

**PERFORMANSI TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
PADA JARINGAN WIRELESS LAN**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh:

PANDE MADE ASWIN ISMAYA YASA

0001060363-63

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2007**

**PERFORMANSI TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
PADA JARINGAN WIRELESS LAN**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh:

PANDE MADE ASWIN ISMAYA YASA

0001060363-63

DOSEN PEMBIMBING :

Rusmi Ambarwati, ST, MT.

NIP : 132 258 188

Ir. Sugiri

NIP : 130 890 044

**PERFORMANSI TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
PADA JARINGAN WIRELESS LAN**

Disusun oleh:

PANDE MADE ASWIN ISMAYA YASA

0001060363-63

*Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal
10 Agustus 2007*

DOSEN PENGUJI :

Erfan Ahmad Dahlan, Ir.
NIP. 131 124 663

Endah Budi Purnomowati, Ir., MT.
NIP. 131 839 362

Rudy Yuwono, ST., MSc
NIP. 132 206 465

Ali Mustofa, ST., MT.
NIP. 132 258 187

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 131 879 033

A Note Of My Own

*Hold Your Head High
Stick Your Cheast Out
For All Hope And Dreams That's Been
Fullfiled
Regardless*



November 2007

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat TUHAN Y. M. E. karena hanya atas ijin-Nya semata sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“PERFORMANSI TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL PADA JARINGAN WIRELESS LAN”** dengan lancar dan baik.

Penyusunan skripsi ini diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, dan merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa jurusan Teknik Elektro di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M. Kom. selaku Ketua Jurusan dan Bapak Rudy Yuwono, ST. M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ir. Wahyu Adi Priyono, MS selaku KKDK Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Ibu Rusmi Ambarwati, ST. MT. dan Bapak Ir. Sugiri selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran, motivasi, serta pengarahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro
5. Kedua orang tuaku tercinta, Mbok Eka, Bli Nyoman dan GD Golden terima kasih atas do'a, kasih sayang, perhatian serta dorongan yang telah kalian berikan padaku.
6. Teman-teman seperjuanganku dalam menggapai pintu menuju dunia baru.
7. Rekan-rekan di jurusan teknik elektro maupun di fakultas teknik Universitas Brawijaya, UNIKAHIDHA, dan yang tersebar di seluruh Malang Raya, terima kasih atas support dan doanya
8. “Teman-teman” dalam kehidupanku.

9. Serta berbagai pihak yang telah turut serta membantu baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terselesaikannya tugas akhir ini

Penyusun menyadari bahwa apa yang terdapat dalam tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Hal ini tidak lain karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki penyusun. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penyusun mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini, dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, Agustus 2007

Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN	xi
ABSTRAK	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
II. TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL/INTERNET PROTOCOL (TCP/IP)	4
2.1 Model Referensi OSI	4
2.1.1 Physical Layer	5
2.1.2 Data Link Layer	6
2.1.3 Network Layer	7
2.1.4 Transport	7
2.1.5 Session Layer	8
2.1.6 Presentation Layer	8
2.1.7 Application Layer	9

2.2	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	9
2.2.1	Network Interface Layer	11
2.2.2	Internet Layer	11
2.2.2.1	Internet Protocol	11
2.2.3	Transport Layer	12
2.2.3.1	Transmission Control Protocol	12
2.2.3.2	User Datagram Protocol	15
2.2.4	Application Layer	15
2.3	Maximum Transmission	16
III.	JARINGAN WIRELESS (IEEE 802.11b)	17
3.1	Umum	17
3.2	Wireless LAN	18
2.2.1	Frekuensi Radio	18
2.4.2	Infra Merah	19
3.3	Karakteristik dari Jaringan Wireless	20
3.4	Protokol WiFi (IEEE 802.11b)	21
3.4.1	Arsitektur Protokol WiFi (IEEE 802.11b)	21
3.4.1.1	Physical Layer	22
3.4.1.2	Data Link Layer	24
3.4.2	Topologi Jaringan WiFi (IEEE 802.11b)	30
3.5	Integrasi TCP/IP dan WiFi (IEEE 802.11b)	31
3.6	Performansi Jaringan	33
3.6.1	Waktu Tunda (Delay End to end)	33
3.6.1.1	Delay Antrian	33
3.6.1.2	Delay Propagasi	36
3.6.1.3	Delay Transmisi	36
3.6.2	TCP Round Trip Time	37
3.6.3	Throughput	49

IV. METODOLOGI PENELITIAN	41
V. ANALISIS PERFORMANSI TCP PADA JARINGAN	
WIRELEES LAN	43
5.1 Pemodelan Jaringan	43
5.1.1 Perangkat Keras Sistem	43
5.1.2 Perangkat Lunak	44
5.1.3 Diagram Alir Pemodelan Jaringan	44
5.2 Hasil Simulasi	45
5.3 Analisis Performansi pada Pemodelan Jaringan	48
5.3.1 Analisis <i>Delay End to end</i>	48
5.3.2 Analisis <i>Throughput</i>	49
5.3.3 Analisis <i>Round Trip Time</i>	55
5.4 Analisis Performansi Teoritis	58
5.4.1 Analisis <i>Delay End to end</i>	58
5.4.1.1 Analisis <i>Delay End to end</i> Pengiriman Dengan Satu Terminal	59
5.4.1.2 Analisis <i>Delay End to end</i> Pengiriman Dengan Dua Terminal	62
5.4.2 Analisis <i>Throughput</i>	65
5.4.2.1 Analisis <i>Throughput</i> Pengiriman Dengan Satu Terminal	65
5.4.2.2 Analisis <i>Throughput</i> Pengiriman Dengan Dua Terminal	67
5.5 Analisis Perbandingan Peformansi Teoritis dengan Performansi Implementasi Langsung	70
5.5.1 Analisis Perbandingan <i>Delay End to End</i>	70
5.5.2 Analisis Perbandingan <i>Throughput</i>	73
5.6 Analisis Perbandingan Performansi Pada Media Kabel, Gelombang Radio, dan Infra Merah	75

5.6.1	Analisis <i>Delay End to end</i>	75
5.6.1.1	Analisis Pada Media Kabel	75
5.6.1.2	Analisis Pada Gelombang Radio	79
5.6.1.3	Analisis Pada Infra Merah	82
5.6.2	Analisis <i>Throughput</i>	86
5.6.2.1	Analisis Pada Media Kabel	86
5.6.2.2	Analisis Pada Gelombang Radio	88
5.6.2.3	Analisis Pada Infra Merah	89
5.6.3	Perbandingan Performansi Antara Media Kabel, Gelombang Radio, dan Infra Merah	92
5.6.3.1	Perbandingan <i>Delay End to end</i>	92
5.6.3.2	Perbandingan <i>Throughput</i>	93
VI. PENUTUP	94
6.1	Kesimpulan	94
6.2	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model OSI (<i>Open System Interconnection</i>)	4
Gambar 2.2	Susunan Protokol TCP/IP dan Model OSI	9
Gambar 2.3	<i>Layer</i> TCP/IP	10
Gambar 2.4	<i>Header</i> TCP	12
Gambar 2.5	Mekanisme <i>three way handshake</i>	14
Gambar 2.6	<i>Header</i> UDP	15
Gambar 2.7	<i>Header</i> dan <i>Trailer</i> Ethernet Datagram IP	16
Gambar 3.1	<i>Layer</i> pada WiFi 802.11b	21
Gambar 3.2	Format Panjang dari PLCP PPDU	23
Gambar 3.3	Prosedur Enkapsulasi Data	24
Gambar 3.4	Format Frame MAC	26
Gambar 3.5	Mekanisme <i>Basic Access</i> Protokol MAC 802.11b	27
Gambar 3.6	Mekanisme RTS/CTS Protokol MAC 802.11b	28
Gambar 3.7	Bentuk <i>frame ACK</i>	30
Gambar 3.8	Topologi <i>Peer to Peer</i> (Ad-hoc)	30
Gambar 3.9	Topologi Infrastruktur	31
Gambar 3.10	Kesetaraan TCP/IP dan OSI	31
Gambar 3.11	Integrasi TCP/IP dan WiFi 802.11b	32
Gambar 3.12	Model Antrian <i>single-server</i>	34
Gambar 3.13	Analisis <i>Delay</i> Antrian	34
Gambar 3.14	Pemodelan RTT	38
Gambar 5.1	Pemodelan Jaringan Wireless LAN	43
Gambar 5.2.	Diagram Alir Perencanaan Simulasi Jaringan Wireless LAN	45
Gambar 5.3	Access Point WP11A+	45
Gambar 5.4	Pengukuran Dengan Jarak Terminal yang Berubah	46
Gambar 5.5	Pengukuran Dengan Dua Terminal	47

Gambar 5.6	Grafik <i>Delay End-to-end</i> Pengiriman dengan Satu Terminal	48
Gambar 5.7	Grafik <i>Delay end-to-end</i> Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal	49
Gambar 5.8	Grafik <i>Throughput</i> Pengiriman dengan Satu Terminal	53
Gambar 5.9	Grafik perbandingan <i>Throughput</i> Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal	54
Gambar 5.10	Grafik <i>RTT</i> pada Pengiriman Dengan Satu Terminal	57
Gambar 5.11	Grafik <i>RTT</i> pada Pengiriman dengan Satu dan Dua Terminal	58
Gambar 5.12	Grafik Perbandingan <i>Delay End-to-end</i> Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal.....	71
Gambar 5.13	Grafik Perbandingan <i>Delay End-to-end</i> Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Dua Terminal	72
Gambar 5.14	Grafik Perbandingan <i>Throughput</i> Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal	74
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan <i>Throughput</i> Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Dua Terminal	74
Gambar 5.16	Grafik Perbandingan <i>Delay End-to-end</i> Antara Media Kabel, Gelombang Radio dan Infra Merah	92
Gambar 5.17	Grafik Perbandingan <i>Throughput</i> Antara Media Kabel, Gelombang Radio dan Infra Merah	93

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Alokasi Frekuensi Pada WiFi 802.11b	22
Tabel 5.1	Panjang Data yang Dikirimkan dari <i>Terminal</i> ke <i>Destination</i>	47
Tabel 5.2	<i>Delay end to end</i> pada Pengiriman Dengan Satu Terminal ...	50
Tabel 5.3	<i>Delay end to end</i> pada Pengiriman Dengan Dua Terminal (jarak \pm 5 meter)	48
Tabel 5.4	Jumlah Paket Data yang Dikirimkan pada Pengiriman Dengan Satu Terminal	51
Tabel 5.5	Jumlah Paket Data yang Dikirimkan pada Pengiriman Dengan Dua Terminal (jarak \pm 5 meter)	51
Tabel 5.6	<i>Throughput</i> pada Pengiriman Dengan Satu Terminal	52
Tabel 5.7	<i>Throughput</i> pada Pengiriman Dengan Dua Terminal (jarak \pm 5 meter)	53
Tabel 5.8	<i>Throughput</i> pada Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal	54
Tabel 5.9	Besar RTT pada Pengiriman Dengan Satu Terminal	56
Tabel 5.10	Besar RTT pada Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal (jarak \pm 5 meter)	57
Tabel 5.11	<i>Delay Transmisi</i> pada Pengiriman Dengan Satu Terminal	60
Tabel 5.12	Perbandingan <i>Delay end to end</i> pada Pengiriman Dengan Menggunakan Satu Terminal	62
Tabel 5.13	<i>Delay Transmisi</i> pada Setiap Terminal	63
Tabel 5.14	<i>Delay End-to-end</i> Pengiriman Dengan Menggunakan Dua Terminal	65
Tabel 5.15	Nilai <i>Throughput</i> pada Pengiriman Dengan Satu Terminal	67
Tabel 5.16	Nilai <i>Throughput</i> pada Pengiriman Dengan Dua Terminal	69

Tabel 5.17	Perbandingan <i>Delay End-to-end</i> Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal	70
Tabel 5.18	Perbandingan <i>Delay End-to-end</i> Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada Pengiriman Menggunakan Dua Terminal.....	71
Tabel 5.19	Perbandingan <i>Throughput</i> Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal	73
Tabel 5.20	Perbandingan <i>Throughput</i> Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada Pengiriman Menggunakan Dua Terminal.....	73
Tabel 5.21	<i>Delay Transmisi</i> pada Media Kabel untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	77
Tabel 5.22	<i>Delay End-to-end</i> pada media Kabel untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	78
Tabel 5.23	<i>Delay Transmisi</i> pada Gelombang Radio untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	80
Tabel 5.24	<i>Delay end to end</i> pada Gelombang Radio untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	82
Tabel 5.25	<i>Delay Transmisi</i> pada <i>Infra Merah</i> untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	84
Tabel 5.26	<i>Delay end to end</i> pada <i>Infra Merah</i> untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	85
Tabel 5.27	<i>Throughput</i> pada Media Kabel untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	87
Tabel 5.28	<i>Throughput</i> pada Gelombang Radio untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	89
Tabel 5.29	<i>Throughput</i> pada <i>Infra Merah</i> untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda	91

DAFTAR SINGKATAN

ACK	: <i>Acknowledgment</i>
AP	: <i>Access Point</i>
BER	: <i>Bit Error Rate</i>
BSS	: <i>Basic Service Set</i>
BSSID	: <i>Basic Service Set Identification</i>
CCK	: <i>Complementary Code Keying</i>
CRC	: <i>Cyclical Redundant Check</i>
CSMA/CA	: <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CTS	: <i>Clear to send</i>
DBPSK	: <i>Differential Binary Phase Shift Keying</i>
DQPSK	: <i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
DIFS	: <i>Distributed Inter Frame Space</i>
DS	: <i>Distribution System</i>
DSSS	: <i>Direct sequence Spread Spectrum</i>
ESS	: <i>Extended service Set</i>
FCS	: <i>Frame Check Sequence</i>
FLS	: <i>Free Loss Space</i>
IEEE	: <i>Institute of Electrical and Electronis Engineers</i>
ISM	: <i>Industry, Scientific, Medical</i>
ISP	: <i>Internet Service Provider</i>
LLC	: <i>Logical Link Control</i>
MAC	: <i>Medium Access Controller</i>
MPDU	: <i>MAC Protocol Data Unit</i>
MS	: <i>Mobile Station</i>
NAV	: <i>Network Allocation Vector</i>
OFDM	: <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
PCMCIA	: <i>Personal Computer Memory Card International Association</i>
PER	: <i>Packet Error Rate</i>

PLCP	: <i>Physical Layer Convergence Protocol</i>
PMD	: <i>Physical Media Dependent</i>
PSDU	: <i>PHY sub layer Service Data Unit</i>
PSK	: <i>Phase shift keying</i>
QAM	: <i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RTS	: <i>Request to Sent</i>
SIFS	: <i>Short inter frame space</i>
TCP/IP	: <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
Wi-Fi	: <i>Wireless fidelity</i>
WLAN	: <i>Wireless Local Area Network</i>



ABSTRAK

PANDE MADE ASWIN ISMAYA YASA, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Performansi Transmission Control Protocol Pada Jaringan Wireless LAN*

Dosen Pembimbing : Rusmi Ambarwati, ST. MT., Dan Ir. Sugiri.

Perkembangan jaringan komputer yang berjalan dengan pesat telah mengubah gaya hidup masyarakat telekomunikasi dewasa ini. Penggunaan jaringan komputer nirkabel (wireless network) telah menjadi trend yang diikuti tidak hanya oleh kalangan akademis tetapi juga oleh kalangan umum karena teknologi ini relatif lebih mudah untuk diimplementasikan. TCP/IP merupakan salah satu protokol transmisi data yang paling banyak digunakan karena bersifat fleksibel, mudah diterapkan disetiap jenis komputer dan interface jaringan dan bersifat handal (reliable).

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis terhadap performansi TCP pada jaringan wireless LAN dengan menggunakan pemodelan jaringan dan pengukuran yang dilakukan di TPTI-FT. Analisis performansi dititikberatkan pada parameter jaringan yang meliputi *Delay End to End*, *Throughput*, dan *Round Trip Time*. Performansi TCP paling baik untuk pengiriman data sebesar 2000000 *byte* diperoleh ketika jaringan diakses oleh *user* dengan jarak paling dekat dengan AP, yaitu 5 meter, dengan nilai *throughput* 372,3665866 paket/detik, sedangkan pada jarak lebih jauh yaitu 10 meter, nilai *throughput* sebesar 234,0892606 paket/detik. Pada saat diakses dua user diperoleh nilai *throughput* 281,880491 paket/detik. Sedangkan RTT bervariasi untuk setiap panjang data.

Kata kunci : *Wireless LAN*, TCP/IP, Performansi Jaringan, *Delay End-to-end*, *Throughput*, RTT (Round Trip Time)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan Komputer mengalami perkembangan yang sangat pesat setiap tahunnya, diperlihatkan dengan semakin meningkatnya jaringan internet yang ada sekarang ini. Salah satu perkembangan yang sedang menjadi trend dikalangan masyarakat informasi adalah penggunaan jaringan nirkabel (*wireless network*). Jaringan nirkabel telah menjadi teknologi alternatif yang relatif lebih mudah untuk diimplementasikan. Hal ini dapat dilihat dengan semakin banyaknya area umum yang menyediakan layanan *wireless LAN*, mulai dari kampus, kafe-kafe, perkantoran, hotel, dan lain-lain, yang menyediakan layanan internet gratis melalui fasilitas *HotSpot*-nya. Komputer dalam *wireless LAN* dapat saling terhubung dengan hanya membutuhkan ruang atau space dengan syarat jarak jangkauan dibatasi kekuatan pancaran sinyal radio dari masing-masing komputer.

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) merupakan sekelompok protokol yang mengatur komunikasi data komputer di internet. Komputer-komputer yang terhubung ke internet berkomunikasi dengan menggunakan protokol ini. TCP/IP merupakan protokol komunikasi data yang fleksibel, di mana protokol tersebut dapat diterapkan dengan mudah di setiap jenis komputer dan *interface* jaringan, karena teknologi ini telah didesain untuk sistem komputer dan sistem operasi yang berbeda.

Jaringan *wireless* memiliki karakteristik yang berbeda jika dibandingkan dengan jaringan kabel. TCP, yang didesain dan diatur untuk bekerja dengan baik pada jaringan kabel, akan mengalami penurunan performansi ketika digunakan pada jaringan nirkabel dikarenakan dari karakteristik sinyal radio.

Kecepatan akses pada internet berkaitan dengan parameter performansi jaringan seperti *throughput*, *delay end to end* dan *TCP round trip time*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penerapan TCP pada jaringan *wireless* LAN dengan menggunakan standar IEEE 802.11b.
2. Bagaimana performansi TCP pada jaringan *wireless* LAN dititikberatkan pada analisis performansi jaringan yang meliputi *throughput* dan *TCP round trip time*.

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan di atas, maka penulisan skripsi ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

- 1 Aspek yang dibahas meliputi performansi jaringan khusus untuk transmisi data
- 2 Parameter yang dianalisis didapat dengan melakukan simulasi pada pemodelan jaringan TCP/IP pada jaringan *Wireless* LAN dengan menggunakan standar protokol IEEE 802.11b.
- 3 Tidak membahas secara khusus mengenai pengalamatan IP serta perangkat keras dan lunak pada jaringan.
- 4 Tidak membahas proses pensinyalan dan teknik modulasi yang terjadi pada jaringan.
- 5 Tidak membahas mengenai penurunan rumus yang digunakan.

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana performansi TCP pada jaringan *Wireless* LAN yang ditekankan pada analisis terhadap parameter-parameter performansi jaringan.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terbagi menjadi enam bab, dengan garis besar penulisan sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan
 Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup, sistematika penulisan
- Bab II *Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)*
 Merupakan studi pustaka yang membahas definisi dan konsep dasar TCP/IP secara umum.
- Bab III *Wireless LAN (IEEE 802.11b)*
 Merupakan studi pustaka yang membahas konsep dasar dari *wireless LAN* dan standar IEEE 802.11b (WiFi).
- Bab IV Metodologi
 Merupakan Kerangka acuan di dalam memfokuskan proses pengerjaan skripsi, sehingga diperoleh hasil analisis yang sesuai dengan pokok permasalahan yang dibahas
- Bab V Analisis Performansi TCP pada Jaringan *Wireless LAN*
 membahas performansi TCP pada jaringan wireless LAN yang menggunakan standar IEEE 802.11b dimana parameter performansi jaringan tersebut terdiri dari *delay end to end, throughput, round trip time*.
- Bab VI Penutup
 Berisi kesimpulan dan saran yang merupakan kontribusi pokok dari hasil-hasil analisis yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya.

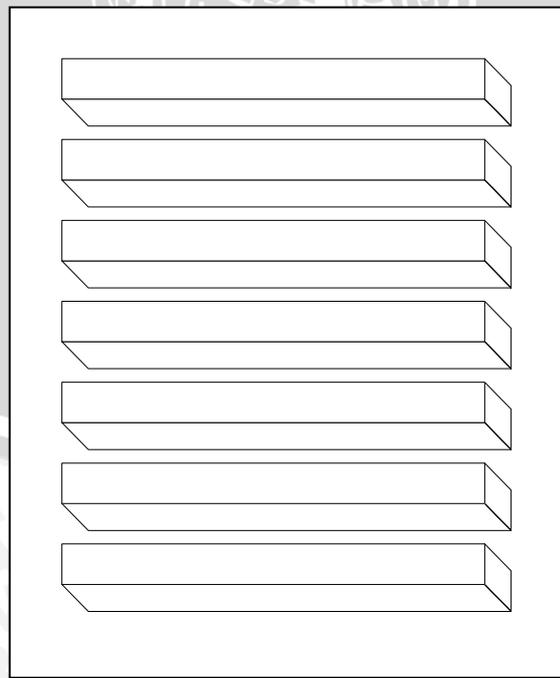
BAB II

TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL/INTERNET PROTOCOL (TCP/IP)

2.1 Model Referensi OSI (*Open System Interconnection*)

Sebuah badan multinasional yang didirikan tahun 1947, yang bernama *International Standards Organization* (ISO), adalah badan yang mengembangkan model referensi OSI yang berfungsi sebagai pemandu untuk mendefinisikan sekumpulan protokol. Model referensi OSI tetap menjadi standar yang paling umum untuk menggambarkan dan membandingkan rangkaian protokol.

OSI (*Open System Interconnection*) yang merupakan himpunan protokol berlapis, yang memungkinkan terhubungnya dua sistem yang berbeda, yang berasal dari *underlying architecture* yang berbeda pula. Jadi, tujuan dikembangkannya OSI ini adalah untuk memfasilitasi bagaimana suatu komunikasi dapat terjalin dari sistem yang berbeda tanpa memerlukan perubahan yang signifikan pada *hardware* dan *software* di tingkat *underlying*. Pada Gambar 2.1 diperlihatkan lapisan model OSI.



Gambar 2.1 Model OSI (*Open System Interconnection*)
Sumber : www.prasimax.com, 2002

Pendekatan untuk merancang sistem komunikasi ini dikenal sebagai arsitektur berlapis. Setiap lapisan mempunyai tanggung jawab dan peraturan khusus untuk melaksanakan tanggung jawab tersebut dan tidak ikut bertanggung jawab terhadap prosedur-prosedur pada lapisan lainnya (Heywood, 1999 : 27)

Model OSI disusun atas tujuh lapisan. Lapisan-lapisan tersebut diberi nomor dari dasar *stack* sampai yang paling atas (Heywood, 1999 : 30). Berikut adalah lapisan/layer Model OSI :

1. *Physical Layer*
2. *Data Link Layer*
3. *Network Layer*
4. *Transport Layer*
5. *Session Layer*
6. *Presentation Layer*
7. *Application Layer*

2.1.1 *Physical Layer*

Physical Layer berkomunikasi secara langsung dengan media komunikasi dan memiliki tanggung jawab mengirim dan menerima bit-bit. Sebuah *binary digit* atau bit adalah satuan terkecil dari informasi dalam komunikasi data.

