

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap untuk mendapatkan hasil, antara lain :

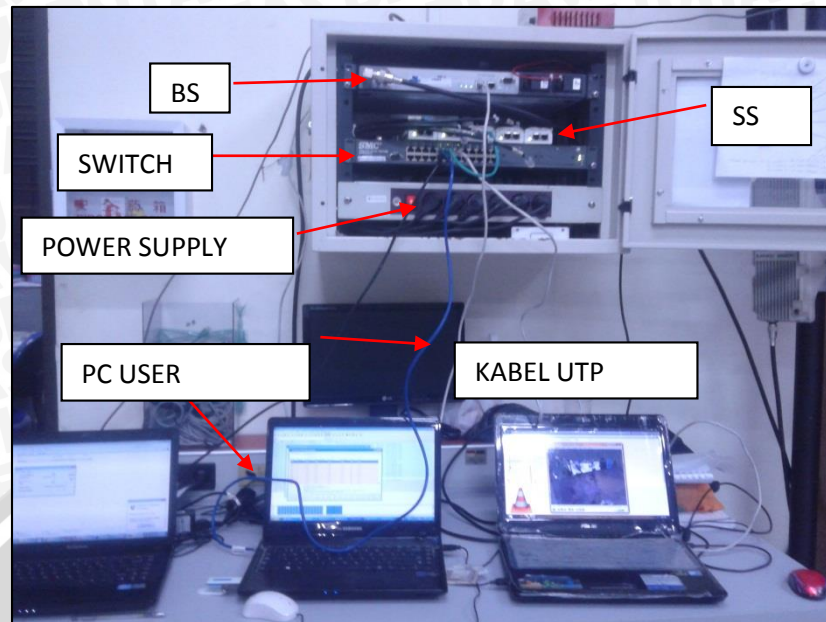
- 1) Konfigurasi jaringan antara *Base Station* dan *Subscribers Station*.
- 2) Pengambilan data pengaruh kapasitas kanal pada QoS sistem WiMAX IEEE 802.16d dengan varian QoS yaitu rTPS. Layanan yang digunakan yaitu layanan *live streaming*.
- 3) Melakukan simulasi antara SS dan BS. Pada BS akan memberikan jumlah kapasitas kanal yaitu 64 Kbps sampai 6000 Kbps. Sedangkan untuk pengguna di sisi SS meminta layanan berupa layanan *live streaming*. Selanjutnya untuk mengetahui kualitas layanan yang diberikan oleh BS maka di sisi *user* (SS) akan menggunakan perangkat lunak yaitu *packet analyzer* Wireshark yang sudah diinstal di salah satu PC *user*. Wireshark ini digunakan untuk melihat tiga parameter nilai QoS yaitu *delay*, *throughput*, dan *packet loss*.
- 4) Membandingkan nilai simulasi dengan standar *delay* yang dikeluarkan oleh ITU-T G.114 dan standar *packet loss* yang dikeluarkan oleh TIPHON.
- 5) Melakukan perhitungan nilai *delay*, *throughput*, dan probabilitas *packet loss* yang menggunakan rumus sesuai dengan standar WiMAX IEEE 802.16d.

4.2 Pembahasan

Tahapan pembahasan yang dilakukan antara lain : konfigurasi jaringan pada WiMAX, instalasi perangkat lunak di sisi BS, instalasi perangkat lunak di sisi *user* dan simulasi menggunakan *packet analyzer* Wireshark.

4.2.1 Konfigurasi jaringan

Pada konfigurasi jaringan ini beberapa perangkat yang digunakan antara lain Redline WiMAX sebagai BS, satu PC laptop sebagai *server* yang terhubung pada BS dan empat buah laptop sebagai pengguna di sisi SS. Gambar 4.1. merupakan gambar simulasi pengambilan data.



Gambar 4.1. Simulasi Pengambilan Data

Pada Gambar 4.1. terdapat BS yang akan terhubung ke cloud/jaringan internet menggunakan kabel UTP. BS akan terhubung ke SS dengan gelombang radio, dan terdapat *switch* yang terdiri dari banyak *port* yang akan digunakan untuk menghubungkan antara SS dan *user*. *Power supply* digunakan sebagai catu daya untuk menghidupkan sistem WiMAX. Pada Gambar 4.2. merupakan gambar antenna pemancar yang terdapat disisi BS dan Gambar 4.3. merupakan antenna penerima yang terdapat di SS. Dari antenna penerima SS akan dihubungkan dengan system SS, sehingga SS dapat terhubung dengan *user*.



Gambar 4.2. Antena Pemancar pada BS



Gambar 4.3. Antena Penerima pada SS

4.2.2 Konfigurasi Perangkat pada sisi *Base Station RedMAX AN-100U*

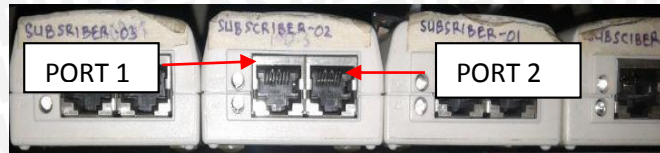
Sistem *base station* merupakan produk keluaran dari RedMAX yang memfasilitasi pengadaan cepat dari layanan-layanan yang diberikan oleh *provider*. *BS* berkerja dengan latensi sangat rendah, keandalan pengiriman data dengan sensitif *delay* tertentu, termasuk *traffic* pada *circuit-switched voice*, *VoIP*, *video* dan trafik data yang diprioritaskan serta didesain mampu dioperasikan dengan produk-produk WiMAX. Fitur dari AN – 100 U terdapat pada gambar 4.4. fitur tersebut merupakan tampilan dari depan yang terdiri dari beberapa bagian antara lain *wireless port*, *time synchronization ports*, dan *wireless LED*.



Gambar 4.4. Fitur panel depan AN-100 U

4.2.3 Konfigurasi Perangkat pada sisi *Subscriber Station*

Subscriber station merupakan berfungsi sebagai penerima data dari *base station*. Pada WiMAX IEEE 802.16d atau *Fixed WiMAX* antena SS terdapat pada masing-masing rumah pelanggan. Terdapat lima SS yang berada di Laboratorium Telekomunikasi. Sedangkan untuk penelitian ini hanya menggunakan satu SS dengan panjang 7 meter dari BS. Gambar 4.5. merupakan tampilan dari *port* SS. Pada SS terdapat dua *port*, *port* pertama digunakan untuk menghubungkan SS dengan Antena sedangkan *port* kedua untuk menghubungkan SS dengan *switch* pelanggan.



Gambar 4.5. Fitur *Switch Subscriber Station*

4.2.3.1 *Switch*

Switch adalah perangkat yang menghubungkan segmen jaringan. *Switch* yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai perangkat yang menghubungkan antara SS menuju ke PC *user* dengan media transmisi berupa kabel UTP. Pada Gambar 4.6. merupakan *switch* yang digunakan pada penelitian ini. Dalam *switch* terdiri dari banyak *port* yang sudah dikonfigurasi, sehingga dapat terhubung dengan PC *user*.



Gambar 4.6. *Switch*

4.2.3.2 Kabel UTP RJ-45

Kabel UTP yang digunakan dalam penelitian ini memiliki konfigurasi *cross*, karena digunakan untuk menghubungkan perangkat *media server* dan *switch* ke *user*. Adapun spesifikasinya ditunjukkan oleh Gambar 4.7. dan Tabel 4.1. merupakan kabel UTP RJ-45 yang digunakan pada penelitian.



