

**PERENCANAAN WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK
(WMAN) DENGAN MENGGUNAKAN WORLDWIDE
INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WIMAX)**

**SKripsi
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
HENDRI DWI SAPUTRA
NIM. 0510633040-63

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**



LEMBAR PERSETUJUAN

**PERENCANAAN WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK
(WMAN) DENGAN MENGGUNAKAN WORLDWIDE
INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WIMAX)**

SKIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

HENDRI DWI SAPUTRA

NIM. 0510633040-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Endah Budi P., MT.

NIP. 19621116 198903 2 002

Ir. Wahyu Adi P., MT.

NIP. 19600518 198802 1 001



LEMBAR PERSETUJUAN

**PERENCANAAN WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK
(WMAN) DENGAN MENGGUNAKAN WORLDWIDE
INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WIMAX)**

**SKIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
HENDRI DWI SAPUTRA
NIM. 0510633040-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 11 Februari 2010

Dosen Penguji

Dr. Ir. Sholeh Hadi P., MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

Dosen Penguji

Ali Mustofa, ST., MT.
NIP. 19710601 200003 1 001

Dosen Penguji

Dwi Fadila K., ST., MT.
NIP. 19720630 200003 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc
NIP. 19710615 199802 1 003



ABSTRAKSI

Hendri Dwi Saputra, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2010, *Perencanaan Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) dengan menggunakan Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*, Dosen Pembimbing: Ir. Endah Budi P., MT. dan Ir. Wahyu Adi P., MT.

WLAN adalah sebuah jaringan berbasis *wireless* yang dapat digunakan untuk transmisi data. Namun *coverage area* yang luas dan *data rate* yang tinggi menjadi kendala utama dalam pemberian layanannya. Untuk mengatasi kendala tersebut, dibutuhkan suatu perencanaan jaringan yang lebih baik untuk mendapatkan *coverage area* yang luas serta mempunyai *data rate* yang tinggi. Agar didapatkan jaringan WMAN yang baik, maka dibutuhkan suatu *backbone* jaringan yang handal. Teknologi WiMAX hadir untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Dalam perencanaan ini akan digunakan kota Malang sebagai obyek perencanaan. Data yang digunakan dalam perencanaan ini meliputi data kependudukan kota Malang, trafik internet dan tabel Erlang. Data tersebut akan digunakan untuk mengetahui perkiraan jumlah pelanggan WiMAX dan kapasitas sistem yang dibutuhkan. Langkah awal yang dilakukan dalam perencanaan adalah menentukan perkiraan jumlah pelanggan yang akan menggunakan layanan WiMAX berdasarkan data kependudukan. Jumlah pelanggan tersebut digunakan untuk menentukan kebutuhan kapasitas kanal yang akan berfungsi untuk mengetahui radius sel yang dapat dilayani oleh sebuah *base station* (BS). Jenis antena dan kabel yang digunakan diperhitungkan berdasarkan kebutuhan kapasitas kanal dan kondisi geografi daerah perencanaan.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan diperoleh jumlah pelanggan WiMAX adalah 7231 pelanggan dengan kebutuhan kanal mencapai 76 kanal sehingga jumlah sel yang dibutuhkan untuk pelayanan adalah 5 buah. Radius sel maksimum yang terbentuk dari perencanaan ini adalah 3,01 km. Dengan menggunakan modulasi 64 QAM akan didapatkan nilai bit rate 22,5 Mbps. Untuk melayani kapasitas pelanggan yang cukup besar, maka kabel yang paling tepat digunakan adalah *fiber optic single mode*, sedangkan antena yang tepat digunakan adalah antena *omnidirectional*.

Kata Kunci : *Internet, Coverage Area, Data Rate, WiMAX*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkah rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada Rosulullah Muhammad SAW. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Dalam proses penyelesaian skripsi ini, penulis tidak terlepas dari batuan, bimbingan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Rudy Yuwono dan Bapak M. Azis Muslim selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ali Mustofa selaku KKDK Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
3. Ibu Ir. Endah Budi P., MT. dan Bapak Ir. Wahyu Adi P., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan.
4. Seluruh Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
5. Ayah, Ibu, kakakku dan semua keluarga yang telah memberikan motivasi dan do'a yang tiada hentinya demi kesuksesan penulis.
6. Mas Iswanto dan teman – teman asisten Laboratorium Telekomunikasi angkatan 2005 (Areep, Aski, Firman, Panji, Astika, Nur) dan adik adik asisten angkatan 2006 dan 2007 terima kasih atas berbagi ilmunya.
7. Kawan – kawan seperjuangan angkatan 2005 “streamline” yang telah memberikan warna dan sisi lain dalam kehidupanku.
8. Sahabatku di KA 94 dan SOLID terima kasih atas waktu ngobrol dan pelepas kepenatan.
9. Nuke “Dhawex” Yunika yang tidak lelah memberikan doa, dukungan dan cinta hingga saat ini.
10. Semua pihak yang telah memberikan banyak bantuan, masukan, motivasi dan do'anya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bermanfaat dan

membangun dalam penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, 26 Januari 2010

Penulis



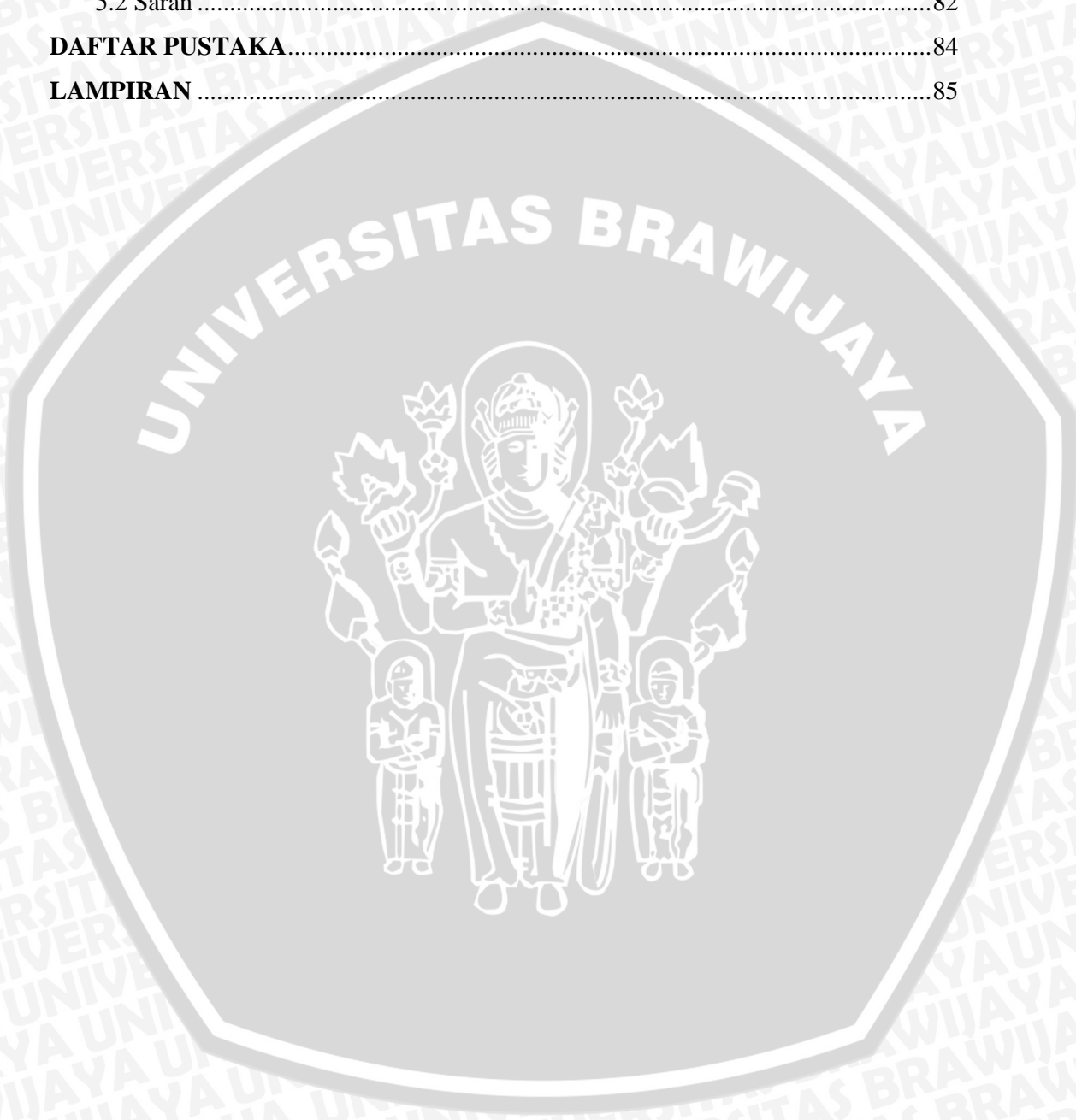
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
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 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Umum	5
2.2 <i>Wireless</i>	6
2.2.1 Tipe Jaringan <i>Wireless</i>	6
2.2.1.1 <i>Wireless Wide Area Network (WWAN)</i>	6
2.2.1.2 <i>Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)</i>	7
2.2.1.3 <i>Wireless Local Area Network (WLAN)</i>	7
2.2.1.4 <i>Wireless Personal Area Network (WPAN)</i>	8
2.2.2 Standarisasi Jaringan <i>Wireless</i>	8
2.2.3 Konfigurasi Jaringan WMAN	9
2.2.3.1 Berbasis <i>Ad-hoc</i>	9
2.2.3.2 Berbasis <i>Infrasturtur</i>	9
2.2.4 Media Transmisi WMAN.....	10
2.2.4.1 <i>Infrared</i>	10
2.2.4.2 <i>Radio Frequency (RF)</i>	12
2.2.5 Klasifikasi Daerah	14
2.2.5.1 Daerah Urban.....	14

2.2.5.2 Daerah Suburban	14
2.2.5.3 Daerah Rural.....	14
2.3 WiMAX (<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>).....	15
2.3.1 <i>Broadband Wireless Access (BWA)</i>	16
2.3.2 Standar WiMAX.....	17
2.3.2.1 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i>	19
2.3.3 Topologi WiMAX	20
2.3.3.1 <i>Point to Point</i>	20
2.3.3.2 <i>Point to Multipoint</i>	20
2.3.3.3 <i>Mesh Network</i>	21
2.3.4 Layer WiMAX.....	21
2.3.4.1 <i>Physical Layer (PHY)</i>	22
2.3.4.1 <i>Media Access Control</i>	23
2.3.5 Arsitektur WiMAX.....	24
2.3.5.1 <i>Subscriber Station (SS)</i>	25
2.3.5.2 <i>Access Service Network (ASN)</i>	26
2.3.5.3 <i>Connectivity Service Network (CSN)</i>	27
2.3.6 Aplikasi <i>Fixed</i> WiMAX	27
2.3.7.1 Alikasi <i>Backhaul</i>	28
2.3.7.2 Akses <i>Broadband</i>	28
2.3.7.3 Personal <i>Broadband</i>	29
2.4 Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX	29
2.4.1 Peramalan Jumlah Pelanggan	30
2.4.1.1 Peramalan Jumlah Penduduk.....	30
2.4.1.2 Usia Produktif.....	33
2.4.1.3 Faktor Penetrasi	33
2.4.1.4 Pelanggan WiMAX	33
2.4.2 Kapasitas Kanal	34
2.4.3 <i>Bandwidth</i>	34
2.4.4 <i>Bit Rate</i>	34
2.4.4.1 Modulasi BPSK.....	35
2.4.4.2 Modulasi QPSK.....	36
2.4.4.3 <i>Quadrature Amplitude Modulation (QAM)</i>	36
2.4.5 Radius Sel.....	37

2.4.6 Lokasi BS	38
2.4.7 Kabel Transmisi.....	38
2.4.7.1 Kabel <i>Twisted Pair</i>	39
2.4.7.2 Kabel Koaksial	39
2.4.7.3 Serat Optik.....	40
2.4.8 Jenis Antena BS.....	41
2.4.8.1 Antena <i>Omnidirectional</i>	42
2.4.8.2 Antena <i>Directional</i>	42
2.4.9 <i>Path Loss</i>	43
2.4.10 Level Daya.....	44
BAB III METODOLOGI.....	45
3.1 Studi Literatur.....	46
3.2 Survey Lapangan	46
3.3 Pengambilan Data.....	46
3.4 Perencanaan Infrastruktur	47
3.5 Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX di Kota Malang	47
3.6 Konfigurasi Jaringan WMAN.....	51
3.7 Pemberian Rekomendasi perencanaan	51
3.8 Pengambilan Kesimpulan	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Umum	53
4.2 Kondisi Wilayah Perencanaan.....	54
4.3 Peramalan Jumlah Pelanggan.....	56
4.3.1 Perkiraan Jumlah Penduduk	56
4.3.2 Usia Produktif.....	65
4.4 Kapasitas Kanal	68
4.5 <i>Bandwidth</i>	69
4.6 <i>Bit Rate</i>	70
4.7 Radius Sel	71
4.8 Penentuan Lokasi BS.....	75
4.9 Kabel Transmisi	77
4.10 <i>Path Loss</i>	78
4.11 Level Daya Terima	78
4.12 Penentuan Jenis Antena BS	79

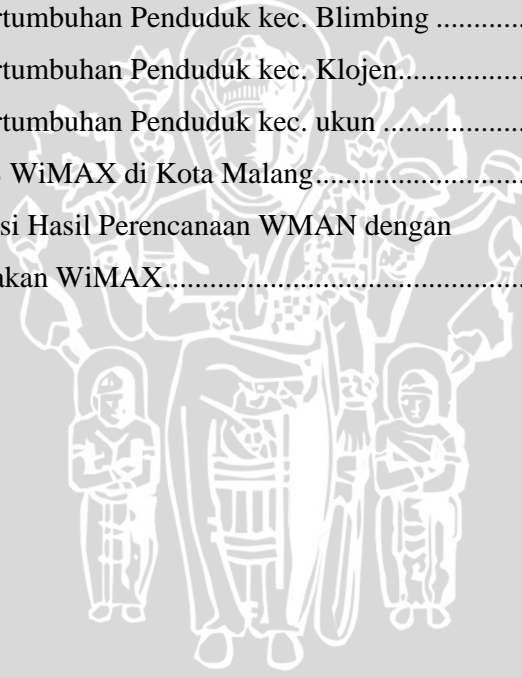
4.13 Konfigurasi Jaringan WiMAX	80
4.14 Rekomendasi Perencanaan	81
BAB V PENUTUP	82
5. Kesimpulan	82
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	85



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembagian Jaringan Wireless	6
Gambar 2.2	Desain Jaringan WMAN	7
Gambar 2.3	Konfigurasi Ad-hoc	9
Gambar 2.4	Konfigurasi Infrastruktur	10
Gambar 2.5	Spektrum Pembagian Frekuensi	10
Gambar 2.6	Arsitektur <i>Infrared</i>	11
Gambar 2.7	Aplikasi RF	12
Gambar 2.8	Topologi Tersentralisasi	13
Gambar 2.9	Topologi Terdistribusi	13
Gambar 2.10	(a) Sinyal Suara	19
	(b) Sinyal Suaradengan OFDM	19
Gambar 2.11	Metode <i>Point to Point</i> pada WiMAX	20
Gambar 2.12	Metode <i>Point to Multipoint</i> pada WiMAX	21
Gambar 2.13	Metode <i>Mesh</i> pada WiMAX	21
Gambar 2.14	Tujuh Layer OSI Model	21
Gambar 2.15	Layer WiMAX dalam OSI Layer	22
Gambar 2.16	Arsitektur WiMAX	24
Gambar 2.17	Konfigurasi Jaringan WiMAX	24
Gambar 2.18	Arsitektur SS WiMAX Fujitsu	25
Gambar 2.19	Arsitektur BS WiMAX Fujitsu	26
Gambar 2.20	WiMAX sebagai <i>Backhaul</i> WMAN	28
Gambar 2.21	WiMAX sebagai <i>Backhaul</i> Hotspot	28
Gambar 2.22	WiMAX sebagai akses <i>Broadband</i>	29
Gambar 2.23	WiMAX sebagai personal <i>Broadband</i>	29
Gambar 2.24	Metode <i>Trend Linier</i>	30
Gambar 2.25	Metode <i>Trend Kuadratik</i>	31
Gambar 2.26	Metode <i>Trend Eksponensial</i>	32
Gambar 2.27	Diagram Konstelasi Modulasi BPSK	36
Gambar 2.28	Diagram Konstelasi Modulasi QPSK	36
Gambar 2.29	(a) Diagram konstelasi 16 QAM	37
	(b) Diagram konstelasi 64 QAM	37
Gambar 2.30	Kabel <i>Twisted Pair</i> UTP dan STP	39

Gambar 2.31	Kabel Koaksial.....	40
Gambar 2.32	(a) Bagian Serat Optik.....	41
	(b) Bentuk Fisik Serat Optik	41
Gambar 2.33	(a) Pola Radiasi <i>Omnidirectional</i>	42
	(b) Pola Radiasi <i>Directional</i>	42
Gambar 2.34	Redaman Sinyal (<i>Path Loss</i>).....	43
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penyusunan Skripsi.....	45
Gambar 3.2	<i>Flow Chart</i> Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX	48
Gambar 3.3	<i>Flow Chart</i> Peramalan Jumlah Pelanggan	49
Gambar 4.1	Peta Kota Malang	55
Gambar 4.2	Grafik Pertumbuhan Penduduk kec. Lowokwaru	57
Gambar 4.3	Grafik Pertumbuhan Penduduk kec. Kedungkandang	57
Gambar 4.4	Grafik Pertumbuhan Penduduk kec. Blimbing	57
Gambar 4.5	Grafik Pertumbuhan Penduduk kec. Klojen.....	58
Gambar 4.6	Grafik Pertumbuhan Penduduk kec. ukun	58
Gambar 4.7	Lokasi BS WiMAX di Kota Malang.....	76
Gambar 4.8	Konfigurasi Hasil Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX.....	80



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Standar <i>Wireless</i>	8
Tabel 2.2	Pembagian Klasifikasi Daerah	15
Tabel 2.3	Standar WiMAX IEEE.....	17
Tabel 2.4	Standar <i>Interface</i> WiMAX.....	18
Tabel 2.5	Fitur Layanan PHY	23
Tabel 2.6	Fitur Layanan MAC	23
Tabel 4.1	Luas Wilayah Kota Malang	54
Tabel 4.2	Jumlah Penduduk Kota Malang	56
Tabel 4.3	Jumlah Penduduk dan Bangunan di Kota Malang	56
Tabel 4.4	Peramalan Jumlah Penduduk Kecamatan Klojen	57
Tabel 4.5	Analisa <i>Persentase</i> Kesalahan pada Tiap Kecamatan.....	61
Tabel 4.6	Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Lowokwaru.....	61
Tabel 4.7	Parameter Peramalan Jumlah Penduduk Kec. Kedungkandang	62
Tabel 4.8	Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Blimbing.....	63
Tabel 4.9	Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Klojen	64
Tabel 4.10	Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Sukun.....	65
Tabel 4.11	Perkiraan Jumlah Penduduk Kota Malang tahun 2013	66
Tabel 4.12	Data Pelanggan Operator	66
Tabel 4.13	Lokasi BS Operator A di Kota Malang.....	66
Tabel 4.14	Nilai Faktor Penetrasi Kota Malang.....	67
Tabel 4.15	Jumlah Pelanggan WiMAX Operator A tahun 2013	68
Tabel 4.16	Kebutuhan Kapasitas Kanal Operator A tahun 2013	68
Tabel 4.17	Kebutuhan <i>Bandwidth</i> WiMAX di Kota Malang.....	70
Tabel 4.18	Parameter per Channel <i>Bandwidth</i>	72
Tabel 4.19	Parameter tiap mode Modulasi.....	72
Tabel 4.20	Model Parameter SUI Propagation	73
Tabel 4.21	Radius BS.....	74
Tabel 4.22	Trafik Pengguna GPRS Bulan Februari 2009.....	75
Tabel 4.23	Lokasi Penempatan BS di Kota Malang	75
Tabel 4.24	Spesifikasi Kabel Transmisi.....	77
Tabel 4.25	Spesifikasi Antena.....	79
Tabel 4.26	Rekomendasi Perencanaan WiMAX.....	81



DAFTAR SINGKATAN



ASN	: <i>Access Service Network</i>
BS	: <i>Base Station</i>
BTS	: <i>Base Transceiver Station</i>
BWA	: <i>Broadband Wireless Access</i>
CSN	: <i>Connectivity Service Network</i>
DSL	: <i>Digital Subscriber Line</i>
FP	: <i>Faktor Penetrasi</i>
GOS	: <i>Grade of Service</i>
GPRS	: <i>General Packet Radio Service</i>
IEEE	: <i>Institute of Electrical and Electronics Engineer</i>
IR	: <i>Infrared</i>
ISP	: <i>Internet Service Provider</i>
LAN	: <i>Local Area Network</i>
LOS	: <i>Line of Sight</i>
MAC	: <i>Media Access Control</i>
MAN	: <i>Metropolitan Area Network</i>
MS	: <i>Mobile Station</i>
NLOS	: <i>Non Line of Sight</i>
OFDM	: <i>Orthogonal Frekuensi Division Multiplexing</i>
OSI	: <i>Open System Interconnection</i>
PAN	: <i>Personal Area Network</i>
PHY	: <i>Physical</i>
QAM	: <i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RF	: <i>Radio Frequency</i>
SS	: <i>Subscriber Station</i>
STP	: <i>Shielded Twisted Pair</i>
UTP	: <i>Unshielded Twisted Pair</i>
WAN	: <i>Wide Area Network</i>
WiMAX	: <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
Wi-Fi	: <i>Wireless Fidelity</i>



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komunikasi tanpa kabel/*nirkabel* atau sering disebut *wireless* telah menjadi salah satu kebutuhan masyarakat modern. Kebutuhan teknologi *wireless* dengan kecepatan tinggi sudah cukup lama dinanti oleh masyarakat. Kebutuhan tersebut diperlukan untuk pengiriman data yang berupa text, gambar, *voice* maupun video. Saat ini orang semakin tidak puas dengan keberadaan teknologi *wireless* yang telah ada, karena umumnya mempunyai *transfer rate* yang relatif lambat. Teknologi yang umum digunakan saat ini adalah *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) atau yang juga biasa disebut dengan *Wireless Local Area Network* (WLAN). Banyak perancangan jaringan berusaha untuk mengembangkan jaringan komunikasi data pada WLAN untuk melayani banyak *user* yang dapat melayani area yang luas tetapi masih mampu menyediakan layanan yang handal dengan performansi yang bagus. Namun jika menggunakan LAN, maka untuk mencakup area yang luas dengan performansi yang masih memadai akan dibutuhkan *node* yang banyak, sehingga biaya yang dibutuhkan semakin besar dan terjadi kesulitan dalam perencanaannya.

Metropolitan Area Network (MAN) adalah sebuah jaringan yang merupakan pengembangan dari LAN yang mampu melayani area hingga mencapai 50 km. Untuk membentuk sebuah jaringan MAN yang baik, dibutuhkan *backbone* jaringan yang mempunyai *bandwidth* yang besar dan mempunyai kemampuan *transfer rate* yang tinggi. Jaringan *backbone* komunikasi data ini harus mempunyai *throughput* yang maksimum dan *delay* yang minimum. Untuk menjamin hal tersebut maka performansi jaringan harus dioptimalkan, dibuat sesuai dengan kebutuhan. Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, maka kebutuhan *backbone* tersebut dapat dilayani dengan menggunakan teknologi WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

WiMAX adalah teknologi berstandar dasar *Institute of Electrical and Electronics Enginerr* (IEEE) 802.16 yang memungkinkan pengiriman data untuk layanan *Broadband Wireless Access* (BWA) sebagai alternatif dari akses kabel atau *Digital Subscriber Line* (DSL). Standar IEEE 802.16d adalah standar yang digunakan untuk *fixed* WiMAX yang beroperasi pada frekuensi 2GHz - 11GHz dengan *transfer rate* hingga 75 Mbps. Untuk mengamankan koneksi yang terjadi, standar ini juga telah

mendukung *feature* enkripsi data, dengan pengaturan kesalahan bertipe *Forward Error Correction* (FEC). Jarak yang dapat dijangkau oleh standar ini mencapai 8 km dengan tingkat *throughput* yang masih memadai untuk melakukan transfer data. Standar 802.16d memiliki kondisi kanal *Non Line of Sight* (NLOS) dengan menggunakan modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM atau 64-QAM. WiMAX merupakan upaya untuk menjawab kebutuhan terhadap *transfer rate* yang tinggi, *coverage area* yang luas, serta kemampuan jaringan untuk dapat melayani berbagai macam transmisi sesuai dengan kebutuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada:

1. Bagaimana perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang.
2. Bagaimana konfigurasi jaringan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang.

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka pembahasan dari skripsi ini dibatasi pada :

1. WiMAX yang digunakan adalah *fixed* WiMAX.
2. Standar acuan yang digunakan WiMAX dalam perencanaan ini adalah standar yang dikeluarkan oleh IEEE 802.16.
3. Menggunakan area kota Malang sebagai obyek perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX.
4. Tidak memperhatikan faktor ekonomi dan faktor sosial dalam proses perencanaan
5. Perencanaan yang dilakukan dengan mengabaikan sekuritas jaringan.
6. Perencanaan WMAN dengan WiMAX ini digunakan untuk keperluan koneksi internet.

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk merencanakan jaringan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang.

1.5 Manfaat

Menjadi salah satu alternatif dalam pembuatan jaringan WMAN dengan *data rate* yang tinggi di kota Malang.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

WMAN (*WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK*)

Membahas mengenai *wireless*, tipe jaringan *wireless*, standarisasi jaringan *wireless*, konfigurasi jaringan WMAN, media transmisi WMAN dan klasifikasi daerah pelayanan.

WIMAX (*WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS*)

Membahas mengenai *broadband wireless access* (BWA), standar WiMAX, topologi jaringan WiMAX, layer WiMAX, arsitektur jaringan WiMAX dan aplikasi *fixed* WiMAX.

PERENCANAAN WMAN DENGAN MENGGUNAKAN WIMAX

Membahas mengenai langkah – langkah dalam melaksanakan perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX yang meliputi perhitungan jumlah pelanggan, perhitungan kapasitas kanal, penentuan *bandwidth*, perhitungan *bitrate*, perhitungan radius sel, penentuan media transmisi, penentuan jenis antena dan perhitungan *pathloss*, level daya pancar dan level daya terima.

BAB III METODOLOGI

Membahas tentang langkah – langkah yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah, yang meliputi langkah – langkah untuk melakukan perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX dan pembuatan konfigurasi jaringan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi langkah – langkah perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang dan pemberian rekomendasi terhadap perencanaannya.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran dari analisa yang telah dilakukan yang diperoleh dari perencanaan sebelumnya



BAB II DASAR TEORI

2.1 Umum

Perkembangan teknologi dalam dunia telekomunikasi semakin memudahkan masyarakat dalam memenuhi kebutuhannya dalam bidang telekomunikasi. Saat ini *wireless* adalah salah satu teknologi yang sedang berkembang yang menyediakan layanan tanpa menggunakan kabel, sehingga menggunakan medium udara. Komunikasi data berupa teks, suara, gambar maupun video dapat dilayani oleh jaringan *wireless* dengan suatu jarak tertentu. Piranti yang biasa digunakan untuk mendukung fasilitas *wireless* diantaranya adalah komputer, *laptop*, telepon seluler, televisi dan lain sebagainya. Perkembangan teknologi *wireless* juga semakin cepat. Saat ini layanan *wireless* sudah dapat digunakan dalam keadaan *mobile*, sehingga semakin memudahkan konsumen. Industri seluler adalah salah satu bidang industri yang memanfaatkan perkembangan ini, dan karena perkembangan inilah maka pelayanan yang diberikan bisa semaksimal mungkin.

Saat ini, jaringan *wireless* yang dapat menyediakan layanan yang handal menjadi prioritas dalam pengembangannya. Kendala yang dihadapi layanan ini adalah mengenai *coverage area* dan *transfer rate*. Sebuah jaringan *wireless* yang baik adalah jaringan yang mampu melayani banyak *user* namun dengan *transfer rate* yang cukup besar.

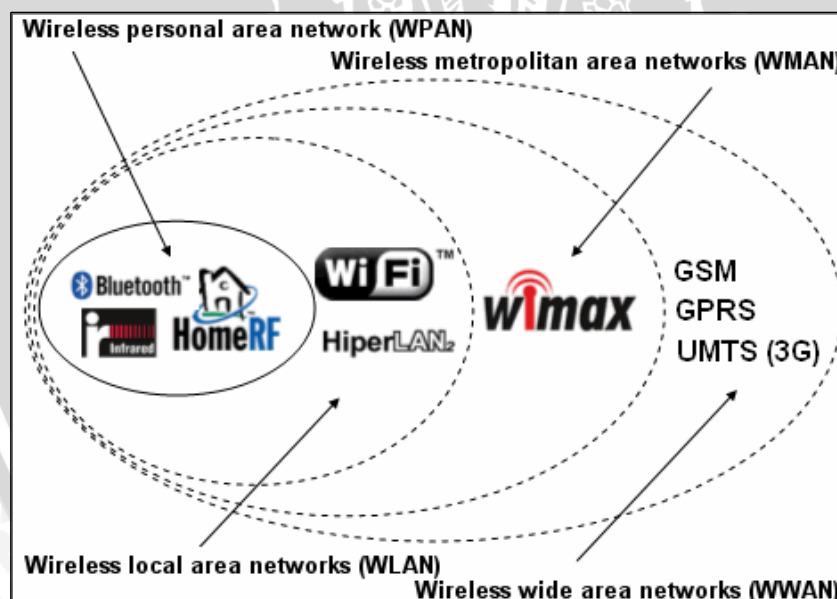
Hadirnya WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) dengan jenis *fixed* WiMAX dan *mobile* WiMAX semakin mempermudah untuk menciptakan jaringan tersebut. WiMAX diciptakan untuk menjadi *backbone* dari jaringan WMAN, yaitu sebuah jaringan *wireless* yang mampu melayani area yang cukup luas hingga 48 km. Dalam penjaminan kualitas dan regulasi pelayanan, peran dari suatu institusi sangat diperlukan. IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Enginerr*) adalah salah satu institusi yang berperan dalam penentuan standirisasi layanan *wireless*. Dalam membangun sebuah standarisasi untuk jaringan *wireless*, IEEE telah menetapkan beberapa hal yang harus dipenuhi, seperti frekuensi yang digunakan, *bandwidth* sistem, modulasi yang digunakan, *power management* dan sebagainya. WiMAX bekerja dengan menggunakan standar IEEE 802.16d untuk *fixed* WiMAX dan IEEE 802.16e untuk *mobile* WiMAX.

