

repository.ub.ac.id

**ANALISIS PENERAPAN *WIRELESSMAN* STANDARD
IEEE 802.16A SEBAGAI *AIR-INTERFACE*
PADA *BROADBAND FIXED WIRELESS ACCES***

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun Oleh :

**MUHAMAD ARYO MW
NIM. 0001060348 – 63**

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

**ANALISIS PENERAPAN WIRELESSMAN STANDARD
IEEE 802.16A SEBAGAI AIR-INTERFACE
PADA BROADBAND FIXED WIRELESS ACCES**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

MUHAMAD ARYO
NIM. 0001060348 – 63

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SUGIRI
NIP. 130 890 044

HERMAN TOLLE, ST, MT
NIP. 132 283 206

**ANALISIS PENERAPAN WIRELESSMAN STANDARD
IEEE 802.16A SEBAGAI AIR-INTERFACE
PADA BROADBAND FIXED WIRELESS ACCES**

Disusun Oleh :

**MUHAMAD ARYO
NIM. 0001060348 – 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 7 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

Ir. ERFAN ACHMAD DAHLAN
NIP. 131 124 663

Ir. WAHYU ADI P., MS
NIP. 131 759 602

Ir. ENDAH BUDI P, MT
NIP. 131 839 362

RUDY YUWONO, ST, MSc
NIP. 132 206 465

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. HERU NURWARITO, M.Kom

NIP. 131 574 031

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan skripsi dengan judul “*Analisis Penerapan WirelessMAN Standard IEEE 802.16a sebagai air interface pada Broadband Fixed Wireless Acces*” yang merupakan sebagian syarat kelulusan dalam memperoleh gelar kesarjanaan di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang. Sholawat dan salam senantiasa tercurah bagi Rasulullah ﷺ, keluarga, sahabat, tabi’in dan semua pengikutnya yang selalu istiqomah di jalan-Nya.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Ayahku *rohimahulloh* dan ibuku tercinta, serta anakku *Shofiyyah* dan istriku di rumah, *Uhibbukum fillah*.
2. Ir. Heru Nurwarsito M.Kom, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ir. Wahyu Adi Priyono MS, selaku KKDK Telekomunikasi yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan proposal skripsi ini.
4. Ir. Sugiri, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dalam membimbing dan memberi arahan untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Herman Tolle ST, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dalam membimbing dan memberi arahan untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
7. Seluruh teman-teman Elektro, terutama angkatan 2000.
8. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu dan telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari ketidaksempurnaan dalam skripsi ini, saran dan masukan dari pembaca untuk dapat memperbaiki segala kekurangan di dalam skripsi ini. Akhirnya semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan berguna terutama bagi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Malang, 1 Agustus 2007

Penulis

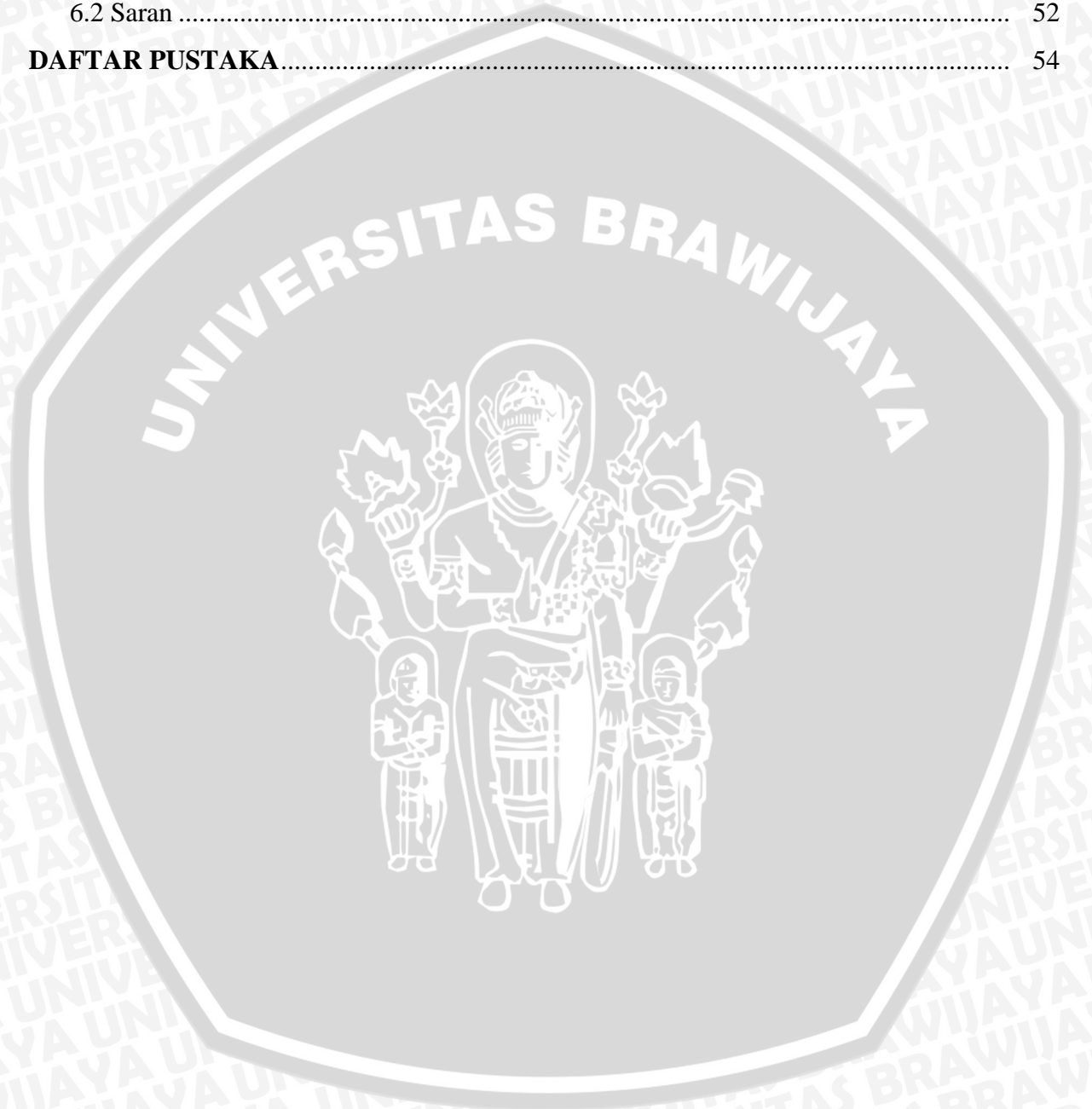
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GRAFIK	ix
ABSTRAK	x
BAB 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
BAB II BROADBAND FIXED WIRELESS ACCESS (BFWA)	4
2.1 Akses Internet <i>Broadband</i>	4
2.2 <i>Broadband Fixed Wireless Access (BFWA)</i>	5
2.3 Komponen Jaringan BFWA	6
2.4 Topologi Jaringan BFWA	7
2.5 Jaringan Komputer Berdasarkan Luas Cakupannya	7
2.5.1 <i>Personal Area Network (PAN)</i>	7
2.5.2 <i>Local Area Network (LAN)</i>	8
2.5.3 <i>Metropolitan Area Network (MAN)</i>	8
2.5.4 <i>Wide Area Network (WAN)</i>	9
2.6 <i>Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)</i>	9
BAB III WIRELESSMAN STANDARD IEEE 802.16A	10
3.1 Standard Keluarga IEEE 802.16	10
3.2 Standard IEEE 802.16a	11
3.3 Layer <i>Medium Access Control (MAC)</i>	13

3.3.1	<i>Convergence Sublayer (CS)</i>	14
3.3.2	<i>MAC Common Part Sublayer (MAC CPS)</i>	14
3.3.3	<i>Privacy Sublayer</i>	15
3.4	Layer Fisik (PHY Layer)	15
3.4.1	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)</i>	16
3.4.2	Modulasi Adaptif	17
3.5	Rugi-rugi Propagasi (<i>Path Loss</i>).....	17
3.6	Sensitivitas Penerima.....	20
3.7	<i>System Operating Margin (SOM)</i>	21
3.8	<i>Delay Time</i>	22
3.8.1	<i>Delay pada WirelessMAN</i>	22
3.8.1.a	<i>Delay Paketisasi</i>	23
3.8.1.b	<i>Delay Propagasi Gelombang Radio</i>	24
3.8.1.c	<i>Delay Antrian</i>	24
3.8.2	<i>Delay pada LAN</i>	25
3.8.3	<i>Delay Server – BTS</i>	26
3.9	<i>Throughput</i>	26
3.10	Kecepatan Rata-rata Data Diterima	28
BAB IV METODOLOGI		29
BAB V ANALISIS PERFORMANSI WIRELESSMAN STANDARD IEEE 802.16A PADA BROADBAND FIXED WIRELESS ACCESS (BFWA)		30
5.1	Perhitungan Rugi-rugi Saluran (<i>Path Loss</i>).....	30
5.2	Perhitungan Daya Terima di Receiver.....	35
5.3	Perhitungan <i>System Operating Margin (SOM)</i>	36
5.3.1	Perhitungan <i>System Operating Margin</i> Pada Kondisi Dataran Tipe A	37
5.3.2	Perhitungan <i>System Operating Margin</i> Pada Kondisi Dataran Tipe B	38
5.3.3	Perhitungan <i>System Operating Margin</i> Pada Kondisi Dataran Tipe C	40
5.4	Perhitungan <i>Delay Time</i>	41
5.4.1	<i>Delay pada WirelessMAN</i>	41
5.4.1.a	<i>Delay Paketisasi</i>	41
5.4.1.b	<i>Delay Propagasi Gelombang Radio</i>	44
5.4.1.c	<i>Delay Antrian</i>	45
5.4.2	<i>Delay pada LAN</i>	47
5.4.3	<i>Delay Server – BTS</i>	47



5.4.4 Delay Total	47
5.5 Throughput.....	48
5.6 Kecepatan Rata-rata Data Diterima	50
BAB VI PENUTUP	52
6.1 Kesimpulan	52
6.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54



ABSTRAK

MUHAMAD ARYO MUKTIAJI WIJOYO, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Analisis Penerapan WirelessMAN Standard IEEE 802.16a sebagai air interface pada Broadband Fixed Wireless Acces*. Dosen Pembimbing : Ir. Sugiri dan Herman Tolle, ST, MT.

Layanan akses internet *broadband* (*Broadband Internet Access*) yang menawarkan layanan internet berkecepatan tinggi semakin lama semakin banyak diminati. Namun penerapan teknologi akses internet *broadband* dengan teknologi *Cable modem*, DSL dan serat optik memiliki kendala-kendala diantaranya kondisi geografis yang berbeda-beda sehingga penggunaan teknologi-teknologi tersebut kurang fleksibel mengingat pertumbuhan jumlah pelanggan jasa internet yang semakin pesat. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan teknologi *wireless* atau yang biasa disebut *Broadband Fixed Wireless Acces* (BFWA) yang dapat menyediakan akses ke jaringan untuk tempat-tempat yang sulit dijangkau oleh kabel. *WirelessMAN* standard 802.16a yang beroperasi pada frekuensi 2 – 11 GHz dirancang untuk mengatasi kendala-kendala yang biasa terjadi di daerah metropolitan, seperti adanya penghalang pada lintasan propagasi.

Analisis performansi standard 802.16a dilakukan dengan melakukan pendekatan beberapa parameter performansi seperti *delay time*, *system operating margin*, jarak lintasan propagasi, *throughput* dan kecepatan rata-rata data diterima, pada beberapa kondisi dataran yang berbeda-beda yaitu urban, suburban dan rural, dan pada skema modulasi yang berbeda-beda untuk mengetahui performansi standard 802.16a pada masing-masing kondisi tersebut.

Dari hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa jarak terjauh yang dapat dijangkau berdasarkan asumsi-asumsi yang dilakukan adalah $\pm 1,7$ km pada daerah urban, $\pm 2,58$ km pada daerah suburban, dan $\pm 5,48$ km pada daerah rural dengan nilai *throughput* terbesar adalah 791,383 paket/s dan kecepatan maksimal rata-rata paket yang diterima sebesar 9,497 Mbps.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi telekomunikasi berkembang dengan cepat dan selaras dengan karakteristik pengguna layanan telekomunikasi yang menginginkan layanan cepat, mudah dan memuaskan. Salah satu teknologi pendukung yang telah memainkan peranan penting dalam perkembangan telekomunikasi bagi masyarakat di seluruh dunia adalah internet.

Layanan akses internet *broadband* (*Broadband Internet Access*) yang menawarkan layanan internet berkecepatan tinggi semakin lama semakin banyak diminati. Beberapa teknologi yang telah digunakan pada aplikasi akses internet *broadband* adalah *Cable modem*, *DSL* (*Digital Subscriber Line*), Serat Optik, dan *Wireless*.

Namun penerapan teknologi akses internet broadband dengan teknologi *Cable modem*, *DSL* dan serat optik memiliki kendala-kendala diantaranya kondisi geografis yang berbeda-beda sehingga penggunaan teknologi-teknologi tersebut kurang fleksibel mengingat pertumbuhan jumlah pelanggan jasa internet yang semakin pesat.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan teknologi *wireless* atau yang biasa disebut *Broadband Fixed Wireless Acces* (BFWA) yang dapat menyediakan akses ke jaringan untuk tempat-tempat yang sulit dijangkau oleh kabel.

Selama beberapa tahun, teknologi WiFi *Wireless LAN* (802.11x) telah sukses digunakan sebagai *air interface* pada aplikasi BWA. Namun jika diperhatikan dari dekat, terlihat bahwa disain dan fitur yang ada pada teknologi WLAN kurang cocok untuk aplikasi outdoor *Broadband Fixed Wireless Access*, yang digunakan untuk jaringan skala kota (metropolitan) disebabkan masalah-masalah pada jaringan skala metropolitan:

- Bandwidth yang terbatas
- Jumlah subscriber yang besar
- Jarak cakupan (*coverage*) yang besar
- Adanya gedung-gedung tinggi yang dapat mengakibatkan rugi-rugi pada transmisi (*path loss*).
- Delay jaringan yang besar.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) menetapkan standard baru untuk mengatasi kebutuhan *Quality of Service* (QoS), jarak cakupan (*coverage*) dan lingkungan *physical layer* (*outdoor* dan *indoor*) yang dibutuhkan pada BFWA. Teknologi

Wireless Metropolitan Area Network (MAN) dipilih untuk mengatasi masalah ini disebabkan jarak cakupannya yang luas dan dapat digunakan sebagai *backhaul* dari infrastruktur jaringan yang sudah ada.

Standard 802.16a didisain untuk bekerja pada frekuensi 2 - 11 GHz. Standard ini memiliki kelebihan dalam mengatasi masalah-masalah metropolis di atas dengan performansi transmisi NLOS (*non-line-of-sight*), kapasitas yang besar, jangkauan yang luas dan merupakan teknologi yang paling sesuai ketika adanya masalah penghalang seperti gedung yang terdapat pada daerah perkotaan.

Dalam penulisan tugas akhir ini akan dianalisis bagaimana performansi penerapan standard *WirelessMAN* standard 802.16a melalui pendekatan *delay time*, *system operating margin*, jarak lintasan propagasi, *throughput* dan kecepatan rata-rata data diterima.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka perumusan masalah dalam tulisan ini dititikberatkan pada:

- Bagaimana konsep dasar *Broadband Fixed Wireless Access*?
- Bagaimana konsep dasar teknologi IEEE 802.16a?
- Bagaimana penerapan standard 802.16a pada *Broadband Wireless Access*?
- Bagaimana performansi *WirelessMAN* 802.16a melalui pendekatan *delay time*, jarak lintasan propagasi, *system operating margin*, *throughput* dan kecepatan rata-rata data diterima?

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup pembahasan akan dibatasi pada hal-hal berikut :

- Standard jaringan yang dibahas adalah *WirelessMAN* standard IEEE 802.16a.
- Menganalisa jaringan *WirelessMAN* 802.16a dengan topologi *point-to-multipoint*, OFDM 256 FFT, dan *band* frekuensi 3,5 GHz dengan bandwidth kanal 3,5 MHz.
- Data diperoleh dari sumber literatur.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisis parameter performansi standard IEEE 802.16a pada jaringan *Broadband Fixed Wireless Access*.

1.5 Sistematika Penulisan

- Bab I** Memuat latar belakang, tujuan, rumusan masalah dan sistematika penulisan.
- Bab II** Merupakan studi pustaka yang membahas konsep dasar *Broadband Internet Access dan Broadband Fixed Wireless Access*.
- Bab III** Merupakan studi pustaka yang membahas konsep dasar WirelessMAN standard IEEE 802.16 dan 802.16a.
- Bab IV** Menjelaskan tentang metodologi penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini.
- Bab V** Memuat analisis penerapan standard IEEE 802.16a pada *Broadband Fixed wireless access (BFWA)*.
- Bab VI** Memuat tentang kesimpulan dari semua hal yang telah diuraikan sebelumnya dan saran bagi penerapan lebih lanjut.



