

ABSTRAK– Saat ini, kebutuhan akses internet bagi masyarakat semakin besar, tuntutan akan akses internet yang semakin cepat, murah, dan luas semakin tak terelakkan. Karena itu lahirlah WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) sebagai jawaban atas semua tuntutan itu. Untuk mengetahui karakteristik dari WiMAX ini, perlu dilakukan penelitian untuk memodelkan kanal SUI pada sistem komunikasi WiMAX

WiMAX menggunakan frekuensi dalam kisaran 3,5 GHz sampai 5,8 GHz dan kecepatan transfer data hingga 70 Mbps. WiMAX juga dapat menjangkau jarak hingga 50 km atau 17 kali lipat lebih besar dibanding jangkauan WiFi, selain itu WiMAX pun dapat menjangkau daerah dengan kondisi terrain yang berbeda-beda melalui propagasi LOS dan NLOS. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis terhadap model propagasi SUI (Stanford University Interim). Dari persamaan model SUI yang ada, parameter-parameter yang digunakan dalam analisis antara lain: frekuensi yang digunakan (f), jarak base station dengan penerima (d) dan tinggi dari base station (h_b), sehingga dapat diketahui unjuk kerja yang terbaik berdasarkan pathloss yang ada.

Pada hasil perhitungan dengan persamaan SUI, dapat diketahui bahwa parameter frekuensi berbanding lurus dengan Pathloss secara linier, parameter jarak antara base station dengan penerima berbanding lurus dengan Pathloss secara eksponensial dan parameter tinggi base station berbanding terbalik dengan Pathloss. Untuk menentukan kinerja dari model propagasi SUI, digunakan nilai Pathloss dalam dB. Dari hasil perhitungan juga dapat dianalisa bahwa hasil pathloss pada Terrain tipe A lebih besar daripada pathloss pada terrain tipe B, dan pathloss pada terrain tipe B, lebih besar daripada pathloss pada terrain tipe C, sehingga kinerja pada pathloss dengan terrain tipe C lebih baik daripada pathloss dengan terrain tipe B dan terrain tipe A.

Kata-kunci: WiMAX, SUI, pathloss, terrain.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan masyarakat akan akses internet sebagai sarana informasi semakin besar. Semakin hari adanya tuntutan untuk penyediaan internet yang semakin cepat, murah, dan jangkauannya semakin luas. Karena itu untuk menjawab tuntutan diatas maka lahirlah WiMAX.

WiMAX menggunakan frekuensi dalam kisaran 3,5 GHz hingga 5,8 GHz dan kecepatan transmisi data sampai 70 Mbps. Teknologi tersebut diberi nomor standar IEEE 802.16d dan 802.16e. WiMAX memiliki jangkauan hingga 50 km atau puluhan kali lipat dibandingkan WiFi sehingga bisa menghemat infrastruktur BS (*Base Station*) secara signifikan. Selain itu teknologi ini juga memungkinkan peralatan pengguna untuk mendapatkan hubungan *broadband* tanpa harus ada lintasan langsung ke BS dan menyediakan total kecepatan data hingga 70 Mbps.

WiMAX adalah teknologi yang perlu dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai kemampuan dan kelebihanannya. WiMAX dikatakan mampu dalam kondisi NLOS dan pada kondisi terrain yang berbeda-beda.

Hal inilah yang melatarbelakangi tugas akhir ini yaitu untuk melakukan pemodelan kanal SUI. Sehingga kita dapat mengetahui kinerja WiMAX pada kondisi NLOS dalam terrain yang berbeda-beda.

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah untuk:

1. Melakukan pemodelan kanal SUI pada sistem komunikasi WiMAX
2. Mendapatkan hasil unjuk kerja yang terbaik dari beberapa perbandingan parameter SUI.

1.3 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini, pembahasan dibatasi pada :

1. Model propagasi yang digunakan adalah SUI (*Stanford University Interim*) yang dirancang oleh IEEE 802.16 BWA *working group*
2. Parameter yang digunakan adalah frekuensi (f), Jarak base station dengan penerima (d) dan Tinggi base station (h_b) sedangkan parameter lain dianggap tetap
3. Tidak membahas mengenai *management bandwidth operator*

II. DASAR TEORI

2.1 Pengertian WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan standar industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standar teknis yang bersifat global menjadi satu kesatuan. WiMAX dan WiFi dibedakan berdasarkan standar teknik yang bergabung didalamnya. WiFi menggabungkan standar IEEE 802.11 dengan ETSI hiperLAN yang merupakan standar teknis yang cocok untuk keperluan WLAN, sedangkan WiMAX merupakan penggabungan antara standar IEEE 802.16 dengan ETSI HiperMAN. Standar keluaran IEEE banyak digunakan secara luas di Amerika dan sekitarnya, sedangkan standar keluaran ETSI banyak digunakan di Eropa dan sekitarnya. Untuk dapat membuat teknologi ini digunakan secara global, maka diciptakan WiMAX.

