

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terkait

Sebelumnya telah ada dilakukan penelitian mengenai interferensi *uplink*, yaitu oleh Pedro (2007) dengan judul “*Impact of HSUPA Implementation on UMTS Capacity and Cell Coverage*”. Pedro melakukan analisa dampak dari implementasi HSUPA terhadap kapasitas dan cakupan sel jaringan UMTS menggunakan program OPNET Modeler. Dimana penelitian ini menganalisa untuk layanan data dan suara, dan juga menggunakan model propagasi Walfish-Ikegami sebagai perhitungan *pathloss*. Namun, Pedro hanya melibatkan *user* yang berada pada area *inner-cell*. Kemudian, karena adanya satu dan lain hal, didalam jurnal tersebut penulis tidak menemukan hasil atau dampak dari implementasi HSUPA terhadap kapasitas dan *coverage* sel.

Setelah itu, Bambang (2009) juga telah melakukan penelitian tentang interferensi, dan dampaknya terhadap kapasitas sel WCDMA dengan judul “Pengaruh Interferensi terhadap Kapasitas Sel WCDMA”. Dalam penelitiannya, Bambang membandingkan interferensi berdasarkan jumlah *user* pada masing-masing jenis sel, seperti *picocell*, *microcell* dan *macrocell*. Dari hasil penelitiannya, Bambang menyimpulkan bahwa interferensi berpengaruh terhadap kapasitas sel dengan membatasi jumlah *user*nya. Karena dengan semakin banyaknya jumlah *user*, maka interferensi akan semakin tinggi, dan itu berpengaruh terhadap kapasitas sel. Namun, Bambang tidak memperhatikan skenario posisi *user* dan model propagasi yang digunakan.

W. Bao dan W. Liang (2013) juga melakukan penelitian terkait interferensi *uplink*, dengan judul “*Uplink Interference Analysis for Two-tier Cellular Networks with Diverse Users under Random Spatial Patterns*”. Mereka melakukan perhitungan interferensi *uplink* untuk *user* dari tiers-1 ke Node-B yang berada pada tiers-1, *user* dari tiers-2 ke Node-B yang berada pada tiers-1, dan interferensi dari keseluruhan *user* yang berada di luar tiers-1. Kemudian interferensi dari *user* yang berada pada tiers-1 ke Node-B tiers-2, *user* dari tiers-2 ke Node-B tiers-2. W. Bao menggunakan perhitungan *stochastic* geometrik dan distribusi Poisson untuk mendapatkan hasil yang akurat. Hasil dari tujuan penelitian ini untuk

memaksimalkan pendapatan operator jaringan telekomunikasi dengan intentitas sel tiers-2. Namun dalam penelitian ini, penulis tidak menghubungkan interferensi dari masing-masing tiers tersebut dengan kapasitas dan radius sel. Setelah itu, penulis juga tidak menerangkan tentang parameter antena yang digunakan.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, penulis merasa masih ada beberapa kekurangan dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Para peneliti membahas interferensi *uplink* hanya sebatas kapasitas yang diterima tiap sel berdasarkan jenis sel dan jumlah maksimum *user*nya. Sementara, penulis memiliki hipotesis bahwa radius sel juga berpengaruh terhadap interferensi dan kapasitas. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan kembali penelitian interferensi *uplink* untuk penyempurnaan penelitian sebelumnya. Pada penelitian kali ini, penulis ingin melakukan perhitungan analisa pengaruh interferensi terhadap kapasitas berdasarkan radius sel. Interferensi memperhitungkan hingga tiers-2. Kemudian parameter lain seperti sudut horizontal dan vertikal *user* terhadap Node-B juga diperhitungkan. Hal ini menjadi salah satu keunggulan dalam penelitian ini dari penelitian sebelumnya. Metode skenario sel yang digunakan adalah *layout* 18 sel dalam satu *cluster* yang dirancang seragam, dan Node-B terletak pada daerah *inner-cell*. Berdasarkan *layout* sel tersebut, diasumsikan hanya beberapa sel yang dianggap sebagai penginterferensi karena menggunakan jenis antena sektoral (*directional*) 120° dengan tiga model skenario posisi *user* dalam satu *cluster*.

2.2 High Speed Uplink Packet Access (HSPA)

Salah satu aspek penting dari sistem komunikasi bergerak generasi ketiga adalah peningkatan akses paket data. *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) 3GPP *Release 99* memberikan layanan 384 kbps untuk cakupan area yang lebar. *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) merupakan langkah awal dari evolusi WCDMA dalam meningkatkan performa dalam sisi *downlink*. Teknologi terbaru ini juga menurunkan *latency* secara signifikan dan memberikan layanan data kecepatan tinggi hingga 14 Mbps. Kemudian, teknologi berikutnya diperkenalkan dengan kanal transport baru dari sisi *uplink*, yang disebut *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) atau dikenal juga dengan *Enhanced Uplink*. Memberikan layanan *throughput* lebih tinggi, mengurangi *latency* dan meningkatkan kapasitas.

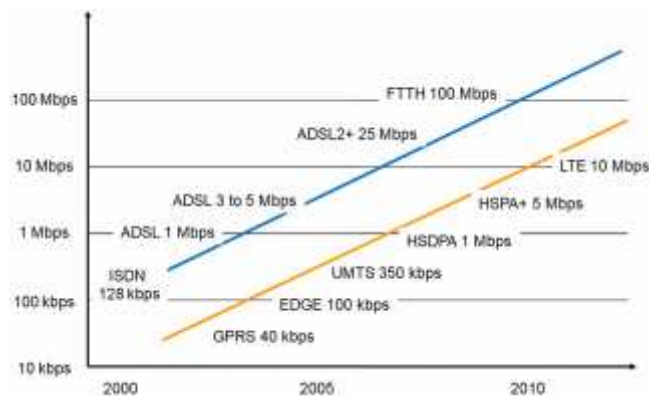
Laju kecepatan data hingga 5.8 Mbps. Bersama dengan HSDPA dan HSUPA, penggabungan antara kedua teknologi tersebut dinamakan *High Speed Packet Access* (HSPA).

