

ELKOMIKA

Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi
& Teknik Elektronika

Perancangan dan Implementasi *Duplexer* Mikrostrip untuk Frekuensi LTE pada *Band* ke-7

Enceng Sulaeman, Arsyad Ramadhan Darlis, R. Harianti Asri Dewi

Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik

Waluyo, Aditya Fitriansyah, Syahrial

Perancangan dan Implementasi Sistem *Remote Tilting Antenna* untuk Aplikasi *Base Station*

Arsyad Ramadhan Darlis

Simulasi Perancangan Filter Analog dengan Respon Chebyshev

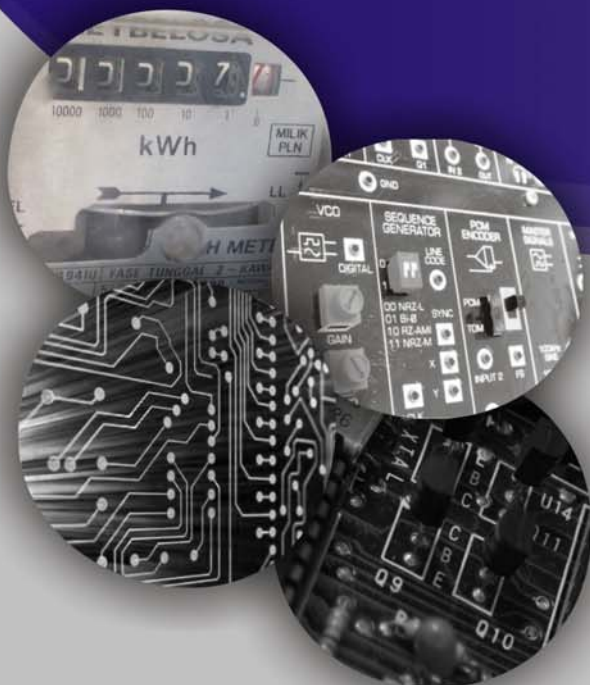
Rustamaji, Arsyad Ramadhan Darlis, Solihin

Implementasi Sistem IP PBX menggunakan Briker

Dwi Aryanta, Arsyad Ramadhan Darlis, Ardhiansyah Pratama

Analisis Kinerja Subscriber Station WiMax di Urban Area Bandung

Dwi Aryanta



Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Nasional
Bandung





9 772338 832004



Analisis Kinerja *Subscriber Station* WiMAX di Urban Area Bandung

DWI ARYANTA

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
dwiaryanta@gmail.com

ABSTRAK

Teknologi komunikasi wireless semakin pesat mengalami perkembangan. WiMAX merupakan suatu teknologi broadband yang didukung oleh standar IEEE 802.16d (802.16-2004) yang mampu memberikan layanan data berkecepatan tinggi hingga 75 Mbps dalam radius maksimal 40-50 km pada bandwidth 20 MHz. Alokasi frekuensi yang dipakai Indonesia untuk jaringan WiMAX ini ialah 3,3 – 3,4 GHz. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan proses pengukuran kinerja perangkat radio WiMAX yaitu HiMax 331-SS. Proses pengukuran dilakukan antara CPE dan base station dengan antenna sektoral 120° pada ketinggian 45 m. Lokasi pengukuran dilakukan di beberapa area kota Bandung yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pengukuran memperlihatkan nilai CINR tertinggi adalah 31 dB dengan modulasi 64 QAM – 3/4 dan terendah nilai 10 dB dengan modulasi BPSK 1/2. Nilai RSSI tertinggi -54 dBm berada dan nilai RSSI terendah -89 dBm. Nilai throughput tertinggi untuk layanan streaming video sebesar 1000,8 kbps (downlink) dengan modulasi 64 QAM – 3/4. Nilai delay terendah sebesar 56,247 ms pada kondisi LOS dan tertinggi sebesar 139,5 ms pada kondisi NLOS. Nilai terbesar packet loss sebesar 20% yaitu pada lokasi pengukuran terjauh 14,3 km.

Kata Kunci : *delay, packet loss, RSSI, CINR, throughput, CPE, WiMAX .*

ABSTRACT

Wireless communication technologies have evolved more rapidly. WiMAX is a broadband technology that is supported by the IEEE standard 802.16-2004/d which is able to provide high speed data services of up to 75 Mbps within a radius of 40-50 km at a maximum bandwidth of 20 MHz. Indonesia frequency allocation used for the WiMAX network is 3.3 to 3.4 GHz. This study was conducted with the performance measurement process that is Himax 331 WiMAX radio - SS. Process measurement is made between the CPE and base station sector antennas at a height of 45 m in 1200. Locations measurements performed in several areas of Bandung predetermined. The measurement results show the highest CINR value is 31 dB with 64 QAM modulation - 3/4 and the lowest value of 10 dB with BPSK modulation half. The highest RSSI value of -54 dBm being the lowest and -89 dBm RSSI value. The highest throughput for streaming video services by 1000.8 kbps (downlink) with 64 QAM modulation - 3/4. The lowest value was 56.247 ms delay in LOS conditions and the highest was 139.5 ms in NLOS conditions. The greatest value by 20 % packet loss is the farthest measurement locations 14.3 km.

