

## BAB II

### APLIKASI *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WiMAX)*

#### 2.1. *Wireless LAN*

WLAN merupakan teknologi LAN yang menggunakan frekuensi dan transmisi radio sebagai media penghantarnya, pada area tertentu menggantikan fungsi kabel. Pada umumnya WLAN digunakan sebagai titik distribusi ditingkat pengguna akhir melalui sebuah atau beberapa perangkat yang disebut dengan *Access Point (AP)* memiliki fungsi yang sama dengan hub dalam terminologi jaringan kabel ethernet ditingkat *backbone*, sejumlah AP tersebut tetap dihubungkan dengan media kabel. WLAN dimaksudkan sebagai solusi alternatif media untuk menjangkau pengguna yang tidak terlayani oleh jaringan kabel serta untuk mendukung pengguna yang sifatnya berpindah-pindah.

Frekuensi yang kini umum dipergunakan untuk aplikasi WLAN adalah 2.4 Ghz dan 5.8 Ghz yang secara internasional dimasukkan kedalam wilayah bebas lisensi dan dipergunakan bersama oleh publik (*frequency sharing*).

##### 2.1.1. Standar *Wireless LAN*

Penggunaan WLAN perlu memperhatikan standar-standar yang harus dilakukan, antara lain :

1. Data *rate* tinggi ( $\geq 1$  Mbps), daya rendah dan harga murah.
2. Metode akses yaitu metode membagi kanal kepada banyak pemakai dengan aturan-aturan tertentu.
3. Media transmisi yang merupakan faktor penting pada keterbatasan data *rate* dan memiliki teknik tersendiri, dimana bila teknik yang

WLAN dengan RF seperti terlihat pada tabel 2.1 diatas memiliki beberapa topologi sebagai berikut: tersentralisasi (*star network* atau *hub based*), terdistribusi (*peer to peer*), dan jaringan selular.

Tersentralisasi *star network* atau *hub based* adalah topologi yang terdiri dari *server* dan beberapa terminal pengguna dimana komunikasi antara terminal harus melalui *server* terlebih dahulu. Terdistribusi (*peer to peer*) dimana semua terminal dapat berkomunikasi satu sama lain tanpa memerlukan pengontrol (*servers*). Jaringan selular merupakan jaringan yang cocok untuk melayani daerah dengan cakupan luas dan operasi *mobile*.

## 2.2. WiFi (*Wireless Fidelity*)

Teknologi WLAN (menggunakan standar radio 802.11 yang sekarang umum disebut dengan WiFi) telah menjadi teknologi inventori yang handal. WiFi sudah banyak digunakan diberbagai sektor seperti bisnis, akademis, perumahan, dan banyak lagi. Teknologi WiFi ini dapat juga digunakan untuk kegiatan memindahkan inventori secara cepat, memobilisasi para *floor manager* dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

### 2.2.1. Standar WiFi

Secara umum WiFi bekerja pada frekuensi yang sama 2,4 Ghz sampai 5,x Ghz dan dapat saling berhubungan satu sama lain meskipun tidak tersertifikasi oleh WiFi *Alliance*.

Pada awalnya sertifikasi WiFi hanya diberikan pada perangkat *wireless* yang bekerja pada standar *IEEE 802.11b*, namun saat ini standar yang diberikan pada semua perangkat yang menggunakan standar *IEEE 802.11* adalah spesifikasi

standar yang dibangun oleh *IEEE* untuk mendefinisikan teknologi WLAN dan disetujui pada 1997.

Beberapa spesifikasi yang digunakan pada WiFi, antara lain :

1. Standar 802.11, standar transmisi 1 - 2 Mbps pada *band* 2.4 GHz menggunakan FHSS atau DSS.
2. Standar 802.11a, standar transmisi 54 Mbps pada *band* 5GHz menggunakan OFDM.
3. Standar 802.11b, standar transmisi 11,5.5, 2,1 Mbps pada *band* 2.4 GHz menggunakan DSS.
4. Standar 802.11g, standar transmisi 20+ Mbps pada *band* 2.4 GHz menggunakan DSS.

Parameter-parameter diatas setiap standar memiliki perbedaan-perbedaan, antara lain :

**a. Standar 802.11a**

Standar 802.11a adalah model awal yang dibuat untuk umum menggunakan kecepatan 54 Mbps dan dapat mentransfer data *double* dari tipe g dengan kemampuan bandwidth 72 Mbps atau 108 Mbps. Standar 802.11a menggunakan frekuensi tinggi pada 5 Ghz sebenarnya sangat baik untuk kemampuan *transfer* data besar tetapi standar 802.11a memiliki kendala pada harga komponen yang sangat mahal, apabila perangkat ini dibuat untuk publik dan jaraknya dengan frekuensi 5 GHz lebih sulit menembus ruang kantor. Pemilihan 5 Ghz cukup beralasan karena membuat pancaran *signal* frekuensi standar 802.11a jauh dari gangguan seperti *oven microwave* atau *cordless phone* tetapi frekuensi tinggi juga memberikan dampak pada daya jangkau relatif lebih pendek.

berhubungan dengan media transmisi seperti teknik propagasi dalam ruangan, teknik modulasi dan lain-lain dapat diperhitungkan dengan baik maka akan dihasilkan sistem WLAN yang tangguh.

4. Topologi yaitu cara dan pola yang digunakan dalam menghubungkan semua terminal.

Jenis sambungan *Wireless LAN* dibagi atas 2 bagian, yaitu : WLAN *Outdoor* biasanya dipakai untuk menghubungkan perangkat yang ada diluar ruangan dan mengikuti standar 802.16, WLAN *Indoor* biasanya dipakai untuk menghubungkan perangkat yang ada didalam ruangan mengikuti standar 802.11.

### 2.1.2. Lapisan Fisik dan Topologi

WLAN menggunakan standar protokol *Open System Interconnection* (OSI) [8]. OSI memiliki tujuh lapisan dimana lapisan pertama adalah lapisan fisik. Lapisan pertama ini mengatur segala hal yang berhubungan dengan media transmisi termasuk didalamnya spesifikasi besarnya frekuensi, redaman, besarnya tegangan dan daya, *interface*, media penghubung antar-terminal dan lain-lain. Media transmisi data yang digunakan oleh WLAN adalah IR atau RF.

Tabel 2.1. Perbandingan WLAN dengan RF dan IR (*Infrared*)

Teknologi	Optikal		RF		
	DFIR	DBIR	RF	DSSS	FHSS
Frekuensi/panjang gel	800-900 nm		18 GHz	Pita ISM	
Data rate (Mbps)	1.0	10	15	2-10	1-3
Daerah cakupan (ft)	70-200 (ber-spot)	80 (ber-spot)	40-130 (tdk ber-spot)	100-800 (tdk ber-spot)	100-300 (tdk ber-spot)
Mobilitas	Bagus	Fixeb	Baik	Terbaik	
Terdeteksi	Sulit		Mudah	Sulit sekali	
Modulasi	PPM		FSK/QPSK	QPSK	GFSK
Daya	Terkecil		25 mW	1 W	
Line of Sight (LOS)	tidak perlu	perlu	tidak perlu	tidak perlu	
Biaya (Data Maret/April 1994)	< \$ 10		> \$ 20		
Lisensi	tidak perlu		perlu	tidak perlu	
Metode akses	CSMA		R. Aloha/ CSMA/TDMA	CSMA/CDMA	

**b. Standar 802.11b**

Pemakaian standar 802.11a menjadi dominasi tipe b. Standar 802.11b menggunakan frekuensi 2.4 GHz dan dapat diterima oleh pemakai di dunia dan masih bertahan sampai saat ini tetapi sistem b bekerja pada band yang kurang baik seperti pada *Cordless* dan frekuensi *Microwave* dapat saling mengganggu bagi daya jangkauannya. Standar 802.11b hanya memiliki kemampuan transmisi standar dengan 11 Mbps atau rata-rata 5 Mbit/s yang dirasakan lambat oleh pemakainya, *turbo mode* kemampuan *wireless* selain lebih mahal tetapi tidak mampu menandingi kemampuan tipe a dan g.