Berbagai macam media digunakan untuk komunikasi data termasuk kabel listrik, serat optik, gelombang cahaya, radio, dan *microwave*. Lapisan ini akan mengetahui spesifikasi mekanik dan elektrik dari media transmisi serta antarmukanya. Jadi, lapisan yang berada di atasnya bebas dari proses menghantarkan bit-bit melalui media jaringan.

Berikut adalah fungsi dari *Physical Layer* :

- a. Karakteristik fisik media dan antarmuka.
- b. Representasi bit-bit. Maksudnya, lapisan fisik harus mampu menerjemahkan bit 0 atau 1, pengkodean, dan bagaimana mengganti sinyal 0 ke 1 atau sebaliknya.
- c. *Data rate* (laju data).
- d. Sinkronisasi bit.

- e. *Line configuration* (Konfigurasi saluran). Contoh : *point-to-point* atau *point-to-multipoint configuration*.
- f. Topologi fisik. Contoh : *mesh topology*, *star topology*, *ring topology* atau *bus topology*.

2.1.2 Data Link Layer

Data Link Layer bertanggung jawab untuk menyediakan komunikasi dari *node* ke *node* pada suatu jaringan lokal. Untuk menyediakan layanan ini, *Data Link Layer* harus melakukan dua fungsi yaitu harus menyediakan mekanisme alamat yang memungkinkan pesan-pesan untuk dikirimkan ke *node* yang benar, dan layer ini juga harus menerjemahkan pesan-pesan dari *Physical Layer*.

Ketika *Data Link Layer* menerima suatu pesan untuk ditransmisikan, *Data Link Layer* membentuk pesan tersebut menjadi *frame* data. *Frame* data disebut juga sebagai paket data. Layer ini menjamin informasi bebas *error* untuk ke lapisan di atasnya. Tanggung jawab utama *Data Link Layer* adalah sebagai berikut:

- a. *Framing*, yaitu membagi bit *stream* yang diterima dari *Network Layer* menjadi unit-unit data yang disebut *frame*.
- b. *Physical addressing*. Jika *frame-frame* didistribusikan ke sistem lain pada jaringan, maka data link akan menambahkan sebuah *header* di muka *frame* untuk mendefinisikan pengirim dan/atau penerima.
- c. *Flow control*. Jika *rate* atau laju *bit stream* berlebihan atau berkurang maka *flow control* akan melakukan tindakan yang menstabilkan laju bit.
- d. *Error control*. *Data Link Layer* menambah kehandalan lapisan fisik dengan penambahan mekanisme deteksi dan pentransmisian kembali *frame-frame* yang gagal terkirim.
- e. *Access control*. Jika dua atau lebih *device* dikoneksi dalam *link* yang sama, *Data Link Layer* perlu menentukan *device* yang mana yang harus dikendalikan pada saat tertentu.

2.1.3 Network Layer

Network Layer bertanggung jawab atas pengiriman paket dengan konsep *source-to-destination*. Adapun tanggung jawab spesifik *Network Layer* ini adalah:

a. *Logical Addressing*.

Bila pada *Data Link Layer* diimplementasikan *physical addressing* untuk menangani pengalamatan/*addressing* secara lokal, maka pada *Network Layer* diimplementasikan *logical addressing* untuk menangani pengalamatan antar jaringan/*network*. Pada *Network Layer* ini *logical address* ditambahkan pada paket yang datang dari *Data Link Layer*.

b. *Routing*.

Jaringan-jaringan yang saling terhubung yang membentuk *internetwork* diperlukan metode *routing* sehingga paket dapat ditransfer dari satu *device* yang berada pada jaringan tertentu menuju *device* lain, yang berada pada jaringan yang lain.

2.1.4 Transport Layer

Transport Layer bertanggung jawab untuk pengiriman *source-to-destination (end-to-end)* dari jenis *message* tertentu. Tanggung jawab spesifik *Transport Layer* ini adalah:

a. *Service-point addressing*. Komputer sering menjalankan berbagai macam program atau aplikasi yang berlainan dalam saat bersamaan. Untuk itu dengan *Transport Layer* ini tidak hanya menangani pengiriman/*delivery source-to-destination* dari komputer yang satu ke komputer yang lain saja namun lebih spesifik kepada *delivery* jenis *message* untuk aplikasi yang berlainan. Setiap *message* yang berlainan aplikasi harus memiliki alamat/*address* tersendiri lagi yang disebut *service point address* atau *port address*.

b. *Segmentation* dan *reassembly*. Sebuah *message* dibagi dalam segmen-segmen yang terkirim. Setiap segmen memiliki *sequence number*. *Sequence number* ini yang berguna bagi *Transport Layer* untuk

merakit/*reassembly* segmen-segmen yang terpecah atau terbagi tadi menjadi *message* yang utuh.

- c. *Connection control*. *Transport Layer* dapat berperilaku sebagai *connectionless* atau *connection-oriented*.
- d. *Flow control*. Seperti halnya *Data Link Layer*, *Transport Layer* bertanggung jawab untuk kontrol aliran (*flow control*). Bedanya dengan *flow control* di *Data Link Layer* adalah dilakukan secara *end-to-end*.
- e. *Error control*. Sama fungsi tugasnya dengan *error control* di *Data Link Layer*, namun berorientasi *end-to-end*.

2.1.5 Session Layer

Session Layer bertanggung jawab untuk mengendalikan “*dialog*” antar *node* (*Dialog Control*). Suatu “*dialog*” adalah percakapan formal dimana dua *node* sepakat untuk bertukar data. Untuk melakukan suatu *dialog* maka dibutuhkan tiga fase yaitu:

1. Pembentukan hubungan.
Untuk membentuk kontak, *node* menyetujui aturan-aturan komunikasi, termasuk protokol-protokol yang digunakan dan parameter komunikasinya.
2. Pemindahan data.
Node-node dipakai untuk “*dialog*” pertukaran data
3. Pemutusan hubungan.
Terjadi ketika *node-node* tidak lagi perlu komunikasi

2.1.6 Presentation Layer

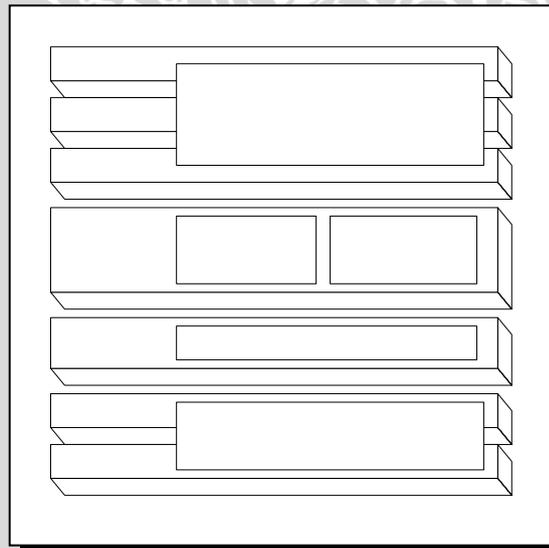
Presentation Layer bertanggung jawab untuk menyajikan data kepada *Application Layer*. Teknik umum yang digunakan untuk meningkatkan perpindahan data adalah dengan mengubah semua data menjadi format standar sebelum data tersebut dikirimkan. Format standar ini mungkin bukan merupakan format data asli dari setiap komputer. Semua komputer dapat dirancang untuk mengambil data dengan format standar, dan mengubahnya menjadi format data aslinya.

2.1.7 Application Layer

Application Layer menyediakan layanan aplikasi yang digunakan untuk berkomunikasi melalui jaringan. Contoh aplikasi yang diberikan oleh layer ini adalah pengiriman *electronic mail*, *Remote file Access*, dan manajemen jaringan.

2.2 Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) adalah sekelompok protokol yang mengatur komunikasi data komputer di internet. Karena memakai protokol yang sama, maka perbedaan jenis komputer dan sistem operasi tidak menjadi masalah. Protokol TCP/IP hanya dibuat atas empat lapisan saja yaitu *Physical Layer*, *Network Layer*, *Transport Layer* dan *Application Layer*. *Application Layer* pada TCP/IP mencakup tiga lapisan OSI teratas, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.2.

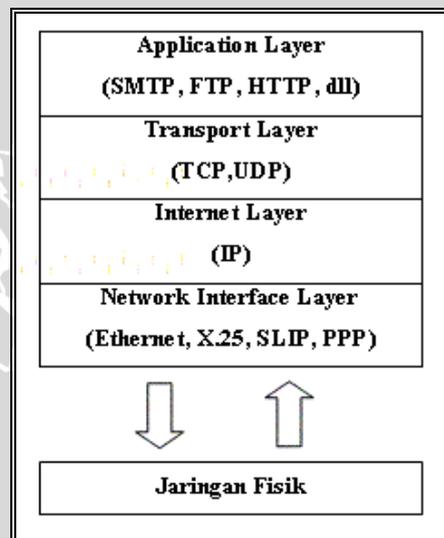


Gambar 2.2 Susunan Protokol TCP/IP dan Model OSI
Sumber : www.prasimax.com, 2002

Masing-masing protokol dalam TCP/IP bertanggung jawab atas bagian-bagian tertentu dari komunikasi data sehingga tugas setiap protokol menjadi jelas dan sederhana. Protokol yang satu tidak perlu mengetahui cara kerja protokol yang lain sepanjang protokol tersebut masih bisa mengirim dan menerima data.

Dengan penggunaan prinsip ini, TCP/IP menjadi protokol komunikasi data yang fleksibel.

Dalam TCP/IP, terjadi penyampaian data dari protokol yang berada di satu *layer* ke protokol yang berada di *layer* lain. Setiap protokol memperlakukan semua informasi yang diterimanya dari protokol lain sebagai data. Jika suatu protokol menerima data dari protokol lain di *layer* di atasnya, ia akan menambahkan informasi tambahan ke data tersebut, kemudian diteruskan ke protokol pada *layer* di bawahnya. Hal sebaliknya terjadi jika suatu protokol menerima data dari protokol lain yang berada pada *layer* di bawahnya. TCP/IP dimodelkan dengan empat lapisan/*layer* seperti terlihat pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Layer TCP/IP
Sumber : Onno W. Purbo, 2003 : 23

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa TCP/IP terdiri atas empat *layer* yaitu:

1. *Network Interface Layer*
2. *Internet Layer*
3. *Transport Layer*
4. *Application Layer*

2.2.1 Network Interface Layer

Lapisan terbawah adalah *Network Interface Layer*. Lapisan ini disebut juga *Data Link Layer*, bertanggung jawab mengirim dan menerima data ke dan dari media fisik. Media fisiknya dapat berupa kabel, serat optik, atau gelombang radio. Oleh karena itu, lapisan ini harus mampu menerjemahkan sinyal listrik menjadi data digital yang dimengerti komputer.

2.2.2 Internet Layer

Lapisan berikutnya adalah *Internet Layer* atau *Network Layer*. Protokol yang berada pada lapisan ini bertanggung jawab dalam proses pengiriman paket ke alamat yang tepat. Pada lapisan ini terdapat *Internet Protocol (IP)*.

2.2.2.1 Internet Protocol

Internet Protocol (IP) merupakan inti dari protokol TCP/IP. IP berfungsi untuk menyampaikan paket data ke alamat yang tepat. Seluruh data yang berasal dari protokol pada *layer* di atas IP harus dilewatkan, diolah oleh protokol IP, dan ditransmisikan sebagai paket IP agar sampai ke tujuan. Dalam melakukan pengiriman data, IP memiliki sifat yang dikenal sebagai *unreliable, connectionless, datagram delivery service*.

Unreliable/ketidakhandalan berarti protokol IP tidak menjamin datagram yang dikirim pasti sampai ke tempat tujuan. Protokol IP hanya akan melakukan usaha sebaik-baiknya (*best effort delivery service*) agar paket tersebut sampai ke tempat tujuan. Jika di perjalanan paket tersebut mengalami hal-hal yang tidak diinginkan (seperti salah satu jalur putus, *router* mengalami kongesti/macet, atau *host/network* tujuan sedang *down*), IP hanya mengirim pemberitahuan ke pengirim paket melalui protokol ICMP bahwa terjadi masalah pada pengiriman paket IP ke *host* tujuan.

Connectionless berarti dalam mengirim paket dari tempat asal ke tujuan, IP tidak bertanggung jawab atas proses perjanjian (*handshake*) antara pihak pengirim dan penerima paket IP. *Datagram delivery service* berarti setiap paket data yang dikirim adalah *independent* terhadap paket data yang lain. Akibatnya, jalur yang ditempuh oleh masing-masing paket data IP ke tujuannya bisa jadi berbeda satu dengan lainnya. Karena jalur yang ditempuh berbeda, kedatangan paket pun bisa jadi tidak berurutan.

2.2.3 Transport Layer

Lapisan berikutnya adalah *Transport Layer*. Pada lapisan ini, terdapat protokol yang bertanggung jawab untuk mengadakan komunikasi antara dua *node*. Kedua protokol tersebut ialah TCP (*Transmission Control Protocol*) dan UDP (*User Datagram Protocol*).

2.2.3.1 TCP (*Transmission Control Protocol*)

TCP (*Tansmission Control Protocol*), bersifat *connection oriented*, *reliable*, *byte stream service*. *Connection oriented* berarti sebelum melakukan pertukaran data, dua aplikasi pengguna TCP harus melakukan pembentukan hubungan (*handshake*) terlebih dahulu. *Reliable* berarti TCP menerapkan proses deteksi kesalahan paket dan melakukan pentransmisian ulang. *Byte stream service* berarti paket dikirimkan dan sampai ke tujuan secara berurutan. Format *header* TCP adalah sebagai berikut:

Gambar 2.4 Header TCP
 Sumber : Onno W. Purbo, 2002 : 54

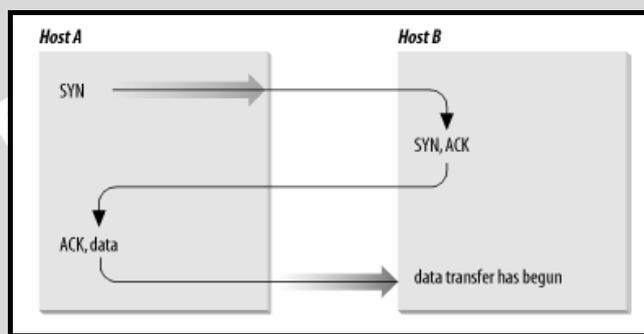


➤ *Header* TCP terdiri atas beberapa *field* yaitu :

1. *Source Port* (16 bit) dan *Destination Port* (16 bit), mengidentifikasi aplikasi pengirim dan penerima.
2. *Sequence Number* (32 bit), berisi nomor urut *byte stream* dalam data aplikasi yang dikirim.
3. *Acknowledgement Number* (32 bit). Berisi *Sequence Number* berikutnya yang diharapkan penerima setiap kali data sukses dikirim.
4. *Hdr* atau *Header Length* (4 bit), berisi panjang header TCP. Dengan panjang 4 bit, *field* ini harus merepresentasikan panjang *header* TCP dalam satuan 4 byte. Jika 4 bit ini berisi 1 (1111 biner = 15 desimal), maka panjang *header* maksimal adalah $15 \times 4 = 60$ byte.
5. *Resv* atau *Reserve* (6 bit), sebagai cadangan.
6. *Control* (6 bit), adalah bit control yang terdiri atas :
 - a. *Urgent* : 1 = nilai *urgent pointer* adalah valid
 - b. *Ack* : 1 = nilai *acknowledgement* adalah valid
 - c. *PSH* : 1 = *push data*
 - d. *RST* : 1 = koneksi harus di-*reset*
 - e. *SYN* : 1 = Sinkronisasi urutan (*sequence*) selama koneksi
 - f. *FIN* : 1 = Putuskan koneksi
7. *Window* (16 bit), berisi panjang *window* (semacam *buffer*) penerima *segment* TCP, merupakan panjang byte maksimal yang bisa diterima setiap saat. Lebar *field* ini adalah 16 bit (2 byte) sehingga nilai maksimalnya adalah 65535.
8. *Checksum* (16 bit), adalah untuk deteksi *error connection*.
9. *Urgent Pointer* (16 bit).
10. *TCP Option*, adalah *header* tambahan dengan jumlah penambahan maksimal sebesar 40 byte.

➤ Pembentukan koneksi

TCP merupakan protokol yang bersifat *connection oriented*. TCP membentuk hubungan secara *end to end* antara dua *host* yang berkomunikasi yang dikenal dengan istilah *three way handshake*. Disebut demikian karena sebelum memulai suatu pengiriman data, TCP akan melakukan pertukaran tiga segmen seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Mekanisme *three way handshake*
[Sumber : Craig Hunt, TCP/IP Network Administration, 3rd Edition]

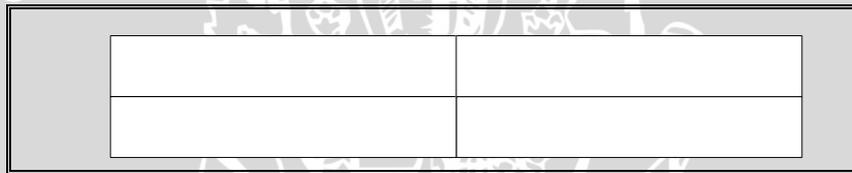
Mekanisme *three way handshake*

- *Host A* memulai hubungan dengan mengirimkan *host B* sebuah segmen *SYN*. Segmen ini memberitahukan kepada *host B* bahwa *Host A* ingin membentuk suatu hubungan, dan juga memberitahukan *sequence number* mana yang akan digunakan oleh *host A* untuk memulai pengiriman segmen datanya (*sequence number* digunakan agar segmen tetap dalam urutannya).
- *Host B* membalas dengan mengirimkan segmen yang berisikan *ACK* dan *SYN*. Segmen ini digunakan untuk memberitahukan bahwa segmen yang dikirim *host A* telah diterima, dan memberitahukan *host A* *sequence number* yang akan dimulai.
- Terakhir, *host A* mengirimkan segmen *ACK* untuk membalas segmen dari *host B* yang diterima dan mengirimkan data pertama

Setelah pertukaran tersebut, *host* A yakin bahwa *host* B terhubung dan siap menerima data. Setelah hubungan terbentuk, data siap dikirimkan. Setelah proses pengiriman data selesai, segment *three way handshake* akan ditukar dengan sebuah segmen yang berisi pesan 'tidak ada lagi data dari pengirim' atau FIN segmen untuk memutuskan hubungan.

2.2.3.2 UDP (*User Datagram Protocol*)

User Datagram Protocol (UDP) merupakan protokol pada *Transport Layer* yang bersifat *connectionless oriented* dan tidak ada *sequencing* (pengurutan kembali) paket yang datang. Gambar 2.5 adalah gambar format *Header* UDP. *Source* dan *destination port* memiliki fungsi yang sama seperti pada TCP. *Datagram length* berisi panjang datagram, sedangkan *checksum* berfungsi untuk memeriksa kesalahan data.



Gambar 2.6 *Header* UDP
Sumber : Stallings, 2000 : 645

Pada *stack* protokol, antara *layer* satu *layer* dengan *layer* lainnya tidak saling bertanggung jawab. Pada penerapan IP, TCP dan UDP tidak mengalami perubahan karena keduanya berada pada *Transport Layer*, sedangkan IP berada pada *Network Layer*.

2.2.4 *Application Layer*

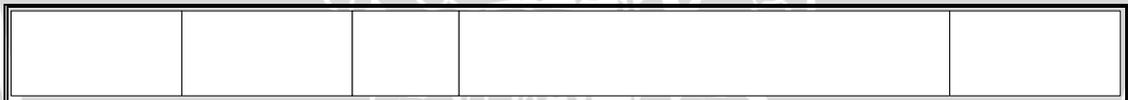
Layer teratas adalah *Application Layer*. Pada *layer* inilah terletak semua aplikasi yang menggunakan protokol TCP/IP ini. *Layer* ini terdiri atas protokol-protokol tingkat tinggi seperti terminal virtual (TELNET), transfer file (FTP), dan surat elektronik (SMTP). Protokol terminal virtual memungkinkan pengguna pada sebuah mesin untuk *login* ke mesin yang ada di tempat jauh dan bekerja di terminal jarak jauh tersebut. Protokol transfer file memungkinkan untuk

mengirimkan data dari mesin ke mesin yang lain secara efisien. Surat elektronik pada awalnya hanya merupakan salah satu jenis transfer file. Akan tetapi kemudian dibuat protokol khusus untuk keperluan tersebut. Banyak jenis protokol yang telah ditambahkan pada layer ini. Misalnya *Domain Name System (DNS)*, *NNTP*, dan banyak lagi protokol-protokol lainnya.

2.3 *Maximum Transmission Unit (MTU)*

Data yang telah dienkapsulasi di *Network Layer* tidak boleh melebihi *Maximum Transmission Unit*. MTU adalah panjang maksimum datagram IP yang akan dikirimkan ke *Network Interface Layer*. Jika hasil enkapsulasi melebihi MTU, maka akan dilakukan fragmentasi terhadap data. Panjang MSS (*Maximum Segment Size*) adalah MTU dikurangi *header TCP/UDP* dan *header IP* (Steven, 1994: 237).

Sebelum data dikirimkan melalui jaringan, Ethernet melakukan enkapsulasi terhadap data yang telah difragmentasi dengan menambahkan *Header* dan *Trailer* Ethernet. Berikut adalah gambar *Header* dan *Trailer* Ethernet untuk datagram IP.



Gambar 2.7 *Header dan Trailer* Ethernet Datagram IP
Sumber : Steven, 1994 : 23

a. *Destination Address.*

Jika datagram ditujukan kepada *Alamat Group*, maka dua byte pertama pada *Destination Address* bernilai 3333 dan empat *Source Address*. *Source Address* adalah *MAC Address* dari pengirim datagram.

b. *Type.*

Dua byte *type* mengindikasikan penggunaan Ethernet pada IP.

c. *Trailer.*

Menandakan akhir dari sebuah *Frame* Ethernet.

BAB III

JARINGAN WIRELESS (IEEE 802.11b)

3.1 Umum

Jaringan wireless memungkinkan orang-orang untuk berkomunikasi dan menggunakan aplikasi dan informasi tanpa kabel. Ini memberikan kebebasan dan kemampuan untuk memperluas penggunaan aplikasi dan informasi tanpa terpaku pada tempat-tempat tertentu. Jaringan wireless memungkinkan orang-orang untuk berinteraksi dengan internet dan aplikasi lainnya dari tempat-tempat yang mereka inginkan.

Jaringan wireless menggunakan gelombang radio atau cahaya infra merah (infrared) sebagai media komunikasi antara pengguna (user), penyedia (server), dan *database*. Tipe komunikasi ini bersifat tidak terlihat untuk mata manusia. Sekarang ini, banyak penyedia perangkat komunikasi wireless menambahkan network interface card (NIC; disebut juga adapter) dan antena kedalam perangkat komputer, sehingga menyebabkan perangkat wireless menjadi mudah digunakan dan dapat dibawa kemana-mana.