Kedua standar yang disatukan ini merupakan standar teknis yang memiliki spesifikasi yang sangat cocok untuk menyediakan koneksi berjenis *broadband* lewat media *wireless* atau *broadband wireless access* (BWA). Standar WiMAX dibentuk oleh gabungan industri perangkat *wireless* dan *chip* komputer di seluruh dunia. Perusahaan besar ini bergabung dalam suatu forum kerja yang merumuskan standar interkoneksi antar teknologi BWA yang mereka miliki pada

* Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

** Dosen Teknik Elektro UNDIP

produk-produknya. Forum kerja tersebut dikenal dengan nama *WiMAX Forum*.

2.2 Perkembangan Standar WiMAX

Grup IEEE 802.16 dibentuk pada tahun 1998 dengan tujuan mengembangkam standar *air-interface* untuk *broadband wireless*. Pada awalnya, grup ini mengembangkan sistem *broadband wireless poin-to-multipoint* dengan sifat koneksi LOS yang beroperasi pada *bandwidth* 10 – 66 GHz. Pada bulan Desember 2001 standar 802.16 pertama terbentuk, standar tersebut menggunakan *single-carrier* dan TDM (*Time Division Multiplexing*).

Grup IEEE 802.16 kemudian membentuk standar 802.16a yang merupakan amandemen dari standar sebelumnya. Standar ini menggunakan teknologi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), bekerja pada *bandwidth* 2 – 11 GHz, dan mendukung aplikasi NLOS.

Standar 802.16 terus berkembang sampai akhirnya terbentuk standar IEEE 802.16d atau 802.16-2004 yang menggantikan standar-standar sebelumnya. Standar ini merupakan standar dari WiMAX yang kita kenal sekarang. Standar ini ditujukan untuk aplikasi *fixed* dan *nomadic*.

Pada bulan Desember 2005, IEEE mengeluarkan standar IEEE 802.16e atau kita kenal dengan *mobile WiMAX* yang merupakan amandemen standar sebelumnya untuk mendukung aplikasi bergerak. Dua standar terakhir merupakan dua versi utama WiMAX dengan kebutuhan yang berbeda.

2.3 Spektrum Frekuensi

Dari rentang spektrum frekuensi 2-6 GHz yang distandarkan untuk BWA, Forum WiMAX mengembangkan spektrum frekuensi untuk WiMAX seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. Terdapat dua kategori spektrum yang diusulkan yaitu frekuensi berlisensi dan frekuensi bebas lisensi.

Tabel 2.1 Spektrum Frekuensi WiMAX.

Frekuensi	lisensi/ Bebas lisensi	Kondisi eksisting 2005- 2007
2,5 GHz	lisensi	Amerika Utara, Tengah (USA) dan Selatan
3,5 GHz	lisensi	Eropa, Afrika, Timur Tengah, Asia pasifik
5,8 GHz	Bebas lisensi	Global

Tiap negara memiliki regulasi yang berbeda-beda dalam penentuan alokasi frekuensi WiMAX. Yang harus diperhatikan adalah bahwa setiap bidang memberikan keuntungan yang berbeda untuk model penggunaan yang berbeda. Masing-masing bidang melayani kebutuhan pasar yang berbeda berdasarkan atas pilihan antara biaya dan QoS. Solusi berlisensi dan bebas-lisensi menawarkan keuntungan tertentu ke penyedia. Ketersediaan keduanya memungkinkan penyedia pasar yang berkembang memenuhi berbagai kebutuhan penggunaan.

2.3.1. Frekuensi Berlisensi

Frekuensi berlisensi yang dikembangkan untuk WiMAX pada tahap awal berada pada 2,5 GHz dan 3,5 GHz. Di Amerika Serikat FCC telah mendirikan BRS (*Broadband Radio Service*) untuk akses bidang lebar nirkabel. Di Eropa ETSI telah mencadangkan bidang 3,5 GHz yang semula digunakan untuk WLL (*Wireless Local Loop*) untuk solusi

berlisensi WiMAX. Sedangkan frekuensi 3,5 GHz pada beberapa negara masih berstatus sekunder karena bentrok dengan spektrum frekuensi untuk komunikasi satelit *Extended C-band* (3,400 – 3,700 GHz).

Untuk menggelar solusi berlisensi, operator atau penyedia layanan harus membeli spektrum. Di beberapa negara perizinan untuk memperoleh hak lisensi bisa memakan waktu beberapa bulan dan prosesnya cukup rumit.

1. Keuntungan Frekuensi Berlisensi pada Sistem WiMAX

Keuntungan frekuensi berlisensi adalah anggaran daya *downlink* lebih besar sehingga penggunaan antena *indoor* lebih baik. Keuntungan yang lain adalah bahwa dengan menggunakan frekuensi yang rendah memungkinkan penetrasi NLOS dan RF yang lebih baik.