Gambar 4.7. Kabel UTP RJ-45

Tabel 4.1. Spesifikasi Kabel UTP RJ-45

Spesifikasi	Keterangan
Panjang	3 meter
Impedansi Karakteristik	100 Ohm +/- 15%
Kecepatan Propagasi	0.64c
Delay Propagasi	4.8-5.3 ns/m
Kapasitansi	52pF/m
Induktansi	525nH/m
Diameter Kabel	0.51054 mm
Ketebalan Isolasi	0.245 mm
Merek	BELDEN Cat 5
Temperatur Kerja	-55°C ~ 60°C

4.2.3.3 PC pada User

PC *user* digunakan sebagai sarana meminta layanan *live streaming* dan aplikasi yang digunakan adalah *VLC Player* dan *iSpy* yang diinstal pada PC *user*. Spesifikasi minimal yang dibutuhkan untuk PC *user* ditunjukkan oleh Tabel 4.2. dan PC yang digunakan pada penelitian ini adalah PC jenis laptop seperti pada Gambar 4.7.

Tabel 4.2. Spesifikasi PC User

Spesifikasi	Keterangan
<i>Processor</i>	Intel Pentium IV <i>or higher</i>
RAM	2 GB <i>or higher</i>
VGA	Intel HD Display
NIC	Realtek Gigabit Ethernet
USB	USB 2.0

4.3 Pengambilan, Analisis dan Pengolahan Data

Penelitian ini mempunyai beberapa variabel yaitu dari kapasitas kanal yang digunakan yaitu 64 Kbps sampai 6000 Kbps. Layanan yang digunakan pada penelitian ini yaitu layanan *live streaming*, untuk jenis *live streaming* menggunakan CCTV yang terdapat pada gedung B dan C Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Ukuran video yang digunakan yaitu ukuran 640×480p. waktu pengamatan diambil pada jam renggang yakni pada pukul 18.00 WIB dan jam sibuk pada pukul 11.00 WIB. Terdapat 4 dan 16 *user*. Dari beberapa konfigurasi tersebut akan diambil data sebanyak lima kali yang kemudian hasil dari data tersebut akan di rata-rata.

Pada proses pengambilan data dilaksanakan dengan menggunakan *packet analyzer* Wireshark yang terletak pada sisi *user*. *Packet analyzer* Wireshark melewati proses *capturing*, membaca dan menganalisis aliran data yang melewati *interface user*. *Interface* pada *user* melalui jaringan kabel (*adapter* RJ-45). Proses *capture* data pada WiMAX akan berlangsung satu menit.

Setelah didapatkan data dari proses *capturing* data, data kemudian dianalisis menjadi aliran RTP. Ketika data sudah menjadi aliran RTP, maka diperoleh data sesuai dengan parameter yang dibutuhkan pada penelitian ini antara lain *delay*, *throughput*, dan *packet loss*. Sebelum pengambilan data primer dimulai terlebih dahulu mengatur besar jumlah kapasitas kanal pada BS.

4.4 Konfigurasi pada BS

Alamat IP 192.168.1.3 merupakan alamat yang digunakan untuk masuk atau mengakses BS. setelah terhubung maka beberapa langkah konfigurasi untuk mengatur kapasitas kanal dapat dilakukan antara lain,

- Konfigurasi pada *service class*

Service class berfungsi sebagai mengatur jumlah kapasitas kanal dan QoS yang digunakan. QoS dapat diatur secara otomatis sesuai dengan layanan yang diakses pengguna. Seperti pada penelitian ini menggunakan salah satu QoS yaitu *real Time Polling Service* (RTPS). Kapasitas kanal dapat diubah ubah. Gambar 4.8. untuk merubah kapasitas kanal terdapat pada *Max Sustained Rate* (bps). Maksimum kapasitas kanal yang dapat diubah pada *service class* adalah 40 Mbps. Terdapat menu *scheduling type* yang digunakan untuk merubah QoS yang

diinginkan oleh pengguna sesuai dengan layanan yang digunakan seperti layanan *live streaming*.

Service Class Configuration

Add/Modify a Service Class

Service Class Name: Service Class

Max Sustained Rate [bps]: 64000

Max Latency [ms]: 0

Sdu Size [byte]: 0

Req Tx Policy: noBroadcastBwReq(0) noPHS(4) noPiggybackReq(2) noSduPacking(5) noFragmentData(3) noCrc(6)

Traffic Priority: 0

Min Reserved Rate [bps]: 0

Fixed vs. Variable Sdu Ind: variableLength

Scheduling Type: bestEffort

Delete a Service Class (must not be used by SFs)

Service Class Name: Service Class

Service Classes

SC Name	Traffic Prio.	MaxSTR	MinRR	MaxLat	Fixed vs Var. Sdu	Sdu Size	Sched. Type	ReqTxPol
Service Class	7	6000000	0	30	variableLength	0	realTimePollingService	4

Gambar 4.8. *Service Class*

- Konfigurasi pada *service flow*
Setelah terkonfigurasi di *service class*, BS akan terhubung dengan cara mengatur sistem *upstream* dan *downstream* di *service flow*. Seperti Gambar 4.9. ketika sudah aktif terhubung tampilan dapat terlihat seperti gambar dengan SS name “DATA ELINA”, *direction* “Downstream dan Upstream”.

Service Flows Configuration

Next SFID	SS Name	Direction	SC Name	C.S Specification
3	DATA-ELINA	downstream	Service Class	802.3 Ethernet

Delete SF (all associated Classifiers will be deleted)

Service Flow Identifier: 1

Service Flows

SFID	SS Mac	SS Name	Direction	SC Name	SF State	Prov Time	C.S Specification	En/Dis
1	00:09:02:03:4c:c9	DATA-ELINA	downstream	Service Class	active	03:02:39	802.3 Ethernet	enabled
Uniquely identifies a service flow to both the subscriber station and base station								

Gambar 4.9. *Service Flow*

- *Classifiers*
Pada *classifiers* ketika jaringan sudah diatur dan aktif maka akan terlihat seperti Gambar 4.9. yang menunjukkan bahwa status sudah aktif dan dapat terhubung. Dengan SFID 1.1 status aktif dan SFID 2.1 status aktif maka BS siap mengirim data dengan keadaan system sudah aktif.

The screenshot shows a 'Classifier Configuration' window. The 'Add a Classifier' section includes fields for To SFID (1), Priority (0), DestMacAddr (00:00:00:00:00:00), SourceMacAddr (00:00:00:00:00:00), EnetProtocolType (dsap), DestMacMask (xxxxxxxx), SourceMacMask (xxxxxxxx), and EnetProtocol (0). Below this is a 'View Classifiers' section with a table:

SFID.ClsID	State	Prio.	DstMac Addr.Mask	SrcMac Addr.Mask	Enet Type/Prot	UserPri Low-High	VlanID	Ip Prot.	Tos Low-High-Mask	DstIp Addr.Mask	SrcIp Addr.Mask	DstPort Start-End	SrcPort Start-End
1.1	active	0											
2.1	active	0											

Gambar 4.10. Classifiers

- *Subscribers*

Pada *subscribers* terdapat *Max Host Number* yaitu maksimum pengguna yang akan menggunakan menggunakan WiMAX. Pada penelitian ini terdapat 16 *user* maksimum yang dapat menggunakan layanan. Pada Gambar 4.11. terdapat *subscriber name* yaitu "DATA ELINA" dengan *subscriber Mac* 00:09:02:03:4c:c9 dan *subscriber index* 1. Data merupakan data yang sudah aktif tersimpan dari *service class*. Hal ini menandakan bahwa sistem sudah aktif dan dapat digunakan

The screenshot shows a 'Subscribers Configuration' window. It includes a table with the following data:

Subscriber Index	Subscriber Mac	Subscriber Name	Max Hosts Number	Learning Enabled
2	00:09:02:00:09:01	Subscriber	1	Yes