**c. Standar 802.11g**

Standard yang cukup kompatibel dengan tipe 802.11b memiliki kombinasi kemampuan tipe a dan b. Menggunakan frekuensi 2.4 GHz dan mampu mentransmisi 54 Mbps bahkan dapat mencapai 108 Mbps bila terdapat inisial G atau turbo. Untuk hardware pendukung 802.11g paling banyak dibuat oleh vendor. Secara teoritis mampu mentransfer data kurang lebih 20 Mbit/s atau 4 kali lebih baik dari tipe b dan sedikit lebih lambat dari tipe a karena menggunakan carrier seperti tipe b dengan 2.4 GHz untuk menghadapi gangguan frekuensi maka ditempatkan sistem OFDM.

**2.2.2. Access Point**

*Access point* (AP) merupakan sebuah perangkat penghubung antara jaringan *wireline* dengan *wireless*. Maksudnya sebuah AP akan bertugas mengubah data yang lalu lalang di media kabel menjadi sinyal-sinyal radio yang dapat ditangkap oleh perangkat *wireless*. AP akan menjadi gerbang bagi jaringan

*wireless* untuk dapat berkomunikasi dengan dunia luar maupun dengan antar sesama perangkat *wireless* didalamnya.

*Access point* sangat dibutuhkan jika ingin membuat sebuah infrastruktur jaringan *wireless*. Dengan menggunakan AP maka sebuah jaringan komunikasi akan terbentuk tidak hanya dua atau tiga perangkat saja yang dapat berkomunikasi tetapi cukup banyak yang dapat saling berbicara dengan perantara sinyal radio ini.

Pengaplikasian AP yang banyak dilakukan saat ini adalah melakukan pembagian bandwidth Internet dari link Internet ADSL atau Kabel sehingga dapat digunakan oleh banyak orang. Namun jika ingin membangun koneksi hanya dengan sebuah perangkat *wireless* lainnya, AP tidaklah mutlak diperlukan. mengoperasikan perangkat *wireless* Anda dalam mode *peer-to-peer* atau yang lebih dikenal dengan istilah *mode Ad-Hoc* tetapi kekurangan dari komunikasi *mode Ad-Hoc* ini Anda tidak dapat membangun jaringan *wireless* yang luas karena memang sifatnya yang *Point-to-Point*.

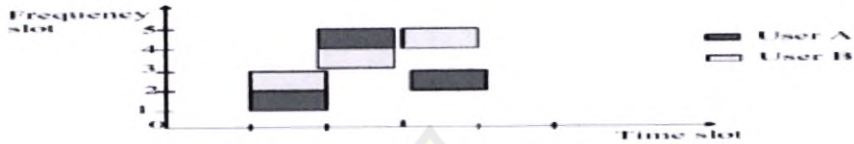
Terlepas dari keterbatasan perangkat, sistem WLAN AP dapat melayani pengguna dalam jumlah yang tidak terbatas. Dengan memasang banyak AP, maka banyak sekali keuntungan yang didapat. pengguna jaringan *wireless* dengan bandwidth yang luas, pengguna juga dapat bebas mengakses dimanapun mereka suka karena area coverage-nya sudah pasti lebih luas dan jumlah pengguna yang dapat dilayani oleh jaringan ini lebih banyak.

### **2.2.3. Teknik Modulasi pada WiFi**

Ada banyak teknik modulasi *Radio Frequency* yang sering digunakan standar 802.11x, antara lain :

### 1. FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)

Dalam teknik Modulasi FHSS secara teknis berusaha untuk mencapai hasil yang sama dengan mengirimkan transmisi melalui frekuensi pembawa yang berbeda dengan waktu yang berbeda juga.

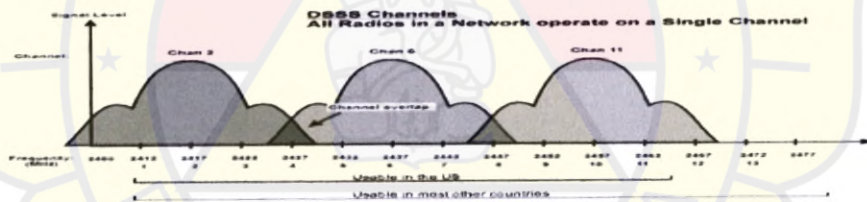


**Gambar 2.1. Teknik Modulasi FHSS**

Pembawa sinyal akan lompat dengan pola prosedur random dalam *subchannel 11 Mhz*, seperti terlihat pada gambar 2.1 diatas.

### 2. DSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

Dalam teknik modulation DSS (*Direct Spread Spectrum*) menggunakan *carrier* yang *fix* pada pita *frequency* tertentu.

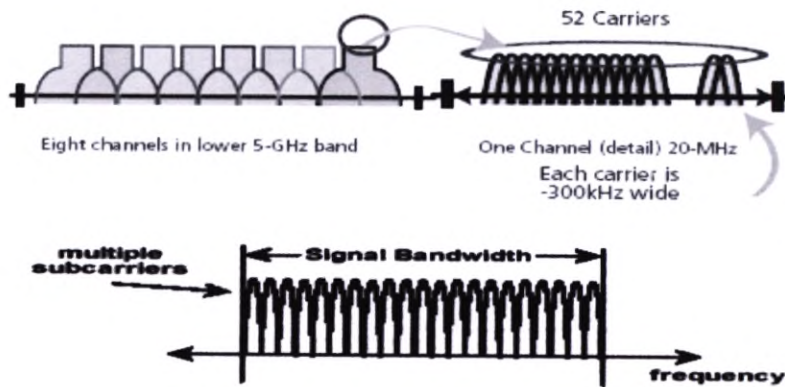


**Gambar 2.2. DSS Frequency Chanel in 2.4 GHz (IEEE 802.11)**

Seperti yang terlihat pada gambar 2.2 diatas bahwa transmisi dengan DSS lebih kebal terhadap interferensi karena saat mengirim dan merangkai ulang dengan benar hanya ada 1 dari 10 sinyal yang dibutuhkan.

### 3. OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

OFDM adalah teknik modulasi untuk transmisi data digital dalam ukuran besar melalui sinyal radio.



Gambar 2.3. WiFi IEEE 802.11a.