Hak eksklusif yang dimiliki oleh operator atau penyedia layanan memungkinkan solusi yang lebih terprediksi dan stabil untuk penggelaran metropolitan dan penggunaan bergerak. Hal ini juga dapat meningkatkan kualitas pelayanan (QoS) dan pengurangan interferensi.

2 Aplikasi Frekuensi Berlisensi pada Sistem WiMAX

Karena sistem WiMAX dengan menggunakan frekuensi berlisensi menawarkan pengaturan yang lebih baik untuk area yang luas, skalabilitas, QoS dan fleksibilitas yang tinggi, maka aplikasi yang cocok adalah sebagai berikut:

- Aplikasi *Point-to-Multipoint* dengan cakupan yang luas
- Layanan bergerak bidang-lebar dimanapun.
- Daerah perkotaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi, penggunaan internet yang besar, dan mobilitas user cukup tinggi.

2.3.2 Frekuensi Bebas-Lisensi

Saat ini bidang bebas-lisensi yang tersedia di seluruh dunia di sekitar 2,4 GHz. Bidang ini sering disebut ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), karena pada awalnya diperuntukan untuk emisi radio dari berbagai peralatan.

Bidang bebas-lisensi yang lain adalah antara 5 GHz dan 6 GHz. Sebagian besar negara telah merangkul spektrum 5 GHz untuk komunikasi bebas-lisensi. Bidang 5,15 GHz dan 5,85 GHz telah dirancang sebagai bebas-lisensi di sebagian besar negara.

1. Keuntungan Frekuensi Bebas-Lisensi Sistem WiMAX

Keuntungan frekuensi bebas-lisensi adalah biaya awal yang rendah, pemasaran cepat dan bidang bersama yang dapat digunakan di seluruh dunia. Keuntungan ini mendorong minat penyedia layanan atau operator di negara berkembang untuk mengadopsi bidang lebar. Karena dengan menggunakan frekuensi bebas-lisensi ini maka dapat mempercepat pemasaran dan mengurangi biaya awal.

Beberapa penyedia layanan atau operator dapat menggunakan frekuensi bebas-lisensi untuk menyediakan akses *lastmile* untuk perumahan, bisnis, backhaul, atau cadangan jaringan bagi jaringan kabelnya atau jaringan nirkabel yang berlisensi.

2. Aplikasi Frekuensi Bebas-Lisensi pada Sistem WiMAX

Frekuensi bebas-lisensi berfokus pada daerah rural, daerah sub-urban, pasar yang sedang berkembang, kampus, dan sebagainya. Aplikasi yang cocok untuk frekuensi bebas-lisensi ini adalah sebagai berikut:

- a. Aplikasi *Point-to-Point* jarak jauh di lingkungan berpenduduk jarang.
- b. Aplikasi *Point-to-Multipoint* di daerah suburban dan rural
- c. Daerah dengan derau yang kecil atau interferensi yang dapat dikendalikan, seperti kampus dan galangan kapal.

2.4 Model Kanal Propagasi

Karakteristik kanal dapat diestimasi dengan berbagai cara dan metode. Model kanal propagasi adalah model estimasi karakteristik kanal. Model kanal propagasi sangat berperan penting dalam perencanaan jaringan *wireless*, terutama untuk penentuan *coverage base station* dan penentuan persyaratan RF bagi perangkat *base station* maupun perangkat *subscriber station*.

2.4.1 Tipe Propagasi

Tipe propagasi WiMAX sendiri ada dua jenis, yaitu :

1. LOS (*Line of Sight*)

Koneksi dilakukan dengan menghadapkan langsung sebuah antena *fixed* yang dipasang di atap atau di tiang ke sebuah BS WiMAX. Tipe koneksi ini biasanya lebih stabil dan dapat mengirimkan data yang cukup banyak dengan sedikit kesalahan. Koneksi jenis ini menggunakan pita frekuensi yang cukup tinggi hingga mencapai 66 GHz dan memiliki interferensi yang sedikit serta *bandwidth* yang besar.

Redaman ruang bebas atau *free space loss* merupakan penurunan daya gelombang radio selama merambat di ruang bebas. Besarnya redaman ruang bebas adalah berdasarkan persamaan

$$L_p = 32,5 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2-1)$$

2. NLOS (*Non Line of Sight*)

Pada tipe propagasi ini terdapat penghalang yang berada pada lintasan sinyal antara penerima dan pemancar yang sifatnya menghalangi lintasan sinyal bebas pandang. Penghalang dapat bersifat muatan seperti gedung-gedung bertingkat atau bersifat alami seperti pepohonan, perbukitan, dan pegunungan.