Below the table, there is a 'Delete SS' section with a dropdown menu showing 'Subscriber' and 'DATA-ELINA'. There is also a 'Subscribers' section with a dropdown menu showing 'Select DATA-ELINA'. At the bottom, there is another table:

Subscriber Index	Subscriber Mac	Subscriber Name	Max Hosts Number	Learning Enabled
1	00:09:02:03:4c:c9	DATA-ELINA	16	notLearning

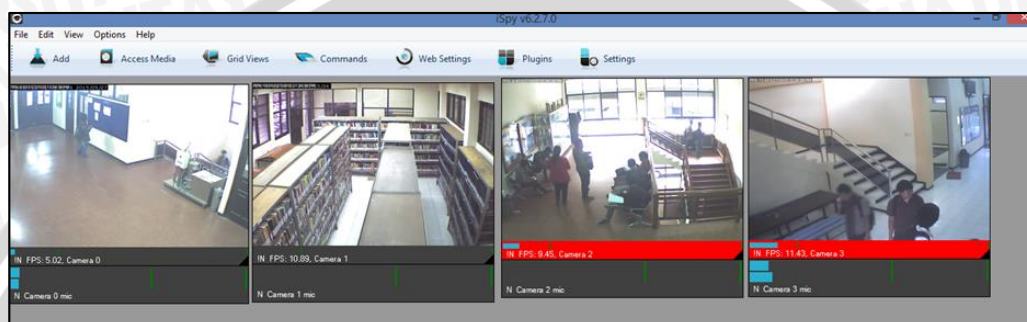
Gambar 4.11. Subscribers

4.5 Hasil Simulasi dan Perhitungan Teoritis

Pada pengambilan data ini akan menampilkan hasil simulasi penggunaan layanan *live streaming* dengan memberikan beberapa variasi nilai kapasitas kanal serta menampilkan nilai dari masing-masing parameter antara lain *delay*, *throughput*, dan *packet loss* berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *network analyzer* Wireshrak. Sedangkan untuk perhitungan teoritis akan menggunakan rumus sesuai dengan standar WiMAX IEEE 802.16d.

4.5.1 Hasil Melalui Simulasi

Pada penelitian ini layanan yang digunakan adalah layanan *live streaming* CCTV. Layanan *live streaming* merupakan salah satu aplikasi dari QoS varian RTPS. RTPS menawarkan batas maximum *delay* atau *latency* yaitu <65 ms. Pada skenario ini *user* akan meminta layanan *live streaming* dan sisi BS akan memberikan besar jumlah kapasitas kanal. Pada Gambar 4.12 merupakan hasil simulasi pengambilan data dengan meminta layanan *live streaming* disisi *user*.



Gambar 4.12. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap Layanan *Live Streaming*

Pada simulasi, besar kapasitas kanal yang digunakan sebesar 6 Mbps dengan ukuran video 640×480p. Gambar menunjukkan hasil video yang *real* atau sesuai dengan keadaan di tempat-tempat tersebut. Sedangkan untuk kapasitas kanal yang kecil gambar tampak sangat tidak jelas dan terjadi *buffering* pada proses meminta layanan di sisi *user*. Hal ini tentunya menunjukkan semakin besar jumlah kapasitas kanal yang diberikan maka kualitas suatu jaringan akan sangat baik.

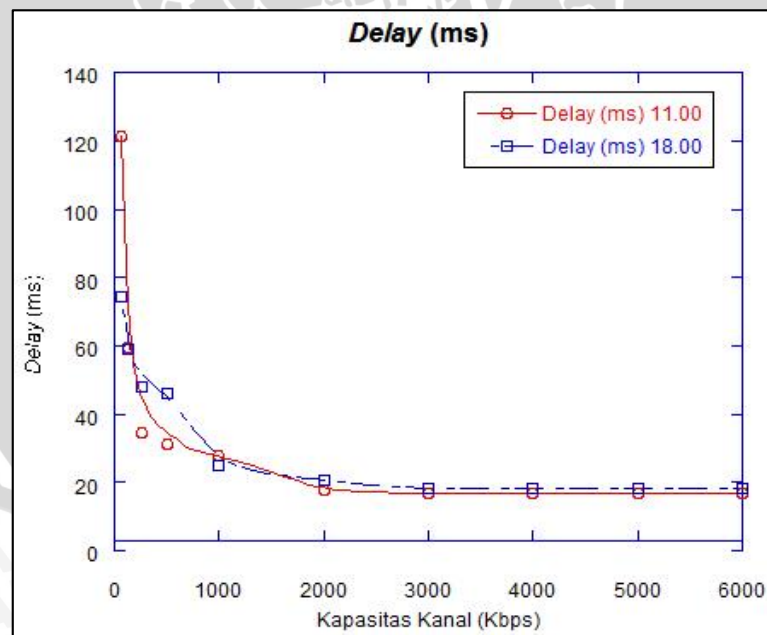
4.5.1.1 Delay

Delay menunjukkan waktu tunda yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari BS ke SS. Tabel 4.3. dan Gambar 4.13. merupakan hasil pengamatan pengaruh kapasitas kanal terhadap *delay* dengan layanan *live streaming* dengan 4 *user* di sisi SS sedangkan untuk Tabel 4.4. dan Gambar 4.14. merupakan hasil pengamatan pengaruh kapasitas kanal terhadap *delay* dengan menggunakan 16 *user*. Keduanya sama-sama menggunakan ukuran video 640×480p dengan pengambilan data dua kali yaitu pada jam sibuk pukul 11.00 WIB dan jam renggang yaitu pukul 18.00 WIB.

Tabel 4.3. Delay Dengan 4 User

KAPASITAS KANAL (Kbps)	DELAY (ms) 11.00	DELAY (ms) 18.00
64	121,16	96,94
128	59,6	74,3
256	34,37	48,27
512	31,17	45,95
1000	27,95	25,12
2000	17,91	17,68
3000	16,8	18,14
4000	16,79	18,03
5000	16,9	18,08
6000	16,9	18,13

Kemudian jika Tabel 4.3. direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *delay* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.13

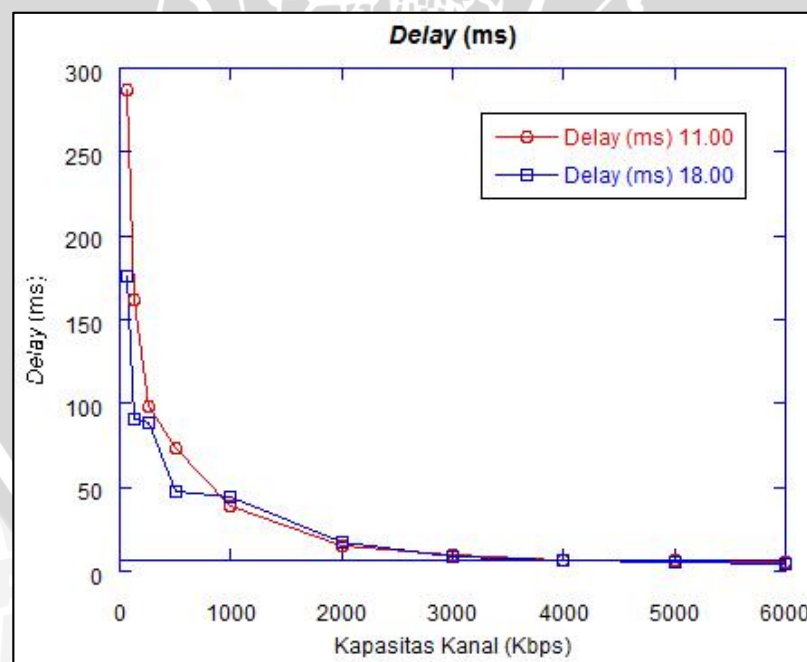


Gambar 4.13. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap Delay

Tabel 4.4. Delay Dengan 16 User

KAPASITAS KANAL (Kbps)	DELAY (ms) 11.00	DELAY (ms) 18.00
64	287,63	176,47
128	161,79	90,44
256	98,21	89,01
512	73,32	47,39
1000	38,58	44,14
2000	14,84	17,35
3000	9,82	8,78
4000	6,24	6,71
5000	6,12	5,46
6000	5,31	4,6

