

Makalah Seminar Tugas Akhir

ANALISIS KINERJA PROTOKOL TCP PADA SISTEM WiMAX

Akhmad Sarif^[1], Achmad Hidayatno, ST.,MT.^[2], Imam Santoso, ST.,MT.^[2]

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail: assyarif@gmail.com

Abstrak- *WiMAX atau standard IEEE 802.16 adalah salah satu teknologi akses radio yang menjanjikan dalam menawarkan performansi seperti sistem kabel xDSL. WiMAX dapat menjangkau area yang terisolasi seperti hotspot pada daerah rural, jaringan privat kampus, dan daerah yang jauh, baik pada kondisi LOS (Line of Sight) maupun NLOS (Non Line of Sight) dengan kecepatan data yang melebihi teknologi mobile 3G. Selain jangkauan dan kecepatan data, keandalan protokol transport yang digunakan dalam pengiriman data juga mempengaruhi kinerja sistem.*

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap kinerja protokol transport yang terdapat pada sistem WiMAX yaitu TCP (Transmission Control Protocol). Pengujian dilakukan pada lokasi SS (Subscriber Station) yang berbeda, baik pada kondisi LOS maupun NLOS. Parameter pengujian kinerja protokol transport tersebut menyangkut jarak SS ke BS (Base Station), lebar pita (bandwidth) kanal, kecepatan data, SNR (Signal to Noise Ratio), modulasi, RSSI (Received Strenght Signal Indication), jitter, time delay, serta packet loss.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa WiMAX dapat bekerja pada kondisi LOS dan NLOS, kecepatan pengiriman data pada sisi downlink dengan menggunakan lebar pita kanal 3,5 MHz, menggunakan protokol TCP serta pengujian yang dilakukan di lapangan mencapai nilai 8,7 Mbps, dengan nilai RSSI -65,6 dBm, dengan nilai SNR 33 dB. Nilai jitter terkecil adalah 9,344 ms dan nilai jitter terbesar adalah 13,747 ms, nilai persentase paket data yang hilang (packet loss) rata-rata 0 %.

Kata kunci: *WiMAX, kinerja, protokol, TCP.*

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan koneksi internet dewasa ini sudah menjadi kebutuhan penting terlebih lagi di kota-kota besar, hal tersebut tentunya membutuhkan sistem koneksi yang baik, cepat, dan ekonomis agar dapat mempergunakan fasilitas ini dengan nyaman. Teknologi nirkabel telah banyak diaplikasikan dalam menunjang penggelaran infrastruktur telekomunikasi khususnya di daerah yang sulit dijangkau oleh infrastruktur yang menggunakan kabel. Di samping

untuk memenuhi kebutuhan telekomunikasi di daerah rural atau pedesaan, teknologi ini juga digunakan untuk layanan bergerak (*service mobility*). Dengan semakin banyaknya pelanggan yang menggunakan sistem komunikasi nirkabel, muncul permasalahan yaitu bagaimana meningkatkan kapasitas sistem di daerah yang permintaannya besar serta bagaimana memperbesar cakupan di daerah dengan jumlah pelanggan yang relatif sedikit untuk mengurangi biaya pembangunan infrastruktur dan pemeliharaan. Selain jangkauan dan kecepatan data, keandalan protokol transport yang digunakan dalam pengiriman data dalam menjamin data yang dikirim dapat sampai tujuan, juga mempengaruhi kinerja sistem.

Worldwide Interoperability for Microwave Access yang lebih dikenal dengan WiMAX, adalah teknologi yang akan memecahkan masalah koneksi yang terjadi sekarang ini. Dengan teknologi akses *microwave*, WiMAX akan menggunakan fungsi gelombang mikro sebagai media pengganti kabel, sehingga jangkauan area dan kemudahan penggunaan juga merupakan keunggulan yang ditawarkan oleh teknologi ini. Salah satu kelebihan yang dimiliki WiMAX adalah jangkauannya yang mencapai 50 km dan dapat bekerja baik pada kondisi LOS (*Line of Sight*) ataupun NLOS (*Non Line of Sight*).

Dalam menjamin keandalan pengiriman data, WiMAX mendukung protokol UDP (*User Datagram Protocol*) dan TCP. Protokol UDP mempunyai kelebihan dalam hal kecepatan data yang dikirim, tetapi tidak bertanggung jawab data yang dikirim dapat sampai tujuan. Protokol yang menjamin data yang dikirim dapat sampai tujuan adalah TCP.