Koneksi dilakukan tanpa menghadapkan langsung antena dari perangkat pengguna ke BS yang ada. Dalam hal transmisi, servis ini menggunakan pita frekuensi rendah yaitu 2-11 GHz. Panjang gelombang yang tinggi tidak mudah dikacaukan oleh penghalang-penghalang di lapangan. Pada jalur NLOS, sebuah sinyal mencapai penerima melalui pantulan (*reflection*), hamburan (*scattering*), dan difraksi (*difraction*). Sinyal yang sampai pada penerima terdiri dari sinyal yang langsung (*direct path*), sinyal yang mengalami banyak pantulan (*multiple reflected paths*), sinyal hamburan (*scattered energy*), dan propagasi sinyal yang mengalami difraksi (*diffracted propagation paths*). Sinyal-sinyal ini akan mengalami perbedaan penyebaran *delay*, redaman, polarisasi, dan kestabilan berhubungan dengan *direct path*. Fenomena *multipath* dapat menyebabkan polarisasi dari sinyal berubah. *Multipath* digambarkan sebagai penerimaan di penerima dari banyak jalur transmisi (*multiple path*).

Teknologi WiMAX mengadopsi teknik-teknik mutakhir berikut untuk mengatasi kanal NLOS yaitu teknologi OFDM, subkanalisasi, antena berarah sektoral, diversitas pengirim dan penerima, modulasi adaptif, teknik kendali kesalahan, dan kendali daya. Implementasi NLOS

pada WiMAX memungkinkan peningkatan diversifikasi layanan dan segmen pengguna layanan *broadband*. Model kanal NLOS ditunjukkan pada Gambar 2.14

2.4.2 Model Propagasi SUI (*Stanford University Intern*)

Stanford University Intern (SUI) model adalah model propagasi yang direkomendasikan untuk standar IEEE 802.16a, model ini juga cocok diterapkan di Indonesia yang mempunyai tipe demografi *urban* dan *sub urban*.

Model ini dikenalkan oleh AT&T *wireless service*. Model *path loss* ini diperoleh dari data hasil percobaan di Amerika Serikat dengan mengambil sampling pada 95 makrosel dan menggunakan frekuensi kerja 1,9 GHz. Model *path loss* ini digunakan untuk daerah *urban* dan *suburban*, dengan tinggi *base station* antara 10 - 80 m dan jarak sel 0,1 - 10 km.

Model ini dibagi menjadi tiga kategori:

1. Kategori A—*Hilly/moderate-to-heavy tree density (urban)*
Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terbesar yaitu perbukitan dengan densitas pepohonan tinggi.
2. Kategori B—*Hilly/light tree density or flat/moderate-to-heavy tree density/intermediate (sub urban)*
Tipe ini merupakan asosiasi *pathloss* pertengahan yaitu dengan *terrain* dan densitas pepohonan antara A dan C.
3. Kategori C—*Flat/light tree density (rural)*
Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terkecil yaitu *terrain* rata dengan dengan pepohonan jarang.

Persamaan model SUI adalah :

$$P_L = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_{h_{CPE}} + s \quad (2-2)$$

dimana nilai :

A = *Free space loss* di d_0

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot d_0}{\lambda} \right) \quad (2-3)$$

λ = panjang gelombang

d_0 = 100 m (jarak referensi)

γ = *path loss exponent*

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right) \quad (2-4)$$

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

h_b = tinggi *base station*

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

X_f = Faktor koreksi frekuensi

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right) \quad (f \text{ dalam MHz}) \quad (2-5)$$

$X_{h_{CPE}}$ = Faktor koreksi tinggi antena penerima

$$X_{h_{CPE}} = -10,8 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right) \quad \text{terrain a dan b} \quad (2-6)$$

$$X_{h_{CPE}} = -20 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right) \quad \text{terrain c} \quad (2-7)$$

di mana h_{CPE} = tinggi antena penerima

s = peubah acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing* oleh pohon atau bangunan yang harganya antara 8,2 dB-10,6 dB tergantung tipe *terrain*.

Nilai a, b, c adalah daerah yang akan dilayani berdasarkan tipe pepohonan/bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dapat dilihat dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Parameter Terrain.

Model Parameter	Tipe A (Heavy Multipath)	Tipe B (Intermediate Multipath)	Tipe C (few multipath)
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Analisa Kebutuhan Sistem

Instrumen utama yang dibutuhkan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah persamaan model SUI (Stanford University Interim) yang tercantum pada persamaan (2-2). Persamaan ini membutuhkan beberapa parameter yang dapat divariasikan yaitu besar frekuensi yang digunakan (f), jarak antara base station dengan terminal yang digunakan (d), serta tinggi dari base station itu sendiri (h_b).

3.2 Pengolahan Persamaan

Persamaan empirik model SUI ini disimulasikan secara manual dengan menggunakan program Microsoft Excel XP dengan variasi yang digunakan adalah

- Frekuensi (f). Frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada range 3,0 GHz sampai kepada 4,0 GHz.
- Jarak (d). Jarak antara base station dengan terminal yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada range 0 m sampai kepada 2000 m.
- Tinggi (h_b). Tinggi dari base station yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada range 10 m sampai kepada 80 m.