2.2 Wireless

Wireless adalah hubungan antar perangkat tanpa menggunakan kabel. Jaringan *wireless* adalah jaringan telekomunikasi yang menghubungkan antar piranti telekomunikasi dengan menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai media transmisinya. Jaringan *wireless* dapat digunakan untuk komunikasi data yang berupa *text*, *voice*, *image* video maupun yang lain dengan suatu jarak tertentu. Media transmisi yang biasa digunakan dalam *wireless* adalah *infrared* atau frekuensi radio. Sedangkan piranti yang umumnya digunakan untuk jaringan ini adalah komputer, komputer genggam, PDA, telepon seluler dan lain sebagainya.

2.2.1 Tipe Jaringan Wireless

Dalam melakukan pelayanannya, *wireless* diklarifikasikan menjadi beberapa tipe. Pembagian klasifikasi jaringan *wireless* dilakukan berdasarkan jarak yang masih dapat dijangkau untuk *transmisi* data. Terdapat macam – macam jaringan *wireless* yang ditentukan oleh standart IEEE , yaitu :



Gambar 2.1 Pembagian jaringan *wireless*

Sumber : www.robeon.com

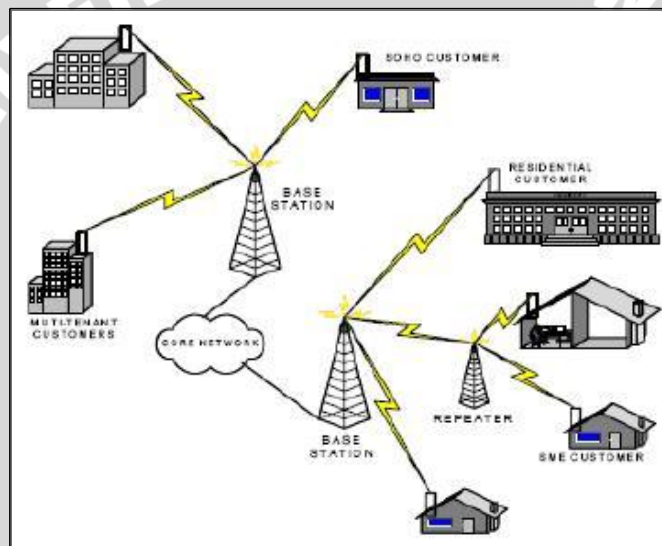
2.2.1.1 Wireless Wide Area Network (WWAN)

WAN adalah suatu jaringan yang mencakup area yang sangat luas. Umumnya WAN dibentuk dengan media *wireless*. Koneksi ini dapat dibuat untuk mencakup suatu daerah yang sangat luas (kota atau negara) melalui penggunaan beberapa antena atau satelit yang diselenggarakan oleh penyelenggara jasa telekomunikasi. Contoh dari

penggunaan teknologi WWAN adalah GSM (*Global System for Mobile Telecommunication*) dan CDMA (*Code Division Multiple Access*).

2.2.1.2 Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)

MAN adalah suatu jaringan yang mencakup area skala menengah (kecamatan, kampus besar atau antar gedung). MAN dapat dibentuk dengan menggunakan media kabel atau media *wireless* (WMAN). WMAN dapat digunakan sebagai jaringan *backup* bagi jaringan kabel dan akan aktif jika jaringan kabel mengalami gangguan. WMAN memanfaatkan gelombang radio atau *infrared* untuk mentransmisikan datanya. Sampai saat ini *transfer rate* tinggi dan *interferensi* yang kecil tetap menjadi acuan untuk pengembangan teknologi yang berbasis WMAN.



Gambar 2.2 Desain jaringan WMAN

Sumber : Jeffrey G Andrews 2007 : 25

2.2.1.3 Wireless Local Area Network (WLAN)

LAN adalah suatu jaringan yang mencakup area yang kecil (ruang, rumah atau gedung). LAN dapat dibentuk dengan menggunakan media kabel atau media *wireless* (WMAN). LAN kabel biasanya digunakan pada jaringan internet dalam gedung, sedangkan WLAN biasanya digunakan di luar ruangan (*hotspot area*). WLAN memperbolehkan *user* untuk membangun jaringan *nirkabel* dalam suatu area yang kecil. WLAN dapat digunakan pada ruangan terbuka maupun tempat yang tidak diperbolehkan untuk dilakukan instalasi kabel permanen.

2.2.1.4 Wireless Personal Area Network (WPAN)

WPAN membolehkan *user* untuk membangun suatu jaringan *wireless* dengan piranti sederhana, seperti telepon seluler, laptop atau PDA. WPAN digunakan untuk operasi personal atau *personal operating space* (POS). Sebuah POS adalah suatu ruang yang berada disekitar sistem yang bisa mencapai jarak sekitar 10 meter. Saat ini dua teknologi yang umum dari WPAN adalah *bluetooth* dan *infrared*. *Bluetooth* merupakan teknologi pengganti kabel yang menggunakan gelombang radio untuk mentransmisikan data sampai jarak 10 meter.

2.2.2 Standarisasi Jaringan Wireless

Wireless diatur dengan menggunakan standar IEEE 802.11. Saat ini sudah banyak perangkat dengan dukungan konektifitas *wireless* yang bisa berupa *handphone* maupun *notebook*. Ada beberapa standar 802.11 yang ditetapkan oleh IEEE. Untuk koneksi WLAN antar perangkat, ada tiga jenis standar jaringan *wireless* yang ditetapkan oleh IEEE, yaitu 802.11a, 802.11b, 802.11g. Yang membedakan masing - masing standar adalah frekuensi kerja dan *transfer rate* nya. Standar IEEE 802.11a beroperasi pada frekuensi 5 GHz dengan *transfer rate* yang di tawarkan adalah 54 Mbps. Standar 802.11b beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz, dan menawarkan *transfer rate* 11 Mbps. Standar 802.11g beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan memiliki *transfer rate* maksimum hingga 54 Mbps. Standar 802.11g merupakan gabungan dari standar 802.11a dan 802.11b. Dengan begitu pengguna Wi-Fi yang memiliki perangkat yang mendukung standar jaringan 802.11b bisa terhubung pada *access point* 802.11g, tetapi dengan *transfer rate* maksimum 11 Mbps. Standar IEEE 802.11 ini mempunyai kelebihan dibandingkan standar yang lain, yaitu mempunyai tingkat mobilitas tinggi, menggunakan frekuensi tidak terlisensi, instalasi mudah dan harganya murah. Sedangkan WMAN diatur dengan menggunakan standar IEEE 802.16 yaitu IEEE 802.16d dan IEEE 802.16e yang juga merupakan standar yang digunakan untuk WiMAX.

Tabel 2.1 Perbandingan Standar *Wireless*

No	Spesifikasi	Tranfer rate	Frekuensi	Range
1	802.11a	54 Mbps	5 GHz	50 m
2	802.11b	11 Mbps	2,4 GHz	100 m
3	802.11g	54 Mbps	2,4 GHz	100 m

4	802.16d	75 Mbps	2 - 11 GHz	8 km
5	802.16e	30 Mbps	2 – 6 GHz	5 km

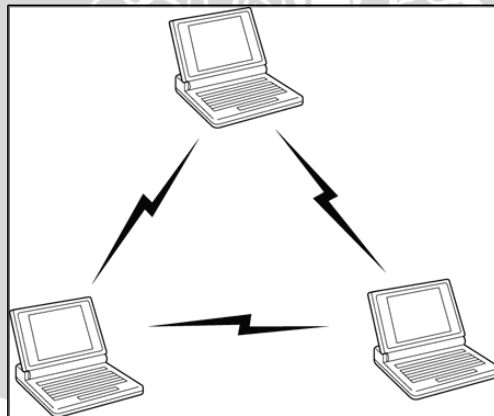
Sumber : Gunawan wibisono dan Gunadi DH, 2006 : 17

2.2.3 Konfigurasi Jaringan WMAN

WMAN adalah sebuah jaringan yang dapat menghubungkan antara pemancar dengan penerima ataupun antar pemancar. Jaringan *wireless* memiliki dua mode yang dapat digunakan yaitu berbasis *ad-hoc* dan infastruktur. Komunikasi berbasis *ad-hoc* adalah komunikasi secara langsung antara masing - masing perangkat dengan menggunakan piranti *wireless*. Konfigurasi infrastruktur adalah komunikasi antar masing-masing perangkat melalui sebuah *access point* pada WLAN atau LAN.

2.2.3.1 Berbasis Ad-hoc

Konfigurasi *Ad-Hoc* merupakan mode jaringan WLAN yang sangat sederhana, karena pada *ad-hoc* tidak memerlukan *access point* untuk dapat saling berinteraksi satu sama lain. Setiap *host* harus memiliki *transmitter* dan *reciever wireless* untuk dapat berkomunikasi secara langsung satu sama lain. Kekurangan dari mode ini adalah perangkat tidak bisa berkomunikasi dengan perangkat pada jaringan yang menggunakan kabel. Selain itu, daerah jangkauan pada mode ini terbatas pada jarak antara kedua perangkat tersebut.



Gambar 2.3 Konfigurasi Ad-hoc

Sumber : www.wimaxforum.org

2.2.3.2 Berbasis Infrastruktur

Pada konfigurasi ini, *wireless station* terhubung ke sebuah *access points*. Fungsi *access points* adalah sebagai *bridges* (jembatan) antara *wireless stations* dan *network*

backbone dan untuk mentransmisikan data pada *station* satu ke *station* yang lain dengan jangkauan tertentu pada suatu daerah. Penambahan dan pengaturan letak *access point* dapat memperluas jangkauan dari WLAN. Ketika berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain, dan ketika sinyal sebuah *access point* melemah, atau menjadi sibuk, maka koneksi dapat dialihkan peranan *access pointnya* kepada *access point* yang baru lainnya.



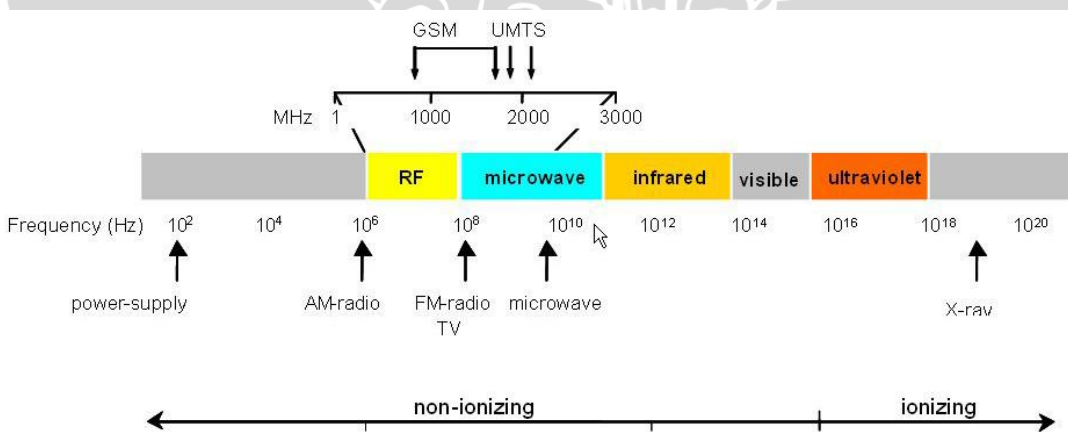
Gambar 2.4 konfigurasi Infrastruktur

Sumber : www.wimaxforum.org

2.2.4 Media Transmisi WMAN

MAN adalah sebuah jaringan yang mengacu pada protokol *Open System Interconnection* (OSI). Standar OSI dibagi menjadi tujuh lapisan berbeda yang mempunyai fungsi dan peranan yang berbeda – beda.

Lapisan yang mengatur mengenai jenis media transmisi adalah lapisan pertama, yaitu *physical layer*. Media transmisi yang biasa digunakan oleh WMAN adalah *infrared* atau *radio frekuensi*.



Gambar 2.5 Spektrum Pembagian Frekuensi

Sumber : www.wikipedia.org

2.2.4.1 Infrared (IR)

Infrared banyak digunakan pada komunikasi jarak dekat, contoh paling umum pemakaian IR adalah *remote control*. Gelombang IR lebih bersifat *directional*, tidak dapat menembus tembok atau benda gelap, memiliki *fluktuasi* (kenaikan dan

penurunan) daya tinggi dan dapat di *interferensi* oleh cahaya matahari. WMAN menggunakan IR sebagai media transmisi karena IR menawarkan *transfer rate* tinggi hingga 100 Mbps, konsumsi daya yang kecil serta harganya murah. WMAN dengan IR mempunyai tiga macam teknik, yaitu *Directed Beam IR (DBIR)*, *Diffused IR (DFIR)* dan *Quasi Diffused IR (QDIR)*.

1. DBIR

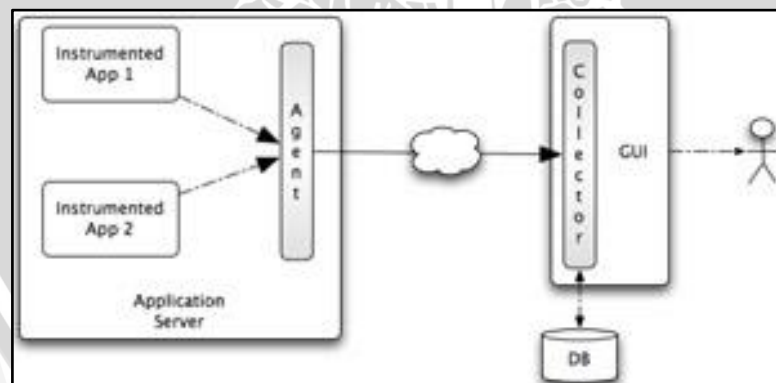
Teknik DBIR menggunakan prinsip *Line Of Sight (LOS)*, sehingga arah radiasinya harus diatur. Keunggulannya adalah konsumsi daya rendah, *data rate* tinggi dan tidak ada *multipath*. Sedangkan kelemahannya adalah terminalnya harus *fixed* dan komunikasinya harus LOS.

2. DFIR

Teknik ini memanfaatkan komunikasi melalui pantulan gelombang. Keunggulannya adalah tidak memerlukan LOS antara pengirim dan penerima dan menciptakan portabilitas terminal. Kelemahannya adalah membutuhkan daya yang tinggi, *terdapat multipath*, berbahaya untuk mata telanjang dan resiko interferensi tinggi.

3. QDIR

Setiap terminal berkomunikasi dengan pemantul, sehingga pola radiasi harus terarah. QDIR terletak antara DFIR dan DBIR (konsumsi daya lebih kecil dari DFIR dan jangkauannya lebih jauh dari DBIR).



Gambar 2.6 Arsitektur *Infrared*

Sumber : Behrouz A Forouzan, 2000 : 264

Secara umum *Infrared* terdiri dari tiga modul utama, yaitu :

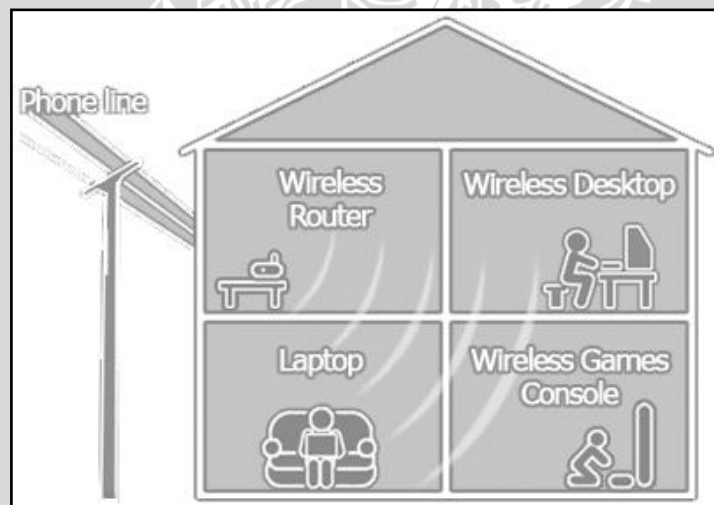
- *Agent* : *Agent* ditempatkan pada *server* sebuah jaringan *infrared*. *Agent* berfungsi untuk penambahan kode ke dalam aplikasi, sehingga membuat laporan yang ditujukan kembali kepada *agent* sesudah eksekusi ke stasiun penerima dilaksanakan.

- *Collector* : penerima data dari hasil eksekusi *agent*. Semua data dikirim secara periodik ke dalam *data base*.
- GUI : GUI ditempatkan bersama dengan *collector* dan berfungsi untuk menampilkan data statistik kepada konsumen.

2.2.4.2 Radio Frequency (RF)

Aplikasi RF adalah pada stasiun radio, stasiun TV, telepon *cordless* dan sebagainya. MAN menggunakan RF sebagai media transmisi karena jangkauannya jauh, dapat menembus tembok, mendukung teknik *handoff*, mendukung *mobilitas* yang tinggi dan dapat digunakan di luar ruangan. MAN menggunakan pita ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) dan memanfaatkan teknik *spread spectrum* (DS atau FH).

1. DS (*direct sequence*) adalah teknik yang memodulasi sinyal informasi secara langsung dengan kode - kode tertentu (deretan kode *Pseudonoise*).
2. FH (*Frequency hopping*) adalah teknik yang memodulasi sinyal informasi dengan frekuensi yang loncat-loncat (tidak konstan). Frekuensi yang berubah-ubah ini dipilih oleh kode kode tertentu (*pseudonoise*).



Gambar 2.7 Aplikasi RF

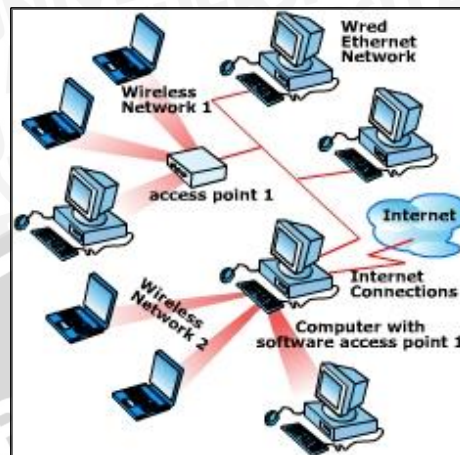
Sumber : www.wimaxforum.org

Aplikasi RF dalam WLAN mempunyai beberapa topologi, yaitu tersentralisasi, terdistribusi dan jaringan seluler.

1. Tersentralisasi

Topologi tersentralisasi juga biasa disebut dengan *star network*. Topologi ini terdiri dari *server* dan beberapa terminal pengguna, di mana komunikasi antara

terminal harus melalui *server* terlebih dahulu. Keunggulannya adalah daerah cakupan luas dan transmisi relatif efisien. Kelemahannya adalah *delay*-nya besar dan jika *server* rusak maka jaringan tidak dapat bekerja.

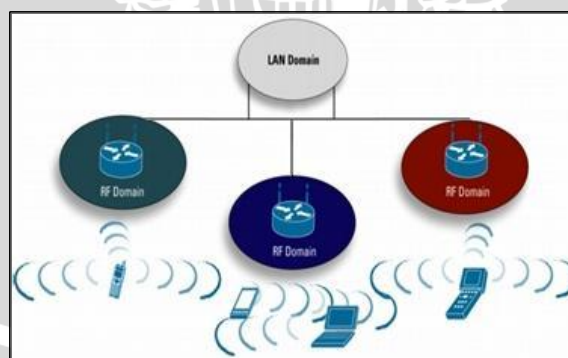


Gambar 2.8 Topologi Tersentralisasi

Sumber : www.convergedigest.com

2. Terdistribusi

Topologi terdistribusi juga biasa disebut *peer to peer*, di mana semua terminal dapat berkomunikasi satu sama lain tanpa memerlukan *server*. *Server* hanya diperlukan untuk mengoneksikan WLAN ke LAN lain. Topologi ini dapat mendukung operasi *mobile* dan merupakan solusi ideal untuk jaringan *ad hoc*. Keunggulannya jika salah satu terminal rusak maka jaringan tetap berfungsi dengan *delay* yang kecil.



Gambar 2.9 Topologi Terdistribusi

Sumber : www.convergedigest.com

3. Jaringan Seluler

Jaringan seluler cocok untuk melayani daerah dengan cakupan luas dan operasi *mobile*. Keunggulannya adalah dapat menggabungkan keunggulan dan

menghapus kelemahan dari ke dua topologi di atas. Kelemahannya adalah memiliki kompleksitas perencanaan yang tinggi.

2.2.5 Klasifikasi Daerah

Klasifikasi daerah merupakan fungsi dari pengkategorian penggunaan daratan (*land usage*). Tiga kategori yang sering digunakan dalam pengklasifikasian daerah adalah : *urban*, *suburban*, dan *rural*. Pembuatan kategori ini bertujuan untuk mendefinisikan karakteristik propagasi dan perkiraan kepadatan populasi pelanggan, yang akan menentukan estimasi kapasitas sistem yang diperlukan untuk melayani daerah tersebut.

2.2.5.1 Daerah Urban

Lingkungan daerah urban biasanya ditandai dengan banyaknya gedung tinggi dengan jalan – jalan yang sempit dan terdapat sedikit atau tidak ada pepohonan. Kepadatan penduduk daerah ini rata – rata mencapai 19.200/Km². Parameter daerah urban yang mempengaruhi perambatan gelombang adalah kerapatan rumah, tinggi rumah, tingkat lalu lintas dan lebar jalan. Daerah urban ditandai dengan banyak gedung pencakar langit dengan ketinggian lebih dari 20 meter.

2.2.5.2 Daerah Suburban

Daerah suburban ditandai dengan rumah – rumah penduduk yang berderet – deret saling bersebelahan. Di daerah suburban masih cukup banyak ditemui pepohonan yang tinggi. Lingkungan daerah suburban merupakan peralihan antara daerah urban dengan daerah rural. Daerah ini umumnya adalah daerah kota berkembang atau kota kecil dengan ketinggian bangunan rata – rata 20 meter (rumah 2 tingkat). Daerah ini ditandai dengan bangunan yang cukup padat dengan jarak terlalu dekat dan terdapat bangunan yang memiliki lebar 18 meter sampai 30 meter.

2.2.5.3 Daerah Rural

Daerah rural umumnya merupakan daerah terbuka dengan banyak pepohonan yang tinggi. Daerah ini umumnya adalah daerah pedesaan dengan jumlah penduduk sedikit dan tersebar. Daerah rural didominasi oleh perumahan penduduk yang tidak bertingkat (kurang dari 10 meter) dengan bangunan yang cukup lebar.

Tabel 2.2 Pembagian Klasifikasi Daerah

No.	Kategori	Keterangan
1.	<i>Urban</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Daerah bisnis dan perkantoran dengan banyak gedung pencakar langit (minimal 20 meter). ➤ Kepadatan penduduk lebih dari 19.200/Km². ➤ Umumnya berupa kota besar.
2.	<i>Suburban</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gabungan daerah bisnis dan perumahan ➤ Jenis bangunan terdiri dari, rumah (1 – 2 tingkat), kantor dan pertokoan (2 – 5 tingkat). ➤ Kepadatan penduduk dari 1.280 – 19.200 /km²
3	<i>Rural</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lahan pertanian terbuka, daerah terbukanya sangat luas, dan jarang area perumahan. ➤ Kepadatan penduduk kurang dari 1.280 /km²

Sumber : Kwang-Cheng Chen *and* J. Roberto B. de Marca, 2008 : 152

Dalam skripsi ini kota malang dikategorikan dalam daerah *suburban* dikarenakan kota malang merupakan gabungan dari perumahan, institusi pendidikan dan kalangan bisnis.

2.3 WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

Pada masa mendatang diperkirakan kebutuhan terhadap teknologi dengan kecepatan tinggi sangat besar, hal ini ditandai dengan perkembangan teknologi telekomunikasi yang sangat pesat. Saat ini teknologi *wireless* yang masih sering digunakan untuk pertukaran data adalah Wi-Fi, namun teknologi Wi-Fi hanya dapat menjangkau area 100 meter dengan *throughput* maksimum sebesar 54 Mbps. Teknologi Wi-Fi ini menggunakan standar IEEE 802.11.

WiMAX merupakan teknologi *wireless broadband access* (BWA) berkecepatan tinggi untuk pertukaran informasi. WiMAX memiliki jangkauan yang jauh hingga mencapai 8 km dan dapat digunakan untuk kondisi NLOS. WiMAX mampu mengirimkan data dengan *throughput* maksimum hingga 75 Mbps. WiMAX terbagi menjadi dua model yang masing-masing diatur oleh dua standar IEEE yang berbeda. Model pertama adalah *fixed-access* atau sambungan tetap yang menggunakan standar IEEE 802.16d. Standar IEEE 802.16d termasuk dalam standar golongan layanan *fixed wireless* karena menggunakan antena yang dipasang di lokasi pelanggan. Model kedua

yaitu pemanfaatan *portable* atau *mobile* yang menggunakan standar IEEE 802.16e. Standar ini khususnya diimplementasikan untuk komunikasi data pada aneka perangkat genggam, atau perangkat bergerak (*mobile*) seperti *notebook*.

Di Indonesia, WiMAX belum banyak dikenal masyarakat karena masih belum meluasnya penggunaan teknologi tersebut. Saat ini WiMAX masih dalam tahap uji coba di kota Bandung. Namun di luar negeri, WiMAX mulai digunakan sebagai pengganti telepon kabel untuk menyediakan layanan Internet berkecepatan tinggi, khususnya di daerah perkotaan. WiMAX dirancang untuk memenuhi kebutuhan akses *wireless* berkecepatan tinggi, daya jangkauan yang luas, serta kemampuan untuk dapat melayani berbagai macam transmisi.

2.3.1 Broadband Wireless Access (BWA)

Broadband wireless merupakan perpaduan antara teknologi *wireless* dan *broadband*. Kedua teknologi tersebut saat ini menjadi sangat populer karena kebutuhan masyarakat terhadap komunikasi sangat tinggi. Hal ini terbukti dengan semakin tingginya kebutuhan masyarakat terhadap internet ataupun layanan lainnya untuk mendukung aktivitasnya.

Perpaduan antara teknologi *broadband* dan *wireless* menjadi solusi dari keterbatasan kedua teknologi tersebut. Teknologi *broadband* berawal dari munculnya *digital subscriber line* (DSL), dan keterbatasan dari *broadband* masih menggunakan media kabel sebagai media transmisinya. Namun DSL mampu untuk memberikan berbagai macam layanan dengan kualitas yang baik, seperti internet berkecepatan tinggi dan layanan multimedia. Sedangkan *wireless* menjadi sangat populer karena pengguna dapat menikmati layanan ini dimanapun berada selama masih dalam jangkauan jaringan *wireless* tersebut. Namun keterbatasan teknologi ini adalah masih kurangnya layanan yang diberikan karena keterbatasan *data rate*, sehingga kurang mendukung layanan multimedia dan internet berkecepatan tinggi. Dengan berbagai keunggulan dari kedua teknologi tersebut, maka diciptakan teknologi BWA yang memberikan layanan *broadband* dengan kecepatan tinggi tanpa kabel.

BWA mempunyai dua tipe layanan, yakni *fixed wireless broadband* dan *mobile broadband*. Layanan *fixed wireless broadband* sama dengan layanan yang diberikan dengan menggunakan DSL, tetapi tanpa menggunakan media kabel sebagai media transmisinya. Sedangkan *mobile broadband* memberikan layanan *broadband* yang mempunyai keuntungan, yaitu *portability* dan *mobility*.

2.3.2 Standar WiMAX

Perkembangan WiMAX berawal dari pembentukan grup IEEE 802.16 yang berfokus pada pengembangan sistem *point-to-point* LOS (*line of sight*) untuk komunikasi *wireless broadband* yang beroperasi pada frekuensi 10 GHz – 66 GHz. Selanjutnya grup ini mengeluarkan revisi yaitu 802.16a yang dapat mendukung aplikasi *non line of sight* (NLOS) pada frekuensi 2 GHz – 11 GHz. Karena mendukung aplikasi NLOS, maka standar ini menjadi solusi awal untuk transmisi jarak jauh dengan banyak bangunan antara *transmitter* dan *receiver*. Standar ini juga mendukung aplikasi *point-to-multipoint*. Pada tahun 2004 IEEE mengeluarkan standar IEEE 802.16rev 2004 atau juga disebut IEEE 802.16d dan pada tahun 2005 IEEE mengeluarkan standar IEEE 802.16e yang merupakan pengembangan dari standar IEEE 802.16d yakni mendukung aplikasi *mobile*.

Standar yang digunakan WiMAX mengacu pada standar IEEE 802.16. Standar ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu IEEE 802.16d digunakan untuk *fixed* WiMAX dan IEEE 802.16e yang digunakan untuk *mobile* WiMAX. *Fixed* WiMAX mendukung untuk kondisi lingkungan NLOS. Standar WiMAX 802.16e mendukung untuk aplikasi *portable* dan *mobile* sehingga dikondisikan mampu menangani *handoff*.

Tabel 2.3 Standar WiMAX IEEE

No	Parameter	802.16	802.16d	802.16e
1	Status	Completed Desember 2001	Completed June 2004	Completed Desember 2005
2	Frequency band	10 GHz – 66 GHz	2 GHz – 11 GHz	Fixed : 2 GHz – 11 GHz Mobile : 2 GHz – 6 GHz
3	Aplication	Fixed NLOS	Fixed NLOS	Fixed and Mobile NLOS
4	MAC architecture	Point to multipoint, mesh	Point to multipoint, mesh	Point to multipoint, mesh
5	Transmission	Single carrier	Single carrier, OFDM	Single carrier, OFDM
6	Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM

7	<i>Gross data rate</i>	32 Mbps – 134,4 Mbps	1 Mbps – 75 Mbps	1 Mbps – 75 Mbps
8	<i>Duplexing</i>	TDD and FDD	TDD and FDD	TDD and FDD
9	<i>Multiplexing</i>	TDMA	TDMA, OFDMA	TDMA, OFDMA
10	<i>Channel Bandwidth</i>	20 MHz, 25 MHz, 28 MHz	1,75 MHz, 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1,25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8,75 MHz	1,75 MHz, 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1,25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8,75 MHz
11	<i>Air-interface designation</i>	Wireless MAN-SC	Wireless MAN-SCa Wireless MAN-OFDM Wireless MAN-OFDMA Wireless HUMAN	Wireless MAN-SCa Wireless MAN-OFDM Wireless MAN-OFDMA Wireless HUMAN
12	<i>WiMAX implementation</i>	None	256 – OFDM as fixed WiMAX	Scalable OFDMA as Mobile WiMAX

Sumber : Jeffrey G Andrews and Arunabha Ghosh, 2007 : 36

Pada WiMAX terdapat lima *interface* fisik. Standar pertama adalah *wireless* MAN-SC, yaitu menggunakan *single carrier modulation* dan komunikasinya harus LOS. Standar kedua yang merupakan revisi dari standar pertama yaitu *wireless* MAN-SCa. Pengembangan dari standar ini adalah komunikasi dapat dilakukan dalam kondisi NLOS dan bekerja pada frekuensi 2 GHz – 11 GHz. Karena pada standar kedua masih menggunakan *single carrier*, maka pada standar selanjutnya dikembangkan menjadi *multicarrier* yaitu OFDM. OFDM pada standar ini menggunakan 256 *subcarrier*. Standar ketiga ini dikembangkan untuk aplikasi *mobile* dengan menerapkan teknologi akses OFDM (OFDMA) dengan jumlah *subcarrier* mencapai 2048 *subcarrier*.