Keywords : *delay, packet loss, RSSI, CINR, throughput, CPE, WiMAX .*

1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan layanan informasi komunikasi membuat informasi semakin mudah didapat. Layanan informasi yang pada awalnya hanya berupa suara melalui perantara kabel atau yang dikenal dengan PSTN, sekarang telah berkembang pesat untuk dapat memenuhi kebutuhan informasi berupa suara, video, dan data secara bersamaan. Pada layanan informasi data (multimedia) dan video, kecepatan dan kestabilan dalam pengiriman data maupun video merupakan parameter penting bagi pengguna. Seperti layaknya komunikasi video yang membutuhkan *bandwidth* yang besar karena melibatkan transmisi suara dan data secara *real time*. Sehingga diperlukan teknologi yang dapat mentransmisikan data, suara, maupun video dengan kecepatan yang tinggi dan tetap stabil. Teknologi yang digunakan dulu masih berupa tradisional *broadband* yang dilewatkan melalui saluran telepon dan kabel yang perkembangannya lambat karena masalah pemasangan, pengembangan, dan pembangunan infrastruktur yang mahal dan terbatas.

Hadirnya teknologi dengan standar *IEEE 802.16d* menjadikan koneksi nirkabel kecepatan tinggi dengan biaya yang efektif ke pengguna rumahan dan bisnis, baik yang berada di perkotaan maupun daerah. *IEEE 802.16d* merupakan standar teknologi wireless pita lebar yang disediakan untuk pelanggan yang tidak bergerak atau *fixed wireless* akses dan pelanggan bergerak dengan mobilitas yang terbatas atau *limited mobility*. Menggunakan frekuensi yang cukup tinggi (2-11 GHz) serta *bandwidth* kanal yang cukup lebar dan dapat diatur sesuai kebutuhan, dimana WiMAX mampu memberikan data rate dan *throughput* yang tinggi (Milanovic, 2007). Teknologi ini dapat mendukung berbagai bentuk layanan data berbasis paket, multimedia, dan internet seperti : transfer data kecepatan tinggi, *video streaming*, VoIP telephony, tayangan diam maupun gerak, *e-mail*, *Web browsing*, dan *e-commerce*.

WiMAX merupakan nama industri untuk kelompok standar IEEE 802.16 dan dipromosikan oleh organisasi non-profit WiMAX Forum. IEEE 802.16 merupakan teknologi yang membahas *air interface* untuk *broadband wireless access system* pada wilayah *metropolitan area network* (MAN). WiMAX dan WiFi (*Wireless Fidelity*) dibedakan berdasarkan standar teknik yang bergabung di dalamnya. WiFi menggabungkan IEEE 802.11 dengan ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) HiperLAN (*Hiper Local Area Network*) yang merupakan standar teknis yang cocok untuk keperluan WLAN. Sedangkan WiMAX merupakan penggabungan antara standar IEEE 802.16 dengan ETSI HiperMAN (*Hiper Metropolitan Area Network*).

Terdapat sejumlah varian IEEE 802.16 yang dimaksudkan untuk mengembangkan kinerja dan kemampuan dari teknologi yang digunakannya, agar menjadi lebih handal dan dapat meluas penggunaannya. Untuk mengembangkan jangkauan dan daya jualnya, maka standar IEEE 802.16 direvisi menjadi IEEE 802.16a. Standar teknis IEEE 802.16a inilah yang banyak digunakan oleh perangkat-perangkat dengan sertifikasi WiMAX. Perubahan yang cukup signifikan pada standar IEEE 802.16 untuk membentuk varian IEEE 802.16a, adalah lebar frekuensi operasinya. Perbedaan ini dimaksudkan untuk mendukung komunikasi dalam kondisi *line of sight* (LOS), dan *non line of sight* (NLOS) (Shabbir, 2011). Dengan adanya sistem

NLOS, keterbatasan yang ada pada WiFi dapat dikurangi. Tabel 1 menguraikan sejumlah perbedaan spesifikasi teknis dari varian standar IEEE 802.16 (Shahjahan, 2009).

Tabel 1. Varian-varian standar IEEE 802.16.

	802.16	802.16a/Rev d	802.16e
Completed	December 2001	802.16a: Jan 2003 802.16Revd: June 2004	Est. Mid-2005
Spectrum	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	2 – 6 GHz
Application	Backhaul	Wireless DSL & Backhaul	Mobile Internet
Channel Conditions	Line of Sight Only	Non Line of Sight	Non Line of Sight
Bit Rate	32 – 134 Mbps at 28MHz channelization	Up to 75 Mbps at 20MHz channelization	Up to 15 Mbps at 5MHz channelization
Modulation	QPSK, 16QAM and 64QAM	OFDM 256 sub-carriers QPSK, 16QAM, 64QAM	Scalable OFDMA
Mobility	Fixed	Fixed	Pedestrian Mobility – Regional Roaming
Channel Bandwidths	20, 25 and 28 MHz	Selectable channel bandwidths between 1.5 and 20 MHz	Same as 802.16a with UL sub-channels to conserve power
Typical Cell Radius	1-3 miles	4 to 6 miles; Max range 30 miles based on tower height, antenna gain and power transmit	1-3 miles