Berdasarkan jurnal yang dipublikasikan Anggraini Mulwinda (2010) Pengembangan kinerja UMTS tidak hanya berhenti pada HSPA. Evolusi HSPA, yang juga dikenal dengan *HSPA Evolution*, *HSPA+*, *I-HSPA* atau *Internet HSPA*, mulai diperkenalkan pada WCDMA 3GPP seri ke-7 dan 8. HSPA awalnya dirancang untuk lalu lintas *non-real time* dengan persyaratan transmisi tinggi.

Fitur HSPA yaitu meningkatkan pengalaman *end-user* dengan meningkatkan puncak laju data 14 Mbps pada *downlink* dan 5.8 Mbps sisi *uplink*, mengurangi *latency*, dan melayani hingga lima kali lebih besar sistem kapasitas *downlink* dan dua kali sistem kapasitas *uplink* dengan menurunkan biaya per bit. (Pete, 2009)

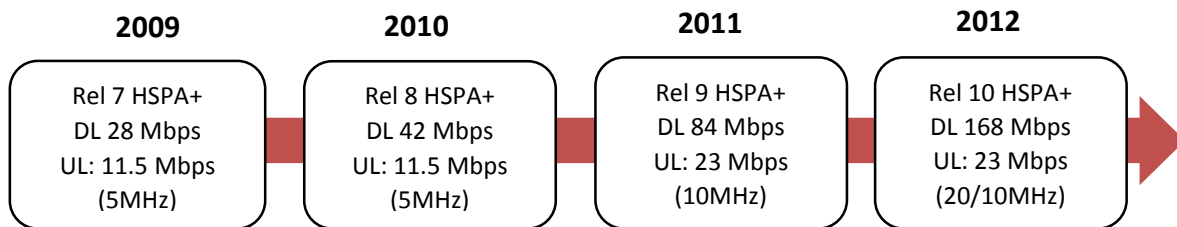
2.2.1 Perkembangan Teknologi HSPA

Dalam dunia industri telekomunikasi, istilah generasi seluler sedikit berbeda dengan teorinya. Berdasarkan Rysavy *Research* (2010), definisi 1G merupakan teknologi seluler yang mengacu pada sistem analog yang dimulai implementasinya pada tahun 1980-an. 2G menunjukkan teknologi seluler dengan sistem digital, dengan memperkenalkan sistem *short messaging system* (SMS) dan layanan data kecepatan rendah. CDMA2000 1xRTT dan GSM merupakan teknologi 2G yang paling dominan dalam dunia industri telekomunikasi, yang mulai diimplementasikan tahun 1990-an. CDMA2000 1xRTT dan EDGE sering juga disebut teknologi 3G karena mampu memberikan layanan data dengan kecepatan 144 kbps, meskipun dalam hal teknologi mereka masih keluarga dari 2G.



Gambar 2.1 Trend perkembangan teknologi *Wireline* dan *Wireless* (Rysavy *Research*, 2010)

Berdasarkan persyaratan dari ITU dalam proyek *International Mobile Telephone* 2000 (IMT-2000), 3G merupakan teknologi seluler digital yang mampu memberikan kecepatan 144 kbps untuk *vehicular*, 384 kbps untuk pedestrian dan 2Mbps dalam kondisi *indoor*. ITU kemudian memperluas definisi teknologi seluler ke arah 4G dengan menggunakan *bandwidth* hingga 40 MHz dan efisiensi spektral yang sangat tinggi dengan *throughput* mencapai hingga 1.5 Gbps. Teknologi Wimax dan HSPA dapat memberikan *throughput* jauh melebihi standard 3G, tetapi belum mencapai kecepatan pada definisi 4G. Hingga saat ini, belum satupun teknologi seluler yang mampu mendefinisikan 4G, meskipun isu ini telah lama dipublikasikan dalam penelitian Rysavy *Research*, (2010). Perbandingan kecepatan data *mobile* untuk teknologi *wireless* versi ITU ini terhadap teknologi *wireline* diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.2 *Timeline* 3GPP HSPA (Sumber:Rysavy *Research*, 2010)

Pembangunan jaringan GSM (GERAN) dan UMTS-HSPA dilakukan secara bertahap dengan mengacu pada standard 3GPP *Release*, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 9, dengan karakteristik umum masing-masing teknologi dapat dilihat pada tabel 2.1. *Resume* dari masing-masing *Release* 3GPP adalah sebagai berikut:

- *Release* 99: Kolaborasi antara GERAN (GSM-GPRS-EDGE) dan UTRAN (WCDMA) dalam membangun UMTS network.
- *Release* 4: Perbaikan pada sistem multimedia menuju IP transport pada *Core Network*.
- *Release* 5: HSDPA dan langkah awal menuju internet protokol multimedia subsistem (IMS) dengan menggunakan *IP based transport* pada *core network*.

- *Release 6:* HSUPA dan perbaikan pada Multimedia *Broadcast/Multicast* Sistem (MBMS). Integrasi ke jaringan WLAN dan penggunaan VoIP mulai diperkenalkan sebagai opsi.
- *Release 7:* Evolved Edge, HSPA+ dengan menggunakan teknologi MIMO dan sistem modulasi tingkat tinggi.
- *Release 8:* Evolusi modulasi 64 QAM dan penggunaan simultan MIMO. Disini juga diperkenalkan evolusi HSPA menjadi *Dual-Carrier* HSPA (DC-HSPA)
- *Release 9:* Perbaikan HSPA dan sistem LTE pada aplikasi MIMO yang mendukung pada *femtocell*.