Tabel 2.4 Standar *Interface* WiMAX

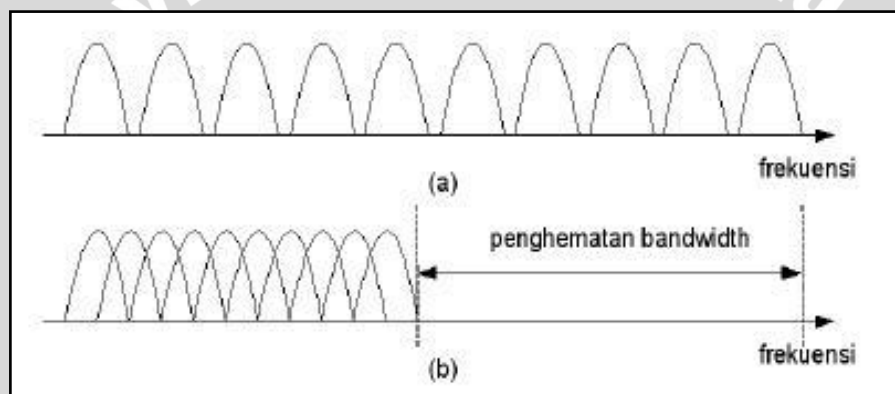
Designation	Band Frekuensi	Duplexing
<i>Wireless</i> MAN-SC	10 GHz – 66 GHz (LOS)	TDD dan FDD
<i>Wireless</i> MAN-SCa	2 GHz – 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD
<i>Wireless</i> MAN-OFDM	2 GHz – 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD

Wireless MAN-OFDMA	2 GHz – 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD
Wireless HUMAN	2 GHz – 11 GHz (NLOS)	Hanya TDD

Sumber : IEEE Standart for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oktober 2004 : 2

2.3.2.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier*nya satu dengan yang lain saling ortogonal. Karena sifat ortogonalitas ini, maka antar *subcarrier* yang berdekatan bisa dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI). Hal ini akan membuat sistem OFDM mempunyai efisiensi spektrum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi *multicarrier* konvensional.



Gambar 2.10 (a) Sinyal suara (b) Sinyal suara dengan OFDM

Sumber : Jeffrey G Andrews and Arunabha Ghosh, 2007 : 96

Konsep dari OFDM adalah membagi sinyal informasi *wideband* menjadi deretan data paralel dengan *data rate* yang lebih rendah sehingga akan didapatkan deretan paralel sinyal dengan *data rate* rendah (*narrowband*), kemudian data-data paralel tersebut dimodulasi dengan *subcarrier* yang saling ortogonal. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari penggunaan OFDM, karena kanal yang semula bersifat *frequency selective fading* akan seperti kanal *flat fading* oleh masing-masing *subcarrier*, sehingga *distorsi* sinyal akibat perlakuan kanal *multipath fading* menjadi berkurang. Penggunaan *discrete fourier transform* (DFT) pada sistem OFDM akan mengurangi tingkat kompleksitas sistem pengirim dan penerima.

Sedangkan OFDMA merupakan teknik akses jamak yang berdasarkan OFDM sebagai teknik modulasinya. Untuk lingkungan multi *user*, OFDM perlu dikombinasikan dengan teknik akses jamak sehingga muncul OFDM-TDMA, OFDM-

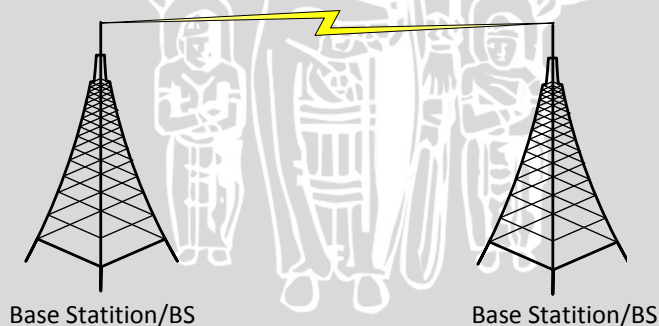
CDMA dan OFDMA. Pada OFDM-TDMA, akses jamak dilakukan dengan menempatkan *user* pada time slot-time slot yang tersedia dalam satu frame. Satu time slot terdiri dari beberapa simbol OFDM. Sedangkan pada OFDMA, satu *user* akan dimodulasi OFDM pada beberapa *subcarriers* saja. Keuntungan dari sistem OFDMA adalah dapat mengurangi ICI dengan penambahan *cyclic prefix* pada tiap simbol OFDM, efisien terhadap penggunaan spectrum frekuensi karena antar frekuensi *subcarriers* saling orthogonal, lebih tahan terhadap *frequency selective fading* dibandingkan sistem *single carrier* dan mampu memberikan *data rate* yang tinggi

2.3.3 Topologi WiMAX

Secara umum WiMAX mempunyai topologi yang sama dengan topologi jaringan *wireless* yang lain. WiMAX mempunyai beberapa topologi jaringan dalam pembuatan jaringannya, yaitu *point to point*, *point to multipoint* dan *mesh network*.

2.3.3.1 Point to Point

Point to point adalah topologi yang menghubungkan antara terminal pemancar dan terminal penerima. Pada sisi pemancar dan sisi penerima terdapat 1 perangkat pemancar dan 1 perangkat penerima. Topologi *point to point* digunakan untuk menjalin hubungan antar *base station*.

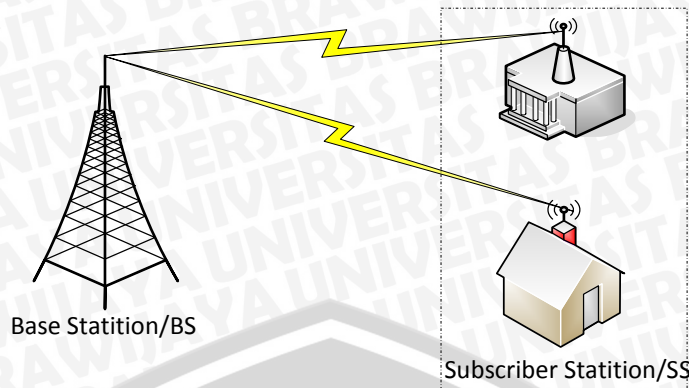


Gambar 2.11 Metode *Point to Point* pada WiMAX

Sumber : perancangan

2.3.3.2 Point to Multipoint

Point to multipoint adalah jaringan yang menghubungkan antara sisi pemancar dan sisi penerima. Hubungan ini terjadi antara sebuah perangkat pemancar dan banyak perangkat penerima. Kondisi yang terjadi adalah *non line of sight* (NLOS). Contoh dari hubungan ini adalah hubungan antara *base station* dengan *subscriber station*.

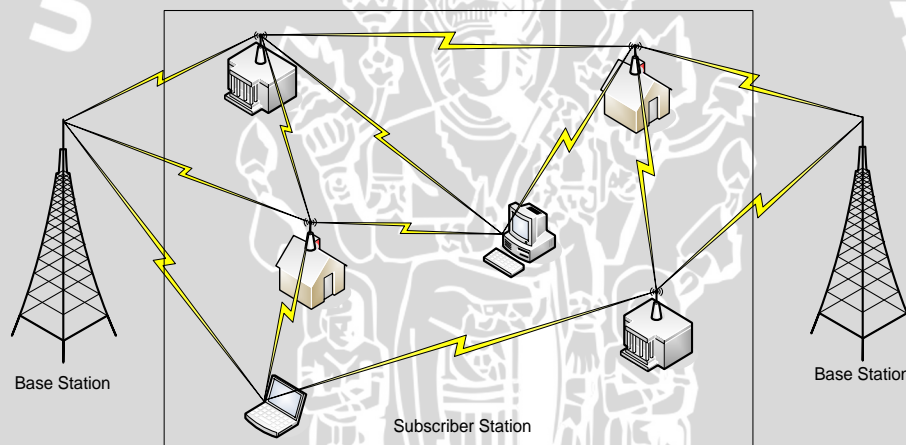


Gambar 2.12 Metode *Point to Multipoint* pada WiMAX

Sumber : perancangan

2.3.3.3 Mesh Network

Mesh Network berfungsi sebagai *router* bagi *end user* terminal yang lain. *Mesh network* menawarkan peningkatan *coverage* WAN karena setiap *subscriber* berfungsi sebagai BS baru bagi *subscriber* disampingnya.



Gambar 2.13 Metode *Mesh* Pada WiMAX

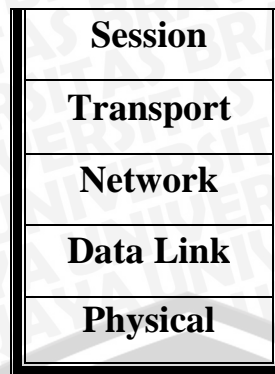
Sumber : perancangan

2.3.4 Layer WiMAX

Open System Interconnection (OSI) model merupakan standar model jaringan komunikasi yang terdiri dari tujuh *layer* yang berbeda. Tipe dalam lapisan tersebut adalah *layer* bawah (*layer* 1 – 3) berhubungan dengan *hardware* dan *layer* atas (*layer* 4 – 7) berhubungan dengan *software*.

Application
Presentation

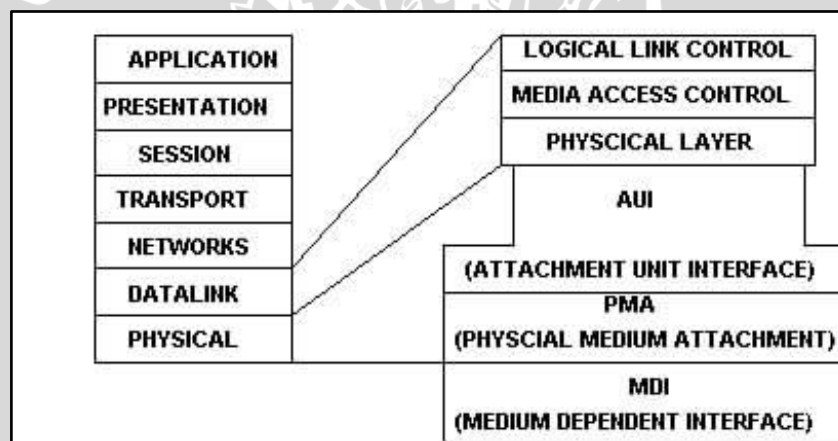




Gambar 2.14 Tujuh layer OSI Model

Sumber : Loutfi Nuaymi, 2007

Layer WiMAX dalam lapisan OSI *layer* ditentukan pada lapisan kedua, yaitu *data link layer*. Karakteristik standar 802.16 ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *physical layer* (PHY) dan *media access control* (MAC). PHY menjalankan fungsi mengalirkan data, sedangkan MAC layer berfungsi sebagai penerjemah protokol – protokol yang ada di atasnya seperti ATM dan IP.



Gambar 2.15 Layer WiMAX dalam OSI Layer

Sumber : Loutfi Nuaymi, 2007

2.3.4.1 Physical Layer (PHY)

Fungsi penting yang diatur PHY ialah *ortogonal frequency division multiplexing* (OFDM), *duplex system* dan *error correction*. Dengan OFDM memungkinkan komunikasi berlangsung dalam kondisi *multipath* LOS dan NLOS antara BS dan SS. Fitur PHY untuk sistem *duplex* pada standar WiMAX diterapkan pada *frequency division duplexing* (FDD) dan *time division duplexing* (TDD) atau keduanya. Penggunaan kanalnya dari 1,7 MHz sampai dengan 20 MHz.

Table 2.5 Fitur Layanan PHY

No	Fitur	Keuntungan
1	Menggunakan sistem <i>signaling</i> FFT 255 OFDM	Mendukung sistem <i>multipath</i> untuk memungkinkan diaplikasikan pada area terbuka dengan kondisi LOS maupun NLOS
2	Ukuran kanal frekuensi yang fleksibel	Dengan fleksibilitas pemakaian frekuensi maka memungkinkan komunikasi menggunakan kanal frekuensi yang bervariasi sesuai kebutuhan
3	Mendukung TDD dan FDD dupleksing	Menangani masalah variasi <i>regulasi</i>
4	Sistem modulasi yang fleksibel mendukung sistem <i>error correction</i>	Memungkinkan koneksi yang <i>realible</i> , memberikan <i>data rate</i> maksimal kepada setiap <i>user</i>

Sumber : www.itttelkom.ac.id

2.3.4.2 Media Access Control (MAC)

MAC didesain untuk aplikasi dengan menggunakan 2 jalur data berkecepatan tinggi untuk komunikasi dua arah antara BS dan SS. Untuk komunikasi dari SS ke BS disebut *uplink* sedangkan untuk komunikasi dari BS ke SS disebut *downlink*. MAC layer mempunyai karakteristik *connection-oriented* dan setiap sambungan diidentifikasi oleh 16-bit *connection identifiers* (CID). CID digunakan untuk membedakan kanal *uplink* dan kanal lainnya.

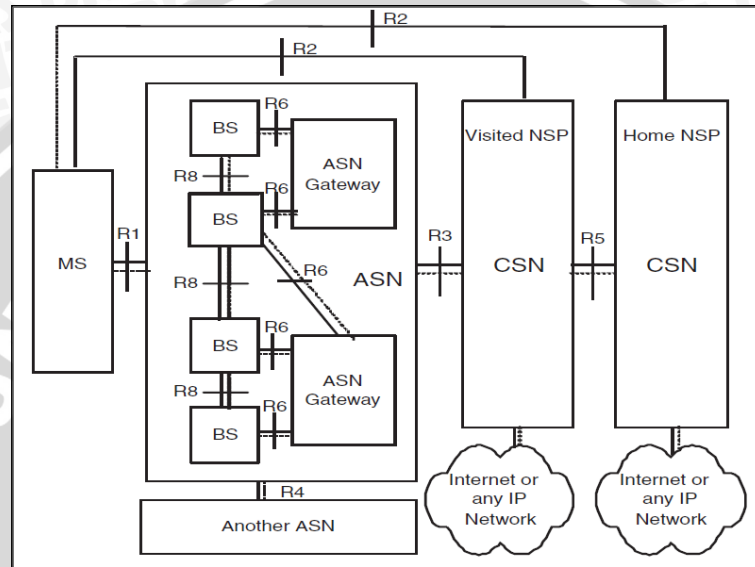
Tabel 2.6 Fitur Layanan MAC

No	Fitur	Keterangan
1	<i>Connection Oriented</i>	Proses <i>routing</i> dan <i>forwarding</i> yang lebih <i>realible</i>
2	<i>Automatic power control</i>	Memungkinkan pembuatan topologi seluler dengan <i>power</i> yang dapat terkontrol secara otomatis
3	<i>Security and encryption</i>	Melindungi kerahasiaan pengguna
4	Mendukung sistem modulasi adaptif	Memungkinkan <i>data rate</i> tinggi
5	<i>Scability</i> tinggi sehingga mendukung banyak <i>user</i>	Biaya penggunaan lebih efektif karena mampu menampung <i>user</i> yang lebih banyak

sumber : www.itttelkom.ac.id

2.3.5 Arsitektur WiMAX

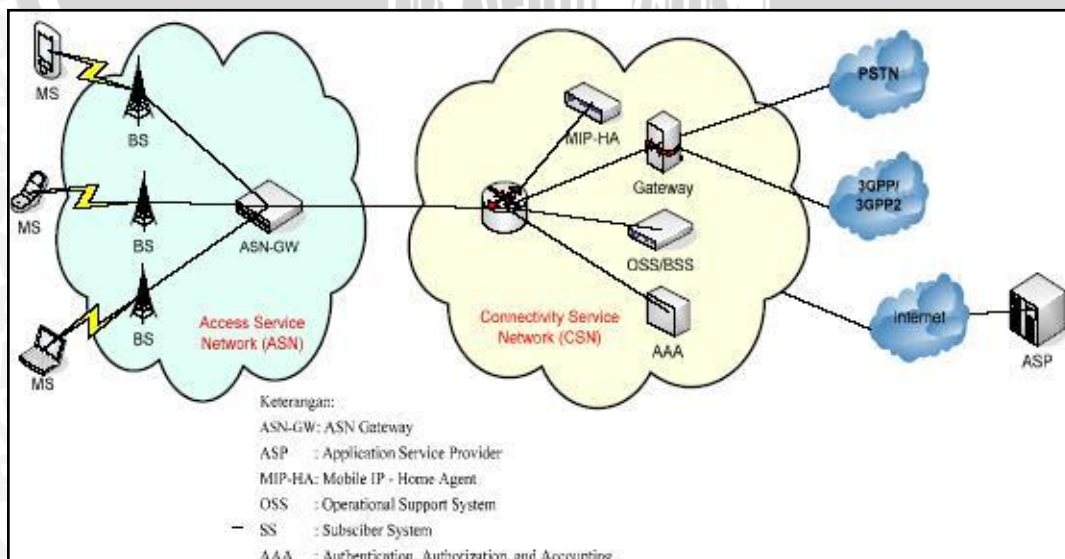
Arsitektur WiMAX secara umum terdiri dari tiga bagian, yaitu *Mobile Station* (MS) atau *Subscriber Station* (SS), *Access Service Network* (ASN) dan *Connectivity Service Network* (CSN). ASN terdiri dari dua bagian, yaitu *Base Station* (BS) dan *ASN Gateway*. BS dihubungkan secara *point to multipoint* untuk melayani pelanggan hingga radius beberapa kilometer tergantung pada daya pancar dan sensitivitas penerima. Sedangkan SS terdapat di pelanggan yang dapat berupa *fixed*, *portable* maupun *mobile*.



Gambar 2.16 Arsitektur WiMAX

Sumber : Jeffrey G Andrews and Arunabha Ghosh, 2007 : 338

Sedangkan dalam aplikasi, konfigurasi WiMAX ditunjukkan dengan gambar 2.17



Gambar 2.17 Konfigurasi Jaringan WiMAX

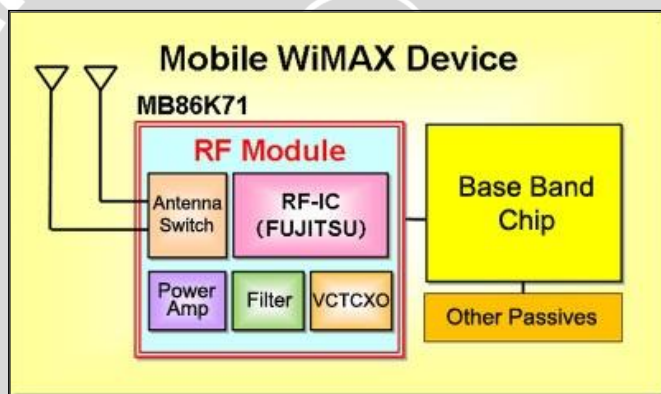
Sumber : ittelkom.ac.id

Konfigurasi jaringan WiMAX pada gambar diatas merupakan konfigurasi untuk jenis pelanggan yang *fixed* atau tidak bergerak maupun bergerak tetapi dengan pergerakan yang terbatas atau *limited mobility*.

Bagian – bagian arsitektur WiMAX terdiri atas :

2.3.5.1 Subscriber Station (SS)

SS merupakan perangkat yang berada di pelanggan yang menyediakan sambungan antara pelanggan dengan BS dan terdiri dari tiga bagian utama yaitu modem, radio dan antena. Modem merupakan antarmuka antara jaringan pelanggan dan *access network*. Sedangkan radio merupakan antarmuka antara modem dan antena. Ketiga bagian tersebut dapat terpisah, terintegrasi per bagian atau terintegrasi penuh dalam satu atau dua perangkat. SS dapat berupa pelanggan bisnis, perkantoran, dan perumahan yang merupakan layanan untuk *public network*.



Gambar 2.18 Arsitektur SS WiMAX Fujitsu

Sumber : Gunawan Wibisono dan Gunadi DH, 2006 : 57

Fungsi masing – masing module dalam perangkat SS WiMAX :

- *Antena Switch* : Pemilih frekuensi yang ditangkap yang selanjutnya akan diteruskan ke sistem.
- *RF-IC* : mengatur dan mengontrol kerja sistem RF.
- *Power Amplifier* : menguatkan daya yang diterima oleh sistem RF.
- *Filter* : melakukan pemilihan terhadap frekuensi yang diinginkan.
- *VCTCXO (Voltage controlled, temperature, compensated crystal oscillator)* : mengatur kontrol, suhu, dan rugi rugi kristal osilator.
- *Base Band Chip* : pusat kerja dari SS WiMAX yang mengatur dan mengontrol semua hal yang dilakukan oleh SS WiMAX.

2.3.5.2 Access Service Network (ASN)

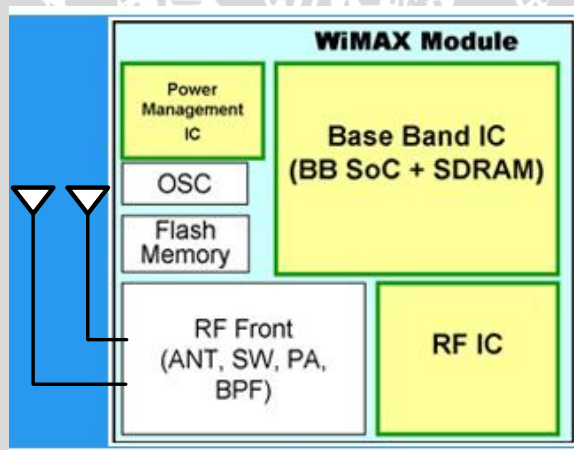
ASN merupakan subsistem yang memberikan semua fungsionalitas koneksi radio dengan pelanggan WiMAX. Tugas utama dari ASN adalah sebagai berikut :

1. Menyediakan konektivitas ke pelanggan WiMAX
2. Mengatur mekanisme *radio resource management* (RRM), seperti *handover* (IEEE 802.16e)
3. *Paging and location management* (IEEE 802.16e)
4. Mengkoneksikan antara SS dengan CSN
5. *Tunneling* data dan *signaling* antara ASN dengan CSN

Pada jaringan WiMAX, ASN terdiri dari dua bagian, yaitu *Base Station* (BS) dan *ASN Gateway*.

➤ *Base Station* (BS)

BS merupakan perangkat *transceiver* (*transmitter* dan *receiver*) yang bertanggung jawab untuk melayani SS. BS terdiri dari satu atau lebih radio *transceiver*, dimana setiap radio *transceiver* terhubung ke beberapa SS di dalam sebuah area. Radio modem terhubung dengan *multiplexer*.



Gambar 2.19 Arsitektur BS WiMAX Fujitsu

Sumber : gunawan wibisono dan Gunadi DH, 2006 : 60

Fungsi masing – masing module dalam perangkat SS WiMAX :

- *Power Management IC* : kontroler dalam pembagian konsumsi daya elektrik dalam perangkat BS.
- *Flash memory* : menghapus dan menulis data dalam operasi satu pemrograman.

- *Baseband IC* : pusat kerja dari BS WiMAX yang mengatur dan mengontrol semua hal yang dilakukan oleh BS WiMAX.
- *RF Front* : Sistem dalam penerimaan gelombang elektromagnetik, yang terdiri dari Antena, *power amplifier*, *band pass filter* dan SW.
- *RF IC* : mengatur dan mengontrol kerja sistem RF

➤ **ASN Gateway**

ASN Gateway bertugas untuk *radio source management* dan *admission control*, *routing* ke CSN, *location management* dan *paging*.

2.3.5.3 Connectivity Service Network (CSN)

CSN mempunyai fungsi utama untuk menyediakan konektivitas antara SS dengan layanan WiMAX dan fungsi jaringan umum lainnya. Dalam arsitektur WiMAX, tugas CSN secara keseluruhan adalah :

1. Alokasi *IP address* pada SS
2. Layanan *billing* pada pelanggan
3. Mengontrol koneksi akses internet dan akses ke jaringan IP yang lain
4. *Quality of Service (QoS) management*

Untuk aplikasi MAN, topologi jaringan yang digunakan adalah gabungan dari topologi *point to point*, *point to multipoint* maupun *mesh network*. Jumlah BS lebih dari satu buah untuk melayani wilayah metropolitan dengan jumlah SS yang banyak. Topologi *point to point* digunakan untuk menghubungkan BS satu dengan BS lainnya sebagai *backhaul*. Sedangkan topologi *point to multipoint* digunakan untuk menghubungkan BS dengan SS.

Proses hubungan antara BS dan SS WiMAX adalah sebagai berikut :

1. SS mengirimkan data dengan *data rate* maksimal 75 Mbps ke BS.
2. BS akan menerima sinyal dari pelanggan dan mengirimkan sinyal tersebut ke *switching center* melalui jaringan *wireless* atau kabel.
3. *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider (ISP)* atau *public switched telephone network (PSTN)*.

2.3.6 Aplikasi fixed WiMAX

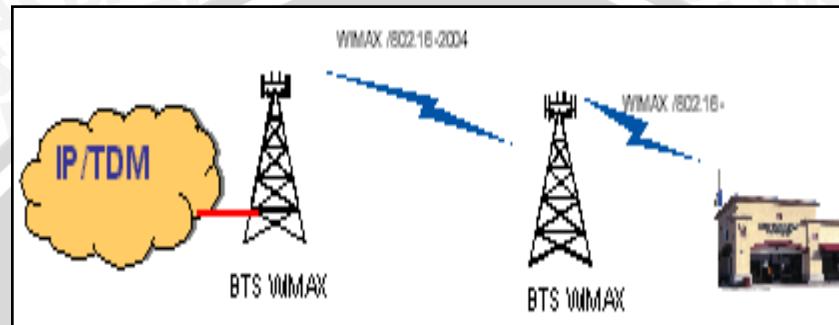
Berbagai keunggulan yang diberikan WiMAX, menjadikan teknologi ini sebagai solusi dari era teknologi *broadband*. WiMAX IEEE 802.16d dapat diaplikasikan pada aplikasi yang lain, yaitu aplikasi *backhaul*, akses *broadband* dan *personal broadband*.

2.3.7.1 Aplikasi *Backhaul*

Untuk aplikasi *backhaul*, WiMAX dapat dimanfaatkan untuk *backhaul* WMAN, *backhaul* hotspot dan lain sebagainya.

- *Backhaul* WMAN

Dalam konteks WiMAX sebagai *backhaul* WMAN, aplikasinya mirip dengan fungsi BTS sebagai *repeater*, yang bertujuan untuk memperluas jangkauan dari WiMAX. Konfigurasinya adalah seperti pada gambar 2.20.

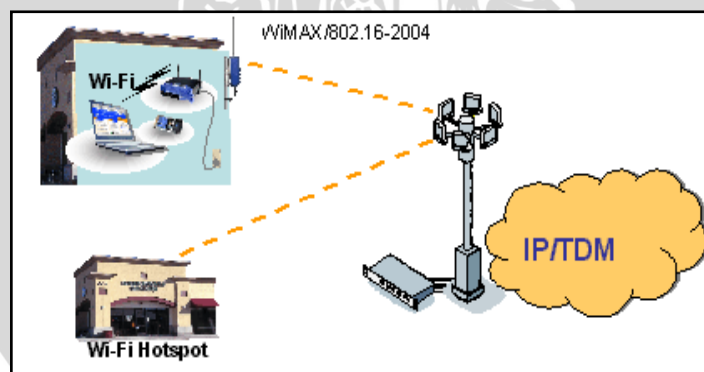


Gambar 2.20 WiMAX sebagai *Backhaul* WMAN

Sumber : www.ristinet.com

- *Backhaul* Hotspot

Pada aplikasi ini, WiMAX merupakan solusi dari keterbatasan jaringan kabel yang umumnya digunakan pada teknologi ADSL yang biasanya digunakan sebagai *backhaul* hotspot. Konfigurasi dari aplikasi ini adalah seperti pada gambar 2.21.

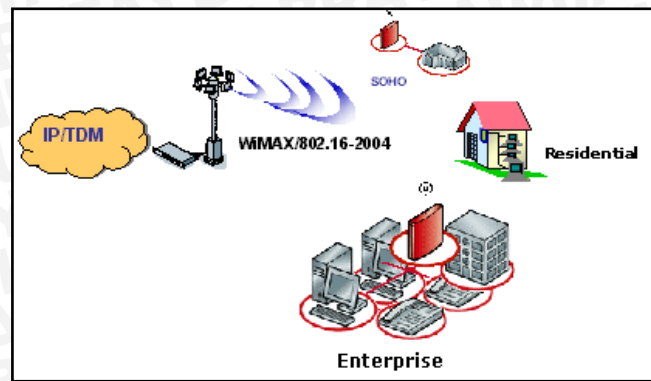


Gambar 2.21 WiMAX sebagai *Backhaul* Hotspot

Sumber : www.ristinet.com

2.3.7.2 Akses *Broadband*

WiMAX dapat diaplikasikan untuk melayani kebutuhan *broadband* bagi pelanggan, baik pelanggan rumahan atau perusahaan. Konfigurasi dari aplikasi ini adalah seperti pada gambar 2.22.

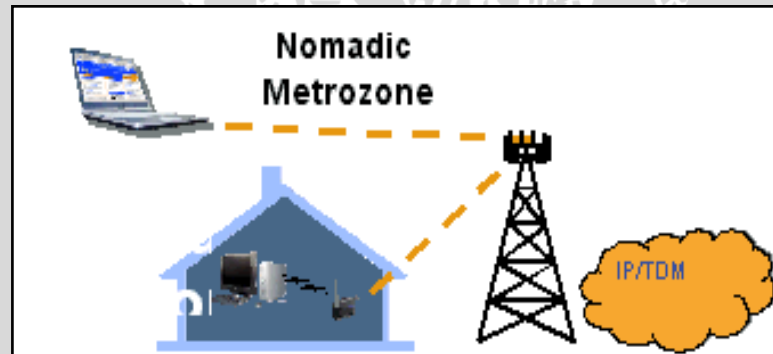


Gambar 2.22 WiMAX sebagai akses *Broadband*

Sumber : www.ristinet.com

2.3.7.3 Personal *Broadband*

WiMAX sebagai penyedia layanan *personal broadband* dibagi menjadi dua berdasarkan tingkat perpindahan dari pengguna, yaitu *nomadic* dan *mobile*. WiMAX IEEE 802.16d merupakan teknologi WiMAX yang hanya bisa melayani *personal broadband* yang bersifat *nomadic* dengan tingkat perpindahan sedikit, kecepatannya rendah dan tidak terjadi *handover*. Konfigurasi dari aplikasi ini adalah seperti pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 WiMAX sebagai *personal broadband*

Sumber : www.ristinet.com

2.4 Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX

Dalam perencanaan jaringan WMAN akan dilakukan beberapa tahap perhitungan. Sehingga dari hasil perhitungan yang dilakukan akan didapatkan suatu jaringan yang baik. Perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX meliputi beberapa langkah yaitu perhitungan jumlah pelanggan, perhitungan kapasitas kanal, penentuan *bandwidth*, perhitungan *bitrate*, perhitungan radius sel dan jumlah sel,

penentuan media transmisi, penentuan jenis antena dan perhitungan *pathloss*, level daya pancar dan level daya terima.