1.2 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penyusunan tugas akhir ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kinerja protokol TCP (*Transmission Control Protocol*) sebagai protokol transport pada sistem WiMAX.
2. Mengetahui pengaruh protokol TCP yang digunakan terhadap kinerja WiMAX.

^[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

^[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

- Menganalisis parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja WiMAX serta pengaruhnya terhadap kinerja WiMAX.
- Sebagai bahan kajian perencanaan pembangunan jaringan infrastruktur WiMAX sehingga diperoleh kinerja yang optimum.

1.3 Pembatasan Masalah

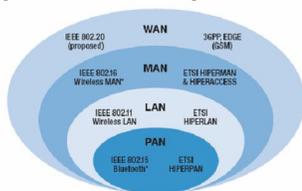
Pada tugas akhir ini pembahasan akan dibatasi pada hal-hal berikut ini:

- Standard WiMAX yang dianalisis adalah IEEE 802.16d (perangkat *wireless* tetap dan *portable*).
- Kinerja protokol WiMAX diukur berdasarkan modulasi, kecepatan data, *waktu tunda (delay)*, *jitter*, dan *packet loss*, jarak *subscriber station (SS)* ke *base station (BS)*, *Line of Sight (LOS)*, *Non Line of Sight (NLOS)*.
- Pengujian dilakukan pada frekuensi 3,3 GHz, dengan lebar *bandwidth* 1,75 MHz, dan 3,5 MHz.
- Pengujian dilakukan di ruang *server* IM2 dan di lapangan.
- Pengujian di ruang lapangan menggunakan perangkat *EasyST* dan *ProST*.

II DASAR TEORI

2.1 Pengertian WiMAX

WiMAX merupakan standard industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standard teknis yang bersifat global menjadi satu kesatuan. WiMAX dan WiFi dibedakan berdasarkan standard teknik yang bergabung di dalamnya. *WiFi* menggabungkan standard IEEE 802.11 dengan ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) *HiperLAN* yang merupakan standard teknis yang cocok untuk keperluan WLAN, sedangkan WiMAX merupakan penggabungan antara standard IEEE 802.16 dengan ETSI *HiperMAN*. Standard keluaran IEEE banyak digunakan secara luas di daerah asalnya, yaitu Eropa dan sekitarnya. Untuk dapat membuat teknologi ini digunakan secara global, maka diciptakan WiMAX. Standard global yang dipakai di dunia dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Standard-standard mulai PAN sampai WAN.

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

2.2 Standard WiMAX

Pada awalnya standard IEEE 802.16 beroperasi pada frekuensi 10-66 GHz dan LOS (*line of sight*) yaitu saat sinyal pengirim dan penerima tembus pandang secara langsung tanpa rintangan), tetapi pengembangan IEEE 802.16a yang disahkan pada bulan Maret 2004 menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu sebesar 2-11 GHz, sehingga mudah diatur, dan tidak memerlukan LOS. WiMAX dapat mencakup area sekitar 50 km dan kecepatan pengiriman data sebesar 70 Mbps.

Tabel 2.1. Standar IEEE 802.16

	IEEE 802.16	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e
Terstandardisasi	Januari 2002	Juni 2004	Desember 2005
Spektrum	10-66 GHz	2-11 GHz	< 6 GHz
Kondisi kanal	<i>Line of sight</i>	<i>Non line of sight</i>	<i>Non line of sight</i>
<i>Bit rate</i>	32-134 Mbps menggunakan frekuensi kanal 28 MHz	Mencapai 75 Mbps menggunakan frekuensi kanal 20 MHz	Mencapai 15 Mbps menggunakan frekuensi kanal 5 MHz
Modulasi	BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM
Lebar frekuensi kanal	20 MHz, 25 MHz, 28 MHz	1,75 MHz, 3,5 MHz, 1,25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8,75 MHz	1,75 MHz, 3,5 MHz, 1,25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8,75 MHz
Mobilitas	Perangkat <i>wireless</i> tetap	Perangkat <i>wireless</i> tetap dan <i>portable</i>	<i>Nonadmic mobility</i>
Radius per cell	2 km – 5 km	7–10 km dengan maksimal 50 km	2 km – 5 km

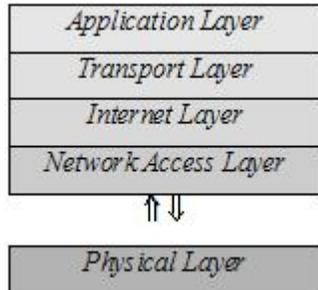
2.3 Pengenalan TCP/IP

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) adalah sekelompok protokol yang mengatur komunikasi data komputer di internet. Komputer-komputer yang terhubung ke internet berkomunikasi dengan protokol ini. Karena menggunakan bahasa yang sama, yaitu protokol TCP/IP, perbedaan jenis komputer dan sistem operasi tidak menjadi masalah. Komputer atau PC dengan sistem operasi *windows* dapat berkomunikasi dengan komputer *macintosh* atau