Seperti pada gambar 2.3 diatas bahwa OFDM bekerja dengan cara memisahkan sinyal radio ke dalam sejumlah kecil sub sinyal yang kemudian ditransmisikan secara simultan pada frekuensi berbeda. OFDM mengurangi jumlah transmisi sinyal *crosstalk*. OFDM digunakan pada standar WiFi IEEE 802.11a.

#### 2.2.4. Sistem Keamanan WLAN

Untuk memproteksi ada beberapa teknik yang dapat digunakan apabila ada para pengganggu berusaha mengacaukan jaringan *wireless*. Metode tersebut adalah WEP, WPA, dan 802.1x.

WEP (*Wired Equivalent Privacy*) menggunakan sistem enkripsi untuk memproteksi pengguna WLAN dalam level yang paling dasar. *Encryption key* ini biasanya dibuat dari 64 bit key awal dan dipadukan dengan algoritma enkripsi RC4. Ketika fasilitas WEP diaktifkan, maka semua perangkat *wireless* (AP dan client) yang ada di jaringan harus dikonfigurasi dengan menggunakan key yang sama. Hak akses dari seseorang atau sebuah perangkat akan ditolak jika key yang dimasukkan tidak sama.

WPA (*WiFi Protected Access*) merupakan teknik pengaman jaringan WLAN yang diklaim lebih canggih dari WEP dengan disertai teknik enkripsi



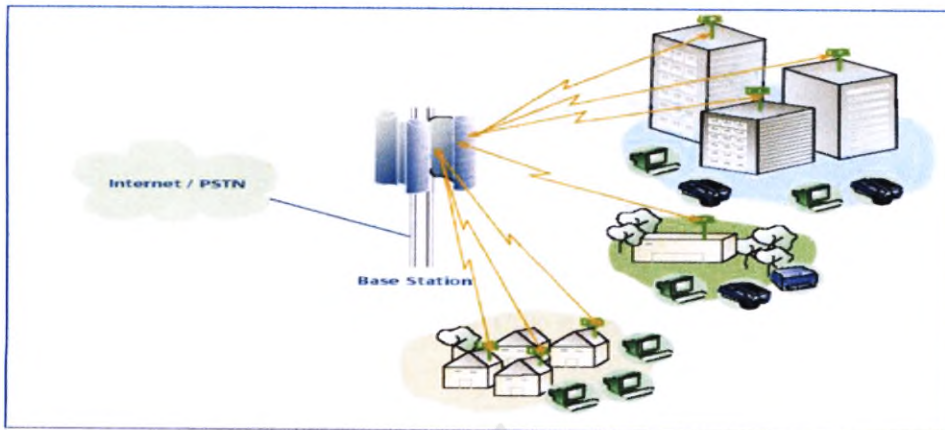
yang lebih *advanced* dan tambahan pengamanan berupa otentikasi dari penggunaannya, maka WPA akan jauh lebih hebat mengamankan pengguna WLAN.

Standar 802.1x merupakan teknik pengamanan yang mengharuskan semua pengguna jaringan wireless untuk melakukan proses otentikasi terlebih dahulu sebelum dapat bergabung dalam jaringan. Sistem otentikasinya dapat dilakukan dengan banyak cara, namun sistem otentikasi menggunakan pertukaran secara dinamik. Sistem pertukaran *key* secara dinamik ini dapat dibuat dengan menggunakan *Extensible Authentication Protocol* (EAP).

### 2.3. WiMAX

WiMAX (*Worldwide interoperability for Microwave Access*) merupakan standar internasional tentang *Broadband Wireless Access* untuk menyalurkan data kecepatan tinggi (layaknya teknologi xdsl pada *wireline*). Di IEEE (*The institute of Electrical and Electronics Engineers*) standar WiMAX mengacu pada standar IEEE 802.16 dan dikembangkan oleh forum gabungan organisasi non-profit yang disebut *WiMAX forum*. Sedangkan di ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*) standar spesifikasi BWA lebih dikenal dengan standar ETSI BRAN HiperMAN.

Meski WiMAX disebut sebagai berstandar 802.16, kenyataan tak hanya itu. Menurut Dean Chang, *Director of Product Management*, Aperto Networks dan anggota forum WiMAX ([www.WiMAXforum.org](http://www.WiMAXforum.org)), WiMAX juga merupakan upaya standarisasi antara IP berbasis 802.16 dan WMAN (*Wireless Metropolitan Network*) broadband berbasis ETSI *High-Performance Radio Metropolitan Area Network* (HiperMAN) dan kelompok industri yang bekerja mencapai tujuan itu.

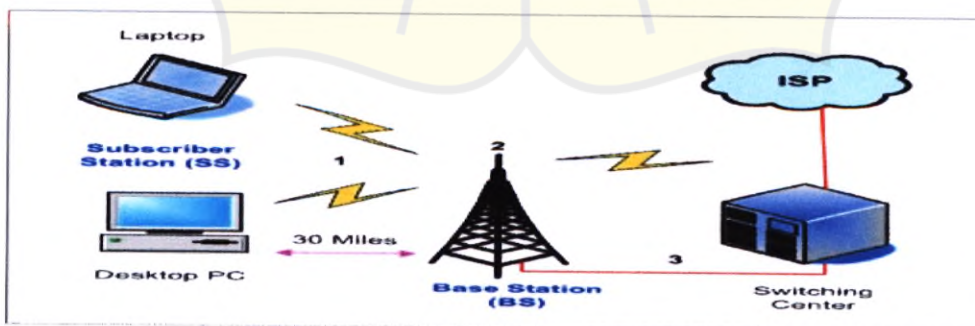


Gambar 2.4. 802.16/HiperMAN - Broadband Wireless Access in the Last Mile (Alvarion)

Dengan begitu, perangkat-perangkat yang berstandar WiMAX dapat digunakan baik berbasis HiperMAN (Eropa) dan 802.16, seperti yang terlihat pada gambar 2.4 diatas.

### 2.3.1. Prinsip Kerja Teknologi WiMAX

Teknologi WiMAX dapat meng-cover area sekitar 50 kilometer dimana ratusan pengguna akan di *share* sinyal dan kanal untuk mentransmisikan data dengan kecepatan sampai 155 Mbps. Aspek keamanan merupakan aspek yang sangat penting. Sistem pengamanan data dilakukan pada *layer physical* (PHY) dan *data link layer* (MAC) dalam suatu arsitektur jaringan, tepatnya di sisi BS untuk didistribusikan ke wilayah sekeliling dan SS untuk komunikasi P2P. BS dihubungkan secara langsung dengan jaringan umum (*Public Network*).