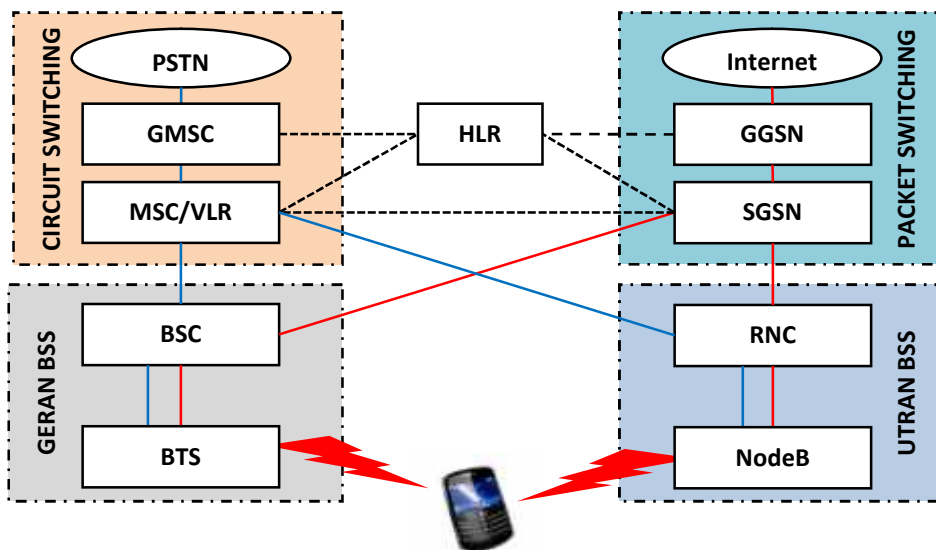
Tabel 2.1. Karakteristik Teknologi 3GPP

<i>Technology Name</i>	<i>Type</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Typical Downlink Speed</i>	<i>Typical Uplink Speed</i>
GSM	TDMA	<i>Most widely deployed cellular technology in the world. Provide voice and data service via GPRS/EDGE</i>		
EDGE	TDMA	<i>Data service for GSM network. An enhancement to original GSM data service called GPRS</i>	70 kbps to 135 kbps	70 kbps to 135 kbps
<i>Evolved EDGE</i>	TDMA	<i>Advance version of EDGE that can double and eventually quadruple throughput rates, halve latency and increase spectral efficiency</i>	175 kbps to 350 kbps expected (Single Carrier) 350 kbps to 700 kbps expected (Dual Carrier)	150 kbps to 200 kbps expected
UMTS	CDMA	<i>3G technology providing voice and data capabilities. Current deployments implement HSPA for data</i>	200 to 300 kbps	200 to 300 kbps

HSPA	CDMA	<i>Data Service for UMTS networks. An enhancement to original UMTS data service</i>	1 Mbps to 4Mbps	500 kbps to 2Mbps
HSPA+	CDMA	<i>Evolution of HSPA in various stage to increase throughput and capacity and to lower latency</i>	1.9 Mbps to 8.8 Mbps	1 Mbps to 4 Mbps
LTE	OFDMA	<i>New radio interface that can use wide radio channels and deliver extremely high throughput rate. All communication handled in IP domain</i>	5.9 to 21.5 Mbps in 2 x 10 MHz	
LTE-Advance	OFDMA	<i>Advance version of LTE designed to meet IMT-Advance requirements.</i>		

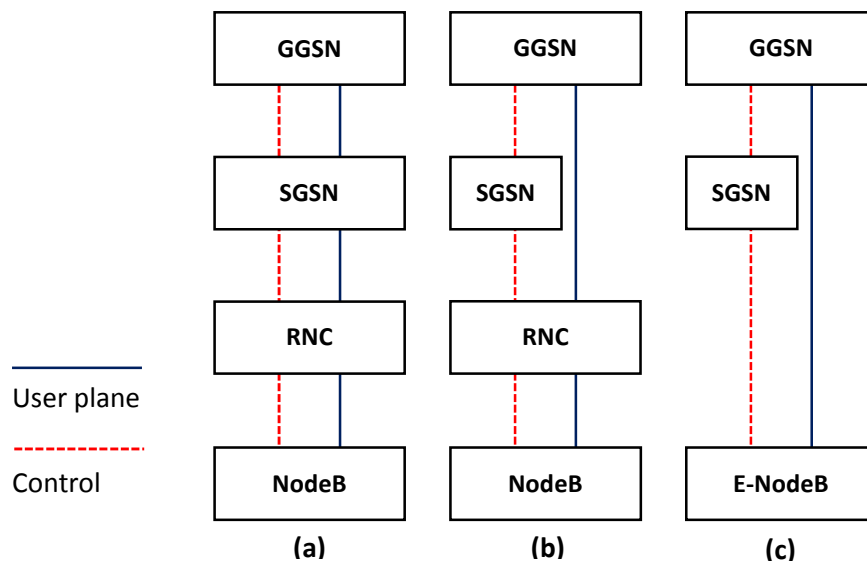
(Sumber: Rysavy Research, 2010)

Jaringan UMTS dibangun dengan kolaborasi antara jaringan *GSM/EDGE Radio Access Network* (GERAN) dan jaringan *Universal Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN). GERAN merupakan jaringan GSM beserta keluarganya seperti GPRS dan EDGE, sedangkan UTRAN merupakan jaringan WCDMA FDD/TDD beserta keluarganya seperti HSDPA, HSUPA dan HSPA. Arsitektur dari jaringan UMTS secara umum dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *user equipment* (UE) atau sering disebut juga *Radio Frequency* (RF), *Base Station Subsystem* (BSS) dan *Core Network* (CN). Pada arsitektur GERAN, BSS terdiri dari BTS yang kemudian dikontrol oleh suatu BSC sebagai *switching*, sedangkan pada UTRAN terdiri dari Node-B dan RNC. Untuk komunikasi mode *Circuit Switching* (suara), *Mobile Switching Center* (GMSC) pada CN berfungsi sebagai gerbang utama (*gateway*) untuk dapat berkomunikasi dengan jaringan luar, dan *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) digunakan sebagai gerbang komunikasi data ke jaringan luar pada saat mode *packet switching*. Ilustrasi lengkap arsitektur jaringan UMTS ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Arsitektur Jaringan UMTS (Sumber: *Overview of WCDMA*)

Sementara itu, setelah jaringan WCDMA di *upgrade* menjadi HSPA, arsitektur UTRAN dan *Core Network* dapat dihubungkan dengan berbagai variasi dalam koneksi sinyal kontrol dan data. Sebagaimana diperlihatkan oleh gambar berikut:



Gambar 2.4 Arsitektur HSPA, (a) Tradisional, Data 1-Tunnel dan (c) E-Node B (Sumber: UMTS HSPA Rel-8 White paper, 2007)

2.3 Sistem Seluler

2.3.1 Interferensi pada Sistem Seluler

Menurut Bambang Budianto (2009), Interferensi berdasarkan ilmu fisika adalah suatu efek yang terjadi akibat adanya superposisi antara dua atau lebih gelombang, atau sinyal lain yang saling mempengaruhi sehingga membentuk sinyal baru. Sedangkan dalam sistem komunikasi, interferensi merupakan sinyal lain yang timbul dalam operasional transmisi dari *transmitter* ke *receiver*. Gangguan tersebut biasanya berupa sinyal lain yang memancarkan daya yang berlebih pada pita frekuensi yang sama dengan sinyal informasi sebenarnya.

Interferensi akan mempengaruhi besarnya daya yang akan diterima oleh si penerima. Besarnya tingkat interferensi bergantung pada jarak antara si pengirim dan penerima. Jika semua sinyal ditransmisikan dengan besar yang sama, maka tingkat interferensi hanya bergantung pada struktur geometris antara pengirim dan penerima.

Interferensi merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja suatu sistem komunikasi seluler. Besarnya jangkauan yang dapat dilayani oleh suatu sistem komunikasi bergerak (seluler) tergantung dari besarnya tingkat interferensi yang terjadi dalam jaringan tersebut. Dua buah jaringan komunikasi seluler yang beroperasi pada frekuensi yang sama, dapat berjalan dengan efisien jika kedua jaringan tersebut dipisahkan oleh suatu jarak. Dalam komunikasi seluler, kualitas penerimaan sinyal pada penerima dapat dilihat melalui S/N (*Sinyal to Noise*), C/I (*Carrier to Interference*) atau S/I (*Sinyal to interference*). Interferensi sangat berpengaruh dalam penerimaan kualitas sinyal ke penerima. Semakin kecil interferensi yang diterima, maka kualitas sinyal yang diterima akan semakin baik. Pada kenyataannya tidak ada jaringan komunikasi yang sempurna tanpa interferensi. Pada komunikasi seluler, interferensi dapat terjadi akibat adanya MS lain dalam cell yang sama, dan *base station* lain yang beroperasi pada frekuensi yang sama. Dalam komunikasi suara, interferensi dapat menyebabkan terjadinya *cross talk*. Interferensi sebenarnya juga bisa disebabkan karena adanya BS lain yang letaknya berdekatan dengan BS lainnya. Ini juga sangat berpengaruh terhadap kapasitas yang dapat dilayani oleh suatu *base station* komunikasi seluler dan dapat menyebabkan degradasi kinerja pada sistem tersebut. Pada komunikasi seluler terdapat dua macam interferensi yang sangat mempengaruhi kinerja sistem dan kapasitas yang dapat dilayaninya, yaitu *co-channel interference* dan *adjacent channel interference*.

2.3.2 Alokasi Frekuensi

Sistem komunikasi *mobile* menggunakan spektrum radio (pita frekuensi) sebagai media hantar informasi dari *transmitter* menuju *receiver*. Informasi yang dilewatkan pada media radio ini ditumpangkan (modulasi) pada *carrier* dengan menggunakan lebar pita frekuensi tertentu yang disebut dengan *bandwidth*. Beberapa parameter yang berkaitan dengan frekuensi adalah panjang gelombang, dan kecepatan rambat gelombang (c) dengan hubungan sebagai berikut:

$$c = \lambda f \quad (2 - 1)$$

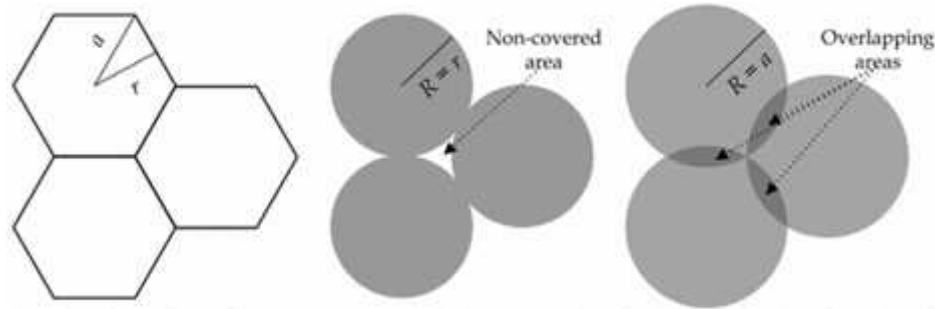
Dimana: c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/dtk)
 λ = panjang gelombang *carrier* (m)
 f = frekuensi gelombang *carrier* dalam satuan (Hz)

Meskipun telah distandarkan secara umum, tetapi penggunaan frekuensi masing-masing wilayah, merupakan hak penuh dari suatu negara. Secara global, alokasi spektrum untuk WCDMA/HSPA di atur pada rentang 1920MHz – 1980MHz untuk *uplink* dan 2110MHz – 2170MHz untuk *downlink* dengan masing-masing *carrier* menempati bandwidth 5 MHz (*uplink* dan *downlink*). Tetapi di Indonesia 10 MHz terakhir pada *uplink* dan *downlink* dialokasikan untuk operator selain WCDMA (Dirjen postel,hal 97).

2.3.3 Sistem Reuse dan Model Cell

Dalam dunia telekomunikasi dikenal istilah sistem *reuse* atau pengulangan frekuensi dalam suatu *cluster*. Hal ini dilakukan supaya tidak terjadi interferensi yang begitu besar dalam sebuah jaringan komunikasi. Alokasi frekuensi digunakan secara bersamaan oleh seluruh *user* yang sedang dilayani, dapat dilakukan dengan melakukan kode-kode yang unik oleh sejumlah *user* pada suatu *cluster*. Untuk meningkatkan kapasitas sel, kode-kode unik ini kemudian dapat digunakan kembali pada *cluster* yang berbeda, sebagaimana halnya penggunaan frekuensi *reuse* pada sistem GSM. Namun berbeda dengan sistem GSM, pada

jaringan WCDMA setiap sel memiliki frekuensi yang sama, yang membedakannya adalah kode-kode di tiap selnya.