Jaringan wireless dibagi menjadi beberapa kategori, tergantung pada ukuran atau luas dari area yang mampu dilayani. Berikut adalah beberapa kategori dari jaringan wireless :

- Wireless Personal-Area Network (PAN)
- Wireless Local-Area Network (LAN)
- Wireless Metropolitan-Area Network (MAN)
- Wireless Wide-Area Network (WAN)

3.2 *Wireless LAN*

Wireless LAN merupakan suatu metode untuk menghubungkan beberapa komputer tanpa menggunakan kabel. Komputer komputer tersebut dapat dihubungkan, diantaranya, dengan menggunakan sinyal radio atau cahaya infra merah. *Wireless LAN* juga memberikan kemudahan dalam bentuk fleksibilitas.

3.2.1 Frekuensi Radio (RF)

Frekuensi Radio (RF) dan *Infrared* (IR) merupakan teknologi utama yang digunakan pada komunikasi *wireless*. Teknologi RF dan IR digunakan untuk aplikasi yang berbeda dan telah dirancang kedalam produk dengan fitur-fitur yang memiliki kelebihan tertentu.

RF digunakan kedalam aplikasi dimana proses komunikasi tidak bersifat *line of sight* dan pada jarak yang relative lebih jauh. Sinyal RF dapat berjalan menembus tembok dan berkomunikasi tanpa memerlukan jalur lurus diantara terminalnya. Agar dapat beroperasi didalam spektrum frekuensi yang *license-free* (*Industrial, Scientific, and Medical* (ISM) band), sistem dengan RF harus menggunakan teknik modulasi yang disebut *Spread Spektrum* (SS). Pada metode ini, RF diperlukan untuk menyebarkan sinyal di seluruh spektrum dan tidak dapat bertahan didalam frekuensi tunggal.

Tidak ada satupun *user* yang dapat mendominasi spektrum, dan secara keseluruhan user terlihat sebagai *noise*. Komunikasi *Spread Spektrum* dikembangkan untuk dapat digunakan sebagai jalur komunikasi yang aman. Bila sinyal-sinyal tersebut terlihat sebagai *noise*, berarti sinyal-sinyal tersebut akan sulit untuk ditemukan dan diacak. Teknik ini bekerja sangat baik pada aplikasi WLAN dan sangat sulit untuk disela, dimana hal ini berarti peningkatan keamanan terhadap *user-user* yang tidak berkepentingan.

Penggunaan *Spread Spektrum* menjadi penting karena memungkinkan lebih banyak user yang dapat menggunakan spektrum dibandingkan jika mereka menggunakan frekuensi yang terpisah-pisah.

Pada sistem radio, salah satu batasan yang paling besar adalah besarnya bandwidth yang tersedia, sehingga kemampuan untuk menampung lebih banyak user secara berkelanjutan pada kondisi yang diharapkan menjadi hal yang penting pada penerapan WLAN. Terdapat beberapa pita frekuensi yang bersifat *lisence-free* yang tersedia dan dapat digunakan, yang paling umum digunakan adalah pada 902 sampai 928 MHz, 2.4 sampai 2.5 GHz, dan 5.7 sampai 5.8 GHz. Diantaranya, yang paling berguna mungkin adalah pita 2.4-GHz karena pita ini tersedia untuk digunakan hampir diseluruh bagian dunia.

Belakangan ini, hampir semua pengembangan komersial yang berbasis pada standar IEEE telah menggunakan pita 2.4-GHz.

3.2.2 Infra Merah (IR)

Teknologi lain yang digunakan untuk WLAN adalah infra merah, dimana komunikasi dibawa dengan menggunakan cahaya pada bagian spektrum yang tidak terlihat. Sistem ini umumnya digunakan pada komunikasi dengan jarak yang relative pendek, kurang dari 3 ft dengan koneksi bersifat LOS. Cahaya IR tidak mungkin menembus materi padat sehingga merupakan teknologi yang kurang baik jika dibandingkan dengan RF pada sistem WLAN.

Aplikasi dari infra merah adalah sebagai fungsi penghubung pada aplikasi dimana daya yg tersedia sangat terbatas, misalnya *pager* atau PDA. Standar untuk produk ini disebut *Infrared Data Association (IrDA)*, dimana telah banyak digunakan oleh Hewlett Packard, IBM, dan lainnya. Dapat ditemukan pada umumnya di *notebook* dan komputer laptop dan memungkinkan fasilitas penghubung tanpa kabel sampai dengan 1Mbps ke peralatan *desktop* hingga dua kaki *line of sight*.

Komunikasi ini umumnya merupakan komunikasi *point-to-point* dan memberikan keamanan lebih karena hanya user dimana cahaya diarahkan yang dapat terhubung. Untuk dapat menyediakan kemampuan jaringan yang lebih luas, digunakan system *diffused IR* dimana cahaya disebarkan kesegala arah , tetapi sistem ini terbatas pada 30 sampai 50 kaki dan tidak dapat menembus materi padat.

3.3 Karakteristik dari Jaringan Wireless

Koneksi bergerak yang disediakan oleh jaringan wireless memungkinkan pengguna untuk mengakses informasi kapanpun dan dimanapun. Selama tahun-tahun terakhir, kualitas dari jaringan wireless telah ditingkatkan dalam kaitannya terhadap BER (*Bit Error Rate*) dan *bandwidth*. Jaringan wireless memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

- **Bit Error Rate (BER) yang Tinggi**

Jaringan wireless mengalami *random losses*. BER pada jaringan wireless jauh lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan dengan kabel. Rasio error rates dari 1% pada jaringan *microcell* hingga lebih dari 10% pada jaringan *macrocell*. Bahkan dengan algoritma *link layer retransmission* yang dioptimalkan, rasio *packet error* tetap lebih dari ~1%.

- **Delay yang Panjang dan Bervariasi**

RTT pada jaringan *wireless* bervariasi dari beberapa ratus *milliseconds* hingga satu *second*. Lebih jauh, RTT ini sering mengalami perubahan delay yang tiba-tiba (*delay spikes*) yang lebih besar melampaui batas RTT yang umum (*Delay spike* didefinisikan sebagai peningkatan yang terjadi secara tiba-tiba pada *latency* dari jalur komunikasi). Jaringan *wireless* mengalami perubahan *delay* pada proses *link recovery*, *temporary disconnections*, *traffic priority*, dan pada protokol link/MAC.

- **Bandwidth**

Data rate pada jaringan *wireless* bervariasi bergantung pada mobilitas dan pengaruh dari pengguna lainnya. Pengguna yang bergerak membagi penggunaan bandwidth dalam satu sell. Ketika pengguna bergerak didalam suatu sell, mereka mempengaruhi jumlah *bandwidth* yang tersedia bagi pengguna lainnya. Faktor ini menyebabkan *data rate* yang bervariasi pada jaringan *wireless*

- **Path Asymmetry**

Pada jaringan *wireless* umumnya menggunakan *data rate* yang tidak sama untuk hubungan *uplink* dan *downlink* (pada *downlink* digunakan *data rate* yang lebih besar)

3.4 Protokol WiFi (IEEE 802.11b)

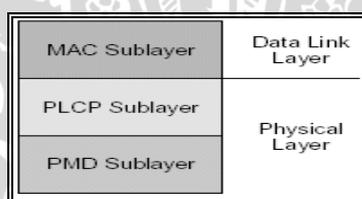
WiFi atau *Wireless Fidelity* adalah standar perangkat Wireless LAN (Local Area Network) atau jaringan komputer tanpa kabel yang merupakan pengembangan dari jaringan komputer dengan menggunakan kabel. Standar ini dikeluarkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE) yang dikenal sebagai standar 802.11b. Adapun dasar dari pengembangan teknologi

nirkabel ini adalah untuk mengatasi permasalahan jarak antara satu komputer dengan komputer yang berjauhan sehingga dapat kita hubungkan sebagai satu jaringan komputer.

Perangkat WiFi ini banyak digunakan oleh *Internet Service Provider* (ISP) untuk memberikan akses Internet tanpa kabel. Pada penerapannya perangkat WiFi ini akan dihubungkan dengan antena *eksternal* untuk mendapatkan wilayah cakupan yang lebih jauh. Selain WiFi, teknologi jaringan komputer yang terlebih dahulu kita kenal di Indonesia adalah *Ethernet*. Usaha pembakuan telah dilakukan oleh IEEE dimana standar ini dikenal sebagai IEEE 802.3 yang menjadi dasar perkembangan *Ethernet* selanjutnya.

3.4.1 Arsitektur Protokol WiFi (IEEE 802.11b)

Pada protokol 802.11b ini didefinisikan menjadi dua bagian yaitu *Physical layer* dan *Data Link Layer*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Layer pada WiFi 802.11b

[Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

Pada standar 802.11 terdapat tiga jenis lapisan fisik yang digunakan sesuai dengan jenis teknologi transmisi. Transmisi infra merah mempunyai *bit rate* 1-2 Mbps tetapi hanya terbatas pada jarak dekat. *Frequency Hopping Spread Spectrum* juga digunakan pada standar ini. Kemudian pada September 1999 dikeluarkan standar 802.11b yang menggunakan *Direct Sequence Spread Spectrum* sebagai standar transmisinya.

3.4.1.1 Physical Layer

Pada layer fisik terdiri atas dua buah *sublayer*, yaitu : Sub layer *Physical Layer Convergence Procedure* (PLCP) dan Sub Layer *Physical Media Dependent* (PMD). Pada *PMD Sub Layer* yang diatur adalah mengenai *interface* dari media transmisi radio yang digunakan:

Tabel 3.1 Alokasi Frekuensi Pada WiFi 802.11b

Channel	Frekuensi	Channel	Frekuensi
1	2412 MHz	8	2447 MHz
2	2417 MHz	9	2452 MHz
3	2422 MHz	10	2457 MHz
4	2427 MHz	11	2462 MHz
5	2432 MHz	12	2467 MHz
6	2437 MHz	13	2472 MHz
7	2442 MHz	14	2477 MHz

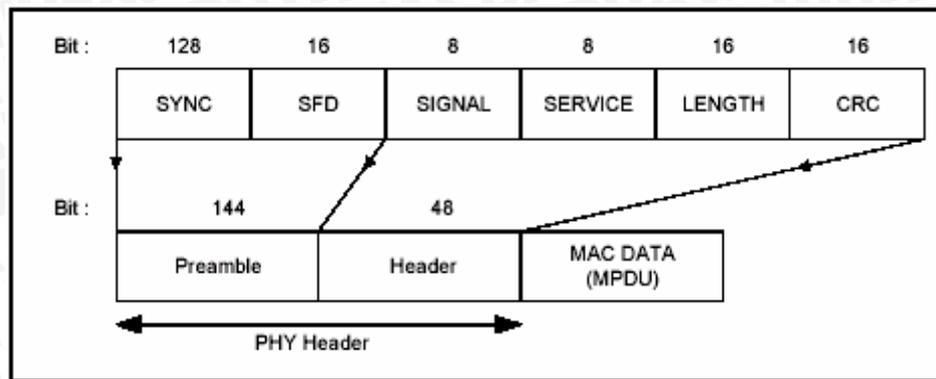
[sumber : Onno W Purbo, Infrastruktur Wireless Internet]

- **PMD Sub Layer**

Pada *Physical Media Dependent* (PMD), *bit-bit* data diambil dari PLCP *Sub Layer* dan kemudian dimodulasikan dengan teknik DSSS DBPSK. Frekuensi *carrier* yang digunakan antara 2,412 sampai 2,4835, frekuensi ini adalah frekuensi bebas jika digunakan untuk bidang industri, pendidikan dan kedokteran atau ISM (*industry, scientific, medhical*). Adapun frekuensi itu terdiri dari empat belas kanal frekuensi dengan *guard band* antar kanal sebesar 5 MHz, alokasi frekuensi tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.1.

- **PLCP Sub Layer**

PLCP ini didefinisikan berbeda-beda sesuai dengan metode transmisi yang digunakan. Untuk metode transmisi yang menggunakan *Direct Sequence Spread Spektrum* akan ditambahkan *preamble* dan *header* pada PLCP *Service Data Unit* (PSDU). Ada dua kemungkinan format yang digunakan yaitu : format yang pendek (*short format*) dan panjang (*long format*). Untuk format panjang, pada *preamble* terdiri atas *SYNC* dan *SFD field*. *SYNC field* tersusun dari 128 bit untuk *preamble* panjang. Ini bertujuan untuk sinkronisasi sinyal pada *receiver*. *Start Frame Delimeter* menyediakan 16 kode *bit* untuk membantu *receiver* memperoleh *start timing* dari *frame* dengan benar. *PLCP header* terdiri dari 48 bit informasi yang membantu *receiver* melakukan proses demodulasi.



Gambar 3.2 Format Panjang dari PLCP PSDU
 [Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

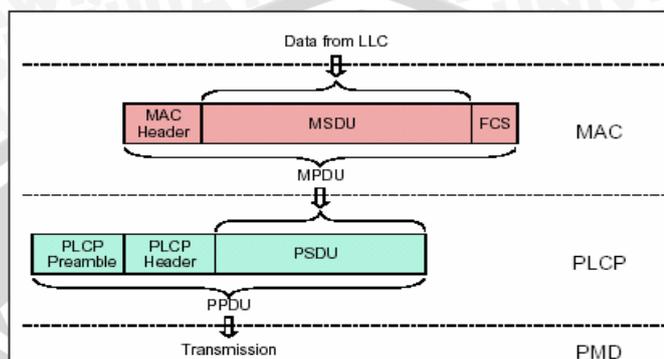
Adapun format frame dari lapisan fisik (PHY) dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Sebuah frame diawali dengan *field Preamble* (pembukaan), terdiri atas :
 - **SYNC** yang berfungsi untuk sinkronisasi penerimaan sinyal
 - **Start Frame Delimiter (SFD)** yang menyatakan permulaan *frame*
- *Field Header*, terdiri atas :
 - **Signal**, *field* ini menyatakan ke lapisan PHY mengenai modulasi yang digunakan dalam pengiriman
 - **Service**, *field* ini disediakan untuk penggunaan yang akan datang
 - **Length**, *field* ini menyatakan sejumlah mikro detik yang dibutuhkan mengirimkan *payload* (data bersifat variabel).
 - **Cyclic Redundancy Check (CRC)**, dalam *field* ini, *field signal*, *field length* dan *field Service* dijaga oleh *Frame check sequence* untuk memastikan tidak terjadi kesalahan (*error*) dalam *frame*.
- *Field Data Payload*, data *payload* disebut juga dengan *MAC Protocol Data Unit (MPDU)*, merupakan sejumlah unit data atau *frame MAC* yang dikirimkan dari lapisan MAC ke lapisan fisik (PHY). Besarnya dapat bervariasi tergantung besarnya data yang terdapat dalam *frame MAC*.

3.4.1.2 Data Link Layer

Data link Layer atau *MAC Sub layer* diperlihatkan pada Gambar 3.3, pada gambar tersebut juga diperlihatkan aliran data antara protokol layer pada sisi tranmisi. MAC seperti pada PLCP bertugas memberikan pelayanan transmisi pada layer selanjutnya. Pada sisi MAC, *MAC service data unit (MSDU)* diisi oleh data

yang berasal dari LLC. *MAC frame* yang lengkap dengan *header* dan *frame check sequence* (FCS) dikenal sebagai *MAC Protokol Data Unit* (MPDU). *Frame* yang lengkap akan ditransmisikan oleh *Physical Medium Dependent Layer* (PMD) sebagai layer yang terbawah.



Gambar 3.3 Prosedur Enkapsulasi Data
[Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

Data link layer terdiri dari dua *sublayer* antara lain :

1. LLC (*Logical Link Control*)

Melakukan pemeriksaan kesalahan dan menangani transmisi *frame*. Setiap *frame* merupakan sebuah paket data dengan nomor urut yang digunakan untuk memastikan pengiriman suatu data.

2. MAC (*Medium Access Control*)

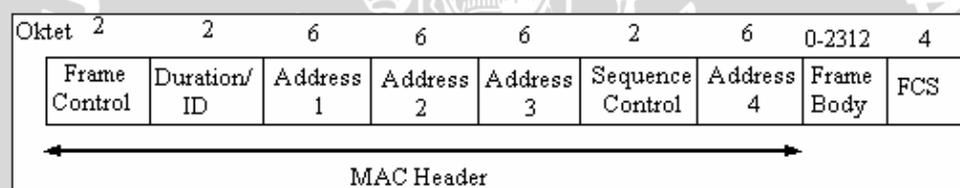
Lapisan MAC ini berfungsi untuk membuat *frame* dari bit 1 dan 0 yang diterima oleh lapisan *physical*, serta memberikan *hardware address* ke suatu *interface* atau *network interface card*.

MAC *address* terdiri dari dua bagian yaitu 3 *byte* untuk kode pabrik yang diberikan oleh IEEE dan 3 *byte* untuk nomor serial unik untuk *host* yang diatur oleh pabrik pembuat. Dalam penulisannya sering menggunakan enam angka *heksadesimal* untuk kode pabrik dan enam angka *heksadesimal* untuk nomor serial. Contoh dari MAC *address* adalah 0060B06A8F3E dimana 0060B0 adalah kode pabrik, sedangkan 6A8F3E adalah nomor serial untuk *host*. MAC *address* ini ditentukan oleh pabrik pembuat peralatan jaringan dan disimpan dalam PROM

peralatan. Pada saat komputer dihidupkan, peralatan membaca *MAC address* ini dari PROM-nya.

Pada *MAC frame* ini, memiliki empat *address* yang terdiri dari : *Basic Service Set Identification* (BSSID), alamat sumber, alamat tujuan, stasiun *transmitter* dan *receiver*. *Frame Control* terdiri dari 16 *bit* yang berfungsi untuk mengatur mekanisme penggunaan media transmisi. Adapun protokol yang digunakan adalah DCF (*Distributed Coordination Function*) yang berdasarkan pada CSMA/CA (*Collision Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

Pada CSMA/CA ini, sebelum stasiun memulai pengiriman frame, terlebih dahulu didengarkan apakah media yang akan digunakan dalam keadaan bebas (*idle*) atau sibuk (*busy*). Jika media yang akan digunakan dalam keadaan bebas, maka pengiriman mulai dilakukan, sebaliknya jika media yang akan digunakan dalam keadaan sibuk maka stasiun akan menunggu sampai interval waktu tertentu.



Gambar 3.4 Format Frame MAC

[Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

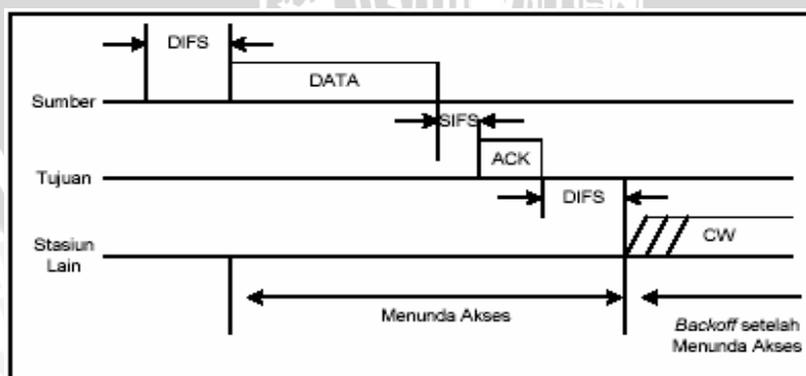
Protokol *Distributed Coordination Function* (DCF) mengadopsi mekanisme CSMA/CA, hal ini dikarenakan pendeteksian tabrakan tidak dapat diterapkan dalam sebuah jaringan *wireless*. DCF menentukan sejumlah *delay* menjadi skala prioritas, disebut *Interframe Space* (IFS). Pada protokol MAC ini terdapat dua jenis mekanisme yang dipakai :

1. Mekanisme *basic acces*, dimana digunakan 2 *handshaking* (DATA-ACK)
2. Mekanisme RTS/CTS, dimana digunakan 4 *handshaking* (RTS-CTS-DATA-ACK)

Mekanisme *basic acces* dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Untuk mengirimkan paket, stasiun X pertama “mendengar” saluran dalam waktu T_{DIFS} ($DIFS$: *Distributed Interframe Space*). Jika selama T_{DIFS} saluran tetap kosong, maka stasiun X melakukan pengiriman.

- Jika terjadi sesuatu, stasiun X menunggu selama waktu T_{DIFS} setelah periode sibuk, lalu mundur dengan interval acak yang dinamakan *Random Backoff Time*.
- Mekanisme interval *Backoff Time* dapat dijelaskan sebagai berikut :
 - Stasiun X mundur dengan memilih sebuah nilai integer tersebar seragam yaitu antara 0 sampai $W-1$, dimana W adalah besar *Contention Windows Size*. Pada pengiriman pertama, nilai W ditetapkan sebesar CW_{Min} yaitu *Contention Windows Minimal*, kemudian turun bertahap (*decrease*) sebesar setiap periode *slot time* pada saat media tidak digunakan. *Slot Time* adalah suatu waktu dengan nilai yang telah ditetapkan, penjumlahan dari waktu perkiraan kanal kosong + waktu bolak-balik Rx-Tx + waktu propagasi udara.
 - Stasiun mengirim data kembali setelah interval *Backoff* mencapai nilai nol.
 - Jika penerima menerima data, maka setelah waktu T_{SIFS} ($T_{SIFS} < T_{DIFS}$), penerima segera mengirimkan sinyal ACK ke pengirim. Jika pengirim tidak menerima sebuah sinyal ACK dalam sebuah batas waktu *ACK-Timeout*, dilakukan pengiriman ulang.
 - Setiap pengiriman tidak berhasil/ulang, nilai W menjadi dua kali lipat, hingga mencapai maksimal sebesar CW_{Maks} (*Contention Windows*). Pengiriman ulang ditunda sampai interval *backoff time* habis terlebih dahulu.

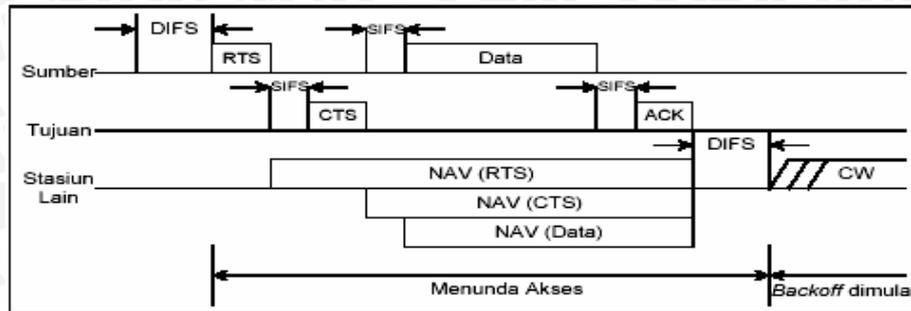


Gambar 3.5 Mekanisme *Basic Access* Protokol MAC 802.11b

[Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

Mekanisme RTS/CTS dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Sebuah stasiun ingin mengirimkan sebuah paket, menunggu sampai saluran dirasakan kosong selama waktu DIFS, selanjutnya mengikuti bentuk yang telah dijelaskan sebelumnya.
- Pada saat pemancar akan mengirimkan paket terlebih dahulu mengirimkan *frame* pendek yang disebut *Request To Send* (RTS). Penerima menerima *frame* RTS, kemudian setelah IFS menanggapi dan mengirimkan *frame Clear To Send* (CTS).
- Stasiun pemancar akan mengirimkan paket (data) jika *frame* CTS diterima secara benar. Jika *frame* data berhasil diterima oleh stasiun penerima, stasiun penerima mengirimkan pesan ACK ke stasiun pemancar, atau jika data yang diterima rusak maka penerima mengirimkan pesan NAK ke stasiun pemancar.
- *Frame* RTS dan CTS membawa informasi mengenai panjang paket yang akan dikirimkan. Informasi RTS dan CTS ini diterima oleh semua stasiun sehingga mereka menyetel petunjuk *Virtual Carrier Sense* atau disebut dengan *Network Allocation Vector* (NAV) dengan demikian diketahui sejumlah periode waktu dimana saluran tersebut akan sibuk.
- Mekanisme RTS/CTS efektif digunakan dalam pengiriman dengan bentuk pengiriman paket yang besar. Tabrakan dapat terjadi hanya ketika dua atau lebih paket dikirimkan dalam *slot time* yang sama. Jika kedua stasiun menggunakan mekanisme RTS/CTS, maka tabrakan akan terjadi hanya pada *frame* RTS. Dan dapat diketahui oleh stasiun pengirim dengan tertahannya tanggapan *frame* CTS.
- Jika stasiun penerima tidak mengirimkan pesan ACK atau NAK, maka diasumsikan *node* tersebut berada diluar jangkauan atau terhalang sesuatu (*hidden*).