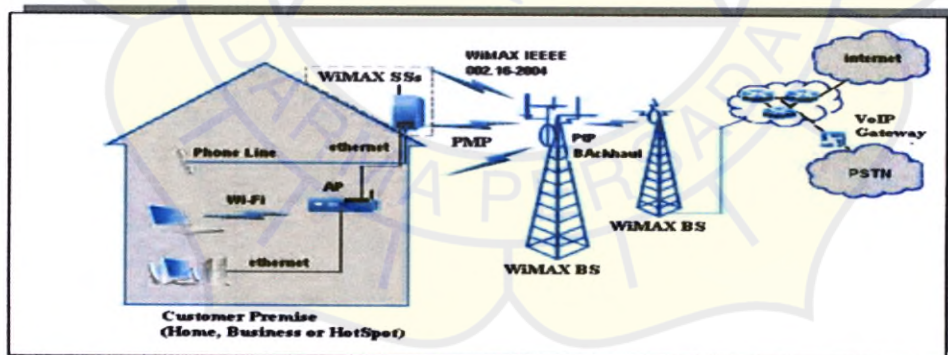


Gambar 2.5. Aliran Trafik pada WiMAX

Pada gambar 2.5 diatas bahwa aliran trafik pada WiMAX terdiri atas tiga bagian, yaitu: pelanggan mengirimkan data dengan kecepatan 2-155 Mbps dari SS ke BS, BS akan menerima sinyal dari berbagai pelanggan dan mengirimkan pesan melalui *wireless* atau kabel *switching center* melalui protokol IEEE 802.16 dan *switching center* akan mengirimkan pesan ke ISP (*internet service provider*) atau PSTN (*public switched telephone network*).

### 2.3.2. Konfigurasi umum Jaringan WiMAX

Konfigurasi jaringan akses WiMAX terdiri dari BS (*Base Station*), SS (*Subscriber Station*) dan *transport site*. BS dihubungkan secara *point-to-multipoint* untuk melayani pelanggan sampai radius beberapa puluh kilometer tergantung pada frekuensi, daya pancar dan sensitivitas penerima. BS biasanya biasanya satu lokasi dengan jaringan operator (jaringan IP internet atau jaringan PSTN). Sedangkan SS (*Subscriber Station*) terdapat dipelanggan berupa *fixed*, *portable* maupun *mobile*. Konfigurasi jaringan WiMAX dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6. Konfigurasi umum jaringan WiMAX

Keterangan :

AP : *Access Point*

SS : *Subscriber station*

BS : *Base Station*

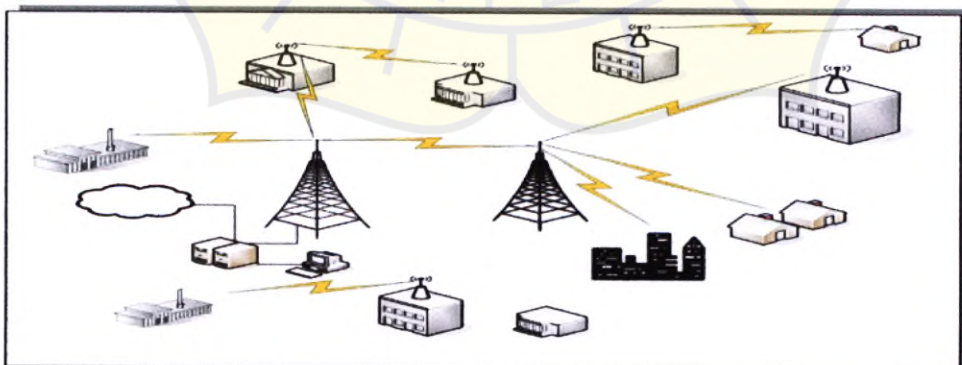
**PMP** : *Point to Multipoint*

**PtP** : *Point to Point*

Konfigurasi jaringan WiMAX pada gambar 2.6 diatas merupakan konfigurasi untuk jenis pelanggan yang *fixed* atau tidak bergerak maupun bergerak tetapi dengan pergerakan yang terbatas atau *limited mobility*.

SS (*Subscriber Station*) atau CPE merupakan perangkat yang berada di pelanggan dan terdiri dari tiga bagian utama yaitu : modem, radio dan antena. Modem merupakan antarmuka antara jaringan pelanggan dan *broadband access network*, sedangkan radio merupakan antarmuka antara modem dan antena. Ketiga bagian tersebut dapat terpisah, terintegrasi per bagian atau terintegrasi penuh dalam satu atau dua perangkat.

BS (*Base Station*) merupakan perangkat *transceiver* yang berhubungan dari atau ke pelanggan. *Base Station* terdiri dari satu atau lebih radio *transceiver* dimana setiap radio *transceiver* terhubung ke beberapa CPE didalam area sektorisasi. Radio modem terhubung dengan *multiplexer*, contohnya adalah *switch* dimana pada *switch* terjadi pengumpulan trafik dari berbagai sektor dan meneruskan trafik tersebut ke *router* yang menyediakan koneksi ke jaringan ISP yang terlihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



**Gambar 2.7.** Konfigurasi jaringan WiMAX untuk aplikasi MAN

Jaringan WiMAX untuk aplikasi MAN (*Metropolitan Area Network*), topologi jaringan yang digunakan adalah gabungan dari topologi *Point to Point*, *Point to Multipoint* maupun mesh seperti gambar 2.7. Jumlah *base station* lebih dari satu buah untuk mencakup wilayah MAN dengan jumlah *subscriber station* ratusan. Topologi *Point to Point* digunakan untuk menghubungkan *base station* dengan *base station* sebagai *backhaul*. Sedangkan topologi *Point to Multipoint* digunakan untuk menghubungkan *base station* dengan pelanggan.

Proses hubungan antara BS dan SS WiMAX adalah sebagai berikut :

- a) Pelanggan atau SS (*subscriber station*) mengirimkan data dengan kecepatan maksimal sampai 75Mbps ke BS (*base station*).
- b) *Base station* menerima sinyal dari pelanggan dan mengirimkan sinyal tersebut ke *switching center* dengan protokol IEEE 802.16d melalui jaringan *wireless* atau kabel.
- c) *Switching center* akan mengirimkan pesan ke internet service provider (ISP) atau public switched telephone network (PSTN).

### 2.3.3. Standar WiMAX mempunyai Varian Standar IEEE 802.16

Pada awalnya standar IEEE 802.16 beroperasi pada frekuensi 10-66 GHz dan LOS tetapi pengembangan standar IEEE 802.16a yang disahkan pada bulan Maret 2004 menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu 2-11 GHz sehingga tidak memerlukan LOS. WiMAX dapat mencakup area sekitar 50 km dan kecepatan pengiriman data sebesar 70 Mbps dan mampu menangani sampai ribuan pengguna. Standar IEEE 802.16a kemudian direvisi menjadi standar IEEE 802.16b yang menekankan segala keperluan dan permasalahan dengan *Quality of Service* lalu standar IEEE 802.16c menekankan pada *interoperability* dengan protokol lainnya, standar IEEE 802.16e menekankan penggunaan secara *mobile*.

Standar IEEE 802.16 mempunyai beberapa varian yang dimaksudkan untuk mengembangkan performansi dan kemampuan dari teknologi standar IEEE 802.16 tersebut agar menjadi lebih handal dan dapat meluas penggunaannya.