BAB II

BROADBAND FIXED WIRELESS ACCESS (BFWA)

2.1 Akses Internet Broadband

Broadband biasa digunakan untuk menggambarkan koneksi internet yang jauh lebih cepat dari teknologi *dial-up* yang ada sekarang, namun bukan merupakan kecepatan layanan tertentu. Rekomendasi I.113 dari *ITU Standardization Sector* mendefinisikan *broadband* sebagai kapasitas transmisi yang lebih cepat dari *primary rate* ISDN, pada 1.5 atau 2 Mbps. Sedangkan pada tempat lainnya, *broadband* dihubungkan dengan kecepatan 256 Kbps atau lebih, bahkan beberapa operator memberi label *basic rate* dari ISDN (144 Kbps) sebagai salah satu tipe *broadband*.

Peranan nyata dari *broadband* adalah cakupannya yang lebih luas untuk mengembangkan aplikasi-aplikasi, layanan data, suara dan video, baik dengan meningkatkan kualitas yang sudah ada ataupun dengan membuat aplikasi atau layanan baru. Kemampuan *broadband* ini terutama tergantung pada jaringan yang sudah ada, yang bervariasi menurut infrastruktur sebelumnya. Misalnya pada negara maju dan daerah perkotaan, sudah ada teknologi kabel yang berbasis *twisted pair* atau kabel coaxial. Pada negara berkembang dan daerah rural, teknologi baru berbasis *wireless* atau satelit mungkin akan lebih praktis dan ekonomis.

Koneksi kabel terhitung sebagai mayoritas dari koneksi yang ada sekarang, walaupun teknologi *wireless* mulai berkembang dengan cepat. Pada koneksi *fixed-line*, teknologi *digital subscriber line* (DSL) dan *cable modem* adalah yang paling populer. Sampai tahun 2000, mayoritas pengguna layanan broadband menggunakan *cable modem*. Namun secara lebih luas, ADSL sekarang terhitung sebagai mayoritas dengan menguasai setengah dari hubungan *broadband* di seluruh dunia, yang populer di Asia dan Eropa barat.

Ketika koneksi *fixed-line* tidak cepat pasang dan kurang nyaman digunakan, sejumlah teknologi *wireless* seperti Wi-Fi mulai meraih kepopuleran. Dalam Tabel 2.1 diperlihatkan beberapa teknologi yang digunakan pada jaringan *broadband*.

Tabel 2.1 Teknologi pada jaringan *Broadband*

Teknologi Kabel	Kecepatan (Mbps)	Jarak Cakupan (range)
ADSL(G.dmt)	8	sedang
ADSL(G.lite)	1.5	sedang
SHDSL	4.6	sedang
ADSL2	8	sedang
ADSL2plus	16	Sedang

VDSL	52	Dekat
Cable	30	Jauh
Serat Optik	10000	Jauh
Teknologi Wireless		
802.11b(Wi-Fi)	11	100m
802.11a	54	50m
802.11g	54	100m
802.11e	54	NA
802.16(WiMax)	70	50 km
RadioLAN	10	35 m
HomeRF	1	50 m
HomeRF2	10	100 m
HiperLAN2	54	150 m
HiperMAN	NA	50 km
Bluetooth	1	10 m
InfraredLAN	4	20 m

[Sumber : ITU Internet Reports, 2003]

2.2 Broadband Fixed Wireless Access (BFWA)

Broadband Fixed wireless access (BFWA) telah menjadi cara terbaik untuk memenuhi permintaan akan koneksi internet yang cepat serta layanan suara dan video. BFWA dapat memperluas jaringan serat optik dan menyediakan kapasitas lebih besar daripada jaringan kabel atau *digital subscriber lines* (DSL). Salah satu aspek yang merupakan kelebihan BFWA adalah jaringan yang dapat dibuat dalam beberapa minggu dengan menggunakan sejumlah *base station* pada gedung atau tiang untuk menciptakan sistem *wireless* berkapasitas tinggi.

Sejauh ini BFWA memiliki jangkauan yang terbatas, karena tidak adanya standard yang universal. Sementara menyediakan standard adalah penting untuk negara-negara berkembang, bahkan lebih penting bagi negara berkembang dimana infrastruktur kabel dibatasi.

Transmisi BFWA adalah melalui *free space* dan merupakan subjek bagi redaman dan distorsi dari berbagai benda seperti pepohonan, gedung, cuaca yang buruk dan kendaraan yang bergerak serta tidak dapat diprediksi perubahannya. Standard IEEE 802.16 mengenali masalah ini dan memiliki mekanisme untuk membuat jalur yang kuat pada sistem BFWA dengan topologi *Point-to-Multipoint* (PMP) dengan kondisi transmisi *line-of-sight* (LOS). Sedangkan pada kondisi transmisi *Obstructed-Line-of-sight* (OLOS) dan transmisi *non-line-of-sight* (NLOS) dapat dilakukan dengan standard 802.16a.

2.3 Komponen Jaringan BFWA

Komponen kunci yang digunakan pada jaringan *Broadband Fixed Wireless Access* (BFWA) adalah:

- **Base Station (BS)**

Base Station terhubung dengan jaringan inti (*core network*) dan menggunakan antenna *outdoor omnidirectional* untuk mengirim dan menerima data dan suara berkecepatan tinggi ke SS (*subscriber station*).

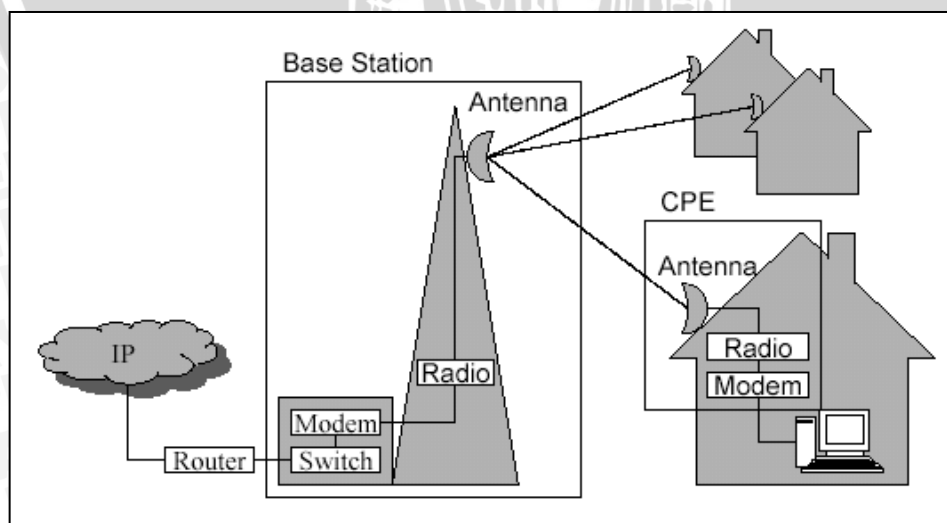
- **Subscriber Station (SS)**

Station pengirim atau penerima yang dapat berupa komputer pribadi (*personal computer* atau Laptop) atau komputer server yang menghubungkan antara WirelessMAN dengan jaringan yang lebih kecil seperti WLAN, Ethernet, dan lain-lain. SS menggunakan antenna *outdoor directional* untuk mengirim dan menerima sinyal dari BS.

- **Repeater Station (RS)**

Repeater berfungsi untuk meregenerasi sinyal sehingga jarak jangkau bisa lebih jauh. Repeater pada WirelessMAN merupakan komponen pilihan yang digunakan jika dibutuhkan untuk memperluas jarak jangkau. *Repeater* dalam hal ini secara umum berfungsi:

- ❖ Membangkitkan dan mengirimkan kembali sinyal digital yang diterima
- ❖ Melewatkan seluruh sinyal ke seluruh segmen yang terhubung dengan *repeater*
- ❖ Memungkinkan pentransmisi data pada media transmisi yang berbeda
- ❖ Memperluas daerah cakupan jaringan *WirelessMAN*



Gambar 2.1 Konfigurasi Jaringan *Broadband Fixed Wireless Access*

[Sumber : Smura, 2004 : 31]

2.4 Topologi Jaringan BFWA

Topologi jaringan BFWA dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok: *Point-to-point* (PTP), *point-to-multipoint* (PMP) dan *Mesh*.

Jaringan BFWA dengan topologi *Point-to-point* (PTP) terdiri dari satu atau lebih saluran *fixed* PTP yang menggunakan antena *directional* pada kedua akhir saluran.

Pada topologi *Point-to-multipoint* (PMP), jaringan terdiri dari sejumlah *base station* yang masing-masing terhubung dengan lebih dari satu terminal user. Hal ini memberikan keuntungan lebih dibandingkan dengan banyak saluran *Point-to-point* (PTP), sebab peralatan radio pada *base station* dapat digunakan untuk melayani banyak pengguna.

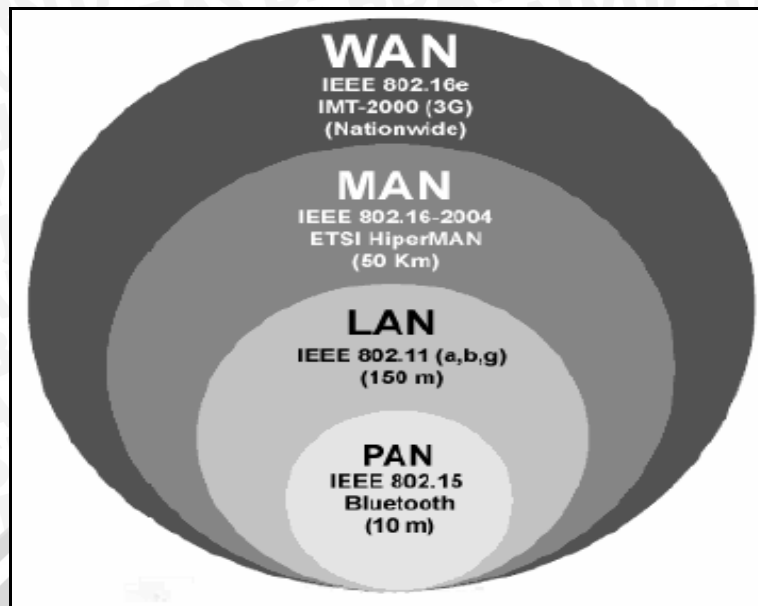
Pada topologi *Mesh*, terminal *end-user* juga berfungsi sebagai router untuk tiap trafik. *Base station* juga diperlukan untuk menyediakan hubungan ke jaringan utama. Topologi *Mesh* juga dapat meningkatkan cakupan dari *wireless acces network* karena tiap subscriber baru dapat dianggap secara efektif sebagai *base station* baru yang melayani subscriber didekatnya, namun dapat mempengaruhi kapasitas saluran pada jaringan. *End-user* terminalnya juga lebih kompleks karena dibutuhkan fungsi routing. Sekarang, topologi berbasis *Mesh* tidak banyak digunakan dipasaran.

2.5 Jaringan Komputer Berdasarkan Luas Cakupannya

Jarak merupakan hal yang penting dalam membangun sebuah jaringan komputer, karena untuk setiap jarak yang berbeda diperlukan teknik yang berbeda-beda pula. Jaringan komputer berdasarkan jarak jangkauan dan area kerjanya dapat dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu jaringan PAN (*Personal Area Network*), LAN (*Local Area Network*), jaringan MAN (*Metropolitan Area Network*), dan jaringan WAN (*Wide Area Network*). Jenis jaringan berdasarkan jarak jangkauan masing-masing dapat dilihat pada Gambar 2.2.

2.5.1 *Personal Area Network* (PAN)

Personal Area Network (PAN) merupakan suatu jaringan yang digunakan untuk menghubungkan beberapa komputer yang saling berdekatan satu sama lain dengan jarak jangkauan kurang dari 10 meter. PAN biasa digunakan untuk jaringan dalam sebuah ruangan, kamar, mobil, dan lain-lain. Jaringan PAN dapat beroperasi menggunakan kabel ataupun *wireless*. Contoh dari PAN yang beroperasi menggunakan kabel adalah USB dan FireWire, sedangkan contoh jaringan *wireless* PAN adalah bluetooth, *Infrared* (IrDA) dan *Ultra Wide Band* (UWB).



Gambar 2.2 Jenis-jenis jaringan berdasarkan luas cakupannya

[Sumber : OECD, 2006: 9]

2.5.2 *Local Area Network (LAN)*

Local Area Network (LAN) merupakan suatu jaringan yang digunakan untuk menghubungkan beberapa komputer dengan jarak jangkauan kurang dari 150 meter untuk berbagi data, aplikasi dan sumber daya seperti printer, scanner, dan lain-lain. LAN biasa digunakan untuk jaringan dalam sebuah rumah, kantor, pabrik, gedung, universitas, dan lain-lain. Jaringan LAN dapat beroperasi menggunakan kabel ataupun *wireless*. Contoh dari LAN yang beroperasi menggunakan kabel adalah Ethernet, sedangkan contoh jaringan *wireless* LAN adalah WiFi (Standard IEEE 802.11x), ETSI HiperLAN dan *Ultra Wide Band (UWB)*.

2.5.3 *Metropolitan Area Network (MAN)*

Metropolitan Area Network (MAN) merupakan suatu jaringan telekomunikasi yang didisain untuk mencakup daerah seukuran kota besar atau daerah layanan dengan jarak jangkauan sampai dengan 50 km. MAN didisain untuk membawa berbagai macam trafik secara bersamaan, termasuk *bursty* data, *real-time* data, suara dan video. MAN dirancang untuk beroperasi melalui banyak tipe medium fisik, seperti serat optik, kabel coaxial, *wireless* dan lain-lain. Karena MAN mampu membawa trafik yang bermacam-macam dan mendukung alat komunikasi yang berbeda-beda, aplikasi yang mungkin diterapkan pada MAN sangat luas.

MAN mampu melayani banyak aplikasi dibidang komunikasi dibandingkan dengan LAN. Beberapa aplikasi tersebut antara lain: interkoneksi LAN, *integrated voice & data*, *broadband multimedia communication*, *full-feature video conferencing*, dan lain-lain.

2.5.4 *Wide Area Network (WAN)*

Wide Area Network (WAN) merupakan suatu jaringan telekomunikasi yang digunakan untuk menghubungkan jaringan komputer dengan jarak jangkauan yang sangat luas (*nation wide*). WAN bisa digunakan untuk menghubungkan jaringan antar kota, propinsi, dan bahkan negara. Pengguna pada WAN tidak memiliki jaringan transmisinya sendiri yang terhubung dengan sistem komputer pada jarak jauh, akan tetapi pengguna mendapatkan layanan melalui sebuah provider. WAN biasanya digunakan untuk menghubungkan antara jaringan komputer (LAN atau MAN) yang satu dengan yang lain. Secara struktur WAN mirip dengan MAN, akan tetapi WAN dapat menyediakan layanan untuk jarak lebih dari 50 kilometer. Contoh dari WAN adalah Standard IEEE 802.16e, IMT-2000 (3G), dan lain-lain.

2.6 *Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)*

Wireless MAN merupakan MAN dengan medium fisik *free space*. Prinsip dasarnya adalah sebuah *base station* dihubungkan dengan ratusan *subscriber*. Saat ini ada beberapa standarisasi *Wireless MAN* yang sudah ada, seperti keluarga standard IEEE 802.16, standard ETSI *High Performance MAN (HIPERMAN)* dan WiBro. Dalam skripsi ini akan dibahas salah satu standard IEEE 802.16 yaitu 802.16a.

BAB III

WIRELESSMAN STANDARD IEEE 802.16A

3.1 Standard Keluarga IEEE 802.16

Keluarga standard IEEE 802.16 sebagai salah satu *air interface* dari *WirelessMAN* untuk layanan *Broadband Fixed wireless access* (BWA) menyediakan teknologi akses "*last mile*" ke *subscriber* dengan kecepatan tinggi dalam transmisi suara, video dan data. Keuntungan terbesar dari BWA adalah biaya yang murah dalam instalasi dan perawatan dibandingkan dengan kabel tradisional atau akses serat optik, khususnya untuk daerah yang jauh dan sulit untuk dijangkau. BFWA dapat memperluas jaringan serat optik dan menyediakan kapasitas yang lebih besar daripada jaringan kabel atau DSL. Jaringan yang dapat dibuat dalam beberapa minggu dengan menggunakan sejumlah *base station* pada gedung atau tiang untuk menciptakan sistem *wireless* berkapasitas tinggi.