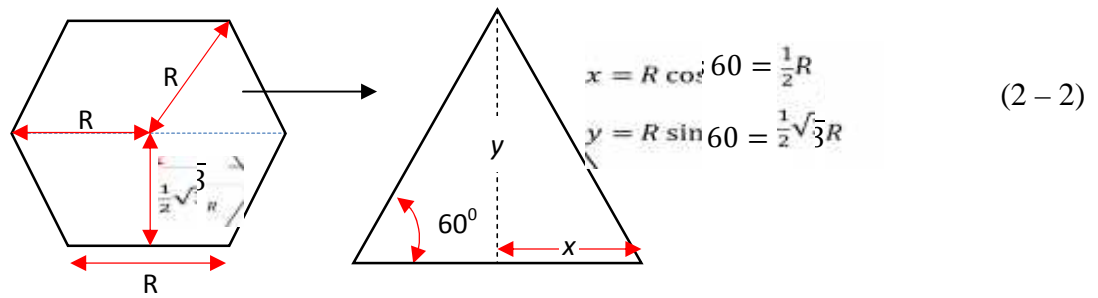
Gambar 2.5 Perbandingan Model Hexagonal dan Lingkaran pada Sel

(Sumber: Konstantinos, 2011)

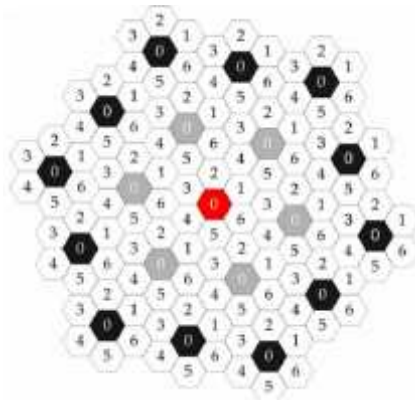
Cluster merupakan kumpulan beberapa sel yang menggunakan kode-kode unik antar selnya. Kode-kode ini kemudian dapat digunakan kembali untuk *cluster* yang berbeda sehingga jarak antar kode yang sama pada *cluster* terdekat merupakan jarak *reuse* pada sistem jenis CDMA. Dalam perencanaan sistem radio seluler, ukuran dan bentuk pemodelan sel tentu saja akan mempengaruhi jarak *reuse* kode ini.

Sel umumnya dimodelkan dengan bentuk bangun ruang Hexagonal atau bentuk lingkaran. Konstantinos (2011) dalam makalahnya berjudul “*Hexagonal vs Circular Cell Shape*” membandingkan penggunaan bangun datar hexagonal terhadap bangun datar lingkaran dalam perencanaan jaringan radio seluler. Hubungan model hexagonal dan lingkaran dalam multi-sel ditunjukkan oleh gambar (2.5), sedangkan hubungan hexagonal pada 7-*cluster* sel hingga tiers kedua diperlihatkan oleh gambar (2.6). Jarak sel *reuse* kemudian didefinisikan sebagai jarak antar nomor-nomor sel yang sama pada sistem *cluster*.

Hexagonal merupakan bangun ruang dimensi dua yang dapat disusun dari 6 buah segitiga sama sisi dengan besar setiap sudut 60^0 , sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar dibawah ini. Dengan menggunakan konsep Trigonometri, di mana panjang setiap sisi dari segitiga misalkan adalah R , maka untuk sisi tegak (y) dan sisi mendatar (x) dapat dihitung sebagai berikut.



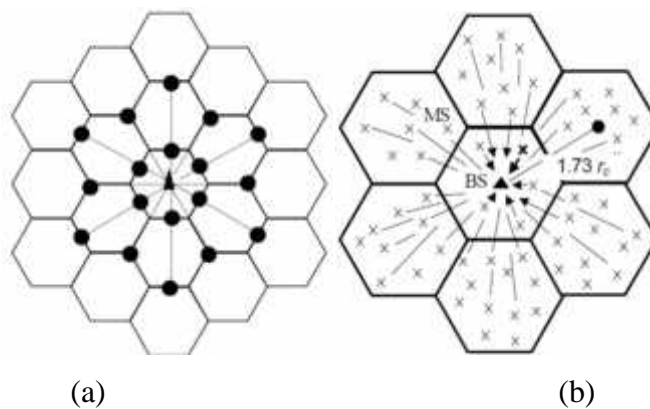
Gambar 2.6 Dimensi Hexagonal dan Segitiga Sama Sisi



Gambar 2.7 Sel Hexagonal pada Sistem *Cluster 7* Sel

(Sumber: Konstantinos, 2011)

Pada *uplink*, distribusi *user* pada sel-sel tetangganya akan memberikan mutual interferensi sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Model interferensi *uplink* pada (a) Model 2-tiers dan (b) Model *cluster-7* Sel

(Sumber: Vladimir dan Hrudkay, 2002)

Gambar bagian (a) pada gambar 2.8, UE terdistribusi pada perbatasan sel untuk mendapatkan jarak terjauh yang dapat dilayani oleh setiap sel, dan bagian (b) UE tersebar acak pada simulasi satu *cluster*. Semua UE yang berada pada sel yang sama dengan UE yang sedang diamati akan memberikan interferensi yang disebut dengan *inner-cell interference*, sedangkan UE yang berbeda sel memberikan interferensi yang disebut dengan *outer-cell interference*.