Selain tiga parameter ini, pada penelitian ini juga divariasikan perhitungan pathloss pada tiga kondisi terrain yang berbeda-beda, yaitu pada Tipe Terrain A (urban), Tipe Terrain B (sub urban) dan Tipe Terrain C (rural).

Selama perhitungan, pada saat satu variasi parameter yang digunakan, maka parameter yang lain berlaku konstan.

3.3 Penganalisaan Hasil

Setelah semua data dimasukkan ke dalam persamaan, maka hasil data tersebut ditampilkan, baik dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk grafik. Grafik yang ditampilkan merupakan perbandingan antara Frekuensi dan Pathloss, Jarak dan Pathloss serta Tinggi dan Pathloss. Pada akhir masing-masing sub bab akan dibandingkan pathloss dari variasi parameter tersebut pada Terrain A, B dan C sehingga dapat dianalisa dan dibandingkan hasil pathloss pada ketiga tipe terrain tersebut. Untuk menentukan kinerja model propagasi SUI ini, digunakan nilai pathloss dalam dB.

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Setelah data tersebut ditampilkan dan dapat dibandingkan dalam bentuk tabel dan grafik pada beberapa variasi parameter tersebut, maka dapat ditarik suatu kesimpulan yang dapat mendukung teori yang ada. Kesimpulan ini pun harapannya dapat mengetahui kinerja yang terbaik dari pemodelan kanal SUI yang dilakukan.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan perhitungan dan analisa dari model kanal SUI. Pemodelan dilakukan untuk mempelajari kanal SUI dan mengetahui kinerjanya, melalui variasi parameter yang ada. Untuk menentukan kinerja model propagasi SUI digunakan nilai pathloss dalam dB.

4.1 Perhitungan Pathloss dengan Variasi Parameter Frekuensi.

Pada sub bab ini, perhitungan Pathloss dilakukan dengan memvariasikan Frekuensi, sedangkan parameter yang lain konstan. Frekuensi yang digunakan menggunakan range 3 GHz sampai dengan 4 GHz. Untuk parameter jarak antara Base Station dengan terminal ditetapkan 500 m, sedangkan untuk parameter tinggi Base Station ditetapkan 60 m

Persamaan umum model empirik SUI:

$$P_L = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_{h_{CPE}} + s$$

- Untuk mencari A (free space lost) digunakan persamaan:

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot d_0}{\lambda} \right)$$

karena $\lambda = \frac{c}{f} \rightarrow c = \text{tetapan kecepatan cahaya} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \times 3,14 \times 100}{0,1} \right) = 81,9798 \text{ dB}$$

- Mencari γ (path loss exponent) digunakan persamaan:

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right) = 4,6 - 0,0075 \times 60 + \left(\frac{12,6}{60} \right) = 4,36$$

- mencari X_f digunakan persamaan:

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right) = 6 \log \left(\frac{3000}{1900} \right) = 1,19021 \text{ dB}$$

- mencari $X_{h_{CPE}}$ digunakan persamaan:

$$X_{h_{CPE}} = -10,8 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right) = -10,8 \log \left(\frac{4}{2} \right) = -3,25112 \text{ dB}$$

Melalui Persamaan (2-2) maka akan diperoleh hasil perhitungan pathloss pada terrain tipe A, B dan C seperti yang terdapat pada Tabel 4.3

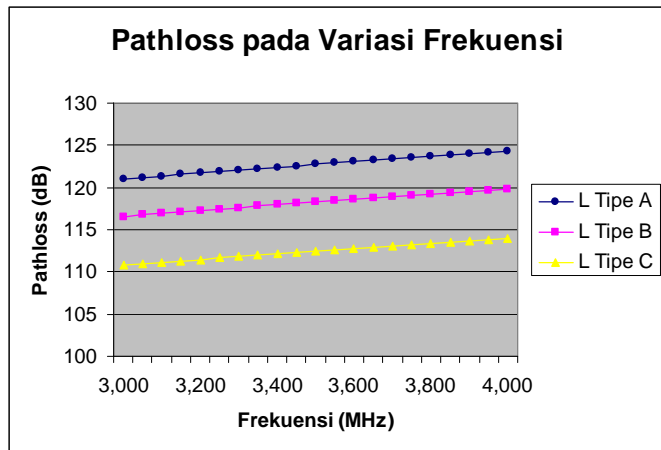
Tabel 4.1 Perhitungan pathloss pada variasi frekuensi