Tabel 2.2. Standar IEEE 802.16 yang digunakan untuk jaringan WiMAX

Parameter Perbandingan	802.16	802.16a/ Rev d	802.16e
Lisensi Keluaran	Desember, 2001	802.16a Jan 2003 802.16Revd: Juni 2004	Pertengahan 2005
Spectrum	10GHz–66GHz	2 – 11 GHz	2 – 6 GHz
Aplikasi	<i>Backhaul</i>	<i>Wireless DSL dan Backhaul</i>	<i>Internet Mobile</i>
Kondisi Kanal	<i>Line of Sight (LOS)</i>	<i>Non Line of sight (NLOS) dan LOS</i>	NLOS dan LOS
Bit Rate	32-134 Mbps pada lebar kanal 28 MHz	Mencapai 70 Mbps pada lebar kanal 20 MHz	Mencapai 15 Mbps pada kanal 5 MHz
Modulasi	QPSK, 16QAM dan 64 QAM	OFDM 256 <i>subcarriers</i> , QPSK, dan 64 QAM	OFDM 256 <i>subcarriers</i> , QPSK, 64 QAM dan OFDMA
Pergerakan	Tetap	Tetap	<i>Mobile pedestrian</i>
Bandwidth Kanal	20, 25 dan 28 MHz	<i>Bandwidth kanal disesuaikan antara 1,5 dan 20 MHz</i>	<i>Up-Link sub kanal untuk penghematan daya</i>
Tipe Radius sel	1 – 3 mil	4 – 6 mil	1 – 3 mil

Pada Tugas akhir ini teknologi WiMAX yang digunakan berstandar IEEE.802.16d yang didesain untuk memenuhi kondisi NLOS (*Non Line of Sight*) dan menggunakan teknik modulasi adaptif seperti BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM serta modulasi *multicarrier* OFDM. Varian standar IEEE 802.16 dapat dilihat pada tabel 2.2 diatas.

#### 2.3.4. Parameter-Parameter Standar IEEE 802.16d

Standart IEEE 802.16d merupakan varian dari standar IEEE 802.16 yang digunakan untuk aplikasi akses *fixed*. Perangkat CPE yang biasa digunakan untuk aplikasi *fixed* terdiri dari *outdoor unit* (antena) dan *indoor unit* (modem) yang instalasinya dilakukan oleh teknisi sedangkan perangkat lain berupa *indoor unit* yang penginstalasiannya dilakukan sendiri oleh pelanggan. Standar IEEE

802.16d diluncurkan pada bulan Juni 2004 merupakan pengembangan dari standar IEEE 802.16a.

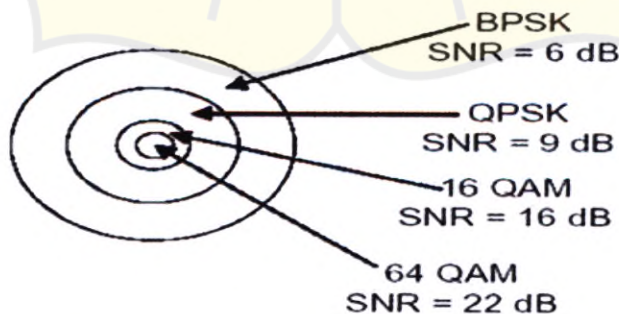
Tabel 2.3. Parameter Sistem IEEE.802.16d

<b>Frekuensi</b>	2-11 GHz
<b>Daerah jangkauan</b>	Maksimum 50 km. Optimum 10 km
<b>Bandwidth Kanal</b>	1.5-20 Mhz
<b>Spektral efisiensi</b>	5 bps/Hz
<b>Skema Modulasi</b>	BPSK, QPSK, 16QAM, 64 QAM, OFDM 256 subs carier
<b>Kecepatan Data</b>	Mencapai 75 Mbps
<b>Sistem Duplex</b>	FDD/TDD
<b>Kondisi Propagasi</b>	NLOS dan LOS
<b>Aplikasi</b>	Metropolitan Area Network (MAN)

Standart IEEE 802.16d seperti yang terlihat pada tabel 2.3 diatas mempunyai parameter sebagai berikut: menggunakan frekuensi 2-11 GHz daerah jangkauan maksimum 50 km (untuk kondisi LOS) dan optimal 7-10 km (untuk kondisi NLOS), *bandwidth* kanal bervariasi antara 1,5 MHz sampai dengan 20 MHz, *spektral efisiensi* mencapai 5 bps/Hz menggunakan modulasi adaptif yaitu QPSK, BPSK, 16 QAM, dan 64 QAM menggunakan modulasi *multicarier* OFDM, *data rate* maksimal 75 Mbps menggunakan modulasi 64 QAM dengan *bandwidth* kanal 20 MHz sistem *duplex* menggunakan TDD dan FDD jenis mobilitas *fixed* dan teknik akses jamak menggunakan TDMA.

### 2.3.5. Modulasi

WiMAX yang menggunakan standar IEEE802.16d didukung oleh 4 skema modulasi yang berbeda, yaitu : BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM.



Gambar 2.8. Radius sel berdasar skema modulasi

Modulasi yang digunakan merupakan modulasi adaptif yang mengizinkan sistem WiMAX menambahkan skema modulasi sinyal tergantung dari kondisi SNR (*Signal to Noise Ratio*) pada *link radio* seperti pada gambar 2.8 diatas. Pada saat *link radio* mengalami peningkatan kualitas maka skema modulasi yang tertinggi akan dipergunakan dan akan memberikan kapasitas yang lebih besar pada sistem. Selama terjadi *fading* sinyal yang berarti menurunnya kualitas pada *link radio*, sistem WiMAX dapat bergeser ke arah skema modulasi yang lebih rendah untuk menjaga kualitas hubungan pada *link radio*.

#### 2.3.6. Kelebihan jaringan WiMAX

Jaringan WiMAX memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh jaringan lainnya. Kelebihan yang dimiliki oleh WiMAX, antara lain :

- a) Jarak paling jauh mencapai maksimal 50 km dengan jarak optimal 7-10 km tidak ada masalah.
- b) Daerah jangkauan dioptimalkan untuk *outdoor environment* yang didukung dengan teknologi *smart antenna*, modulasi adaptif dan menggunakan topologi jaringan mesh.
- c) QOS (*Quality Of Service*) untuk layanan data, video dengan dukungan *Grant/Request MAC* dan *differential service* : E1/T1 untuk pelanggan bisnis dan *best effort* untuk pelanggan *residential*.
- d) *Interoperability* perangkat sehingga operator atau penyedia layanan tidak tergantung pada satu vendor untuk pengadaan perangkat sehingga biaya dan resiko investasi dapat lebih rendah atau ditekan.
- e) *Bandwidth* kanal yang fleksibel dari 1,5 MHz sampai 20 MHz untuk spektrum frekuensi berlisensi maupun spektrum frekuensi yang tidak



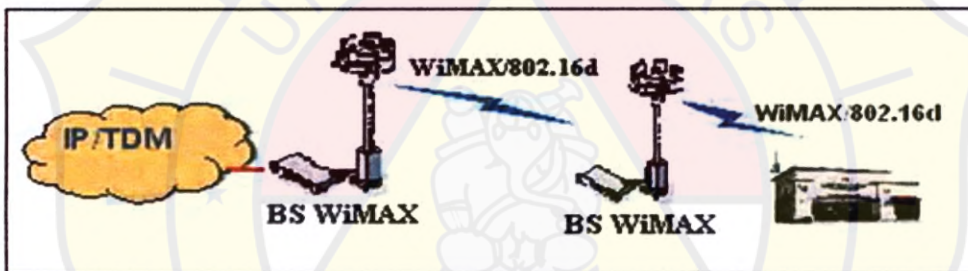
berlisensi menggunakan frekuensi *reuse* dan dimungkinkan dilakukan perencanaan sel untuk penyedia layanan komersil.