IEEE 802.16a adalah standard yang didisain oleh IEEE, untuk jaringan lokal dan metropolitan (MAN) *fixed broadband wireless access*. Standard IEEE 802.16 sendiri dijuluki "*Air Interface* untuk sistem *Broadband Wireless Access*" dan disetujui oleh IEEE pada 6 Desember 2001. Standard ini menggunakan frekuensi antara 10 – 66 GHz, sementara standard IEEE 802.16a mencakup frekuensi antara 2-11 GHz.

Sistem yang didisain menggunakan standard IEEE 802.16 akan memiliki performansi dengan data rate sampai 120 Mbps pada *range* frekuensi 10 – 66 GHz dan 70 Mbps untuk transmisi NLOS pada range frekuensi 2 – 11 GHz dengan bandwidth kanal 20 MHz. Dengan kemampuan ini, sistem dengan IEEE 802.16 akan mampu menyediakan:

- Operasi jarak jauh: radius sampai 30 mil
- Performansi NLOS (*Non Line of Sight*)
- Kemampuan untuk beroperasi pada lingkungan dengan tingkat *multipath* yang tinggi
- Tingkat pelayanan yang terjamin
- Skalabilitas yang baik
- Kemampuan QoS (*Quality of Service*) yang mendukung aplikasi suara dan video
- Efisiensi spektral yang tinggi
- Mendukung *traffic multicast*

Kelebihan utama dari IEEE 802.16 dibandingkan dengan sistem *wired* meliputi: lebih hemat, setup yang cepat dan jangkauan yang lebih luas. Lebih hemat karena pada IEEE 802.16 tidak membutuhkan investasi infrastruktur kabel dan pengeluaran sewa bulanan.

Instalasi sistem IEEE 802.16 dan memulai pelayanan membutuhkan waktu yang relatif singkat jika dibandingkan dengan waktu 3 bulan yang digunakan untuk instalasi sistem T1 di beberapa daerah. Sementara layanan DSL sulit dilakukan pada daerah yang jauh dari *switch* perusahaan telepon lokal, sementara layanan IEEE 802.16 dapat dengan mudah dan efektif menjangkau daerah yang jauh.

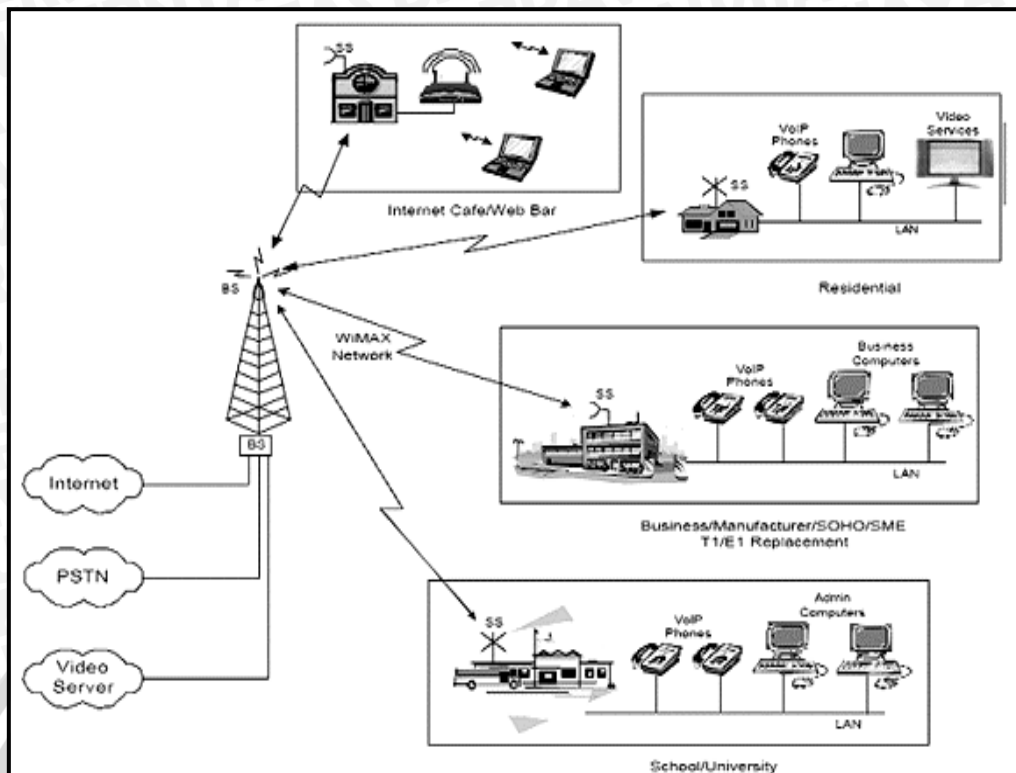
Tabel 3.1 Spesifikasi Standard keluarga 802.16

	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16e
Spektrum Frekuensi	10-66 GHz	2-11 GHz	< 6 GHz
Kondisi Kanal	<i>Line of Sight</i>	<i>Non Line of Sight</i>	<i>Non Line of Sight</i>
Bit Rate	32 sampai 134 Mbps menggunakan frekuensi kanal 28 MHz	Hingga 70 Mbps menggunakan frekuensi kanal 20 MHz	Hingga 15 Mbps menggunakan frekuensi kanal 5 MHz
Modulasi	QPSK, 16 QAM dan 64 QAM	OFDM 256 sub-carrier, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM 256 sub-carrier, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Mobilitas	Perangkat wireless tetap	Perangkat wireless tetap dan portabel	<i>Nomadic Mobility</i>
Frekuensi Per Kanal	20, 25 dan 28 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz
Radius Per Cell	2 sampai 5 Km	7 – 10 Km dengan kemampuan maksimal hingga 50 Km	2 – 5 Km

[Sumber: Siyamta, <http://www.ilmukomputer.com>]

3.2 Standard IEEE 802.16a

IEEE telah bertahun-tahun berusaha mengembangkan standard baru ini, yang puncaknya adalah persetujuan spesifikasi *air-interface* 802.16a pada Januari 2003. Standard 802.16a didisain untuk bekerja pada frekuensi 2 – 11 GHz. Standard ini memiliki kelebihan dalam performansi *non-line-of-sight*, kapasitas yang besar, jangkauan yang luas dan merupakan teknologi yang paling sesuai ketika adanya masalah penghalang seperti pohon dan gedung yang biasanya ada pada daerah metropolitan.



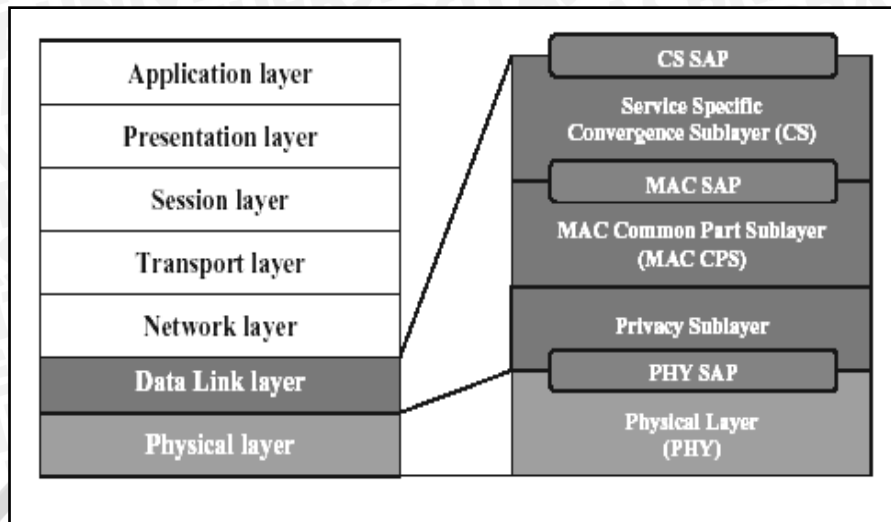
Gambar 3.1 Topologi *Point-to-Multipoint* pada Jaringan 802.16

[Sumber: www.wimaxforum.com]

Standard 802.16a dibuat dengan pertimbangan ini, yang dipublikasikan pada 1 April 2003, mencakup modifikasi *Medium Access Control* (MAC) dan spesifikasi tambahan *Physical layer* pada 2-11 GHz untuk band frekuensi yang memerlukan perizinan (*licensed band*) dan yang tidak butuh perizinan (*license-exempt band*). Modifikasi yang signifikan pada MAC layer merupakan adanya pilihan untuk mode Mesh. Perbedaan utama antara *Point-to-Multipoint* (PMP) dan mode *optional* Mesh adalah bahwa pada mode *Point-to-Multipoint*, trafik hanya terjadi antara *base station* dan *subscriber*, sedangkan trafik pada mode Mesh dapat dirouting melalui subscriber lain dan dapat terjadi secara langsung antar *subscriber*. Fitur ini memungkinkan propagasi NLOS. Keuntungan dari hal ini adalah kemampuannya untuk bekerja bahkan pada halangan yang besar seperti gunung atau bukit yang menghalangi akses langsung antara *subscriber* ke *base station*. *Subscriber* yang terhalangi dapat sampai ke *base station* secara tidak langsung dengan melalui unit *subscriber* yang lainnya.

Modifikasi signifikan lainnya pada layer MAC adalah bahwa ia mendukung spesifikasi beberapa jenis *physical layer*, yang tiap-tiapnya sesuai dengan lingkungan

operasi tertentu. Pada standard 802.16a didefinisikan 3 standard struktur PHY: carrier, 256-OFDM, 2048-OFDMA.



Gambar 3.2 Model OSI layer pada standard IEEE 802.16a

[Sumber : Louazel, 2004 : 8]

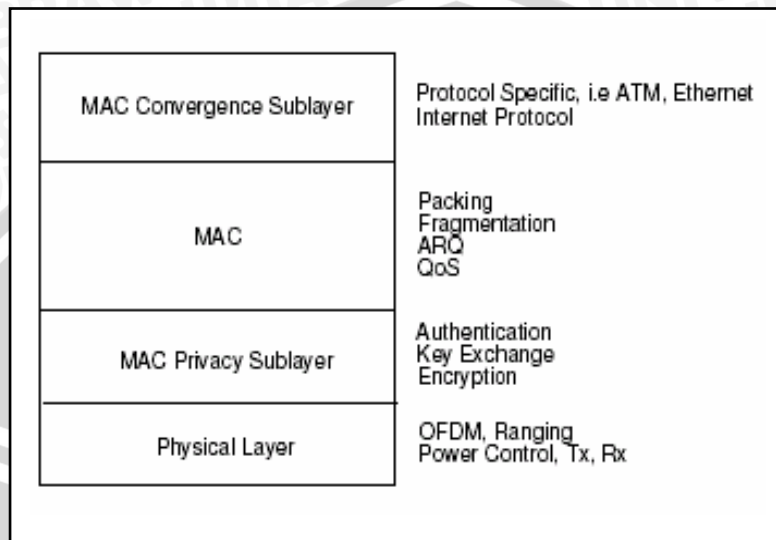
3.3 Layer *Medium Access Control* (MAC)

Layer *Medium Access Control* (MAC) adalah *interface* yang menginterpretasikan data antara *data link layer* dan *physical link layer*. Selain mendukung topologi Mesh, MAC layer juga memiliki fitur-fitur menjanjikan lainnya. Untuk mendukung topologi *Point-to-Multipoint* jarak jauh, standard 802.16 menggunakan TDM (*Time Division Multiplexing*) untuk komunikasi *downlink* dan TDMA (*Time Division Multiple Access*) untuk komunikasi *uplink*.

MAC 802.16a bersifat *connection-oriented* dan mendukung QoS. MAC 802.16a menggunakan protokol *slotted TDMA* yang dijadwalkan oleh base station untuk mengalokasikan kapasitas ke subscriber pada topologi jaringan *point-to-multipoint*. Penggunaan TDMA disini sangat penting untuk menangani sistem yang *latency sensitive* seperti suara dan video.

Karena 802.16a didesain untuk menangani komunikasi antara ratusan SS dan BS, maka dibutuhkan penggunaan bandwidth yang efisien. *Bandwidth on-demand* (dari SS) dan alokasi bandwidth (dari BS) menjadikan penggunaan spektrum efisien. MAC 802.16a juga menyediakan mekanisme QoS yang tinggi untuk mendukung aplikasi yang berbeda-beda. Kemampuan untuk mendukung multi-PHY layer yang disesuaikan dengan spektrum yang tersedia, regulasi dalam negeri dan lain-lain juga memberikan fleksibilitas yang besar pada vendor.

MAC pada 802.16 terdiri dari tiga sublayer : *Service Specific Convergence Sublayer* (CS), *MAC Common Part Sublayer* (MAC CPS), dan *Privacy Sublayer*. Susunan sublayer tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3.2, dengan CS di bagian atas sebagai *interface* ke layer yang lebih tinggi, lalu MAC CPS di bawah CS, dan *Privacy Sublayer* di bawah MAC CPS. Di antara tiap sublayer terdapat *Service Access Point* (SAP) yang berfungsi sebagai *interface* antara dua layer yang dipisahkan olehnya [Munoz, 2004 : 44].



Gambar 3.3 MAC pada 802.16a
[Sumber : Carlberg, 2006: 16]

3.3.1 *Convergence Sublayer* (CS)

Convergence Sublayer digunakan untuk layanan *mapping* dari dan kepada koneksi MAC IEEE 802.16. Tugas utama sublayer ini adalah untuk mengklasifikasi *service data unit* (SDU) ke dalam koneksi MAC yang tepat, menjaga dan mengaktifkan QoS dan alokasi bandwidth.

3.3.2 *MAC Common Part Sublayer* (MAC CPS)

MAC 802.16a *Common Part Sublayer* adalah *connection-oriented*. Semua layanan, termasuk yang *connectionless* dipetakan menjadi *connection-oriented*. Oleh karena itu, sublayer ini menyediakan mekanisme untuk permintaan bandwidth, pengelompokan QoS dan parameter trafik, menyalurkan dan mengarahkan data kepada *convergence sublayer* yang sesuai.

3.3.3 Privacy Sublayer

Privacy Sublayer bertugas untuk enkripsi antara base station dan subscriber. *Privacy Sublayer* menjaga *privacy* dengan melindungi pelanggan dari pencurian layanan dan akses –akses yang tidak memiliki izin ke jaringan.

3.4 Layer Fisik (PHY Layer)

Desain physical layer pada frekuensi 2-11 GHz didorong untuk memenuhi kebutuhan kerja *non-line-of-sight* (NLOS). Hal ini penting untuk mendukung aplikasi di perumahan/ tempat tinggal, karena atap rumah yang mungkin terlalu rendah untuk kerja LOS bagi antena BS, atau mungkin disebabkan adanya penghalang seperti pohon, sehingga akan terjadi propagasi *multipath* yang signifikan. Lebih jauh, antena yang diletakkan di luar (*outdoor*) biasanya mahal dikarenakan biaya *hardware* dan instalasinya. Sementara beberapa vendor lebih menyukai sistem yang hanya menggunakan antena *indoor* saja.

IEEE 802.16a menspesifikasikan sistem menggunakan salah satu dari 3 spesifikasi *air-interface*:

- 1) WirelessMAN-SCa: Menggunakan format modulasi *single-carrier*.
- 2) WirelessMAN-OFDM: menggunakan OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) dengan 256 poin *Fast Fourier Transform* (FFT).
- 3) WirelessMAN-OFDMA: menggunakan OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) dengan 2048 poin FFT.

Tabel 3.2 memperlihatkan fitur utama dari layer fisik IEEE 802.16a.

Table 3.2 Fitur PHY layer 802.16a

Fitur	Kelebihan
Menggunakan sistem pensinyalan 256 point FFT OFDM.	Mendukung sistem <i>multipath</i> untuk memungkinkan diaplikasikan pada area terbuka (<i>outdoor</i>) dengan kondisi LOS dan NLOS
Modulasi Adaptif dengan sistem <i>error correction</i> yang bervariasi setiap <i>RF burst</i>	Menjamin saluran RF yang baik, memaksimalkan jumlah bit/ <i>second</i> untuk tiap unit <i>subscriber</i> .
Mendukung <i>duplexing</i> TDD dan FDD	Untuk menyesuaikan dengan peraturan di seluruh dunia dimana salah satunya atau keduanya diizinkan.
Ukuran kanal frekuensi yang fleksibel (misal: 3.5MHz, 5MHz, 10MHz, dan lain-lain)	Menyediakan fleksibilitas yang diperlukan untuk beroperasi di band frekuensi yang berbeda-beda dengan kebutuhan kanal yang bervariasi di seluruh dunia.