No	f (MHz)	S _A (dB)	L _A (dB)	S _B (dB)	L _B (dB)	S _C (dB)	L _C (dB)
1	3,000	10.6	120.99	9.4	116.54	8.2	113.51
2	3,050	10.6	121.18	9.4	116.73	8.2	113.71
3	3,100	10.6	121.36	9.4	116.91	8.2	113.88
4	3,150	10.6	121.54	9.4	117.09	8.2	114.06
5	3,200	10.6	121.72	9.4	117.27	8.2	114.24
6	3,250	10.6	121.89	9.4	117.45	8.2	114.42
7	3,300	10.6	122.07	9.4	117.62	8.2	114.59
8	3,350	10.6	122.24	9.4	117.79	8.2	114.76
9	3,400	10.6	122.41	9.4	117.96	8.2	114.93
10	3,450	10.6	122.57	9.4	118.12	8.2	115.09
11	3,500	10.6	122.73	9.4	118.28	8.2	115.25
12	3,550	10.6	122.89	9.4	118.44	8.2	115.41
13	3,600	10.6	123.05	9.4	118.61	8.2	115.57
14	3,650	10.6	123.21	9.4	118.76	8.2	115.72

15	3,700	10.6	123.36	9.4	118.91	8.2	115.88
16	3,750	10.6	123.51	9.4	119.06	8.2	116.03
17	3,800	10.6	123.66	9.4	119.21	8.2	116.18
18	3,850	10.6	123.81	9.4	119.36	8.2	116.33
19	3,900	10.6	123.96	9.4	119.51	8.2	116.47
20	3,950	10.6	124.11	9.4	119.65	8.2	116.62
21	4,000	10.6	124.24	9.4	119.79	8.2	116.76

5	400	10.6	118.51	9.4	114.51	8.2	111.74
6	500	10.6	122.73	9.4	118.28	8.2	115.26
7	600	10.6	126.18	9.4	121.39	8.2	118.13
8	700	10.6	129.11	9.4	123.97	8.2	120.56
9	800	10.6	131.63	9.4	126.23	8.2	122.67
10	900	10.6	133.86	9.4	128.23	8.2	124.53
11	1000	10.6	135.86	9.4	130.01	8.2	126.19
12	1100	10.6	137.66	9.4	131.62	8.2	127.69
13	1200	10.6	139.31	9.4	133.09	8.2	129.07
14	1300	10.6	140.83	9.4	134.45	8.2	130.33
15	1400	10.6	142.23	9.4	135.71	8.2	131.51
16	1500	10.6	143.54	9.4	136.87	8.2	132.59
17	1600	10.6	144.76	9.4	137.96	8.2	133.61
18	1700	10.6	145.91	9.4	138.98	8.2	134.56
19	1800	10.6	146.98	9.4	139.95	8.2	135.47
20	1900	10.6	148.01	9.4	140.86	8.2	136.32
21	2000	10.6	148.98	9.4	141.73	8.2	137.13

Jika hasil perhitungan *Pathloss* pada ketiga tipe *Terrain* tersebut di plot, maka akan didapatkan grafik seperti pada gambar 4.4



Gambar 4.1 Grafik *Pathloss* vs Frekuensi dengan perbandingan *Terrain* tipe A, B dan C

Dari grafik pada Gambar 4.4 terlihat bahwa Frekuensi dan *Pathloss* berbanding lurus secara linier. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, maka *Pathloss* juga semakin besar. Hal ini mengakibatkan kinerjanya akan menurun.

Sehingga, dari hasil perbandingan Frekuensi dan *Pathloss* antara *Terrain* tipe A, tipe B, dan tipe C, maka dapat disimpulkan jika *Pathloss* untuk *Terrain* tipe A lebih besar daripada *Pathloss* untuk tipe B, dan *Pathloss* untuk *Terrain* tipe B lebih besar daripada *Pathloss* untuk tipe C. Sehingga kinerja model propagasi SUI yang terbaik berada pada *terrain* tipe C dibanding pada tipe B dan tipe A.

4.2 Perhitungan *Pathloss* dengan Variasi Parameter Jarak BS-Terminal

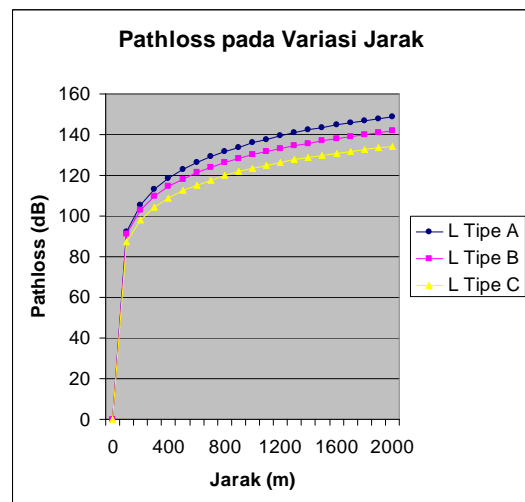
Pada sub bab ini, Perhitungan *Pathloss* dilakukan dengan memvariasikan jarak antara BS (*Base Station*) dengan terminal yang digunakan, sedangkan parameter yang lain konstan. Jarak yang digunakan antara *Base Station* dengan terminal adalah antara 0 m hingga 2000 m. Untuk parameter frekuensi ditetapkan sebesar 3,5 GHz, sedangkan untuk parameter tinggi *Base Station* ditetapkan 60 m.