Gambar 3.6 Mekanisme RTS/CTS Protokol MAC 802.11b
 [Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

Paket data (*payload*) yang dikirimkan berada pada *frame* MAC atau disebut *MAC Protocol Data Unit* (MPDU). Pada lapisan MAC, pada paket data ditempelkan alamat sumber dan tujuan sebagai *header* MAC. Sehingga panjang *frame* MAC dipengaruhi dari panjang *payload*. *Field* dalam *frame* MAC dijelaskan sebagai berikut :

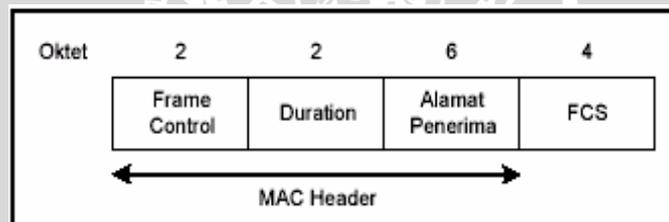
- **Frame Control** : berisi informasi kontrol *frame* dasar, termasuk tipe *frame* (data, *MAC Control* atau manajemen MAC) dan subtype.
- **Durasi/ID** : *field* ini mempunyai pengertian tergantung pada tipe *frame* :
 - Pada pesan *Power-Save Poll* adalah sebagai ID stasiun
 - Pada seluruh *frame* yang lain adalah panjang nilai yang digunakan untuk menghitung NAV.
- **Field Alamat**
 - Alamat 1, adalah alamat penerima, bila *ToDS* di-set, maka adalah alamat *Access Point*, bila tidak maka adalah alamat stasiun yang terakhir.
 - Alamat 2, adalah alamat pengirim. Bila *FromDS* di-set, maka adalah alamat *Access Point*, bila tidak di-set maka adalah alamat stasiun.
 - Alamat 3, untuk suatu kasus alamat yang hilang. Alamat 3 adalah alamat sumber yang asli. Bila *ToDS* di-set, maka alamat 3 adalah alamat tujuan.
 - Alamat 4, untuk kasus khusus dimana *Distribution System* tipe *wireless* digunakan dan *frame* dikirimkan dari satu *Access Point* ke *Access Point* yang lain.
- **Sequence Control** : *Field* ini mewakili perintah pemecahan (*fragmen*) pada suatu *frame* dan mengenali kembali paket *frame body*, berisi *frame payload* MAC, yang memiliki panjang dari 0 sampai 2312 byte.

- **CRC (Cyclic Redundancy Check)** : Field ini berisi 32 bit *cyclic redundancy check* melindungi seluruh *field* yang terdapat pada MPDU dari cacat ataupun *error*.

Pada lapisan MAC, digunakan sejumlah *frame* kontrol yang berfungsi sebagai pengaturan pengiriman data. Terdapat 3 bentuk *frame* kontrol yang digunakan sebagai *handshaking* dalam protokol pengiriman pada lapisan MAC, yaitu antara lain

1. *Frame Control Read To Send* (RTS)
2. *Frame Control Clear To Send* (CTS)
3. *Frame Control Acknowledge* (ACK)

Pada mekanisme *basic access*, hanya digunakan satu *frame* kontrol yaitu *frame control ACK* (*Acknowledge*). Alamat penerima pada *frame ACK* disalin dari alamat 2 berlangsung pada *frame* awal. Bentuk *frame ACK* dapat dilihat dalam Gambar 3.7 Dari gambar dapat dilihat bahwa panjang *frame ACK* adalah 14 *byte*.



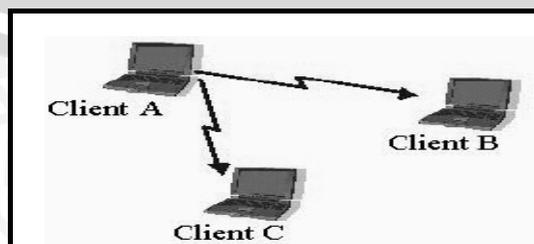
Gambar 3.7 Bentuk *frame ACK*

[Sumber : <http://www.rohde-schwarz.com>, 2005]

3.4.2 Topologi Jaringan WiFi (IEEE 802.11b)

❖ Konfigurasi *Peer to peer*

Pada topologi ini, setiap perangkat *wireless* dapat saling berhubungan. Setiap perangkat memiliki hirarki yang sama, sehingga tidak diperlukan adanya *server* yang berfungsi untuk melakukan manajemen terhadap jaringan.



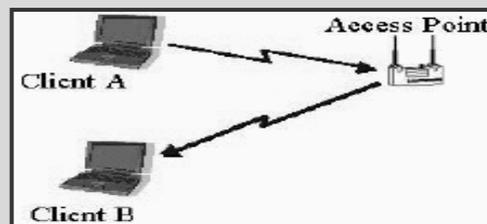
Gambar 3.8 Topologi *peer to peer* (Ad-hoc)

[Sumber : Department of Computer Science University of Maryland]

Namun konfigurasi ini hanya cocok untuk lokasi yang kecil, karena semakin besar area cakupan yang dilayani dan semakin banyak *station* (STA) yang terpasang akan menyebabkan konfigurasi pada masing-masing perangkat akan menjadi lebih rumit. Topologi ini disebut juga dengan jaringan *Adhoc* atau *Independent Basic Service Set* (IBSS).

❖ Konfigurasi Infrastruktur (*Access Point*)

Pada topologi ini, pada BSS terdapat sebuah *Access Point* (AP). Fungsi utama dari AP adalah untuk membangun jembatan antara *wireless* dan LAN konvensional. AP dapat dianalogikan sebagai *basestation* (BTS) yang digunakan pada sistem komunikasi bergerak seluler.



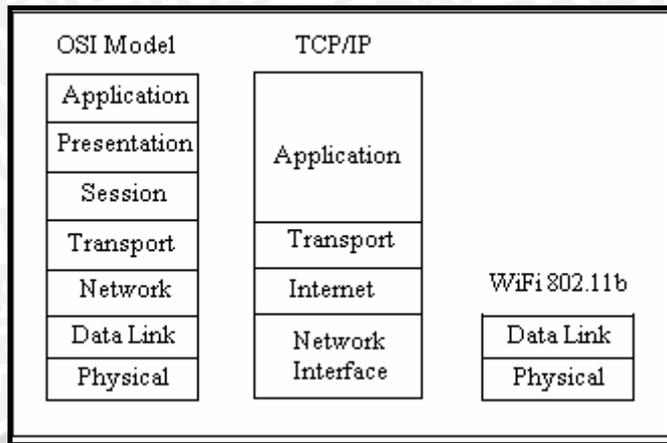
Gambar 3.9 Topologi Infrastruktur

[Sumber : Department of Computer Science University of Maryland]

Apabila terdapat AP, *station* tidak lagi berkomunikasi secara *peer to peer*. Semua komunikasi antara *station wireless* dan klien LAN konvensional dilakukan melalui AP. AP diletakkan di suatu tempat yang diam dan tidak bergerak dan merupakan bagian dari jaringan berkabel. Sebuah BSS pada konfigurasi ini dikatakan beroperasi dalam mode *infrastruktur*.

3.5 Integrasi TCP/IP dan WiFi (IEEE 802.11b)

Ketika *Datagram* IP dilewatkan melalui jaringan WiFi maka terjadi proses enkapsulasi terhadap *Datagram* IP. Pada protokol WiFi 802.11b hanya mendefinisikan dua layer yaitu *Data Link layer* dan *Physical Layer*. Berikut ini kesetaraan antara OSI, TCP/IP dan WiFi 802.11b



Gambar 3.10 Kesetaraan TCP/IP dan OSI

[Sumber : www.wlana.org, 2005]

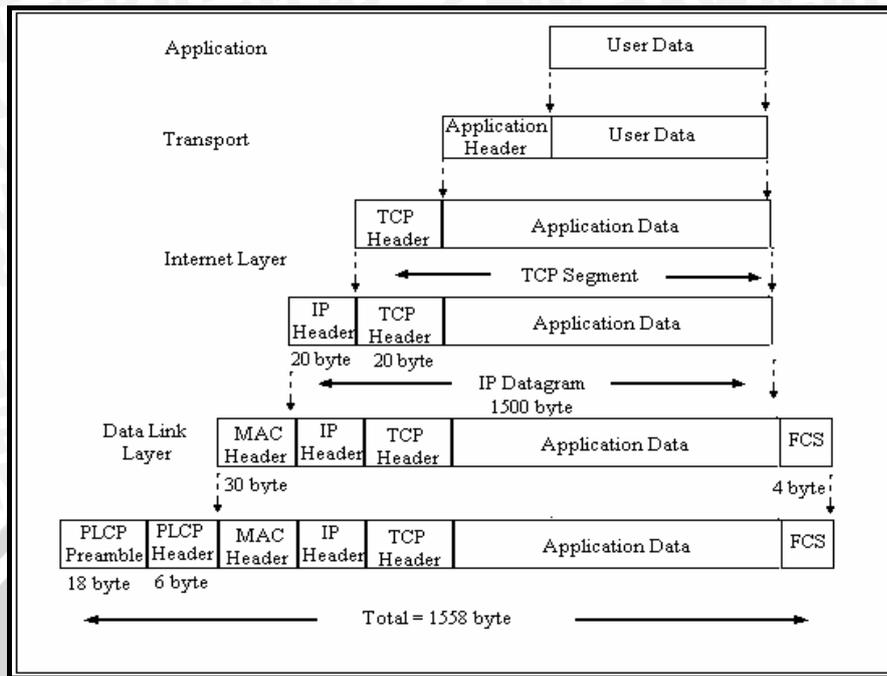
Ukuran suatu data akan semakin besar ketika semakin banyak protokol-protokol yang dilewati, karena setiap lapisan pada masing-masing protokol akan menambahkan *header* sesuai dengan fungsinya masing-masing. Pada lapisan *Data Link* dari WiFi ini, *Datagram IP* akan ditambahkan *MAC Header* dan *Frame Check Sequence (FCS)*. *MAC Header* berukuran 30 *byte* dan *Frame Check Sequence* berukuran 4 *byte*. Kemudian pada lapisan *Physical* akan ditambahkan dengan *PLCP Preamble* dan *PLCP Header* yang masing-masing ukurannya 18 *byte* dan 6 *byte*. Sehingga seluruh data yang terjadi setelah proses enkapsulasi adalah sebagai berikut :

Data Total = *MAC Header* + *Frame Check Sequence* + *PLCP Preamble* + *PLCP Header* + *Datagram IP*

Data Total = 30 *byte* + 4 *byte* + 18 *byte* + 6 *byte* + 1500 *byte*

Data Total = 1558 *byte*

Berikut ini proses enkapsulasi yang terjadi pada integrasi protokol TCP/IP dan WiFi 802.11b.



Gambar 3.11 Integrasi TCP/IP dan WiFi 802.11b
 [Sumber : www.wlana.org, 2005]

3.6 Performansi Jaringan

Beberapa parameter jaringan yang dapat dianalisis dalam penerapan TCP pada jaringan atau kanal wireless adalah *Throughput*, *TCP Round Trip Time*, dan *utilitas link*.

3.6.1 Waktu Tunda (Delay End to end)

Definisi umum dari waktu tunda (delay) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ke tujuan. Dalam jaringan berbasis *packet switching*, waktu tunda yang terjadi adalah jumlahan *delay-delay* perjalanan paket dari sumber ke tujuannya (Bersekas & Gallager, 1992:150).

Waktu tunda pengiriman paket data pada jaringan secara umum dirumuskan seperti dalam persamaan dibawah ini yaitu (Bersekas & Gallager, 1992) :

$$\text{Delay total} = \text{Queuing} + \text{Transmission} + \text{Propagation}$$

$$t_v = t_w + t_1 + t_{\text{trans}} \dots \dots \dots (3-1)$$

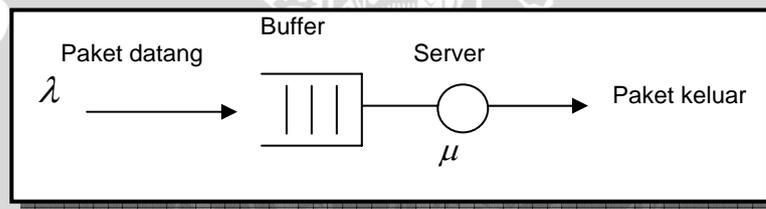
dengan :



- t_v : delay total (s)
- t_w : delay pada sistem antrian (s)
- t_1 : delay propagasi antar terminal (s)
- t_2 : delay transmisi (s)

3.6.1.1 Delay Antrian

Delay antrian adalah waktu di mana paket data tersebut berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan. *Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1. M pertama menunjukkan distribusi kedatangan *Poisson*, M kedua berarti distribusi waktu pelayanan eksponensial, dan 1 menunjukkan bahwa jumlah *server* adalah tunggal. Disiplin antrian yang digunakan dalam model antrian ini yaitu FIFO (*First In First Out*).



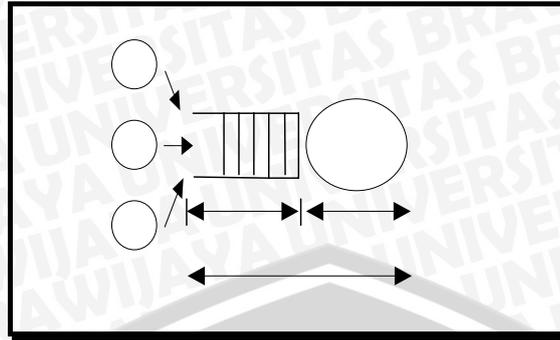
Gambar 3.12 Model Antrian *single-server*
[Sumber : Schwartz, 1987 : 22]

Model antrian *single-server* ini diwakili oleh sebuah *node* yang dilengkapi dengan *buffer*. Model antrian *single-server* tampak pada Gambar 3.6. Paket data yang datang dapat berasal dari kelompok *node* yang terhubung langsung dengan *server* (*server* dapat berupa *repeater*, *switch*, atau *router*) atau *link* yang berhubungan dengan *node* lain. Besarnya *delay* antrian yang terjadi pada *router* yaitu (I Made Wiryana, 1992:2):

$$t_w = t_{queue} + t_{serv} \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

dengan:

- t_w : delay antrian pada *router* (detik)
- t_{queue} : waktu tunggu paket pada *router* (detik)
- t_{serv} : waktu rata-rata pelayanan *router* (detik)



Gambar 3.13 Analisis Delay Antrian
[Sumber: Wiryana, 1992:2]

Di mana :

$$t_{serv} = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots(3-3)$$

dengan :

μ : kecepatan pelayanan *server/router* (paket/detik)

Nilai kecepatan pelayanan *server/router* diperoleh dengan persamaan (Schwartz, 1987:23):

$$\mu = \frac{C}{\mu'} \dots\dots\dots(3-4)$$

dengan :

μ : kecepatan pelayanan *server/router* (paket/detik)

C : kapasitas transmisi *server/router* (bps)

μ' : panjang paket (bit)

Performansi sistem antrian ditunjukkan dalam bentuk utilitas:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \Rightarrow \lambda = \mu\rho \dots\dots\dots(3-5)$$

dengan :

ρ : utilitas ($0 < \rho < 1$)

λ : kecepatan kedatangan paket pada *router* (paket/detik)

μ : kecepatan pelayanan *server/router* (paket/detik)

Jumlah paket dalam sistem adalah:



$$N = \sum_{m=1}^{\infty} P_m = \frac{\rho}{1-\rho} \text{ (paket) } \dots\dots\dots(3-6)$$

dengan :

P_m : paket ke-m

Dengan menggunakan teori Little diperoleh nilai *delay* rata-rata atau waktu tunggu:

$$T = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \text{ (detik) } \dots\dots\dots(3-7)$$

Sehingga waktu tunggu paket dirumuskan dengan (I Made Wiryana, 1999:7):

$$t_{queue} = T - t_{serv} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \dots\dots\dots(3-8)$$

Total *delay* antrian yang terjadi pada *router*:

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots(3-9)$$

3.6.1.2 Delay Propagasi

Delay propagasi adalah lamanya waktu perambatan atau penjalaran yang dibutuhkan oleh data (bit, byte, atau paket data/segmen data) dari satu node ke node lain melalui sebuah media transmisi. Besarnya delay ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Jacobson V, 1997):

$$t_1 = \frac{d}{c} \dots\dots\dots(3-10)$$

dengan :

t_1 : delay propagasi (s)

d : jarak (meter)

c : kecepatan gelombang radio (3.10^8 m/s)

3.6.1.3 Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket data. Delay ini tergantung pada ukuran paket data yang digunakan. Setiap paket/segmen data yang akan ditransmisikan mempunyai batas ukuran



maksimum yang disebut Maximum Segment Size (MSS). Jumlah segmen maksimum yang dibutuhkan untuk mentransmisikan suatu file data dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W_{\max} = \frac{F}{MSS} \dots\dots\dots(3-11)$$

dimana :

- W_{\max} : jumlah maksimum segmen transmisi
- F : ukuran file data yang dikirimkan (byte)
- MSS : ukuran maksimum segmen (byte)

Besarnya delay ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Jacobson V, 1997) :

$$t_2 = \frac{W_{\max}}{V} \dots\dots\dots(3-12)$$

dengan :

- t_2 : delay transmisi (sec.)
- W_{\max} : jumlah maksimum segmen transmisi (paket)
- V : kecepatan paket (bit/sec.)

3.6.2 TCP Round Trip Time

Faktor RTT berpengaruh pada mekanisme transmisi ulang segmen TCP dalam menentukan besarnya timeout. Didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh sebuah segmen dari awal transmisi hingga diterimanya *acknowledgement* untuk segmen tersebut.

Model penghitungan waktu RTT diperoleh dengan menghitung waktu pengiriman segmen satu arah ke hop n dan waktu yang dibutuhkan untuk *acknowledgement* segmen tersebut dari hop n ke hop sumber (Jacobson V, 1997)

$$RTT = \sum_{i=1}^n \frac{S}{b_i} + \frac{S_{ack}}{b_i} + 2 \frac{d_i}{c} + f_i + f_{i-1} + 2Q_i \dots\dots\dots(3-13)$$

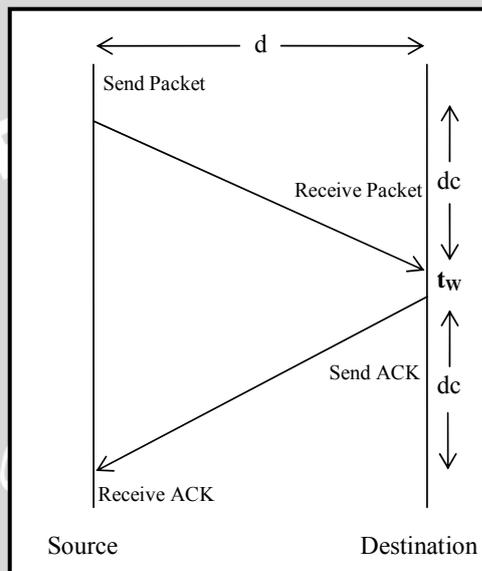
dengan :

- S : besarnya segmen data yang dikirim (byte)
- S_{ack} : besarnya segmen acknowledgement yang dikirim (byte)
- b_i : bandwidth jalur ke i (bit/s)



- d_i : jarak dari jalur ke i (m)
 c : cepat rambat cahaya dalam media transmisi (m)
 f_i : waktu proses pada router ke i (s)
 Q_i : delay antrian (s)

Mekanisme penghitungan RTT dimulai saat awal pentransmisi segmen oleh *source* menuju ke *destination* dan diakhiri ketika segmen *acknowledgement* diterima oleh *source*.



Gambar 3.14 Pemodelan RTT
[Sumber : Hasil Analisis]

Model perhitungan RTT adalah jumlahan dari *delay-delay* yang terjadi, seperti ditunjukkan oleh gambar 3.14. *Delay-delay* tersebut adalah *delay* propagasi (d/c), *delay* transmisi (RLC_{data}/B , RLC_{ack}/B), dan *delay* antrian t_w .

Dari model perhitungan, besarnya waktu RTT didapatkan :

$$RTT = \left[2 \frac{d}{c} + \frac{RLC_{data}}{B} + \frac{RLC_{ack}}{B} + t_w \right] \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

RLC_{data} = besarnya *block* data yang ditransmisikan (byte)

RLC_{ack} = besarnya *block* acknowledgement yang dikirim (byte)

B = bandwidth (bit/s)

d = jarak dari *source* ke *destination* (m)

c = kecepatan gelombang radio (m/s)

t_w = delay antrian (s)

3.6.3 Throughput

Throughput adalah kecepatan maksimum jaringan saat tidak ada data yang hilang pada pentransmisiannya atau bisa didefinisikan sebagai banyaknya data yang bisa ditransmisikan. Pengiriman data antara *client* dan *server* dengan menggunakan TCP akan berusaha dengan seksama untuk dapat mengirimkan data dengan cara memeriksa kesalahan, mengirimkan data ulang (retransmisi) dan dengan mengirimkan *error* kelapisan atasnya. Persamaan maksimum *throughput* yang mungkin didapat dengan memperhatikan probabilitas paket diterima dalam keadaan salah (ρ) adalah (Schwartz : 1987:129)

$$T = \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho)}{t_1 [1 + (\alpha - 1)\rho]} \dots\dots\dots(3-15)$$

dengan :

- T : troughput (paket/s)
- t_v : waktu rata-rata transmisi untuk mengirimkan paket yang benar (s)
- t_1 : waktu transmisi sebuah paket data atau frame (s)
- ρ : probabilitas frame yang salah
- α : konstanta = $1 + (t_{out} / t_1)$

Pada proses pentransmisian data antara *client/server*, segmen TCP yang dikirimkan mempunyai karakteristik tertentu, yaitu panjang segmen data L (MSS) dan header sebagai bidang kontrol/pengaman (L'), sehingga probabilitas error bit (probabilitas kesalahan data yang diterima) diberikan oleh persamaan (Schwartz : 1987:132) :

$$\rho = 1 - (1 - \rho_b)^{L/L'} = 1 - q_b^{L/L'} \dots\dots\dots(3-16)$$

dengan :

- ρ_b : probabilitas bit dalam keadaan salah
- q_b : probabilitas bit dalam keadaan benar ($1 - \rho_b$)

untuk ρ_b yang sangat kecil sedemikian hingga $(L + L') \rho_b \ll 1$, maka akan didapat persamaan :

$$\rho = (L + L')\rho_b \ll 1 \dots\dots\dots(3-17)$$

Kecepatan rata-rata data yang dapat diterima adalah (Schwartz : 1987:132)

$$D = TL = \frac{(1 - \rho)L}{t_1 [1 + (\alpha - 1)\rho]} \dots\dots\dots(3-18)$$

dengan :

- D : kecepatan rata-rata data diterima (bps)
- L : MSS = panjang segmen data TCP (bit)
- L' : total header

Apabila $t_1 = (L + L')/ B$, dengan B nilai kapasitas jalur transmisi dat, maka nilai troughput data ternormalisasi akan didapatkan dengan persamaannya adalah (Schwartz : 1987: 133) :

$$D/B = \left(\frac{L}{L + L'} \right) \left[\frac{(1 - \rho)L}{t_1 [1 + (\alpha - 1)\rho]} \right] \leq 1 \dots\dots\dots(3-19)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa kecepatan troughput data ternormalisasi merupakan fungsi dari panjang segmen TCP (L dan L'), probabilitas error bit dan interval timeout yang ditunjukkan dengan parameter penormalisasi yaitu α .



BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis *Performansi TCP pada Jaringan Wireless LAN* dalam bentuk konsep yang mengacu pada studi kepustakaan. Data yang digunakan berupa data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang didapat langsung dari simulasi. Simulasi dilakukan dengan pembuatan pemodelan jaringan *wireless LAN* dengan menggunakan protokol WiFi (IEEE 802.11b). Data sekunder adalah data yang didapat dari berbagai teks dan *download* jurnal dari internet. Untuk mencapai tujuan yang dimaksud, maka digunakan metodologi sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur, yaitu mempelajari dan memahami teori-teori yang berkaitan dengan protokol TCP/IP dan protokol WiFi (IEEE 802.11b).

2. Pengumpulan dan penyusunan data

Data-data yang digunakan dalam kajian ini berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari berbagai buku teks, jurnal-jurnal dan *download* dari Internet khususnya yang berhubungan dengan protokol TCP/IP dan protokol WiFi 802.11b. Data primer adalah data-data yang diambil dari hasil pemodelan jaringan WiFi.

3. Analisis Data

Melakukan analisis data-data dan teori-teori yang telah diperoleh. Metode analisis data yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Analisis data secara kuantitatif

Analisis data kuantitatif bersifat uji empiris teori yang dipakai dan dilakukan setelah pengumpulan data selesai dilakukan. Analisis dilakukan dengan cara mengolah data yang diperoleh dari proses

simulasi dengan menggunakan persamaan matematis yang ada dalam kajian ini yaitu ; *delay end to end, throughput, Round Trip Time*.

- Analisis data secara kualitatif

Berdasarkan analisis kuantitatif, maka dapat diambil suatu pendapat dan suatu penarikan kesimpulan dari analisis yang dilakukan.

4. Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan ditulis setelah analisis performansi TCP pada jaringan wireless LAN selesai dilakukan.

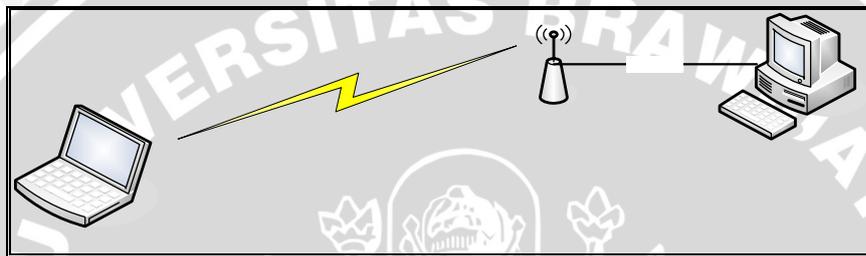


BAB V

ANALISIS PERFORMANSI TCP PADA JARINGAN WIRELESS LAN

5.1 Pemodelan Jaringan

Pemodelan dilakukan di TPTI-FT universitas Brawijaya dengan membuat suatu jaringan wireless sederhana dengan menggunakan protocol IPv4 seperti ditunjukkan dalam gambar 5.1.



Gambar 5.1 Pemodelan Jaringan Wireless LAN
[Sumber : Perencanaan Simulasi]

Sebagai *Destination*, digunakan sebuah PC (Personal Computer) yang dihubungkan dengan AP (Access Point) melalui *Ethernet*, sedangkan *Terminal* berupa perangkat Laptop. *Terminal* bertindak sebagai *server* yang akan mengirimkan paket data, sedangkan *destination* bertindak sebagai *client* yang akan menerima paket data.

5.1.1 Perangkat Keras Sistem

- Konfigurasi Perangkat *Destination* dan **Access Point**
 - AMD Athlon(tm) 1.41 GHz
 - RAM 512 Mb
 - LAN card 100 Mbps
 - Access Point Compex WP11A+
- Konfigurasi *Terminal* I
 - Intel® Pentium III Mobile 1.20 GHz
 - RAM 256 MB
 - Dell TrueMobile 1150 Series Wireless LAN mini PCI adapter

(compatitibility with IEEE 802.11 and Wi-Fi (wireless fidelity))

- Konfigurasi Terminal II
 - Intel ® Pentium Mobile 1500 Mhz
 - RAM 760 MB
 - Intel ® PRO/Wireless LAN 2100 3B mini PCI adapter
- (IEEE Standards : 802.11b)

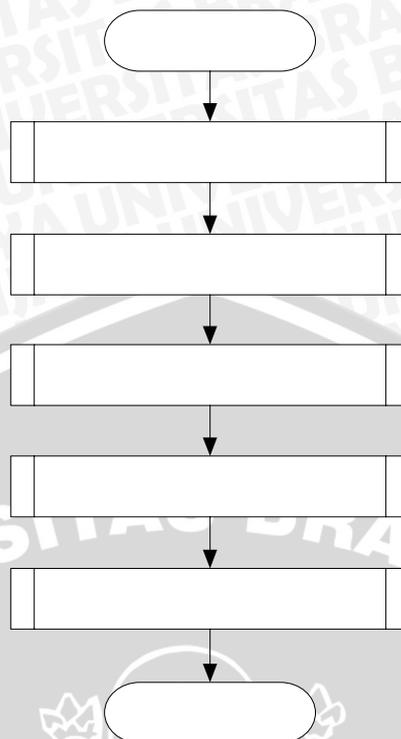
5.1.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah Windows XP, yang digunakan sebagai operating sistem pada terminal dan *destination*. OS ini digunakan karena tergolong stabil dalam pengoperasiannya. Software lain yang digunakan untuk mendukung jaringan ini adalah :

- *TTCP*, merupakan trafik generator yang diterapkan pada *terminal*. *Software* ini berfungsi untuk membangkitkan trafik TCP. Besarnya paket data yang dikirimkan ditentukan dengan menentukan panjang data yang ingin dikirimkan dengan cara menentukan nilai panjang data (n) yang dinyatakan dalam byte. Hasil yang diperoleh adalah *delay end-to-end* atau waktu total pentransmisi data.
- *Ethereal*, merupakan software yang digunakan untuk menganalisis paket yang dikirimkan dari terminal menuju *destination*.

5.1.3 Diagram Alir Pemodelan jaringan

Gambar 5.2 adalah diagram alir perencanaan simulasi jaringan *wireless* LAN. Implementasi ini dimulai dengan menginstal *Network Operating System (NOS)*. Langkah berikutnya adalah menginstal *Ethernet Card* dan mengkonfigurasi alamat IP. Alamat yang digunakan pada simulasi adalah 192.168.100.100. Langkah terakhir menghubungkan AP ke *destination* dan instalasi *software* yang diperlukan dalam simulasi dan pengambilan data.



Gambar 5.2. Diagram Alir Perencanaan Simulasi Jaringan Wireless LAN
(Sumber : perencanaan simulasi)

5.2 Hasil Simulasi

Akan dilakukan dua tahap pengumpulan data. Yang pertama akan dilakukan pengambilan data dengan mengirimkan data menggunakan satu *terminal* yang berubah jarak dari AP dan yang kedua dilakukan dengan mengirimkan data menuju *destination* menggunakan dua buah *terminal* dengan jarak yang sama dari AP.



Gambar 5.3 Access Point WP11A+

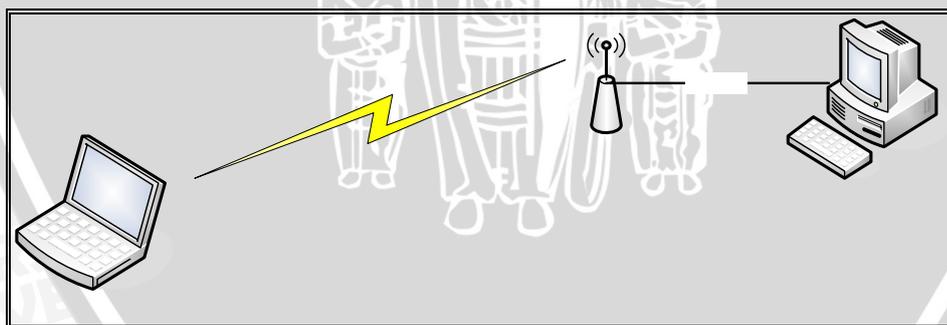
Dalam pengamatan, panjang data yang akan dikirimkan dari *terminal* adalah sebagai berikut:

Tabel 5.1 Panjang Data yang Dikirimkan dari *Terminal* ke *Destination*

NO	Panjang Data yang Dikirimkan n (byte)
1	1000
2	10000
3	100000
4	1000000
5	2000000
6	5000000
7	10000000
8	20000000
9	50000000
10	100000000

(Sumber : perencanaan simulasi)

Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 menampilkan hasil simulasi. *Delay end-to-end* adalah waktu yang dibutuhkan data dari *terminal* untuk sampai ke *destination*.



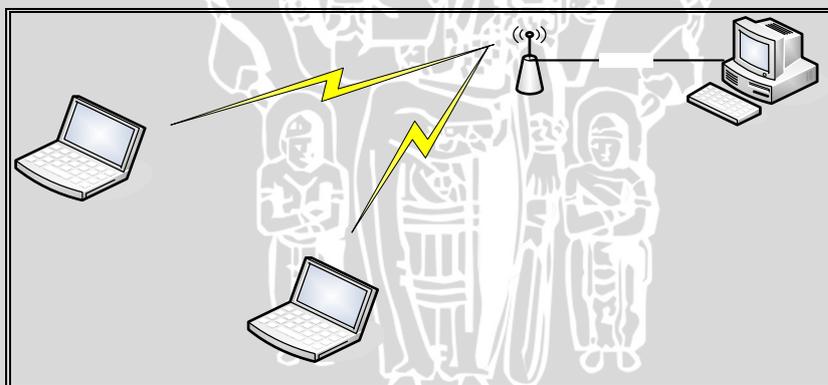
Gambar 5.4 Pengukuran Dengan Jarak Terminal yang Berubah
[Sumber : Perencanaan Simulasi]

Tabel 5.2 Delay end to end pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

No	Panjang Data n(Byte)	Delay berdasarkan perbedaan Jarak (detik)	
		± 5 meter	± 10 meter
1	1000	0,008448	0,010901
2	10000	0,03322	0,042740
3	100000	0,368496	0,370464
4	1000000	1,925879	3,082257
5	2000000	3,934295	6,241209
6	5000000	9,389053	14,068666
7	10000000	18,664757	40,397064
8	20000000	37,347936	91,270010
9	50000000	94,598411	111,634909
10	100000000	189,427213	196,322608

(Sumber : hasil simulasi)

Berikut adalah gambar simulasi pengiriman data dengan menggunakan dua buah terminal:



Gambar 5.5 Pengukuran Dengan Dua Terminal
[Sumber : Perencanaan Simulasi]

Tabel 5.3 Delay end to end pada Pengiriman Dengan Dua Terminal (jarak ± 5 meter)

No	Panjang Data n(Byte)	Delay end to end (detik)		Total (detik)
		Terminal I	Terminal II	
1	2000000	3,820652	6,568893	10,394476
2	5000000	9,481745	16,124828	25,606573
3	10000000	18,907186	35,823432	54,730618
4	20000000	38,302656	69,610762	107,917797
5	50000000	92,865381	191,819073	284,684454
6	100000000	186,59007	573,542372	760,145476

(Sumber : hasil simulasi)

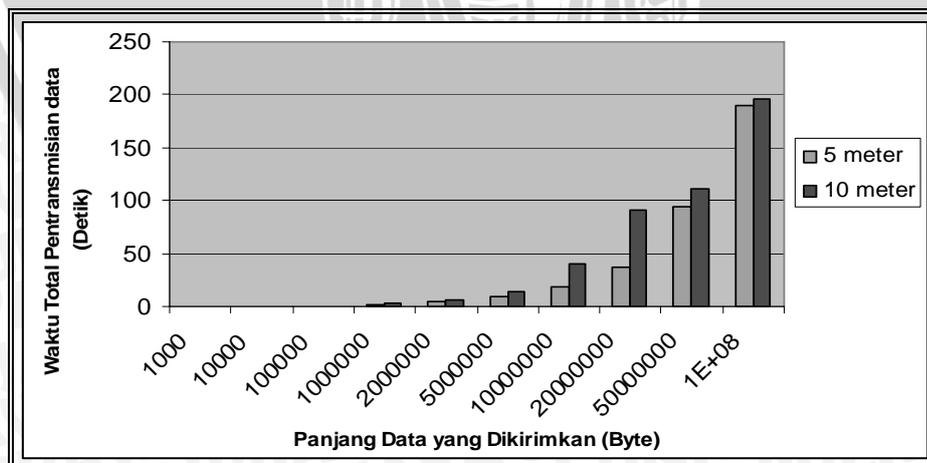
5.3 Analisis Performansi pada Pemodelan Jaringan

Berikut adalah analisis performansi TCP pada jaringan *wireless* LAN yang disimulasikan.

5.3.1 Analisis Delay End-to-end

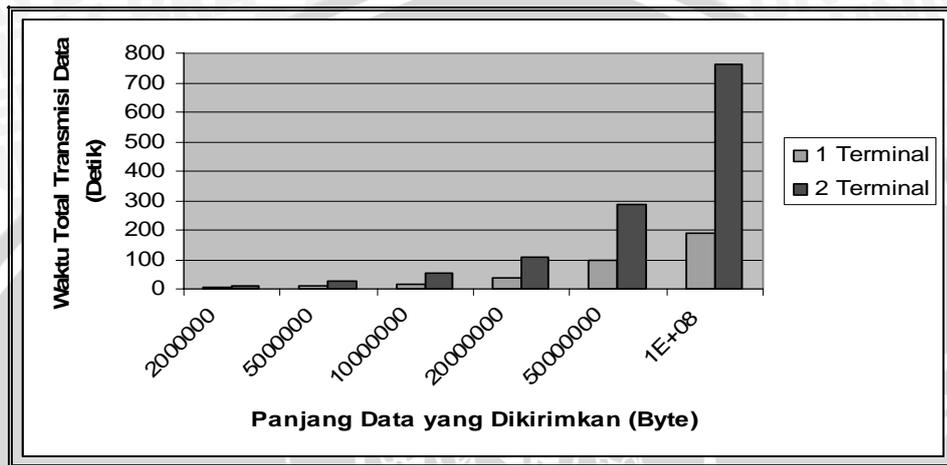
Pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3, dapat diamati waktu total pentransmisian data (*delay end-to-end*) pada jaringan *wireless* dengan panjang data yang telah ditentukan.

Berikut adalah grafik waktu total pentransmisian data (*delay end-to-end*) terhadap panjang data yang dikirimkan :



Gambar 5.6 Grafik *Delay end-to-end* Pengiriman Dengan Satu Terminal

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa pengiriman data dari terminal ke *destination* pada jarak 10 meter membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan pengiriman data dengan jarak 5 meter. Dapat dilihat juga bahwa semakin besar panjang data yang dikirimkan maka waktu yang diperlukan data untuk sampai ke *destination* juga semakin lama.



Gambar 5.7 Grafik Perbandingan *Delay end-to-end* pada Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal

Gambar 5.7 menunjukkan bahwa pengiriman data menggunakan dua terminal membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan pengiriman dengan satu terminal. Hal ini terjadi karena adanya *delay* transmisi yang semakin panjang saat dua terminal mengirimkan data.

5.3.2 Analisis *Throughput*

Throughput dapat dihitung dengan Persamaan (3-15) :

$$T = \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho)}{t_1 [1 + (\alpha - 1)\rho]}$$

dengan :

- T : troughput (paket/s)
- t_v : waktu rata-rata transmisi untuk mengirimkan paket yang benar (s)
- t_1 : waktu transmisi sebuah paket data atau frame (s)
- ρ : probabilitas frame yang salah
- α : konstanta = $1 + (t_{out} / t_1)$

Jika Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 menunjukkan waktu total pentransmision data maka t_v dapat dihitung sebagai berikut :

$$t_v = \frac{\text{delay end-to-end}}{\text{jumlah paket yang dikirim}} \text{ (detik)}$$

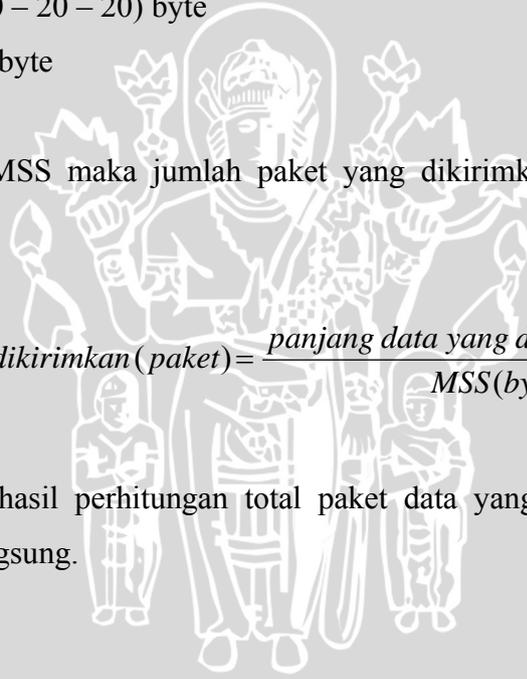
MSS adalah panjang maksimum data yang diizinkan pada sebuah paket, sehingga MSS dapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{MSS}_{\text{TCP}} &= \text{MSS pengiriman paket dengan menggunakan TCP} \\ \text{MSS}_{\text{TCP}} &= \text{MTU}_{\text{Ethernet}} - \text{Header TCP} - \text{Header IPv4} \\ &= (1500 - 20 - 20) \text{ byte} \\ &= 1460 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui MSS maka jumlah paket yang dikirimkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Jumlah paket yang dikirimkan (paket)} = \frac{\text{panjang data yang dikirimkan (byte)}}{\text{MSS (byte)}}$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan total paket data yang dikirimkan pada pengukuran secara langsung.



Tabel 5.4 Jumlah Paket Data Yang Dikirimkan pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Jumlah Paket	
		± 5 meter	± 10 meter
1	1000	1	1
2	10000	8	8
3	100000	74	72
4	1000000	732	731
5	2000000	1465	1461
6	5000000	3661	3652
7	10000000	7324	7257
8	20000000	14649	14440
9	50000000	36620	36602
10	100000000	73293	73252

(Sumber : hasil simulasi)

Tabel 5.5 Jumlah Paket Data yang Dikirimkan pada Pengiriman Dengan Dua Terminal (jarak ± 5 meter)

No.	Panjang data (Byte)	Jumlah Paket		Total
		Terminal I	Terminal II	
1	2000000	1465	1465	2930
2	5000000	3665	3661	7326
3	10000000	7328	7326	14654
4	20000000	14655	14651	29306
5	50000000	36629	36629	73258
6	100000000	73252	73271	146523

(Sumber : hasil simulasi)

Dengan mengetahui jumlah paket yang dikirimkan maka *throughput* dapat dihitung sebagai berikut :

Throughput pada pengiriman data 2MB

$$T = \frac{1}{tv}$$

$$T = \frac{1}{\text{waktu total pentransmisian data} / \text{jumlah paket yang dikirimkan}} \quad (\text{paket/detik})$$

$$T = \frac{\text{jumlah paket yang dikirimkan}}{\text{waktu total pentransmisian data}} \text{ (paket/detik)}$$

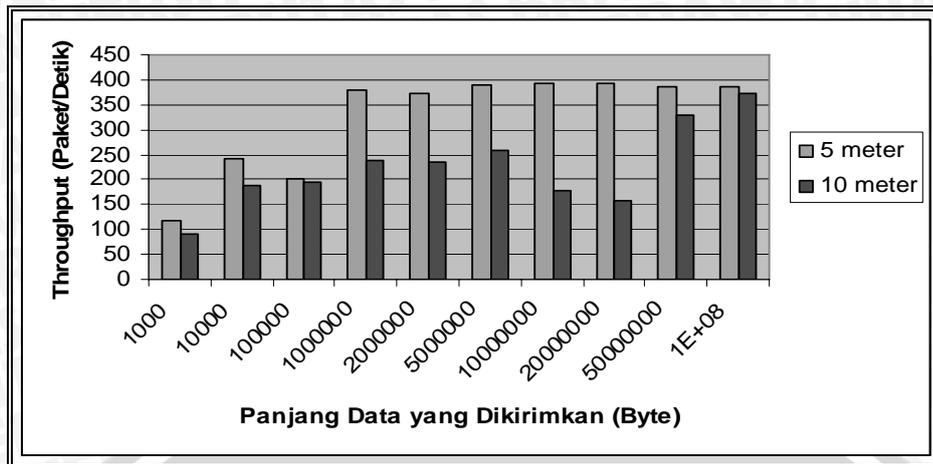
$$T = \frac{1465 \text{ paket}}{3.934295 \text{ detik}} = 372,3665866 \text{ (paket/detik)}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai *throughput* untuk masing-masing besar data pada pengiriman dengan satu terminal secara langsung seperti dalam tabel berikut :

Tabel 5.6 Throughput pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Throughput (Paket/Detik)	
		± 5 meter	± 10 meter
1	1000	118,3712121	91,73470324
2	10000	240,8187839	187,1782873
3	100000	200,8162911	194,3508681
4	1000000	380,086184	237,1638705
5	2000000	372,3665866	234,0892606
6	5000000	389,9221785	259,5839577
7	10000000	392,3972865	179,641768
8	20000000	392,2305104	158,2118814
9	50000000	387,1100964	327,8723504
10	100000000	386,9190643	373,1205527

(Sumber : hasil perhitungan)



Gambar 5.8 Grafik *Throughput* Pengiriman Dengan Satu Terminal

Gambar 5.8 menunjukkan bahwa *Throughput* pada jarak antara terminal dengan AP sejauh 5 meter lebih besar daripada saat terminal berjarak 10 meter. Hal ini disebabkan karena pada jarak 5 meter, terminal mampu mengirimkan lebih banyak paket data dalam waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan ketika pada jarak 10 meter

Sedangkan untuk pengiriman menggunakan dua terminal adalah sebagai berikut:

Tabel 5.7 *Throughput* pada Pengiriman Dengan Dua Terminal (jarak ± 5 meter)

No.	Panjang Data (Byte)	Throughput (Paket/Detik)		Total
		Terminal I	Terminal II	
1	2000000	383,442407	223,020835	281,880491
2	5000000	386,532226	227,041181	286,098417
3	10000000	387,577506	204,503019	267,747753
4	20000000	382,610543	210,470329	271,558546
5	50000000	394,431161	190,955985	257,330525
6	100000000	392,582521	127,751677	192,756524

(Sumber : hasil perhitungan)

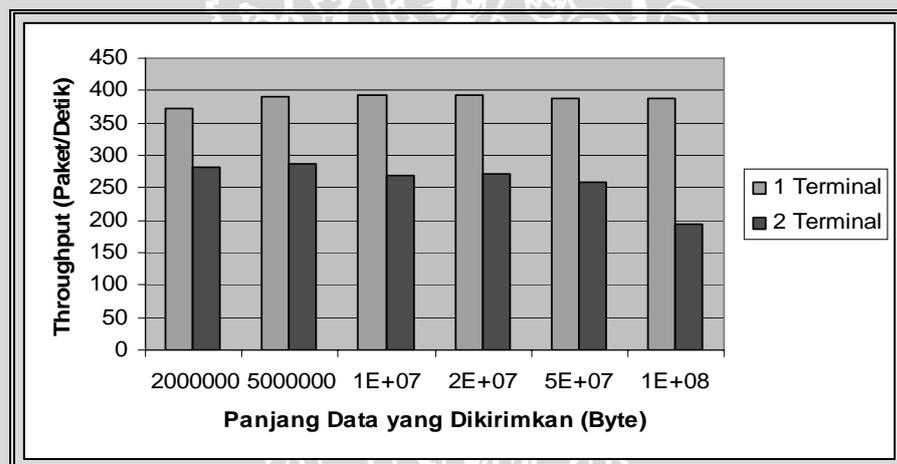
Berikut adalah tabel perbandingan *Throughput* pada pengiriman antara satu dan dua terminal :

Tabel 5.8 Perbandingan *Throughput* pada Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Throughput (Paket/Detik)	
		1 Terminal	2 Terminal
1	2000000	372,3665866	281,880491
2	5000000	389,9221785	286,098417
3	10000000	392,3972865	267,747753
4	20000000	392,2305104	271,558546
5	50000000	387,1100964	257,330525
6	100000000	386,9190643	192,756524

(Sumber : hasil perhitungan)

Berikut adalah grafik perbandingan *Throughput* antara pengiriman menggunakan satu terminal:



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan *Throughput* Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa *Throughput* pada pengiriman dengan satu terminal lebih besar daripada pengiriman dengan dua terminal. Hal ini disebabkan karena pada pengiriman dengan satu terminal, waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman data lebih kecil dibandingkan dengan dua terminal.