2.4.1 Peramalan Jumlah Pelanggan

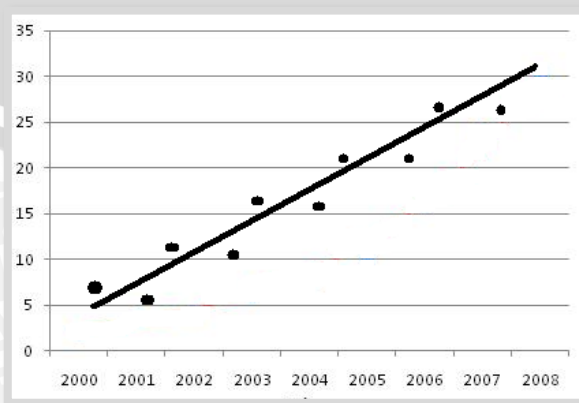
Peramalan jumlah pelanggan adalah perkiraan jumlah pelanggan dalam beberapa tahun kedepan. Berdasarkan data pelanggan yang didapat, dilakukan estimasi jumlah pelanggan hingga beberapa tahun ke depan, sehingga hasil perencanaan dapat digunakan hingga beberapa tahun ke depan. Dalam menentukan perkiraan jumlah pelanggan akan dilakukan beberapa tahapan yaitu peramalan jumlah penduduk, perhitungan penduduk usia produktif, penentuan faktor penetrasi dan perhitungan jumlah pelanggan.

2.4.1.1 Peramalan Jumlah Penduduk

Peramalan jumlah penduduk dilakukan berdasarkan data kependudukan kota Malang. Data yang diperoleh adalah data antara tahun 2004 sampai tahun 2008. Data tersebut selanjutnya akan digunakan untuk meramalkan jumlah penduduk lima tahun mendatang, yaitu tahun 2013. Peramalan jumlah penduduk ini akan menggunakan tiga buah metode, yaitu metode *trend linier*, *trend kuadratik* dan *trend eksponensial*. Untuk mengetahui metode yang paling tepat digunakan, ketiga metode tersebut akan dicoba satu persatu. Metode yang baik adalah metode yang mempunyai selisih paling kecil antara nilai sebenarnya dan nilai hasil penghitungan.

a. Metode *Trend Linier*

Metode *trend linier* adalah metode perkiraan pelanggan yang paling sederhana. Metode ini digunakan dalam keadaan jumlah penduduk cenderung terus meningkat dengan pola linier. Metode trend linier akan mempunyai keakurasian yang paling tepat jika periode waktu yang digunakan dalam jangka panjang.



Gambar 2.24 Metode *trend linier*

Sumber : *network planning.pdf*

Persamaan umum dari metode *trend linier* adalah :

$$Y' = a + b.X \quad (2-1)$$

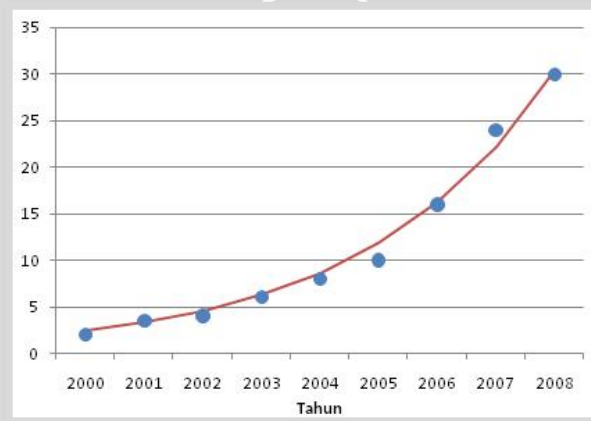
Untuk mengetahui nilai a dan b maka digunakan persamaan :

$$\sum Y = n.a + b \sum X \quad (2-2)$$

$$\sum XY = a \sum X + b \sum X^2 \quad (2-3)$$

b. Metode *Trend Kuadratik*

Metode *trend kuadratik* digunakan untuk mengatasi masalah yang tidak dapat diselesaikan dengan metode *trend linier* dengan pertumbuhan penduduk yang kadang sangat pesat. Metode ini dapat digunakan untuk pengamatan dalam jangka waktu menengah dan pendek (5 – 15 tahun).



Gambar 2.25 metode trend kuadratik

Sumber : *network planning.pdf*

Persamaan umum dari metode *trend kuadratik* adalah :

$$Y' = a + bX + cX^2 \quad (2-4)$$

Untuk mengetahui nilai dari a , b dan c maka digunakan persamaan :

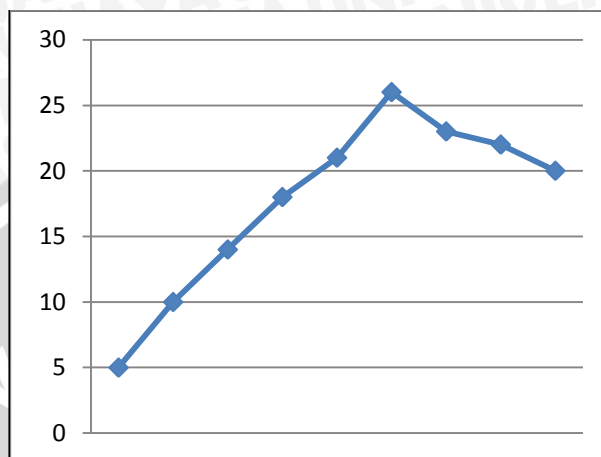
$$\sum Y = an + b \sum X + c \sum X^2 \quad (2-5)$$

$$\sum XY = a \sum X + b \sum X^2 + c \sum X^3 \quad (2-6)$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4 \quad (2-7)$$

c. Metode Trend Eksponensial

Metode *trend eksponensial* biasanya digunakan pada data yang nilainya mengalami kenaikan atau penurunan secara *eksponen*. Metode ini digunakan untuk meramalkan jumlah penduduk yang pertumbuhannya tidak menentu. Metode ini tepat digunakan untuk pengamatan jangka pendek (kurang dari 5 tahun).



Gambar 2.26 metode trend eksponensial

Sumber : *network planning.pdf*

Persamaan umum dari metode *trend eksponensial* adalah :

$$Y' = ab^x \quad (2-8)$$

Bentuk persamaan metode *trend eksponensial* tersebut dapat diubah menjadi bentuk persamaan *trend linier*, yaitu :

$$Y' = ab^x \quad (2-9)$$

$$\log Y' = \log ab^x \quad (2-10)$$

$$\log Y' = \log a + \log b^x \quad (2-11)$$

$$\log Y' = \log a + X(\log b) \quad (2-12)$$

Bila $\log Y' = Y_0$, $\log a = a_0$ dan $\log b = \log b_0$, maka persamaan tersebut menjadi :

$$Y_0 = a_0 + b_0X \quad (2-13)$$

Maka

$$Y' = 10^{(a_0 + b_0X)} \quad (2-14)$$

Untuk mengetahui nilai dari a_0 dan b_0 maka digunakan persamaan :

$$\sum Y_0 = a_0n + b_0 \sum X \quad (2-15)$$

$$\sum XY_0 = a_0 \sum X + b_0 \sum X^2 \quad (2-16)$$

$$Y_0 = \log Y \quad (2-17)$$

Keterangan :

X = Periode waktu pengamatan

Y = Kepadatan penduduk sebenarnya

Y' = Kepadatan penduduk hasil penghitungan

n = banyaknya pengamatan

2.4.1.2 Usia Produktif

Usia produktif adalah penduduk yang berada pada usia 15 – 65 tahun yang dianggap masih produktif. Jumlah penduduk usia produktif diperoleh dari hasil peramalan jumlah penduduk yang telah dilakukan sebelumnya. Jumlah penduduk usia produktif ini diasumsikan sebagai penduduk yang menggunakan layanan internet. Diasumsikan bahwa jumlah penduduk usia produktif adalah 70% dari jumlah penduduk keseluruhan.

$$\text{Jumlah_penduduk_usia_produktif} = 70\% \times \text{jumlah_penduduk_total} \quad (2-18)$$

2.4.1.3 Faktor Penetrasi

Faktor penetrasi adalah rasio perbandingan antara jumlah pelanggan, jumlah saluran yang tersedia, *suspressed* demand dengan jumlah bangunan yang ada pada daerah tersebut. Persamaan umum untuk mengetahui faktor penetrasi suatu daerah adalah :

$$FP = \frac{\sum \text{saluran terpasang} + \text{Calon pelanggan} + \text{suspressed demand}}{\sum \text{bangunan}} \quad (2-19)$$

Keterangan :

FP = Faktor penetrasi

2.4.1.4 Pelanggan WiMAX

Pelanggan WiMAX adalah jumlah pelanggan yang diperkirakan akan menggunakan layanan WiMAX pada tahun yang telah ditentukan. Jumlah pelanggan WiMAX dihitung berdasarkan hasil perhitungan jumlah penduduk usia produktif pada operator. Untuk mengetahui jumlah pelanggan WiMAX akan digunakan persamaan :

$$\text{Pelanggan WiMAX} = \text{user operator} \times FP \quad (2-20)$$

2.4.2 Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal adalah jumlah kanal maksimum yang dapat terlayani oleh sebuah BS. Kapasitas kanal diperlukan untuk mengetahui kebutuhan BS untuk melayani pelanggan. Dalam mencari kapasitas kanal terlebih dahulu akan dilakukan penghitungan trafik total pada daerah tersebut. Perhitungan kapasitas kanal ini akan menggunakan tabel Erlang B dengan *grade of services* (GOS) 2%. Hal ini berarti dari 100 proses yang terjadi, 2 diantaranya tidak akan terlayani. Dalam perhitungannya akan ditentukan terlebih dahulu trafik total yang dibutuhkan, selanjutnya dengan menggunakan tabel Erlang B akan diketahui jumlah kanal yang dibutuhkan. Trafik tiap pelanggan adalah sebesar 6 mErlang. Perhitungan kapasitas kanal ini akan dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$A_{\text{total}} = A_{\text{user}} \times \sum \text{pelanggan WiMAX} \quad (2-21)$$

Keterangan :

A_{total} = trafik total yang dibutuhkan

A_{user} = trafik tiap pelanggan (6 mErlang)

2.4.3 Bandwidth

Bandwidth adalah lebar kanal dari suatu sistem telekomunikasi yang dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz). Peraturan mengenai *bandwidth* layanan BWA telah diatur oleh Dirjen Pos dan Telekomunikasi. Dalam penentuan *bandwidth*, yang digunakan adalah *bandwidth* seminimal mungkin tetapi masih mampu untuk melayani kebutuhan pelanggan. Hal ini dilakukan untuk menghemat biaya yang digunakan dan menghindari adanya interferensi dengan frekuensi yang lain. Dalam menentukan *bandwidth* total yang dibutuhkan digunakan persamaan :

$$B_{w \text{ total}} = B_{w \text{ kanal}} \times \text{jumlah kanal} \quad (2-22)$$

2.4.4 Bit Rate

Bit rate adalah kecepatan pengiriman informasi melalui media transmisi dan dinyatakan dengan satuan bit/detik (bps). perhitungan *bit rate* dilakukan dengan memasukkan nilai frekuensi kanal yang digunakan dan banyaknya simbol sesuai dengan modulasi yang digunakan.

$$R = \frac{2 \log n}{t_b} \quad (2-23)$$

Keterangan :

R = Bit Rate (bps)

n = Banyaknya simbol

t_b = Durasi bit (detik)

Jika hanya terdapat satu bit untuk tiap simbol (0 dan 1), maka $n = 2$ dan persamaan *bit rate* menjadi :

$$R = \frac{2 \log 2}{t_b} = \frac{1}{t_b} \quad (2-24)$$

Jika bit – bit dibentuk menjadi dua bit yaitu 00, 01, 10 dan 11 maka akan terdapat empat kemungkinan kondisi jalur, sehingga *bit rate* adalah :

$$R = \frac{2 \log 4}{t_b} = \frac{2}{t_b} \quad (2-25)$$

Bila bit – bit yang dibentuk dengan beberapa (n) kemungkinan jalur, maka *bit rate* adalah :

$$R = \frac{2 \log n}{t_b} = B_{w \text{ kanal}} \times 2 \log n \quad (2-26)$$

Keterangan :

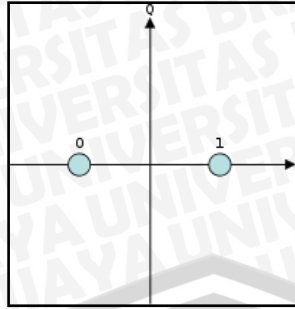
B_w = Bandwidth kanal yang digunakan (Hz)

n = Banyaknya simbol

Nilai suatu *bit rate* akan berbeda – beda sesuai dengan jenis modulasi yang digunakan. Dalam standar IEEE 802.16d modulasi yang diperbolehkan adalah modulasi BPSK, QPSK, 16 QAM dan 64 QAM.

2.4.4.1 Modulasi BPSK

BPSK adalah bentuk yang paling sederhana dari PSK. BPSK menggunakan dua fasa yang terpisah 180 derajat dan juga dapat disebut dengan 2-PSK. Modulasi BPSK adalah modulasi yang paling tahan terhadap *noise* bila dibandingkan dengan semua jenis modulasi PSK yang lain dan tahan terhadap interferensi. Dalam BPSK hanya ada dua keluaran yang membawa informasi yang berupa 1 bit untuk setiap simbol (0 dan 1) dan tidak cocok untuk aplikasi *data rate* tinggi dengan *bandwidth* yang dibatasi.

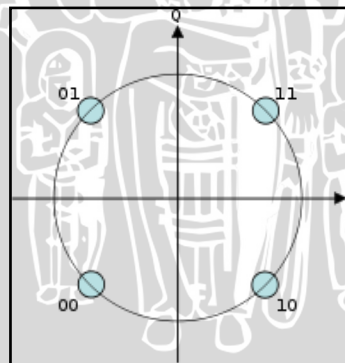


Gambar 2.27 (b) Diagram konstelasi BPSK

Sumber : *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, 2004 : 442

2.4.4.2 Modulasi QPSK

QPSK dikenal juga dengan *quaternary* atau *quadriphase* PSK atau 4 PSK. QPSK menggunakan 4 titik diagram *konstelasi* dengan mengirimkan 2 bit untuk setiap simbol (00, 01, 10, 11). Dengan menggunakan 4 fasa, QPSK dapat melakukan *encode* dua bit per simbol. Dalam *QPSK* ada empat fasa keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda pula. Keunggulan QPSK adalah mampu mentransmisikan data dua kali lebih cepat dibandingkan dengan BPSK dan lebih efisien dalam penggunaan spectrum frekuensi. Sedangkan kelemahannya adalah kurang tahan terhadap *noise* dan rawan terjadi interferensi dari sinyal lain.



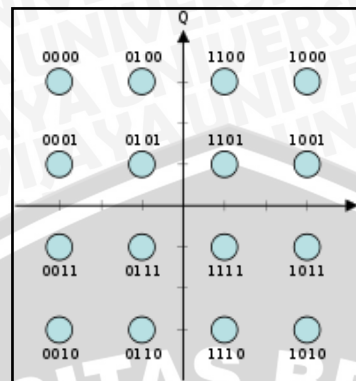
Gambar 2.28 Diagram konstelasi modulasi QPSK

Sumber : *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, 2004 : 442

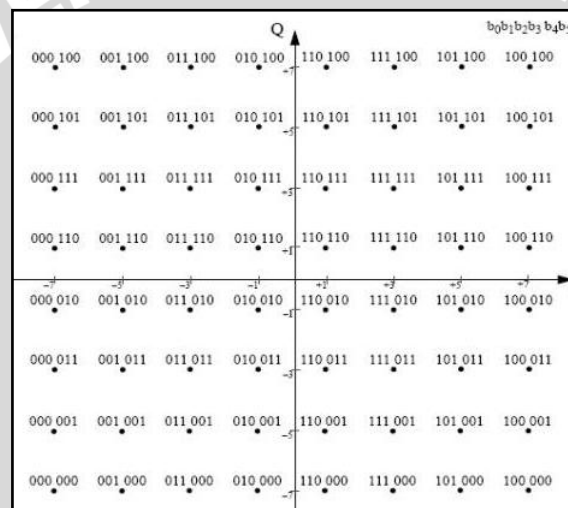
2.4.4.3 *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

QAM merupakan teknik modulasi yang merupakan perpaduan antara ASK dan PSK. Sehingga pada QAM, amplitudo dan fasa sinyal *carrier* akan berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi, yang mengakibatkan sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran fasa. Modulasi QAM membawa data dengan merubah parameter dari sinyal *carrier* untuk merespon sinyal. Dalam hal ini, amplitudo

dua sinyal *carrier* QAM yang berbeda fasa 90 derajat antara satu dengan lainnya dirubah untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan. Jenis modulasi QAM yang digunakan dalam teknologi WiMAX adalah 16-QAM dan 64-QAM.



(a)



(b)

Gambar 2.29 (a) Diagram konstelasi 16 QAM (b) Diagram konstelasi 64 QAM

Sumber : *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, 2004 : 442

2.4.5 Radius Sel

Radius sel adalah jarak terjauh yang masih dapat terlayani oleh sebuah BS. Dalam penentuan radius sel harus diperhatikan jumlah pelanggan dan kebutuhan trafiknya. Radius sel sangat diperlukan karena dengan mengetahui radius sel, maka dapat diketahui jumlah BS yang diperlukan untuk dapat melayani pelanggan pada daerah pelayanan. Besar radius sel dinyatakan dengan persamaan :

$$R = \sqrt{\frac{\text{Kapasitas pelanggan BS}}{\pi x \Omega}}$$

2-27

Dengan nilai Ω adalah kerapatan pelanggan yang merupakan perbandingan antara jumlah pelanggan dengan luas area pelayanan, yang dinyatakan dengan :

$$\Omega = \frac{\text{jumlah pelanggan}}{\text{Luas area}} \quad (2-28)$$

Keterangan :

R = Radius sel (km)

Ω = kerapatan pelanggan

2.4.6 Lokasi BS

Dalam penentuan lokasi BS ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu kondisi geografis dan data statistik dari wilayah perencanaan. Dengan pertimbangan tersebut maka penempatan BS sebaiknya diutamakan pada lokasi yang padat dengan kegiatan bisnis, perumahan, sarana umum dan jalan – jalan yang merupakan jalur lalu lintas utama di wilayah perencanaan.

Dalam menentukan lokasi BS langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data statistik dari setiap daerah yang ada di wilayah perencanaan dan membaginya menjadi beberapa kategori. Dalam penempatan BS, lokasi tersebut harus memenuhi minimal satu dari kategori sebagai berikut :

Kategori I : Pusat Perbelanjaan, Lokasi Bisnis, Perkantoran dan Industri

Kategori II : Universitas, Sekolah dan Rumah Sakit

Kategori III : Perumahan Umum dan Perumahan Mewah

Kategori IV : Terminal, Stasiun dan Jalan Protokol

Kategori V : Sarana Umum (Alun – alun, Stadion dll)

2.4.7 Kabel Transmisi

Dalam sebuah sistem telekomunikasi peran sebuah media transmisi sangat penting. Komunikasi *wireless* menggunakan medium udara untuk menyampaikan datanya dari *transmitter* menuju *receivernya*. Namun dalam sebuah *transmitter* maupun *receiver* tetap dibutuhkan kabel transmisi yang akan menghubungkan ke jaringan selanjutnya. Dalam arsitektur WiMAX kabel ini digunakan untuk menghubungkan antara BS dengan ASN *gateway* dan ASN *gateway* ke CSN. Spesifikasi kabel yang diperbolehkan adalah kabel yang mampu menangani kapasitas sistem yang dibutuhkan. Jenis – jenis kabel transmisi tersebut adalah kabel *twisted pair*, kabel koaksial dan *fiber optic* atau serat optik.

2.4.7.1 Kabel *Twisted Pair*

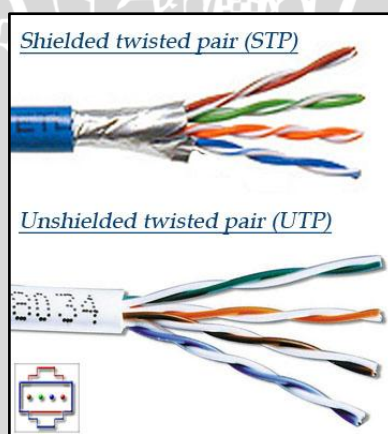
Twisted pair cable adalah kabel yang terdiri dari dua buah konduktor yang digabungkan dengan tujuan untuk mengurangi atau meniadakan interferensi elektromagnetik dari luar seperti radiasi elektromagnetik dan *crosstalk* yang terjadi di antara kabel yang berdekatan. Ada dua macam *Twisted Pair*, yaitu kabel STP dan UTP.

a. Kabel STP (*Shielded Twisted Pair*)

Kabel STP merupakan salah satu jenis kabel yang digunakan dalam jaringan komputer. Kabel ini berisi dua pasang kabel (empat kabel) yang setiap pasang dipilin. Kabel STP lebih tahan terhadap gangguan yang disebabkan posisi kabel yang tertekuk. Pada kabel STP *attenuasi* akan meningkat pada frekuensi tinggi sehingga menimbulkan *crosstalk* dan *noise*.

b. Kabel UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

Kabel UTP banyak digunakan dalam instalasi jaringan komputer. Kabel ini berisi empat pasang kabel yang tiap pasangannya dipilin (*twisted*). Kabel ini tidak dilengkapi dengan pelindung (*unshilded*). Kabel UTP mudah dipasang, ukurannya kecil, dan harganya lebih murah dibandingkan jenis media lainnya. Kabel UTP sangat rentan dengan efek interferensi listrik yang berasal dari media di sekelilingnya.



Gambar 2.30 Kabel *Twisted Pair* STP dan UTP

Sumber : www.wikipedia.org

2.4.7.2 Kabel Koaksial

Kabel koaksial adalah jenis kabel yang menggunakan dua buah konduktor. Kabel ini dapat digunakan untuk mentransmisikan signal dengan frekuensi 300 kHz keatas. Karena kemampuannya dalam menyalurkan frekuensi tersebut, maka sistem transmisi dengan menggunakan kabel koaksial memiliki kapasitas kanal yang cukup

besar. Kabel koaksial terbagi menjadi dua jenis, yaitu *thick coaxial cable* dan *thin coaxial cable*.

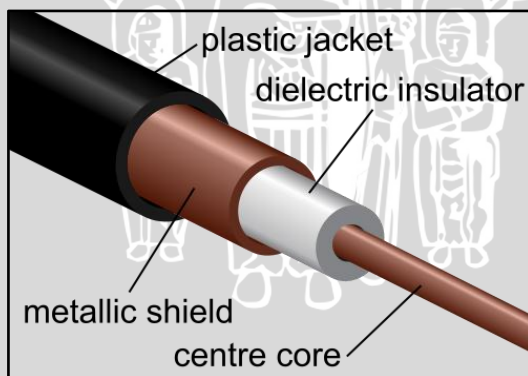
a. Thick Coaxial Cable

Kabel ini mempunyai rata – rata diameter 12 mm dan biasanya diberi warna kuning. Kabel ini cukup sulit untuk dilakukan pemasangan karena ukurannya yang sangat besar dan biayanya sangat mahal, sehingga kabel ini hanya dipergunakan untuk kepentingan khusus.

b. Thin Coaxial Cable

Kabel ini mempunyai rata – rata diameter 5 mm dan biasanya diberi warna hitam atau warna gelap. Kabel ini banyak dipergunakan di radio amatir terutama untuk *receiver* yang tidak memerlukan output daya yang besar. Keunggulan dari kabel ini adalah mudah untuk dilakukan pemasangan sehingga biayanya pun sangat murah.

Keunggulan kabel koaksial adalah dapat digunakan untuk menyalurkan informasi sampai dengan 900 kanal telepon, dapat ditanam di dalam tanah, kemungkinan terjadi interferensi dengan sistem lain kecil. Kelemahan kabel koaksial adalah mempunyai redaman yang relatif besar sehingga untuk hubungan jarak jauh harus dipasang *repeater*, jika kabel dipasang diatas tanah, rawan terhadap gangguan-gangguan fisik yang dapat berakibat putusnya hubungan.



Gambar 2.31 Kabel Koaksial

Sumber : www.wikipedia.org

2.4.7.3 Serat Optik

Serat optik atau *fiber optic* merupakan sebuah kaca murni yang panjang dan tipis serta mempunyai diameter yang sangat kecil yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Serat optik terdiri dari tiga bagian yaitu *cladding*, *core* dan *buffer coating*. *Cladding* adalah materi yang mengelilingi inti (*core*)

yang berfungsi memantulkan kembali cahaya ke dalam inti. *Core* adalah kaca tipis yang merupakan bagian dari inti dari serat optik yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal. *Buffer coating* adalah plastik pelapis yang melindungi serat optik dari kerusakan. *Cladding* mempunyai indeks bias yang sangat rendah di dibandingkan dengan *core*.

Berdasarkan mode perambatannya, serat optik dibagi menjadi 2, yaitu :

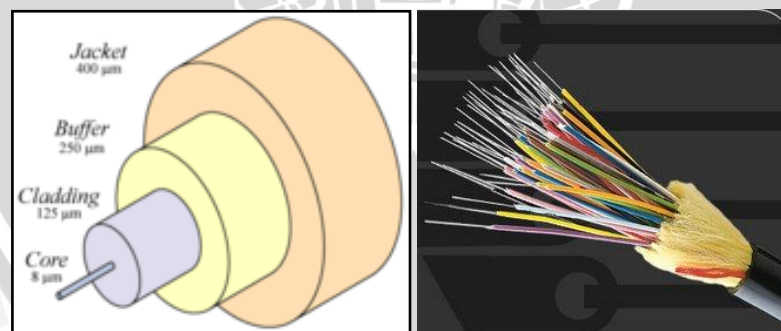
1. **Single mode** : serat optik dengan *core* yang sangat kecil, diameter mendekati panjang gelombang sehingga cahaya yang masuk ke dalamnya tidak terpantul-pantul ke dinding *cladding*.
2. **Multi mode** : serat optik dengan diameter *core* yang agak besar yang membuat cahaya didalamnya akan terpantul-pantul di dinding *cladding*.

Sedangkan berdasarkan indeks bias core, serat optik dibagi menjadi 2, yaitu :

1. **Step indeks** : pada serat optik step indeks, *core* memiliki indeks bias yang homogen.
2. **Graded indeks** : indeks bias *core* semakin mendekat ke arah *cladding* semakin kecil. Jadi pada *graded* indeks, pusat *core* memiliki nilai indeks bias yang paling besar.

Dibandingkan dengan media transmisi yang lain, serat optik mempunyai kelebihan, yaitu :

- Redaman transmisi kecil
Transmisi jarak jauh tidak akan menemui kerugian sinyal yang berarti.
- *Bandwidth* yang besar
Bandwith yang bisa terlayani sangat besar dan dengan *bit rate* yang besar.
- Ukuran kecil dan ringan



Gambar 2.32 Bagian Serat Optik dan Bentuk Fisik Serat Optik

Sumber : wikipedia.org

2.4.8 Jenis Antena BS

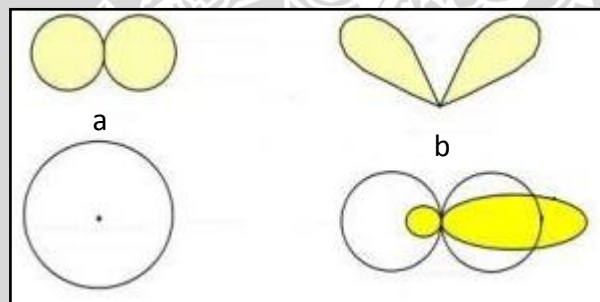
Secara umum ada dua jenis antena yang biasa digunakan oleh operator telekomunikasi. Kedua jenis antena tersebut adalah antena *omnidirectional* dan antena *directional*.

2.4.8.1 Antena *Omnidirectional*

Antena *Omnidirectional* akan berfungsi optimal jika wilayah pelayanannya mempunyai kontur wilayah yang rata dengan sedikit penghalang sinyal. Hal ini berkaitan dengan karakteristik gelombang radio yang dipancarkan ke segala arah merata sehingga BS harus berada di tengah – tengah sel. Pada jenis antena ini jangkauan antena dibuat sama dari titik pusat BS.

2.4.8.2 Antena *Directional*

Antena *directional* cocok digunakan untuk daerah yang memiliki permukaan yang tidak merata atau berbukit. Dengan antena ini, letak antena tidak harus berada di tengah – tengah sel. Hal ini disebabkan karena antena *directional* mempunyai pancaran gelombang radio hanya ke suatu arah tertentu saja. Sehingga dalam perencanaannya dapat diatur arah antena ke arah yang diinginkan dengan memperhatikan lebar sudut pengarahannya, sehingga dapat mencakup wilayah yang diinginkan. Jika menggunakan antena *directional*, maka lokasi BS ditempatkan di sudut yang dipilih dari suatu sel. Jika dipakai antena dengan sudut pengarahannya 120 derajat, maka untuk mencakup suatu sel dibutuhkan tiga buah antena berarah yang ditempatkan pada tiga sudut sel.



Gambar 2.33 (a) Pola Radiasi *Omnidirectional* (b) Pola Radiasi *Directional*

Sumber : Boucher, 1995 : 108

2.4.9 Path Loss

Fungsi dari *path loss* adalah untuk mengetahui *loss* yang terjadi selama proses pengiriman data di dalam media transmisi. Model *path loss* pada WiMAX menggunakan model Hata. Model Hata adalah formula analisis yang didasarkan pada pengukuran *path loss* data yang dilakukan oleh Okumura Hata pada tahun 1965. Model Hata adalah satu model yang paling luas digunakan untuk estimasi besar *path loss* pada sistem makro seluler.

Persamaan *path loss* untuk model Hata adalah :

$$PL \text{ (dB)} = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(d) - a(h_m) + C_F \quad (2-29)$$

Faktor koreksi C_F adalah 3 dB untuk daerah urban dan 0 dB untuk daerah sub urban.