2.3.4 Karakteristik Sel dan Lingkungan

Dalam dunia komunikasi radio, istilah urban, suburban dan rural sering digunakan untuk mendeskripsikan kondisi suatu lingkungan. Jenis lingkungan ini akan menentukan jenis dan parameter yang akan digunakan dalam pemodelan kanal radio. Definisi istilah ini umumnya dibedakan berdasarkan tingkat populasi, transportasi dan tingkat kepadatan pemukiman. Meskipun definisi dari berbagai literatur saling berbeda, tetapi keputusan pemilihan model lingkungan akan menentukan akurasi perencanaan sistem komunikasi seluler yang akan dibangun. (SmartGrowth, 2008)

Dalam sistem komunikasi, populasi berarti menentukan jumlah calon pelanggan yang dapat dilayani. Sehingga istilah urban, suburban dan rural akan menentukan target kapasitas sel yang akan dibangun. Transportasi berkaitan dengan mobilitas calon *user* yang akan dilayani, yang identik dengan model handoff sistem seluler dan karakteristik efek dopler yang akan digunakan dalam model kanal. Sedangkan Kepadatan pemukiman atau bangunan berkaitan dengan perihwal propagasi gelombang radio (*multipath*) sebagai model kanal yang akan disimulasikan.

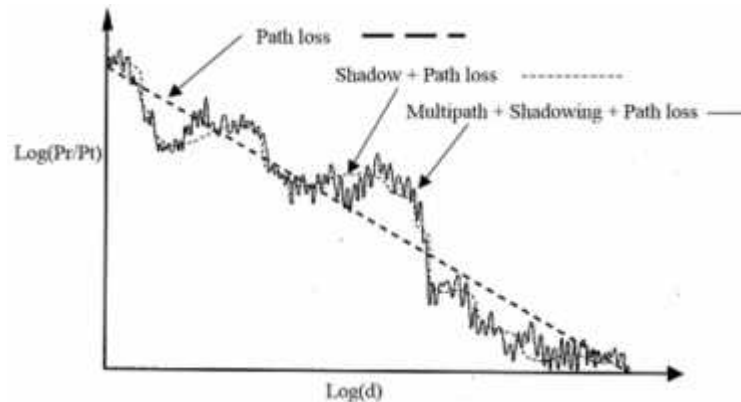
Secara umum, rural berkaitan dengan lingkungan pedesaan dan persawahan dengan pemukiman yang saling berjauhan dengan ketinggian bangunan rata-rata satu lantai (7 – 10 meter). Karakter lingkungan ini umumnya menggunakan jenis seluler Makrosel atau bahkan Gigasel, dengan karakteristik *user* statik dan pedestrian. Urban didefinisikan sebagai kondisi dengan pemukiman dengan bangunan bertingkat, sehingga ketinggian tower berada dibawah ketinggian rata-rata bangunan (metropolitan). Komunikasi seluler umumnya bersifat *microcell* atau bahkan *femtocell* dengan jenis pelanggan mayoritas *vehicular*. Sedangkan suburban merupakan lingkungan peralihan dari rural ke urban dengan ketinggian tower sama dengan tinggi bangunan rata-rata.

2.3.5 Kanal

Karakteristik perubahan sinyal ketika berpindah dari *transmitter* menuju *receiver* dipengaruhi oleh jarak diantara keduanya. Profil penerimaan sinyal pada *receiver* didapatkan jika terdapat media yang dilalui oleh sinyal yang disebut dengan model kanal (Raj Jain, 2007). Menurut Raj Jain, daya yang diterima merupakan konvolusi dari sinyal terhadap respons impuls kanal yang dilaluinya. Proses konvolusi ini dalam domain waktu sama halnya dengan perkalian dalam domain frekuensi, dengan persamaan sebagai berikut:

$$y(f) = H(f)x(f) + n(f) \quad (2 - 3)$$

Di mana y (sinyal yang diterima), H (respons kanal), x (sinyal pancar) dan n (noise) merupakan fungsi dari frekuensi. Raj Jain juga menambahkan bahwa respon kanal terdiri dari 3 komponen dasar, yaitu *pathloss*, *shadowing* dan *multipath*, sebagaimana yang diilustrasikan oleh gambar berikut:



Gambar 2.9 Tiga Komponen Dasar dari Kanal Respon (Sumber: Raj Jain, 2007)

2.4 Propagasi Gelombang Radio

Propagasi gelombang radio merupakan media transmisi dalam komunikasi *mobile*. Informasi yang dikirim oleh *transmitter* akan merambat melalui media udara agar sampai ke *receiver*.

2.4.1 Pathloss

Pathloss adalah loss yang terjadi ketika data/sinyal melewati media udara dari antenna ke penerima dalam jarak tertentu. *Pathloss* merupakan komponen penting dalam perhitungan dan analisis desain *link budget* sistem telekomunikasi. Dalam penelitian ini penulis menggunakan model *pathloss* yang bekerja pada frekuensi sekitar 2GHz. Berdasarkan standar 3GPP yang merujuk pada jurnal Qualcomm (2007), Simulasi WCDMA UL/DL dapat menggunakan dua model *pathloss*, yaitu COST231-Hatta untuk jarak UE terhadap Node-B lebih dari 1 km, dan model COST231 Walfish-Ikegami untuk jarak kurang dari 1 km. COST231 Hatta sering juga disebut dengan COST231 merupakan pengembangan dari model Okumura dan model Hatta. Model ini bekerja pada frekuensi 1.5GHz – 2GHz dengan jarak 1km – 20km (Raj Jain, 2007). Persamaan model ini adalah sebagai berikut :

$$L_{dB} = 46.3 + 33.9 \log \frac{f_{MHz} - 13.82 \log h_b - C_H - C_C +}{(44.9 - 66.55 \log h_b) \log d_{km} + C} \quad (2-4)$$

Dimana:

- L_{dB} adalah median *pathloss* (dB)
- f_{MHz} adalah frekuensi *carrier* (MHz)
- h_b adalah tinggi antenna Node-B (m)
- d_{km} adalah jarak langsung antara UE terhadap Node-B (km)