Melalui Persamaan (2-2) maka akan diperoleh hasil perhitungan *pathloss* pada *terrain* tipe A, B dan C seperti yang terdapat pada Tabel 4.6

Tabel 4.2 Perhitungan *pathloss* pada variasi jarak BS-CPE

No	d (m)	s _A (dB)	L _A (dB)	s _B (dB)	L _B (dB)	s _C (dB)	L _C (dB)
1	0	10.6	-	9.4	-	8.2	-
2	100	10.6	92.26	9.4	91.06	8.2	89.86
3	200	10.6	105.38	9.4	102.78	8.2	100.79
4	300	10.6	113.06	9.4	109.64	8.2	107.19

Jika hasil perhitungan *Pathloss* pada ketiga tipe *Terrain* tersebut di plot, maka akan didapatkan grafik seperti pada gambar 4.8



Gambar 4.2 Grafik *Pathloss* vs Jarak BS-CPE dengan perbandingan *Terrain* tipe A, B dan C

Dari grafik pada Gambar 4.8 dapat terlihat bahwa Jarak BS-CPE dan *Pathloss* berbanding lurus secara eksponensial. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin besar jarak antara BS dengan CPE maka *Pathloss* juga semakin besar. Hal ini mengakibatkan kinerjanya akan menurun.

Sehingga, dari hasil perbandingan Jarak BS-CPE dan *Pathloss* antara *Terrain* tipe A, tipe B, dan tipe C, maka dapat disimpulkan jika *Pathloss* untuk *Terrain* tipe A lebih besar daripada *Pathloss* untuk tipe B, dan *Pathloss* untuk *Terrain* tipe B lebih besar daripada *Pathloss* untuk tipe C. Sehingga kinerja model propagasi SUI yang terbaik berada pada *terrain* tipe C dibanding pada tipe B dan tipe A.

4.3 Perhitungan *Pathloss* dengan Variasi Parameter Tinggi BS

Pada sub bab ini, Perhitungan *Pathloss* dilakukan dengan memvariasikan tinggi *Base Station*, sedangkan parameter yang lain konstan. Tinggi *Base Station* adalah antara antara 10 meter sampai 80 meter. Untuk parameter

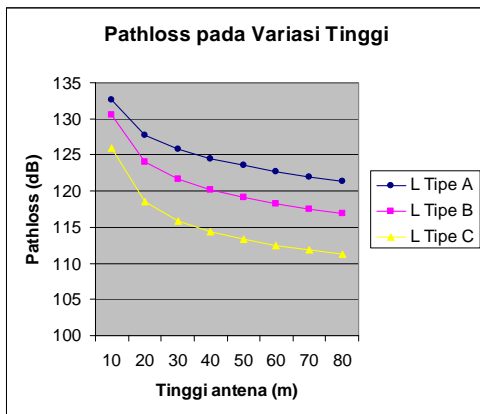
frekuensi ditetapkan sebesar 3,5 GHz, sedangkan untuk parameter jarak antara BTS dengan terminal yang digunakan, ditetapkan sebesar 500 meter.

Melalui Persamaan (2-3) maka akan diperoleh hasil perhitungan *pathloss* pada *terrain* tipe A, B dan C seperti yang terdapat pada Tabel 4.6

Tabel 4.3 Perhitungan *pathloss* pada variasi tinggi BS

No	h_b (m)	s_A (dB)	L_A (dB)	s_B (dB)	L_B (dB)	s_C (dB)	L_C (dB)
1	10	10.6	132.69	9.4	130.52	9.4	130.52
2	20	10.6	127.76	9.4	124.08	9.4	124.08
3	30	10.6	125.77	9.4	121.64	9.4	121.64
4	40	10.6	124.52	9.4	120.19	9.4	120.19
5	50	10.6	123.55	9.4	119.14	9.4	119.14
6	60	10.6	122.73	9.4	118.28	9.4	118.28
7	70	10.6	122.01	9.4	117.54	9.4	117.54
8	80	10.6	121.32	9.4	116.87	9.4	116.87

Jika hasil perhitungan *Pathloss* pada ketiga tipe *Terrain* tersebut di plot, maka akan didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.12



Gambar 4.3 Grafik *Pathloss* vs Tinggi BS dengan perbandingan *Terrain* tipe A, B dan C

Dari grafik pada Gambar 4.12 dapat terlihat bahwa tinggi *Base Station* dan *Pathloss* berbanding terbalik secara eksponensial. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin tinggi *Base Station* yang digunakan maka *Pathloss* akan semakin kecil. Hal ini mengakibatkan kinerjanya akan meningkat.