Pada sistem komunikasi wireless telah umum dikenal kondisi LOS dan NLOS. Hal ini berkaitan dengan daerah pancar antara BS (*Base Station*) dan SS (*Subscriber Station*) yang lebih dikenal dengan *Fressnel Zone clearance*. Pada kondisi LOS, antara pengirim dan penerima saling lihat secara langsung tanpa ada rintangan (*first Fressnel zone*). Apabila kriteria ini tidak terpenuhi, maka penerimaan sinyal akan menurun secara drastis. Kemampuan NLOS pada WiMAX ditunjang oleh penerapan beberapa inovasi teknologi antara lain:

- modulasi adaptif (*adaptive modulation*) dan teknik *error correction*
- teknologi OFDM dan sub-kanalisisasi (*Sub-Channelization*)
- antena direksional (*directional antenna*)
- diversitas pada *transmitter* dan *receiver*
- pengendalian daya (*power control*)

Modulasi adaptif adalah skema transmisi pada komunikasi digital dimana transmitter mengadaptasi mode transmisi dengan kondisi kanal. Secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas *link*. Apabila kualitas sinyal cukup baik, maka digunakan modulasi yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar. Apabila kualitas *link* menurun, sistem modulasinya bergeser ke derajat yang lebih rendah untuk menjaga kestabilan dan kualitas sambungan (Milanovic, 2007).

OFDM merupakan teknologi yang terbukti dapat digunakan untuk mengatasi berbagai macam

permasalahan propagasi (*multipath*), termasuk kondisi NLOS antara BS dan SS. Dapat juga mengatasi permasalahan *delay spread* dan *Inter Symbol Interference* (ISI). Sinyal OFDM dibentuk oleh beberapa sinyal sempit yang dipancarkan secara paralel untuk setiap informasi yang dikirim (Ghosh, 2005).

Tantangan utama pada performansi jaringan *wireless* adalah penyediaan jaminan QoS (*Quality of Services*) dan dukungan arsitektur yang memberikan dukungan QA (*Quality Assurance*) bagi sistem *wireless* seperti QA pada sistem *wireline*. Namun aspek lain performansi secara umum meliputi:

- Kinerja *hardware* yang meliputi parameter yang berhubungan dengan performansi minimum yang dibutuhkan perangkat transmitter dan receiver (*noise figure*, C/N, dan BER) untuk menghasilkan kinerja sistem dalam rentang frekuensi tertentu.
- Kinerja radio yang berhubungan dengan kemampuan layer fisik dalam menangani berbagai kondisi kanal, dengan kata lain performansi yang berhubungan dengan kondisi lingkungan propagasi.
- Kinerja *layer network* yang berhubungan dengan penyediaan jaminan QoS untuk berbagai jenis layanan, dengan kata lain penyediaan dukungan bagi MAC (*medium access control*) untuk berbagai turunan layanan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Konfigurasi Pengujian WiMAX

Konfigurasi sistem yang digunakan untuk pengujian *link* pada perangkat WiMAX menggunakan *HiMax 331-SS* mengacu pada tingkatan pengujian berikut ini:

1. *Conformance Test*; melakukan penyesuaian antara spesifikasi teknis perangkat dengan kondisi di lapangan.
2. *Performance Test*; pengujian kualitas penerimaan sinyal pada jarak-jarak tertentu, meliputi throughput, stabilitas sistem, dan cakupan area yang mampu dilayani.
3. *Function Test*; uji coba yang dilakukan meliputi fungsi SS dan koneksi ke intranet/internet.

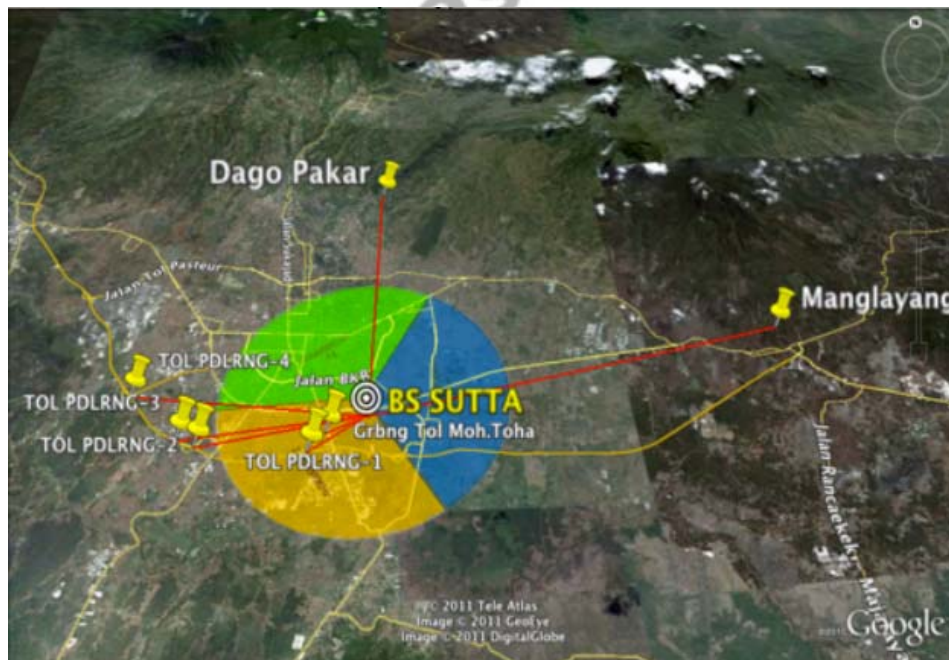
Parameter-parameter yang akan diukur meliputi : *RSSI*, *CINR*, *delay*, *throughput*, *packet loss*, daya pancar dan sistem Modulasi. Secara umum, elemen jaringan yang terdapat pada konfigurasi uji coba tersebut terdiri dari :