[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

dengan *sun SPARC* yang menjalankan *Solaris*. Jadi, jika sebuah komputer menggunakan protokol TCP/IP dan terhubung langsung ke internet, maka komputer tersebut dapat berhubungan dengan komputer di belahan dunia mana pun yang juga terhubung ke internet.



Gambar 2.2 lapisan protokol TCP/IP

2.4 Transport Layer

Transport layer mempunyai dua fungsi mengatur aliran data antara dua *host* dan *reliability*. Pada *transport layer* terdapat dua buah protokol:

1. TCP protokol yang mempunyai sifat *connection-oriented*, *reliable protocol*, *byte stream service*. *Connection oriented* berarti sebelum melakukan pertukaran data, dua aplikasi pengguna TCP harus melakukan hubungan (*handshake*) terlebih dahulu. *Reliable* berarti TCP menerapkan proses deteksi kesalahan paket dan retransmisi. *Byte stream service* berarti paket dikirimkan dan sampai ke tujuan secara berurutan.
2. UDP singkatan dari *User Datagram Protocol*, adalah salah satu protokol lapisan transpor TCP/IP yang mendukung komunikasi yang tidak andal (*unreliable*), tanpa koneksi (*connectionless*) antara *host-host* dalam jaringan yang menggunakan TCP/IP. Walaupun bertanggung jawab untuk mentransmisikan pesan atau data, tidak ada *software* yang mengecek pengantaran setiap segmen yang dilakukan oleh layer ini. Keuntungan penggunaan UDP adalah kecepatannya karena pada UDP tidak ada *acknowledgements*, sehingga trafik yang lewat jaringan rendah, dan itu yang membuat UDP lebih cepat daripada TCP.

2.4 Rumus Kapasitas Shannon

Apabila semakin tinggi kecepatan data yang dikirim, maka kemungkinan terjadinya kesalahan (*error*) yang tidak diinginkan juga semakin besar.

Untuk level derau tertentu, kekuatan sinyal yang lebih besar akan meningkatkan kemampuan menerima data secara benar di dalam tampilan derau. Parameter yang terlibat adalah *signal to noise ratio* (SNR), yang merupakan perbandingan daya dalam suatu sinyal terhadap daya yang dikandung oleh *noise* yang muncul pada titik-titik tertentu dalam transmisi. Biasanya, perbandingan ini diukur pada sisi penerima, karena perbandingan pada titik ini dimaksudkan untuk memproses sinyal dan menghilangkan derau yang tidak diinginkan. Perbandingan ini sering dinyatakan dalam desibel:

$$(SNR)_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{daya pada signal}}{\text{daya pada noise}} \quad (2.1)$$

Hal ini menyatakan jumlah dalam desibel, dengan sinyal yang dimaksud melebihi level derau. SNR yang tinggi berarti suatu sinyal yang bermutu tinggi dan *repeater* perantara yang diperlukan semakin sedikit.

Signal to noise ratio sangatlah penting dalam transmisi data digital karena menyusun batas atas kecepatan data yang dapat dicapai, sesuai dengan persamaan:

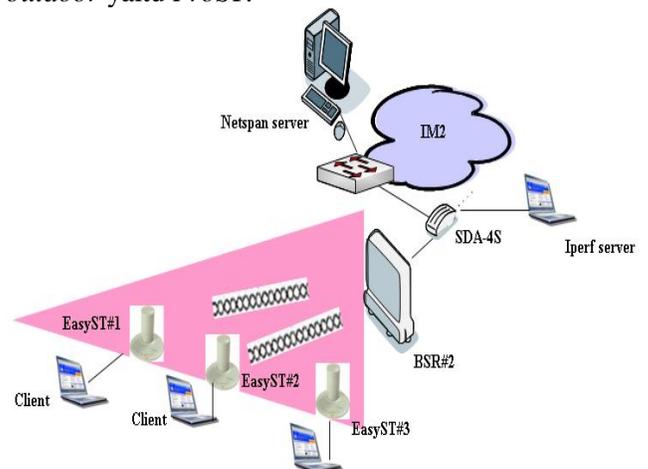
$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (2.2)$$

Dengan C adalah kapasitas kanal dalam *bit* per detik dan B adalah lebar pita (*bandwidth*) kanal dalam hertz.

