

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi berkembang dengan cepat. Salah satunya adalah teknologi telekomunikasi. Diawali dengan teknologi pengiriman data berupa sms hingga saat ini berkembang menjadi pengiriman data berupa multimedia. Dari hal ini jelas terlihat kebutuhan akan teknologi yang mampu mengimbangi perkembangan tersebut. Teknologi WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) hadir memberikan solusi terhadap kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat tersebut.

WiMAX merupakan salah satu bentuk teknologi nirkabel yang sedang menjadi pusat perhatian operator telekomunikasi, maupun pengguna internet di dunia saat ini.

Dengan mempertimbangkan kekurangan yang dimiliki oleh Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) maka diciptakanlah WiMAX sebagai perkembangan dari Wi-Fi, yaitu :

1. Mengembangkan radius dari Wi-Fi yang secara teori mampu mencapai 50 km, bandingkan dengan area cakupan Wi-Fi yang hanya mencapai maksimal radius 100 meter saja.
2. Memperbesar kecepatan pengiriman data maksimal mencapai 63 Mbps, bandingkan dengan Wi-Fi yang maksimal mencapai 54 Mbps.

(Sumber: Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia, Gunawan W., Gunadi Dwi H.)

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.

Frekuensi yang digunakan untuk aplikasi WiMAX untuk tiap negara berbeda tergantung dari kebijakan *provider* maupun regulasi frekuensi pada negara tersebut. Standar IEEE 802.16d menyebutkan bahwa frekuensi yang dapat digunakan untuk aplikasi WiMAX yaitu antara 2GHz-11GHz. Untuk daerah-daerah Amerika, standar frekuensi yang digunakan yaitu 2.5GHz dan 5GHz. Sedangkan untuk beberapa Negara Eropa standar frekuensi yang digunakan yaitu antara 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz, 3.8GHz, 5GHz dan 5.8GHz. Di Indonesia sendiri, WiMAX menggunakan frekuensi 2.3GHz berdasarkan keputusan dari BRTI (Badan Regulasi Telekomunikasi Indonesia).

Dalam skripsi ini akan dibahas tentang perencanaan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur. Sebagaimana yang kita ketahui, selain Kota Surabaya sebagai salah satu kota industri terbesar di Indonesia, Kota Surabaya juga memiliki banyak lembaga pendidikan seperti universitas-universitas yang mahasiswanya membutuhkan layanan internet guna menunjang pendidikannya.

Hal ini menunjukkan bahwasannya kebutuhan akan internet di Kota Surabaya menjadi kebutuhan yang sangat *vital*. Namun kami hanya merencanakan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur mengingat luasnya Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Metode apa yang tepat digunakan dalam meramalkan jumlah pelanggan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur.
2. Bentuk jaringan WiMAX seperti apa yang akan direncanakan di Kota Surabaya Bagian Timur yang memenuhi standar IEEE 802.16d.

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. rev2004.
3. Tidak memperhatikan faktor ekonomi dan biaya pembuatan sel dianggap sama.
4. Frekuensi yang digunakan adalah 2.3 GHz.
5. Perencanaan yang dilakukan dengan mengabaikan sekuritas jaringan.
6. Perencanaan jaringan WiMAX dilakukan di Kota Surabaya Bagian Timur.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk merencanakan dan merealisasikan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur.

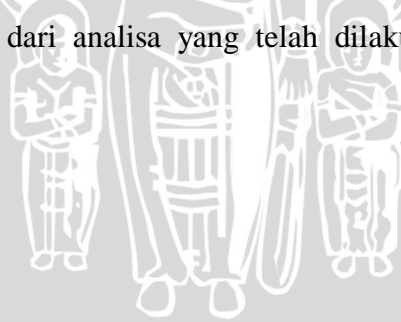
1.5 Manfaat

Menjadi salah satu alternatif dalam menunjang kebutuhan internet dengan *data rate* yang tinggi di Kota Surabaya Bagian Timur.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri atas 5 Bab. Bab I, Pendahuluan menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan. Bab II, Dasar Teori meliputi jaringan *wireless*, tipe jaringan *wireless*, standarisasi jaringan *wireless*, klasifikasi daerah pelayanan, *broadband wireless access* (BWA), standar WiMAX, topologi jaringan WiMAX, layer WiMAX, arsitektur jaringan WiMAX, aplikasi *fixed* WiMAX, serta perencanaan jaringan WiMAX yang meliputi perhitungan jumlah pelanggan, perhitungan kapasitas kanal, perhitungan *bitrate*, analisa RSL, perhitungan radius sel dan jumlah sel, penentuan lokasi BS, penentuan media transmisi, penentuan jenis antenna dan perhitungan *pathloss*.