Didesain untuk dapat mendukung sistem *Smart Antenna*

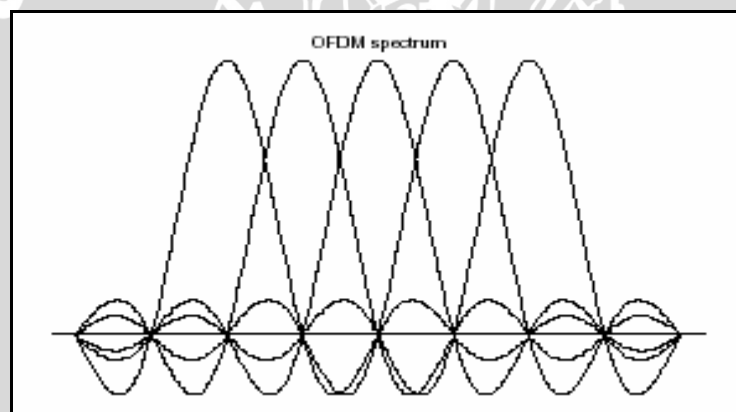
Menekan terjadinya interferensi dan meningkatkan *gain* sistem.

[Sumber : WiMAX Forum, 2003]

Sementara fitur-fitur diatas merupakan persyaratan bagi operasi dasar *Broadband Fixed Wireless access* pada *outdoor*, ukuran kanal yang fleksibel dibutuhkan jika suatu standard benar-benar ditujukan untuk penyebaran di seluruh dunia. Hal ini disebabkan peraturan yang berbeda-beda di berbagai negara.

3.4.1 *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)*

OFDM adalah modulasi *multicarrier* dimana setiap *carrier* saling *orthogonal* satu sama lain sehingga tidak saling menginterferensi satu sama lain. Setiap *carrier* dapat menggunakan teknik modulasi yang berbeda. Pada OFDM, bandwidth yang tersedia dibagi menjadi beberapa subkanal dimana setiap subkanal dimodulasi dan ditransmisikan secara paralel. Gambar 3.4 memperlihatkan orthogonalitas subcarrier pada OFDM.

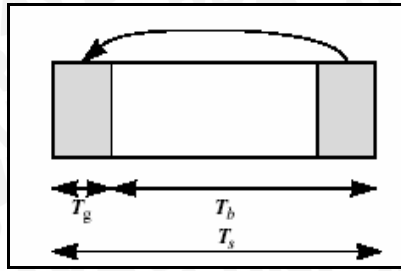


Gambar 3.4 Orthogonalitas *subcarrier* pada OFDM

[Sumber : Matiae, 1998 : 8]

Pemakaian frekuensi yang saling *orthogonal* pada OFDM memungkinkan *overlap* antar frekuensi tanpa menimbulkan interferensi satu sama lain sehingga penggunaan teknologi OFDM menghasilkan efisiensi spektrum yang tinggi.

Guard interval atau *cyclic prefix* disisipkan dalam awal simbol OFDM untuk mengatasi terjadinya *intersymbol interference* yang terjadi akibat *multipath*. *Cyclic prefix* diambil dari bagian akhir simbol OFDM untuk mengatasi *multipath* dan sekaligus menjaga orthogonalitas frekuensi.

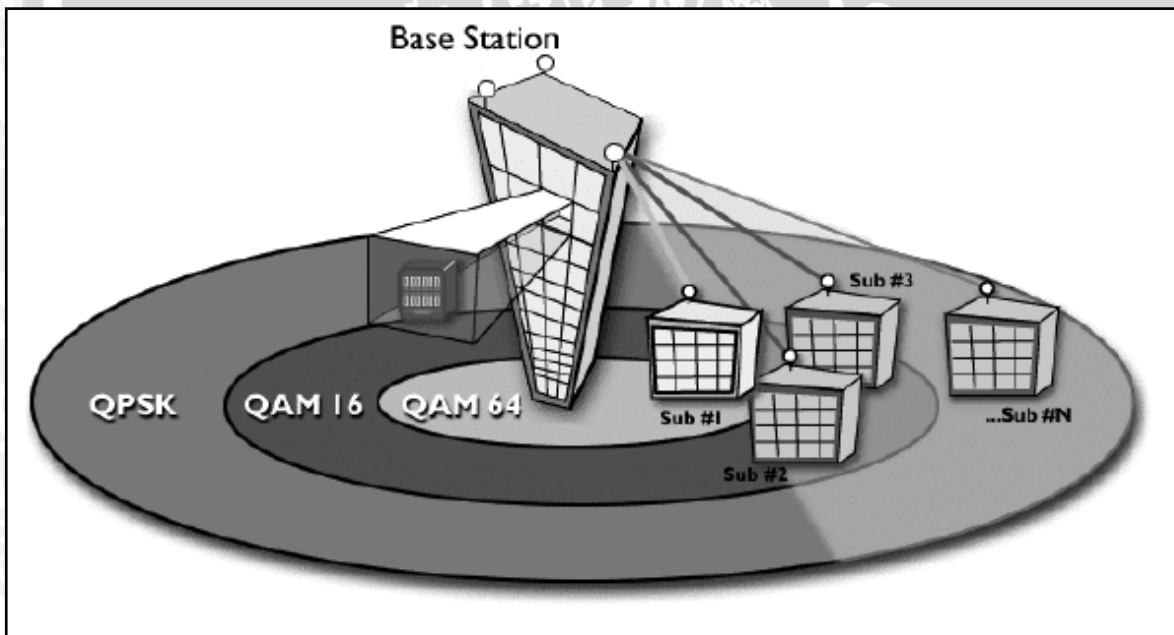


Gambar 3.5 Durasi simbol OFDM

[Sumber : std IEEE 802.16a-2003 : 138]

3.4.2 Modulasi Adaptif

Untuk menjamin *throughput* yang maksimal dan kuat (*robust*), pada standard 802.16a digunakan skema modulasi adaptif : QPSK, 16-QAM, 64-QAM. Ketika kondisi kanal baik, maka skema modulasi 64-QAM akan dipilih untuk menghasilkan data rate yang lebih tinggi. Jika tidak, maka skema modulasi lainnya akan dipilih untuk menjaga kekuatan. Gambar 3.6 memperlihatkan contoh skema modulasi adaptif.



Gambar 3.6 Modulasi Adaptif pada IEEE 802.16a

[sumber : <http://www.WirelessMAN.org>]

3.5 Rugi-rugi Propagasi (*Path Loss*)

Suatu sinyal yang merambat melalui udara bebas (*free space*) akan dipengaruhi oleh lingkungan daerah sepanjang lintasan yang dilalui oleh sinyal tersebut. Karakteristik lingkungan yang dilalui oleh sinyal akan mengakibatkan timbulnya redaman, fading dan

pantulan. Akibatnya sinyal yang dikirim akan mengalami gangguan atau pengurangan level sinyal. Rugi-rugi propagasi sangat bergantung kepada jenis dataran (*terrain*) dan kerapatan penghalang sepanjang lintasan propagasi. Biasanya kondisi dataran yang berbukit dan kerapatan penghalang yang tinggi menyebabkan besarnya rugi-rugi propagasi, begitu pula sebaliknya.

Rumus dasar dari *free space path loss* adalah sebagai berikut (Couch, 1987 : 425):

$$L_{fs} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (3.1)$$

Dimana :

L_{fs} : *free space path loss* (dB)

λ : panjang gelombang (m)

d : jarak antara antena *transmitter* dan *receiver* (m)

Untuk menganalisa besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap level penerimaan sinyal pada jaringan dapat digunakan sebuah model propagasi *outdoor* pada standard 802.16a yang digunakan untuk menghitung redaman lintasan propagasi dan dengan mempertimbangkan karakteristik lingkungan sekitarnya seperti gedung, bukit, pohon, sebagai pertimbangan dalam merencanakan kuat sinyal yang diterima pada jarak tertentu.

Model propagasi yang digunakan untuk memprediksikan karakteristik propagasi WirelessMAN 802.16 didasarkan pada kontribusi Erceq terhadap kelompok kerja IEEE 802.16 *Broadband Wireless Access*. Model ini dapat dilihat dalam Tabel 3.3. Model propagasi yang diusulkan mencakup tiga tipe *terrain* (dataran) : A, B dan C. Tipe A sebagai tipe propagasi dengan tingkat *path loss* tertinggi, digunakan untuk memprediksikan karakteristik propagasi pada lingkungan urban (kota). Tipe C sebagai tipe propagasi dengan tingkat *path loss* terendah, digunakan untuk memprediksikan karakteristik propagasi pada lingkungan rural (pedesaan). Dan tipe B sebagai tipe propagasi dengan tingkat *path loss* menengah, diasumsikan untuk memprediksikan karakteristik propagasi pada lingkungan suburban (pinggir kota).

Memberlakukan tipe-tipe dataran ini sebagai urban, suburban dan rural merupakan asumsi yang sesuai, akan tetapi pada kondisi di lapangan tiap kondisi lingkungan harus disesuaikan dengan karakteristiknya masing-masing. Sebagai contoh : sebagian daerah urban pada kota yang kecil dengan ketinggian gedung yang rendah dan hampir sama, memenuhi kriteria kondisi *path loss* menengah atau tipe B. [WiMAX Forum, 2005 : 4]

Model *path loss* pada IEEE 802.16a pada asalnya dibuat oleh Erceg (1999). Menurut model tersebut, rugi-rugi transmisi (*path loss*) pada suatu saluran adalah [Smura, 2004 : 45]:

$$L = L_{d_0} + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s \quad (3.2)$$

dimana :

L : Rugi saluran (dB)

L_{d_0} : referensi *free space path loss* (dB)

n : eksponen *path loss*

d : jarak transmisi (m)

d_0 : jarak referensi *free space* (m)

ΔL_f : koreksi frekuensi

ΔL_h : koreksi tinggi antenna penerima

s : komponen *shadow fading* (dB)

Penting untuk memilih jarak referensi *free space* d_0 yang sesuai dengan lingkungan propagasi. Pada sistem seluler dengan cakupan yang besar, biasanya menggunakan jarak referensi sebesar 1 km [Lee : 85], sedangkan pada sistem *microcellular*, biasanya menggunakan jarak referensi yang lebih kecil (seperti 100 m atau 1 m). Jarak referensi harus selalu pada medan jauh antenna sehingga efek medan dekat tidak merubah *path loss* referensi. Jarak referensi *free space* d_0 yang digunakan pada standard 802.16a adalah 100 m [Erceg, 2003 : 3]. *Path loss* referensi (L_{d_0}) adalah *free space path loss* pada jarak d_0 [Smura : 45], dihitung dengan menggunakan persamaan *free space path loss*:

$$L_{d_0} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (3.3)$$

L_{d_0} : free space path loss pada jarak d_0 (dB)

d_0 : jarak referensi *path loss* (m)

λ : panjang gelombang (m)

Nilai n tergantung spesifikasi lingkungan propagasi. Eksponen *path loss* (n) dihitung dengan persamaan:

$$n = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \quad (3.4)$$

a, b, c : konstanta (tergantung kondisi geografis pada Tabel 3.3)

h_b : tinggi antenna *base station*

Tabel 3.3 Model parameter 802.16 pada beberapa kondisi dataran (*terrain*)

Model Parameter	Terrain tipe A (Berbukit, pohon lebat)	Terrain tipe B (Menengah)	Terrain tipe C (datar, sedikit pohon)
<i>a</i>	4.6	4	3.6
<i>b</i>	0.0075	0.0065	0.005
<i>c</i>	12.6	17.1	20
<i>s</i> (dB)	10,6	9,6	8,2

[Sumber : *Thomas M. Wilis*, 2006 : 85]

ΔL_f : koreksi frekuensi

$$\Delta L_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \tag{3.5}$$

ΔL_h : koreksi tinggi antena *receiver*

$$\Delta L_h = -10,8 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right) \text{ untuk kondisi dataran A dan B,} \tag{3.6}$$

$$\Delta L_h = -20 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right) \text{ untuk kondisi dataran C.} \tag{3.7}$$

h : tinggi antena *receiver* (m)

s : komponen *shadow fading*

Pada saluran *Fixed Wireless Access* dengan transmisi *non-line-of-sight* (NLOS), ketidakpastian level sinyal berasal dari dua sebab utama. Yang pertama, lokasi *receiver* yang berbeda-beda. Sebagian *receiver* berlokasi dibelakang gedung tinggi atau pepohonan yang lebat, sementara sebagian lainnya memiliki lokasi yang lebih baik ke arah *base station*. Variabilitas dan ketidakpastian seperti ini dimodelkan dengan model *shadow fading*. Yang kedua, kondisi sinyal antara *base station* dengan *receiver* tertentu juga bervariasi berdasarkan waktu, dimana orang-orang dan kendaraan melintas dan pohon serta daun-daun bergerak dengan adanya angin. Variabilitas waktu ini dimodelkan dengan model *multipath fading*. *Shadow fading* mendeskripsikan variasi pada nilai rata-rata distribusi *multipath fading*.

Nilai *shadow fading* bervariasi antara 8,2 sampai 10,6 dB, tergantung dengan tipe dataran (*terrain*). [Smura, 2004 : 47]

3.6 Sensitivitas Penerima

Sensitivitas penerima adalah level daya RF minimum yang masih dapat diterima pada masukan *receiver*. Level daya RF ini merupakan ambang batas agar sinyal yang dikirimkan dapat dideteksi oleh *receiver*.

Tabel 3.4 Sensitivitas Penerima (S_R) Minimum IEEE 802.16a pada
Bandwidth Kanal 3,5 MHz

Modulasi	S_R (dBm)
QPSK 1/2	-87
QPSK 3/4	-85
16-QAM 1/2	-80
16-QAM 3/4	-78
64-QAM 1/2	-74
64-QAM 3/4	-72

[Sumber : IEEE Std 802.16a-2003, 2003 : 176]

Sedangkan level daya yang diterima harus memiliki nilai yang lebih besar daripada sensitivitas penerima. Besarnya daya yang diterima pada *receiver* karena adanya pengaruh redaman adalah [Onno W. Purbo, www.ilmukomputer.com]:

$$P_R = P_T - L_T + G_T - L + G_R - L_R \quad (3.8)$$

Dimana :

P_R : Daya terima (dBm)

P_T : Daya pancar (dBm)

G_T : Gain *transmitter* (dB)

G_R : Gain *receiver* (dB)

L_T : Rugi-rugi kabel di *transmitter* (dB)

L_R : Rugi-rugi kabel di *receiver* (dB)

3.7 System Operating Margin (SOM)

System Operating Margin adalah selisih dalam dB antara level sinyal yang diterima dengan level sinyal yang dibutuhkan (sensitivitas penerima) untuk menjamin sebuah paket data dapat didekodekan dengan tanpa error [Young, www.ydi.com].

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap *System Operating Margin* dapat dituliskan sebagai berikut [Young, www.ydi.com]:

$$SOM = P_R - S_R$$

Dimana :

SOM : *System Operating Margin* (dB)

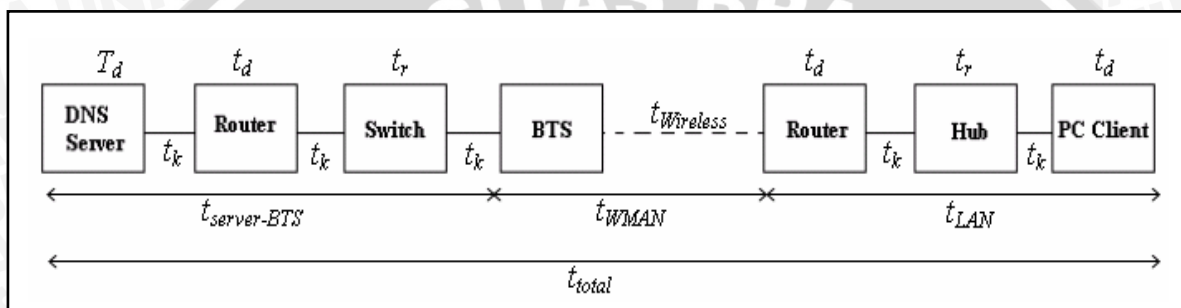
P_R : Daya terima (dBm)

S_R : Sensitivitas penerima (dBm)

Dan dianjurkan untuk menetapkan *System Operating Margin* minimal antara 10 sampai 15 dB untuk memberikan ruang aman (*safe space*) untuk *fading*, pantulan dan *multipath* pada sinyal radio [Onno W. Purbo, www.ilmukomputer.com].

3.8 Delay Time

Salah satu parameter peformansi jaringan data adalah besarnya *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Pertimbangan *delay* ini mempengaruhi penentuan dan unjuk kerja dari algoritma jaringan, seperti *routing* dan *flow control*. Sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.114, *delay* keseluruhan dalam jaringan yang menerapkan komunikasi suara tidak boleh melebihi 400 ms.