- **Internet backbone**
Internet merupakan sekumpulan jaringan yang tersebar di seluruh dunia yang saling terhubung satu sama lain sehingga akan membentuk suatu jaringan komputer yang lebih besar. Backbone yang diuji menggunakan *backbone* dari suatu operator seluler GSM.
- **NMS (*Network Management System*)**
Protokol manajemen yang digunakan berdasarkan protokol SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

- **BS (Base Station)**
Base Station merupakan perangkat *transceiver* yang terhubung dengan internet *backbone*. Antena yang digunakan adalah Himax 331-ANT120 berdimensi (24,8 x 6,3 x 2,3) cm dan berat 2,3 kg, memiliki penguatan 15 - 18 dB, frekuensi 3,3 - 3,4 GHz, *Horizontal Beam Width* 120⁰, dan *Vertical Beam Width* 8⁰.
- **SS (Subscriber Station)**, meliputi :
 1. CPE (*Customer Premises Equipment*)
CPE merupakan perangkat pada sisi pelanggan yang berfungsi untuk melakukan proses *decoding* serta demodulasi pada data-data yang diterima dari *Base Station*, sehingga menjadi suatu informasi yang dapat dibaca oleh pelanggan. CPE dilengkapi dengan *software built in* Himax 331 SS yang dapat dioperasikan dan menampilkan parameter SNR, RSSI, dan jenis modulasi.
 2. PoE Injector/Splitter
CPE mendapat tegangan DC dari PoE melalui kabel RJ-45. Data dan tegangan secara bersamaan dilalui pada 1 kabel RJ 45.

2.2. Kondisi Area Ujicoba

Ujicoba WiMAX dilakukan di beberapa lokasi di kota Bandung, dimana terdapat 7 titik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang dijadikan sebagai titik pengujian. Lokasi uji coba merupakan tempat yang memudahkan untuk pengukuran dengan karakter lingkungan yang bervariasi.



Gambar 1. Tujuh Lokasi Pengujian WiMAX di Bandung

Koordinat untuk ke-7 lokasi di atas dapat dilihat pada Tabel 2, nilai koordinat ini diperoleh dengan pengukuran menggunakan GPS. Dari koordinat tersebut dapat ditentukan jarak udara antara *base station* ke titik pengukuran.

Tabel 2. Posisi koordinat dan Jarak BS – SS

No	Lokasi Titik Pengujian	Lintang	Bujur	Jarak BS-SS (Km)
1	Gerbang Tol M. Toha	6° 57' 22,92" S	107° 36' 39,90" E	1,42
2	Tol Padalarang-1	6° 57' 42,60" S	107° 36' 21,84" E	2,2
3	Tol Padalarang-2	6° 57' 27,00" S	107° 34' 27,12" E	5,42
4	Tol Padalarang-3	6° 57' 17,28" S	107° 34' 8,10" E	5,97
5	Tol Padalarang-4	6° 56' 21,30" S	107° 33' 12,6" E	7,77
6	Dago Pakar	6° 51' 48,20" S	107° 37' 43,80" E	9,73
7	Manglayang	6° 55' 55,50" S	107° 45' 3,40" E	14,29

2.3. Metode Pengukuran

Pada uji coba perangkat WiMAX ini, *base station* berlokasi di Jl. Soekarno Hatta Bandung, sedangkan CPE terdapat pada area *outdoor* di 7 tempat. CPE disini hanya bersifat *fixed node* dan pengukuran dilakukan menggunakan *notebook* yang dihubungkan dengan perangkat CPE. Beberapa informasi yang ditampilkan oleh sistem saat setelah hubungan BS dan SS berhasil dilakukan meliputi frekuensi yang digunakan, lebarnya *bandwidth*, CNIR, RSSI, dan beberapa parameter lainnya seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Connection Status	
Frequency [kHz]	3306000
Bandwidth [kHz]	3500
CINR [dB]	25.00
RSSI [dBm]	-71.00
Connectivity Status	SS_OPERATIONAL
Sector-ID	00:02:73:84:5C:8F
Subchannelization	enabled
STC	disabled

Gambar 2. Parameter Radio Pada Status Sistem

Untuk pengaturan lebih lanjut, khususnya penggunaan kanal, terdapat pilihan pada menu *scanner channel*, dimana kita dapat melihat dan menentukan alokasi frekuensi mana yang disediakan oleh *base station* agar CPE dapat terkoneksi. Informasi lain yang lebih lengkap mengenai sistem antara lain seperti jenis modulasi yang digunakan, dan semua parameter radio pada arah *uplink* dan *downlink* ditunjukkan pada Gambar 3.