*Bit rate* tinggi yaitu : spektral efisiensi 3,8 bps/Hz; *bit rate* 75 Mbps menggunakan *bandwidth* kanal 20 MHz dan spektral efisiensi 5 bps/Hz; *bit rate* 100 Mbps menggunakan *bandwidth* kanal 20 MHz.

### 2.3.7. Jenis layanan yang disediakan WiMAX

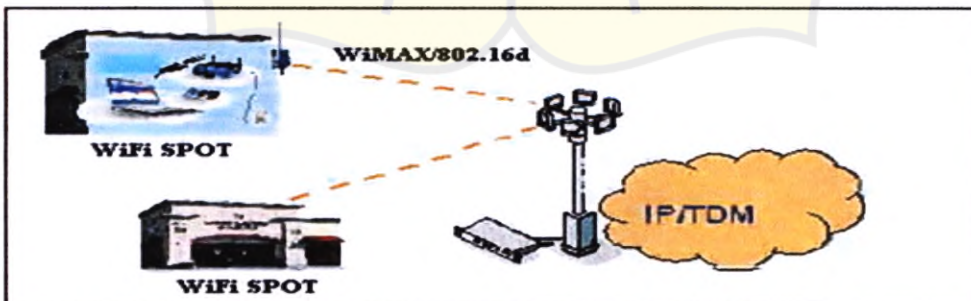
Teknologi WiMAX mampu menyediakan berbagai macam layanan antara lain: *backhaul*, *residential broadband*, *best connected wireless service*, akses *broadband* dan *personal broadband* WiMAX.

*Backhaul* baik untuk *backhaul* WiMAX sendiri, *backhaul* hotspot, dan *backhaul* teknologi lain seperti seluler.



Gambar 2.9. *Backhaul* WiMAX

Dalam konteks WiMAX sebagai *Backhaul* dari WiMAX seperti gambar 2.9 diatas, aplikasinya mirip dengan fungsi BTS sebagai *repeater*. Tujuannya untuk memperluas jangkauan dari WiMAX.



Gambar 2.10. *Backhaul* Hotspot

Biasanya hotspot banyak menggunakan saluran ADSL sebagai *backhaul*nya. Dengan keterbatasan jaringan kabel, maka WiMAX juga bisa dimanfaatkan sebagai *backhaul* Hotspot. Konfigurasinya dapat dilihat seperti gambar 2.10 diatas.



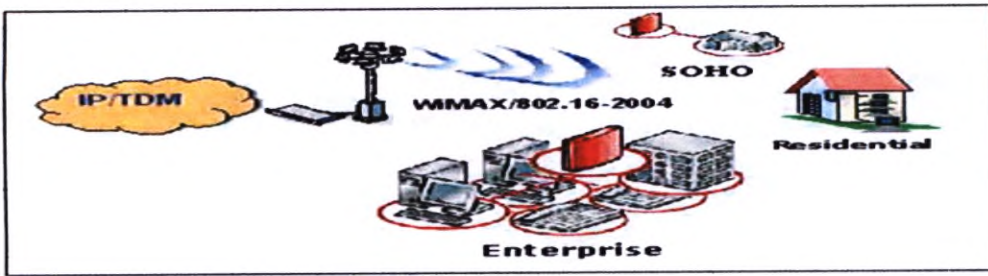
Gambar 2.11. *Backhaul* Seluler

Sebagai *backhaul* teknologi lain, WiMAX dapat digunakan untuk *backhaul* seluler. Gambar berikut mengilustrasikan WiMAX untuk menghubungkan MSC / BSC ke BTS seluler, arsitekturnya seperti pada gambar 2.11 diatas.

*Residential broadband* digunakan untuk mengatasi kekurangan daerah jangkauan dari teknologi DSL dan kabel dan daerah yang tidak terlayani oleh teknologi lain.

*Best connected wireless service* untuk mendukung layanan komunikasi didalam ruangan (*indoor*) dan diluar ruangan (*outdoor*) dengan *integrated* atau eksternal antena.

Akses *broadband* untuk akses *broadband* WiMAX dapat digunakan sebagai teknologi untuk melayani kebutuhan *broadband* bagi pelanggan.



Gambar 2.12. Akses *broadband* WiMAX

Dari pelanggan perumahan maupun bisnis dapat dipenuhi oleh teknologi WiMAX ini, arsitekturnya seperti terlihat pada gambar 2.12 dibawah ini. *Personal broadband* WiMAX sebagai penyedia layanan *personal broadband*, dapat dibedakan menjadi 2 yaitu pelanggan yang bersifat *nomadic* dan *mobile*.



Gambar 2.13. Layanan *Nomadic*

Untuk pelanggan *nomadic*, tingkat perpindahan pelanggan tidak sering dan berpindah dengan kecepatan yang rendah. Perangkatnya pun biasanya tidak sederhana untuk aplikasi *mobile*, arsitekturnya seperti pada gambar 2.13 diatas.



Gambar 2.14. Layanan *Mobile*

Untuk aplikasi *mobile*, pelanggan WiMAX menggunakan perangkat seperti notebook, PDA atau smartphone dengan menggunakan WiMAX *card* yang dipasang di terminal. Perpindahan / tingkat mobilitasnya tinggi, arsitekturnya seperti terlihat pada gambar 2.14 diatas.

#### 2.4. Pengalokasian Frekuensi

Ada 2 jenis frekuensi yang digunakan untuk pengembangan WiMAX yaitu frekuensi berlisensi dan frekuensi yang tidak berlisensi. Penggunaan spektrum frekuensi tersebut tergantung pada regulasi disetiap negara sehingga frekuensi yang digunakan untuk tiap negara berbeda-beda.

Tabel 2.4. Alokasi frekuensi WiMAX di beberapa negara

Negara	Band Frekuensi
Amerika Utara, Mexico	2,5 GHz dan 5,8 GHz
Amerika Tengah dan Selatan	2,5 GHz ; 3,5 GHz dan 5,8 GHz
Eropa barat dan timur	3,5 GHz dan 5,8 GHz
Asia tengah dan Afika	3,5 GHz dan 5,8 GHz
Asia Pasific	3,5 GHz dan 5,8 GHz

Pada frekuensi berlisensi mempergunakan frekuensi 2,5 GHz dan 3,5 GHz. Band frekuensi 2,5 GHz digunakan banyak negara didunia termasuk Amerika Utara, Amerika Serikat, Amerika Latin, Eropa barat dan timur serta beberapa negara di Asia-Pasific. Spektrum frekuensi yang digunakan antara 2,5 GHz - 2,69 GHz. sedangkan untuk band 3,5 GHz banyak digunakan di Eropa. ETSI mengalokasikan band frekuensi 3,5 GHz yang sebenarnya dialokasikan untuk WPLL untuk pengembangan WiMAX. Spektrum frekuensi yang digunakan antara 3,3 GHz - 3,8 GHz tetapi yang banyak dipakai adalah frekuensi antara 3,4 GHz -3,6 GHz. Untuk frekuensi tidak berlisensi hanya mempergunakan band 5

GHz. Spektrum frekuensi yang digunakan antara 5,25 GHz - 5,85 GHz. Di beberapa negara yang menggunakan *band* frekuensi ini difrekuensi antara 5,725 GHz - 5,85 GHz penggunaan daya *output* dapat dinaikkan sebesar 4 watt untuk meningkatkan daerah jangkauan.