5.3.3 Analisis Round Trip Time

Pada bagian ini akan dilakukan analisis perhitungan RTT dalam pentransmisian TCP pada jaringan wireless LAN. Dalam perhitungan RTT ini diasumsikan proses autentifikasi sudah dilakukan sehingga data dapat langsung dikirimkan.

Model penghitungan waktu RTT diperoleh dengan menghitung waktu pengiriman segmen satu arah ke hop n dan waktu yang dibutuhkan untuk *acknowledgement* segmen tersebut dari hop n ke hop sumber (Jacobson V, 1997) Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* melalui jaringan IP ditentukan dengan persamaan:

$$t_1 = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}}$$

dimana :

$$PL_{frame} = \text{MTU} = 1500 \text{ byte}$$

$$H_{frame} = 58 \text{ byte}$$

$$C_{trans} = 11 \text{ Mbps}$$

Pada pengujian, diketahui bahwa setiap pengiriman dua buah segmen data dari *source*, *destination* membalas dengan mengirimkan satu buah segmen *ACK* (kecuali pada pengiriman data sebesar 1000 Byte dimana hanya terdapat 1 segmen data), maka diperoleh :

$$RTT = (2 \times t_{data}) + t_{ack}$$

$$t_{ack} = \frac{(54) \times 8}{11 \times 10^6} = 0,0000392728 \text{ detik}$$

untuk pengiriman data 2 MB:

$$Delay_{end\ to\ end} = t_v = \left(n_{paket\ data} \times t_{data} \right) + \left(\frac{n_{paket\ data} \times t_{ack}}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} t_{data} &= \frac{t_v - (1/2 \times n_{paket\ data} \times t_{ack})}{n_{paket\ data}} \\ &= \frac{3,934295 - (0,5 \times 1465 \times 0,0000392728)}{1465} \end{aligned}$$

$$= \frac{3,934295 - 0,028767326}{1465} = 0,0026658892 \text{ detik}$$

$$RTT = (2 \times t_{data}) + t_{ack}$$

$$RTT = (2 \times 0,0026658892) + 0,0000392728$$

$$RTT = 0,005371051195 \text{ detik}$$

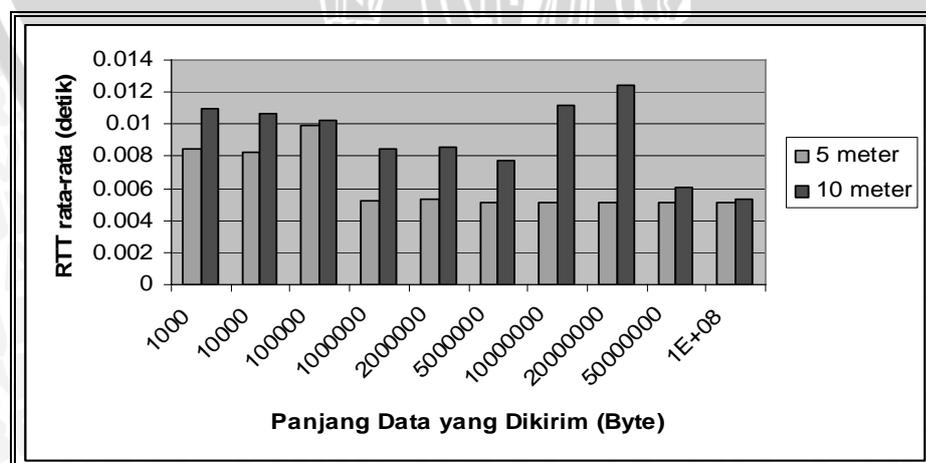
berikut adalah tabel hasil perhitungan $RTT_{rata-rata}$ pada pengiriman dengan satu terminal

Tabel 5.9 Besar RTT pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Besar Round Trip Time (detik)	
		5 meter	10 meter
1	1000	0,008467636	0,010920636
2	10000	0,008305	0,010685
3	100000	0,009959351	0,010290667
4	1000000	0,005261964	0,008432988
5	2000000	0,005371051	0,008543749
6	5000000	0,005129229	0,007704636
7	10000000	0,005096875	0,011133268
8	20000000	0,005099042	0,012641276
9	50000000	0,005166489	0,006099935
10	100000000	0,00516904	0,005360198

(Sumber : hasil perhitungan)

Berikut adalah grafik perbandingan $RTT_{rata-rata}$ pada pengiriman dengan satu terminal



Gambar 5.10 Grafik RTT pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

Gambar 5.10 menunjukkan bahwa pada pengiriman dengan jarak antara terminal dengan AP sejauh 10 meter, nilai $RTT_{rata-rata}$ yang terjadi lebih besar jika dibandingkan dengan jarak 5 meter. Hal ini disebabkan oleh delay propagasi yang dipengaruhi oleh jarak terminal. Dapat dilihat juga bahwa nilai $RTT_{rata-rata}$ untuk setiap besar data yang berbeda tidak sama (besar $RTT_{rata-rata}$ bervariasi untuk setiap panjang data yang berbeda). Hal ini dapat disebabkan oleh proses paketisasi data yang tidak sama untuk setiap besar data yang berbeda.

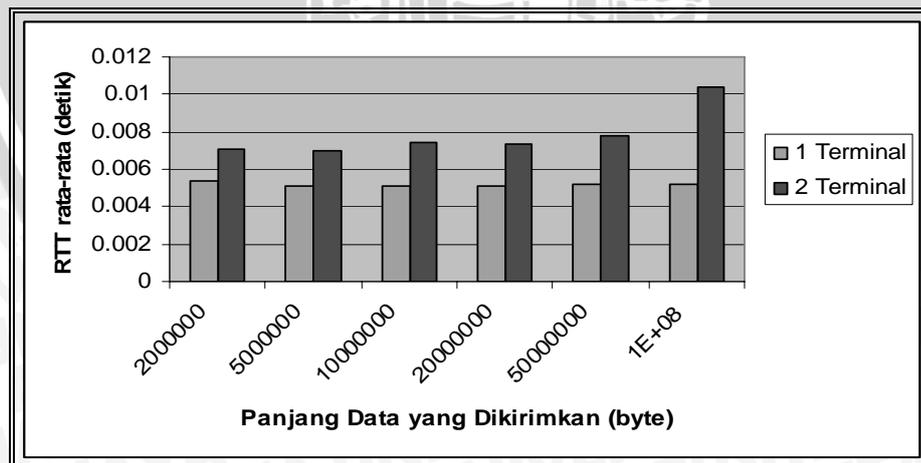
Berikut adalah tabel perbandingan $RTT_{rata-rata}$ pengiriman antara satu dan dua terminal

Tabel 5.10 Besar RTT pada Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal (jarak \pm 5 meter)

No.	Panjang Data (Byte)	Besar Round Trip Time (detik)	
		1 Terminal	2 Terminal
1	2000000	0,005371051	0,007095205
2	5000000	0,005129229	0,006990601
3	10000000	0,005096875	0,007469717
4	20000000	0,005099042	0,007364894
5	50000000	0,005166489	0,007772106
6	100000000	0,00516904	0,010375784

(Sumber : hasil perhitungan)

Berikut adalah grafik RTT rata-rata pada pengiriman data antara satu dan dua terminal



Gambar 5.11 Grafik RTT pada Pengiriman Dengan Satu dan Dua Terminal

Gambar 5.11 menunjukkan bahwa nilai $RTT_{rata-rata}$ pada pengiriman dengan satu terminal lebih kecil dibandingkan dengan pengiriman menggunakan dua terminal.

Hal ini disebabkan oleh adanya antrian oleh terminal berikutnya dalam pengiriman data ketika terminal pertama sedang mengirimkan data. Hal ini berakibat pada semakin panjangnya waktu pengiriman seluruh paket data (*Delay end to end*) karena terminal pengirim selalu menyesuaikan *data rate* dengan kemampuan yang bisa ditampung oleh *destination*.

5.4 Analisis Performansi teoritis

Berikut adalah analisis performansi TCP pada jaringan *wireless* LAN yang disimulasikan.

5.4.1 Analisis *Delay End-to-end*

Delay end-to-end merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuan. *Delay end-to-end* dihitung dari *source* ke *destination*.

5.4.1.1 Analisis *Delay End-to-end* pengiriman dengan satu terminal

Total *delay end-to-end* dapat dihitung dengan persamaan :

Delay total = Queuing + Transmission + Propagation

$$t_v = t_w + t_p + t_{trans}$$

dengan :

- t_v : delay total (s)
- t_w : delay pada sistem antrian (s)
- t_l : delay propagasi antar terminal (s)
- t_{trans} : delay transmisi (s)

Berikut adalah hasil perhitungan $t_{end-to-end}$ dengan panjang data yang dikirimkan adalah 2Mbyte, jika diketahui :

$$C_{trans} = 11 \text{ Mbps}$$

$$H_{TCP} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{IPv4} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{WLAN} = 58 \text{ byte}$$

- *Delay Transmisi*

Medium transmisi yang digunakan antara sumber ke tujuan adalah gelombang radio dengan kapasitas transmisi 11 Mbps. Untuk panjang data 2 Mbyte, *delay* transmisi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{\text{segmen}} &= W_{\text{data}} + \text{Header}_{TCP} \\ &= 2 \text{ Mbyte} + 20 \text{ byte} \\ &= 2000020 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Internet Layer*, panjang MSS IP adalah 65535 *byte*. Karena panjang segmen *Transport Layer* melebihi MSS IP maka segmen *Transport Layer* difragmentasi.

$$N_{\text{datagram}} = \frac{W_{\text{segmen}}}{\text{MSS}_{IP}} = \frac{2000020}{65535} = 30,51834897 \text{ buah}$$

Panjang datagram IP sebesar:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= \text{MSS}_{IP} + \text{Header}_{IP} \\ &= 65535 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 65555 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga total datagram IP yang dikirimkan dari sumber ke tujuan adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram_total}} &= N_{\text{datagram}} \times W_{\text{datagram}} \\ &= 30,51834897 \times 65555 \\ &= 2000630,367 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Network Interface Layer*, karena panjang datagram IP melebihi MTU yaitu 1500 *byte*, maka datagram IP difragmentasi.

$$N_{\text{frame}} = \frac{W_{\text{datagram_total}}}{\text{MTU}_{\text{Ethernet}}} = \frac{2000630,367}{1500} = 1333,753578 \text{ buah}$$

$$t_{\text{trans}} = N_{\text{frame}} \times \frac{(l + l') \times 8}{C_{\text{trans}}}$$

$$t_{\text{trans}} = 1333,753578 \times \frac{(1500 + 58) \times 8}{11 \times 10^6} = 1,511262 \text{ detik}$$

Tabel 5.11 *Delay Transmisi* pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Delay Transmisi (Detik)
1	1000	0,000770736
2	10000	0,007571351
3	100000	0,075577499
4	1000000	0,755638977
5	2000000	1,511262842
6	5000000	3,778134435
7	10000000	7,556253758
8	20000000	15,1124924
9	50000000	37,78120834
10	100000000	75,56240157

(Sumber : hasil perhitungan)

- *Delay Propagasi*

Jarak antara sumber dan tujuan adalah 5 m dan 10 m. Nilai *delay* propagasi yaitu:

$$t_p = \frac{S}{V} = \frac{5}{3 \times 10^8} = 1,666667 \times 10^{-8} \text{ detik}$$

$$t_p = \frac{S}{V} = \frac{10}{3 \times 10^8} = 3,333333 \times 10^{-8} \text{ detik}$$

- *Delay Antrian*

Pada analisis ini digunakan model antrian *M/M/1 dengan AP berkapasitas 11 Mbps sebagai Switch*.

Total waktu antrian pada *PC Router* berdasarkan persamaan berikut :

$$t_w = t_q + t_s$$

dengan $t_s = \frac{1}{\mu}$, di mana $\mu = \frac{C}{\mu'}$

$$\mu = \frac{11 \times 10^6}{(1500 + 34 + 24) \times 8} = 882,5417202 \text{ paket/detik, sehingga}$$

$$t_s = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{882,5417202} = 1,13309 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Asumsi kecepatan kedatangan paket pada jaringan intranet (λ) adalah 500 kbps, maka:

$$\lambda = 500 \text{ kbps} = \frac{500 \times 10^3 \text{ bps}}{(1500 + 58) \times 8 \text{ bit}} = 40,115532 \text{ paket/detik}$$

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{40,115532}{882,5417202 (882,5417202 - 40,115532)} + 1,13309 \times 10^{-3}$$

$$= 1,1870467 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

- *Delay End-to-end*

Nilai *delay end-to-end* yang diperoleh yaitu:

$$t_{\text{end-to-end}} = t_v = t_w + t_p + t_{\text{trans}}$$

$$= 1,1870467 \times 10^{-3} + 1,666667 \times 10^{-8} + 1,511264$$

$$= 1,512449905 \text{ detik}$$

Tabel 5.12 Perbandingan *Delay end to end* pada Pengiriman Dengan Menggunakan Satu Terminal

No	Panjang Data (Byte)	Delay End to End (detik)	
		5 meter	10 meter
1	1000	0,0019578	0,001957816
2	10000	0,008758414	0,008758431
3	100000	0,076764562	0,076764579
4	1000000	0,75682604	0,756826057
5	2000000	1,512449905	1,512449922
6	5000000	3,779321499	3,779321516
7	10000000	7,557440822	7,557440839
8	20000000	15,11367947	15,11367948
9	50000000	37,78239541	37,78239542
10	100000000	75,56358864	75,56358865

(Sumber : hasil perhitungan)

5.4.1.2 Analisis Delay End-to-end Pengiriman Dengan Dua Terminal

- *Delay Transmisi*

Medium transmisi yang digunakan antara sumber ke tujuan adalah gelombang radio dengan kapasitas transmisi 11 Mbps. Untuk panjang data 2 Mbyte, *delay* transmisi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{\text{segmen}} &= W_{\text{data}} + \text{Header}_{TCP} \\ &= 2 \text{ Mbyte} + 20 \text{ byte} \\ &= 2000020 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Internet Layer*, panjang MSS IP adalah 65535 *byte*. Karena panjang segmen *Transport Layer* melebihi MSS IP maka segmen *Transport Layer* difragmentasi.

$$N_{\text{datagram}} = \frac{W_{\text{segmen}}}{\text{MSS}_{IP}} = \frac{2000020}{65535} = 30,51834897 \text{ buah}$$

Panjang datagram IP sebesar:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= \text{MSS}_{IP} + \text{Header}_{IP} \\ &= 65535 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 65555 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga total datagram IP yang dikirimkan dari sumber ke tujuan adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram_total}} &= N_{\text{datagram}} \times W_{\text{datagram}} \\ &= 30,51834897 \times 65555 \\ &= 2000630,367 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Network Interface Layer*, karena panjang datagram IP melebihi MTU yaitu 1500 *byte*, maka datagram IP difragmentasi.

$$N_{\text{frame}} = \frac{W_{\text{datagram_total}}}{\text{MTU}_{Ethernet}} = \frac{2000630,367}{1500} = 1333,753578 \text{ buah}$$

$$t_{\text{trans}} = N_{\text{frame}} \times \frac{(l+l') \times 8}{C_{\text{trans}}} = 1333,753578 \times \frac{(1500 + 58) \times 8}{11 \times 10^6} = 1,511262$$

detik

Tabel 5.13 Delay Transmisi pada Setiap Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Delay Transmisi (Detik)
1	2000000	1,511262842
2	5000000	3,778134435
3	10000000	7,556253758
4	20000000	15,1124924
5	50000000	37,78120834
6	100000000	75,56240157

(Sumber : hasil perhitungan)

- Delay Propagasi

Jarak antara sumber dan tujuan adalah 5 m . Nilai delay propagasi yaitu:

$$t_p = \frac{S}{V} = \frac{5}{3 \times 10^8} = 1,666667 \times 10^{-8} \text{ detik}$$

- Delay Antrian

Pada analisis ini digunakan model antrian *M/M/1* dengan AP berkapasitas 11 Mbps sebagai Switch.

Total waktu antrian pada PC Router berdasarkan persamaan berikut :

$$t_w = t_q + t_s$$

dengan $t_s = \frac{1}{\mu}$, di mana $\mu = \frac{C}{\mu'}$

$$\mu = \frac{11 \times 10^6}{(1500 + 34 + 24) \times 8} = 882,5417202 \text{ paket/detik, sehingga}$$

$$t_s = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{882,5417202} = 1,13309 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Asumsi kecepatan kedatangan paket pada jaringan intranet (λ) adalah 500 kbps,

$$\text{maka } \lambda = 500 \text{ kbps} = \frac{500 \times 10^3 \text{ bps}}{(1500 + 58) \times 8 \text{ bit}} = 40,115532 \text{ paket/detik}$$

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{40,115532}{882,5417202 (882,5417202 - 40,115532)} + 1,13309 \times 10^{-3}$$



$$= 1,1870467 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

- *Delay End-to-end*

Nilai *delay end-to-end* yang diperoleh yaitu:

$$\begin{aligned} t_{\text{end-to-end}} &= t_v = t_w + t_p + t_{\text{trans}} \\ &= 1,1870467 \times 10^{-3} + 1,666667 \times 10^{-8} + 1,511264 \\ &= 1,512449905 \text{ detik} \end{aligned}$$

Pada pengiriman dengan dua terminal, data terkirim secara bergantian antara terminal I dan terminal II sehingga diasumsikan bahwa *delay total* yang terjadi adalah sebesar penjumlahan delay dari terminal I dan terminal II.

$$\begin{aligned} \text{DelayTotal} &= \text{Delay}_{\text{Terminal I}} + \text{Delay}_{\text{Terminal II}} \\ &= 1,512449905 + 1,512449905 \\ &= 3,02489981 \text{ detik} \end{aligned}$$

Tabel 5.14 Delay End-to-end Pengiriman Dengan Menggunakan Dua Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Delay End to end (Detik)
1	2000000	3,02489981
2	5000000	7,558642998
3	10000000	15,11488164
4	20000000	30,22735894
5	50000000	75,56479082
6	100000000	151,1271773

(Sumber : hasil perhitungan)

5.4.2 Analisis Throughput

Throughput adalah jumlah paket yang melewati sistem setiap satuan waktu (Schwartz, 1987 : 23). Dengan asumsi bahwa kondisi saturasi (selalu ada *frame* yang menunggu untuk ditransmisikan), maka *throughput* maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T = \frac{(1 - \rho)}{t_l [1 + (a - 1)\rho]}$$

5.4.2.1 Analisis *Throughput* pengiriman dengan satu terminal

Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* melalui jaringan IP ditentukan dengan persamaan:

$$t_l = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}}$$

Jika :

$$PL_{frame} = \text{MTU} = 1500 \text{ byte}$$

$$H_{frame} = 58 \text{ byte}$$

$$C_{trans} = 11 \text{ Mbps}$$

maka:

$$t_l = \frac{(1500 + 58) \times 8 \text{ bit}}{11 \times 10^6 \text{ bps}} = 1,13309 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Pada jaringan IP diasumsikan untuk nilai $p_b = 10^{-5}$. Nilai probabilitas *frame error* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} p &= (l + l') p_b \\ &= (1500 + 58) \times 8 \times 10^{-5} \\ &= 0,12464 \end{aligned}$$

a adalah konstanta yang diperoleh melalui persamaan :

$$a = \frac{t_T}{t_l}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* yaitu:

$$t_T = \frac{t_{end-to-end}}{N_{frame}}$$

Untuk panjang paket 2Mbyte, maka :

$$t_T = \frac{1,512449905}{1333,753578} = 0,00113398 \text{ detik}$$

$$a = \frac{0,00113398}{0,00113309} = 1,000784675$$

Sehingga nilai *throughput*:

$$T = \frac{(1-p)}{t_1[1+(a-1)p]} = \frac{(1-0,12464)}{0,00113309[1+(1,000784675-1)0,12464]}$$

$$= 772,4661715 \text{ paket/detik}$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai *throughput* untuk tiap panjang data yang dikirimkan seperti ditunjukkan oleh Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5.15 Nilai *Throughput* pada Pengiriman Dengan Satu Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Throughput (Paket/Detik)	
		±5 meter	±10 meter
1	1000	648.1238088	648.1223433
2	10000	757.7345364	757.7343324
3	100000	771.0323738	771.0323527
4	1000000	772.3905619	772.3905598
5	2000000	772.4661715	772.4661705
6	5000000	772.5115451	772.5115447
7	10000000	772.5266709	772.5266707
8	20000000	772.5342341	772.534234
9	50000000	772.5387721	772.538772
10	100000000	772.5402847	772.5402847

5.4.2.2 Analisis *Throughput* pengiriman dengan dua terminal

Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* melalui jaringan IP ditentukan dengan persamaan:

$$t_1 = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}}$$

Jika :

$$PL_{frame} = \text{MTU} = 1500 \text{ byte}$$

$$H_{frame} = 58 \text{ byte}$$

$$C_{trans} = 11 \text{ Mbps}$$

maka:

$$t_l = \frac{(1500 + 58) \times 8 \text{ bit}}{11 \times 10^6 \text{ bps}} = 1,13309 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Pada jaringan *IP* diasumsikan untuk nilai $p_b = 10^{-5}$. Nilai probabilitas *frame error* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} p &= (l + l') p_b \\ &= (1500 + 58) \times 8 \times 10^{-5} \\ &= 0,12464 \end{aligned}$$

a adalah konstanta yang diperoleh melalui persamaan :

$$a = \frac{t_T}{t_l}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* yaitu:

$$t_T = \frac{t_{\text{end-to-end}}}{N_{\text{frame}}}$$

Untuk panjang paket *2Mbyte*, maka :

$$t_T = \frac{3,02489981}{2667.507} = 0,00113398 \text{ detik}$$

$$a = \frac{0,00113398}{0,00113309} = 1,000784675$$

Sehingga nilai *throughput*:

$$\begin{aligned} T &= \frac{(1 - p)}{t_l [1 + (a - 1)p]} = \frac{(1 - 0,12464)}{0,00113309 [1 + (1,000784675 - 1)0,12464]} \\ &= 772,4661715 \text{ paket/detik} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai *throughput* untuk tiap panjang data yang dikirimkan seperti ditunjukkan oleh Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 5.16 Nilai *Throughput* pada Pengiriman Dengan Dua Terminal

No.	Panjang Data (Byte)	Throughput (Paket/Detik)
1	2000000	772,4661715
2	5000000	772,5115451
3	10000000	772,5266709
4	20000000	772,5342341
5	50000000	772,5387721
6	100000000	772,5402847

(Sumber : hasil perhitungan)

5.5 Analisis Perbandingan Performansi Teoretis dengan Performansi Implementasi Langsung

Pada bagian ini akan dibahas perbandingan antara performansi jaringan secara teoretis dengan implementasi langsung.