FREQUENCY	BAND	STATE	DOWNLINK			UPLINK			PTx
			FEC	RSSI	CINR	FEC	RSSI	CINR	
3306000	3500	OPER	qam64-3/4	-54	31	qam64-3/4	-67	27	14.60
3310000	3500	-NA-	-NA-	-71	21	-NA-	-110	0	0.00
3352000	3500	-NA-	-NA-	-110	0	-NA-	-110	0	0.00

Gambar 3. Parameter Radio Sistem

Untuk dapat melihat parameter komunikasi data seperti *delay* dan *packet loss* dapat dipergunakan dengan perintah "*ping*" pada *command windows*, dimana dilakukan pengiriman paket tiap CPE memiliki 10 paket yang masing-masing berukuran 64 *byte*. *Troughput* dari koneksi diukur menggunakan aplikasi tambahan yaitu Net Monitor.

Alokasi frekuensi kerja yang digunakan perangkat dalam pengukuran WiMAX ini menggunakan 3,3 GHz. Frekuensi yang digunakan pada pengukuran ini merupakan frekuensi dimana alat ini mendapat perizinan dari wilayah pemerintah daerah setempat. Sedangkan apabila mengacu pada tetapan IEEE yang digunakan di wilayah Asia Pasifik yaitu 3,5 GHz.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian di Lapangan

RSSI/RSI (*Received Signal Strength Indicator*) adalah indikator kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima. Besarnya RSSI untuk arah *downlink* menunjukkan berapa besar daya yang diterima di sisi *subscriber system* (SS) dan untuk arah *uplink* menunjukkan berapa besar daya yang diterima di sisi *base station* (BS). Nilai RSSI yang didapat harus lebih besar dari *Receiver Sensitivity* ($RSSI \geq Rx\ sensitivity$), dimana besarnya *Rx sensitivity* sesuai dengan spesifikasi dari perangkat yang digunakan dalam pengukuran yaitu -99 dBm sampai -81 dBm pada *bandwidth* 3,5 MHz. Hasil pengukuran dari seluruh titik lokasi pengujian seperti kualitas *link*, *troughput*, *delay* dan *packet loss* ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kualitas Link

No	Lokasi Titik Pengujian	Frek (MHz)	Downlik			Uplink			P _{Tx} (dBm)
			Modulasi	RSSI (dBm)	CINR (dB)	Modulasi	RSSI (dBm)	CINR (dB)	
1	Gerbang Tol M. Toha	3306	64QAM-3/4	-71	26	64QAM-3/4	-74	23	23,14
2	Tol Padalarang-1	3306	64QAM-3/4	-54	31	64QAM-3/4	-67	27	14,6
3	Tol Padalarang-2	3306	BPSK-1/2	-89	10	BPSK-1/2	-92	9	22,85
4	Tol Padalarang-3	3310	QPSK-3/4	-83	16	QPSK-1/2	-92	8	22,8
5	Tol Padalarang-4	3310	QPSK-1/2	-87	12	BPSK-1/2	-92	7	22,8
6	Dago Pakar	3310	64QAM-3/4	-75	23	16QAM-1/2	-80	19	22,8
7	Manglayang	3352	QPSK-3/4	-81	15	16QAM-1/2	-81	18	22,58

Nilai RSSI tertinggi didapat -54 dBm berada di lokasi No.2 dan nilai RSSI terendah didapat -89 dBm pada lokasi No.3. Nilai CINR terbesar didapat pada lokasi No.2 yaitu sebesar 31 dB dengan modulasi 64 QAM 3/4. Sedangkan nilai CINR terkecil didapat dilokasi No.3 yaitu sebesar 10 dB dengan modulasi BPSK 1/2. Terlihat pada tabel bahwa semakin besar nilai CINR maka tingkat kompleksitas modulasinya semakin bertambah.

Nilai *Power Control* (P_{Tx}) terbesar ada pada lokasi gerbang tol mohammad toha yaitu 23,14 dBm. Sedangkan yang terendah yaitu ada pada lokasi Tol Padalarang-1. Nilai P_{Tx} ini dapat dipengaruhi oleh bebrapa faktor yaitu :

- Jarak
- Daerah pemancaran antena dan
- Jumlah CPE yang diterima oleh base station
- Nilai yang tertera masih dalam proses penstabilan

3.2. Perhitungan Kinerja Sistem Penerimaan WiMAX

Setelah melakukan pengujian dengan hasil yang sudah disampaikan pada bagian sebelumnya, maka langkah berikutnya adalah melakukan kajian dari sisi perhitungan berdasarkan referensi. Parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisa performansi sistem antara lain : perhitungan *link budget* (perhitungan *loss* atau redaman propagasi, perhitungan EIRP, perhitungan RSSI), perhitungan kualitas sinyal transmisi pada parameter CINR. Parameter-parameter yang mempengaruhi kondisi propagasi suatu kanal *wireless* meliputi lingkungan propagasi, Rugi-rugi propagasi, *Fading*, dan *Noise*.