$a(h_m)$ adalah faktor koreksi antenna SS yang dinyatakan dengan :

$$a(h_m) = (1.11 \log(f) - 0.7)h_m - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (2-30)$$

Keterangan :

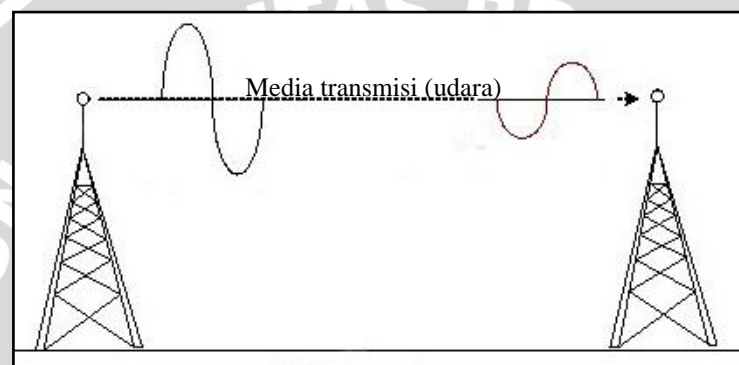
PL = *Path loss* (km)

F = Frekuensi kerja (MHz)

d = Jarak maksimum antara BS dengan SS (km)

h_b = Tinggi antenna BS (m)

h_m = Tinggi antenna SS (m)



Gambar 2.34 Redaman Sinyal (*Path Loss*)

Sumber : Roger L. freeman, 2000 : 248

2.4.10 Level Daya

Level daya adalah besarnya daya yang diterima atau dipancarkan. Pada daerah dengan kondisi yang penuh halangan dan rintangan, hubungan antara BS dengan SS adalah NLOS, maka level sinyal yang diterima oleh SS bergantung pada level daya yang dipancarkan oleh BS, jarak antara BS dengan SS dan besar *path loss* selama proses pengiriman sinyal dari BS menuju SS. Besar level daya diterima SS adalah :

$$P_r = P_t + G_t - G_r - PL - C_r - C_t \quad (2-31)$$

Level daya ini harus memenuhi batas minimal daya yang diterima. Batas minimal ini biasa disebut dengan *receiver sensitivity* sehingga sinyal akan dapat diproses oleh penerima dengan baik.

Sedangkan level daya pancar pada BS dinyatakan dengan menggunakan persamaan :

$$P_t = P_r - G_t + G_r + PL + C_t + C_r \quad (2-32)$$

Keterangan :

P_t = Level daya pancar (dBm)

P_r = Level daya terima (dBm)

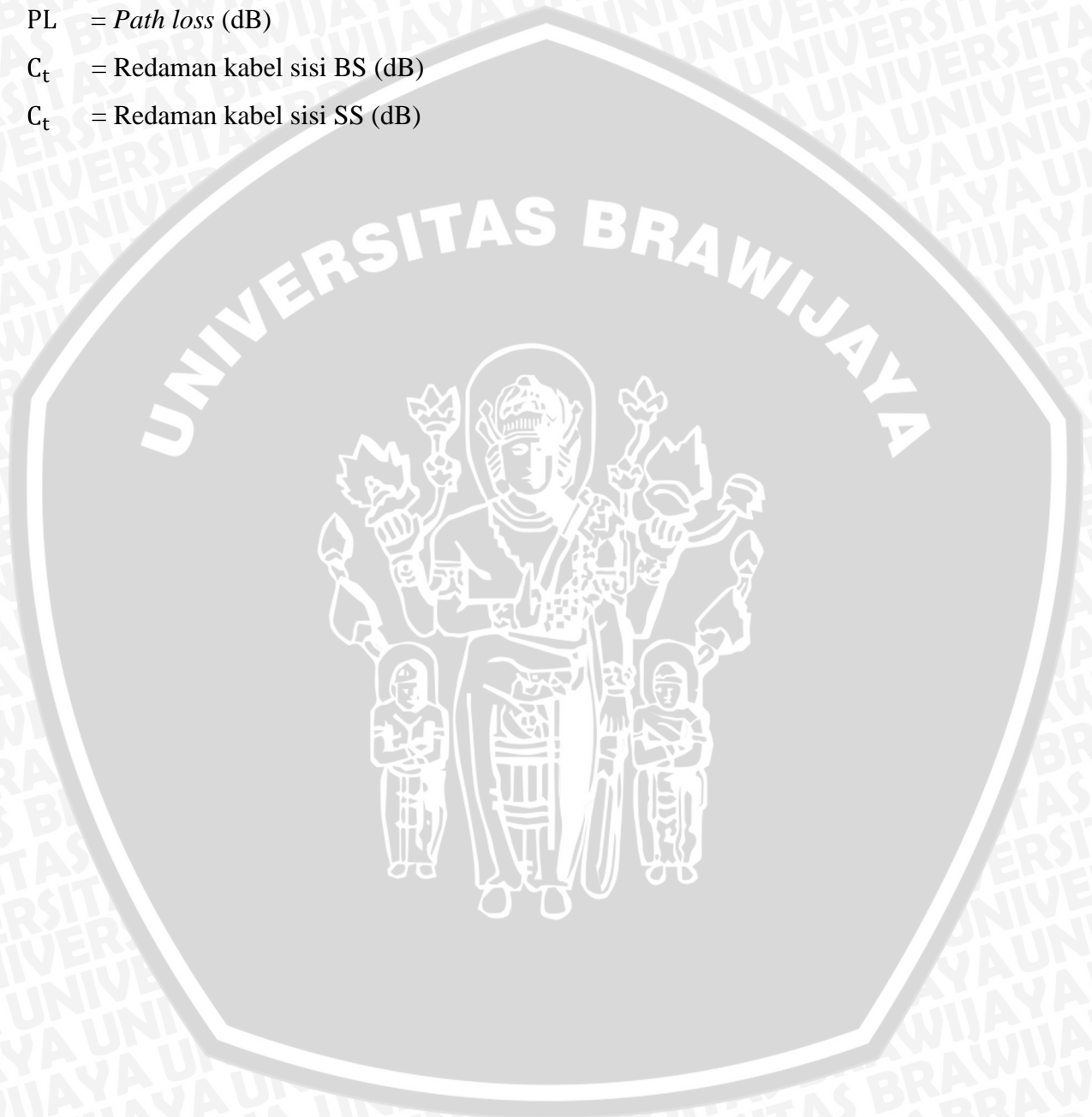
G_t = Gain antena BS (dBi)

G_r = Gain antena SS (dBi)

PL = *Path loss* (dB)

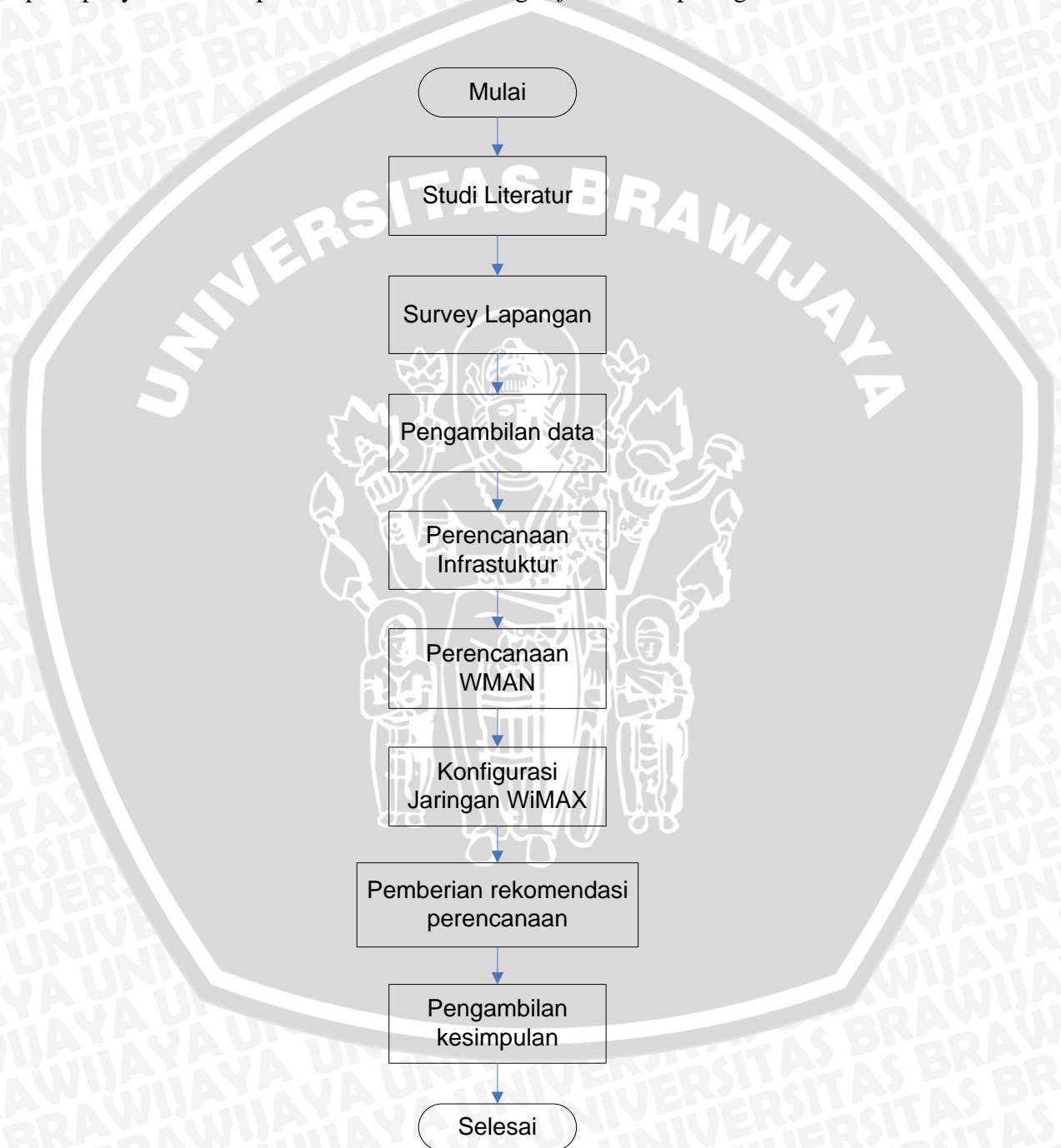
C_t = Redaman kabel sisi BS (dB)

C_t = Redaman kabel sisi SS (dB)



BAB III METODOLOGI

Dalam penyusunan skripsi ini, akan dilakukan perencanaan jaringan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang. Langkah - langkah yang akan dilakukan pada penyusunan skripsi ini adalah sesuai dengan *flow chart* pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flow chart* Penyusunan Skripsi

Sumber : Perancangan

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman mengenai bahasan yang digunakan untuk menunjang skripsi ini. Teori yang dipelajari dalam pembuatan skripsi ini adalah :

- **WMAN (WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK)**
Meliputi pengertian *wireless*, tipe jaringan *wireless*, standarisasi jaringan *wireless*, konfigurasi jaringan WMAN, media transmisi WMAN dan klasifikasi daerah pelayanan.
- **WIMAX (WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS)**
Meliputi penjelasan mengenai *broadband wireless access* (BWA), standar WiMAX, topologi jaringan WiMAX, layer WiMAX, arsitektur jaringan WiMAX dan aplikasi *fixed* WiMAX.
- **PERENCANAAN WMAN DENGAN MENGGUNAKAN WIMAX**
Meliputi penjelasan mengenai langkah – langkah dalam melaksanakan perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX yang meliputi perhitungan jumlah pelanggan, perhitungan kapasitas kanal, penentuan *bandwidth*, perhitungan *bitrate*, perhitungan radius sel, penentuan media transmisi, penentuan jenis antena dan perhitungan *pathloss*, level daya pancar dan level daya terima.

3.2 Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi geografi dan keadaan kota Malang saat ini. Dengan diketahuinya kondisi kota Malang saat ini, maka akan diketahui titik - titik penting dalam penggunaan internet di kota Malang, sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencananya. Dalam pelaksanaannya, survey yang dilakukan adalah survey kondisi alam dan lokasi BTS *existing*.

3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk menunjang pembuatan skripsi ini. Data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini berupa data sekunder yaitu data yang diperoleh dari berbagai buku teks, jurnal, *data sheet* dan data dari Internet. Data yang diperlukan dalam pembuatan skripsi ini adalah :

- Data kependudukan kota Malang yang meliputi jumlah penduduk, luas wilayah dan peta wilayah kota Malang.
- Data spesifikasi perangkat BS dan SS WiMAX.

- Data penggunaan trafik internet pada operator.
- Tabel Erlang B dengan *Grade of Service* (GOS) 2%.

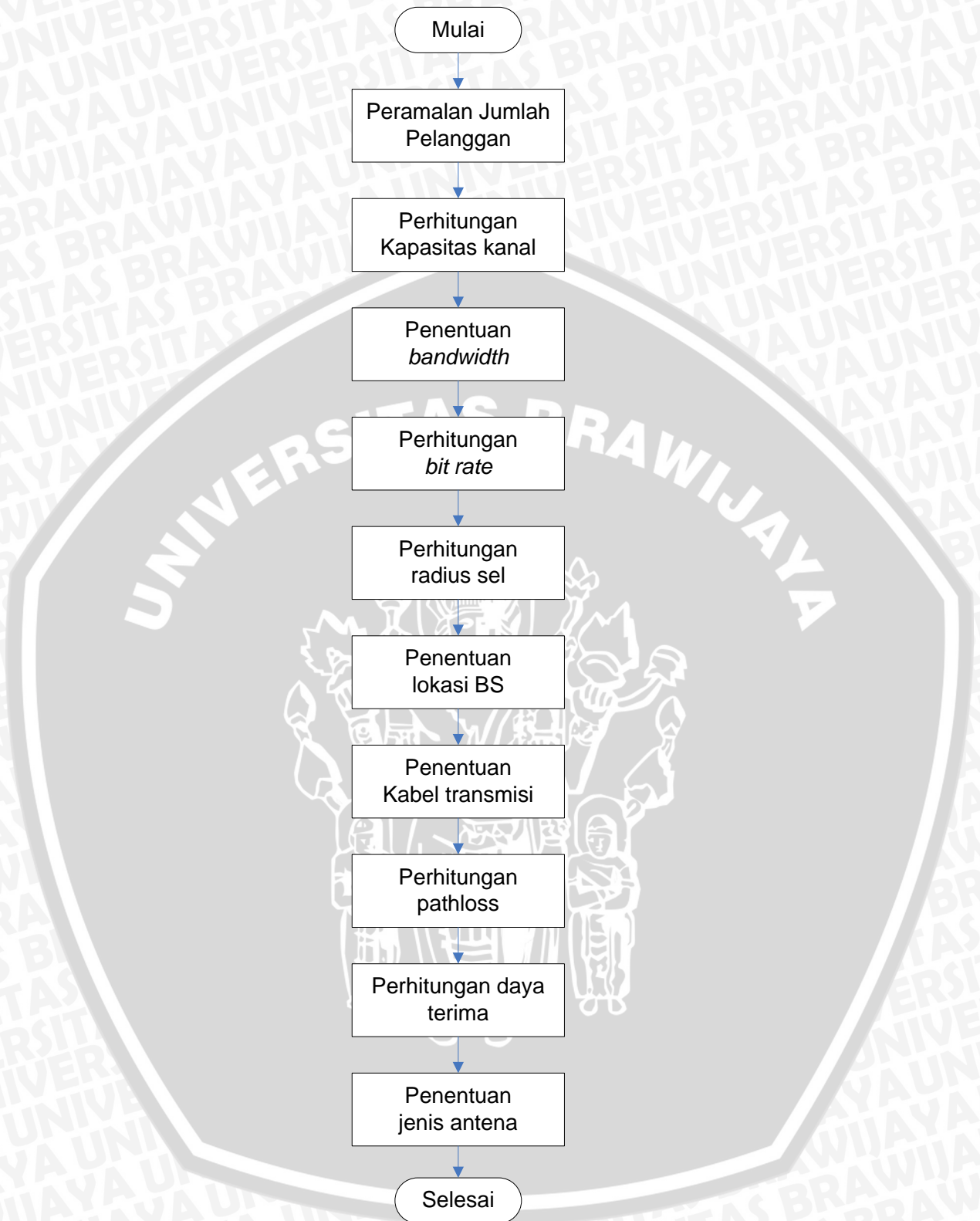
3.4 Perencanaan Infrastruktur

Dalam jaringan WiMAX terdapat komponen BS dan SS. Setiap BS dan SS mempunyai konfigurasi dan karakteristik yang berbeda - beda. Dalam perencanaan ini, juga akan dilakukan perencanaan kapasitas *hardware* yang digunakan dalam pembuatan jaringan WiMAX yang digunakan untuk perencanaan jaringan WMAN ini. *Hardware* yang ditentukan kapasitasnya adalah antena pemancar dan penerima, kabel transmisi kapasitas BS dan kapasitas SS.

3.5 Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX di Kota Malang

Dalam melakukan perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang ini akan dilakukan beberapa tahap agar didapatkan hasil semaksimal mungkin. Tahap – tahap yang akan dilakukan dalam perencanaan ini adalah sesuai dengan *flow chart* pada gambar 3.2.





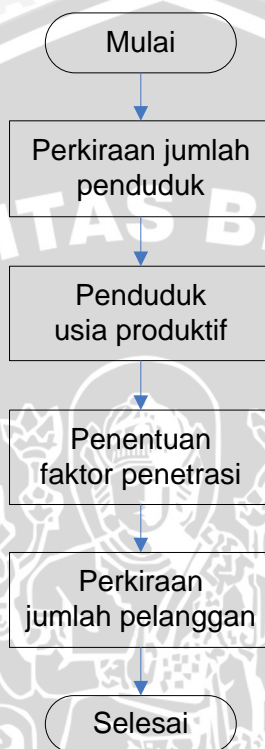
Gambar 3.2 Flow Chart Perencanaan WMAN dengan Menggunakan WiMAX

Sumber : Perancangan

Sesuai dengan gambar 3.2, maka dalam melakukan perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX ini akan dilakukan beberapa tahap, yaitu :

1. Peramalan jumlah pelanggan

Peramalan jumlah pelanggan adalah perkiraan jumlah pelanggan yang menggunakan layanan hingga beberapa tahun ke depan. Peramalan ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan trafik dan kapasitas yang dibutuhkan di daerah pelayan. Dalam perhitungan perkiraan jumlah pelanggan akan dilakukan beberapa tahap sesuai dengan *flow chart* pada gambar 3.3



Gambar 3.3 *Flow chart* Peramalan Jumlah Pelanggan

Sumber : perencanaan

Sesuai dengan *flow chart* diatas, maka dalam menentukan peramalan jumlah pelanggan akan dilakukan beberapa langkah, yaitu :

- Perkiraan jumlah penduduk

Perkiraan jumlah penduduk dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik dan Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil (BPS dan DKKPS) yaitu jumlah penduduk antara tahun 2004 hingga 2008. Dari data tersebut akan dilakukan peramalan jumlah penduduk pada tahun 2013 dengan menggunakan metode *trend linier*, *trend kuadrat* atau *trend eksponensial*. Pemilihan metode yang digunakan dengan cara membandingkan data sebenarnya dengan data hasil perhitungan. Data dengan selisih paling kecil adalah metode paling tepat untuk digunakan.

- Penduduk usia produktif

Penduduk usia produktif adalah penduduk dengan usia 15 tahun – 65 tahun. Jumlah penduduk usia produktif diasumsikan sebesar 70% dari jumlah penduduk secara keseluruhan.

- Penentuan faktor penetrasi

Faktor penetrasi merupakan rasio perbandingan antara jumlah penduduk usia produktif dan jumlah saluran terpasang dengan jumlah bangunan yang ada pada daerah tersebut.

- Perkiraan jumlah pelanggan

Jumlah pelanggan diperoleh dengan mengalikan nilai faktor penetrasi dengan jumlah penduduk usia produktif. Pelanggan ini diasumsikan adalah orang yang menggunakan layanan WiMAX.

2. Perhitungan kapasitas kanal

Kapasitas kanal adalah jumlah kanal maksimum yang dibutuhkan pada daerah pelayanan. Kapasitas kanal ini diperoleh dengan mengalikan jumlah pelanggan WiMAX dengan trafik rata – rata *user* internet, yaitu sebesar 6 mErlang.

3. Penentuan *bandwidth*

Penentuan *bandwidth* adalah penentuan lebar tiap kanal pada daerah pelayanan. Penentuan *bandwidth* ini berdasarkan pada jumlah kanal yang dibutuhkan. *Bandwidth* yang digunakan adalah yang sesuai dengan standar WiMAX dan regulasi dari Dirjen Pos dan Telekomunikasi.

4. Perhitungan *bit rate*

Bit rate adalah kecepatan transfer informasi dalam suatu media transmisi. *Bit rate* yang dihasilkan tergantung dari jenis modulasi yang digunakan, yaitu BPSK, QPSK, 16 QAM atau 64 QAM. *Bit rate* dengan nilai tertinggi adalah yang paling baik.

5. Perhitungan radius sel

Radius sel adalah jarak terjauh yang masih dapat dijangkau oleh sebuah BS WiMAX. Dalam penentuan radius sel harus memperhatikan kapasitas pelanggan dan kerapatan jumlah pelanggan.

6. Penentuan lokasi BS

Penentuan lokasi BS sangat penting untuk memaksimalkan pelayanan terhadap daerah – daerah yang merupakan titik - titik penting. Dalam menentukan lokasi BS harus diperhatikan kondisi geografi dan kondisi lingkungan sosial daerah sekitar. Lingkungan yang dijadikan tempat penentuan lokasi BS adalah tempat yang memiliki banyak fasilitas umum atau tempat dengan jumlah penduduk yang banyak.

7. Penentuan media transmisi (kabel)

Penentuan jenis kabel yang dipakai disesuaikan dengan kapasitas sistem yang dibutuhkan, kemampuan melakukan transfer data dan redaman dalam kabel tersebut. Kabel yang dimaksud disini adalah kabel yang ada pada BS dan SS, kabel yang menghubungkan BS dengan *gateway* dan *gateway* dengan CSN.

8. Perhitungan *path loss*

Path loss adalah redaman yang terjadi selama proses pengiriman data pada media transmisi. Redaman yang terjadi bisa karena penyerapan gelombang, pemantulan dan sebagainya. Besar *path loss* ini ditentukan oleh jarak antara BS dengan SS, tinggi antena BS dan SS serta frekuensi kerja yang digunakan.

9. Perhitungan daya terima

Daya terima adalah besarnya daya yang diterima oleh SS. Besar daya terima ini dipengaruhi oleh besar *path loss*, redaman media transmisi serta *gain* antena pemancar dan penerima.

10. Penentuan jenis antena

Antena yang dipakai disesuaikan dengan kondisi lingkungan daerah perencanaan. Antena yang umum adalah antena *directional* dan *omnidirectional*.

3.6 Konfigurasi Jaringan WMAN

Konfigurasi jaringan yang dimaksud disini adalah bentuk jaringan yang terbentuk setelah proses perencanaan. Dalam pembuatan skripsi ini, konfigurasi jaringan yang dimaksud adalah bentuk jaringan yang terbentuk dari proses perencanaan.

3.7 Pemberian Rekomendasi Perencanaan

Rekomendasi yang diberikan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Tujuan dari pembuatan rekomendasi ini adalah untuk membuat alternatif dalam perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang.

3.8 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan didasarkan pada proses perencanaan dan perhitungan sebelumnya. Kesimpulan merupakan ringkasan hasil akhir dari pemecahan permasalahan yang ada. Dalam proses ini juga akan diberikan saran terhadap pengembangan dari skripsi ini.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Kota Malang merupakan salah satu kota besar yang ada di Indonesia dengan jumlah penduduk yang cukup banyak dan dikenal sebagai kota pendidikan. Setiap tahun kota ini selalu kedatangan banyak penduduk baru, yang rata – rata berprofesi sebagai pelajar atau mahasiswa. Menyadari kondisi yang demikian, dalam memenuhi kebutuhan dalam bidang teknologi, saat ini telah banyak dibangun *hot spot* area di beberapa titik penting, seperti alun – alun dan plaza dieng. Selain itu juga banyak cafe dan beberapa tempat hiburan lain yang menyediakan layanan ini. Namun kendala yang dihadapi saat ini adalah kurangnya jangkauan area dan rendahnya *data rate* yang disediakan oleh layanan ini. Oleh karena itu untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan sebuah jaringan pelayanan baru yang dapat menjangkau area yang luas dengan *data rate* yang cukup tinggi. Hadirnya teknologi WiMAX diharapkan mampu untuk menjadi *backbone* jaringan yang dapat mengatasi beberapa permasalahan diatas, karena WiMAX didukung dengan kemampuan untuk melayani area yang luas dan mampu memberikan *data rate* yang cukup tinggi.

Bentuk topologi jaringan yang digunakan dalam perencanaan jaringan WMAN dalam pembahasan skripsi ini adalah topologi *point to multipoint*, sedangkan bentuk konfigurasi dari WiMAX ini ditunjukkan pada gambar 2.17 dimana sebuah *subscriber station* (SS) akan terhubung ke *base station* (BS) yang selanjutnya akan di hubungkan ke jaringan internet. Aplikasi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah WiMAX untuk aplikasi internet. Perangkat BS dan SS yang digunakan dalam perencanaan ini adalah perangkat WiMAX dari vendor SR Telecom.

Dalam merencanakan jaringan WiMAX di kota Malang akan dilakukan langkah – langkah perencanaan sehingga diperoleh hasil perencanaan yang baik. Langkah – langkah tersebut adalah :

1. Identifikasi daerah perencanaan yaitu kota Malang dari segi geografi dan kependudukan, sehingga dapat ditentukan tipe daerah perencanaan.
2. Peramalan jumlah pelanggan yang akan dilakukan dengan melaksanakan beberapa tahap. Tahap tersebut adalah perkiraan jumlah penduduk, perhitungan penduduk usia produktif dan perhitungan jumlah pelanggan.
3. Perhitungan kapasitas kanal sel dan trafik total daerah perencana.

4. Perhitungan penggunaan *bandwidth* yang dibutuhkan. Selain itu juga akan ditentukan frekuensi kerja yang akan digunakan.
5. Perhitungan *bit rate* berdasarkan jenis modulasi yang digunakan.
6. Perhitungan radius sel berdasarkan jumlah pelanggan dan kerapatan pelanggan tiap kilometer.
7. Penentuan lokasi BS yang dilakukan berdasarkan keadaan geografi, data statistik wilayah perencanaan dan kebutuhan pelanggan dengan acuan menggunakan shelter yang telah ada saat ini.
8. Penentuan media transmisi (kabel) yang digunakan sebagai penghubung antara BS dengan jaringan internet.
9. Perhitungan *path loss* dan level daya terima SS.
10. Penentuan jenis antena BS yang digunakan berdasarkan tipe daerah wilayah perencanaan.
11. Pemberian rekomendasi untuk perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang.

4.2 Kondisi Wilayah Perencanaan

Kota Malang merupakan salah satu kota besar di Jawa Timur yang merupakan kota tujuan wisata karena potensi alam yang dimilikinya. Selain itu kota Malang dikenal dengan sebutan kota pelajar yang ditandai dengan banyaknya sekolah dan perguruan tinggi di kota ini. Secara Geografis kota Malang terletak pada $112^{\circ}06' - 112^{\circ}07'$ Bujur Timur dan $7^{\circ}06' - 8^{\circ}02'$ Lintang Selatan. Luas kota Malang adalah 110,055 km² yang umumnya adalah dataran tinggi dengan ketinggian 440 m – 667 m di atas permukaan laut. Letak kota Malang cukup strategis karena berada pada 80 km sebelah selatan kota Surabaya yang merupakan pusat pemerintahan propinsi Jawa Timur, dan berada pada 10 km dari kota Batu yang terkenal dengan kota pariwisata. Kota Malang terdiri dari 5 (lima) kecamatan yaitu kecamatan Lowokwaru, Kedungkandang, Blimbing, Klojen dan Sukun dengan luas wilayah yang berbeda – beda seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Luas Wilayah Kota Malang

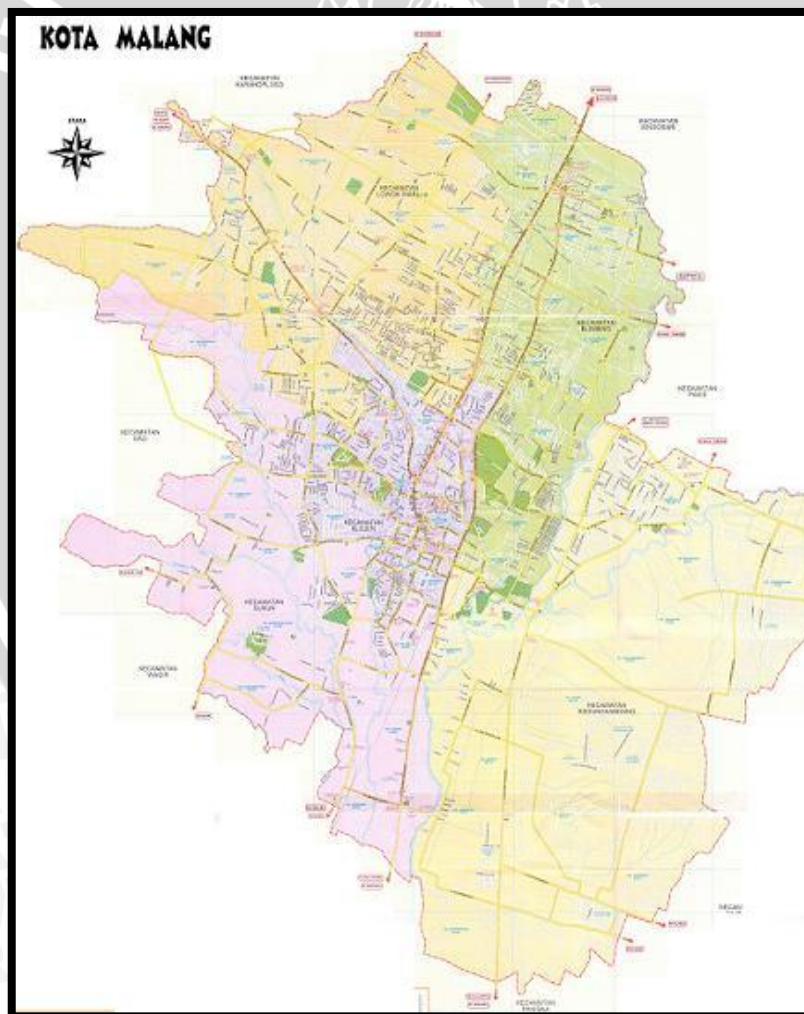
No	Kecamatan	Luas wilayah (km ²)	Persentase (%)
1	Lowokwaru	22,602	20,54%
2	Kedungkandang	39,893	36,25%
3	Blimbing	17,770	16,15%

4	Klojen	8,828	8,02%
5	Sukun	20,962	19,05%
Jumlah luas wilayah kota Malang		110,055	100%

Sumber : Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil kota Malang

Kota Malang termasuk dalam kategori daerah sub-urban, karena pada lingkungan kota ini cukup banyak dijumpai bangunan bertingkat dengan rata – rata merupakan perumahan penduduk 2 lantai dan juga masih terdapat cukup banyak pepohonan. Sedangkan batas – batas dari kota Malang adalah :

- Sebelah utara : Kecamatan Singosari dan Kecamatan Karang Ploso
- Sebelah timur : Kecamatan Pakis dan Kecamatan Tumpang
- Sebelah selatan : Kecamatan Tajinan dan Kecamatan Pakisaji
- Sebelah barat : Kecamatan Wagir dan Kecamatan Dau



Gambar 4.1 Peta Kota Malang

Sumber : kotamalang.go.id

4.3 Peramalan Jumlah Pelanggan

Peramalan jumlah pelanggan bertujuan untuk mengetahui kebutuhan trafik dan kapasitas layanan yang akan di berikan. Dalam menentukan jumlah pelanggan akan dilakukan beberapa tahap yaitu perkiraan jumlah penduduk, perhitungan penduduk usia produktif dan jumlah pelanggan setelah dilakukan perbandingan dengan jumlah operator yang ada dan faktor penetrasi.