Kemudian jika Tabel 4.4. direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *delay* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Delay*

Pada hasil simulasi menggunakan Wireshark, dapat dianalisis bahwa :

1. Hasil *delay* dengan nilai <150 ms ditunjukkan dengan Tabel 4.3 Gambar 4.13. dengan 4 *user*, nilai *delay* mencapai nilai 121,16 ms pada saat kapasitas kanal 64 Kbps dengan pengambilan data pada jam sibuk, hal ini dipengaruhi juga dengan nilai kapasitas kanal yang sangat kecil sehingga menyebabkan *delay* atau keterlambatan suatu pengiriman data terjadi. Tetapi nilai yang dihasilkan masih tergolong kategori baik menurut ITU-T G.114, 2011 dengan nilai 0-150 ms.
2. Untuk pengambilan data dengan 16 *user* hasil *delay* paling besar mencapai 287,63 ms dengan kapasitas kanal 64 Kbps dan 161,79 dengan kapasitas kanal 128 Kbps pada saat pengambilan data di jam sibuk. Besarnya nilai *delay* terjadi karena kecilnya jumlah kapasitas kanal yang diberikan dengan beban 16 *user* pada kondisi jam sibuk dengan banyaknya *noise* yang terjadi pada saat pengambilan data. Tentunya *delay* ini tergolong buruk dengan nilai >150 ms. Dari kedua tabel dan gambar nilai *delay* relatif stabil dengan keadaan semakin besar kapasitas kanal maka *delay* atau keterlambatan pengiriman data semakin kecil.

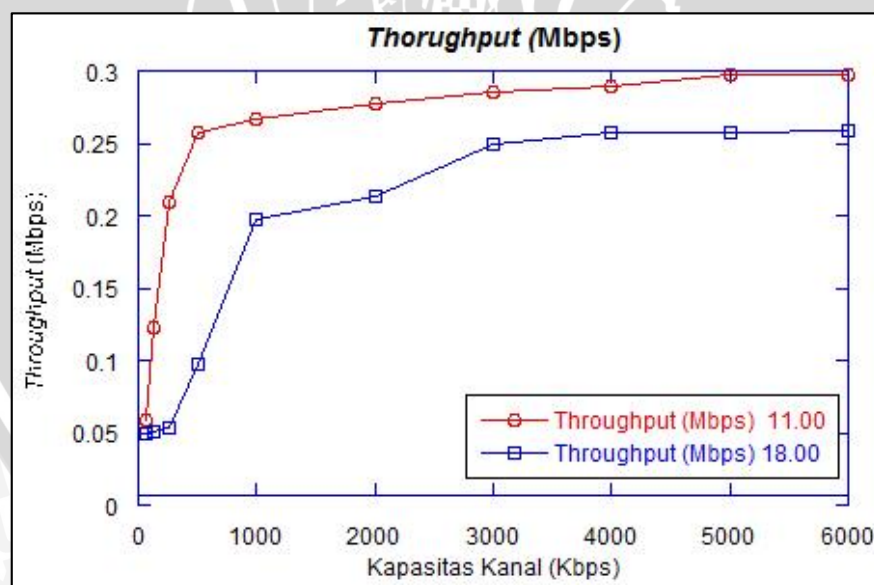
4.5.1.2 Throughput

Throughput menunjukkan kecepatan penerimaan paket data yang diterima pengguna dengan keadaan benar terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber data pengirim ke penerima. *Throughput* memiliki satuan *byte*/detik. Hasil pengamatan pengaruh kapasitas kanal terhadap *throughput* pada penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.5 dan Gambar 4.15. dengan menggunakan 4 *user* di sisi SS sedangkan untuk 16 *user* hasil ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.16. dengan menggunakan ukuran video 640×480p untuk pengambilan data dilakukan pada jam renggang dan jam sibuk yaitu pukul 11.00 WIB dan 18.00 WIB.

Tabel 4.5. *Throughput* Dengan 4 User

KAPASITAS KANAL (Kbps)	<i>THROUGHPUT</i> (Mbps)	<i>THROUGHPUT</i> (Mbps)
	11.00	18.00
64	0,059	0,05
128	0,123	0,051
256	0,21	0,054
512	0,257	0,098
1000	0,267	0,197
2000	0,277	0,213
3000	0,285	0,25
4000	0,289	0,257
5000	0,297	0,257
6000	0,297	0,259

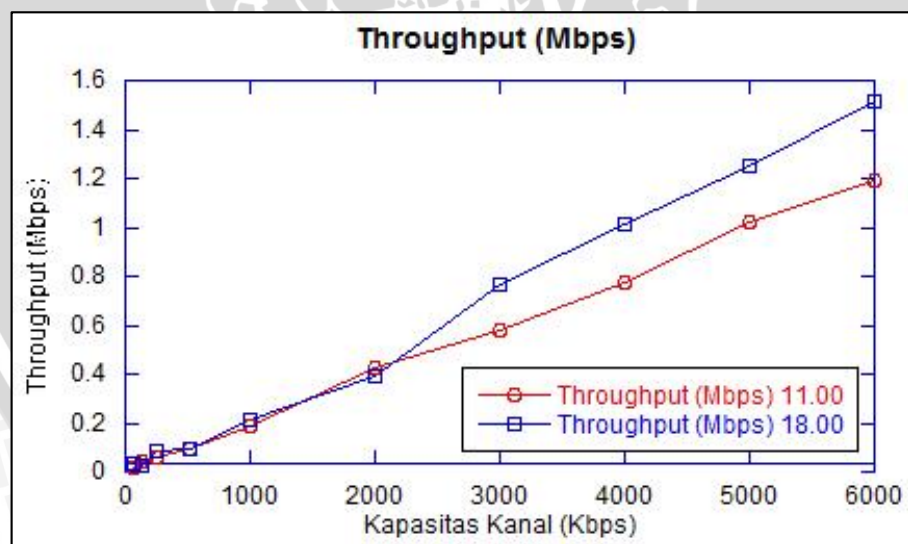
Kemudian jika Tabel 4.5 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *throughput* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Gambar 4.15. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Throughput*

Tabel 4.6. *Throughput* Dengan 16 *User*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	<i>THROUGHPUT</i> (Mbps) 11.00	<i>THROUGHPUT</i> (Mbps) 18.00
64	0,015	0,036
128	0,044	0,055
256	0,061	0,087
512	0,096	0,727
1000	0,185	0,736
2000	0,425	0,892
3000	0,577	0,968
4000	0,778	1,014
5000	1,023	1,248
6000	1,189	1,519

Kemudian jika Tabel 4.6 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *throughput* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.16.

**Gambar 4.16.** Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Throughput*

Pada hasil simulasi menggunakan Wireshark, dapat dianalisis bahwa nilai *throughput* yang diperoleh relatif stabil. Nilai *throughput* paling besar terjadi pada saat jumlah kapasitas kanal semakin besar, seperti pada 4 *user* didapatkan nilai terbesar yaitu 0,297 Mbps, sedangkan untuk 16 *user* yaitu sebesar 1,189 Mbps. Hal ini menunjukkan

nilai yang baik dengan keadaan semakin besar kapasitas kanal yang diberikan maka nilai *throughput* juga semakin besar, sehingga kecepatan penerimaan paket data yang diterima pengguna dengan keadaan benar terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber semakin cepat.