III KONFIGURASI PENGUJIAN SISTEM

3.1 Pengujian di Ruang Server IM2

Pengujian yang dilakukan di *server* IM2 antara lain adalah untuk pengujian *throughput* pada protokol TCP baik pada sisi DL, UL ataupun secara simultan DL dan UL menggunakan lebar pita kanal 1,75 MHz dan 3,5 MHz. Perangkat SS yang digunakan adalah perangkat *indoor* yaitu *EasyST* serta perangkat *outdoor* yaitu *ProST*.



Gambar 3.1 Konfigurasi pengujian *throughput* WiMAX.

[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

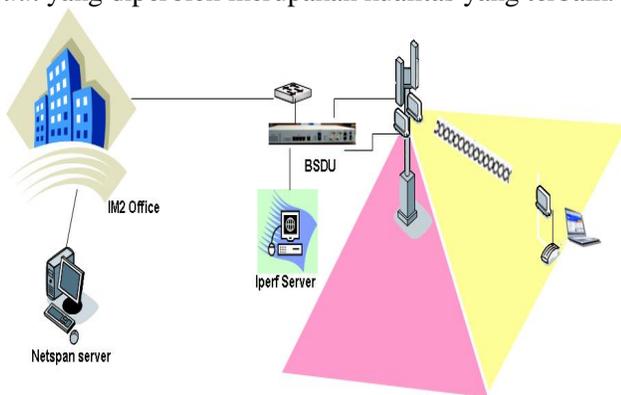
[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

3.2 Pengujian di Lapangan

Pada pengujian dilakukan dengan pengujian interferensi kanal yang berdekatan (*adjacent channel*), dan pengujian *throughput* di lokasi SS yang berbeda.

3.2.1 Pengujian Interferensi *Adjacent Channel*

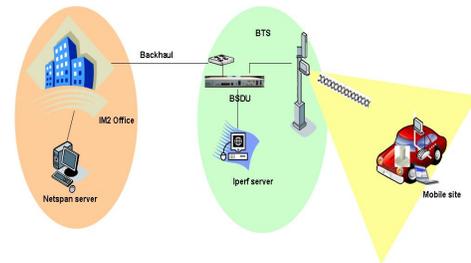
Pengujian interferensi kanal yang berdekatan (*adjacent channel*) untuk memperoleh data berupa nilai SNR, RSSI (*Received Strength Signal Indication*), kecepatan data UL dan DL pada protokol TCP, serta waktu tunda. Pengujian kali ini protokol transport yang digunakan hanya TCP yang merupakan protokol yang *reliable* sehingga lebih andal. Modulasi yang digunakan diatur 64 QAM 3/4 sehingga kualitas *link* yang diperoleh merupakan kualitas yang terbaik.



Gambar 3.2 Konfigurasi pengujian interferensi *adjacent channel*.

3.2.2 Pengujian Lokasi SS yang Berbeda

Pengujian dilakukan menggunakan SS lebih dari satu yang berada pada lokasi yang berbeda dalam satu sel atau menggerakkan satu SS dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Parameter yang dicatat selama pengujian antara lain RSSI, SNR, *throughput* pada UL dan DL, jarak antara BS dan SS. Kondisi LOS dan NLOS juga diperhatikan. Antena SS (*ProST*) perlu diletakkan pada ketinggian dua meter dari permukaan tanah. Pada saat mengukur *throughput* pada salah satu SS maka SS yang lain dimatikan sehingga hasil *throughput*-nya tidak dipengaruhi trafik bersama. Protokol yang digunakan dalam pengujian ini adalah protokol TCP. Pemilihan protokol TCP dikarenakan karakteristiknya yang lebih andal bila dibandingkan protokol UDP. Konfigurasi pengujian modulasi dibandingkan jarak seperti terlihat pada gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.3 Konfigurasi pengujian modulasi vs. jarak.

IV ANALISIS HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN

4.1 Pengujian di Ruang Server IM2

4.1.1 Pengujian dengan lebar pita kanal 1,75 MHz.

Pengujian dengan lebar pita kanal 1,75 MHz pada sisi *downlink* adalah seperti terlihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil pengujian untuk *bandwidth* kanal 1,75 MHz

Modulasi	Kecepatan Data DL (kbps)	Kecepatan Data UL (kbps)	Kecepatan Data UL & DL (kbps)
64 QAM 3/4	4.150	3.500	3.980
64 QAM 2/3	3.720	3.420	3.580
16 QAM 3/4	2.750	2.630	2.670
16 QAM 1/2	1.830	1.370	1.790
QPSK 3/4	1.380	806	1.340
QPSK 1/2	916	701	884
BPSK 1/2	426	353	267

Kecepatan data pada sisi DL lebih besar dibandingkan kecepatan data di sisi UL dan kecepatan data secara simultan, hal tersebut karena pengaturan kapasitas kanal untuk sisi DL, UL dan sisi simultan UL dan DL yang berbeda.