3.2.1. Perhitungan Loss Propagasi

Teknologi WiMAX memungkinkan propagasi menggunakan kanal LOS dan NLOS. Pada kondisi kanal NLOS, sinyal yang ditangkap di penerima (receiver) adalah sinyal yang telah mengalami proses refleksi, *scattering* dan difraksi. Salah satu model propagasi yang dapat digunakan pada jaringan WiMAX X adalah model propagasi SUI (*Stanford University Interim*) untuk kondisi NLOS yang menggunakan 3 tipe dasar terrain yaitu :

- Kategori A - *Hilly/moderate-to-heavy tree density (urban)*
- Kategori B - *Hilly/light tree density or flat/intermediate (sub urban)*
- Kategori C - *Flat/light tree density (rural)*

Perhitungan *loss* propagasi menggunakan model SUI dapat dilihat pada persamaan 1 (Shabbir, 2011):

$$L_{prop} = A_0 + 10n \text{Log} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s \quad [dB] \quad (1)$$

$$\Delta L_f = 6 \text{Log} \left(\frac{f}{2000} \right)$$

$$\Delta L_h = -10,8 \text{Log} \left(\frac{h}{2} \right) \quad ; \text{ (untuk Terrain A dan B)}$$

$$\Delta L_h = -20 \text{Log} \left(\frac{h}{2} \right) \quad ; \text{ (untuk Terrain C)}$$

$$n = a - (b \times h_b) + \left(\frac{c}{h_b} \right)$$

Dimana :

A_0 = free path loss d_0 ,

d_0 = 100 m jarak referensi

n = path loss exponent

d = jarak jarak BS dan SS

ΔL_f = faktor koreksi frekuensi

ΔL_h = faktor koreksi tinggi antena penerima

s = shadow fading component (8,2 – 10,6 dB; bergantung tipe terrain)

h = Tinggi antena penerima ($2 \leq h \leq 8$ m)

h_b = Tinggi antena SS ($10 \leq h \leq 80$ m)

a , b , dan c = konstanta yang menunjukkan kategori terrain yang ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4. Parameter Model Stanford University Interism (SUI) (Shabbir, 2011)

Parameter Model	Terrain Tipe A	Terrain Tipe B	Terrain Tipe C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20
s	8,2	9,6	10,6

3.2.2. Perhitungan RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*)

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

Nilai RSSI dapat dihitung dengan persamaan 2 berikut (Milanovic, 2007):

$$RSSI = EIRP - L_{prop} + G_{Rx} - L_{Rx} \quad (2)$$

dimana :

$EIRP$ = Effective Isotropic Radiated Power (dBm)

L_{prop} = rugi-rugi gelombang saat berpropagasi (dB)

G_{Rx} = penguatan antena penerima (dBi)

L_{Rx} = rugi-rugi saluran penerima (dB)

Parameter sistem komunikasi berdasarkan data teknik meliputi:

- Tx Power BS : 27 dBm
- Loss Tx (*feeder* + connector): 4 dB
- Loss Rx : 2 dB
- Gain Tx (BS) : 15 dBi
- Gain Rx : 11 dBi
- Tinggi SS : 4 m
- Tinggi BS : 45 m
- Shadow fading (Terrain B) : 9,6 dB

Untuk parameter terrain dipilih dari nilai *shadow fading terrain* tipe B yaitu *hilly/light tree density (sub urban)*. Hasil perhitungan menggunakan model propagasi SUI kemudian dipergunakan untuk menghitung daya terima untuk kemudian dibandingkan dengan RSSI hasil pengukuran, hasil perbandingan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan RSSI Pengukuran dan Perhitungan

No	Lokasi Titik Pengujian	Frek (MHz)	Modulasi	Jarak SS-BS (Km)	Daya Terima SS (dBm)	
					Pengukuran	Perhitungan
1	Gerbang Tol M. Toha	3306	64QAM-3/4	1,42	-71	-90,3
2	Tol Padalarang-1	3306	64QAM-3/4	2,2	-54	-62,2
3	Tol Padalarang-2	3306	BPSK-1/2	5,42	-89	-110,1
4	Tol Padalarang-3	3310	QPSK-3/4	5,97	-83	-115
5	Tol Padalarang-4	3310	QPSK-1/2	7,77	-87	-119,7
6	Dago Pakar	3310	64QAM-3/4	9,73	-75	-76,61
7	Manglayang	3352	QPSK-3/4	14,29	-81	-79,1

Nilai perhitungan ini dibandingkan dengan nilai RSSI yang diterima oleh pengukuran yaitu sebesar -71 dBm. Nilai yang didapat perhitungan berbeda 19 dB dengan pengukuran. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa nilai asumsi seperti redaman kabel dan penguatan antena penerima.

3.2.3. Perhitungan CINR (*Carrier to Interference+Noise Ratio*)

CINR merupakan perbandingan antara daya sinyal dengan daya *noise* pada kanal. Nilai CINR dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{CINR (dB)} = \text{RSSI (dBW)} + 204 - \text{NF} - 10 \text{ Log } R_b \quad (3)$$

dimana :

R_b = *bit rate* (bps)

NF = *noise figure*

RSSI = *Receive signal strength indicator* (dBw)

Parameter CINR (*Carrier to Interference-plus-Noise Ratio*) menunjukkan kuat daya sinyal dibandingkan dengan daya *noise* pada kanal transmisi. Standar IEEE 802.16d yang menggunakan *adaptive modulation* membuat perangkat berpindah jenis modulasi terhadap nilai CINR yang diterima. Tabel 6 menampilkan batasan modulasi terhadap parameter lain.