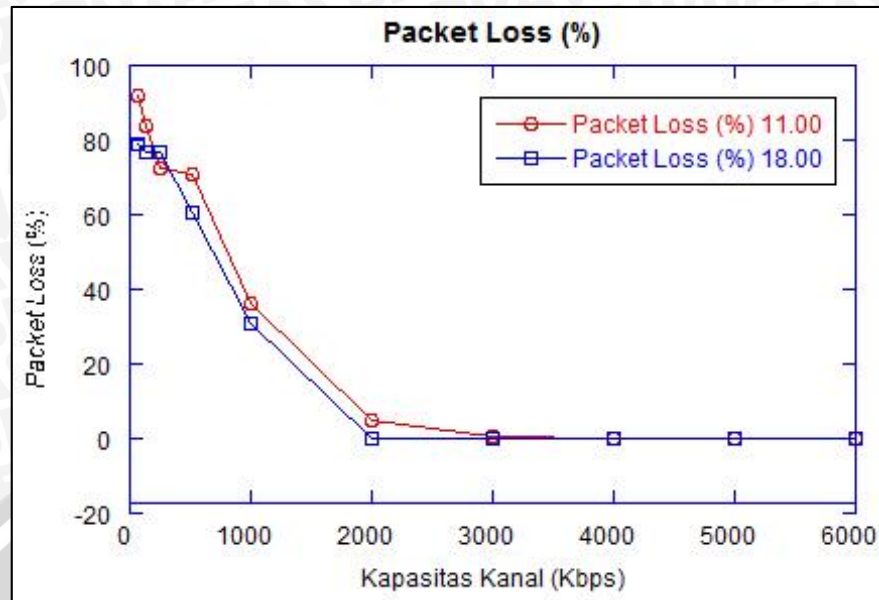
4.5.1.3 Packet loss

Packet Loss pada penelitian menunjukkan nilai rasio dalam persen paket yang hilang dengan jumlah paket keseluruhan yang dikirimkan dari BS ke SS. Hasil pengamatan pengaruh kapasitas kanal terhadap *packet loss* pada penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.7. dan Gambar 4.17. dengan menggunakan 4 *user* di sisi SS sedangkan untuk 16 *user* hasil ditunjukkan pada Tabel 4.8. dan Gambar 4.18. dengan menggunakan ukuran video 640×480p untuk pengambilan data dilakukan pada jam renggang dan jam sibuk yaitu pukul 11.00 WIB dan 18.00 WIB.

Tabel 4.7. *Packet Loss* Dengan 4 *User*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	PACKET LOSS (%)	
	11.00	18.00
64	91,96	78,76
128	84,02	76,56
256	72,68	75,9
512	70,68	60,62
1000	36,02	30,82
2000	4,76	0,02
3000	0,4	0
4000	0	0
5000	0	0
6000	0	0

Kemudian jika Tabel 4.7 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *packet loss* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.17.

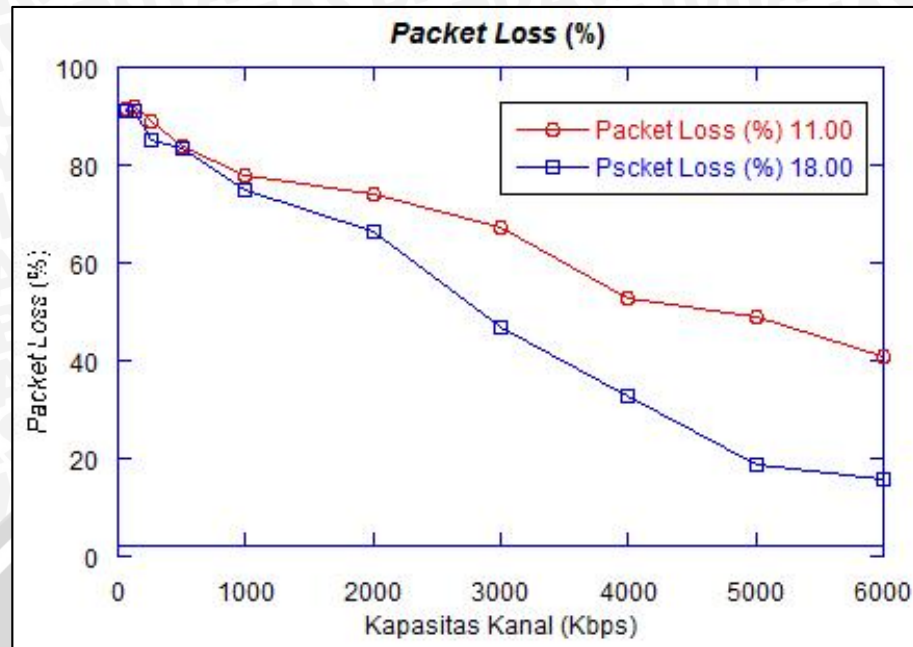


Gambar 4.17. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Packet Loss*

Tabel 4.8. *Packet Loss* Dengan 16 User

KAPASITAS KANAL (Kbps)	PACKET LOSS (%)	
	11.00	18.00
64	91,42	91,2
128	91,8	90,96
256	88,98	84,98
512	84	83,5
1000	78	74,9
2000	74,04	66,48
3000	67,32	46,68
4000	52,7	32,98
5000	48,84	18,8
6000	40,94	15,66

Kemudian jika Tabel 4.8 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *packet loss* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Packet Loss*

Pada hasil simulasi menggunakan Wireshark, dapat dianalisis bahwa :

1. Hasil data yang diperoleh pada Tabel 4.7 4 user nilai *packet loss* dengan kapasitas kanal < 2000 Kbps menunjukkan nilai yang sangat buruk menurut standar TIPHON yaitu dengan nilai > 25 % tetapi pada saat kapasitas kanal > 2000 Kbps nilai tergolong kategori baik yaitu dengan nilai 0 – 3 %.
2. Nilai *packet loss* pada jam sibuk dengan kapasitas kanal sebesar 64 Kbps menunjukkan nilai yang cukup besar, hal ini salah satu dipengaruhi oleh keadaan sistem jaringan pada saat pengambilan data dengan banyaknya pengguna jaringan internet diluar penelitian ini.
3. Pada Tabel 4.8 dengan 16 user nilai tergolong kategori buruk yaitu > 25 % nilai *packet loss* semakin kecil ketika keadaan waktu pengambilan data pada jam renggang yaitu 15,66 %. Hal ini menunjukkan besarnya paket data yang hilang atau gagal ditransmisikan dari BS menuju SS.

4.5.2 Hasil Melalui Perhitungan Teoritis

Pada bagian ini ditampilkan nilai dari masing-masing parameter *delay end-to-end*, *throughput*, dan probabilitas *packet loss* melalui perhitungan teoritis dengan literatur yang sesuai dengan standar WiMAX IEEE 802.16d.