5.5.1 Analisis Perbandingan *Delay End-to-end*

Berikut adalah tabel perbandingan *delay end-to-end* secara teoritis dengan implementasi langsung pada pengiriman menggunakan satu terminal

Tabel 5.17 Perbandingan *Delay End-to-end* Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal

No	n (byte)	<i>Delay End-to-end</i> Teoretis (± 5 meter)	<i>Delay End-to-end</i> Implementasi langsung (± 5 meter)	<i>Delay End-to-end</i> Teoretis (± 10 meter)	<i>Delay End-to-end</i> Implementasi langsung (± 10 meter)
1	1000	0,0019578	0,008448	0,001957816	0,010901
2	10000	0,008758414	0,03322	0,008758431	0,042740
3	100000	0,076764562	0,368496	0,076764579	0,370464
4	1000000	0,75682604	1,925879	0,756826057	3,082257
5	2000000	1,512449905	3,934295	1,512449922	6,241209
6	5000000	3,779321499	9,389053	3,779321516	14,068666
7	10000000	7,557440822	18,664757	7,557440839	40,397064
8	20000000	15,11367947	37,347936	15,11367948	91,270010
9	50000000	37,78239541	94,598411	37,78239542	111,634909
10	100000000	75,56358864	189,427213	75,56358865	196,322608

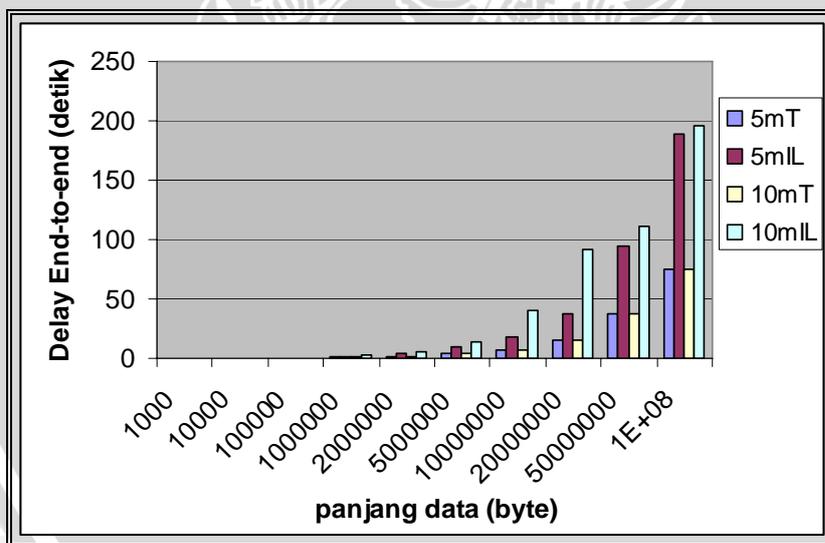
(Sumber : hasil perhitungan)

Tabel 5.18 Perbandingan Delay End-to-end Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada pengiriman menggunakan dua terminal

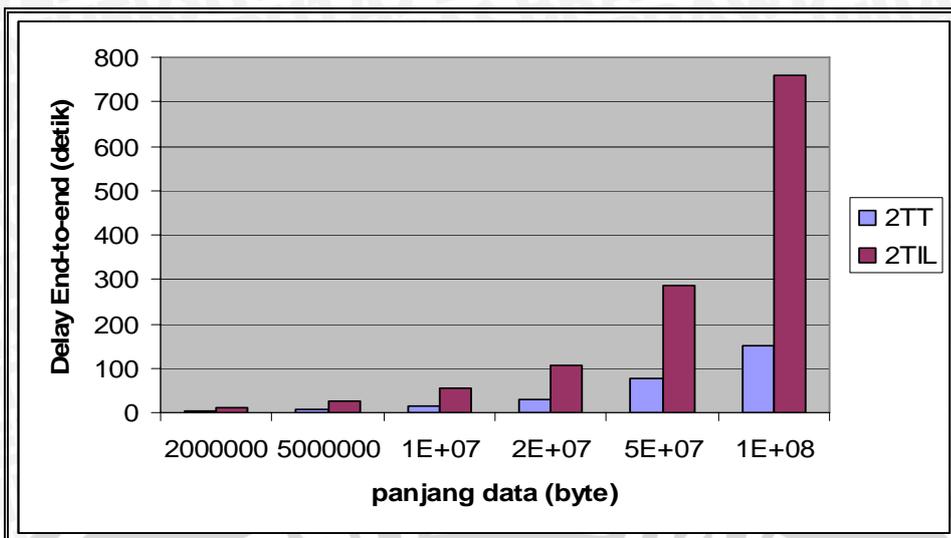
No	n (byte)	Delay End-to-end Teoretis (± 5 meter)	Delay End-to-end Implementasi langsung (± 5 meter)
1	2000000	3,02489981	10,394476
2	5000000	7,558642998	25,606573
3	10000000	15,11488164	54,730618
4	20000000	30,22735894	107,917797
5	50000000	75,56479082	284,684454
6	100000000	151,1271773	760,145476

(Sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan Tabel 5.17 dan 5.18, diperoleh grafik perbandingan Delay end-to-end antara implementasi langsung dengan teoritis seperti berikut :



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Delay End-to-end Teoretis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal



Gambar 5.13 Grafik Perbandingan *Delay End-to-end* Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Dua Terminal

Pada dua grafik (Gambar 5.12 dan 5.13) diatas dapat dilihat bahwa nilai *Delay End-to-end* pada implementasi langsung (IL) bernilai lebih besar jika dibandingkan dengan nilai *Delay End-to-end* secara teori. Hal ini disebabkan adanya gangguan dari lingkungan sekitar, misalnya : pantulan sinyal pada tembok, gangguan ndari alat elektronik lain, dan lain-lain.

5.5.2 Analisis Perbandingan *Throughput*

Berikut adalah tabel perbandingan *throughput* secara teoretis dengan implementasi langsung.

Tabel 5.19 Perbandingan *Throughput* Teoretis dengan Implementasi Langsung untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal

No	n (byte)	<i>Throughput</i> Teoretis (± 5 meter)	<i>Throughput</i> Implementasi langsung (± 5 meter)	<i>Throughput</i> Teoretis (± 10 meter)	<i>Throughput</i> Implementasi langsung (± 10 meter)
1	1000	648,1238088	118,3712121	648,1223433	91,73470324
2	10000	757,7345364	240,8187839	757,7343324	187,1782873
3	100000	771,0323738	200,8162911	771,0323527	194,3508681
4	1000000	772,3905619	380,086184	772,3905598	237,1638705
5	2000000	772,4661715	372,3665866	772,4661705	234,0892606
6	5000000	772,5115451	389,9221785	772,5115447	259,5839577
7	10000000	772,5266709	392,3972865	772,5266707	179,641768
8	20000000	772,5342341	392,2305104	772,534234	158,2118814
9	50000000	772,5387721	387,1100964	772,538772	327,8723504
10	100000000	772,5402847	386,9190643	772,5402847	373,1205527

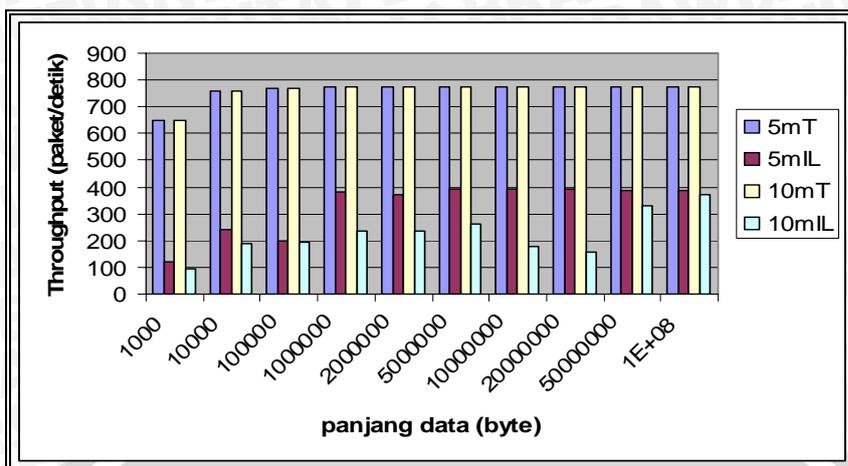
(Sumber : hasil perhitungan)

Tabel 5.20 perbandingan *Throughput* teoretis dengan implementasi langsung untuk panjang data yang dikirimkan berbeda pada pengiriman menggunakan dua terminal

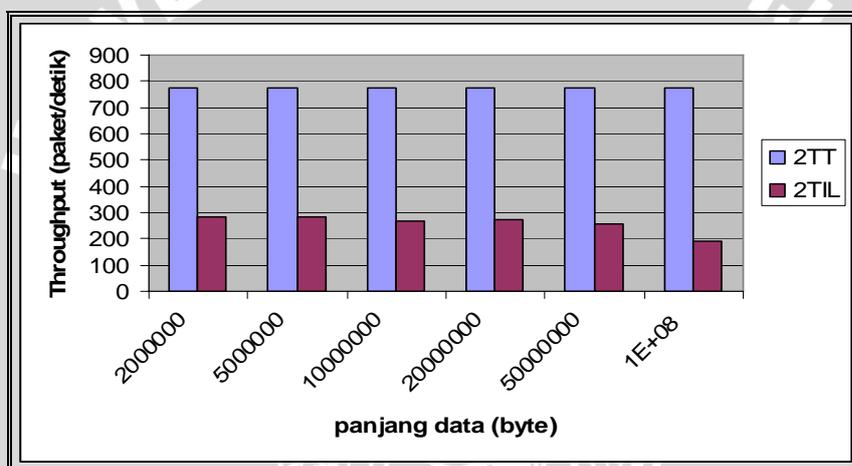
No	n (byte)	<i>Throughput</i> Teoretis (± 5 meter)	<i>Throughput</i> Implementasi langsung (± 5 meter)
1	2000000	772,4661715	281,880491
2	5000000	772,5115451	286,098417
3	10000000	772,5266709	267,747753
4	20000000	772,5342341	271,558546
5	50000000	772,5387721	257,330525
6	100000000	772,5402847	192,756524

(Sumber : hasil perhitungan)

Berikut adalah gambar grafik perbandingan antara *Throughput* secara teoretis dengan implementasi langsung dengan panjang data yang dikirimkan berbeda.



Gambar 5.14 Grafik Perbandingan *Throughput* Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Satu Terminal



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan *Throughput* Teoritis Dengan Implementasi Langsung pada Pengiriman Menggunakan Dua Terminal

Dari Gambar 5.14 dan 5.15, dapat dilihat bahwa *Throughput* secara teoritis lebih besar dibandingkan dengan *Throughput* pada implementasi langsung. Hal ini dikarenakan nilai *Delay End-to-end* secara teoritis lebih kecil dibandingkan pada implementasi langsung sehingga diperoleh performansi yang lebih baik.

5.6 Analisis Perbandingan Performansi pada media Kabel, Frekuensi Radio dan Infra Merah

Pada bagian ini akan dibahas secara teoritis perbandingan performansi saat pengiriman data menggunakan media kabel, frekuensi radio, dan infra merah

5.6.1 Analisis Delay End-to-end

Delay end-to-end pada jaringan merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuan. *Delay end-to-end* dihitung dari *source* ke *destination*.

5.6.1.1 Analisis pada Media Kabel

Berikut adalah hasil perhitungan $t_{end-to-end}$ dengan panjang data yang dikirimkan adalah 2 Mbyte, jika diketahui :

$$C_{trans} = 100 \text{ Mbps}$$

$$H_{TCP} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{Ethernet} = 18 \text{ byte}$$

$$H_{IPv4} = 20 \text{ byte}$$

- *Delay Transmisi*

Medium transmisi yang digunakan antara sumber ke tujuan adalah kabel UTP *category 5* dengan kapasitas transmisi 100 Mbps. Untuk panjang data 2 Mbyte, *delay* transmisi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{segmen} &= W_{data} + \text{Header}_{UDP} \\ &= 2 \text{ Mbyte} + 20 \text{ byte} \\ &= 10000020 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Internet Layer*, panjang MSS IP adalah 65535 *byte*. Karena panjang segmen *Transport Layer* melebihi MSS IP maka segmen *Transport Layer* difragmentasi.

$$N_{datagram} = \frac{W_{segmen}}{MSS_{IP}} = \frac{2000020}{65535} = 30,51834897 \text{ buah}$$

Panjang datagram IP sebesar:

$$\begin{aligned} W_{datagram} &= MSS_{IP} + \text{Header}_{IP} \\ &= 65535 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 65555 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah total datagram IP yang dikirimkan dari sumber ke tujuan adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram_total}} &= N_{\text{datagram}} \times W_{\text{datagram}} \\ &= 30,51834897 \times 65555 \\ &= 2000630,367 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Network Interface Layer*, karena panjang datagram IP melebihi MTU Ethernet, yaitu 1500 *byte*, maka datagram IP difragmentasi.

$$\begin{aligned} N_{\text{frame}} &= \frac{W_{\text{datagram_total}}}{MTU_{\text{Ethernet}}} = \frac{2000630,367}{1500} = 1333,753578 \text{ buah} \\ t_{\text{trans}} &= N_{\text{frame}} \times \frac{(l + l') \times 8}{C_{\text{trans}}} \\ t_{\text{trans}} &= 1334,753578 \times \frac{(1500 + 18) \times 8}{100 \times 10^6} = 0,162092474 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan *delay* transmisi pada media kabel untuk panjang data yang dikirimkan berbeda :

Tabel 5.21 Delay Transmisi pada Media Kabel untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Delay Transmisi (detik)
1	1000	0,0000826044
2	10000	0,000811199
3	100000	0,008097422
4	1000000	0,080959652
5	2000000	0,161917684
6	5000000	0,404791782
7	10000000	0,809581945
8	20000000	1,619162271
9	50000000	4,047903249
10	100000000	8,09580488

(Sumber : hasil perhitungan)

- *Delay Propagasi*

Jarak antara sumber dan tujuan adalah 5 m. Nilai *delay* propagasi yaitu:

$$t_p = \frac{S}{V} = \frac{5}{0,67 \times 3 \times 10^8} = 2,487562189 \times 10^{-8} \text{ detik}$$

- *Delay Antrian*

Pada analisis ini digunakan model antrian M/M/1 dengan *PC Router* berkapasitas 100 Mbps sebagai *server*.

Total waktu antrian pada *PC Router* berdasarkan persamaan berikut:

$$t_w = t_{\text{queue}} + t_{\text{serv}}$$

dengan $t_{\text{serv}} = \frac{1}{\mu}$, di mana $\mu = \frac{C}{\mu'}$

$$\mu = \frac{100 \times 10^6}{(1500 + 18) \times 8} = 8234,519104 \text{ paket/detik, sehingga}$$

$$t_{\text{serv}} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{8234,519104} = 1,2144 \times 10^{-4} \text{ detik}$$

Asumsi kecepatan kedatangan paket (λ) adalah 500 kbps, maka :

$$\lambda = 500 \text{ kbps} = \frac{500 \times 10^3 \text{ bps}}{(1500 + 18) \times 8 \text{ bit}} = 41,1726 \text{ paket/detik}$$

$$\begin{aligned} t_w &= \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{41,1726}{8234,519104 (8234,519104 - 41,1726)} + 1,2144 \times 10^{-4} \\ &= 0,000122 \text{ detik} \end{aligned}$$

- *Delay End-to-end*

Nilai *delay end-to-end* yang diperoleh yaitu:

$$\begin{aligned} t_{\text{end-to-end}} &= t_{\text{trans}} + t_p + t_w \\ &= 0,161917684 + 2,487562189 \times 10^{-8} + 0,000122 \\ &= 0,162039708 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan *delay end-to-end* pada media kabel untuk panjang data yang dikirimkan berbeda :

Tabel 5.22 Delay End-to-end pada media Kabel untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Delay End-to-end (detik)
1	1000	0,000204629
2	10000	0,000933224
3	100000	0,008219447
4	1000000	0,081081677
5	2000000	0,162039709
6	5000000	0,404913807
7	10000000	0,80970397
8	20000000	1,619284296
9	50000000	4,048025274
10	100000000	8,095926904

(Sumber : hasil perhitungan)

5.6.1.2 Analisis pada Gelombang Radio

Berikut adalah hasil perhitungan $t_{end-to-end}$ dengan panjang data yang dikirimkan adalah 2 Mbyte, jika diketahui :

$$C_{trans} = 11 \text{ Mbps}$$

$$H_{TCP} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{IPv4} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{WLAN} = 58 \text{ byte}$$

- Delay Transmisi

Medium transmisi yang digunakan antara sumber ke tujuan adalah gelombang radio dengan kapasitas transmisi 11 Mbps. Untuk panjang data 2 Mbyte, delay transmisi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{segmen} &= W_{data} + \text{Header}_{TCP} \\ &= 2 \text{ Mbyte} + 20 \text{ byte} \\ &= 2000020 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Internet Layer*, panjang MSS IP adalah 65535 *byte*. Karena panjang segmen *Transport Layer* melebihi MSS IP maka segmen *Transport Layer* difragmentasi.

$$N_{\text{datagram}} = \frac{W_{\text{segmen}}}{MSS_{IP}} = \frac{2000020}{65535} = 30,51834897 \text{ buah}$$

Panjang datagram IP sebesar:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= MSS_{IP} + \text{Header}_{IP} \\ &= 65535 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 65555 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah total datagram IP yang dikirimkan dari sumber ke tujuan adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram_total}} &= N_{\text{datagram}} \times W_{\text{datagram}} \\ &= 30,51834897 \times 65555 \\ &= 2000630,367 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Network Interface Layer*, karena panjang datagram IP melebihi MTU yaitu 1500 *byte*, maka datagram IP difragmentasi.

$$N_{\text{frame}} = \frac{W_{\text{datagram_total}}}{MTU_{\text{Ethernet}}} = \frac{2000630,367}{1500} = 1333,753578 \text{ buah}$$

$$t_{\text{trans}} = N_{\text{frame}} \times \frac{(l + l') \times 8}{C_{\text{trans}}}$$

$$t_{\text{trans}} = 1333,753578 \times \frac{(1500 + 58) \times 8}{11 \times 10^6} = 1,511262 \text{ detik}$$

Tabel 5.23 Delay Transmisi pada Gelombang Radio untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No.	Panjang Data (Byte)	Delay Transmisi (Detik)
1	1000	0,000770737
2	10000	0,007571358
3	100000	0,075577566
4	1000000	0,755639644
5	2000000	1,511264175
6	5000000	3,77813777
7	10000000	7,556260427
8	20000000	15,11250574
9	50000000	37,78124169
10	100000000	75,56246826

(Sumber : hasil perhitungan)

- *Delay Propagasi*

Jarak antara sumber dan tujuan adalah 5 m. Nilai *delay* propagasi yaitu:

$$t_p = \frac{S}{V} = \frac{5}{3 \times 10^8} = 1,666667 \times 10^{-8} \text{ detik}$$

- *Delay Antrian*

Pada analisis ini digunakan model antrian *M/M/1* dengan AP berkapasitas 11 Mbps sebagai Switch.

Total waktu antrian diperoleh berdasarkan persamaan berikut :

$$t_w = t_q + t_s$$

dengan $t_s = \frac{1}{\mu}$, di mana $\mu = \frac{C}{\mu'}$

$$\mu = \frac{11 \times 10^6}{(1500 + 34 + 24) \times 8} = 882,5417202 \text{ paket/detik, sehingga}$$

$$t_s = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{882,5417202} = 1,13309 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Asumsi kecepatan kedatangan paket pada jaringan intranet (λ) adalah 500 kbps, maka ;

$$\lambda = 500 \text{ kbps} = \frac{500 \times 10^3 \text{ bps}}{(1500 + 58) \times 8 \text{ bit}} = 40,115532 \text{ paket/detik}$$

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{40,115532}{882,5417202 (882,5417202 - 40,115532)} + 1,13309 \times 10^{-3}$$

$$= 1,1870467 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

▪ **Delay End-to-end**

Nilai *delay end-to-end* yang diperoleh yaitu:

$$t_{end-to-end} = t_v = t_w + t_p + t_{trans}$$

$$= 1,1870467 \times 10^{-3} + 1,666667 \times 10^{-8} + 1,511264$$

$$= 1,512449905 \text{ detik}$$

Tabel 5.24 Delay end to end pada Gelombang Radio untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Delay End-to-end (detik)
1	1000	0,0019578
2	10000	0,008758421
3	100000	0,076764629
4	1000000	0,756826707
5	2000000	1,512451239
6	5000000	3,779324833
7	10000000	7,557447491
8	20000000	15,11369281
9	50000000	37,78242875
10	100000000	75,56365532

(Sumber : hasil perhitungan)

5.6.1.3 Analisis Pada Infra Merah

Berikut adalah hasil perhitungan $t_{end-to-end}$ dengan panjang data yang dikirimkan adalah 2 Mbyte, jika diketahui :

$$C_{trans} = 4 \text{ Mbps}$$

$$H_{TCP} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{IPv4} = 20 \text{ byte}$$

$$H_{IntraRed} = 56 \text{ byte}$$

- *Delay Transmisi*

Medium transmisi yang digunakan antara sumber ke tujuan adalah gelombang radio dengan kapasitas transmisi 11 Mbps. Untuk panjang data 2 Mbyte, *delay* transmisi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{\text{segmen}} &= W_{\text{data}} + \text{Header}_{TCP} \\ &= 2 \text{ Mbyte} + 20 \text{ byte} = 2000020 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Internet Layer*, panjang MSS IP adalah 65535 *byte*. Karena panjang segmen *Transport Layer* melebihi MSS IP maka segmen *Transport Layer* difragmentasi.

$$N_{\text{datagram}} = \frac{W_{\text{segmen}}}{MSS_{IP}} = \frac{2000020}{65535} = 30,51834897 \text{ buah}$$

Panjang datagram IP sebesar:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= MSS_{IP} + \text{Header}_{IP} \\ &= 65535 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 65555 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah total datagram IP yang dikirimkan dari sumber ke tujuan adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram_total}} &= N_{\text{datagram}} \times W_{\text{datagram}} \\ &= 30,51834897 \times 65555 \\ &= 2000630,367 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *Network Interface Layer*, karena panjang datagram IP melebihi MTU yaitu 1500 *byte*, maka datagram IP difragmentasi.

$$N_{\text{frame}} = \frac{W_{\text{datagram_total}}}{MTU_{Ethernet}} = \frac{2000630,367}{1500} = 1333,753578 \text{ buah}$$

$$t_{trans} = N_{frame} \times \frac{(l+l') \times 8}{C_{trans}}$$

$$t_{trans} = 1333,753578 \times \frac{(1500+56) \times 8}{4 \times 10^6} = 0,003112 \text{ detik}$$

Tabel 5.25 Delay Transmisi pada Infra Merah untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No.	Panjang Data (Byte)	Delay Transmisi (Detik)
1	1000	0,002116806
2	10000	0,020794504
3	100000	0,207571487
4	1000000	2,07534132
5	2000000	4,150641135
6	5000000	10,37654058
7	10000000	20,75303965
8	20000000	41,50603779
9	50000000	103,7650322
10	100000000	207,5300229

(Sumber : hasil perhitungan)

- **Delay Propagasi**

Jarak antara sumber dan tujuan adalah 5 m. Nilai *delay* propagasi yaitu:

$$t_p = \frac{S}{V} = \frac{5}{3 \times 10^8} = 1,666667 \times 10^{-8} \text{ detik}$$

- **Delay Antrian**

Pada analisis ini digunakan model antrian *M/M/1 dengan AP berkapasitas 4 Mbps sebagai Switch*.