Tabel 6. Skema Modulasi pada 3.5 MHz

Modulation	3.5 MHz sensitivity (dBm)	SNR (dB)	Theoretical (Mbps)	Actual (Mbps)
BPSK 1/2	-90.6	6.4	1.41	0.86
BPSK 3/4	-88.6	8.5	2.1	1.28
QPSK 1/2	-87.6	9.4	2.82	1.72
QPSK 3/4	-85.8	11.2	4.23	2.58
16QAM 1/2	-80.6	16.4	5.64	3.44
16QAM 3/4	-78.8	18.2	8.47	5.16
64QAM 2/3	-74.3	22.7	11.29	6.88
64QAM 3/4	-72.6	24.4	12.71	7.74

Tabel 7 menunjukkan perbandingan CINR berdasar hasil pengukuran dan perhitungan.

Tabel 7. Perbandingan CNIR Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan

No	Lokasi Titik Pengujian	Frek (MHz)	Modulasi	Jarak SS-BS (Km)	CNIR SS (dBm)	
					Pengukuran	Perhitungan
1	Gerbang Tol M. Toha	3306	64QAM-3/4	1,42	26	7,81
2	Tol Padalarang-1	3306	64QAM-3/4	2,2	31	35,9
3	Tol Padalarang-2	3306	BPSK-1/2	5,42	10	-2,4
4	Tol Padalarang-3	3310	QPSK-3/4	5,97	16	-12,11
5	Tol Padalarang-4	3310	QPSK-1/2	7,77	12	-15,1
6	Dago Pakar	3310	64QAM-3/4	9,73	23	22,5
7	Manglayang	3352	QPSK-3/4	14,29	15	23,8

Dari hasil di atas tampak perbedaan nilai CINR antara pengukuran dan perhitungan. Beberapa perbandingan ada yang selisihnya kecil dan besar. Perbedaan Nilai CINR ini dapat disebabkan karena kondisi kepadatan rumah dan pepohonan. Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa nilai SNR pada WiMAX sangat bergantung pada daerah (*terrain*) sehingga berpengaruh kepada besarnya RSL. Selain itu, perbedaan ini disebabkan oleh besarnya *noise figure* untuk menghitung E_b/N_0 dengan asumsi noise figure sebesar 7 dB.

3.3. Pengukuran Kualitas Layanan

3.3.1. Throughput

Throughput merupakan suatu ukuran yang menyatakan berapa banyak bit sukses yang diterima di tujuan dibandingkan dengan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan bit-bit tersebut. Pada kondisi nyata besarnya *throughput* tergantung dari protokol yang digunakan dalam transmisi (seperti TCP, UDP, dll) dan tipe data yang akan dikirim (FTP, HTTP, SMTP, VoIP, dll). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pengiriman data dari situs *youtube* yakni berupa data video. Sedangkan untuk melihat angka pengukurannya dilakukan dengan bantuan *software net monitor*. Berikut hasil pengukuran yang telah dilakukan.

Tabel 8. Hasil pengukuran *Throughput*

No	Lokasi Titik Pengujian	Downlink Troughput (Mbps)	
		Average	Max
1	Gerbang Tol M. Toha	1	1,02
2	Tol Padalarang-1	0,95	1,02
3	Tol Padalarang-2	0,4	0,53
4	Tol Padalarang-3	0,8	1,01
5	Tol Padalarang-4	0,26	0,4
6	Dago Pakar	0,98	1
7	Manglayang	0,08	0,033

Dari data di atas, nilai terbesar arah *downlink* terdapat pada titik lokasi gerbang tol M.Toha dengan nilai sebesar 1 Mbps untuk *downlink*. Hal ini dikarenakan nilai CINR pada CPE ini paling besar diantara CPE lainnya. Jenis modulasi yang digunakan sangat berpengaruh terhadap nilai *throughput*. Karena semakin tinggi nilai bit per modulasi maka nilai *bit rate* juga semakin tinggi sehingga nilai *throughput* juga semakin besar.

3.3.2. *Delay dan Packet Loss*

Delay adalah waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari titik asal sampai ke titik tujuan. Sedangkan *packet loss* merupakan banyaknya paket yang gagal mencapai tempat tujuan paket tersebut dikirim. Ketika *packet loss* besar maka dapat diketahui bahwa jaringan sedang sibuk atau terjadi *overload*. *Packet loss* mempengaruhi kinerja jaringan secara langsung. Ketika nilai *packet loss* suatu jaringan besar, dapat dikatakan kinerja jaringan tersebut kurang baik.