Gambar 3.7 Delay pada Jaringan *Broadband Fixed Wireless Access*

[Sumber : analisa]

Dalam jaringan berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay* yang terjadi dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya dari tiap *hop*.

$$t_{total} = t_{WMAN} + t_{LAN} + t_{server-BTS} \quad (3.10)$$

dengan :

t_{total} : Delay total (ms)

t_{WMAN} : Delay pada wireless MAN (ms)

t_{LAN} : Delay pada LAN (ms)

3.8.1 Delay pada *WirelessMAN*

Delay pada *wirelessMAN* adalah waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data dari *base station WirelessMAN* ke penerima di sisi subscriber. *Delay WirelessMAN* dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{WMAN} = t_{paket} + t_{prop} + t_w \quad (3.11)$$

dengan :

t_{paket} : delay paketisasi (ms)

t_{prop} : delay propagasi (ms)

t_w : delay antrian (ms)

3.8.1.a Delay Paketisasi

Delay paketisasi adalah banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk mempacketkan sebuah data agar dapat ditransmisikan. Delay paketisasi dirumuskan dengan:

$$t_{paket} = \frac{L_{paket}}{C} \quad (3.12)$$

dengan :

t_{paket} : delay paketisasi (ms)

L_{paket} : ukuran paket data 802.16a pada topologi *point-to-point*, yaitu 2051 byte atau 16408 bit (bit)

C : Kecepatan transmisi terminal pengirim (Mbps)

Kecepatan transmisi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (*IEEE Std 802.16a-2003*):

$$C = \frac{N_{used} \times b_m \times C_r}{T_s} \quad (3.13)$$

dengan :

N_{used} : jumlah *carrier* yang digunakan

B_m : jumlah bit per simbol modulasi (bit)

C_r : *code rate*

T_s : durasi simbol OFDM (s)

$$T_s = T_b + T_g \quad (3.14)$$

$$T_b = \frac{1}{\Delta f} \quad (3.15)$$

$$\Delta f = \frac{f_s}{N_{FFT}} \quad (3.16)$$

$$f_s = \left(\frac{f_s}{BW} \right) \cdot BW \quad (3.17)$$

dengan :

T_b : *useful time* pada simbol OFDM (s)

T_g : *guard (cyclic prefix) time* pada simbol OFDM (s)

Δf : carrier spacing (Hz)

N_{FFT} : jumlah point FFT (256 FFT)

f_s : frekuensi sampling (Hz)

BW : bandwidth kanal (Hz)

3.8.1.b Delay Propagasi Gelombang Radio

Delay propagasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radio untuk berpropagasi pada media transmisi. *Delay* propagasi gelombang radio antara *base station* dan antenna penerima adalah sebesar :

$$t_{prop} = \frac{d}{v} \quad (3.18)$$

dengan :

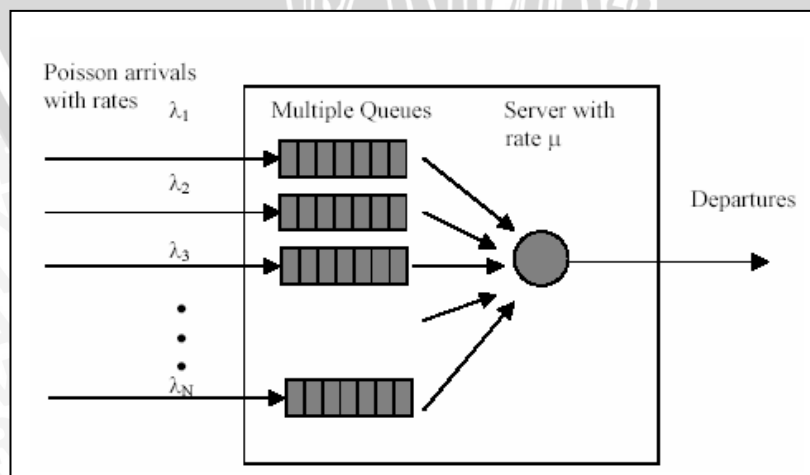
t_{prop} : waktu tunda propagasi (ms)

d : jarak *base station* dan antenna penerima (km)

v : kecepatan sinyal pada media *wireless*, yaitu $3 \cdot 10^8$ m/s

3.8.1.c Delay Antrian

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Model antrian yang digunakan adalah pada standard 802.16 adalah M/G/1 [Chandrasekaran, 2001 : 30], yang berarti proses kedatangan adalah acak (*Poisson*) dengan distribusi waktu layanan *general* dan jumlah server yang digunakan adalah 1. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO. Model antrian M/G/1 dapat dilihat dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Model antrian M/G/1
[Sumber : Chandrasekaran, 2001 : 31]

Parameter pada model antrian M/G/1 [Bertsekas, 1992 : 186]:

- Waktu pelayanan rata-rata:

$$\bar{X} = E\{X\} = \frac{1}{\mu} \quad (3.19)$$

- Momen kedua dari waktu pelayanan:

$$\overline{X^2} = E\{X^2\} = \frac{2}{\mu^2} \quad (3.20)$$

- Waktu tunggu dalam antrian:

$$W = \frac{\lambda \overline{X^2}}{2(1-\rho)} \quad (3.21)$$

- Faktor utilisasi:

$$\rho = \frac{\lambda_w}{\mu} = \lambda_w \bar{X} \quad (3.22)$$

- Kecepatan pelayanan pada BTS adalah :

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (3.23)$$

- Delay total pada antrian dan pelayanan adalah :

$$t_w = \bar{X} + W = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w \overline{X^2}}{2(1-\rho)} \quad (3.24)$$

Sehingga :

$$t_w = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)} \quad (3.25)$$

dengan :

t_w : waktu tunda antrian (ms)

\bar{X} : waktu rata-rata pelayanan server (ms)

C : kecepatan transmisi *wireless* (bps)

λ_w : kecepatan kedatangan (paket/s)

μ : kecepatan pelayanan (paket/detik)

ρ : faktor utilisasi sistem *wireless*

3.8.2 Delay pada LAN

Delay pada sisi LAN adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari router di sisi *subscriber* sampai ke user terminal. Delay time pada sisi *subscriber* (LAN) adalah:

$$t_{LAN} = 2t_d + 2t_k + t_r \quad (3.26)$$

dengan:

t_d : delay pada perangkat terminal (DTE), meliputi router dan PC-client (ms)

t_k : delay pada kabel, diasumsikan UTP 100 meter (ms)

t_r : delay pada switch (ms)

Tabel 3.5 Delay pada perangkat jaringan

Peralatan	Delay / Meter (bit time)	Delay Max (bit time)
Tx / Rx DTE	N/A	25
T4 DTE	N/A	34,5
UTP kategori 3	0,57	57 (100 m)
UTP kategori 4	0,57	57 (100 m)
UTP kategori 5	0,556	55,6 (100 m)
STP	0,556	55,6 (100 m)
Serat Optik	0,5	206 (412 m)
Repeater Kelas I	N/A	70
Repeater Kelas II	N/A	46
Repeater Kelas II T2/T4	N/A	35,5

[Sumber : Breyer & Railey, 1997: 86]

Dengan :

$$1 \text{ bit time} = \frac{1}{10} \mu\text{s} \quad (3.24)$$

3.8.3 Delay Server – BTS

Delay server – BTS adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari server sampai ke BTS. Delay time server – BTS adalah:

$$t_{\text{server-BTS}} = 2t_d + t_r + 3t_k \quad (3.25)$$

dengan:

t_d : delay pada perangkat terminal (DTE), meliputi router dan PC-client (ms)

t_k : delay pada kabel, diasumsikan menggunakan *fiber optic* (ms)

t_r : delay pada switch (ms)

3.9 Throughput

Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan benar terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke penerima, dalam analisis ini *throughput* yang dihitung adalah throughput

WirelessMAN (tanpa LAN) yaitu dari *base station* ke komputer *server* di sisi *subscriber*. *Throughput* juga dapat diartikan sebagai kecepatan maksimal jaringan saat tidak ada data yang hilang pada saat pentransmisian. Pengiriman data antara *client* dan *server* dengan menggunakan TCP akan berusaha secara seksama untuk dapat mengirimkan data dengan cara memeriksa kesalahan, mengirim data ulang (retransmisi) dan dengan mengirimkan *error* ke lapisan atasnya. Perencanaan *throughput* maksimal mungkin didapat dengan memperhatikan probabilitas paket yang diterima dalam keadaan salah (P).

Analisis *throughput* ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah paket/data maksimum yang dapat dikirimkan berdasarkan ukuran paket yang digunakan, BER dan jarak lintasan transmisi. Dalam proses ini *throughput* dari sistem dengan memperhatikan probabilitas paket diterima dalam keadaan salah (P) adalah [Schwartz, 1987:129] :

$$T = \frac{(1-P)}{t_1[1+(\alpha-1)P]} \quad (3.26)$$

dimana :

T : throughput pada sistem (paket/s)

P : probabilitas paket diterima dalam keadaan salah di penerima

α : konstanta propagasi

$$\alpha = \left(1 + \frac{t_{out}}{t_1}\right) \quad (3.27)$$

$$t_{out} = 2t_{prop} + 2t_1 \quad (3.28)$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{2t_{prop} + 2t_1}{t_1}\right) = \left(3 + \frac{2t_{prop}}{t_1}\right) \quad (3.29)$$

$$t_1 = \frac{L}{C_{kanal}} \quad (3.30)$$

t_1 : waktu transmisi sebuah paket data/frame (s)

$$P = LP_e \quad (3.31)$$

dengan :

L_{paket} : Ukuran paket data MAC pada 802.16 dengan topologi *point-to-multipoint*, yaitu 2051 byte atau 16408 bit (bit)

P_e : BER / probabilitas bit diterima dalam keadaan salah di *receiver* ($0 < p_b < 1$)

t_{out} : waktu yang diperlukan untuk menerima *ack* (detik)

3.10 Kecepatan Rata-rata Data Diterima

Untuk mendapatkan nilai data yang dinormalkan, dianggap pentransmisian pada suatu stasiun sebagai pengirim pada keadaan saturasi, mentransmisikan T paket/detik. Sehingga, nilai rata-rata data yang diterima pada stasiun yang lain adalah [Schwartz , 1987:132] :

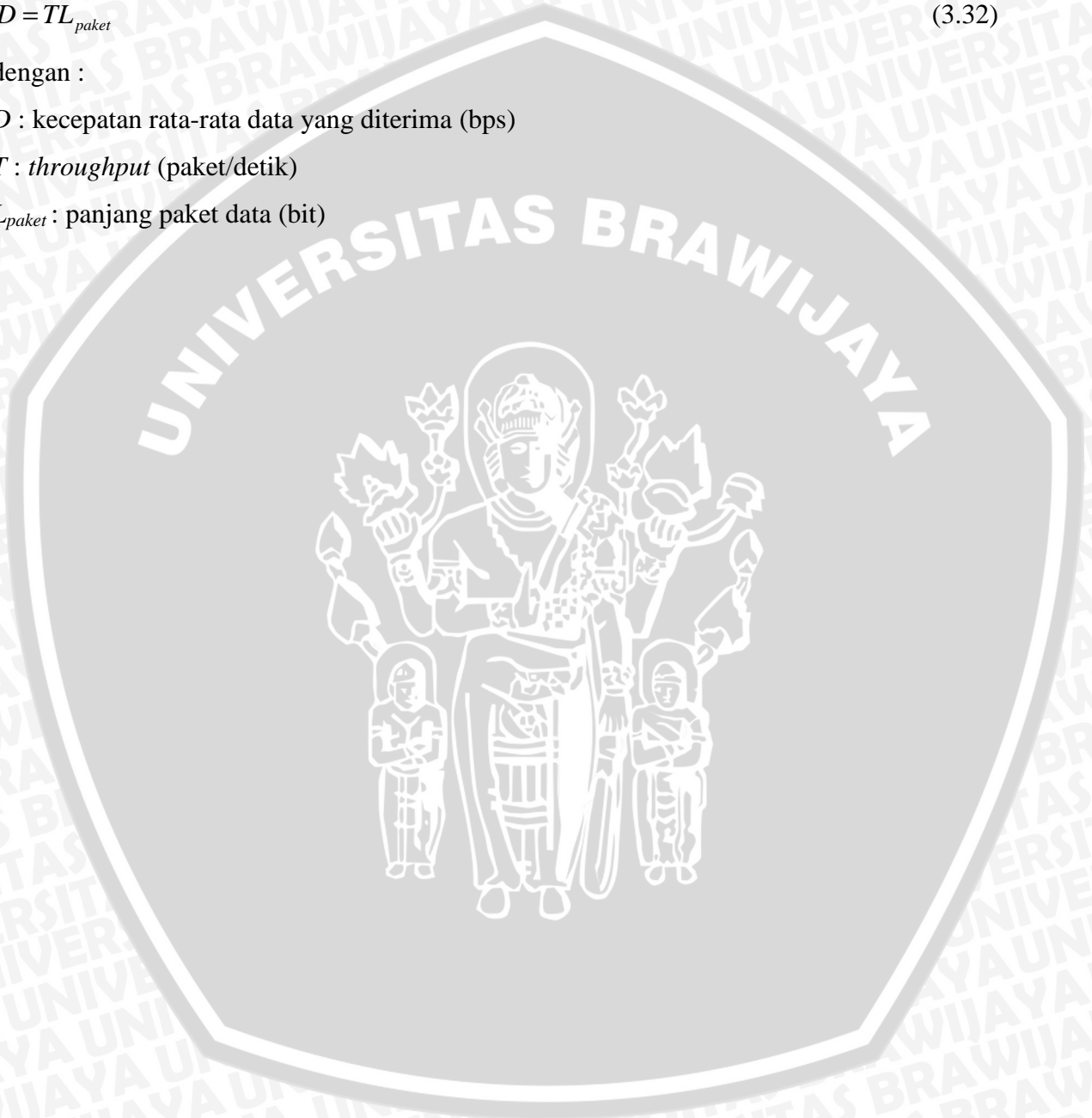
$$D = TL_{paket} \quad (3.32)$$

dengan :

D : kecepatan rata-rata data yang diterima (bps)

T : *throughput* (paket/detik)

L_{paket} : panjang paket data (bit)



BAB IV METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan rumusan masalah dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kajian pustaka yang meliputi literatur, buku-buku dan jurnal yang berkaitan dengan sistem jaringan Standard IEEE 802.16a dan penerapannya.
2. Pengumpulan data-data yang diperlukan untuk analisis permasalahan. Data-data yang diperlukan merupakan data-data sekunder dari berbagai literatur, buku-buku dan jurnal. Adapun data-data dan asumsi yang diperlukan dalam analisis permasalahan yaitu:
 - Band Frekuensi 3,5 GHz dengan bandwidth kanal 3,5 MHz, sebagaimana dalam profil yang sudah disertifikasi oleh Wimax Forum.
 - Ukuran paket data MAC pada 802.16 dengan topologi *point-to-multipoint*, yaitu 2051 byte atau 16408 bit [Redana, 2005 : 114].
 - Daya pemancar sebesar 30 dBm dan gain antenna pemancar serta penerima sebesar 17 dBi.
 - Sensitivitas *receiver* sebagaimana dalam Tabel 3.4 untuk *Bit Error rate* (BER) sebesar 10^{-6} [Std IEEE 802.16a-2003].
 - Tinggi antenna *base station* sebesar 80 m dan tinggi antenna *subscriber* sebesar 10 m.
3. Melakukan analisis dan perhitungan berdasarkan data-data dan asumsi yang diperoleh dan persamaan-persamaan yang diperoleh dari dasar teori. Analisis dan perhitungan yang dilakukan meliputi:
 - Perhitungan rugi-rugi transmisi (*path loss*) pada tipe dataran A, B dan C.
 - Perhitungan daya terima di penerima pada tipe dataran A, B dan C.
 - Perhitungan *System Operating Margin* (SOM).
 - Perhitungan jarak jangkau propagasi.
 - Perhitungan *delay time*.
 - Perhitungan *throughput* dan kecepatan rata-rata data yang dapat diterima.
4. Membuat kesimpulan dari hasil analisis untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibuat.

BAB V

**ANALISIS PERFORMANSI WIRELESSMAN STANDARD IEEE 802.16A
PADA BROADBAND FIXED WIRELESS ACCESS (BFWA)**

Pada bab V ini akan dilakukan analisis performansi WirelessMAN IEEE 802.16a ditinjau dari parameter *delay*, *throughput*. Analisis yang akan dilakukan didasarkan pada hasil perhitungan yang diperoleh dari persamaan-persamaan pada bab III.