4.5.2.1 Spesifikasi *Live Streaming*

- a. Menggunakan jenis CODEC:
 - Audio *codec* menggunakan AMR-WB+ dengan data rate sebesar 5,2 kbps – 48 kbps, *delay codec* sebesar 20-40 ms
 - Video *codec* menggunakan H.264/AVC dengan data rate sebesar 64 kbps – 384 kbps dengan *delay codec* sebesar 150-300 ms
- b. Panjang *header* RTP = 12 byte
- c. Panjang *header* UDP = 8 byte
- d. Panjang *header* IP = 20 byte

Aplikasi *live streaming* menggunakan jenis *CODEC* H.264 untuk video dengan *bit rate CODEC* antara 64 – 384 kbps dan AMR-WB+ untuk audio dengan *bit rate CODEC* antara 5,2 – 48 kbps dengan *frame rate* 33 ms. Sehingga besar *payload* aplikasi *live streaming* dapat diperoleh sebagai berikut:

- Paket video

$$filesize_{video} = \frac{384 \times 10^3 \times 30 \times 60}{8} = 86400000 \text{ byte}$$

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami kompresi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan (2.19):

$$filesize_{compressedvideo} = 86400000 \times \frac{1}{80} = 1440000 \text{ byte}$$

- Paket audio

Besarnya paket audio pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{audio} = \frac{48 \times 10^3 \times 30 \times 60}{8} = 10800000 \text{ byte}$$

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami komposisi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan (2.21):

$$filesize_{compressedaudio} = 10800000 \times \frac{1}{60} = 135000 \text{ byte}$$

$$filesize_{livestreaming} = 1440000 + 135000 = 1575000 \text{ byte}$$

Pada skripsi ini, standard protokol yang digunakan adalah Ethernet dengan MTU (*Maximum Transfer Unit*) *Ethernet* sebesar 1500 byte (RFC 895). Oleh karena itu, besar tiap paket data *live streaming* tidak boleh melebihi MTU sebesar 1500 byte.

$$N_{frame} = \frac{1575000}{1500} = 1050$$

Besarnya data *live streaming* setelah mengalami penambahan *header* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{frametotal} = W_{data} + (N_{frame} \times header)$$

$$W_{frametotal} = 1575000 + (1050 \times 64 \text{ byte}) = 1642200 \text{ byte}$$

$$N_{paket} = \frac{1642200}{1500} = 1095$$

$$1 \text{ paket} = 1436 \text{ payload live streaming} + 64 \text{ header} = 1500 \text{ byte}$$

- Analisis *Delay CODEC*

Delay CODEC pada audio AMR-WB+ sebesar 20 ms dan *delay CODEC* pada video H.246 sebesar 150 ms, sehingga *delay CODEC* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$t_{codec} = 2(t_a + t_v)$$

$$t_{codec} = 2(20 \text{ ms} + 150 \text{ ms}) = 0,34 \text{ s}$$

4.5.2.2 *Delay End-to-End*

$$t_{end \text{ to end}} = t_{codec} + t_{MAN}$$

- Analisis *Delay MAN*

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w$$

- 1) *Delay Proses* (t_{proses})

$$t_{enc1} = \frac{W_{frame \text{ total}} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^8} \times 8$$

$$= 5,12 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{enc2} = \frac{W_{frame \text{ total}} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{64 \times 10^3} \times 8$$

$$= 8 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$t_{dec1} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{64 \times 10^3} \times 8$$

$$= 8 \times 10^{-3} s$$

$$t_{dec2} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^8} \times 8$$

$$= 5,12 \times 10^{-6} s$$

Sehingga didapatkan *delay* proses adalah persamaan sebagai berikut :

$$t_{proses} = t_{enc} + t_{dec}$$

$$t_{proses} = t_{enc1} + t_{enc2} + t_{dec1} + t_{dec2}$$

$$t_{proses} = 5,12 \times 10^{-6} s + 8 \times 10^{-3} s + 8 \times 10^{-3} s + 5,12 \times 10^{-6} s$$

$$t_{proses} = 0,01601 s$$

Tabel 4.9. berikut merupakan hasil nilai *delay* proses pada masing-masing kapasitas kanal.

Tabel 4.9. *Delay* Proses

KAPASITAS KANAL (Kbps)	<i>Delay</i> Proses (s)
64	0.01601
128	$8,01024 \times 10^{-3}$
256	$4,01024 \times 10^{-3}$
512	$2,10102 \times 10^{-3}$
1000	$1,03424 \times 10^{-3}$
2000	$5,2224 \times 10^{-4}$
3000	$3,5156 \times 10^{-4}$
4000	$2,6624 \times 10^{-4}$
5000	$2,1504 \times 10^{-4}$
6000	$1,809 \times 10^{-4}$

2) *Delay* Propagasi (t_{prop})

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{7}{3 \times 10^8} = 2,33 \times 10^{-8} s$$

Tabel 4.10. berikut merupakan hasil nilai *delay* propagasi pada masing-masing kapasitas kanal.

Tabel 4.10. *Delay Propagasi*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	<i>Delay Propagasi</i> (s)
64	$2,33 \times 10^{-8}$
128	$2,33 \times 10^{-8}$
256	$2,33 \times 10^{-8}$
512	$2,33 \times 10^{-8}$
1000	$2,33 \times 10^{-8}$
2000	$2,33 \times 10^{-8}$
3000	$2,33 \times 10^{-8}$
4000	$2,33 \times 10^{-8}$
5000	$2,33 \times 10^{-8}$
6000	$2,33 \times 10^{-8}$

3) *Delay Transmisi* (t_{trans})

$$t_{trans} = \frac{w}{C} \times 8 = \frac{1500 \text{ byte}}{64 \times 10^3 \text{ bps}} \times 8 = 0,1875s$$

Tabel 4.11. berikut merupakan hasil nilai *delay transmisi* pada masing-masing kapasitas kanal.

Tabel 4.11. *Delay Transmisi*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	<i>Delay Transmisi</i> (s)
64	0,1875
128	0,09375
256	0,04687
512	0,02343
1000	0,012
2000	6×10^3
3000	4×10^3
4000	3×10^3
5000	$2,4 \times 10^3$
6000	2×10^3

4) *Delay Antrean* (t_w)

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{64 \times 10^3}{1500 \times 8} = 5,33 \text{ paket/s}$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 untuk 4 *user* dan 0,9 untuk 16 *user* adalah:

$$\lambda_w = \mu \rho = 5,33 \times 0,1 = 0,533$$

Sehingga besarnya *delay antrean* adalah

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{0,533}{5,33(5,33 - 0,533)} + \frac{1}{5,33} \\ = 0,396 \text{ s}$$

Tabel 4.12. berikut merupakan hasil nilai *delay antrean* pada masing-masing kapasitas kanal dengan perbandingan 4 *user* dan 16 *user* menggunakan faktor utilitas 0,1 dan 0,9.

Tabel 4.12. *Delay Antrean*

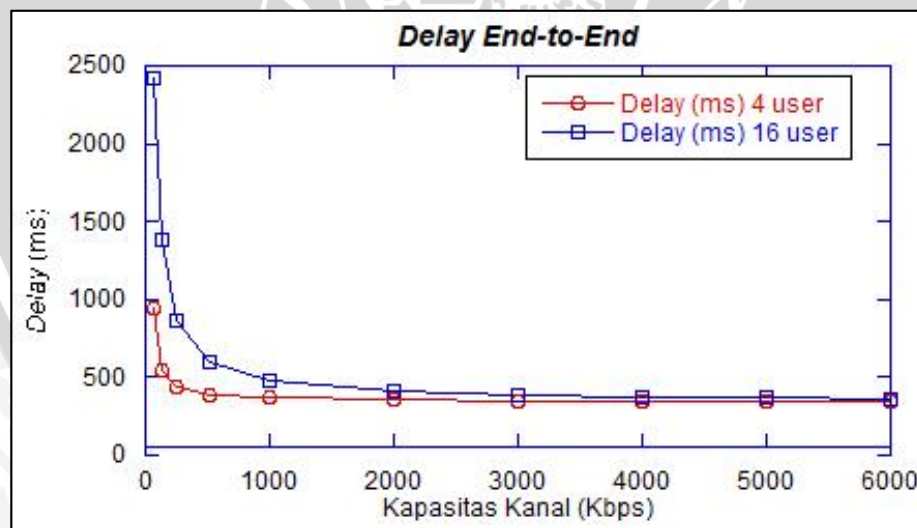
KAPASITAS KANAL (Kbps)	DELAY ANTREAN (s)	
	Utilitas 0,1	Utilitas 0,9
64	0,3961	1,8761
128	0,1042	0,9380
256	0,0520	0,4688
512	0,0201	0,2344
1000	0,0133	0,1200
2000	$6,67 \times 10^3$	0,0599
3000	$4,44 \times 10^3$	0,04
4000	$3,33 \times 10^3$	0,0300
5000	$2,66 \times 10^3$	0,0240
6000	$2,22 \times 10^3$	0,02