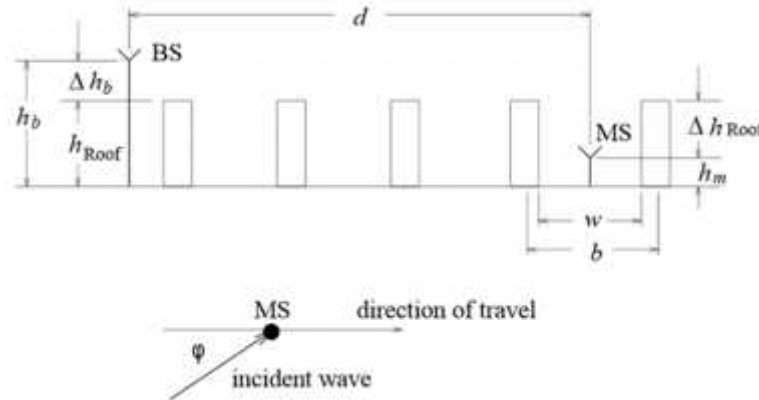
Parameter perbaikan loss untuk tinggi UE adalah sebagai berikut:

$$C_H = \begin{cases} (1.1 \log f_{MHz} - 0.7)h_m - (1.56 \log f_{MHz} - 0.8) & \text{Urban} \\ 3.2[\log(11.75h_m)]^2 - 4.97 & \text{Metropolitan} \end{cases} \quad (2-5)$$

Dan parameter tambahan perbaikan loss *cluster* dalam dB akibat pemodelan pantulan bangunan:

$$C_C = \begin{cases} 0 & \text{Urban} \\ 5.4 + 2 \left[\log \left(\frac{f_{MHz}}{28} \right) \right]^2 & \text{Suburban} \end{cases} \quad (2-6)$$

Model propagasi Walfish-Ikegami berfokus pada bidang vertikal lintasan propagasi dari *transmitter* menuju *receiver* dengan jarak 20m – 5km dan bekerja pada frekuensi 800MHz – 2GHz (Raj Jain,2007). Penggunaan model ini terbatas pada permukaan tanah yang datar. Model ini terbagi dalam dua kondisi yaitu kondisi *Line of sight* (LoS) dan *non-line of sight* (nLoS).



Gambar 2.10 Model *Pathloss* Walfish-Ikegami

Jika terdapat kondisi LoS, maka *pathloss* didefinisikan sebagai berikut:

$$L_{los} = 42.6 + 26 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz} \quad \forall d \geq 20 \text{ m} \quad (2-7)$$

Jika propagasi lintasan non LoS, *pathloss* terdiri dari tiga komponen yang didefinisikan sebagai berikut:

$$L_{ntos} = \begin{cases} L_{fsl} + L_{rts} + L_{msd} \\ L_{fsl} & \text{jika } L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (2-8)$$

Dimana,

$$L_{fsl} = 32.45 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz} \quad (2-9)$$

Difraksi *roof top to street* dan *scatter loss*, yaitu loss yang terjadi akibat pemencaran sinyal dan akibat coupling gelombang dari atap ke jalan tempat dimana *user* berada. Didefinisikan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$L_{rts} = \begin{cases} -16.9 - 10 \log w + 10 \log f_{MHz} + 20 \log \Delta h_n + L_{ori} & \forall \Delta h_m > 0 \\ 0 & \forall L_{rts} < 0 \end{cases} \quad (2 - 10)$$

Dimana orientasi kerugian L_{ori} adalah istilah koreksi empiris diperoleh dari kalibrasi dengan pengukuran:

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \frac{\varphi}{\text{deg}} & 0 \leq \varphi < 35 \\ 2.5 + 0.075 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35 \right) & 35 \leq \varphi < 55 \\ 4 - 0.114 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 55 \right) & 55 \leq \varphi \leq 90 \end{cases} \quad (2 - 11)$$

$$\Delta h_n = h_{roof} - h_n$$

Parameter w adalah lebar jalan rata-rata yang dilewati UE, h_{roof} adalah ketinggian atap gedung rata-rata dari permukaan tanah dan h_n adalah tinggi posisi UE dalam satuan meter. Sedangkan φ merupakan sudut datang sinyal terhadap arah pergerakan UE pada jalan raya dalam satuan derajat.

Multi-screen difraction loss sebagai berikut:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d_{km} + k_f \log f_{MHz} - 9 \log b_m \quad (2 - 12)$$

Dimana:

$$L_{bsh} = f(x) = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h_b), & h_b > h_{roof} \\ 0, & h_b \leq h_{roof} \end{cases} \quad (2 - 13)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_b > h_{roof} \\ 18 - 15 \Delta h_b / h_{roof} & h_b \leq h_{roof} \end{cases} \quad (2-14)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_b > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \Delta h_b d \geq 0.5 \text{ km} & h_b \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \Delta h_b d / 0.5 & d < 0.5 \text{ km} \quad h_b \leq h_{roof} \end{cases} \quad (2-15)$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left(\frac{f_{MHz}}{925} - 1 \right) \text{ Suburban} \\ 1.5 \left(\frac{f_{MHz}}{925} - 1 \right) \text{ Metropolitan} \end{cases} \quad (2-16)$$

$$\text{dan } \Delta h_b = h_b - h_{roof} \quad (2-17)$$

Dimana:

k_a adalah peningkatan *pathloss* untuk antena BS di bawah puncak atap bangunan yang berdekatan.

k_d dan k_f mengendalikan ketergantungan difraksi *multi-screen loss* pada jarak dan frekuensi masing-masing.