Analisis dan perhitungan yang dilakukan mengacu pada data-data spesifikasi umum dari standard 802.16a yang didapat dari berbagai sumber literatur, buku dan jurnal serta beberapa data yang berupa asumsi yang didasarkan pada sumber literatur. Data-data yang akan digunakan dalam analisis ini adalah:

- Ukuran paket data MAC pada, yaitu 2051 byte atau 16408 bit.
- Kecepatan rambat sinyal pada media *wireless* sebesar 3×10^8 m/s.
- Spesifikasi sistem 802.16a yang digunakan dalam analisis :

Tabel 5.1 Data Spesifikasi Sistem 802.16a yang digunakan

Parameter	Besar / Nilai
<i>Band</i> Frekuensi	3.5 GHz
<i>Bandwidth</i> Kanal	3,5 MHz
Modulasi	256 FFT OFDM, QPSK / 16QAM / 64QAM
Daya Pancar Tx	30 dBm
Tinggi Antena BS	80 m
Tinggi Antena SS	10 m
<i>Gain</i> Antena Tx	17 dBi
<i>Gain</i> Antena Rx	17 dBi
BER	10^{-6}

[Sumber : Asumsi]

5.1 Perhitungan Rugi-rugi Saluran (*Path Loss*)

Model *path loss* pada IEEE 802.16a pada asalnya dibuat oleh Erceg (1999) berdasarkan studi empiris sistem radio pada daerah suburban di Amerika Serikat.

Model ini dipertimbangkan sesuai untuk daerah urban dan suburban pada negara berkembang.

Menurut model tersebut, rugi-rugi transmisi (*path loss*) pada suatu saluran adalah [Std 802.16a-2003 : 283]:

$$L = L_{d_0} + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s$$

dengan:

L : Rugi saluran (dB)

L_{d_0} : referensi *free space path loss* (dB)

n : eksponen *path loss*

d : jarak transmisi (m)

d_0 : jarak referensi *free space* (100 m)

ΔL_f : koreksi frekuensi

ΔL_h : koreksi tinggi antena penerima

s : komponen *shadow fading* (dB)

Dengan jarak referensi *free space* d_0 yang digunakan pada standard 802.16a adalah 100 m [IEEE 802.16a-03/01]. *Path loss* referensi (L_{d_0}) dihitung dengan menggunakan persamaan *free space path loss*:

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

dengan:

L_{fs} : *free space path loss* (dB)

f : frekuensi transmisi (MHz)

d_0 : jarak referensi *free space* (100 m)

λ : Panjang gelombang (m)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{3,5 \times 10^9} = 0,085714 \text{ m}$$

$$L_{d_0} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(100)}{0,085714} \right) = 83,33 \text{ dB}$$

Eksponen *path loss* (n) pada kondisi dataran berbukit dan berponon lebat dapat dihitung dengan persamaan:

$$n = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b}$$

dengan:

a, b, c : konstanta (tergantung kondisi geografis pada Tabel 5.2)

h_b : tinggi antenna *base station* (m)

Tabel 5.2 Model parameter 802.16 pada beberapa kondisi dataran (*terrain*)

Model Parameter	<i>Terrain</i> tipe A (Berbukit, pohon lebat)	<i>Terrain</i> tipe B (Menengah)	<i>Terrain</i> tipe C (datar, sedikit pohon)
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20
s (dB)	10,6	9,6	8,2

[Sumber : *Thomas M. Wilis*, 2006 : 85]

Nilai eksponen *path loss* pada kondisi dataran tipe A dengan asumsi ketinggian antenna *base station* sebesar 80 m dapat dihitung sebagai berikut:

$$n = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b}$$

$$n = 4,6 - 0,0075 \cdot 80 + \frac{12,6}{80}$$

$$n = 4,1575$$

Tabel 5.3 Nilai Eksponen *Path Loss* pada dengan $h_b = 80$ m.

	n
Tipe A	4,1575
Tipe B	3,69375
Tipe C	3,45

[Sumber : Perhitungan]

ΔL_f : koreksi frekuensi

$$\Delta L_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right)$$

$$\Delta L_f = 6 \log_{10} \left(\frac{3500}{2000} \right)$$

$$= 1,46 \text{ dB}$$

ΔL_h : koreksi tinggi antenna penerima

$$\Delta L_h = -10,8 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right) \text{ untuk kondisi dataran A dan B,}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_h &= -10,8 \log_{10} \left(\frac{10}{2} \right) \\ &= -7,55 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\Delta L_h = -20 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right) \text{ untuk kondisi dataran C}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_h &= -20 \log_{10} \left(\frac{10}{2} \right) \\ &= -13,98 \text{ dB} \end{aligned}$$

h : tinggi antenna penerima (m)

Tabel 5.4 Nilai ΔL_f dan ΔL_h Dengan Ketinggian Antena Penerima 10 m

	ΔL_f	ΔL_h
Type A	1,460	-7,55
Type B	1,460	-7,55
Type C	1,460	-13,98

[Sumber : Perhitungan]

Nilai rugi-rugi saluran pada kondisi dataran tipe A dengan ketinggian antenna *base station* (h_b) 80 m pada jarak (d) 1 km dapat dihitung dengan persamaan (3.2) sebagai berikut:

$$L = L_{d_0} + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s$$

$$L = 83,33 + 10(4,1575) \log_{10} \left(\frac{1000}{100} \right) + 1,46 + -7,75 + 10,6$$

$$= 83,33 + 41,575 + 1,46 - 7,55 + 10,6 = 129,41 \text{ dB}$$

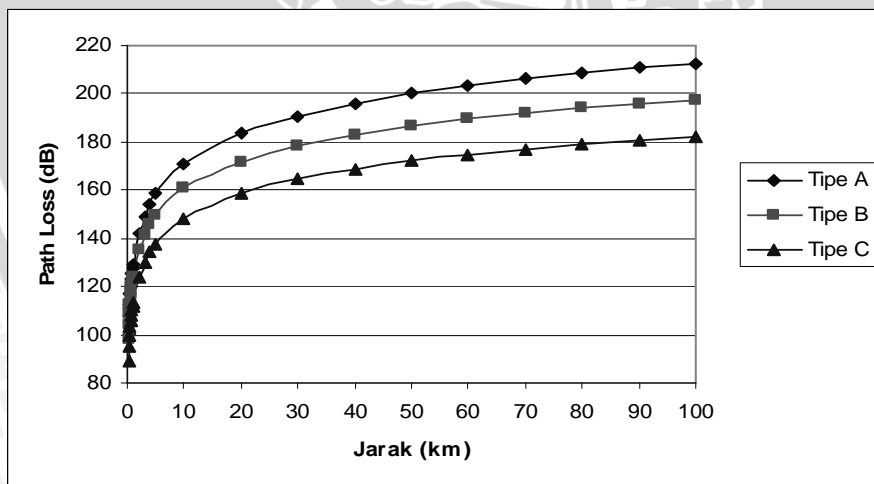
Dengan menggunakan cara yang sama, besar rugi-rugi saluran (L) pada kondisi dataran lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Rugi-rugi saluran (L) pada *terrain* A, B dan C

No	Jarak	L (dB)		
		Type A	Type B	Type C
1	200 m	100,35	97,95	89,39

2	300 m	107,67	104,45	95,46
3	400 m	112,86	109,07	99,77
4	500 m	116,89	112,65	103,11
5	600 m	120,18	115,57	105,85
6	700 m	122,96	118,05	108,16
7	800 m	125,38	120,19	110,16
8	900 m	127,50	122,08	111,92
9	1 km	129,41	123,77	113,50
10	2 km	141,92	134,89	123,89
11	3 km	149,24	141,39	129,96
12	4 km	154,44	146,01	134,27
13	5 km	158,46	149,59	137,61
14	10 km	170,98	160,71	148,00
15	20 km	183,50	171,82	158,39
16	30 km	190,82	178,33	164,46
17	40 km	196,01	182,94	168,77
18	50 km	200,04	186,52	172,11
19	60 km	203,33	189,45	174,85
20	70 km	206,11	191,92	177,16
21	80 km	208,53	194,06	179,16
22	90 km	210,65	195,95	180,92
23	100 km	212,56	197,64	182,50

[Sumber : Perhitungan]



Grafik 5.1 Rugi-rugi saluran (*path loss*)

[Sumber : perhitungan]

Dari hasil perhitungan dan grafik di atas memperlihatkan bahwa semakin jauh jarak propagasi maka rugi-rugi saluran akan semakin besar. Dan semakin tinggi antena *base station* dan antena penerima maka rugi-rugi saluran akan lebih kecil.

5.2 Perhitungan Daya Terima di Receiver

Berdasarkan hasil perhitungan rugi-rugi saluran dan dengan asumsi daya pancar sebesar 30 dBm, Gain transmitter dan penerima sebesar 17 dBi, dan rugi-rugi kabel pada transmitter dan receiver masing-masing sebesar 1 dB, maka besarnya daya yang diterima pada receiver karena adanya pengaruh redaman dapat dihitung dengan persamaan (3.8):

$$P_R = P_T - L_T + G_T - L + G_R - L_R$$

Dimana :

P_R : Daya terima (dBm)

P_T : Daya pancar (dBm)

G_T : Gain transmitter (dB)

G_R : Gain receiver (dB)

L_T : Rugi-rugi kabel di transmitter (dB)

L_R : Rugi-rugi kabel di receiver (dB)

Dengan persamaan (3.8), daya terima di receiver pada jarak propagasi 1 km pada kondisi dataran tipe A dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_R = 30 \text{ dBm} - 1\text{dB} + 17 \text{ dBi} - 129,41 \text{ dB} + 17 \text{ dBi} - 1 \text{ dB}$$

$$P_R = -67,41 \text{ dBm}$$

Dari data rugi-rugi saluran yang didapat pada Tabel 5.5 diperoleh perhitungan daya terima di receiver pada kondisi dataran tipe A sebagaimana pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Daya yang Diterima di Receiver

No	Jarak	P_R (dBm)		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C
1	200 m	-38,35	-35,95	-27,39
2	300 m	-45,67	-42,45	-33,46
3	400 m	-50,86	-47,07	-37,77
4	500 m	-54,89	-50,65	-41,11
5	600 m	-58,18	-53,57	-43,85
6	700 m	-60,96	-56,05	-46,16
7	800 m	-63,38	-58,19	-48,16
8	900 m	-65,50	-60,08	-49,92
9	1 km	-67,41	-61,77	-51,50
10	2 km	-79,92	-72,89	-61,89
11	3 km	-87,24	-79,39	-67,96

12	4 km	-92,44	-84,01	-72,27
13	5 km	-96,46	-87,59	-75,61
14	10 km	-108,98	-98,71	-86,00
15	20 km	-121,50	-109,82	-96,39
16	30 km	-128,82	-116,33	-102,46
17	40 km	-134,01	-120,94	-106,77
18	50 km	-138,04	-124,52	-110,11
19	60 km	-141,33	-127,45	-112,85
20	70 km	-144,11	-129,92	-115,16
21	80 km	-146,53	-132,06	-117,16
22	90 km	-148,65	-133,95	-118,92
23	100 km	-150,56	-135,64	-120,50

[Sumber : Perhitungan]

5.3 Perhitungan System Operating Margin (SOM)

System Operating Margin adalah selisih dalam dB antara level sinyal yang diterima dengan level sinyal yang dibutuhkan (sensitivitas penerima) untuk menjamin sebuah paket data dapat didekodekan dengan tanpa error [Young, www.ydi.com].

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap *System Operating Margin* dapat dituliskan sebagai berikut [Young, www.ydi.com]:

$$SOM = P_R - S_R$$

Dimana :

SOM : *System Operating Margin* (dB)

P_R : Daya terima (dBm)

S_R : Sensitivitas penerimaan (dBm)

Besar sensitivitas penerima minimum pada IEEE 802.16a dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Sensitivitas Penerima pada *Bandwidth* Kanal 3,5 MHz

Modulasi	Sensitivitas Penerima (dBm)
QPSK 1/2	-87
QPSK 3/4	-85
16-QAM 1/2	-80
16-QAM 3/4	-78
64-QAM 1/2	-74

[Sumber : *IEEE Std 802.16a-2003*]

Besarnya jarak maksimal (d_{maks}) dimana penerima masih dapat menerima paket data dengan baik dapat dihitung pada nilai *System Operating Margin* = 10 dB sampai dengan 15 dB [Onno W. Purbo, www.ilmukomputer.com]. Dalam skripsi ini diasumsikan SOM yang digunakan adalah sebesar 10 dB, sehingga jarak lintasan propagasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_R - S_R = 10 \text{ dB}$$

$$P_R = S_R + 10 \text{ dB}$$

$$P_R = P_T - L_T + G_T - L + G_R - L_R$$

$$L = P_T - L_T + G_T + G_R - L_R - P_R$$

$$L = P_T - L_T + G_T + G_R - L_R - (S_R + 10)$$

$$L = L_{d_0} + 10n \log_{10} \left(\frac{d_{maks}}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s$$

$$10n \log_{10} \left(\frac{d_{maks}}{d_0} \right) = L - L_{d_0} - \Delta L_f - \Delta L_h - s$$

$$d_{maks} = d_0 \times 10^{\left(\frac{L - L_{d_0} - \Delta L_f - \Delta L_h - s}{10n} \right)} \text{ m}$$

Dengan :

P_R : Daya terima (dBm)

S_R : Sensitivitas penerimaan (dBm)

P_T : Daya pancar (dBm)

G_T : Gain transmitter (dB)

G_R : Gain receiver (dB)

L_T : Rugi-rugi kabel di transmitter (dB)

L_R : Rugi-rugi kabel di receiver (dB)

d_{maks} : jarak lintasan propagasi terjauh (m)

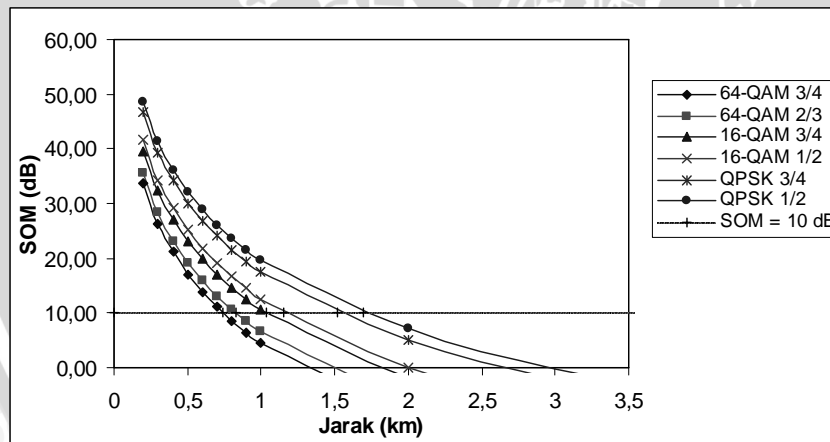
5.3.1 Perhitungan *System Operating Margin* Pada Kondisi Dataran Tipe A

Berdasarkan hasil perhitungan daya terima di receiver pada Tabel 5.6 nilai *System Operating Margin* pada kondisi dataran tipe A dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil perhitungan *System Operating Margin* pada kondisi dataran tipe A

No	Jarak	SOM (dB)					
		64-QAM 3/4	64-QAM 2/3	16-QAM 3/4	16-QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2
1	200 m	33,65	35,65	39,65	41,65	46,65	48,65
2	300 m	26,33	28,33	32,33	34,33	39,33	41,33
3	400 m	21,14	23,14	27,14	29,14	34,14	36,14
4	500 m	17,11	19,11	23,11	25,11	30,11	32,11
5	600 m	13,82	15,82	19,82	21,82	26,82	28,82
6	700 m	11,04	13,04	17,04	19,04	24,04	26,04
7	800 m	8,62	10,62	14,62	16,62	21,62	23,62
8	900 m	6,50	8,50	12,50	14,50	19,50	21,50
9	1 km	4,60	6,60	10,60	12,60	17,60	19,60
10	2 km	-7,92	-5,92	-1,92	0,08	5,08	7,08
11	3 km	-15,24	-13,24	-9,24	-7,24	-2,24	-0,24
d_{maks} (m)		741,028	827,829	1.033,123	1.154,138	1.522,378	1.700,702

[Sumber : Perhitungan]



Grafik 5.2 *System Operating Margin* pada kondisi dataran tipe A

[Sumber : Perhitungan]

Dari perhitungan di atas dapat dianalisis bahwa jarak maksimal yang dapat dicapai pada kondisi dataran tipe A adalah pada jarak $\pm 1,7$ km.