## 2.5. Sektorisasi dan antena

Sektorisasi adalah pengarah arah radiasi energi (daya pancar) untuk menjangkau wilayah cakupan. Sektorisasi ini bertujuan untuk peningkatan kapasitas trafik (*sectorization gain*).

Tabel 2.5. Antena untuk NLOS dan LOS

Kategori	LOS	Outdoor NLOS	Indoor NLOS
Lintasan radio	Langsung, tidak ada hambatan atau <i>obstacle</i>	Refleksi, tidak ada komponen LOS	Refleksi, tidak ada komponen LOS
Antena CPE	Directional, diinstal diluar bangunan	Directional, diinstal diluar bangunan	Omni directional, terintegrasi dengan CPE, diinstal didalam bangunan oleh user sendiri

Kondisi sektorisasi yaitu ketika antena BS mengarahkan radiasi (daya pancar) kearah tertentu. Pada sistem sektorisasi dikenal beberapa jenis sektorisasi, yaitu: sektorisasi 120° (3 sektor) dan sektorisasi 90° (6 sektor).

Pada kasus sektorisasi 120° (3 sektor) setiap sel dibagi dalam 3 sektor dan menggunakan 3 antena *directional* dimana masing-masing sektor menggunakan satu frekuensi yang berbeda.

Pada kasus sektorisasi 90° (6 sektor) setiap sel dibagi dalam 6 sektor dan menggunakan 6 antena *directional* dimana masing-masing sektor menggunakan susunan frekuensi yang berbeda.

## 2.6. Performansi Sistem

Parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi sistem antara lain: perhitungan *link budget*, perhitungan *loss* propagasi, perhitungan EIRP, perhitungan RSL, perhitungan kualitas sinyal transmisi meliputi perhitungan SNR dan perhitungan *Fade Margin*.

### 2.6.1. Power Budget

*Power budget* merupakan perhitungan level daya yang dilakukan untuk memastikan bahwa level daya penerimaan lebih besar atau sama dengan level daya *threshold* ( $RSL \geq R_{th}$ ). Tujuannya untuk menjaga keseimbangan *gain* dan *loss* untuk mencapai SNR yang diinginkan di *receiver*.

Perhitungan *link budget* juga berguna untuk menghitung luas daerah jangkauan sinyal dari *base station*, seberapa jauh sinyal masih dapat diterima oleh pelanggan dengan baik.

Parameter yang mempengaruhi kondisi propagasi yaitu rugi-rugi propagasi, *fading*, *delay spread*, *noise*, dan interferensi.

*Fading* adalah fluktuasi amplitude sinyal. *Fade Margin* adalah level daya yang harus dicadangkan yang besarnya merupakan selisih antara daya rata-rata yang sampai di penerima dan level sensitivitas penerima. Nilai *Fade Margin* minimum agar sistem bekerja dengan baik sebesar 15 dBm.

*Noise* dihasilkan dari proses alami seperti petir, *noise thermal* pada sistem penerima, dll. Disisi lain sinyal transmisi yang mengganggu dan tidak diinginkan dikelompokkan sebagai interferensi.

Rugi-rugi propagasi dalam lingkungan radio, konfigurasi alam yang tidak beraturan, bangunan, dan perubahan cuaca membuat perhitungan rugi-rugi propagasi sulit.

### 2.6.2.1. *Fade Margin*

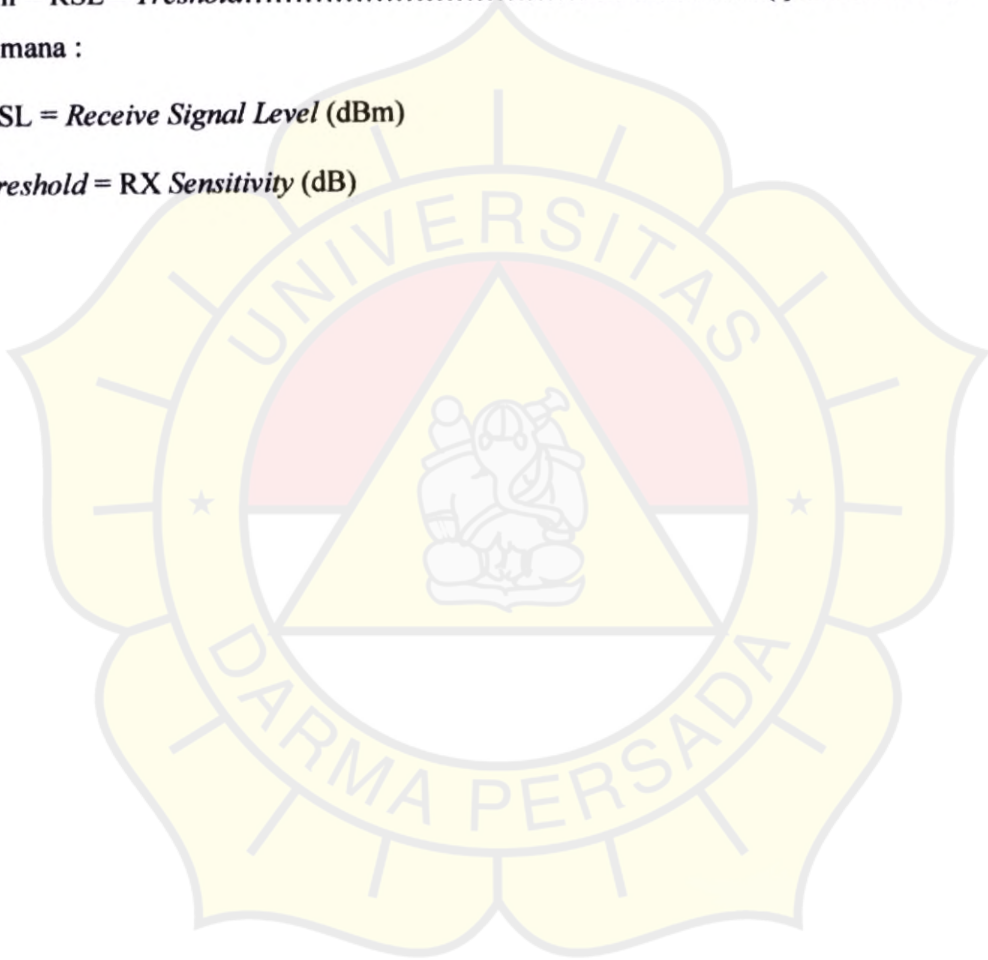
Perhitungan *Fade Margin* (FM) merupakan penentu kualitas sinyal yang diterima oleh sisi penerima baik atau buruk. Apabila hasil perhitungan bernilai negatif maka kualitas yang didapat pada sisi penerima akan buruk sedangkan apabila hasil perhitungan bernilai positif maka kualitas didapat pada sisi penerima akan baik. *Fade Margin* dapat dihitung dengan persamaan 2.8 dibawah ini.

$$F_m = RSL - Threshold \dots \dots \dots ( \text{persamaan 2-8} )$$

dimana :

$RSL = \text{Receive Signal Level (dBm)}$

$Threshold = \text{RX Sensitivity (dB)}$



### 2.6.1.1. Loss Propagasi

Kanal radio untuk sistem komunikasi *wireless* dibedakan untuk kondisi LOS dan NLOS. Pada keadaan LOS sinyal merambat langsung melalui udara tanpa melewati suatu *obstacle* atau hambatan (rumah, kayu, gunung, gedung, dll) dari pengirim ke penerima. Kriteria untuk keadaan LOS adalah bebasnya daerah *Fresnel* dari hambatan yang bisa mengganggu sinyal yang melalui udara tersebut. Daerah *Fresnel* tergantung dari frekuensi operasi dan jarak antara pengirim (*transmitter*) dengan penerima (*receiver*), seperti pada gambar 2.20 dibawah ini.