Parameter umum yang sering digunakan untuk simulasi statistik adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2. Parameter Umum Model Walfish-Ikegami

Parameter	Nilai
Tinggi bangunan (h_{roof})	3 x (Jumlah lantai) + atap
Jarak antar bangunan (b)	20 – 50 meter
Rata-rata lebar jalan (w)	$\frac{w}{2}$
Sudut base station ke <i>mobile</i> (θ)	0°

(Sumber: Qualcomm 2007)

2.5 Antena

Antena adalah suatu perangkat yang berfungsi mengirim dan menerima sinyal dari *transmitter* ke *receiver*. Perangkat ini mengubah energi listrik menjadi gelombang elektromagnetik dan menghubungkan antara saluran transmisi dengan ruang bebas. Berdasarkan pola radiasinya, antena dibedakan menjadi antena *omnidirectional* dan *directional*. Dalam implementasi dunia nyata, antena yang sering digunakan adalah jenis antena *directional*. Pola radiasi antena memiliki beberapa parameter yang harus diketahui yaitu, maksimum *gain* yang merupakan penguatan maksimum yang dimiliki suatu antena. *Half Power Beam Width* (HPBW) adalah , *Front Back Ratio* (FBR) adalah rasio antara daya yang dipancarkan dengan yang dipancarkan ke belakang. Dan *Side Lobe Level* (SLL) adalah lobe-lobe yang berada disela-sela *main lobe* dan *back lobe*. Salah satu antena yang sering dipergunakan dalam perencanaan jaringan WCDMA adalah Kathrein tipe 742215 yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 2.11 Antena *Directional* Kathrein 742215

(Sumber: www.kathrein-scala.com)

Dalam optimasi sebuah antena, ada istilah yang dikenal electrical tilting. Electrical tilting adalah arah sudut pacaran daya cakupan antena. Electrical tilt (θ_{et}) memiliki nilai $0^{\circ} - 6^{\circ}$ dengan relatif tilting (θ) sebesar -90° s/d 90° . Perhitungan *gain* antena *directional* untuk *receiver* diambil dari Fredrik (2007) sebagai penjumlahan fungsi dari sudut relatif horizontal (φ) dan sudut relatif tilt (θ), dengan persamaan berikut:

$$G(\varphi; \theta) = G_h(\varphi) + G_v(\theta) \quad (2-18)$$

Di mana:

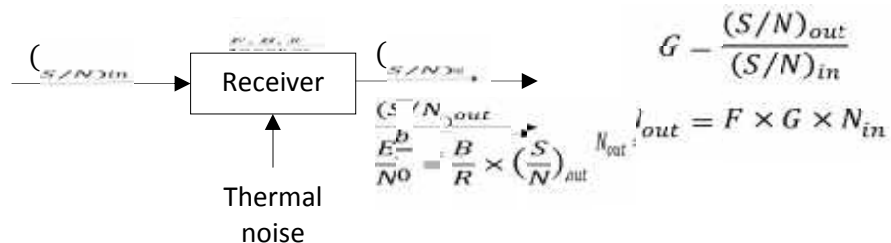
$$G_h(\varphi) = G_{max} - \min \left(12 \left(\frac{\varphi}{HPBW_h} \right)^2, FBR_h \right) \quad -180^0 \leq \varphi \leq 180^0 \quad (2-19)$$

$$G_v(\theta) = \max \left(-12 \left(\frac{\theta - \theta_{set}}{HPBW_v} \right)^2, SLL_v \right) \quad -90^0 \leq \theta \leq 90^0 \quad (2-20)$$

2.6 Link Budget

Dalam teknologi *spread spectrum*, hubungan antara E_b/N_0 dengan daya penerimaan yang harus dicapai sesuai dengan sensitivitas penerimaan *receiver*, dapat diturunkan dari parameter F (*Noise factor*) atau NF dalam dB (*Noise Figure*). Berdasar yang didefinisikan oleh Daniel (2002), jika B adalah *bandwidth* sistem (dalam hal ini adalah *chip rate*, cps), dan R adalah

bit rate service (bps), maka E_b/N_0 diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.12 Konsep *Noise Factor* pada Perangkat *Receiver* (Daniel, 2002)

Berdasarkan ilustrasi pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa panas yang ditimbulkan oleh perangkat *receiver* berupa thermal noise menyebabkan penurunan nilai S/N , di mana N merupakan penjumlahan numerik dari interferensi total dengan noise-noise yang berada pada *bandwidth* sistem. Jika N_{in} adalah penjumlahan dari total interferensi (I_{tot}) dan *noise-noise* yang masuk ke *receiver*, maka N_{out} dapat dituliskan kembali menjadi:

$$N_{out} = \sum I_{tot} - S + \sum N \quad (2-21)$$

Parameter S/N dapat juga dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{\sum I + N} \quad (2 - 22)$$

Tabel 2.3. Parameter Perhitungan *Link Budget* HSUPA

Parameter	Nilai	Unit	Keterangan
UE maximum transmit power	21	dBm	Class 4 UE
UE cable, connector, combiner losses	0	dB	
UE transmit antenna <i>gain</i>	0	dBi	
Maximum power reduction		dB	
Thermal noise density = kT	-174.0	dBm/Hz	
Information rate		dB-Hz	=10*log(rate)
<i>Receiver</i> noise figure	5.0	dB	
Cell loading		Percent	
Rise over thermal		dB	=-10*log(1-Loading)
Required Eb/Nt		dB	
Receive antenna <i>gain</i>	17.0	dBi	
Rx cable, connector, combiner losses	3.0	dB	
Cell edge confidence	90%	Percent	
Log normal fading standard deviation	8.0	dB	
Building penetration loss	20.0	dB	
Body loss	0.0	dB	

(Sumber: Qualcomm, 2007)

Berdasarkan penelitian Vladimir Wieser dan Karol Hrudkay (2002), hubungan antara S/N dengan E_b/N_0 diberikan oleh persamaan berikut:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} \times \frac{R}{B} \quad (2 - 23)$$

2.7 Theorema Shannon

Saluran merupakan media untuk mengirimkan sinyal pembawa, seperti kabel, udara atau serat optik. *Bandwidth* saluran merupakan hal yang sangat mahal dalam proses komunikasi. Untuk komunikasi suara biasanya menggunakan bandwidth yang sangat sempit yaitu 3 – 10 KHz. Dalam komunikasi digital, *bandwidth* saluran terkait langsung dengan besarnya laju bit yang dapat dikirimkan. Shannon dan Hartley merumuskan teori kaitannya antara kapasitas saluran, *bandwidth* dan *noise* pada proses komunikasi, dan ditulis dengan persamaan:

$$R = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N + \Sigma I} \right) \quad (2 - 24)$$

Dimana:

C = kapasitas saluran (bit/s)

B = bandwidth (Hz)

S/N = perbandingan daya sinyal terhadap noise