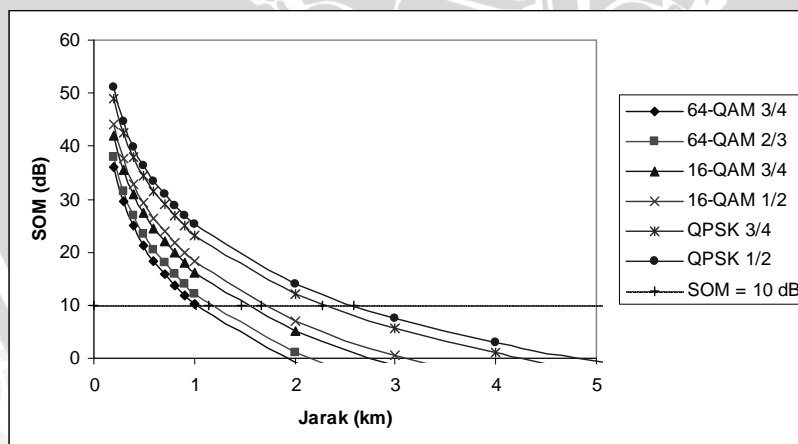
5.3.2 Perhitungan *System Operating Margin* Pada Kondisi Dataran Tipe B

Berdasarkan hasil perhitungan daya terima di *receiver* pada Tabel 5.6 nilai *System Operating Margin* pada kondisi dataran tipe B dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil perhitungan *System Operating Margin* pada kondisi dataran tipe B.

No	Jarak	SOM (dB)					
		64-QAM 3/4	64-QAM 2/3	16-QAM 3/4	16-QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2
1	200 m	36,05	38,05	42,05	44,05	49,05	51,05
2	300 m	29,55	31,55	35,55	37,55	42,55	44,55
3	400 m	24,93	26,93	30,93	32,93	37,93	39,93
4	500 m	21,35	23,35	27,35	29,35	34,35	36,35
5	600 m	18,43	20,43	24,43	26,43	31,43	33,43
6	700 m	15,95	17,95	21,95	23,95	28,95	30,95
7	800 m	13,81	15,81	19,81	21,81	26,81	28,81
8	900 m	11,92	13,92	17,92	19,92	24,92	26,92
9	1 km	10,23	12,23	16,23	18,23	23,23	25,23
10	2 km	-0,89	1,11	5,11	7,11	12,11	14,11
11	3 km	-7,39	-5,39	-1,39	0,61	5,61	7,61
12	4 km	-12,01	-10,01	-6,01	-4,01	0,99	2,99
13	5 km	-15,59	-13,59	-9,59	-7,59	-2,59	-0,59
d_{maks} (m)		1.014,180	1.148,842	1.474,183	1.669,925	2.280,661	2.583,487

[Sumber : Perhitungan]



Grafik 5.3 System Operating Margin pada kondisi dataran tipe B

[Sumber : Perhitungan]

Dari perhitungan di atas dapat dianalisis bahwa jarak maksimal yang dapat dicapai pada kondisi dataran tipe B adalah pada jarak $\pm 2,58$ km.

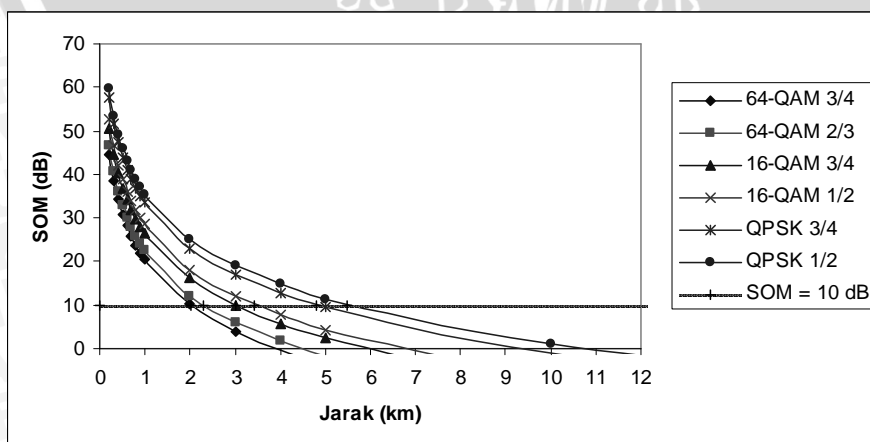
5.3.3 Perhitungan System Operating Margin Pada Kondisi Dataran Tipe C

Berdasarkan hasil perhitungan daya terima di receiver pada Tabel 5.6 nilai System Operating Margin pada kondisi dataran tipe C dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil perhitungan System Operating Margin pada kondisi dataran tipe C.

No	Jarak	SOM (dB)					
		64-QAM 3/4	64-QAM 2/3	16-QAM 3/4	16-QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2
1	200 m	44,61	46,61	50,61	52,61	57,61	59,61
2	300 m	38,54	40,54	44,54	46,54	51,54	53,54
3	400 m	34,23	36,23	40,23	42,23	47,23	49,23
4	500 m	30,89	32,89	36,89	38,89	43,89	45,89
5	600 m	28,15	30,15	34,15	36,15	41,15	43,15
6	700 m	25,84	27,84	31,84	33,84	38,84	40,84
7	800 m	23,84	25,84	29,84	31,84	36,84	38,84
8	900 m	22,08	24,08	28,08	30,08	35,08	37,08
9	1 km	20,50	22,50	26,50	28,50	33,50	35,50
10	2 km	10,11	12,11	16,11	18,11	23,11	25,11
11	3 km	4,04	6,04	10,04	12,04	17,04	19,04
12	4 km	-0,27	1,73	5,73	7,73	12,73	14,73
13	5 km	-3,61	-1,61	2,39	4,39	9,39	11,39
14	10 km	-14,00	-12,00	-8,00	-6,00	-1,00	1,00
15	20 km	-24,39	-22,39	-18,39	-16,39	-11,39	-9,39
d_{maks} (m)		2.014,446	2.302,113	3.006,552	3.435,894	4.796,973	5.481,991

[Sumber : Perhitungan]



Grafik 5.4 System Operating Margin pada kondisi dataran tipe C

[Sumber : Perhitungan]

Dari perhitungan di atas dapat dianalisis bahwa jarak maksimal yang dapat dicapai pada kondisi dataran tipe C adalah pada jarak $\pm 5,48$ km.

5.4 Perhitungan Delay Time

Perhitungan delay time dilakukan berdasarkan konfigurasi jaringan dan beberapa parameter lainnya seperti : ukuran paket data, jarak media transmisi, kecepatan sinyal, dan kapasitas kanal.

Dalam jaringan berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay* yang terjadi dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya dari tiap *hop*.

5.4.1 Delay pada WirelessMAN

Delay pada *wirelessMAN* adalah waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data dari *base station WirelessMAN* ke penerima di sisi subscriber. *Delay* WirelessMAN dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{WMAN} = t_{paket} + t_{prop} + t_w$$

t_{paket} : delay paketisasi (ms)

t_{prop} : waktu tunda propagasi (ms)

t_w : waktu tunda antrian (ms)

5.4.1.a Delay Paketisasi

Delay paketisasi adalah banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk mempaketkan sebuah data agar dapat ditransmisikan. *Delay* paketisasi dirumuskan dengan:

$$t_{paket} = \frac{L_{paket}}{C} \tag{3.12}$$

dengan :

t_{paket} : *delay* paketisasi (ms)

L_{paket} : ukuran paket data 802.16a, yaitu 2051 byte atau 16408 bit

C : kecepatan transmisi (Mbps)

Kecepatan transmisi dapat dihitung dengan persamaan :

$$C = \frac{N_{used} \times b_m \times C_r}{T_s}$$

dengan :

N_{used} : jumlah *carrier* yang digunakan (200)

B_m : jumlah bit per simbol modulasi (bit)

C_r : *code rate*

T_s : durasi simbol OFDM (s)

$$T_s = T_b + T_g$$

$$T_b = \frac{1}{\Delta f}$$

$$\Delta f = \frac{f_s}{N_{FFT}}$$

$$f_s = \left(\frac{f_s}{BW} \right) \cdot BW$$

$$f_s = \left(\frac{8}{7} \right) \cdot 3,5 \times 10^6$$

$$f_s = 4 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = \frac{4 \times 10^6}{256} = 1,5625 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$T_b = \frac{1}{1,5625 \times 10^4} = 6,4 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$T_b = 64 \text{ } \mu\text{s}$$

Pada $T_g/T_b = 1/32$, didapatkan :

$$T_g = \left(\frac{1}{32} \right) \cdot 6,4 \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$T_g = 2 \text{ } \mu\text{s}$$

$$T_s = 64 + 2 = 66 \text{ } \mu\text{s}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung nilai T_g , T_b dan T_s lainnya sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Nilai T_b , T_g dan T_s

T_g/T_b	T_b (μs)	T_g (μs)	T_s (μs)
1/32	64	2	66
1/16	64	4	68

1/8	64	8	72
1/4	64	16	80

[Sumber : Perhitungan]

Berdasarkan hasil perhitungan durasi simbol pada Tabel 5.11, maka kecepatan transmisi (C) pada skema modulasi 64-QAM 3/4 dengan $T_g/T_b = 1/32$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$C = \frac{200 \times 6 \times \left(\frac{3}{4}\right)}{66 \times 10^{-6}}$$

$$C = 13,636 \times 10^6 \text{ bps}$$

$$C = 13,636 \text{ Mbps}$$

Dengan cara yang sama, nilai kecepatan transmisi lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil perhitungan kecepatan transmisi

T_g/T_b	C (Mbps)					
	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
1/32	3,030	4,545	6,061	9,091	12,121	13,636
1/16	2,941	4,412	5,882	8,824	11,765	13,235
1/8	2,778	4,167	5,556	8,333	11,111	12,500
1/4	2,500	3,750	5,000	7,500	10,000	11,250

[Sumber : Perhitungan]

Berdasarkan data-data hasil perhitungan pada Tabel 5.12, maka *delay* paketisasi pada skema modulasi 64 QAM 3/4 dengan $T_g/T_b = 1/32$ dapat dihitung sebagai berikut :

$$t_{\text{paket}} = \frac{16408}{13,636 \times 10^6}$$

$$t_{\text{paket}} = 1,203 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$t_{\text{paket}} = 1,203 \text{ ms}$$

Dengan cara yang sama, lama *delay* paket lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Hasil perhitungan *delay* paketisasi

T_g/T_b	t_{paket} (ms)					
	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
1/32	5,415	3,610	2,707	1,805	1,354	1,203
1/16	5,579	3,719	2,789	1,860	1,395	1,240
1/8	5,907	3,938	2,953	1,969	1,477	1,313
1/4	6,563	4,375	3,282	2,188	1,641	1,458

[Sumber : perhitungan]

5.4.1.b Delay Propagasi Gelombang Radio

Delay propagasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radio untuk berpropagasi pada media transmisi. *Delay* propagasi gelombang radio antara *base station* dan antena penerima adalah sebesar :

$$t_{prop} = \frac{d}{v}$$

Dalam analisis ini untuk mengetahui besar *delay* propagasi terjauh pada masing-masing kondisi, besarnya d yang digunakan adalah d_{maks} . Sehingga :

$$t_{prop} = \frac{d_{maks}}{v}$$

Berdasarkan pada Tabel 5.8, jarak propagasi terjauh pada kondisi dataran tipe A, d_{maks} dengan skema modulasi 64-QAM 3/4 adalah sejauh 741,028 m. Maka besar *delay* propagasi pada jarak propagasi tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_{prop} = \frac{741,028}{3 \times 10^8}$$

$$t_{prop} = 2,47 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{prop} = 2,47 \times 10^{-3} \text{ ms}$$

Besar *delay* propagasi terjauh pada skema modulasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil perhitungan *delay* Propagasi terjauh pada tiap skema modulasi.

No.	Modulasi	t_{prop} (ms)		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C
1	QPSK 1/2	5,669E-03	8,612E-03	1,827E-02
2	QPSK 3/4	5,075E-03	7,602E-03	1,599E-02
3	16-QAM 1/2	3,847E-03	5,566E-03	1,145E-02

4	16-QAM 3/4	3,444E-03	4,914E-03	1,002E-02
5	64-QAM 1/2	2,759E-03	3,829E-03	7,674E-03
6	64-QAM 3/4	2,470E-03	3,381E-03	6,715E-03

[Sumber : perhitungan]

5.4.1.c Delay Antrian

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Dengan ρ adalah tingkat utilisasi sistem sebesar 0,9 sehingga delay pada BTS dengan model antrian M/G/1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.25):

$$t_w = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)}$$

dengan :

t_w : delay antrian (ms)

λ_w : kecepatan kedatangan (paket/s)

μ : kecepatan pelayanan (paket/s)

ρ : tingkat utilisasi sistem *wireless*

Kecepatan pelayanan pada BTS adalah :

$$\mu = \frac{C}{L_{paket}}$$

Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan transmisi pada Tabel 5.12, maka kecepatan pelayanan pada modulasi 64 QAM 3/4 dengan $T_g/T_b = 1/32$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\mu = \frac{13,636 \times 10^6}{16408}$$

$$\mu = 831,080 \text{ paket/s}$$

kecepatan kedatangan paket pada BTS adalah :

$$\lambda_w = \mu \times \rho$$

$$\lambda_w = 831,080 \times 0,9 = 747,972 \text{ paket/s}$$

Sehingga :

$$t_w = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)}$$

$$t_w = \frac{1}{831,080} + \frac{747,972}{(831,080)^2 \times (1-0,9)}$$

$$t_w = 1,203 \times 10^{-2} \text{ s}$$

$$t_w = 12,033 \text{ ms}$$

Dengan cara yang sama, *delay* antrian lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil perhitungan *delay* antrian

T_g/T_b	t_w (ms)					
	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
1/32	54,146	36,098	27,073	18,049	13,537	12,033
1/16	55,787	37,191	27,894	18,596	13,947	12,397
1/8	59,069	39,379	29,534	19,690	14,767	13,126
1/4	65,632	43,755	32,816	21,877	16,408	14,585

[Sumber : perhitungan]

Besar *delay* pada WirelessMAN dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{WMAN} = t_{paket} + t_{prop} + t_w$$

Dengan:

t_{paket} : *delay* paketisasi (ms)

t_{prop} : *delay* propagasi (ms)

t_w : *delay* antrian (ms)

Sehingga t_{WMAN} pada masing-masing kondisi dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil perhitungan *delay* pada WirelessMAN

<i>Terrain</i>	T_g/T_b	t_{WMAN} (ms)					
		QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
A	1/32	59,567	39,712	29,784	19,857	14,893	13,238
	1/16	61,372	40,916	30,687	20,459	15,344	13,639
	1/8	64,981	43,322	32,492	21,662	16,247	14,442
	1/4	72,201	48,135	36,101	24,069	18,052	16,046
B	1/32	59,570	39,715	29,786	19,859	14,894	13,239
	1/16	61,375	40,918	30,689	20,460	15,345	13,640
	1/8	64,984	43,325	32,488	21,663	16,248	14,442
	1/4	72,204	48,138	36,103	24,070	18,053	16,047
C	1/32	59,579	39,723	29,792	19,864	14,898	13,243
	1/16	61,384	40,927	30,694	20,465	15,349	13,644
	1/8	64,994	43,333	32,499	21,669	16,252	14,446
	1/4	72,213	48,146	36,109	24,075	18,056	16,050

[Sumber : perhitungan]

5.4.2 Delay pada LAN

Delay pada sisi LAN adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari router di sisi subscriber sampai ke user terminal. *Delay time* pada sisi subscriber (LAN) adalah:

$$\begin{aligned}t_{LAN} &= 2t_d + 2t_k + t_r \\ &= 2(0,25 \mu s) + 2(0,57 \mu s) + 0,25 \mu s \\ &= 1,89 \mu s \\ &= 1,89 \times 10^{-3} \text{ ms}\end{aligned}$$

dengan:

t_d : delay pada perangkat terminal (DTE), meliputi router dan PC-client (ms)

t_k : delay pada kabel, diasumsikan UTP 100 meter (ms)

t_r : delay pada switch (ms)

5.4.3 Delay Server – BTS

Delay server – BTS adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari server sampai ke BTS. Delay server-BTS ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.25) dan nilai *delay* pada perangkat jaringan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

$$\begin{aligned}t_{server-BTS} &= 2t_d + t_r + 3t_k \\ t_{server-BTS} &= 2(0,25 \mu s) + (0,25 \mu s) + 3(0,5 \mu s) \\ &= 2,25 \mu s \\ &= 2,25 \times 10^{-3} \text{ ms}\end{aligned}$$

dengan:

t_d : delay pada perangkat terminal (DTE), meliputi router dan PC-client (ms)

t_k : delay pada kabel, diasumsikan menggunakan *fiber optic* 100 m (ms)

t_r : delay pada switch (ms)