Gambar 2.15. Kondisi propagasi LOS dan NLOS

Pada kondisi kanal NLOS, sinyal yang ditangkap dipenerima (*receiver*) adalah sinyal yang telah mengalami proses refleksi, *scattering* dan difraksi. Sinyal datang yang ditangkap penerima merupakan gabungan dari sinyal langsung, multi pantulan, energi hamburan dan sinyal propagasi yang telah terdifraksi. Sinyal ini mempunyai *delay* pola sebaran yang berbeda, redaman, polarisasi dan kestabilan relatif dari sinyal langsung seperti terlihat pada gambar 2.15 diatas.

Model propagasi yang telah dikembangkan menyesuaikan karakter lingkungan RF (*Radio Frequency*) dan memperkirakan kuat sinyal RF. Model tersebut diperoleh dari pengukuran empiris yang digunakan untuk memprediksikan cakupan area dalam skala besar pada sistem komunikasi radio untuk aplikasi selular. Model propagasi memperkirakan rugi lintasan tergantung dari jarak antara pengirim dan penerima, tinggi antena pengirim dan penerima dan frekuensi yang digunakan.



dimana :  $h =$  tinggi antena penerima  $2 \text{ m} \leq h \leq 8 \text{ m}$

$$n = a - (b \times h_b) + \left( \frac{c}{h_b} \right) \dots \dots \dots \text{ ( persamaan 2-4 )}$$

dimana :

$h_b =$  tinggi *base station*  $10 \text{ m} \leq h_b \leq 80 \text{ m}$

a,b,c = konstanta yang menunjukkan kategori *terrain*

untuk s nilainya 8,2 s/d 10,6 dB tergantung tipe *terrain*

Tabel 2.6. Parameter Model untuk model kanal IEEE 802.16

Parameter Model	Terrain type A	Terrain type B	Terrain type C
A	4,6	4	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20

**b. Propagasi LOS**

Redaman ruang bebas atau *free space loss* merupakan penurunan daya gelombang radio selama merambat di ruang bebas. Redaman ini dipengaruhi oleh besar frekuensi dan jarak antara titik pengirim dan penerima. Besarnya redaman ruang bebas adalah :

$$Ld_0 = 32,45 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (Km)} \dots \dots \dots \text{ ( persamaan 2-5 )}$$

dimana :

f = frekuensi operasi (MHz)

d = jarak antara pengirim dan penerima (Km)

**2.6.1.2. Perhitungan EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*)**

EIRP merupakan besaran yang menyatakan kekuatan daya pancar suatu antena di bumi dapat dihitung dengan rumus :

$$EIRP = Ptx + Gtx - Ltx \dots \dots \dots \text{ ( persamaan 2- 6 )}$$

dimana :

Ptx = daya pancar (dBm)

### a. Propagasi NLOS

Model propagasi yang digunakan pada jaringan WiMAX adalah model propagasi SUI (*Stanford University Interim*) untuk kondisi NLOS menggunakan 3 tipe dasar *terrain*, yaitu: kategori A-*Hilly/moderate-to-heavy tree density* (urban), kategori B-*Hilly/light tree density or flat/moderate-to-heavy tree density /intermediate* (sub urban) dan kategori C-*Flat/light tree density* (rural). Model *path loss* diperoleh hasil data percobaan oleh AT&T *Wireless Service* di Amerika Serikat di 95 makrosel eksisting pada frekuensi 1,9 GHz dan digunakan daerah urban dan suburban dengan tinggi *base station* antara 10 s/d 80 m dan jarak sel 0,1 s/d 10 km. Faktor koreksi frekuensi adalah ketentuan WiMAX berdasarkan frekuensi yang digunakan sedangkan faktor tinggi antenna penerima adalah ketentuan WiMAX berdasarkan tinggi antenna yang digunakan. Perhitungan *loss* propagasi dapat dilihat pada persamaan 2.1 dibawah ini.

$$L_{\text{propagasi}} = L_{d_0} + 10 n \text{Log}_{10} (d/d_0) + \Delta L_f + \Delta L_h + s \text{ (dB) } \dots\dots\dots \text{ ( persamaan 2-1 )}$$

dimana :

$L_{d_0}$  = *free path loss* di  $d_0$

$d_0$  = 100 m (jarak referensi)

$n$  = *path loss exponent*

$d$  = jarak *base station* dan *subscriber station* (m)

$\Delta L_f$  = faktor koreksi frekuensi

$\Delta L_h$  = faktor koreksi tinggi antenna penerima

$s$  = *shadow fading* komponen

$$\Delta L_f = 6 \text{Log} \left( \frac{f}{1900} \right) \dots\dots\dots \text{ ( persamaan 2-2 )}$$

$$\Delta L_h = -10 \times 7 \text{Log} \left( \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots \text{ ( persamaan 2-3 )}$$

Gtx = penguatan antena pemancar (dB)

Ltx = rugi-rugi pada pemancar (dB)

### 2.6.1.3. Perhitungan RSL (*Receive signal Level*)

RSL (*Receive signal Level*) adalah level sinyal yang diterima dipenerima dan nilainya harus lebih besar dari sensitivitas perangkat penerima ( $RSL \geq R_{th}$ ). Sensitivitas perangkat penerima merupakan kepekaan suatu perangkat pada sisi penerima yang dijadikan ukuran *threshold*.

$$RSL = EIRP - L_{propagasi} + G_{rx} - L_{rx} \dots\dots\dots \text{( persamaan 2-7)}$$

dimana :

EIRP = *Effecive Isotropic Radiated Power* (dBm)

L<sub>propagasi</sub> = rugi-rugi gelombang saat berpropagasi (dB)

G<sub>rx</sub> = penguatan antena penerima (dB)

L<sub>rx</sub> = rugi-rugi saluran penerima (dB)

### 2.6.2. Kualitas Sinyal Transmisi

Modulasi yang digunakan merupakan modulasi adaptif dimana sistem modulasi yang digunakan dapat menyesuaikan dengan keadaan lingkungan.

Ada 4 jenis modulasi yang digunakan yaitu BPSK, QPSK, QAM 16 dan QAM 64. Jenis modulasi dapat digunakan untuk menghitung nilai BER (*Bit Error Rate*) dan menentukan spektral efisiensi. Spektral efisiensi merupakan kemampuan skema modulasi untuk mengakomodasikan data dalam *bandwidth* yang terbatas.