Dari data hasil perhitungan *delay proses*, *delay propagasi*, *delay transmisi* dan *delay antrean* maka didapatkan hasil *delay end to end* seperti pada Tabel 4.12. berikut :

Tabel 4.13. *Delay End-to-End*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	<i>DELAY End-to-End</i> (ms)	
	4 User	16 User
64	939,61	2419,61
128	546,98	1379,76
256	442,88	859,68
512	385,57	599,93
1000	366,33	473,03
2000	353,19	406,42
3000	348,79	384,35
4000	346,59	373,26
5000	345,27	366,61
6000	344,40	362,18

Kemudian jika Tabel 4.13. direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *delay delay end to end* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.19.

Gambar 4.19. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Delay End-to-End*

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dianalisis bahwa :

1. *Delay end to end* pada WiMAX IEEE 802.16d dipengaruhi oleh *delay CODEC* dan *delay jaringan* WiMAX.
2. *Delay jaringan* dalam perhitungan di atas meliputi *delay proses* yang dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan pada pengirim dan penerima, *delay*

transmisi yang dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan di setiap node, *delay* propagasi yang dipengaruhi jarak antar node dan media propagasi yang digunakan, serta *delay* antrean yang dipengaruhi oleh faktor utilitas pada jaringan. Faktor utilitas pada penelitian ini menggunakan dua faktor dengan nilai 0,1 yang diasumsikan sebagai keadaan jam renggan dan 0,9 yang diasumsikan pada keadaan jam sibuk dengan menggunakan 16 *user*.

3. *Delay end to end* juga dipengaruhi oleh besar kapasitas kanal yang diberikan oleh BS. semakin besar jumlah kapasitas kanal maka nilai *delay* semakin kecil sehingga waktu keterlambatan pengiriman data dari BS menuju SS relatif kecil.

4.5.2.3 Throughput

Throughput dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.13), yaitu :

$$\lambda = \frac{(1 - \rho)}{t_{trans}[1 + (\alpha - 1)\rho]}$$

$$\alpha = 1 + \frac{2t_{prop} + 2t_1}{t_1}$$

$$\alpha = 3 + \frac{2t_{prop}}{t_1}; \text{ dimana } t_1 = \frac{L}{C_{kanal}}$$

Sehingga didapatkan:

$$L = \text{filesize}_{\text{livestreaming}} = 1575 \times 10^3$$

$$C_{kanal} = 64 \times 10^3$$

$$\rho = \rho_{\text{live streaming}} = P_{\text{va live streaming}} \times \rho_b$$

$$\rho_{\text{live streaming}} = 1500 \times 10^{-8}$$

$$\rho_{\text{live streaming}} = 1,5 \times 10^{-5}$$

$$t_1 = \frac{1575 \times 10^3 \times 8}{64 \times 10^3} = 196,8$$

$$\alpha = 3 + \frac{2 \times 2,33 \times 10^{-8}}{196,8} = 3$$

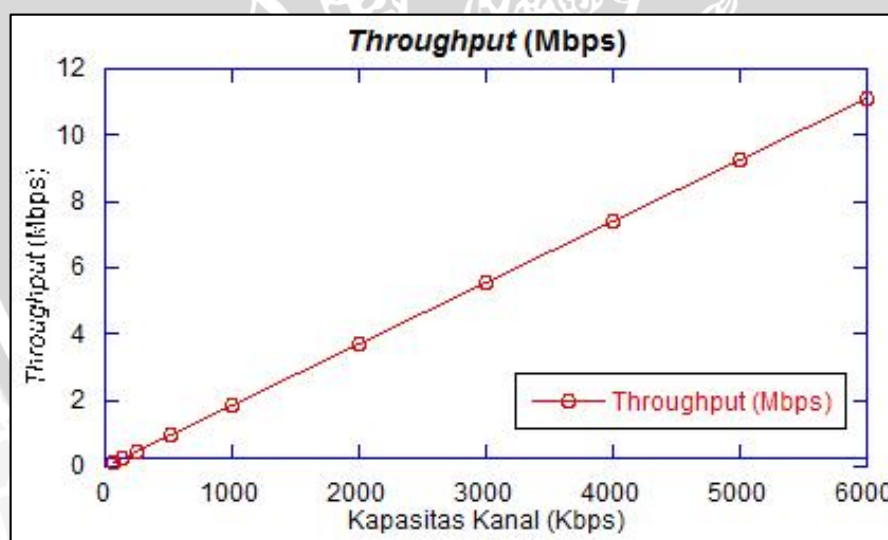
$$\lambda = \frac{(1 - 1,5 \times 10^{-5})}{0,1875[1 + (3 - 1)1,5 \times 10^{-5}]} = 118400 \text{ bps} = 0,1184 \text{ Mbps}$$

Dari perhitungan, maka didapatkan nilai *throughput* pada Tabel 4.13. untuk masing-masing kapasitas kanal yaitu

Tabel 4.14. *Throughput*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	THROUGHPUT (Mbps)
64	0,1184
128	0,2368
256	0,4736
512	0,9472
1000	1,85
2000	3,7
3000	5,55
4000	7,4
5000	9,25
6000	11,1

Kemudian jika Tabel 4.14. direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan *throughput* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.20.

Gambar 4.20. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Throughput*

Dari perhitungan *throughput* di atas, dapat dianalisis bahwa :

1. *Throughput* dipengaruhi oleh *delay* transmisi dan *delay* propagasi WiMAX IEEE 802.16d.
2. Semakin besar nilai kapasitas kanal maka nilai *throughput* semakin besar, hal ini mempengaruhi kecepatan WiMAX dalam pengiriman data.

4.5.2.4 Probabilitas *Packet Loss*

Mencari nilai *payload audio* dan *payload video* melalui persamaan (2.19) dan (2.21) dengan kapasitas kanal sebesar $64 \cdot 10^3$ bps yaitu :

$$\begin{aligned} P_{LA} &= B_{\text{CODEC}} \times \text{frame rate} \\ &= (64 \cdot 10^3 \text{ bps}) \times (33 \cdot 10^3) = 2112 \text{ bit} \\ &= 2112/8 = 264 \text{ byte} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{LV} &= B_{\text{CODEC}} \times \text{frame rate} \\ &= (384 \cdot 10^3 \text{ bps}) \times (33 \cdot 10^3) = 12672 \text{ bit} \\ &= 12672/8 = 1584 \text{ byte} \end{aligned}$$

Mencari nilai probabilitas *payload* pada layanan *live streaming*.

$$\begin{aligned} \rho &= P_{\text{size}} \cdot \rho_b \\ &= (40 + 1848) \times 8 \times (10^{-7}) \\ &= 1,5104 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui probabilitas *packet loss* pada WiMAX, dapat ditentukan oleh tipe modulasi yang digunakan. Pada penelitian ini, modulasi yang digunakan adalah modulasi 64-QAM mempunyai 6 bit untuk tiap symbol maka jumlah $n=64$ dengan bandwidth kanal (B_w)= $3,75$ MHz maka nilai bit ratenya.