5.4.4 Delay Total

Berdasarkan hasil perhitungan *delay* pada WirelessMAN, LAN dan *server-BTS*, *delay* total dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.10).

$$\begin{aligned}t_{total} &= t_{WMAN} + t_{LAN} + t_{server-BTS} \\ t_{total} &: \text{delay total (ms)} \\ t_{WMAN} &: \text{delay pada wireless MAN (ms)} \\ t_{LAN} &: \text{delay pada LAN (ms)}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan *delay* total dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hasil perhitungan *delay* total

<i>Terrain</i>	T_g/T_b	t_{total} (ms)					
		QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
A	1/32	59,571	39,717	29,789	19,861	14,897	13,242
	1/16	61,376	40,920	30,691	20,463	15,348	13,643
	1/8	64,985	43,326	32,496	21,666	16,251	14,446
	1/4	72,205	48,139	36,106	24,073	18,056	16,050
B	1/32	59,574	39,719	29,790	19,863	14,898	13,243
	1/16	61,379	40,922	30,693	20,464	15,349	13,644
	1/8	64,988	43,329	32,492	21,668	16,252	14,447
	1/4	72,208	48,142	36,107	24,074	18,057	16,051
C	1/32	59,583	39,727	29,796	19,868	14,902	13,247
	1/16	61,388	40,931	30,699	20,469	15,353	13,648
	1/8	64,998	43,337	32,503	21,673	16,256	14,450
	1/4	72,218	48,150	36,113	24,079	18,061	16,054

[Sumber : perhitungan]

5.5 Throughput

Analisis *throughput* ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah paket/data maksimum yang dapat dikirimkan berdasarkan ukuran paket yang digunakan, BER dan jarak lintasan transmisi. *Throughput* pada ARQ dapat dihitung dengan persamaan [Schwartz,1987:132]:

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

dimana :

T : *throughput* pada sistem (paket/s)

P : probabilitas paket diterima dalam keadaan salah di penerima

α : konstanta propagasi

t_1 : waktu transmisi sebuah paket data/frame (s)

t_{out} : waktu yang diperlukan untuk menerima Ack (detik)

$$P = L_{paket} \cdot P_e$$

dengan :

L_{paket} : ukuran paket data 802.16a, yaitu 2051 byte atau 16408 bit

P_e : BER / probabilitas bit diterima dalam keadaan salah di *receiver* ($0 < P_e < 1$)

Konstanta α dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\alpha = \left(1 + \frac{t_{out}}{t_I} \right)$$

$$t_{out} = 2t_{prop} + 2t_I$$

Sehingga :

$$\alpha = \left(1 + \frac{2t_{prop} + 2t_I}{t_I} \right) = \left(3 + \frac{2t_{prop}}{t_I} \right)$$

dengan

$$t_I = \frac{L_{paket}}{C}$$

Waktu transmisi paket data (t_I) pada 64 QAM 3/4 dengan $T_g/T_b = 1/32$ dapat dihitung sebagai berikut :

$$t_I = \frac{16408}{13,636 \times 10^6}$$

$$t_I = 1,203 \text{ ms}$$

Sehingga konstanta propagasi pada kondisi dataran A dapat dihitung sebagai berikut:

$$\alpha = \left(3 + \frac{2 \times 2,47 \times 10^{-3}}{1,203 \times 10^{-3}} \right) = 3,004$$

$$P = 16408 \times 10^{-6} = 16,408 \times 10^{-3}$$

Maka nilai *throughput* dapat dihitung :

$$T = \frac{(1 - 16,408 \times 10^{-3})}{1,203 \times 10^{-3} [1 + (3,004 - 1)16,408 \times 10^{-3}]}$$

$$T = 791,419 \text{ paket/s}$$

Dengan cara yang sama, nilai *throughput* pada kondisi lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hasil perhitungan *Throughput*

Terrain	T_g/T_b	<i>Throughput</i> (Paket/s)					
		QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
A	1/32	175,877	263,812	351,749	527,615	703,484	791,419
	1/16	170,704	256,053	341,404	512,098	682,795	768,144
	1/8	161,221	241,828	322,438	483,650	644,864	725,472
	1/4	145,099	217,646	290,195	435,287	580,381	652,928

B	1/32	175,874	263,806	351,742	527,602	703,466	791,400
	1/16	170,701	256,047	341,397	512,085	682,778	768,126
	1/8	161,218	241,824	322,432	483,638	644,849	725,456
	1/4	145,097	217,642	290,190	435,278	580,369	652,915
C	1/32	175,864	263,787	351,718	527,554	703,403	791,331
	1/16	170,692	256,029	341,374	512,041	682,718	768,060
	1/8	161,210	241,525	322,411	483,598	644,796	725,397
	1/4	145,090	217,629	290,174	435,246	580,326	652,868

[Sumber : perhitungan]

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5.18 dapat dianalisis bahwa nilai *throughput* dipengaruhi oleh skema modulasi yang digunakan, nilai durasi simbol dan jarak propagasi. Nilai *throughput* terbesar adalah dengan menggunakan skema modulasi 64 QAM 3/4 dengan durasi simbol terpendek ($T_g/T_b = 1/32$) yaitu sebesar 791,419 paket/s.

5.6 Kecepatan Rata-rata Data Diterima

Berdasarkan hasil perhitungan *throughput* pada Tabel 5.18, kecepatan rata-rata data yang diterima (D) pada skema modulasi 64 QAM dengan $T_g/T_b = 1/32$ pada kondisi dataran A dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$D = 791,419 \times 16408$$

$$D = 9,497 \text{ Mbps}$$

Hasil perhitungan kecepatan rata-rata data yang diterima pada kondisi lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Kecepatan rata-rata data yang diterima

Terrain	T_g/T_b	D (Mbps)					
		QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
A	1/32	2,111	3,166	4,221	6,331	8,442	9,497
	1/16	2,048	3,073	4,097	6,145	8,194	9,218
	1/8	1,935	2,902	3,869	5,804	7,738	8,706
	1/4	1,741	2,612	3,482	5,223	6,965	7,835
B	1/32	2,110	3,166	4,221	6,331	8,442	9,497
	1/16	2,048	3,073	4,097	6,145	8,193	9,218
	1/8	1,935	2,902	3,869	5,804	7,738	8,705

C	1/4	1,741	2,612	3,482	5,223	6,964	7,835
	1/32	2,110	3,165	4,221	6,331	8,441	9,496
	1/16	2,048	3,072	4,096	6,144	8,193	9,217
	1/8	1,935	2,898	3,869	5,803	7,738	8,705
	1/4	1,741	2,612	3,482	5,223	6,964	7,834

[Sumber : perhitungan]

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5.19, dapat dianalisis bahwa nilai kecepatan rata-rata data diterima dipengaruhi oleh skema modulasi yang digunakan, nilai durasi simbol dan jarak propagasi. Kecepatan rata-rata terbesar yang dapat dicapai adalah dengan menggunakan skema modulasi 64 QAM 3/4 dengan durasi simbol terpendek ($T_g/T_b = 1/32$) yaitu sebesar 9,497 Mbps.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan asumsi-asumsi yang digunakan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya rugi-rugi transmisi (*path loss*) dipengaruhi oleh daya pancar *transmitter*, gain *transmitter* dan *receiver*, ketinggian antena *base station* dan *receiver*, frekuensi *carrier* yang digunakan, dan kondisi dataran.
2. Nilai *System Operating Margin* dipengaruhi oleh besarnya rugi-rugi transmisi dan sensitivitas penerima pada masing-masing skema modulasi. Semakin kecil sensitivitas penerima, maka *System Operating Margin* akan semakin besar.
3. Jarak maksimal yang dapat dicapai pada kondisi dataran tipe A (yang secara umum dapat diasumsikan untuk daerah urban) dengan ketinggian antena *base station* 80 m dan ketinggian antena *receiver* 10 m adalah sejauh $\pm 1,7$ km, pada kondisi dataran tipe B (yang secara umum dapat diasumsikan sebagai daerah suburban) sejauh $\pm 2,58$ km, dan pada kondisi dataran tipe C (yang secara umum dapat diasumsikan sebagai daerah rural) sejauh $\pm 5,48$ km.
4. Besarnya delay total dipengaruhi oleh skema modulasi yang digunakan, panjang durasi simbol OFDM yang digunakan dan juga jarak antara *base station* dengan *subscriber*. Semakin besar durasi simbol OFDM yang digunakan, maka *delay* akan semakin besar. *Delay* total terlama adalah pada skema modulasi QPSK 1/2 dan *delay* total tersingkat adalah pada skema 64-QAM 3/4. *Delay* total terlama adalah sebesar 72,218 ms.
5. Nilai *throughput* dan kecepatan rata-rata transmisi terbesar didapatkan pada skema modulasi 64-QAM 3/4 dengan $T_g/T_b = 1/32$, dengan nilai *throughput* pada masing-masing kondisi dataran tidak jauh berbeda, yaitu rata-rata sebesar 791,383 paket/s. Nilai kecepatan rata-rata transmisi juga rata-rata sama sebesar 9,497 Mbps.

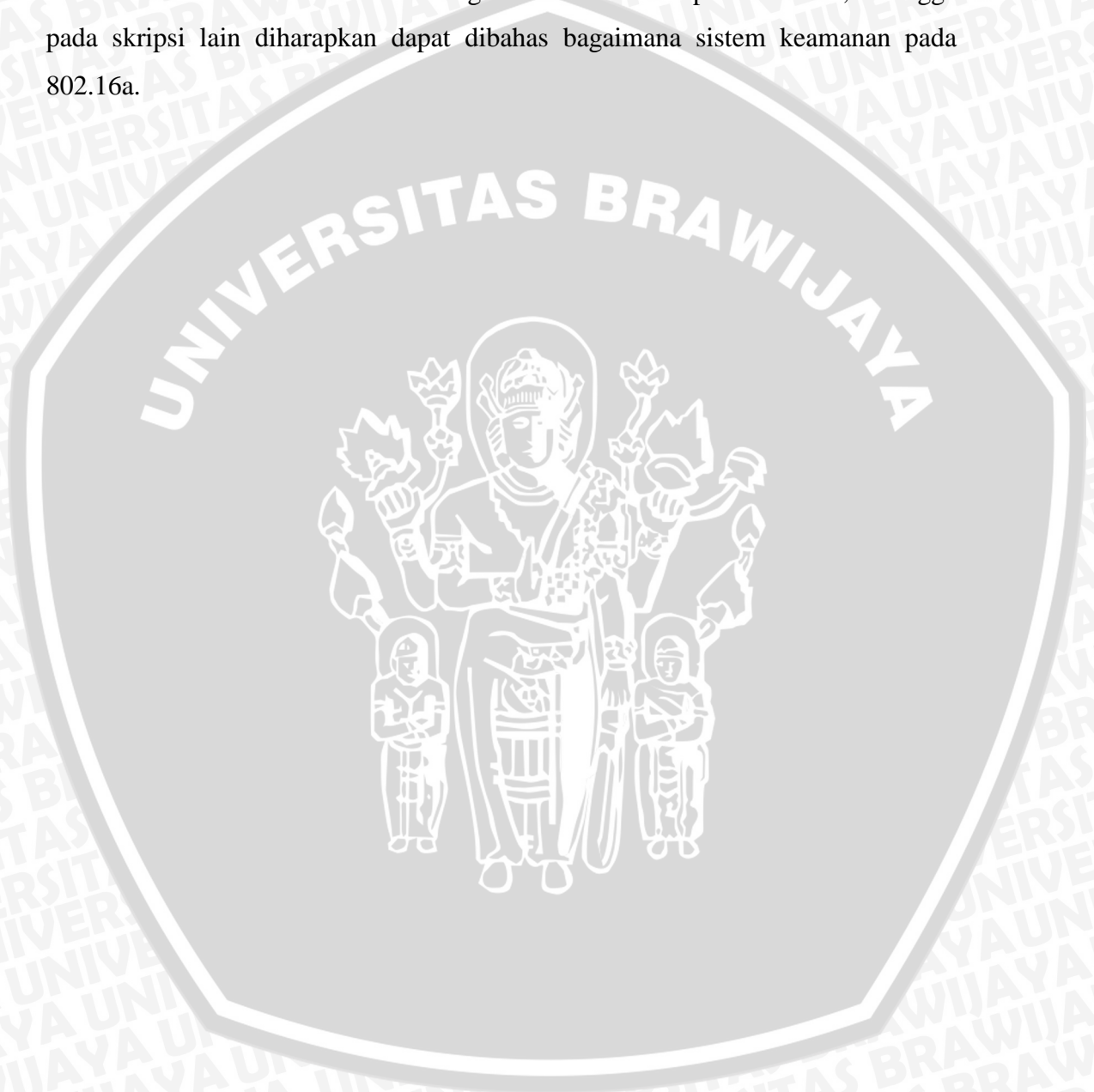
6.2 Saran

Adapun Saran yang dapat diberikan berdasarkan proses analisis yang telah dilakukan dalam skripsi ini antara lain:

1. Performansi suatu jaringan *wireless* berhubungan dengan banyak variabel yang juga disesuaikan dengan regulasi yang berlaku, sehingga pada perencanaan

jaringan *wireless* perlu dilakukan pengukuran di lapangan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2. Pada sistem jaringan 802.16a yang menggunakan modulasi adaptif, para pengguna perlu memperhatikan jarak dari *base station* dan tinggi antena *receiver* untuk mendapatkan layanan yang lebih optimal.
3. Pada analisis ini tidak dibahas tentang sistem keamanan pada 802.16a, sehingga pada skripsi lain diharapkan dapat dibahas bagaimana sistem keamanan pada 802.16a.



DAFTAR PUSTAKA

- Bertsekas, Dimitri dan R. Gallager. 1992. *Data Networks*. New Jersey : Prentice Hall.
- Boom, Derrick D. 2004. *Denial of Service Vulnerabilities in IEEE 802.16 Wireless Networks*. California : Naval Postgraduate School.
- Chandrasekaran, Gayathri. 2001. *Performance Evaluation of Scheduling Mechanisms for Broadband Network*. USA : University of Kansas.
- Erceg, V. 2003. *Channel Models for Fixed Wireless Applications*. <http://iee802.org/16>.
- Freeman, Roger L. 1991. *Telecommunication Transmission Handbook*. 3rd Ed. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Freeman, Roger L. 2004. *Telecommunication System Engineering*. 4th Ed. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- IEEE LAN/MAN Standards Committee. 2003. *IEEE Std 802.16a-2003. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems – Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz*. USA : The Institute of Electrical and Electronics Engineering.
- ITU Internet Reports, 2003. *Birth of Broadband : Executive summary*. International Telecommunication Union. http://www.itu.int/osg/spu/publications/sales/birthofbroadband/exec_summary.html
- Kessler, Gary C dan David A Train. 1991. *Metropolitan area Networks: Concept, Standards, and Services*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Marks, Roger B. 2003. *IEEE Standard 802.16 for Global Broadband Wireless Access*. Colorado: <http://WirelessMAN.org>.
- Matiae, Dusan. 1998. *OFDM as a Possible Modulation Technique for Multimedia Applications in the Range of mm Waves*. TUD-TVS.
- OECD. 2006. *The Implications of WiMAX for Competition and Regulation*. OECD.
- Olexa, Ron. 2005. *Implementing 802.11, 802.16, and 802.20 Wireless Networks*. Oxford : Newnes.
- Rappaport, Theodore S. 1996. *Wireless Communications: Principles & Practice*. New Jersey : Prentice-Hall.

- Redana, Simone dan Matthias Lott. 2003. *Performance Analysis of IEEE 802.16a in Mesh Operation Mode*. Munich : Siemens AG.
- Schwartz, Mischa. 1987. *Telecommunication Networks : Protocols, Modelling and Analysis*. USA : Addison-Wesley Publishing Company.
- Siyamta. 2005. *Sistem Keamanan Pada Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. <http://www.ilmukomputer.com>.
- Smura, Timo. 2004. *Techno-Economic Analysis of IEEE 802.16a-based Fixed Wireless Access Networks*. Helsinki : Helsinki University of Technology.
- Wassel, LJ. 2003. *Comparison of Empirical Propagation Loss Models for Fixed Wireless Access Systems*. Cambridge University.
- Willis III, Thomas M. 2006. *WiMAX Know How*. WAMICON.
- WiMAX Forum. *IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access*. <http://www.wimaxforum.org>.
- WiMAX Forum. *WiMAX Deployment Consideration for Fixed Wireless Access in The 2,5 GHz and 3,5 GHz Licensed Bands*. <http://www.wimaxforum.org>.
- Zhang, Lili. 2005. *A study of IEEE 802.16a OFDM-PHY Baseband*. Linköping Institute of Technology.