4.3.1 Perkiraan Jumlah Penduduk

Dalam peramalan jumlah penduduk ini akan dilakukan dengan menggunakan tiga buah metode, yaitu metode *trend linier*, metode *trend kuadratik* dan metode *trend eksponensial*. Tujuan menggunakan metode ini adalah untuk memperkirakan jumlah penduduk beberapa tahun mendatang. Metode yang akan digunakan adalah metode yang mempunyai selisih paling kecil antara nilai sebenarnya dan nilai perhitungan.

Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Kota Malang

No	Kecamatan	Tahun					Jumlah
		2004	2005	2006	2007	2008	
1	Lowokwaru	162142	163825	166166	168314	162390	822837
2	Kedungkandang	151741	153514	155075	156958	190826	808114
3	Blimbing	166451	168147	169510	171300	184698	860106
4	Klojen	125963	125748	125235	126125	115078	618149
5	Sukun	172852	175475	177590	179268	193112	898297
Jumlah		779149	786709	793576	801965	846104	

Sumber : Badan Pusat Statistik dan Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil kota Malang (BPS dan DKKPS)

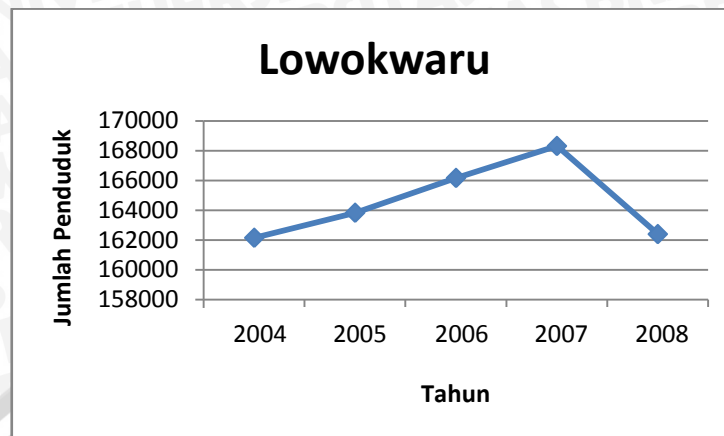
Sedangkan untuk jumlah bangunan (rumah, sekolah, perkantoran, rumah sakit dan bangunan umum lain) di kota malang pada tahun 2006 adalah :

Tabel 4.3 Jumlah Penduduk dan Bangunan di Kota malang

No	Kecamatan	Jumlah	
		Penduduk	Bangunan
1	Lowokwaru	166166	35417
2	Kedungkandang	155075	42658
3	Blimbing	169510	40377
4	Klojen	125235	26146
5	Sukun	177590	37397
Jumlah		793576	181995

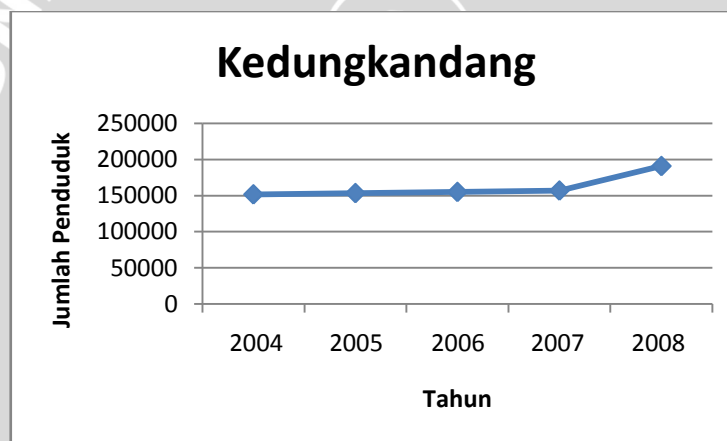
Sumber : data_pembangunan_kota_malang.pdf

Jumlah penduduk kota Malang pada setiap kecamatan, jika dinyatakan dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut :



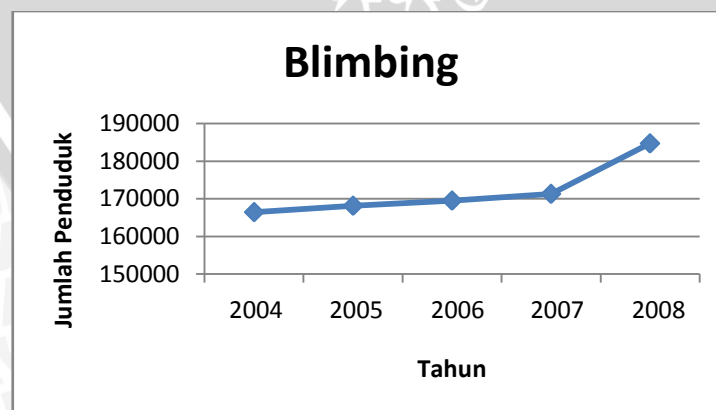
Gambar 4.2 Grafik Pertumbuhan Penduduk kecamatan Lowokwaru

Sumber : Perancangan



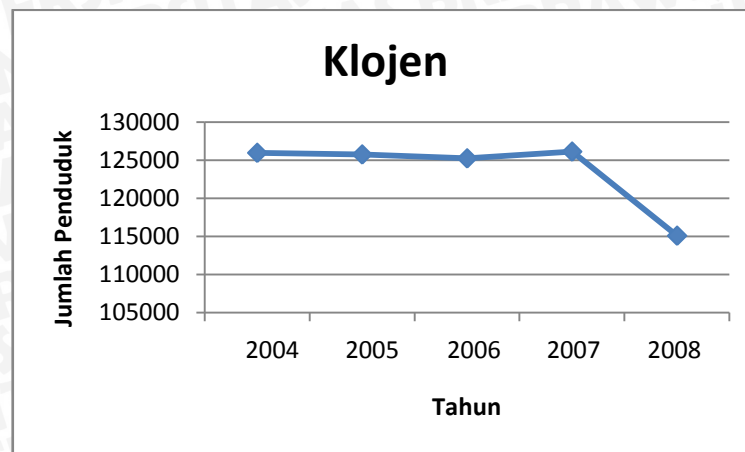
Gambar 4.3 Grafik Pertumbuhan Penduduk kecamatan Kedungkandang

Sumber : Perancangan

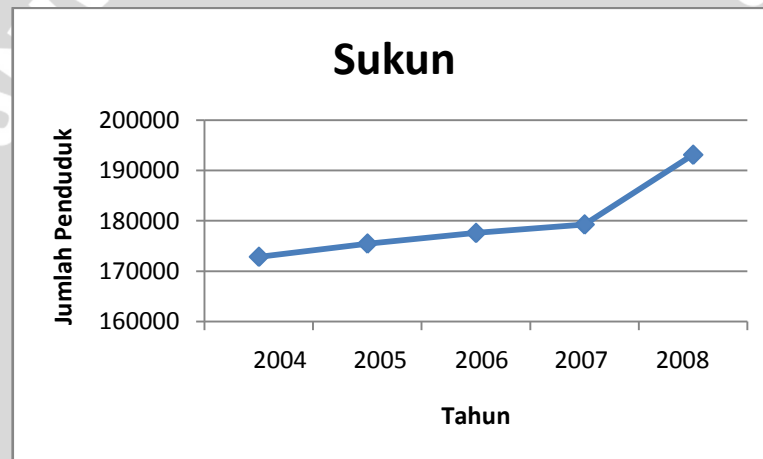


Gambar 4.4 Grafik Pertumbuhan Penduduk kecamatan Blimbing

Sumber : Perancangan



Gambar 4.5 Grafik Pertumbuhan Penduduk kecamatan Klojen
Sumber : Perancangan



Gambar 4.6 Grafik Pertumbuhan Penduduk kecamatan Sukun
Sumber : Perancangan

Berdasarkan grafik diatas maka dapat diketahui kecenderungan pertumbuhan penduduk setiap tahun pada setiap kecamatan. Kecamatan Lowokwaru dan kecamatan Klojen, pertumbuhan penduduk cenderung tidak menentu, sehingga dimungkinkan peramalan jumlah penduduk menggunakan metode trend eksponensial. Sedangkan kecamatan kedungkandang, Blimbing dan Sukun pertumbuhan penduduk cenderung selalu meningkat, sehingga dimungkinkan peramalan menggunakan metode trend linier. Untuk mengetahui metode yang paling tepat digunakan akan dilakukan pengkajian penentuan metode peramalan jumlah penduduk berdasarkan tabel 4.2. Ketiga metode peramalan akan dicoba satu persatu, dan metode yang paling tepat digunakan adalah

metode yang mempunyai nilai selisih paling kecil antara nilai sebenarnya dan nilai hasil peramalan.

Kecamatan Lowokwaru

Untuk mengetahui metode yang paling tepat digunakan di kecamatan lowokwaru, maka dilakukan perhitungan jumlah penduduk pada tahun 2008 berdasarkan data penduduk pada tahun 2004 – 2006. Parameter yang dibutuhkan untuk dilakukan peramalan jumlah pelanggan adalah seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Peramalan Jumlah Penduduk Kecamatan lowokwaru

Tahun (t)	Y	X	XY	X ²	X ³	X ⁴	X ² Y	Y ₀ =LogY	XY ₀
2004	162142	-1	-162142	1	-1	1	162142	5,2098	-5,2098
2005	163825	0	0	0	0	0	0	5,2143	0
2006	166166	1	166166	1	1	1	166166	5,2205	5,2205
Jumlah	492133	0	4024	2	0	2	328308	15,6446	0,0107

Sumber : hasil perhitungan

Data yang diperoleh adalah data selama tahun 2004 – 2006, maka $n = 3$

Rata – rata tahunnya adalah $t_{rat} = \frac{\sum t}{n} = \frac{2004+2005+2006}{3} = 2005$

➤ Metode *Trend Linier*

Berdasarkan persamaan umum metode *trend linier*, maka nilai dari konstanta persamaannya adalah :

$$a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{492133}{3} = 164044$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{4024}{2} = 2012$$

Sehingga persamaan *trend liniernya* menjadi :

$$Y' = 164044 + 2012X$$

Dengan $X = t - t_{rat} = 2008 - 2005 = 3$

Berdasarkan persamaan diatas, maka jumlah perkiraan penduduk kecamatan Lowokwaru pada tahun 2008 adalah :

$$Y' = 164044 + 2012(3) = 170080 \text{ jiwa}$$

Sedangkan persentase kesalahan perkiraan adalah :

$$\% \text{ kesalahan} = \frac{162390 - 170080}{162390} \times 100\% = \frac{7690}{162390} \times 100\% = 4,7355\%$$

➤ Metode *Trend Kuadratik*

Berdasarkan pada persamaan umum metode *trend kuadratik* maka nilai dari masing – masing konstanta persamaannya adalah :

- $\sum Y = an + b \sum X + c \sum X^2$
492133 = $a3 + c2$
- $\sum XY = a \sum X + b \sum X^2 + c \sum X^3$
4024 = $b2 \Rightarrow b = 2012$
- $\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$
328308 = $a2 + c2$

Dengan melakukan substitusi persamaan pertama dan ketiga maka diperoleh :

$$a = 163825$$

$$c = 329$$

Sehingga persamaan Trend Kuadratisnya menjadi

$$Y' = 163825 + 2012(X) + 329(X^2)$$

Dengan $X = t - t_{rat} = 2008 - 2005 = 3$

Berdasarkan persamaan diatas, maka perkiraan jumlah penduduk kecamatan Kedungkandang pada tahun 2008 adalah :

$$Y' = 163825 + 2012(3) + 329(9) = 172822 \text{ jiwa}$$

Sedangkan persentase kesalahan perkiraan adalah :

$$\% \text{ kesalahan} = \frac{162390 - 172822}{162390} \times 100\% = \frac{10432}{162390} \times 100\% = 6,4240\%$$

➤ Metode *Trend Eksponensial*

Berdasarkan pada persamaan umum metode *trend eksponensial* maka nilai dari masing – masing konstanta persamaannya adalah :

$$a_0 = \frac{\sum Y_0 - b_0 \sum X}{n} = \frac{15,6446 - 0}{3} = 5,2148$$

$$b_0 = \frac{\sum XY_0 - a_0 \sum X}{\sum X^2} = \frac{0,0107 - 0}{2} = 0,0053$$

Maka

$$Y_0 = a_0 + b_0(X)$$

$$Y_0 = 5,2148 + 0,0053(3)$$

$$Y_0 = 5,2307$$

Sehingga $Y' = 10^{Y_0} = 10^{5,2307} = 170048$

Sedangkan persentase kesalahan perkiraan adalah :

$$\% \text{ kesalahan} = \frac{162390 - 170048}{162390} \times 100\% = \frac{7658}{162390} \times 100\% = 4,7158\%$$

Tabel 4.5 Analisis *Persentase* Kesalahan pada Tiap kecamatan

Kecamatan	Trend Linier		Trend Kuadratis		Trend Eksponensial		Metode digunakan
	selisih	% selisih	selisih	% selisih	selisih	% selisih	
Lowokwaru	7690	4,7355	10432	6,4240	7658	4,7158	Trend Eksponensial
Kedungkandang	32382	16,9693	34219	17,9320	35730	18,7238	Trend Linier
Blimbing	11758	6,3660	17220	9,3233	11872	6,4278	Trend Linier
Klojen	9479	8,2370	8237	7,1577	6624	5,7566	Trend Eksponensial
Sukun	10700	5,5408	12816	6,6366	10975	5,6832	Trend Linier

Sumber : hasil perhitungan

Dari tabel 4.5 dapat diketahui bahwa metode yang paling tepat digunakan pada masing – masing kecamatan adalah metode dengan persentase kesalahan yang paling kecil. Metode *trend eksponensial* akan digunakan di kecamatan Lowokwaru dan Klojen, sedangkan metode *trend linier* akan digunakan di kecamatan Kedungkandang, Blimbing dan Sukun. Nilai parameter yang akan digunakan pada perhitungan perkiraan jumlah penduduk adalah :

$$\begin{aligned}
 n \text{ (jumlah tahun pengamatan)} &= 5 \\
 t \text{ (tahun akhir pengamatan)} &= 2013 \\
 t_{rat} \text{ (rata – rata tahun pengamatan)} &= \frac{2004+2005+2006+2007+2008+2009+2010+2011+2012+2013}{10} = 2008,5
 \end{aligned}$$

➤ Kecamatan Lowokwaru

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di kecamatan Lowokwaru maka ditentukan periode pengamatan adalah 5 tahun. Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam memperkirakan jumlah penduduk dengan metode *trend eksponensial* adalah sesuai pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Lowokwaru

Tahun (t)	Y	X	XY	X ²	Y ₀ =LogY	XY ₀
2004	161142	-2	-322284	4	5,2072	-10,4144
2005	163825	-1	-163825	1	5,2143	-5,2143
2006	166166	0	0	0	5,2205	0
2007	168314	1	166166	1	5,2261	5,2261
2008	162390	2	336628	4	5,2105	10,4211
Jumlah	821837	0	16685	10	26,0786	0,0185

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan tabel 4.6 maka terlebih dahulu akan dicari konstanta persamaan dengan menggunakan metode *trend eksponensial* sesuai dengan persamaan 2-8 sampai 2-17. Maka akan diperoleh :

$$a_0 = \frac{\sum Y_0 - b_0 \sum X}{n} = \frac{26,0786 - 0}{5} = 5,2157$$

$$b_0 = \frac{\sum XY_0 - a_0 \sum X}{\sum X^2} = \frac{0,0185 - 0}{10} = 0,00185$$

Sedangkan nilai X adalah : $X = t - t_{\text{rat}} = 2013 - 2008,5 = 4,5$ maka :

$$Y_0 = a_0 + b_0(X)$$

$$Y_0 = 5,2157 + 0,00185(4,5)$$

$$Y_0 = 5,2305$$

$$\text{Sehingga } Y' = 10^{Y_0} = 10^{5,2305} = 170020$$

Jadi perkiraan jumlah penduduk kecamatan Lowokwaru pada tahun 2013 adalah 170020 jiwa.

➤ Kecamatan Kedungkandang

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di kecamatan Kedungkandang maka ditentukan periode pengamatan adalah 5 tahun. Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam memperkirakan jumlah penduduk dengan metode *trend linier* sesuai pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Kedungkandang

Tahun (t)	Y	X	XY	X ²
2004	151741	-2	-303482	4
2005	153514	-1	-153514	1
2006	155075	0	0	0
2007	156958	1	156958	1
2008	190826	2	381652	4
Jumlah	808114	0	81614	10

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan tabel 4.7 maka terlebih dahulu akan dicari konstanta persamaan dengan menggunakan metode *trend linier* sesuai dengan persamaan 2-1 sampai 2-3. Maka akan diperoleh :

$$a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{808114}{5} = 161622$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{81614}{10} = 8161$$

Sehingga persamaan *trend liniernya* menjadi :

$$Y' = 161622 + 8161X$$

Sedangkan nilai X adalah : $X = t - t_{\text{rat}} = 2013 - 2008,5 = 4,5$

Berdasarkan persamaan diatas, maka jumlah perkiraan penduduk kecamatan Lowokwaru pada tahun 2013 adalah :

$$Y' = 161622 + 8161(4,5) = 198347 \text{ jiwa}$$

Jadi perkiraan jumlah penduduk kecamatan Kedungkandang pada tahun 2013 adalah 198347 jiwa.

➤ Kecamatan Blimbing

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di kecamatan Blimbing, maka ditentukan periode pengamatan adalah 5 tahun. Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam memperkirakan jumlah penduduk dikecamatan Blimbing ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Blimbing

Tahun (t)	Y	X	XY	X ²
2004	166451	-2	-332902	4
2005	168147	-1	-168147	1
2006	169510	0	0	0
2007	171300	1	171300	1
2008	184698	2	369396	4
Jumlah	860106	0	39647	10

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan tabel 4.8 maka terlebih dahulu akan dicari konstanta persamaan dengan menggunakan metode *trend linier* sesuai dengan persamaan 2-1 sampai 2-3.

Maka akan diperoleh :

$$a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{860106}{5} = 172021$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{39647}{10} = 3965$$

Sehingga persamaan *trend liniernya* menjadi

$$Y' = 172021 + 3965X$$

Sedangkan nilai X adalah $X = t - t_{\text{rat}} = 2013 - 2008,5 = 4,5$

Berdasarkan persamaan diatas, maka jumlah perkiraan penduduk kecamatan Blimbing pada tahun 2013 adalah :

$$Y' = 172021 + 3965(4,5) = 189864 \text{ jiwa}$$

Jadi perkiraan jumlah penduduk kecamatan Kedungkandang pada tahun 2013 adalah 189864 jiwa.

➤ Kecamatan Klojen

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di kecamatan Klojen maka ditentukan periode pengamatan adalah 5 tahun. Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam memperkirakan jumlah penduduk dikecamatan Klojen ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Klojen

Tahun (t)	Y	X	XY	X ²	Y ₀ =LogY	XY ₀
2004	125963	-2	-251926	4	5.10024	-10.2005
2005	125748	-1	-125748	1	5.0995	-5.0995
2006	125235	0	0	0	5.09773	0
2007	126125	1	126125	1	5.1008	5.1008
2008	115078	2	230156	4	5.06099	10.122
Jumlah	618149	0	-21393	10	25.4593	-0.0772

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan tabel 4.9 maka terlebih dahulu akan dicari konstanta persamaan dengan menggunakan metode *trend eksponensial* sesuai dengan persamaan 2-8 sampai 2-17. Maka akan diperoleh :

$$a_0 = \frac{\sum Y_0 - b_0 \sum X}{n} = \frac{25,4593 - 0}{5} = 5,09186$$

$$b_0 = \frac{\sum XY_0 - a_0 \sum X}{\sum X^2} = \frac{-0,0772 - 0}{10} = -0,00772$$

Sedangkan nilai X adalah : $X = t - t_{\text{rat}} = 2013 - 2008,5 = 4,5$ maka :

$$Y_0 = a_0 + b_0(X)$$

$$Y_0 = 5,09186 - 0,00772(4,5)$$

$$Y_0 = 5,0301$$

$$\text{Sehingga } Y' = 10^{Y_0} = 10^{5,0301} = 107176,6$$

Jadi perkiraan jumlah penduduk kecamatan Klojen pada tahun 2013 adalah 107177 jiwa.

➤ Kecamatan Sukun

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di kecamatan Sukun maka ditentukan periode pengamatan adalah 5 tahun. Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam memperkirakan jumlah penduduk dikecamatan Sukun ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Parameter Peramalan Jumlah Penduduk di Kecamatan Sukun

Tahun (t)	Y	X	XY	X ²
2004	172852	-2	-345704	4
2005	175475	-1	-175475	1
2006	177590	0	0	0
2007	179268	1	179268	1
2008	193112	2	386224	4
Jumlah	898297	0	44313	10

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan tabel 4.10 maka terlebih dahulu akan dicari konstanta persamaan dengan menggunakan metode *trend linier* sesuai dengan persamaan 2-1 sampai 2-3.

Maka akan diperoleh :

$$a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{898297}{5} = 179659$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{44313}{10} = 4431$$

Sehingga persamaan *trend liniernya* menjadi

$$Y' = 179659 + 4431X$$

Sedangkan nilai X adalah $X = t - t_{\text{rat}} = 2013 - 2008,5 = 4,5$

Berdasarkan persamaan diatas, maka jumlah perkiraan penduduk kecamatan Sukun pada tahun 2013 adalah :

$$Y' = 179659 + 4431(4,5) = 199589 \text{ jiwa}$$

Jadi perkiraan jumlah penduduk kecamatan Sukun pada tahun 2013 adalah 199589 jiwa.

4.3.2 Usia Produktif

Untuk mengetahui jumlah penduduk usia produktif, digunakan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2-18. Penduduk usia produktif ini diasumsikan sebagai penduduk yang menggunakan layanan internet.

Jumlah_penduduk_usia_produkatif = 70% x jumlah_penduduk_total

Tabel 4.11 Perkiraan Jumlah Penduduk Kota Malang tahun 2013

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Jumlah Usia Produktif
1	Lowokwaru	170020	119014
2	Kedungkandang	198347	138843
3	Blimbing	189864	132905
4	Klojen	107177	75023
5	Sukun	199589	139712
Jumlah penduduk kota Malang		864997	605497

Sumber : hasil perhitungan

Sedangkan menurut data dari operator secara nasional, jumlah BTS untuk layanan pada tiap operator ditunjukkan oleh tabel 4.12

Tabel 4.12 Data Pelanggan Operator

No	Nama Operator	Jumlah BTS	Dalam persen (%)
1	Operator A	17232	13,3421
2	Operator B	14758	11,4265
3	Operator C	3000	2,3227
4	Operator D	88548	68,5594
5	Operator E	907	0,7022
6	Operator F	4540	3,5151
7	Operator G	171	0,1316

Sumber : www.tekno.kompas.com

Diasumsikan bahwa perencanaan WMAN ini akan digunakan oleh operator A, dengan jumlah BTS yang ada saat ini seperti pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Lokasi BS Operator A di Kota Malang

No	Lokasi BS	Kecamatan
1	Tunjungsari	Lowokwaru
2	Dinoyo	Lowokwaru
3	Purwantoro	Blimbing
4	Lowokwaru	Lowokwaru
5	HUT Malang	Klojen
6	Kebalen wetan	Kedung Kandang
7	Gadang	Sukun
8	Dieng	Sukun
9	Klojen	Klojen

Sumber : operator A

Jumlah *user* internet di Indonesia rata – rata mengalami pertumbuhan sebesar 3% setiap tahun. Pada tahun 2000 *user* internet di Indonesia adalah 4% dari jumlah penduduk secara keseluruhan (PT.Telkom, 2000). Maka *user* internet di kota Malang pada tahun 2013 adalah :

- Kecamatan Lowokwaru :

$$\begin{aligned} \text{user internet} &= 119014x(4\% + (3\%x14)) \\ &= 119014x(46\%) = 54746 \text{ user} \end{aligned}$$

Sedangkan Jumlah *user* internet dalam operator A adalah :

$$\text{user internet operator A} = 54746x13,34\% = 7117 \text{ user}$$

Sedangkan untuk faktor penetrasi di kecamatan lowokwaru dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$FP = \frac{\sum \text{saluran terpasang} + \text{Calon pelanggan} + \text{suspended demand}}{\sum \text{bangunan}}$$

$$FP = \frac{(3) + 7117 + 0}{35417} = 0,201$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan akan didapatkan nilai faktor penetrasi kota Malang sesuai dengan tabel 4.14

Tabel 4.14 Nilai Faktor Penetrasi Kota Malang

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Jumlah Usia Produktif	Faktor Penetrasi
1	Lowokwaru	170020	119014	0,201
2	Kedungkandang	198347	138843	0,194
3	Blimbing	189864	132905	0,196
4	Klojen	107177	75023	0,171
5	Sukun	199589	139712	0,223
Jumlah		864997	605497	

Sumber : hasil perhitungan

Setelah diketahui nilai dari faktor penetrasinya, maka jumlah pelanggan WiMAX pada operator A di kecamatan lowokwaru pada tahun 2013 adalah :

$$\begin{aligned} \text{pelanggan WiMAX} &= \text{user internet operator A} \times FP \\ &= 7117 \times 0,201 = 1430 \text{ pelanggan} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan akan di dapatkan jumlah pelanggan WiMAX pada operator A sesuai dengan tabel 4.15

Tabel 4.15 Jumlah Pelanggan WiMAX Operator A tahun 2013

No	Kecamatan	User operator A	Faktor Penetrasi	Pelanggan WiMAX
1	Lowokwaru	7117	0,201	1430
2	Kedungkandang	8303	0,194	1611
3	Blimbing	7948	0,196	1557
4	Klojen	4503	0,171	770
5	Sukun	8355	0,223	1863
Jumlah		36226		7231

Sumber : hasil perhitungan

Jadi jumlah pelanggan WiMAX di kota Malang pada perencanaan ini pada tahun 2013 adalah 7231 pelanggan.

4.4 Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal adalah jumlah kanal maksimum yang dapat terlayani oleh sebuah BS. Kapasitas kanal diperlukan untuk mengetahui kebutuhan BS yang diperlukan untuk melayani pelanggan. Dalam mencari kapasitas kanal terlebih dahulu akan dilakukan perhitungan trafik total untuk setiap kecamatan. Perencanaan ini diperlukan untuk melakukan koneksi internet dengan trafik tiap pelanggan diasumsikan sebesar 6 mErlang (trafik internet operator A bulan februari 2009). Sedangkan jumlah kanal yang dibutuhkan disesuaikan dengan Tabel Erlang B dengan GOS sebesar 2%. Maka kebutuhan trafik sistem dan jumlah kanal adalah untuk setiap kecamatan adalah :

- Kecamatan Lowokwaru

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total}} &= A_{\text{user}} \times \sum \text{pelanggan WiMAX} \\
 &= 0,006 \text{ E} \times 1430 \\
 &= 8,58 \text{ Erlang}
 \end{aligned}$$

Jumlah kanal yang dibutuhkan dengan kapasitas trafik sistem 8,58 Erlang sesuai dengan tabel Erlang B dengan GOS 2% adalah 15 kanal.

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap operator, maka kebutuhan trafik di kota Malang adalah seperti pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Kebutuhan Kapasitas Kanal Operator A tahun 2013

No	Kecamatan	Trafik total (Erlang)	Kebutuhan kanal
1	Lowokwaru	8,58	15
2	Kedungkandang	9,67	16

3	Blimbing	9,34	16
4	Klojen	4,62	10
5	Sukun	11,7	19
Jumlah		43,9	76

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan spesifikasi vendor SR Telecom, setiap kanal BS mempunyai kapasitas maksimum hingga 16 kanal. Sehingga setiap kanal mampu melayani trafik hingga 9,83 Erlang atau setara dengan 1638 pelanggan. Berdasarkan kemampuan kapasitas kanal, jumlah BS yang diperlukan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah BS} &= \frac{\text{kebutuhan kanal}}{\text{kapasitas kanal}} \\ &= \frac{76}{16} = 4,75 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan BS untuk melayani daerah kota Malang adalah 5 buah.

4.5 Bandwidth

Bandwidth adalah lebar kanal dari sistem telekomunikasi. Menurut aturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi tahun 2007 mengenai standarisasi layanan BWA, menyatakan bahwa untuk layanan BWA *bandwidth* yang diijinkan adalah :

1. Terdapat dua jenis profil karakteristik lapisan PHY yang didefinisikan berdasarkan lebar kanal. Yaitu profil karakteristik untuk lebar kanal 3,75 MHz dan profil karakteristik untuk lebar kanal 7,5 MHz. Selain persyaratan dasar kapabilitas yang harus diikuti oleh kedua jenis profil tersebut, terdapat juga persyaratan yang sifatnya spesifik untuk masing-masing profil.
2. Lebar kanal 3,75 MHz terdiri atas 3,5 MHz yang digunakan untuk transmisi data dan 250 KHz *guard band*.
3. Lebar Kanal 7,5 MHz terdiri atas 7 MHz yang digunakan untuk transmisi data dan 500 KHz *guard band*.

Berdasarkan peraturan tersebut, kebutuhan *bandwidth* total di kecamatan Lowokwaru adalah :

- *Bandwith* tiap kanal 3,75 MHz

$$\begin{aligned} B_{w \text{ total}} &= B_{w \text{ kanal}} \times \text{jumlah kanal} \\ &= 3,75 \text{ MHz} \times 15 \\ &= 56,25 \text{ MHz} \end{aligned}$$

- *Bandwith* tiap kanal 7,5 MHz

$$\begin{aligned} B_{w \text{ total}} &= B_{w \text{ kanal}} \times \text{jumlah kanal} \\ &= 7,5 \text{ MHz} \times 15 \\ &= 112,5 \text{ MHz} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan, maka kebutuhan *bandwidth* untuk setiap kecamatan di kota Malang adalah :

Tabel 4.17 Kebutuhan *Bandwidth* WiMAX di Kota Malang

No	Kecamatan	<i>Bandwidth</i> Total (MHz)	
		Kanal A	Kanal B
1	Lowokwaru	56,25	112,5
2	Kedungkandang	60	120
3	Blimbing	60	120
4	Klojen	37,5	75
5	Sukun	71,25	142,5
Jumlah		285	570

Sumber : hasil perhitungan

Keterangan :

Kanal A : *Bandwidth* tiap kanal 3,75 MHz

Kanal B : *Bandwidth* tiap kanal 7,5 MHz

Dengan mempertimbangkan efisiensi *bandwidth* di kota Malang dan mempertimbangkan biaya untuk perencanaan ini, maka *bandwidth* tiap kanal yang lebih baik digunakan adalah 3,5 MHz dengan total kebutuhan *bandwidth* sebesar 285 MHz. Frekuensi yang digunakan untuk *fixed* WiMAX menurut standar IEEE adalah 3,5 GHz atau 5,8 GHz. Sedangkan di Indonesia, frekuensi yang digunakan untuk BWA adalah 2,3 GHz dan 3,5 GHz. Sehingga dapat disimpulkan frekuensi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah 3,5 GHz.

