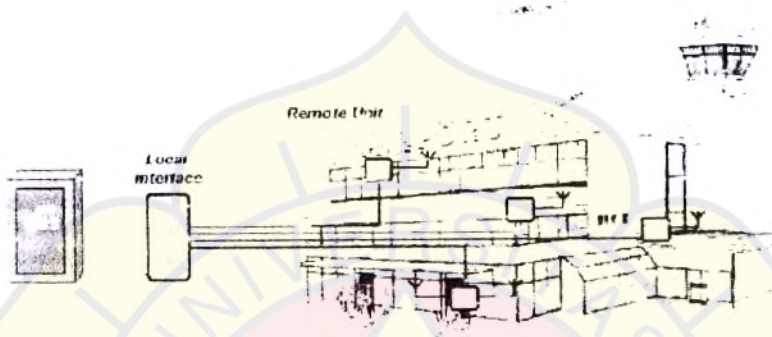
Merupakan pembagian sel (*split cell*) dari makrosel dan akan terus menerus membagi sel tergantung kapasitas yang dibutuhkan, diperuntukan daerah cakupan *urban*, padat penduduk atau *dense urban*, daerah sibuk/perkotaan(*rooftop* BTS).



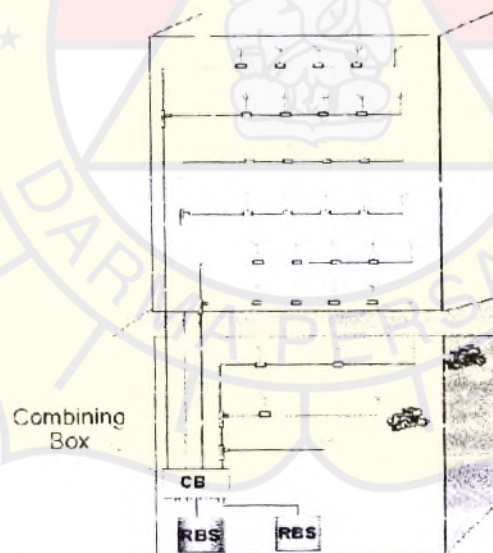
### 2.4.5.3 Pikosel

Merupakan sel terkecil yang berdiri sendiri atau sel didalam sel. *Area* yang dicover seperti gedung, terowongan .

Pikosel menggunakan sistem distribusi antenna (*Distributed Antenna System(DAS)*)



2.17 Contoh fiber optik DAS pada Airport



2.18 Contoh RBS yang dikombinasikan dengan DAS

## 2.5. Parameter – parameter

Langkah – langkah yang dicari untuk mendapatkan *coverage* adalah

### 2.5.1. *Effective Isotropic Radiated Power*(EIRP)

*Effective Isotropic Radiated Power* adalah perhitungan radiasi yang dikeluarkan secara keseluruhan dalam satuan dBW atau dBm.

$$\text{EIRP}_{(\text{dBm})} = P_0 + G_t - L_t \dots \dots \dots (2.1.)$$

Dimana :

- $P_0$  Output Power BTS/repeater(dBm) dikurangi dengan *Multi Casting Matrix*(MCM) sebesar 6 dB
- $G_t$  Gain antena pemancar(dB)
- $L_t$  redaman saluran transmisi(dB)

### 2.5.2. *Path Loss*( $L_p$ )

*Path Loss* adalah *loss* daya yang terjadi di sekitar antena ke MS.

Pada kasus ini menggunakan rumus turunan dari Keenan-Motley<sup>1</sup>

$$L_p (\text{dB}) = 32.55 + 20 \log f + 20 \log d + k F(k) + p W(k) + D(d - d_b) \dots (2.2.)$$

dimana :

- $L_p$  Path Loss(dB)
- $f$  frekuensi(Mhz)
- $d$  transmitter to receiver separation(km)
- $k$  Jumlah lantai yang dilewati oleh gelombang langsung
- $F$  faktor attenuasi lantai(dB)
- $p$  jumlah tembok yang dilewati oleh gelombang langsung(*direct*)
- $W$  faktor attenuasi tembok(dB)
- $D$  faktor attenuasi linear (0.2dB/m)

<sup>1</sup> Lampiran IV teori Keenan - Motley

$d_b$  Indoor breakpoint(65m)

yang disederhanakan menjadi

$$L_p \text{ (dB)} = 31.5 + 20 \log d(m) + N_w W(\text{dB}) \dots \dots \dots (2.3.)$$

$N_w$  jumlah halangan yang dilewati gelombang langsung(*direct*)

Pada kasus ini turunan rumus *Path Loss* untuk mencari jarak :

$$L_p = \text{EIRP} - \text{IRL} \dots \dots \dots (2.4.)$$

dimana :

IRL *Receive Level*(db)

*Receive Level* pd kasus ini dibutuhkan sebesar -70dBm

### 2.5.3. Free Space Loss( $L_{FS}$ )

Hilangnya daya pada sinyal radio yang merambat di udara, dengan rumusan sebagai berikut:

$$L_{FS} = 92,4 + 20 \text{ Log } F \text{ ( GHz)} + 20 \text{ Log } D \text{ (KM)} \dots \dots \dots (2.5a.)$$

pada kasus ini FSL dicari dengan menggunakan rumus:

$$L_{FS} = \text{Path Loss} - \sum \text{Losses} \dots \dots \dots (2.5b.)$$

dimana :

*Losses* yang dihasilkan dari:

- |                    |        |
|--------------------|--------|
| a. Concrete(Beton) | -10 dB |
| b. Bricks(Bata)    | -6 dB  |
| c. Gypsum          | -3 dB  |
| d. Glass(Kaca)     | -5 dB  |
| e. Wood(Kayu)      | -2 dB  |
| f. Body(Tubuh)     | -2 dB  |



#### 2.5.4. Coverage Distance

Coverage distance adalah jarak tembak yang tercover oleh antenna.

Maka untuk mencari jarak coverage digunakan rumus :

$$D = \log^{-1} \left[ \frac{L_{rx} - F_{(\text{Keenan-Motley})} - SD - LD}{20} \right] \dots\dots\dots (2.6.)$$

dimana :

$F_{(\text{Keenan-mootley})}$	Faktor frekuensi yang digunakan
	1800 Mhz    37.5 db
	900 Mhz     31.5 db
SD	Standard Deviation 8 db
LD	Loss Diffraction untuk indoor 16 db