Perbandingan *jitter* dan waktu tundanya adalah seperti pada tabel 4.2 di bawah. Secara umum, semakin baik modulasi yang diterima semakin kecil nilai *jitter* dan waktu tunda. Modulasi menurun, maka nilai *jitter* dan waktu tundanya bertambah.

Tabel 4.2 Perbandingan *jitter* pada sisi UL dan DL

Modulasi	<i>Jitter</i> DL (ms)	<i>Jitter</i> UL (ms)	Waktu Tunda (ms)
64 QAM 3/4	5,449	5,613	27
64 QAM 2/3	3,117	6,604	29
16 QAM 3/4	6,927	7,255	25
16 QAM 1/2	9,224	8,901	28
QPSK 3/4	9,063	6,926	28
QPSK 1/2	9,289	9,744	29
BPSK 1/2	14,631	13,637	26

[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

4.1.2 Pengujian dengan lebar pita kanal 3,5 MHz.

Hasil pengujian dengan menggunakan lebar pita kanal 3,5 MHz adalah seperti pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil pengujian lebar pita kanal 3,5 MHz.

Modulasi	Kecepatan Data DL (kbps)	Kecepatan Data UL (kbps)	Kecepatan Data UL & DL (kbps)
64 QAM3/4	9.550	8.940	9.320
64 QAM2/3	8.670	7.990	8.360
16 QAM3/4	6.480	5.980	6.260
16 QAM1/2	4.330	3.980	4.140
QPSK 3/4	3.240	2.990	3.130
QPSK 1/2	2.160	1.990	2.070
BPSK 1/2	914	841	1.020

Kecepatan data pada sisi DL lebih besar dibandingkan kecepatan data di sisi UL dan kecepatan data secara simultan, hal tersebut karena pengaturan kapasitas kanal untuk sisi DL, UL dan sisi simultan UL dan DL yang berbeda.

Tabel 4.4 Perbandingan *jitter* dan waktu tunda untuk modulasi yang berbeda.

Modulasi	<i>Jitter</i> UL (ms)	<i>Jitter</i> DL (ms)	RT Delay (ms)
64 QAM3/4	2,681	1,380	28
64 QAM2/3	3,262	1,786	27
16 QAM3/4	3,900	3,121	27
16 QAM1/2	6,417	4,236	28
QPSK 3/4	4,358	4,415	24
QPSK 1/2	6,256	5,301	32
BPSK 1/2	7,820	6,766	29

Secara umum, semakin baik modulasi yang diterima semakin kecil nilai *jitter* dan waktu tunda. Modulasi menurun, maka nilai *jitter* dan waktu tundanya bertambah.

4.2 Pengujian Interferensi *Adjacent Channel*

Hasil pengujian interferensi *adjacent channel* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil pengujian lebar pita kanal 1,75 MHz.

Frekuensi Penghalang (<i>Guard Band</i>)	SNR	Modulasi	RSSI dBm	TCP UL (kbps)	TCP DL (kbps)	RT Delay (ms)
Overlap 0,5 MHz	29,4	64QAM3/4	-55,3	139	1.100	RTO
0 MHz	33,3	64QAM3/4	-56,1	2.100	2.200	81
0,5 MHz	31,1	64QAM3/4	-54,9	2.000	2.200	74
1 MHz	33,4	64QAM3/4	-54,6	2.000	2.000	56

Tabel 4.6 Hasil pengujian lebar pita kanal 3,5 MHz.

<i>Guard Band</i>	SNR	Modulasi	RSSI dBm	TCP UL (kbps)	TCP DL (kbps)	RT Delay (ms)
Overlap 0,5 MHz	34	64 QAM3/4	-54	161	100	56
0 MHz	33	64 QAM3/4	-54,9	4.700	4.800	66
0,5 MHz	34,7	64 QAM3/4	-54,6	4.600	4.800	57
1 MHz	35,4	64 QAM3/4	-54,3	4.700	4.800	56

Pada pengujian *adjacent channel*, lebar pita kanal yang semakin besar akan menghasilkan *throughput* yang lebih baik.