4.6 Bit Rate

Bit rate adalah kecepatan pengiriman informasi melalui media transmisi dan dinyatakan dengan satuan bit/detik (bps). Berdasarkan persamaan 2-26 maka nilai *bit rate* untuk tiap modulasi adalah :

- **Modulasi BPSK**

Modulasi BPSK mempunyai 1 *bit* untuk setiap simbol, maka jumlah $n = 2$ (0 dan 1). Dengan *bandwidth* kanal (B_w) 3,75 MHz, maka nilai *bit rate* nya adalah :

$$\begin{aligned}
 R &= B_{w \text{ kanal}} \times 2^{\log n} \\
 &= (3,75 \times 10^6) \times 2^{\log 2} \text{ bit/s} \\
 &= 3,75 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

- **Modulasi QPSK**

Modulasi QPSK mempunyai 2 *bit* untuk setiap simbol, maka jumlah $n = 4$ (00, 01, 10 dan 11). Dengan *bandwidth* kanal (B_w) 3,75 MHz, maka nilai *bit rate* nya adalah:

$$\begin{aligned}
 R &= B_{w \text{ kanal}} \times 2^{\log n} \\
 &= (3,75 \times 10^6) \times 2^{\log 4} \text{ bit/s} \\
 &= 7,5 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

- **Modulasi 16 QAM**

Modulasi 16 QAM mempunyai 4 *bit* untuk setiap simbol, maka jumlah $n = 16$. Dengan *bandwidth* kanal (B_w) 3,75 MHz, maka nilai *bit rate* nya adalah :

$$\begin{aligned}
 R &= B_{w \text{ kanal}} \times 2^{\log n} \\
 &= (3,75 \times 10^6) \times 2^{\log 16} \text{ bit/s} \\
 &= 15 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

- **Modulasi 64 QAM**

Modulasi 64 QAM mempunyai 6 *bit* untuk setiap simbol, maka jumlah $n = 64$. Dengan *bandwidth* kanal (B_w) = 3,75 MHz, maka nilai *bit rate* nya adalah :

$$\begin{aligned}
 R &= B_{w \text{ kanal}} \times 2^{\log n} \\
 &= (3,75 \times 10^6) \times 2^{\log 64} \text{ bit/s} \\
 &= 22,5 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Dengan memperhatikan perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa semakin besar bit tiap simbol yang digunakan, maka besar *bit rate* yang dihasilkan juga semakin besar. Sehingga jenis modulasi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah modulasi 64 QAM dengan besar *bit rate* 22,5 Mbps.

4.7 Radius Sel

Radius sel adalah jarak terjauh yang dapat dilayani oleh sebuah *base station* (BS). Dalam penentuan radius sel harus diperhatikan jumlah pelanggan dan kerapatan pelanggan. Jumlah BS yang akan digunakan untuk melayani pelanggan adalah 5 buah. BS tersebut akan ditempatkan di setiap kecamatan. Dalam menentukan radius BS akan dilakukan beberapa tahapan untuk mendapatkan hasil perencanaan yang baik.

Tabel 4.18 Parameter per *channel Bandwidth*

No	<i>Bandwidth</i>	N_{FFT}	N_{used}
1	3,5 MHz	128	85
2	5 MHz	512	421
3	10 MHz	1024	841
4	20 MHz	2048	1681

Sumber : J. Roberto B de Marca *and* kwang chen ceng, 2007: 357

Tabel 4.19 Parameter tiap mode modulasi

No	Modulasi	SNR	Bit per simbol
1	QPSK 1/2	5,2 dB	1
2	QPSK 3/4	7 dB	1,5
3	16-QAM	10,5 dB	2
4	64-QAM	16	3

Sumber : J. Roberto B de Marca *and* kwang chen ceng, 2007: 358

4.7.1 Link Budget

Berdasarkan data pada parameter pada tabel 4.18 dan 4.19 maka nilai *link budget* dapat dinyatakan dengan :

$$L_b = \text{DL Tx power} + \text{DL Tx antenna gain} + \text{Rx antenna gain} - (\text{thermal noise} + \text{Rx SNR} + \text{DL Rx noise figure} + \text{Implementation loss} + \text{Interference margin} + \text{fade margin})$$

Dengan nilai *thermal noise* adalah :

$$\begin{aligned} \text{Thermal noise} &= -174 + 10\log\left(\text{Bw} \times n \times \frac{N_{used}}{N_{FFT}}\right) \\ &= -174 + 10\log\left((3,75 \times 10^6) \times 64 \times \frac{85}{128}\right) \\ &= -91,97 \text{ dB} \end{aligned}$$

Nilai *implementation loss* dan *interference margin* untuk *fixed WiMAX* adalah sebesar 3 dB, sedangkan untuk *fade margin* adalah sebesar 12 dB. Maka besar *link budget* adalah :

$$\begin{aligned} L_b &= 31 \text{ dBm} + 17 \text{ dBi} + 6 \text{ dBi} - (-91,97\text{dB}) + 10,5\text{dB} + 7\text{dB} + 3\text{dB} + 3\text{dB} + 12\text{dB} \\ &= 31 \text{ dBm} + 23 \text{ dBi} + 56,47 \text{ dB} = 110,47 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.7.2 Free space loss

Free space loss adalah redaman karena pengaruh penyebaran yang bergantung pada frekuensi dan jarak, dalam hal ini adalah terjadinya rugi – rugi pada ruang bebas. Jika frekuensi dinyatakan dalam GHz dan jarak dalam meter, maka besar dari *free space loss* adalah :

$$\begin{aligned} Fsl &= 32,5 + 20\log f + 20\log d_0 \\ &= 32,5 + 20\log 3,75 + 20\log 100 \\ &= 32,5 + 11,48 + 40 = 83,98 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.7.3 Radius maksimum BS

Menurut model propagasi SUI (*Stanford University Interim*) kota malang dikategorikan sebagai daerah *terrain type* B, karena daerah malang adalah daerah dengan gedung bertingkat dan pepohonan yang cukup banyak, sedikit penghalang sinyal dan kota yang sedang berkembang.

Tabel 4.20 Model Parameter SUI Propagation Model

Model Parameter	Terrain Type A (Hilly, heavy trees)	Terrai Type B (Intermediate)	Terrai Type C (Flat, few trees)
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Sumber : J. Roberto B de Marca *and* kwang chen ceng, 2007: 360

Berdasarkan pengkategorian wilayah pada tabel 4.20 maka Radius sel adalah :

$$Lb = Fsl + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + s$$

Pada penghitungan kali ini diasumsikan tinggi BS adalah 40 m dan tinggi SS adalah 5m.

$$Lb = Fsl + 10 \left(a - bh_b + \frac{c}{h_b} \right) \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + 6 \log \left(\frac{f}{2000} \right) + s - 10,8 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right)$$

$$110,47 = 83,98 + 10 \left(4 - 0,0065 \cdot 40 + \frac{17,1}{40} \right) \log \left(\frac{d}{100} \right) + 6 \log \left(\frac{3750}{2000} \right) + 9,6 -$$

$$10,8 \log \left(\frac{5}{2} \right)$$

$$110,47 = 83,38 + 41,67 \log \left(\frac{d}{100} \right) + 1,638 + 9,6 - 4,297$$

$$110,47 = 90,321 + 41,67 \log \left(\frac{d}{100} \right)$$

$$20,149 = 41,67 \log \left(\frac{d}{100} \right)$$

$$0,483 = \log \left(\frac{d}{100} \right)$$

$$d = 3040 \text{ m} = 3,04 \text{ km}$$

Sedangkan untuk radius BS yang terbentuk dari setiap kecamatan dinyatakan dengan persamaan :

$$R = \sqrt{\frac{\text{Jumlah pelanggan}}{\pi \times \Omega}}$$

Berdasarkan peramalan jumlah pelanggan WiMAX di kota Malang sampai tahun 2013, didapatkan bahwa jumlah pelanggan WiMAX adalah 7231 pelanggan. Dengan luas wilayah mencapai 110,055 km², maka kerapatan pelanggan WiMAX adalah :

$$\Omega = \frac{7231}{110,055 \text{ km}^2} = 65,43 \text{ pelanggan/km}^2$$

Dengan kerapatan pelanggan WiMAX di kota Malang adalah 65,43 pelanggan/km², maka radius BS di kecamatan lowokwaru adalah :

$$R = \sqrt{\frac{1430}{\pi \times 65,43}}$$

$$= 2,63 \text{ km}$$

Setiap BS mempunyai kapasitas pelanggan maksimum hingga 1638 pelanggan. Untuk kecamatan Sukun kapasitas kanal yang dibutuhkan melebihi kapasitas BS WiMAX. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan tersebut, BS pada kecamatan sukun akan menggunakan antena directional dengan jumlah sektor sebanyak 3 buah. Sehingga kapasitas kanal maksimum di kecamatan sukun adalah 48 kanal. Dengan perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan, maka radius BS pada setiap kecamatan adalah seperti pada tabel 4.21.

Tabel 4.21 Radius BS

No	Kecamatan	Pelanggan WiMAX	Radius BS (km)
1	Lowokwaru	1430	2,63
2	Kedungkandang	1611	2,80
3	Blimbing	1557	2,75
4	Klojen	770	1,93
5	Sukun	1863	3,01

Sumber : hasil perhitungan

4.8 Penentuan Lokasi BS

Setelah ditentukan jumlah BS yang diperlukan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan lokasi penempatan BS. Dalam menentukan lokasi BS harus memperhatikan kondisi geografis dan data statistik penduduk kota Malang. Dalam perencanaan ini, BS akan di tempatkan pada tempat yang memenuhi salah satu atau lebih dari kategori berikut ini :

Kategori I : Pusat Perbelanjaan, Lokasi Bisnis, Perkantoran dan Industri

Kategori II : Universitas, Sekolah dan Rumah Sakit

Kategori III: Perumahan Umum dan Perumahan Mewah

Kategori IV : Terminal, Stasiun dan Jalan Protokol

Kategori V : Sarana Umum (Alun – alun, Stadion dll)

Semua kecamatan di kota Malang umumnya mempunyai penyebaran penduduk dan fasilitas umum yang merata. Penempatan BS akan dilakukan pada BTS *existing* pada operator A. Penempatan BS didasarkan pada penggunaan trafik GPRS pada setiap BTS, karena semakin tinggi penggunaan trafik GPRS, maka kebutuhan internet di daerah tersebut juga semakin besar. Tempat yang digunakan untuk penempatan BS adalah lokasi yang mempunyai trafik tertinggi pada masing masing kecamatan.

Tabel 4.22 Trafik Pengguna GPRS Bulan Februari 2009

No	Lokasi BS	Kecamatan	Rata - rata tiap hari (Kbyte)	Rata - rata tiap minggu (Kbyte)
1	Tunjungsari	Lowokwaru	550462	3715618
2	Dinoyo	Lowokwaru	1498069	10111966
3	Purwantoro	Blimbing	730470	4930674
4	Lowokwaru	Lowokwaru	625952	4225177
5	HUT Malang	Klojen	648503	4377397
6	Kebalen wetan	Kedungkandang	912485	6159275
7	Gadang	Sukun	671432	4532163
8	Sukun	Sukun	717657	4844183
9	Bareng Klojen	Klojen	661191	4463037

Sumber : operator A

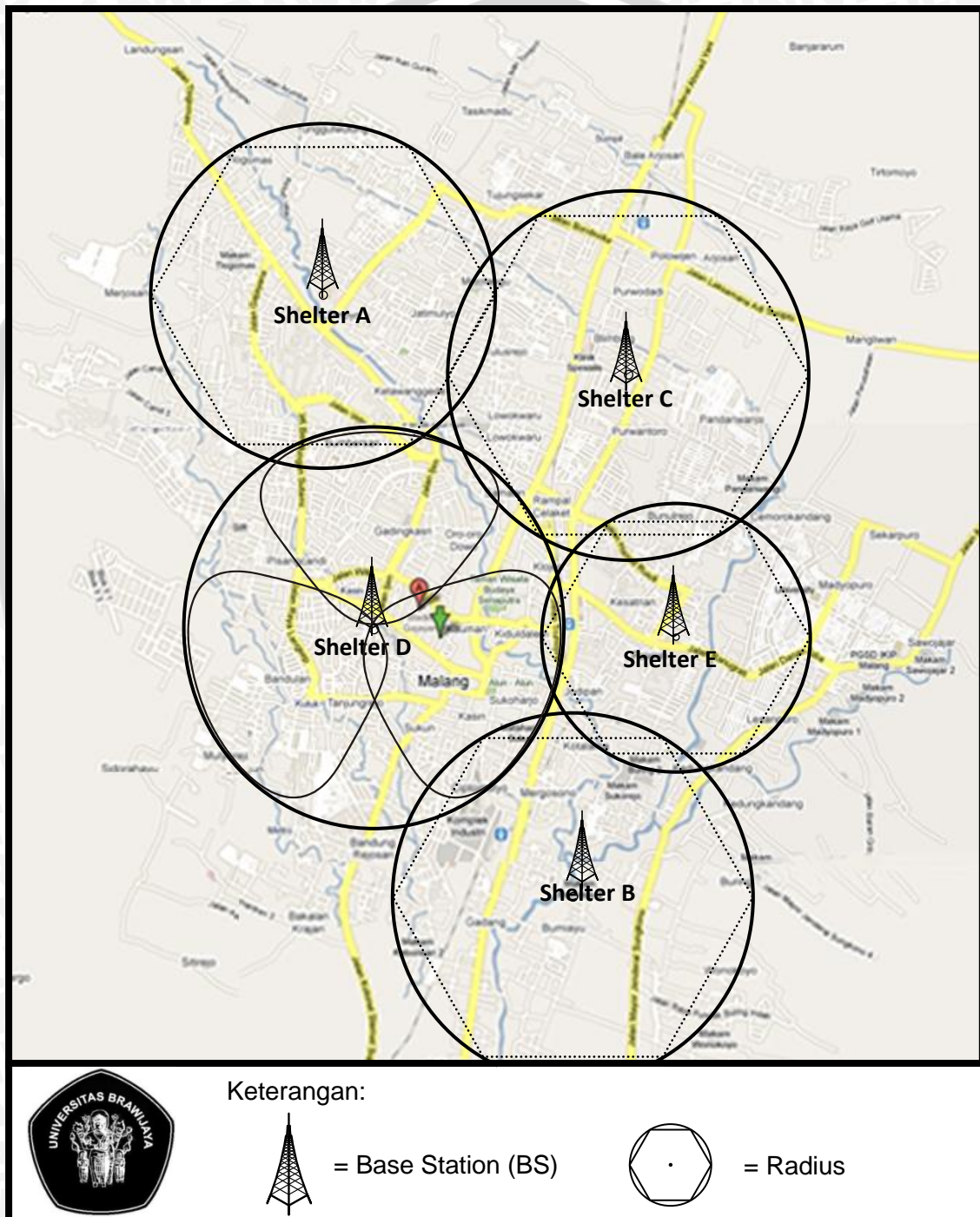
Berdasarkan data diatas, maka penempatan BS dilakukan di lima tempat dengan trafik tertinggi, yaitu Dinoyo, Kebalen wetan, Purwantoro, Sukun dan Bareng Klojen.

Tabel 4.23 Lokasi Penempatan BS di Kota Malang

No	Nama Shelter	Lokasi BS	Kecamatan	Keterangan
1	Shelter A	Dinoyo	Lowokwaru	Shelter POLINEMA

2	Shelter B	Kebalen Wetan	Kedungkandang	Shelter Kebalen Wetan
3	Shelter C	Purwantoro	Blimbing	Hotel Santika
4	Shelter D	Sukun	Sukun	Shelter Pulosari
5	Shelter E	Bareng Klojen	Klojen	Shelter Bareng Klojen

Sumber : Perencanaan



Gambar 4.2 Lokasi BS WiMAX di kota Malang

Sumber : Perencanaan

4.9 Kabel Transmisi

Kabel transmisi yang umum digunakan pada teknologi telekomunikasi adalah kabel *twisted pair*, kabel koaksial dan *fiber optic*. Pada perencanaan ini didapatkan radius sel maksimum adalah 3,01 km, *bit rate* 22,5 Mbps, frekuensi kerja 3,5 GHz dan kebutuhan *bandwidth* mencapai 285 MHz. Dalam perencanaan ini, kabel transmisi digunakan untuk menghubungkan BS dengan ASN (*Access Service Network*) gateway, dan menghubungkan ASN gateway dengan CSN (*Connectivity Service Network*). Setiap kabel transmisi mempunyai spesifikasi yang berbeda – beda. Perbedaan spesifikasi tiap kabel transmisi ditunjukkan pada tabel 4.24

Tabel 4.24 Spesifikasi Kabel Transmisi

Parameter	Media Transmisi				
	Twisted Pair		Coaxial	Fiber Optic	
	UTP	STP		Multimode	Singlemode
Frekuensi	100 MHz	600 MHz	900 MHz	100 TeraHz	100 TeraHz
Data rate	16 Mbps	16 Mbps	100 Mbps	2 Gbps	8 Gbps
Impedansi	150 ohm	100 ohm	50 ohm	-	-
Attenuasi	-	-	-	6 dB	6,2 dB

Sumber : www.intersil.com/design/elantec/DataTransmission.asp

Keterangan :

- : Nilai tidak didefinisikan

Untuk menentukan kabel transmisi yang digunakan, maka harus ada kesesuaian antara hasil perencanaan dan spesifikasi dari masing – masing kabel. Sesuai dengan hasil perencanaan dan dengan memperhatikan spesifikasi kabel sesuai dengan tabel 4.21, maka untuk memenuhi kebutuhan perencanaan WiMAX di kota Malang, kabel transmisi yang dapat digunakan adalah *fiber optic*. *Fiber optic singlemode* mempunyai data rate yang besar, attenuasi rendah serta mampu mencapai jarak yang sangat jauh. Namun kelemahan dari fiber optic ini adalah biaya yang mahal dan hanya dapat digunakan untuk sebuah mode saja (misalnya : voice atau video). Sedangkan *fiber optic multimode* mempunyai attenuasi yang cukup besar, biaya lebih murah dari pada single mode, mampu melewati beberapa mode propagasi. Dalam pemakaian kurang dari 10 km, *fiber optic multimode* masih dapat bekerja dengan baik.

Fiber optic multimode dibagi menjadi dua jenis, yaitu *step index* dan *graded index*. *Step index* mempunyai index yang merata pada setiap sisi kabel, sedangkan

graded index mempunyai nilai index semakin besar ketika mendekati core. Hal ini menyebabkan *fiberoptic graded index* mampu melewati data lebih cepat dari pada *step index* hingga mencapai sepuluh kali lipat. Berdasarkan spesifikasi dari masing – masing media transmisi, maka kabel yang akan digunakan adalah *fiber optic graded index*.

4.10 Path Loss

Gelombang radio yang dipancarkan oleh BS akan merambat melalui banyak halangan sehingga terjadi rugi – rugi yang disebabkan oleh redaman. Rugi lintasan tergantung pada jarak antara pemancar dan penerima, frekuensi kerja, dan karakteristik lingkungan antara pemancar dan penerima. Pada perhitungan ini jarak BS dan SS maksimum adalah 3,01 km dengan frekuensi kerja WiMAX adalah 3750 MHz, tinggi antenna SS ditentukan sebesar 5 meter dan tinggi pemancar adalah 40 meter, maka nilai *Path loss* sesuai dengan persamaan 2-29 adalah :

$$\begin{aligned} a(h_m) &= (1,11 \log(f) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f) - 0,8) \\ &= (1,11 \log 3750 - 0,7)5 - (1,56 \log 3750 - 0,8) \\ &= (16,3 - 4,77) \\ &= 11,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PL \text{ (dB)} &= 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_b) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d) - a(h_m) \\ &\quad + C_F \\ &= 46,3 + 33,9 \log 3750 - 13,82 \log 40 + (44,9 - 6,55 \log 40) \log 3,04 - 11,53 + 0 \\ &= 46,3 + 120,14 - 22,14 + 16,61 - 11,53 + 0 \\ &= 143,01 \text{ dB} \end{aligned}$$

Jadi *path loss* yang terjadi pada perencanaan ini pada jarak 3,01 km adalah 143,01 dB.

4.11 Level daya Terima

Level daya terima adalah besarnya daya pancar BS yang masih dapat diterima oleh sebuah SS. Level daya terima dipengaruhi oleh besar *path loss*, gain BS dan SS serta redaman kabel pada BS dan SS. *Gain* BS diasumsikan sebesar 17 dBi, nilai ini disesuaikan dengan *gain* BTS dan redaman kabel pada sisi SS dianggap 0 dB karena jaraknya relatif dekat, sedangkan redaman kabel pada BS adalah 6,2 dB. Daya output maksimum pemancar BS menurut peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi adalah 30 dBm, sedangkan daya output BTS yang biasa digunakan adalah 27 dBm. Level daya terima SS pada jarak 3,01 km dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 P_r &= P_t + G_t - G_r - PL - C_r - C_t \\
 &= 27 + 17 - 0 - 149,38 - 0 - 6,2 \\
 &= -111,58 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Jadi level daya terima pada SS adalah sebesar -111,58 dBm.

4.12 Penentuan Jenis Antena BS

Dalam perencanaan ini, hal yang diperhatikan untuk menentukan jenis antena BS yang cocok digunakan pada penerapan WiMAX di kota Malang adalah berdasarkan keadaan geografi dan lingkungan kota Malang. Kota Malang adalah kota yang termasuk dalam kategori daerah *suburban*, dimana banyak perumahan bertingkat 2 serta cukup banyak pepohonan. Bangunan yang relatif tinggi hanya ada di beberapa lokasi, yaitu daerah jalan sumpersari dan veteran yang merupakan lingkungan kampus besar dan daerah pusat kota (alun – alun) yang merupakan pusat perbelanjaan.

Spesifikasi antena *omnidirectional* maupun *directional* dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan layanan. Kedua antena ini dapat dibuat dengan spesifikasi yang diinginkan, seperti frekuensi, daya pancar dan sebagainya. Dalam perencanaan ini spesifikasi yang dibutuhkan adalah sesuai dengan tabel 4.25

Tabel 4.25 Spesifikasi Antena

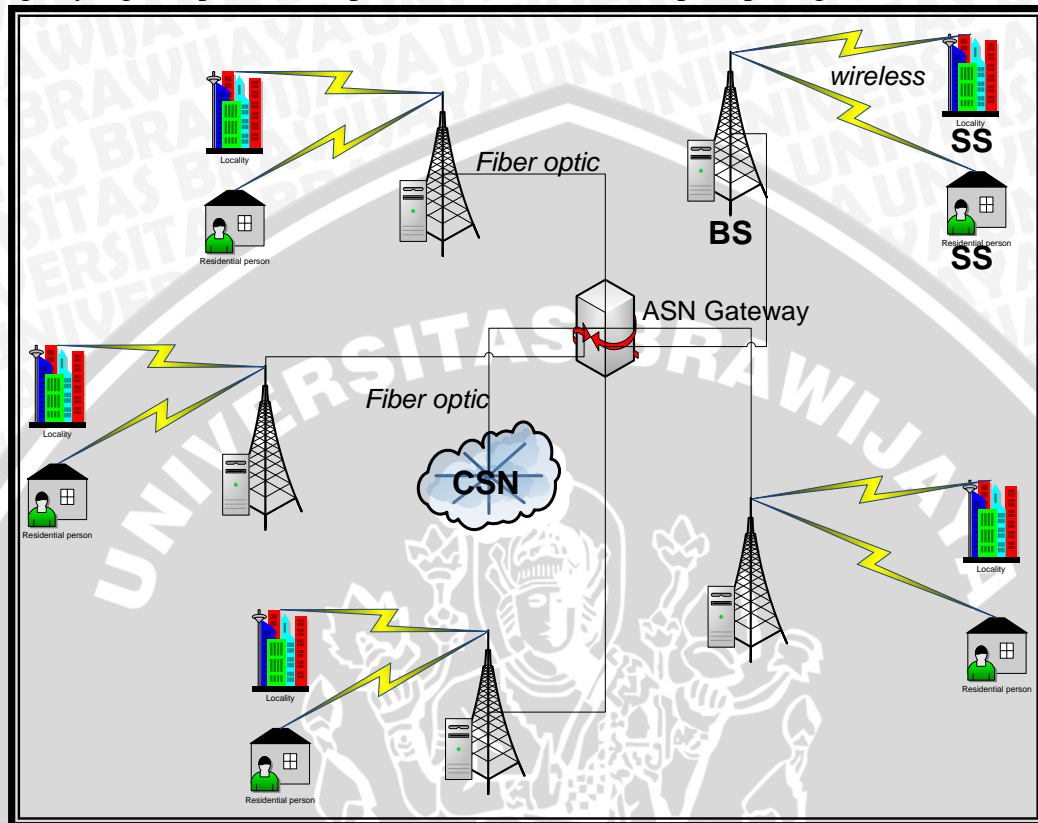
No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi kerja	3,5 GHz
2	<i>Bandwidth</i>	285 MHz
3	<i>Gain</i>	17 dBi
4	Impedansi	50Ω
5	Daya pancar	27 dBm
6	Jangkauan	3,01 km

Sumber : Perencanaan

Dengan kategori daerah *suburban*, maka kedua jenis antena dapat digunakan di kota Malang. Namun dengan memperhatikan efisiensi perencanaan dan biaya, maka jenis antena yang tepat digunakan di kota Malang adalah jenis antena *omnidirectional*. Hal ini dikarenakan sesuai dengan kondisi lingkungannya, kota Malang mempunyai sedikit penghalang sinyal, sehingga penyebaran sinyal relatif cukup baik.

4.13 Konfigurasi Jaringan WiMAX

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, maka dapat diketahui konfigurasi jaringan yang terbentuk dari perencanaan tersebut. Bentuk konfigurasi jaringan yang didapatkan dari perencanaan ini adalah seperti pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Konfigurasi Hasil Perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX

Sumber : Perencanaan

Spesifikasi hasil perencanaan adalah :

1. Jarak BS ke SS : maksimum 3,01 km
2. Perangkat BS :
 - a. Daya pancar : 27 dBm
 - b. Modulasi : 64 QAM
 - c. Frekuensi kanal : 3,5 MHz
 - d. Maksimum jumlah kanal : 16 kanal
 - e. Frekuensi kerja : 3,5 GHz
 - f. Antena : *Omnidirectional*
3. Perangkat SS :
 - a. Daya terima : -98,46 dBm
 - b. Modulasi : 64 QAM

- c. Frekuensi kanal : 3,5 MHz
- d. Frekuensi kerja : 3,5 GHz

4.14 Rekomendasi Perencanaan

Rekomendasi perencanaan adalah saran yang diberikan untuk pembuatan WMAN dengan menggunakan WiMAX dikota Malang. Rekomendasi yang diberikan, berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Rekomendasi perencanaan yang dapat diberikan adalah sesuai dengan tabel 4.26

Tabel 4.26 Rekomendasi Perencanaan WiMAX

No	Parameter	Nilai
1	<i>Pelanggan WiMAX</i>	7231 <i>Pelanggan</i>
2	Kebutuhan trafik	43,9 Erlang
3	Kebutuhan kanal	76 kanal
4	<i>Bandwidth</i>	3,75 MHz (3,5 MHz untuk transmisi data dan 250 KHz sebagai <i>guard band</i>)
5	Frekuensi	3,5 GHz
6	Modulasi	16 QAM
7	<i>Bit rate</i>	22,5 Mbps
8	Radius BS	3,01 km
9	Jumlah BS	5 buah
10	Kabel	<i>fiber optic multimode graded index</i>
11	Level daya terima SS	-98,46 dBm
12	Level daya pancar BS	27 dBm
13	Antena	<i>Omnidirectional</i>

Sumber : Perencanaan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dalam bab sebelumnya, maka dari perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX di kota Malang telah didapatkan beberapa parameter perencanaan, yaitu :
 - a. Jumlah pelanggan WiMAX di kota Malang adalah 7231 pelanggan.
 - b. Trafik yang dibutuhkan untuk pelayanan WiMAX adalah 43,9 Erlang dengan jumlah kanal sebanyak 76 kanal.
 - c. *Bandwidth* tiap kanal yang digunakan adalah 3,75 MHz, sehingga total kebutuhan *bandwidth* di kota Malang adalah 285 MHz. Sedangkan frekuensi yang digunakan adalah 3,5 GHz.
 - d. Modulasi yang digunakan adalah modulasi 64 QAM, karena dengan modulasi tersebut akan didapatkan nilai *bit rate* yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan modulasi yang lain. Nilai *bit rate* itu adalah 22,5 Mbps.
 - e. Radius sel yang terbentuk dari perencanaan ini berbeda beda dengan radius sel maksimum adalah 3,04 km.
 - f. Untuk menangani *bandwidth* dan *bit rate* yang besar dengan jarak yang cukup jauh, maka kabel yang digunakan adalah *fiber optic multimode graded index*.
 - g. *Path loss* yang terjadi dengan jarak BS dan SS sebesar 3,04 km adalah 143,01 dB.
 - h. Level daya terima SS pada jarak 3,01 km adalah -111,58 dBm
 - i. Antena yang digunakan untuk pelayanan WiMAX adalah antena *omnidirectional*, karena berdasarkan kondisi geografi dan lingkungannya, kota Malang memiliki sedikit penghalang sinyal, sehingga penyebaran sinyal relatif cukup baik.
2. Konfigurasi jaringan yang terbentuk dari perencanaan ini adalah SS terhubung dengan BS dengan jumlah BS 5 buah. BS dengan ASN *gateway* dan ASN *gateway* dengan CSN akan dihubungkan dengan *fiber optic multimode graded index*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX antara lain :