Sehingga, dari hasil perbandingan Tinggi BS dan *Pathloss* antara *Terrain* tipe A, tipe B, dan tipe C, maka dapat disimpulkan jika *Pathloss* untuk *Terrain* tipe A lebih besar daripada *Pathloss* untuk tipe B, dan *Pathloss* untuk *Terrain* tipe B lebih besar daripada *Pathloss* untuk tipe C. Sehingga kinerja model propagasi SUI yang terbaik berada pada *terrain* tipe C dibanding pada tipe B dan tipe A.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada perhitungan *pathloss* dengan variasi frekuensi, dihasilkan perbandingan antara *pathloss* dan frekuensi sebagai kurva linear. Sehingga semakin besar frekuensi yang digunakan menghasilkan *pathloss* yang semakin besar pula. Hal ini mengakibatkan kinerja model propagasi SUI akan menurun.
2. Pada perhitungan *pathloss* dengan variasi jarak antar BS dengan terminal, dihasilkan perbandingan *pathloss*

dengan jarak BS-CPE berupa kurva yang berbanding lurus secara logaritmik. Sehingga semakin besar jarak antara *base station* dengan terminal menghasilkan *pathloss* yang semakin besar pula. Hal ini mengakibatkan kinerja model propagasi SUI akan menurun.

3. Pada perhitungan *pathloss* dengan variasi tinggi *base station*, dihasilkan perbandingan *pathloss* dengan tinggi *base station* berupa kurva yang berbanding terbalik secara eksponensial. Sehingga semakin tinggi *base station* yang digunakan menghasilkan *pathloss* yang semakin kecil. Hal ini mengakibatkan kinerja model propagasi SUI akan meningkat.
4. Pada perhitungan *pathloss* antara *terrain* tipe A, tipe B dan tipe C, didapatkan nilai *pathloss* yang terbesar berada pada kondisi *terrain* tipe A. dan nilai *pathloss* yang terkecil berada pada kondisi *terrain* tipe C. Hal ini membuktikan dari teori yang ada.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pemodelan kanal pada WiMAX dengan model propagasi yang lain seperti ECC-33 dan COST Hatta.
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan tentang pemodelan kanal pada komunikasi bergerak WiMAX, yang mempertimbangkan parameter kecepatan pergerakan terminal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Crozier, E. and A. Klein, "WiMAX Technology LOS and NLOS Environment", SR Telecom Inc, 2004.
- [2] Hantoro, G.D., *Teknologi Wireless LAN dan Aplikasinya*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2005.
- [3] Erceg, V., K. Hari, and M. Smith, "Channel Model For Fixed Wireless Applications", IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, 2001.
- [4] Freeman, R., *Telecommunication Transmission Handbook*, John Wiley, New York, 1998.
- [5] Ramachandran, S., *Link Adaptation Algorithm and Metric for IEEE Standard 802.16*, Thesis of Electrical Engineering, Virginia Polytechnic and State University", 2004.
- [6] Sunomo, *Sistem Komunikasi Nirkabel*, Grasindo, Jakarta, 2004.
- [7] Suryana, J., "Sistem Mikrowave Terrestrial LOS", Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB, Bandung, 2005.
- [8] Wibisono, G., G.D. Hantoro, *WiMAX Teknologi Broadband Wireless Access Kini dan Masa Depan*, Informatika, Bandung, 2006.
- [9] Wibisono, G., G.D. Hantoro, *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*, Informatika, Bandung, 2006.
- [10] Wibisono, G., G.D. Hantoro, *Mobile Broadband-Tren Teknologi Wireless Saat ini dan Masa Datang*, Informatika, Bandung, 2006.
- [13] Permana, A.A., *Analisis Modulasi Adaptif pada Jaringan Akses Nirkabel Pita Lebar WiMAX Standard IEEE 802.16d (Studi Kasus di Base Station BRI II Sudirman Jakarta)*, UNDIP, 2007.
- [14] Arif, R., *Analisis Throughput Pada Teknologi WiMAX Standar IEEE 802.16d di Base Station 1273 Kuningan Jakarta*, UNDIP, 2007
- [15] Waskita, H., *Pemodelan Kanal Mobile WiMAX dengan Menggunakan Model Kanal SUI*, ITB, 2007



Catur Pramono (L2F001585)
dilahirkan di Jakarta, 21 Januari 1983.
Menempuh pendidikan di SDN 09 Jakarta
lulus tahun 1995, kemudian melanjutkan
ke SLTPN 139 Jakarta lulus tahun 1998,
dilanjutkan lagi di SMUN 91 Jakarta lulus
2001, dan sampai saat ini masih
menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik
Elektro Fakultas Teknik Universitas

Diponegoro Semarang Konsentrasi Elektronika
Telekomunikasi.

Menyetujui dan Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Imam Santoso, S.T., M.T.

NIP. 132 162 546

Tanggal

R. Rizal Isnanto, S.T.,M.M.,M.T.

NIP. 132 288 515

Tanggal