4.3 Pengujian Lokasi SS yang Berbeda

4.3.1 Pengujian Lebar Pita Kanal 1,75 MHz

Hasil pengujian SS pada lokasi yang berbeda adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil pengujian menggunakan *bandwidth* kanal 1,75 MHz sisi DL.

Lokasi Pengujian (Jarak ke BTS)	Kondisi	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Modulasi	TCP (kbps)
Colocated Ria FM (0 m)	LOS	-65	31,6	64 QAM3/4	4.100
Rumah Pak Riyadi (810 m)	NLOS	-74,3	27,9	16 QAM3/4	2.000
Lapangan Beji (1.790 m)	NLOS	-76,7	27,1	64 QAM2/3	3.100
Jembatan TB Smtg (9900 m)	LOS	-80,7	24,6	16 QAM3/4	2.700

Tabel 4.8 Hasil pengujian menggunakan *bandwidth* kanal 1,75 MHz sisi UL.

Lokasi Pengujian (Jarak ke BTS)	Kondisi	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Modulasi	TCP (kbps)
Colocated Ria FM	LOS	-73	21	64 QAM2/3	2.940
Rumah Pak Riyadi (810 m)	NLOS	-79	15	16 QAM1/2	1.400
Lapangan Beji (1.790)	NLOS	-85	16	16 QAM1/2	1.470
Jembatan TB Smtg (9.900 m)	LOS	-85	44	QPSK 3/4	1.380

Semakin dekat jarak SS ke BS akan menghasilkan *throughput* yang semakin baik. Kondisi LOS menghasilkan *throughput* lebih baik daripada kondisi NLOS.

Hasil pengujian kecepatan data yang dihasilkan bila dibandingkan dengan perhitungan menggunakan rumus Shannon seperti pada persamaan (2.2), untuk lokasi pengujian pada *colocated* Ria FM adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$SNR_{dB} = 31,6 \text{ dB.}$$

$$B = 1,75 \text{ MHz.}$$

Maka, $SNR_{dB} = 10 \log_{10} (SNR)$

$$31,6 = 10 \log_{10} (SNR)$$

$$SNR = 1445,44$$

$$C = 1,75 \times 10^6 \log_2 (1 + 1445,44)$$

$$= 18.373 \text{ kbps}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, untuk lokasi pengujian yang berbeda, perhitungan kecepatan data maksimumnya dapat diketahui, seperti pada tabel 4.9 berikut:

[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

Tabel 4.9 Perbandingan pengujian dan perhitungan kecepatan data, bandwidth 1,75 MHz di sisi DL.

Lokasi Pengujian (Jarak dengan BTS)	SNR (dB)	Kecepatan Data Pengujian (kbps)	Kecepatan Data Perhitungan (kbps)
Colocated Ria FM	31,6	4100	18373
Rumah Pak Riyadi (810 m)	27,9	2000	16223
Lapangan Beji (1.790 m)	27,1	3100	15759
Jembatan TB Smtpng (9.900 m)	24,6	2700	14309

Tabel 4.10 Perbandingan pengujian dan perhitungan kecepatan data, bandwidth 1,75 MHz di sisi UL.

Lokasi Pengujian	SNR (dB)	Kecepatan Data Pengujian (kbps)	Kecepatan Data Perhitungan (kbps)
Colocated Ria FM	21	2940	12228
Rumah Pak Riyadi (810 m)	15	1400	8798
Lapangan Beji (1.790)	16	1470	9364
Jembatan TB Smtpg (9.900 m)	44	1380	25579

Perbedaan kecepatan data hasil pengujian dan perhitungan seperti pada tabel 4.9 dan 4.10 di atas dikarenakan pada perhitungan menggunakan kapasitas Shannon kondisi jalur komunikasi (*link*) dianggap ideal (*error free*) sehingga menghasilkan nilai kecepatan data yang besar.

Tabel 4.11 Hasil pengujian waktu tunda, *jitter*, dan *ping loss*.

Lokasi Pengujian (Jarak dengan BTS Ria FM)	Waktu Tunda (ms)	<i>Jitter</i> (ms)	PING Loss (%)
Colocated Ria FM (0 m)	52	10,374	0
Rumah Pak Riyadi (810 m)	56	13,094	0
Lapangan Beji (1.790 m)	55	16,005	0
Jembatan TB Smtpng (9.900 m)	53	11,729	0

Hasil pengujian menunjukkan waktu tunda, dan *jitter* yang terjadi mempunyai selisih yang relatif kecil untuk pengujian di lokasi yang berbeda. Sedangkan presentase paket data yang hilang adalah 0%.