$$\begin{aligned} R &= B_w \text{ kanal} \times \log_2 n \\ R &= (3,75 \times 10^6) \times \log_2 64 \\ R &= 22,5 \times 10^6 \text{ bps} = 22,5 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Nilai probabilitas packet loss dapat dicari dengan persamaan :

$$\rho_{\text{tot}} = 1 - [(1 - \rho_{\text{net}})(1 - \rho_{\text{vid}})]$$

Dengan ρ_{net} merupakan probabilitas bit eror pada WiMAX dan ρ_{vid} adalah probabilitas *payload* layanan *live streaming* dengan nilai $1,5104 \times 10^{-3}$, maka ρ_{net} dapat dicari dengan persamaan :

$$P_{\text{network}} = \frac{e^{-\frac{E_b}{N_o}}}{2 \sqrt{\pi \left(\frac{E_b}{N_o}\right)}}$$

Untuk mencari nilai $\frac{E_b}{N_o}$ maka terlebih dahulumencairi nilai N_o dan P_r . N_o merupakan noise level pada WiMAX dengan nilai $-101,1$ dBm atau $7,76 \times 10^{-11}$ dBW dan nilai P_r merupakan

daya tita yang didapat oleh penerima sebesar $2,65 \times 10^{-5}$ dBm. Untuk mendapatkan nilai $\frac{Eb}{No}$ maka perlu dicari nilai SNR dengan menggunakan persamaan :

$$SNR = 10 \text{ Log } \frac{P_r}{N_0}$$

$$SNR = 10 \text{ Log } \frac{7,76 \times 10^{-11}}{2,65 \times 10^{-5}}$$

$$SNR = 55,3\text{dB}$$

E_b/N_0 dengan panjang jarak BS ke *user* 7 m dan *bandwidth* 10 MHz. R adalah *bit rate* dengan nilai 22,5 Mbps, sehingga SNR dapat dihitung dengan persamaan:

$$\frac{Eb}{No} = SNR - 10 \log \frac{B}{R}$$

$$\frac{Eb}{No} = 55,3 - 10 \log \frac{10 \times 10^6}{22,5 \times 10^6}$$

$$\frac{Eb}{No} = 58,82 \text{ dB}$$

Sehingga probabilitas *packet loss* pada layanan *live streaming* pada WiMAX dengan modulasi 64-QAM dengan kapasitas kanal 64 Kbps dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{tot}} &= 1 - [(1 - \rho_{\text{net}})(1 - \rho_{\text{vid}})] \\ &= 1 - [(1 - 0,0846) (1 - 1,5104 \times 10^{-3})] \\ &= 0,0859 \end{aligned}$$

Dan nilai prosentase *packet loss* yang didapat adalah sebagai berikut:

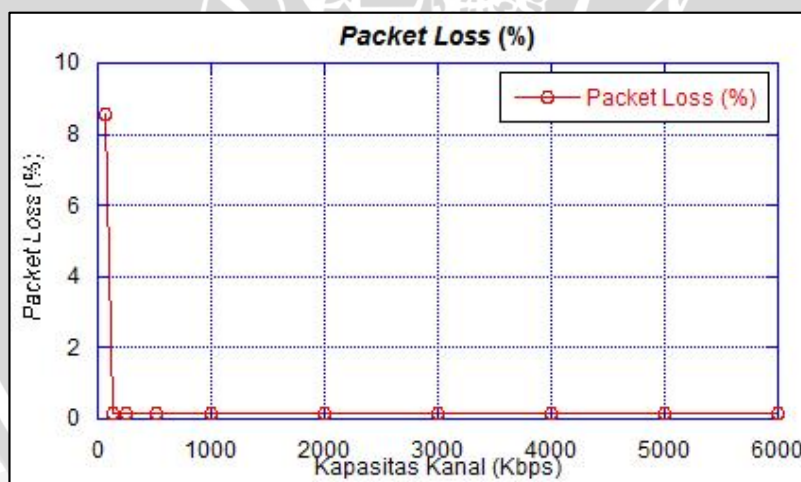
$$\begin{aligned} \rho_{\text{tot}}(\%) &= \rho_{\text{tot}} \times 100 \% \\ &= 0,0859 \times 100 \% \\ &= 8,59 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan, maka didapatkan nilai *packet loss* pada Tabel 4.14. untuk masing-masing kapasitas kanal yaitu :

Tabel 4.15. Probabilitas *Packet loss*

KAPASITAS KANAL (Kbps)	PACKET LOSS (%)
64	8,59
128	0,17
256	0,15
512	0,15
1000	0,15
2000	0,15
3000	0,15
4000	0,15
5000	0,15
6000	0,15

Kemudian jika Tabel 4.15. direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara besar kapasitas kanal dengan probabilitas *packet loss* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 4.21.

Gambar 4.21. Pengaruh Kapasitas Kanal Terhadap *Packet Loss*

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dianalisis bahwa :

1. *Packet loss* pada perhitungan didapatkan nilai dengan pengaruh kapasitas kanal yaitu semakin besar kapasitas kanal maka *Packet loss* semakin kecil. Hal ini juga dipengaruhi nilai SNR, dan Eb/No.
2. Pada hasil perhitungan *packet loss* didapatkan nilai kategori bagus menurut standar TIPHON yaitu dengan standar 0-3 %

4.6 Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Teoritis

Dari hasil simulasi dan perhitungan didapatkan perbandingan nilai yaitu :

1. Pada analisis simulasi *delay* menggunakan *packet analyzer* Wireshark didapatkan nilai yang relatif sedikit dengan 4 *user* didapatkan nilai <150 ms. Sedangkan untuk 16 *user* didapatkan nilai >150 ms yaitu pada kapasitas kanal 64 Kbps dengan pengambilan data di jam sibuk dengan nilai 287,63 dan jam renggang dengan nilai 176,47 serta untuk kapasitas kanal sebesar 161,79 dengan pengambilan data di jam sibuk. sedangkan untuk hasil perhitungan *delay end-to-end* didapatkan nilai >150 ms untuk semua variasi kapasitas kanal. hal ini dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan pada pengirim dan penerima, *delay* transmisi yang dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan di setiap node, sedangkan untuk *delay* propagasi faktor yang mempengaruhi adalah jarak antar node dan media propagasi yang digunakan. Sehingga dari perbandingan tersebut nilai untuk data simulasi tergolong kategori bagus menurut standar ITU-T G.114. 2011 yakni <150 ms, sedangkan untuk perhitungan didapatkan nilai >150 ms yang tergolong kategori buruk.
2. Pada analisis simulasi *throughput* menggunakan *packet analyzer* Wireshark dan perhitungan didapatkan nilai yang stabil, dengan semakin besar kapasitas kanal maka *throughput* semakin besar. Sedangkan untuk perhitungan factor yang mempengaruhi antara lain *delay* propagasi dan *delay* transmisi. Hal ini tentunya berpengaruh pada penerimaan *packet* data, dengan nilai *throughput* yang besar maka kecepatan pengiriman dan penerimaan data semakin cepat.
3. Pada analisis simulasi *Packet loss* menggunakan *packet analyzer* Wireshark didapatkan nilai yang berkategori buruk menurut TIPHON dengan nilai >25 % pada kapasitas kanal sebesar 64 sampai 1000 Kbps dengan 4 *user*, sedangkan untuk 16 *user* didapatkan nilai >15 % untuk semua kapasitas kanal. Hal ini dipengaruhi oleh sistem WiMAX dan PC yang digunakan pada pengambilan data. Untuk pada perhitungan probabilitas *packet loss* didapatkan nilai berkategori baik dengan nilai 0-3 %, nilai ini dipengaruhi oleh nilai SNR dan Eb/No.