Tabel 9. Hasil Pengukuran *Delay dan Packet Loss* arah Gateway

No	Lokasi Titik Pengujian	Packet Loss (%)	Delay (ms)		
			Min	Average	Max
1	Gerbang Tol M. Toha	0	57,95	71,98	98,8
2	Tol Padalarang-1	0	62,26	81,66	104,02
3	Tol Padalarang-2	0	71,37	94,70	111,84
4	Tol Padalarang-3	0	61,47	79,04	131,20
5	Tol Padalarang-4	0	85,98	139,50	187,01
6	Dago Pakar	0	42,87	56,15	83,82
7	Manglayang	20	40,46	61,11	100,38

Dari data diatas, nilai *delay* terendah didapat pada lokasi Dago Pakar yaitu sebesar 56,247 ms. Sedangkan nilai *delay* tertinggi didapat pada lokasi Tol Padalarang-2 yaitu sebesar 139,5 ms. Nilai *delay* dipengaruhi oleh jenis propagasi. Apabila kondisi propagasinya NLOS maka waktu yang dibutuhkan data untuk sampai ke penerima semakin lama karena sinyal dalam pentransmisiannya mengalami pemantulan oleh *obstacle*. Sedangkan apabila kondisi propagasinya LOS dapat dipastikan sinyal lebih cepat menuju ke penerima karena tidak terjadi pemantulan dan hambatan lainnya. Nilai terbesar untuk packet loss ada di lokasi Manglayang yaitu sebesar 20%. Hal ini dapat disebabkan karena mengingat waktu trafik pada saat pengukuran sedang dalam kondisi sibuk.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk pengujian HiMax 331 SS dapat ditarik sejumlah kesimpulan antara lain:

- 1) Nilai CINR tertinggi didapat di lokasi Tol Padalarang-1 dengan nilai 31 dB pada modulasi 64 QAM- $\frac{3}{4}$. Sedangkan nilai CINR terendah berada di lokasi Tol Padalarang-2 dengan nilai 10 dB pada modulasi BPSK- $\frac{1}{2}$. Nilai CINR ditentukan oleh lingkungan propagasi antara BS dan CPE, jika kondisi LOS maka CINR pun makin besar. Berbeda dengan kondisi dimana antara BS dan SS banyak terhalang oleh *obstacle* seperti pepohonan dan bangunan, nilai CINR yang diperoleh lebih kecil. Jarak juga menentukan besarnya nilai CINR, semakin jauh lokasi SS maka nilai CINR semakin rendah.
- 2) Nilai RSSI tertinggi didapat -54 dBm berada di lokasi Tol Padalarang-1 dan nilai RSSI terendah didapat -89 dBm pada lokasi gerbang Tol Padalarang-2. RSSI dapat disimpulkan sebanding dengan daya pancar dari sumber dan dipengaruhi oleh jarak jangkauan. Jika daya pancar sumber besar, maka nilai RSSI juga besar. Tetapi nilai RSSI berbanding terbalik dengan *loss* propagasi, semakin besar *loss* propagasi maka nilai RSSI akan makin kecil. Selain pengaruh dari kondisi propagasi, penyebab besarnya nilai RSSI pada Tol Padalarang-1 karena disebabkan kondisi elevasi yang lebih tinggi.
- 3) Nilai *delay* terendah didapat pada lokasi Dago Pakar yaitu sebesar 56,247 ms pada kondisi LOS. Sedangkan nilai *delay* tertinggi didapat pada lokasi Tol Padalarang-2 yaitu sebesar 139,5 ms pada kondisi NLOS. Pada pengukuran *delay*, apabila kondisi propagasinya NLOS maka waktu yang dibutuhkan data untuk sampai ke penerima semakin lama. Sedangkan apabila kondisi propagasinya LOS dapat dipastikan sinyal lebih cepat menuju ke penerima karena tidak terjadi pemantulan dan hambatan lainnya.
- 4) Nilai terbesar untuk *packet loss* ada di lokasi Manglayang yaitu sebesar 20%. Nilai ini terdapat pada jarak terjauh yaitu 14,3 km di lokasi Manglayang. Hal ini dapat disebabkan karena waktu trafik pada saat pengukuran sedang dalam kondisi sibuk.
- 5) Nilai *throughput* tertinggi untuk layanan *streaming video* pada situs *youtube* ialah 1 Mbps (*downlink*) pada modulasi 64 QAM - $\frac{3}{4}$. Hal ini dikarenakan nilai CINR pada SS ini paling besar diantara SS lainnya. Jenis modulasi yang digunakan sangat berpengaruh terhadap nilai *throughput*. Karena semakin tinggi nilai bit per modulasi, maka *bit rate*-nya juga semakin tinggi sehingga *throughput*-nya juga semakin besar.

DAFTAR RUJUKAN

- Noman Shabbir. (2011). *Comparison Of Radio Propagation Model For Long Term Evolution (LTE) Network*. Pakistan : International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.3 No.3.
- Shahjahan. (2009). *Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3,5 GHz*. Swedia : Master of Science in Electrical Engineering Thesis Blekinge Institute of Technology.
- Milanovic, Josip. (2007). *Comparison of Propagation Models Accuracy for WiMAX on 3.5 GHz*. Intitute Electrical and Electronics Engineers.
- Ghosh. (2005). *Broadband Wireless Access with WiMAX/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential*. IEEE Communications Magazine.