4.3.2 Pengujian Lebar Pita Kanal 3,5 MHz

Tabel 4.12 Hasil pengujian menggunakan *bandwidth* kanal 3,5 MHz sisi DL.

Lokasi Pengujian (Jarak dengan BTS)	Kondisi	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Modulasi	TCP (kbps)
Colocated Ria FM (0 m)	LOS	-65,6	33	64 QAM 3/4	8.700
Rumah Pak Riyadi (810 m)	NLOS	-72,3	28,3	64 QAM 2/3	7.200
Lapangan Beji (1.790 m)	NLOS	-75,8	24,3	64 QAM 2/3	6.000
Jembatan TB Smtpg (9.900 m)	LOS	-79,4	21	16 QAM 3/4	5.100
Kantor IM2 (10.220 m)	LOS	-68,6	31,3	64QAM 3/4	3.200

Tabel 4.13 Hasil pengujian menggunakan *bandwidth* kanal 3,5 MHz sisi UL.

Lokasi	Jarak ke BTS (m)	Kondisi	Modulasi	TCP (kbps)
Colocated Ria FM	0	LOS	16 QAM 3/4	4.900
Rumah Pak Riyadi	810	NLOS	16 QAM 1/2	2.100
Lapangan Beji	1.790	NLOS	16 QAM 1/2	755
Jembatan TB Smtpg	9.900	LOS	QPSK 1/2	791
Kantor IM2	10.220	LOS	QPSK 3/4	2.700

Jarak antara BS dan SS, kondisi LOS dan NLOS mempengaruhi *throughput* yang dihasilkan. Semakin dekat jarak SS ke BS akan menghasilkan *throughput* yang semakin baik. Kondisi LOS menghasilkan *throughput* lebih baik daripada kondisi NLOS.

Perbandingan hasil pengujian dan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.2) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14 Perbandingan pengujian dan perhitungan kecepatan data, bandwidth 3,5 MHz di sisi DL.

Lokasi Pengujian (Jarak dengan BTS)	SNR (dB)	Kecepatan Data Pengujian (kbps)	Kecepatan Data Perhitungan (kbps)
Colocated Ria FM	33	8.700	38.370
Rumah Pak Riyadi (810 m)	28,3	7.200	32.911
Lapangan Beji (1.790 m)	24,3	6.000	28.271
Jembatan TB Smtpg (9.900 m)	21	5.100	24.456
Kantor IM2 (10.220)	31,3	3.200	36.395

Sedangkan hasil pengujian waktu tunda, *jitter* dan presentase paket data yang hilang adalah sebagai berikut:

Tabel 4.15 Waktu tunda, *jitter*, dan presentasi paket data yang hilang.

Lokasi	RT Delay (ms)	<i>Jitter</i> (ms)	PING Loss (%)
Colocated Ria FM	62	13,747	0
Rumah Pak Riyadi (810 m)	57	10,421	2
Lapangan Beji (1.790 m)	64	9,344	0
Jembatan TB Smtpng (9.900 m)	64	11,359	0
Kantor IM2 (10.220 m)	58	10,516	0

Hasil pengujian menunjukkan waktu tunda, dan *jitter* yang terjadi mempunyai selisih yang relatif kecil untuk pengujian di lokasi yang berbeda. Sedangkan presentase paket data yang hilang rata-rata adalah 0%.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan.

Dari hasil pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Dari hasil pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk komunikasi antara SS dan BS dengan jarak jauh, maka protokol TCP dipilih karena

[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

memiliki keandalan, yaitu waktu tunda koneksi, *jitter* yang mempunyai kategori bagus, yaitu bernilai di bawah 75 ms maupun persentase paket data yang hilang bernilai kecil yang mempunyai persentase rata-rata 0 %.