1. Analisa performansi sistem dari hasil perencanaan yang telah dilakukan, sehingga dapat dilakukan evaluasi dan pengembangan dari perencanaan WMAN dengan menggunakan WiMAX ini.
2. Perencanaan WiMAX dilakukan dengan menggunakan standar IEEE yang lain, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi *mobile*.
3. Perencanaan dilakukan dengan memperhatikan beberapa faktor lain seperti faktor ekonomi, faktor sosial dan estetika penataan kota.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, Jeffrey G., Anuraba, Ghosh. 2007. *Fundamental of Wimax : Understanding Broadband Wireless Networking* . United states : Pearson Education
- Chen, Kwang cheng., Macra, J Roberto B. de. 2007. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons
- Forouzan, Behrouz. 2000. *Data Communication and Networking*. United states : McGraw-Hill
- Morinaga, Norihiko., Hohno, Ryuji., Sampei, Sheiici. 2004. *Wireless Communications Technologies : New Multimedia Systems*. New York : Kluwer Academic Publishers
- Nuaymi, Loutfi,. 2007. *WIMAX-Technology for Broadband Wireless Access*. London : John Wiley & Sons
- Pos dan Telekomunikasi, Dirjen. 2007. *Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi : Base Station Broadband Wireless Access (BWA)*. Jakarta Topman, M., LE Braten. 2005. *Coverage and Capacity Provided by Wireless Access Network*. United States : Information Society Technologies
- Tse, David. Pramod Viswanath. 2005. *Fundamentals of Wireless Communication*. United States of America: Cambridge University Press.
- Wibisono, Gunawan, &Hantoro, Gunadi D. 2006. *Teknologi Broadband Wireless Access (BWA) Kini dan MAsa Depan*. Bandung:Informatika
-, Pelanggan Seluler di Indonesia : <http://www.tekno.kompas.com/read/xml>. (diakses tanggal 6 Oktober 2009)
- <http://tekno.kompas.com/read/xml/2009/10/6/09321945/aplikasi.oss>. (diakses 6 Oktober 2009)
- http://kotamalang.go.id/data_kependudukan_kota_malang.pdf (diakses 19 oktober 2009)
- [http:// ittelkom.ac.id/wimax /pp_full.php?ppid=284&fname=materi3.html](http://ittelkom.ac.id/wimax /pp_full.php?ppid=284&fname=materi3.html) (diakses 19 oktober 2009)

Lampiran



Lampiran I :**Tabel Erlang B**

No. of Trunks (N)	Traffic (A) in erlangs for P =												
	0.1%	0.2%	0.5%	1%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	10%	15%	20%	30%
1	0.001	0.002	0.005	0.010	0.012	0.02	0.020	0.031	0.053	0.111	0.176	0.250	0.429
2	0.046	0.065	0.105	0.153	0.168	0.19	0.223	0.282	0.381	0.595	0.796	1.00	1.45
3	0.194	0.249	0.349	0.455	0.489	0.53	0.602	0.715	0.899	1.27	1.60	1.93	2.63
4	0.439	0.535	0.701	0.869	0.922	0.99	1.09	1.26	1.52	2.05	2.50	2.95	3.89
5	0.762	0.900	1.13	1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.88	3.45	4.01	5.19
6	1.15	1.33	1.62	1.91	2.00	2.11	2.28	2.54	2.96	3.76	4.44	5.11	6.51
7	1.58	1.80	2.16	2.50	2.60	2.73	2.94	3.25	3.74	4.67	5.46	6.23	7.86
8	2.05	2.31	2.73	3.13	3.25	3.40	3.63	3.99	4.54	5.60	6.50	7.37	9.21
9	2.56	2.85	3.33	3.78	3.92	4.08	4.34	4.75	5.37	6.55	7.55	8.52	10.6
10	3.09	3.43	3.96	4.46	4.61	4.80	5.08	5.53	6.22	7.51	8.62	9.68	12.0
11	3.65	4.02	4.61	5.16	5.32	5.53	5.84	6.33	7.08	8.49	9.69	10.9	13.3
12	4.23	4.64	5.28	5.88	6.05	6.27	6.61	7.14	7.95	9.47	10.8	12.0	14.7
13	4.83	5.27	5.96	6.61	6.80	7.03	7.40	7.97	8.83	10.5	11.9	13.2	16.1
14	5.45	5.92	6.66	7.35	7.56	7.81	8.20	8.80	9.73	11.5	13.0	14.4	17.5
15	6.08	6.58	7.38	8.11	8.33	8.59	9.01	9.65	10.6	12.5	14.1	15.6	18.9
16	6.72	7.26	8.10	8.88	9.11	9.39	9.83	10.5	11.5	13.5	15.2	16.8	20.3
17	7.38	7.95	8.83	9.65	9.89	10.19	10.7	11.4	12.5	14.5	16.3	18.0	21.7
18	8.05	8.64	9.58	10.4	10.7	11.00	11.5	12.2	13.4	15.5	17.4	19.2	23.1
19	8.72	9.35	10.3	11.2	11.5	11.82	12.3	13.1	14.3	16.6	18.5	20.4	24.5
20	9.41	10.1	11.1	12.0	12.3	12.65	13.2	14.0	15.2	17.6	19.6	21.6	25.9
21	10.1	10.8	11.9	12.8	13.1	13.48	14.0	14.9	16.2	18.7	20.8	22.8	27.3
22	10.8	11.5	12.6	13.7	14.0	14.32	14.9	15.8	17.1	19.7	21.9	24.1	28.7
23	11.5	12.3	13.4	14.5	14.8	15.16	15.8	16.7	18.1	20.7	23.0	25.3	30.1
24	12.2	13.0	14.2	15.3	15.6	16.01	16.6	17.6	19.0	21.8	24.2	26.5	31.6
25	13.0	13.8	15.0	16.1	16.5	16.87	17.5	18.5	20.0	22.8	25.3	27.7	33.0
26	13.7	14.5	15.8	17.0	17.3	17.72	18.4	19.4	20.9	23.9	26.4	28.9	34.4
27	14.4	15.3	16.6	17.8	18.2	18.59	19.3	20.3	21.9	24.9	27.6	30.2	35.8
28	15.2	16.1	17.4	18.6	19.0	19.45	20.2	21.2	22.9	26.0	28.7	31.4	37.2
29	15.9	16.8	18.2	19.5	19.9	20.32	21.0	22.1	23.8	27.1	29.9	32.6	38.6
30	16.7	17.6	19.0	20.3	20.7	21.19	21.9	23.1	24.8	28.1	31.0	33.8	40.0
31	17.4	18.4	19.9	21.2	21.6	22.07	22.8	24.0	25.8	29.2	32.1	35.1	41.5
32	18.2	19.2	20.7	22.0	22.5	22.95	23.7	24.9	26.7	30.2	33.3	36.3	42.9
33	19.0	20.0	21.5	22.9	23.3	23.83	24.6	25.8	27.7	31.3	34.4	37.5	44.3
34	19.7	20.8	22.3	23.8	24.2	24.72	25.5	26.8	28.7	32.4	35.6	38.8	45.7
35	20.5	21.6	23.2	24.6	25.1	25.60	26.4	27.7	29.7	33.4	36.7	40.0	47.1
36	21.3	22.4	24.0	25.5	26.0	26.49	27.3	28.6	30.7	34.5	37.9	41.2	48.6
37	22.1	23.2	24.8	26.4	26.8	27.39	28.3	29.6	31.6	35.6	39.0	42.4	50.0
38	22.9	24.0	25.7	27.3	27.7	28.28	29.2	30.5	32.6	36.6	40.2	43.7	51.4
39	23.7	24.8	26.5	28.1	28.6	29.18	30.1	31.5	33.6	37.7	41.3	44.9	52.8
40	24.4	25.6	27.4	29.0	29.5	30.08	31.0	32.4	34.6	38.8	42.5	46.1	54.2
41	25.2	26.4	28.2	29.9	30.4	30.98	31.9	33.4	35.6	39.9	43.6	47.4	55.7
42	26.0	27.2	29.1	30.8	31.3	31.88	32.8	34.3	36.6	40.9	44.8	48.6	57.1
43	26.8	28.1	29.9	31.7	32.2	32.79	33.8	35.3	37.6	42.0	45.9	49.9	58.5
44	27.6	28.9	30.8	32.5	33.1	33.69	34.7	36.2	38.6	43.1	47.1	51.1	59.9
45	28.4	29.7	31.7	33.4	34.0	34.60	35.6	37.2	39.6	44.2	48.2	52.3	61.3

46	29.3	30.5	32.5	34.3	34.9	35.51	36.5	38.1	40.5	45.2	49.4	53.6	62.8
47	30.1	31.4	33.4	35.2	35.8	36.42	37.5	39.1	41.5	46.3	50.6	54.8	64.2
48	30.9	32.2	34.2	36.1	36.7	37.34	38.4	40.0	42.5	47.4	51.7	56.0	65.6
49	31.7	33.0	35.1	37.0	37.6	38.25	39.3	41.0	43.5	48.5	52.9	57.3	67.0
50	32.5	33.9	36.0	37.9	38.5	39.17	40.3	41.9	44.5	49.6	54.0	58.5	68.5
51	33.3	34.7	36.9	38.8	39.4	40.08	41.2	42.9	45.5	50.6	55.2	59.7	69.9
52	34.2	35.6	37.7	39.7	40.3	41.00	42.1	43.9	46.5	51.7	56.3	61.0	71.3
53	35.0	36.4	38.6	40.6	41.2	41.92	43.1	44.8	47.5	52.8	57.5	62.2	72.7
54	35.8	37.2	39.5	41.5	42.1	42.84	44.0	45.8	48.5	53.9	58.7	63.5	74.2
55	36.6	38.1	40.4	42.4	43.0	43.77	44.9	46.7	49.5	55.0	59.8	64.7	75.6
56	37.5	38.9	41.2	43.3	43.9	44.69	45.9	47.7	50.5	56.1	61.0	65.9	77.0
57	38.3	39.8	42.1	44.2	44.8	45.62	46.8	48.7	51.5	57.1	62.1	67.2	78.4
58	39.1	40.6	43.0	45.1	45.8	46.54	47.8	49.6	52.6	58.2	63.3	68.4	79.8
59	40.0	41.5	43.9	46.0	46.7	47.47	48.7	50.6	53.6	59.3	64.5	69.7	81.3
60	40.8	42.4	44.8	46.9	47.6	48.40	49.6	51.6	54.6	60.4	65.6	70.9	82.7
61	41.6	43.2	45.6	47.9	48.5	49.33	50.6	52.5	55.6	61.5	66.8	72.1	84.1
62	42.5	44.1	46.5	48.8	49.4	50.26	51.5	53.5	56.6	62.6	68.0	73.4	85.5
63	43.3	44.9	47.4	49.7	50.4	51.19	52.5	54.5	57.6	63.7	69.1	74.6	87.0
64	44.2	45.8	48.3	50.6	51.3	52.12	53.4	55.4	58.6	64.8	70.3	75.9	88.4
65	45.0	46.6	49.2	51.5	52.2	53.05	54.4	56.4	59.6	65.8	71.4	77.1	89.8
66	45.8	47.5	50.1	52.4	53.1	53.99	55.3	57.4	60.6	66.9	72.6	78.3	91.2
67	46.7	48.4	51.0	53.4	54.1	54.92	56.3	58.4	61.6	68.0	73.8	79.6	92.7
68	47.5	49.2	51.9	54.3	55.0	55.86	57.2	59.3	62.6	69.1	74.9	80.8	94.1
69	48.4	50.1	52.8	55.2	55.9	56.79	58.2	60.3	63.7	70.2	76.1	82.1	95.5
70	49.2	51.0	53.7	56.1	56.8	57.73	59.1	61.3	64.7	71.3	77.3	83.3	96.9
71	50.1	51.8	54.6	57.0	57.8	58.67	60.1	62.3	65.7	72.4	78.4	84.6	98.4
72	50.9	52.7	55.5	58.0	58.7	59.61	61.0	63.2	66.7	73.5	79.6	85.8	99.8
73	51.8	53.6	56.4	58.9	59.6	60.55	62.0	64.2	67.7	74.6	80.8	87.0	101.2
74	52.7	54.5	57.3	59.8	60.6	61.49	62.9	65.2	68.7	75.6	81.9	88.3	102.7
75	53.5	55.3	58.2	60.7	61.5	62.43	63.9	66.2	69.7	76.7	83.1	89.5	104.1
76	54.4	56.2	59.1	61.7	62.4	63.37	64.9	67.2	70.8	77.8	84.2	90.8	105.5
77	55.2	57.1	60.0	62.6	63.4	64.32	65.8	68.1	71.8	78.9	85.4	92.0	106.9
78	56.1	58.0	60.9	63.5	64.3	65.26	66.8	69.1	72.8	80.0	86.6	93.3	108.4
79	56.9	58.8	61.8	64.4	65.2	66.20	67.7	70.1	73.8	81.1	87.7	94.5	109.8
80	57.8	59.7	62.7	65.4	66.2	67.15	68.7	71.1	74.8	82.2	88.9	95.7	111.2
81	58.7	60.6	63.6	66.3	67.1	68.09	69.6	72.1	75.8	83.3	90.1	97.0	112.6
82	59.5	61.5	64.5	67.2	68.0	69.04	70.6	73.0	76.9	84.4	91.2	98.2	114.1
83	60.4	62.4	65.4	68.2	69.0	69.99	71.6	74.0	77.9	85.5	92.4	99.5	115.5
84	61.3	63.2	66.3	69.1	69.9	70.93	72.5	75.0	78.9	86.6	93.6	100.7	116.9
85	62.1	64.1	67.2	70.0	70.9	71.88	73.5	76.0	79.9	87.7	94.7	102.0	118.3
86	63.0	65.0	68.1	70.9	71.8	72.83	74.5	77.0	80.9	88.8	95.9	103.2	119.8
87	63.9	65.9	69.0	71.9	72.7	73.78	75.4	78.0	82.0	89.9	97.1	104.5	121.2
88	64.7	66.8	69.9	72.8	73.7	74.73	76.4	78.9	83.0	91.0	98.2	105.7	122.6
89	65.6	67.7	70.8	73.7	74.6	75.68	77.3	79.9	84.0	92.1	99.4	106.9	124.0
90	66.5	68.6	71.8	74.7	75.6	76.63	78.3	80.9	85.0	93.1	100.6	108.2	125.5
91	67.4	69.4	72.7	75.6	76.5	77.58	79.3	81.9	86.0	94.2	101.7	109.4	126.9
92	68.2	70.3	73.6	76.6	77.4	78.53	80.2	82.9	87.1	95.3	102.9	110.7	128.3
93	69.1	71.2	74.5	77.5	78.4	79.48	81.2	83.9	88.1	96.4	104.1	111.9	129.7
94	70.0	72.1	75.4	78.4	79.3	80.43	82.2	84.9	89.1	97.5	105.3	113.2	131.2
95	70.9	73.0	76.3	79.4	80.3	81.39	83.1	85.8	90.1	98.6	106.4	114.4	132.6
96	71.7	73.9	77.2	80.3	81.2	82.34	84.1	86.8	91.1	99.7	107.6	115.7	134.0
97	72.6	74.8	78.2	81.2	82.2	83.29	85.1	87.8	92.2	100.8	108.8	116.9	135.5
98	73.5	75.7	79.1	82.2	83.1	84.25	86.0	88.8	93.2	101.9	109.9	118.2	136.9

99	74.4	76.6	80.0	83.1	84.1	85.20	87.0	89.8	94.2	103.0	111.1	119.4	138.3
100	75.2	77.5	80.9	84.1	85.0	86.16	88.0	90.8	95.2	104.1	112.3	120.6	139.7
101	76.1	78.4	81.8	85.0	86.0	87.12	88.9	91.8	96.3	105.2	113.4	121.9	141.2
102	77.0	79.3	82.7	85.9	86.9	88.07	89.9	92.8	97.3	106.3	114.6	123.1	142.6
103	77.9	80.2	83.7	86.9	87.8	89.03	90.9	93.8	98.3	107.4	115.8	124.4	144.0
104	78.8	81.1	84.6	87.8	88.8	89.99	91.9	94.8	99.3	108.5	116.9	125.6	145.4
105	79.6	82.0	85.5	88.8	89.7	90.94	92.8	95.7	100.4	109.6	118.1	126.9	146.9
106	80.5	82.8	86.4	89.7	90.7	91.90	93.8	96.7	101.4	110.7	119.3	128.1	148.3
107	81.4	83.7	87.4	90.7	91.6	92.86	94.8	97.7	102.4	111.8	120.4	129.4	149.7
108	82.3	84.6	88.3	91.6	92.6	93.82	95.7	98.7	103.4	112.9	121.6	130.6	151.1
109	83.2	85.5	89.2	92.5	93.5	94.78	96.7	99.7	104.5	114.0	122.8	131.9	152.6
110	84.1	86.4	90.1	93.5	94.5	95.74	97.7	100.7	105.5	115.1	124.0	133.1	154.0
111	85.0	87.3	91.0	94.4	95.5	96.70	98.7	101.7	106.5	116.2	125.1	134.3	155.4
112	85.8	88.3	92.0	95.4	96.4	97.66	99.6	102.7	107.5	117.3	126.3	135.6	156.9
113	86.7	89.2	92.9	96.3	97.4	98.62	100.6	103.7	108.6	118.4	127.5	136.8	158.3
114	87.6	90.1	93.8	97.3	98.3	99.58	101.6	104.7	109.6	119.5	128.6	138.1	159.7
115	88.5	91.0	94.7	98.2	99.3	100.54	102.5	105.7	110.6	120.6	129.8	139.3	161.1
116	89.4	91.9	95.7	99.2	100.2	101.50	103.5	106.7	111.7	121.7	131.0	140.6	162.6
117	90.3	92.8	96.6	100.1	101.2	102.46	104.5	107.7	112.7	122.8	132.1	141.8	164.0
118	91.2	93.7	97.5	101.1	102.1	103.43	105.5	108.7	113.7	123.9	133.3	143.1	165.4
119	92.1	94.6	98.5	102.0	103.1	104.39	106.4	109.7	114.7	125.0	134.5	144.3	166.8
120	93.0	95.5	99.4	103.0	104.0	105.35	107.4	110.7	115.8	126.1	135.7	145.6	168.3
121	93.9	96.4	100.3	103.9	105.0	106.31	108.4	111.6	116.8	127.2	136.8	146.8	169.7
122	94.7	97.3	101.2	104.9	105.9	107.28	109.4	112.6	117.8	128.3	138.0	148.1	171.1
123	95.6	98.2	102.2	105.8	106.9	108.24	110.3	113.6	118.9	129.4	139.2	149.3	172.6
124	96.5	99.1	103.1	106.8	107.9	109.21	111.3	114.6	119.9	130.5	140.3	150.6	174.0
125	97.4	100.0	104.0	107.7	108.8	110.17	112.3	115.6	120.9	131.6	141.5	151.8	175.4
126	98.3	100.9	105.0	108.7	109.8	111.14	113.3	116.6	121.9	132.7	142.7	153.0	176.8
127	99.2	101.8	105.9	109.6	110.7	112.10	114.3	117.6	123.0	133.8	143.9	154.3	178.3
128	100.1	102.8	106.8	110.6	111.7	113.07	115.2	118.6	124.0	134.9	145.0	155.5	179.7
129	101.0	103.7	107.8	111.5	112.6	114.03	116.2	119.6	125.0	136.0	146.2	156.8	181.1
130	101.9	104.6	108.7	112.5	113.6	115.00	117.2	120.6	126.1	137.1	147.4	158.0	182.5
131	102.8	105.5	109.6	113.4	114.6	115.96	118.2	121.6	127.1	138.2	148.5	159.3	184.0
132	103.7	106.4	110.6	114.4	115.5	116.93	119.1	122.6	128.1	139.3	149.7	160.5	185.4
133	104.6	107.3	111.5	115.3	116.5	117.90	120.1	123.6	129.2	140.4	150.9	161.8	186.8
134	105.5	108.2	112.4	116.3	117.4	118.87	121.1	124.6	130.2	141.5	152.0	163.0	188.3
135	106.4	109.1	113.3	117.2	118.4	119.83	122.1	125.6	131.2	142.6	153.2	164.3	189.7
136	107.3	110.0	114.3	118.2	119.4	120.80	123.1	126.6	132.2	143.7	154.4	165.5	191.1
137	108.2	111.0	115.2	119.1	120.3	121.77	124.0	127.6	133.3	144.8	155.6	166.8	192.5
138	109.1	111.9	116.2	120.1	121.3	122.74	125.0	128.6	134.3	145.9	156.7	168.0	194.0
139	110.0	112.8	117.1	121.0	122.2	123.71	126.0	129.6	135.3	147.0	157.9	169.3	195.4
140	110.9	113.7	118.0	122.0	123.2	124.67	127.0	130.6	136.4	148.1	159.1	170.5	196.8
141	111.8	114.6	118.9	123.0	124.2	125.64	128.0	131.6	137.4	149.2	160.2	171.8	198.3
142	112.7	115.5	120.0	123.9	125.1	126.66	129.0	132.6	138.5	150.3	161.4	173.0	199.7
143	113.5	116.3	120.8	124.9	126.1	127.59	129.9	133.6	139.5	151.4	162.6	174.2	201.1
144	114.4	117.2	121.8	125.9	127.1	128.52	130.9	134.6	140.5	152.5	163.8	175.5	202.5
145	115.3	118.2	122.7	126.8	128.0	129.54	132.0	135.7	141.6	153.6	164.9	176.7	204.0
146	116.3	119.2	123.7	127.8	129.0	130.46	132.9	136.6	142.6	154.7	166.1	178.0	205.4
147	117.2	120.1	124.6	128.7	129.9	131.44	133.9	137.6	143.6	155.8	167.3	179.2	206.8
148	118.1	121.0	125.5	129.6	130.9	132.38	134.8	138.6	144.7	156.9	168.5	180.5	208.2
149	119.0	121.9	126.4	130.6	131.8	133.40	135.8	139.6	145.7	158.0	169.6	181.7	209.7
150	119.9	122.8	127.4	131.6	132.8	134.39	136.8	140.7	146.7	159.1	170.8	183.0	211.1

Lampiran II :

PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN PERANGKAT TELEKOMUNIKASI BASE STATION BROADBAND WIRELESS ACCESS (BWA)

BAB III

PERSYARATAN PERANGKAT

1 Lapisan MAC

Berikut kapabilitas pada lapisan MAC yang bersifat mandatori.

Kapabilitas
MAC CS - IPv4 over 802.3/Ethernet - 802.3/Ethernet
MAC CPS - PDU generation and assembly - Manajemen Koneksi - Pengaturan QoS - Scheduling transmisi data
Security Sublayer - Enkripsi (opsional)* - Autentikasi

- Bila ada enkripsi menggunakan enkripsi AES-128 bit

2 Lapisan Fisik (PHY)

4. Terdapat dua jenis profil karakteristik lapisan PHY yang didefinisikan berdasarkan lebar kanal. Yaitu profil karakteristik untuk lebar kanal 3.75 MHz dan profil karakteristik untuk lebar kanal 7.5 MHz. Selain persyaratan dasar kapabilitas yang harus diikuti oleh kedua jenis profil tersebut, terdapat juga persyaratan yang sifatnya spesifik untuk masing-masing profil.

5. Lebar kanal 3.75 MHz terdiri atas 3.5 MHz yang digunakan untuk transmisi data dan 250 KHz *guard band*.

6. Lebar Kanal 7.5 MHz terdiri atas 7 MHz yang digunakan untuk transmisi data dan 500 KHz *guard band*.

7.

2.1 Persyaratan Kapabilitas Dasar

Kapabilitas	Performansi Minimum	
Tx <i>Dynamic Range</i>	BS	≥ 10 dB

Tingkat penyesuaian step minimum daya transmit		≤ 1 dB
Akurasi step minimum relatif daya transmit		$\leq \pm 50\%$ dari step minimum, tetapi tidak melebihi 4 dB
<i>Transmitter (Tx) Spectral flatness</i>		
- Perbedaan absolut antara <i>subcarrier</i> yang bersebelahan (adjacent)		≤ 0.1 dB
- Deviasi energi rata-rata pada setiap <i>subcarrier</i>		
• <i>subcarrier</i> -50 sampai -1 dan +1 sampai +50		$\leq \pm 2$ dB
• <i>subcarrier</i> -100 sampai -50 dan +50 sampai +100		$\leq + 2$ atau -4 dB
Kesalahan konstelasi relatif <i>transmitter</i> (Tx)	BPSK – $\frac{1}{2}$	$\leq - 13.0$ dB
	QPSK – $\frac{1}{2}$	$\leq - 16.0$ dB
	QPSK – $\frac{3}{4}$	$\leq - 18.5$ dB
	16-QAM – $\frac{1}{2}$	$\leq - 21.5$ dB
	16-QAM – $\frac{3}{4}$	$\leq - 25.0$ dB
	64-QAM – $\frac{2}{3}$	$\leq - 28.5$ dB
	64-QAM – $\frac{3}{4}$	$\leq - 31.0$ dB
Level Daya <i>Input</i> Maksimum		≥ -30 dBm
Level Daya <i>Input</i> Maksimum pada kondisi kanal yang terburuk		≥ 0 dBm
Daya <i>Output</i> Maksimum Pemancar		30 dBm
EIRP		≤ 40 dBm
<i>Co-Channel Interference</i> (SNR + <i>Noise Margin</i>)	BPSK – $\frac{1}{2}$	$\leq - (6.4 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	QPSK – $\frac{1}{2}$	$\leq - (9.4 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	QPSK – $\frac{3}{4}$	$\leq - (11.2 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	16-QAM – $\frac{1}{2}$	$\leq - (16.4 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	16-QAM – $\frac{3}{4}$	$\leq - (18.2 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	64-QAM – $\frac{2}{3}$	$\leq - (22.7 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	64-QAM – $\frac{3}{4}$	$\leq - (24.4 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
<i>1st Adjacent Channel Rejection</i> pada BER 10^{-6} untuk degradasi C/I sebesar 3 dB	16 QAM – $\frac{3}{4}$	≥ 11 dB
	64 QAM – $\frac{3}{4}$	≥ 4 dB
<i>2nd Adjacent Channel Rejection</i> pada BER 10^{-6} untuk degradasi C/I sebesar 3 dB	16 QAM – $\frac{3}{4}$	≥ 30 dB
	64 QAM – $\frac{3}{4}$	≥ 23 dB
TTG dan RTG		≤ 100 μ s
Toleransi Frekuensi Referensi <i>Base Station</i>		$\leq \pm 8 * 10^{-6}$

2.2 Persyaratan Performansi Minimum Spesifik untuk Lebar Kanal 3.75 MHz

Kapabilitas		Performansi Minimum		
T _b , durasi simbol efektif		64 μs		
T _f , durasi frame		5 ms	10 ms	20 ms
Batas performansi daya terima minimum pada BER 10 ⁻⁶	BPSK – ½	≤ - 91 dBm		
	QPSK – ½	≤ - 88 dBm		
	QPSK – ¾	≤ - 86 dBm		
	16-QAM – ½	≤ - 81 dBm		
	16-QAM – ¾	≤ - 79 dBm		
	64-QAM – ⅔	≤ - 74 dBm		
64-QAM – ¾	≤ - 73 dBm			
Toleransi Frekuensi Referensi				
<ul style="list-style-type: none"> Toleransi sinkronisasi SS ke BS 		≤ 312.5 Hz		
Toleransi waktu referensi		± (T _b /32) / 2		

2.3 Persyaratan Performansi Minimum Spesifik untuk Lebar Kanal 7.5 MHz

Kapabilitas		Performansi Minimum		
T _b , durasi symbol efektif		32 μs		
T _f , durasi frame		5 ms	10 ms	20 ms
Batas performansi daya terima minimum pada BER 10 ⁻⁶	BPSK – ½	≤ - 88 dBm		
	QPSK – ½	≤ - 85 dBm		
	QPSK – ¾	≤ - 83 dBm		
	16-QAM – ½	≤ - 78 dBm		
	16-QAM – ¾	≤ - 76 dBm		
	64-QAM – ⅔	≤ - 71 dBm		
64-QAM – ¾	≤ - 70 dBm			
Toleransi Frekuensi Referensi				
<ul style="list-style-type: none"> Toleransi sinkronisasi SS ke BS 		≤ 625 Hz		
Toleransi waktu referensi		± (T _b /32) / 2		

Lampiran III :**SPESIFIKASI PERANGKAT *BASE STATION (BS)* DAN *SUBSCRIBER STATION (SS)* VENDOR SR TELECOM****1. Spesifikasi Perangkat Base Station (BS)**

Parameter	Nilai
<i>Frequency Range</i>	2,3 GHz → 2305 – 2360 MHz 2,5 GHz → 2495 – 2690 MHz 3,5 GHz → 3300 – 3800 MHz
<i>Channel Bandwidth</i>	1.75, 3.5 and 7 MHz
<i>Duplexing</i>	FDD (with H-FDD SS Support)
<i>RF access scheme</i>	OFDM 256 FFT
<i>Adaptive Modulation</i>	64 QAM, 16 QAM, QPSK and BPSK
<i>Antena Gain</i>	17 dBi
<i>Max. RF transmit power</i>	31 dBm
<i>Antena</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Omni, sectoral or panel</i> • <i>Polarization : vertical or dual slant ±45°</i>
<i>Receiver sensitivity</i>	-101dBm
<i>Cyclic prefix</i>	¼, 1/8, 1/16 and 1/32
<i>Diversity</i>	<i>Two branch Tx/Rx polarization diversity and Maximum Ratio Combining(MRC)</i>
<i>Space Time Coding (STC)</i>	<i>Alamouti coding</i>
<i>Forward Error Corection (FEC)</i>	<i>Reed-Solomon and Convolutional Coding rates ½, 2/3 and ¾</i>
<i>Channel Capacity</i>	<i>2, 4, 8 and 16 channel</i>
<i>Sectors</i>	<i>Up to 6</i>
<i>Operating Temperature</i>	<i>Indoor digital shelf : -5 to +45°C (23 to 113°F)</i> <i>Outdoor WBRU : -30 to +55°C (-22 to 131°F)</i>
<i>Security Optional</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Encryption : DES and AES</i> • <i>Authentication based on X. 509 certificate</i>
<i>Power Consumption</i>	1240 W

2. Spesifikasi Perangkat *Subscriber Station (SS)*

Parameter	Nilai
<i>Frequency Range</i>	3.5 GHz band (3300 – 3800 MHz)
<i>Channel Bandwidth</i>	1.75, 3.5 (air 2) and 7 MHz (air 4)
<i>Adaptive Modulation</i>	64 QAM (3/4, 2/3), 16 QAM (3/4, 1/2), QPSK (3/4, 1/2) and BPSK (1/2) (8 levels)
<i>Antena</i>	<i>Integral Panel</i>
<i>Antena Gain</i>	6 dBi
<i>Antena for CPE</i>	
<i>Out door</i>	13 dBi at 2,3 GHz 14 dBi at 2,5 GHz 17 dBi at 3,5 GHz
<i>Indoor</i>	7 dBi at 2,3 GHz and 2,5 GHz 9 dBi at 3,5 GHz
<i>Receiver sensitivity</i>	-100 dBm
<i>Noise figure</i>	7 dB
<i>Cyclic prefix</i>	1/4, 1/8, 1/16 and 1/32
<i>Diversity</i>	<i>Maximum Ratio Combining(MRC)</i>
<i>Space Time Coding (STC)</i>	<i>Alamouti coding</i>
<i>Forward Error Corection (FEC)</i>	<i>Reed-Solomon and Convolutional Coding, Rates 1/2, 2/3 and 3/4</i>
<i>Operating Temperature</i>	: -40 to +60 ⁰ C (-40 to 140 ⁰ F)
<i>Security Optional</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Encryption : DES and AES</i> • <i>Authentication based on X. 509 certificate</i>
<i>Power Consumption</i>	<i>Outdoor → 25 W</i> <i>personal → 12,5 W</i>