Total waktu antrian diperoleh berdasarkan persamaan berikut :

$$t_w = t_q + t_s$$

dengan $t_s = \frac{1}{\mu}$, di mana $\mu = \frac{C}{\mu'}$

$$\mu = \frac{4 \times 10^6}{(1500+56) \times 8} = 321,33676 \text{ paket/detik, sehingga}$$

$$t_s = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{321,33676} = 3,112 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Asumsi kecepatan kedatangan paket pada jaringan intranet (λ) adalah 500 kbps, maka ;

$$\lambda = 500 \text{ kbps} = \frac{500 \times 10^3 \text{ bps}}{(1500 + 56) \times 8 \text{ bit}} = 40,16709512 \text{ paket/detik}$$

$$\begin{aligned} t_w &= \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{40,16709512}{321,33676(321,33676 - 40,16709512)} + 3,112 \times 10^{-3} \\ &= 3,5565714 \times 10^{-3} \text{ detik} \end{aligned}$$

- *Delay End-to-end*

Nilai *delay end-to-end* yang diperoleh yaitu:

$$\begin{aligned} t_{\text{end-to-end}} &= t_v = t_w + t_p + t_{\text{trans}} \\ &= 3,5565714 \times 10^{-3} + 1,666667 \times 10^{-8} + 4,150641135 \\ &= 4,154197753 \text{ detik} \end{aligned}$$

Tabel 5.26 Delay end to end pada Infra Merah untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Delay End-to-end (detik)
1	1000	0,005673394
2	10000	0,024351092
3	100000	0,211128075
4	1000000	2,078897908
5	2000000	4,154197723
6	5000000	10,38009717
7	10000000	20,75659624
8	20000000	41,50959438
9	50000000	103,7685888
10	100000000	207,5335795

(Sumber : hasil perhitungan)

5.6.2 Analisis *Throughput*

Throughput adalah jumlah paket yang melewati sistem setiap satuan waktu (Schwartz, 1987 : 23). Dengan asumsi bahwa kondisi saturasi (selalu ada *frame* yang menunggu untuk ditransmisikan), maka *throughput* maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3-24):

$$\lambda_{\max} = \frac{(1 - \rho)}{t_f [1 + (a - 1)\rho]}$$

5.6.2.1 Analisis Pada Media Kabel

Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* melalui jaringan ditentukan dengan persamaan:

$$t_f = \frac{(PL_{\text{frame}} + H_{\text{frame}}) \times 8}{C_{\text{trans}}}$$

Jika :

$$PL_{\text{frame}} = \text{MTU} = 1500 \text{ byte}$$

$$H_{\text{frame}} = 18 \text{ byte}$$

$$C_{\text{trans}} = 100 \text{ Mbps}$$

maka:

$$t_f = \frac{(1500 + 18) \times 8 \text{ bit}}{100 \times 10^6 \text{ bps}} = 0,00012144 \text{ detik}$$

Pada jaringan *IP* diasumsikan untuk nilai $p_b = 10^{-5}$. Nilai probabilitas *frame error* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} p &= (l + l') p_b \\ &= (1500 + 18) \times 8 \times 10^{-5} \\ &= 0,12144 \end{aligned}$$

a adalah konstanta yang diperoleh melalui persamaan :

$$a = \frac{t_r}{t_f}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* yaitu:

$$t_T = \frac{t_{end-to-end}}{N_{frame}}$$

Untuk panjang paket 2 *Mbyte*, maka :

$$t_T = \frac{0.162039709}{1333.753578} = 0,000121531 \text{ detik}$$

$$a = \frac{0,000121531}{0,00012144} = 1,000753375$$

Sehingga nilai *throughput*:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{(1-p)}{t_T[1+(a-1)p]} = \frac{(1-0,12144)}{0,00012144[1+(1,000753375-1)0,12144]} \\ &= 7.233,85728 \text{ paket/detik} \end{aligned}$$

Tabel 5.27 Throughput pada Media Kabel untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Throughput Media Kabel (paket/detik)
1	1000	6134,100702
2	10000	7104,774387
3	100000	7221,308091
4	1000000	7233,19559
5	2000000	7233,85728
6	5000000	7234,254358
7	10000000	7234,386728
8	20000000	7234,452916
9	50000000	7234,492629
10	100000000	7234,505866

(Sumber : hasil perhitungan)

5.6.2.2 Analisis Pada Gelombang Radio

Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* melalui jaringan IP ditentukan dengan persamaan:

$$t_I = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}}$$

Jika :

$$PL_{frame} = MTU = 1500 \text{ byte}$$

$$H_{frame} = 58 \text{ byte}$$

$$C_{trans} = 11 \text{ Mbps}$$

maka:

$$t_l = \frac{(1500 + 58) \times 8 \text{ bit}}{11 \times 10^6 \text{ bps}} = 1,13309 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Pada jaringan IP diasumsikan untuk nilai $p_b = 10^{-5}$. Nilai probabilitas *frame error* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} p &= (l + l') p_b \\ &= (1500 + 58) \times 8 \times 10^{-5} \\ &= 0,12464 \end{aligned}$$

a adalah konstanta yang diperoleh melalui persamaan :

$$a = \frac{t_T}{t_l}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* yaitu:

$$t_T = \frac{t_{end-to-end}}{N_{frame}}$$

Untuk panjang paket 2 *Mbyte*, maka :

$$t_T = \frac{1,512449905}{1333,753578} = 0,00113398 \text{ detik}$$

$$a = \frac{0,00113398}{0,00113309} = 1,000784675$$

Sehingga nilai *throughput*:

$$\begin{aligned} T &= \frac{(1 - p)}{t_l [1 + (a - 1)p]} = \frac{(1 - 0,12464)}{0,00113309 [1 + (1,000784675 - 1)0,12464]} \\ &= 772,4660323 \text{ paket/detik} \end{aligned}$$

Tabel 5.28 Throughput pada Gelombang Radio untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Throughput Gelombang Radio (paket/detik)
1	1000	648,1237544
2	10000	757,7344024
3	100000	771,0322351
4	1000000	772,3904228
5	2000000	772,4660323
6	5000000	772,5114059
7	10000000	772,5265317
8	20000000	772,5340949
9	50000000	772,5386328
10	100000000	772,5401455

(Sumber : hasil perhitungan)

5.6.2.3 Analisis Pada Infra Merah

Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* melalui jaringan IP ditentukan dengan persamaan:

$$t_l = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}}$$

Jika :

$$PL_{frame} = \text{MTU} = 1500 \text{ byte}$$

$$H_{frame} = 56 \text{ byte}$$

$$C_{trans} = 4 \text{ Mbps}$$

maka:

$$t_l = \frac{(1500 + 56) \times 8 \text{ bit}}{4 \times 10^6 \text{ bps}} = 3,112 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

Pada jaringan IP diasumsikan untuk nilai $p_b = 10^{-5}$. Nilai probabilitas *frame error* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 p &= (l + l')p_b \\
 &= (1500 + 56) \times 8 \times 10^{-5} \\
 &= 0,12448
 \end{aligned}$$

a adalah konstanta yang diperoleh melalui persamaan :

$$a = \frac{t_T}{t_I}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* yaitu:

$$t_T = \frac{t_{\text{end-to-end}}}{N_{\text{frame}}}$$

Untuk panjang paket 2 *Mbyte*, maka :

$$t_T = \frac{4,154197723}{1333,753578} = 0,0031146666 \text{ detik}$$

$$a = \frac{0,0031146666}{0,003112} = 1,000856877$$

Sehingga nilai *throughput*:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{(1 - p)}{t_I [1 + (a - 1)p]} = \frac{(1 - 0,12448)}{0,003112 [1 + (1,000856877 - 1)0,12448]} \\
 &= 281,3067556 \text{ paket/detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.29 Throughput pada Infra Merah untuk Panjang Data yang Dikirimkan Berbeda

No	n (byte)	Throughput Infra Merah (paket/detik)
1	1000	232,6736999
2	10000	275,4718449
3	100000	280,7379818
4	1000000	281,2767573
5	2000000	281,3067556
6	5000000	281,324758
7	10000000	281,3307593
8	20000000	281,3337601
9	50000000	281,3355606
10	100000000	281,3361608

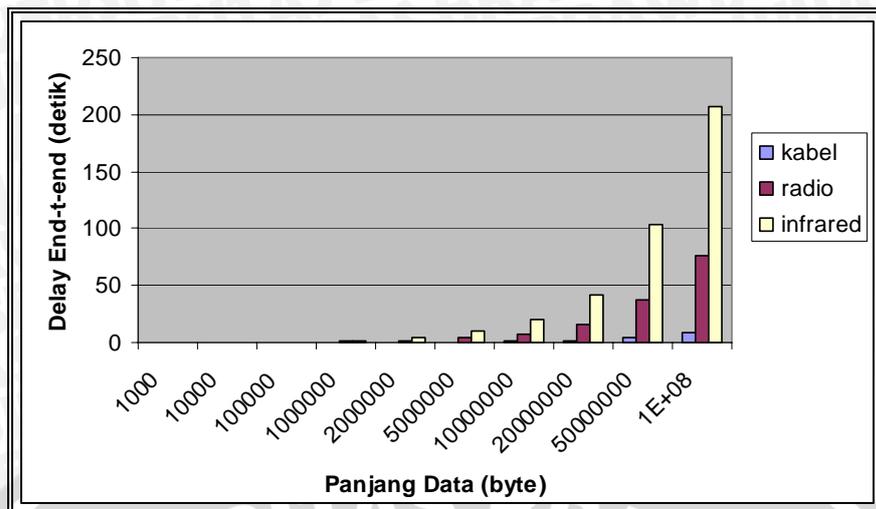
(Sumber : hasil perhitungan)

5.6.3 Perbandingan Performansi Antara Media Kabel, Gelombang Radio dan Infra Merah

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diatas, maka perbandingan performansi antara media kabel, Gelombang Radio dan *Infra Merah* dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti dibawah ini

5.6.3.1 Perbandingan *Delay End-to-end*

Berikut adalah grafik perbandingan *Delay End-to-end* antara media kabel, Gelombang Radio, dan *Infra Merah* :

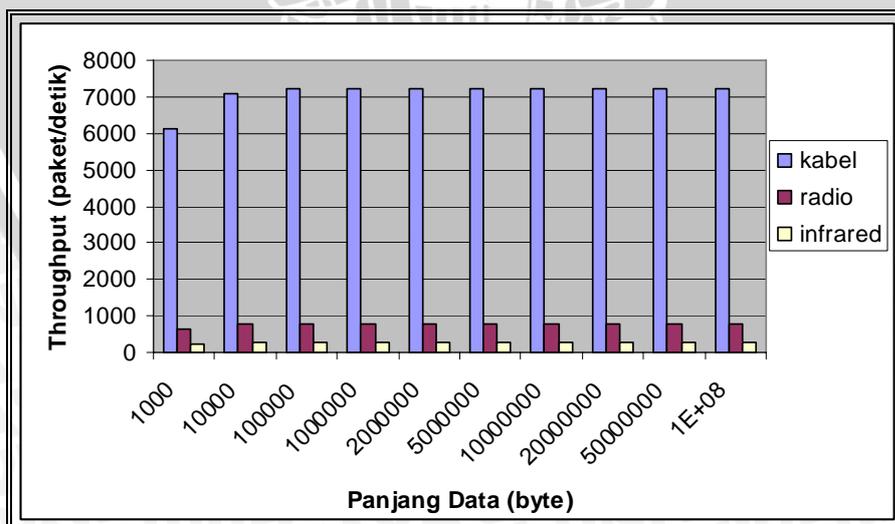


Gambar 5.16 Grafik Perbandingan *Delay End-to-end* Antara Media kabel, Gelombang Radio dan Infra Merah

Pada gambar 5.16, dapat dilihat bahwa *Delay End-to-end* pada media *Infra Merah* memiliki nilai paling besar jika dibandingkan dengan media lainnya. Hal ini dikarenakan *data rate* *Infra Merah* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan dua media lainnya.

5.6.3.2 Perbandingan *Throughput*

Berikut adalah grafik perbandingan *Throughput* antara media kabel, Gelombang Radio, dan Infra Merah :



Gambar 5.17 Grafik Perbandingan *Throughput* Antara Media Kabel, Gelombang Radio dan Infra Merah

Pada gambar 5.17 dapat dilihat bahwa nilai *Throughput* pada media kabel lebih besar jika dibandingkan dengan media lainnya. Hal ini dikarenakan pada ukuran data yang sama, media kabel memiliki *delay* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan dua media lainnya.



BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan mengenai *Performansi Transmission Control Protocol pada jaringan Wireless LAN*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisis *delay end to end* didapat bahwa :
 - a. Untuk panjang data 2000000 byte, *delay end-to-end* pengiriman data dengan satu terminal pada jarak 5 meter adalah 3,934295 detik dan pada jarak 10 meter adalah 6,241209 detik. Sedangkan *delay end-to-end* pada pengiriman dengan dua terminal adalah 10,394476 detik.
 - b. Pengiriman data dari terminal yang berjarak 10 meter dari AP membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan terminal yang berjarak 5 meter. Hal ini disebabkan oleh *delay* propagasi dan *delay* transmisi yang semakin besar pada ukuran data yang semakin besar.
 - c. Pengiriman data menggunakan dua terminal membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan pengiriman dengan satu terminal. Hal ini terjadi karena adanya *delay* antrian dan *delay* transmisi yang semakin besar saat dua terminal mengirimkan data.
 - d. Untuk seluruh panjang data, semakin besar panjang data yang dikirimkan maka waktu yang diperlukan data untuk sampai ke *destination* juga semakin lama.
2. Dari analisis *Throughput*, didapat bahwa :
 - a. Pada panjang paket 2000000 byte, *throughput* pengiriman dari terminal jarak 5 meter adalah 372,3665866 paket/detik dan pada pengiriman dari jarak 10 meter adalah 234,0892606 paket/detik.

Sedangkan *throughput* pada pengiriman dari dua terminal adalah 281,880491 paket/detik.

- b. *Throughput* pada pengiriman dari terminal dengan jarak 5 meter lebih besar dibandingkan dengan jarak 10 meter. Hal ini disebabkan karena jumlah paket yang dikirimkan oleh terminal dari jarak 5 meter lebih banyak serta membutuhkan waktu lebih singkat untuk sampai ke *destination* jika dibandingkan dengan terminal yang berjarak 10 meter.
- c. *Throughput* pada pengiriman dengan menggunakan satu terminal lebih besar jika dibandingkan dengan *throughput* pada pengiriman dengan dua terminal. Hal ini disebabkan oleh *delay end-to-end* pada pengiriman dengan satu terminal lebih kecil jika dibandingkan dengan *delay end-to-end* pada pengiriman dengan dua terminal.

3. Dari analisis *Round Trip Time*, didapat bahwa:

- a. Pada pengiriman data dengan menggunakan satu terminal, nilai $RTT_{rata-rata}$ paling besar terjadi pada saat pengiriman data sebesar 20000000 byte dari terminal dengan jarak 10 meter yaitu 0,012641276 detik. Nilai $RTT_{rata-rata}$ paling kecil terjadi pada pengiriman data sebesar 10000000 byte dengan jarak 5 meter yaitu 0,005096875 detik.
- b. Pada pengiriman data dengan menggunakan satu terminal, nilai $RTT_{rata-rata}$ dipengaruhi oleh nilai *delay* propagasi yang terjadi karena jarak antara terminal *source* dan *destination*.
- c. Pada pengiriman data dengan menggunakan satu terminal, nilai $RTT_{rata-rata}$ tidak dipengaruhi oleh besar data yang dikirimkan. Hal ini dikarenakan proses paketisasi data yang tidak sama untuk setiap besar data yang berbeda.
- d. Nilai $RTT_{rata-rata}$ pada pengiriman dengan dua terminal lebih besar dibandingkan dengan pengiriman data dengan satu terminal. Hal ini dikarenakan terjadinya *delay* antrian pada terminal pengirim berikutnya ketika terminal pertama sedang mengirimkan data yang

mengakibatkan semakin besarnya waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman data (*delay end to end*).

4. Dari analisis perbandingan antara pemodelan dan simulasi jaringan dengan teori, diketahui bahwa performansi jaringan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor external pada pengaplikasian jaringan.

6.2. Saran

Berdasarkan proses analisis yang telah dilakukan dalam skripsi ini maka dapat diberikan saran sebagai berikut :

1. Dilakukan pengembangan lebih lanjut tentang evaluasi performansi TCP pada *wireless* LAN dengan melakukan pengujian untuk area didalam dan diluar ruangan.
2. Analisis yang dilakukan dalam skripsi ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan pemodelan pada jaringan yang lebih kompleks.
3. Dilakukan pengembangan dengan mengimplementasikan jaringan *Wireless* untuk layanan suara atau video (multimedia).

DAFTAR PUSTAKA

- Steven, W Richard, 2001. TCP/IP Illustrated , The Protocol, Volume 1
- Yuwono, Rudy, 2005. Mobile Communication, Malang : Universitas Brawijaya,
Buku Sumbangan Alumni
- Hunt, Craig, 2002. TCP/IP Network Administration, 3rd Edition
- Ha'c, Anna , Mobile Telecommunications Protocols For Data Networks.
Copyright 2003 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-470-85056-6
Januari 2007
- Ari Antari, Made. 2005. *Analisis Penerapan IP Multicast pada Jaringan TCP/IP*.
Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas
Brawijaya.
- Purbo, Onno W., 2001. "TCP/IP". PT Elex Media Komputindo
[http://140.114.71.46/COM53100_paper/TCP%20over%20wireless%20networks/
TCP%20Packet%20Control%20for%20Wireless%20Networks.pdf](http://140.114.71.46/COM53100_paper/TCP%20over%20wireless%20networks/TCP%20Packet%20Control%20for%20Wireless%20Networks.pdf),
Desember 2006
- [http://www.cpe.ku.ac.th/~anan/courses/204529/document/2004-09-Adhoc-
Wireless-Network.pdf](http://www.cpe.ku.ac.th/~anan/courses/204529/document/2004-09-Adhoc-Wireless-Network.pdf) ,
Desember 2006
- <http://mm.aueb.gr/publications/1999-Internet-Network.pdf> ,
Desember 2006
- <http://www.rohde-schwarz.com>, Maret 2006
- www.wlana.org, Maret 2006
- www.prasimax.com, 2002



LAMPIRAN



WP11A+ Enhanced Wireless Access Point with MC-Card Connector

Product Code: WP11A+



Industry Standard: IEEE802.11b,

Frequency Band: 2.4GHz ISM

Media Access Method: CSMA/CA

Transmission Rate: 11Mbps

4 Selectable Operating Modes: AP, Client, Gateway, Routing Gateway

WEP: 64/128 Bit

Transparent Bridging: Yes

LAN-toLAN Bridging: Yes

VLAN: Wireless & Tagged

SNMP : Yes

MC-Card Connector: Yes

Warranty: 3 Years

Description

Compex NetPassage series WP11A+ is an enhanced 11Mbps Wireless LAN Access Point configurable for four operating modes (selectable). WP11A+ supports up to 11Mbps wireless communication on 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific & Medical) using DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) radio technology.

<http://www.cpx.com/prodimages/WP11A+.PDF>

TrueMobile 1150 Series Mini PCI Card Specifications

ORiNOCO Mini PCI IEEE 802.11b 015143 Rev. A

Form Factor	Mini PCI Specification, October 1999.Type IIIA Form Factor. Internally mounted PCB	
Dimensions	(LxW)	59.75 x 50.95 mm
Temperature & Humidity		
Operating	0 to 60 C	95% maximum (no condensation allowed)
Storage	-20 to 75 C	95% maximum (no condensation allowed)

Networking Characteristics

Compatibility	<ul style="list-style-type: none">• IEEE 802.11 Standard for Wireless LANS (DSSS)• Wi-Fi (Wireless Fidelity) certified by the Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA).	
Network Operating System	<ul style="list-style-type: none">• Microsoft Windows Networking	
Host Operating System	Microsoft Windows 98, Millennium Edition (Me), 2000: <ul style="list-style-type: none">• NDIS5 Miniport Driver	
Media Access Protocol	CSMA/CA (Collision Avoidance) with Acknowledgment (ACK)	
Data Rate	<ul style="list-style-type: none">• High	11 Mb/s
	<ul style="list-style-type: none">• Medium	5.5 Mb/s
	<ul style="list-style-type: none">• Standard	2 Mb/s
	<ul style="list-style-type: none">• Low	1 Mb/s

The cards use an automatic Transmit Rate Select mechanism.

Radio Characteristics

R-F Frequency Band	2.4 GHz (2400-2500 MHz)			
Number of selectable sub-channels	North America (FCC)	11		
	Europe (ETS)	13		
	France (FR)	4		
	Japan (JP)	1		
	Other Countries	FCC 11, ETS 13		
Modulation Technique	Direct Sequence Spread Spectrum <ul style="list-style-type: none"> • CCK for High & Medium Transmit Rate • DQPSK for Standard Transmit Rate • DBPSK for Low Transmit Rate 			
Spreading	11-chip Barker Sequence			
Bit Error Rate (BER)	Better than 10 ⁻⁵			
Nominal Output Power	15 dBm			
Range (100 bytes User Data) / Transmit Rate	High Speed 11 Mb/s	Medium Speed 5.5 Mb/s	Standard Speed 2 Mb/s	Low Speed 1 Mb/s
Open Office Environment	160 m (525 ft.)	270 m (885 ft.)	400 m (1300 ft.)	550 m (1750 ft.)
Semi-Open Office Environment	50 m (165 ft.)	70 m (230 ft.)	90 m (300 ft.)	115 m (375 ft.)
Closed Office	25 m (80 ft.)	35 m (115 ft.)	40 m (130 ft.)	50 m (165 ft.)
Receiver Sensitivity	-83 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Delay Spread (at FER of <1%)	65 ns	225 ns	400 ns	500 ns

<http://support.dell.com/support/edocs/network/tm1150mp/en/spec.htm>