2. Pada pengujian di ruang *server* IM2 dengan menggunakan *bandwidth* kanal 1,75 MHz kecepatan data mencapai 4,15 Mbps pada sisi *downlink*, 3,5 Mbps pada sisi *uplink*, dan 3,98 Mbps secara simultan *uplink* dan *downlink*.
3. Pengujian di ruang *server* IM2 dengan menggunakan lebar pita kanal 3,5 MHz serta pada sisi *downlink* mencapai kecepatan 9,55 Mbps, pada sisi *uplink* kecepatan data mencapai 8,94 Mbps, kecepatan data secara simultan *uplink* dan *downlink* mencapai 9,32 Mbps.
4. Pada pengujian menggunakan lebar pita kanal 1,75 MHz di lapangan, di sisi *downlink* mencapai 4,1 MHz dengan nilai RSSI -65 dBm, SNR 31,6 dB dan modulasi 64 QAM 3/4, sedangkan di sisi *uplink* kecepatan data mencapai 2,94 MHz, dengan nilai RSSI -73 dBm, nilai SNR 21 dB, dan modulasi 16 QAM 2/3.
5. Pada pengujian menggunakan lebar pita kanal 3,5 MHz di lapangan, di sisi *downlink* mencapai 8,7 MHz dengan nilai RSSI -65,6 dBm, SNR 33 dB dan modulasi 64 QAM 3/4, sedangkan di sisi *uplink* kecepatan data mencapai 4,9 MHz dengan modulasi 16 QAM 3/4.
6. Nilai *jitter* terkecil pada pengujian di lapangan menggunakan lebar pita kanal 3,5 MHz adalah 9,344 ms, sedangkan *jitter* terbesar adalah 13,747 ms, serta rata-rata persentase paket data yang hilang adalah 0%.
7. Modulasi yang diterima akan mempengaruhi kecepatan data, serta nilai *jitter*. Semakin baik kualitas modulasi yang diterima, semakin cepat pula proses pengiriman data, dan semakin kecil nilai *jitter*-nya.
8. Semakin lebar pita kanal yang dipakai, maka kecepatan data akan semakin bertambah. Lebar pita kanal 3,5 MHz mempunyai *throughput* yang lebih baik daripada lebar pita kanal 1,75 MHz. Hal tersebut dikarenakan kapasitas lebar pita juga bertambah.
9. Kondisi LOS dan NLOS akan mempengaruhi *throughput* WiMAX. Kondisi LOS menghasilkan *throughput* yang lebih baik jika dibandingkan pada kondisi NLOS.

5.2 Saran

Untuk lebih mengetahui keandalan kinerja WiMAX, maka saat pengujian perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Penggunaan lebar pita kanal pada 5 MHz, 7 MHz, 10 MHz, dan 20 MHz.
2. Pengujian dilakukan menggunakan frekuensi kerja yang lain seperti 2,5 GHz, 5,8 GHz.
3. Jumlah lokasi pengujian di lapangan diperbanyak, sehingga diperoleh data yang lebih banyak.
4. Pengujian dilakukan pada trafik data yang padat, sehingga akan lebih mengetahui keandalan dari sistem.
5. Mengingat kelebihan-kelebihan yang dimiliki WiMAX, maka akan sangat menguntungkan seandainya teknologi WiMAX dapat diterapkan di Universitas Diponegoro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrews, Jeffery G. et.al. *Fundamental of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking*. Prentice Hall: New Jersey. 2007.
- [2] Bilich, Carlos G. *TCP over WiMAX Network*. White Paper. 2005.
- [3] Comer, Douglas E. *Internetworking with TCP/IP Vol I: Principles, Protocols, and Architecture 3rd Edition*. Prentice Hall: New Jersey. 1995.
- [4] Dixit, Sudhir, Ramje Prasad. *Wireless IP and building the mobile Internet*. Artech House: London. 2003.
- [5] Freeman, R. *Telecommunication Transmission Handbook*. John Wiley: New York. 1998.
- [6] Grondalen, Ole. etal. *Fixed WiMAX Field Trial Measurement and Analyses*. White Paper.
- [7] Mulyanta, Edi S. *Pengenalan Protokol Jaringan Wireless Komputer*. Andi Offset: Yogyakarta. 2005.
- [8] Wijaya, Hendra. *Belajar Sendiri Cisco Router Edisi Baru untuk Mengambil Sertifikat CCNA (640-801)*. PT Elex Media Komputindo: Jakarta. 2004.
- [9] Stallings, Williams. *Komunikasi Data dan Komputer Dasar-Dasar Komunikasi Data*. Salemba Teknika: Jakarta. 2001.
- [10] Wibisono, G. Dwi Hantoro, G. *WiMAX Teknologi Broadband Wireless Kini dan Masa Depan*. Informatika: Bandung. 2006.

^[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

^[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP

- [11] ---, *As-MAX System Description Document*, <http://www.airspan.com>.
- [12] ---, *Network Protocols Handbook 2nd Edition*. Javvin Technologies Inc: California. 2005.
- [13] ---, *WiMAX's technology for LOS and NLOS environment*, <http://www.wimaxforum.org>.

^[1] Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP
^[2] Dosen Teknik Elektro UNDIP