Bab III, Metodologi membahas tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah, yang meliputi langkah-langkah untuk melakukan perencanaan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur. Bab IV, Hasil dan Pembahasan berisi langkah - langkah perencanaan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur 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

Saat ini *wireless* adalah salah satu teknologi dalam dunia telekomunikasi yang sedang berkembang. *Wireless* menyediakan layanan untuk berkomunikasi maupun pengiriman data tanpa menggunakan kabel, namun 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 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 memanfaatkan perkembangan ini, maka pelayanan yang diberikan haruslah semaksimal mungkin. 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*) merupakan suatu upaya untuk menjawab kebutuhan *data rate* yang besar, daya jangkauan yang luas, serta kompatibilitas antar komponen di dalam jaringan. *Throughput* yang besar sudah tentu menjadi target awal dari pengembangan suatu teknologi akses. Hal ini didorong oleh semakin beragamnya aplikasi komunikasi yang dilakukan oleh pelanggan.

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*, 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.

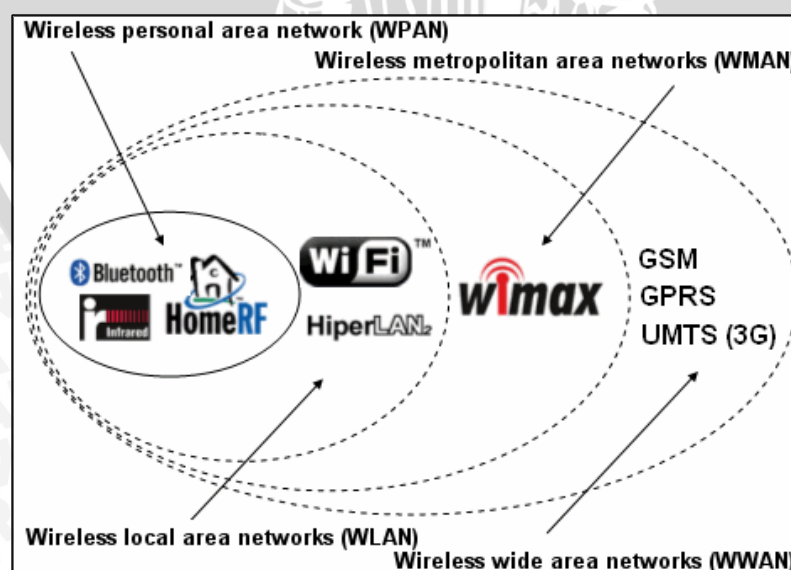
Secara teori cakupan radius WiMAX mampu mencapai 50 km dengan kemampuan dapat mengirimkan data dengan kecepatan sampai 63 Mbps untuk tipe akses *fixed* dan *portable*. Namun dalam penerapannya tetap dibutuhkan beberapa *Base Station* (BS) guna memperkuat sinyal yang akan ditransmisikan kepada *Subscriber Station* (SS) di sisi pelanggan.

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, laptop, 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. Gambar 2.1 menunjukkan klarifikasi jaringan *wireless*.



Gambar 2.1 Klarifikasi Jaringan Wireless

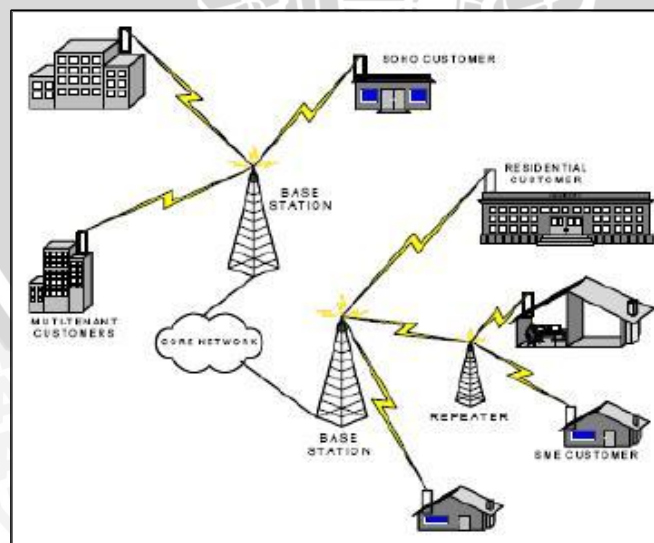
Sumber : www.robeon.com

Dengan jarak sekitar 10 meter, WPAN (*Wireless Personal Area Network*) 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). Saat ini dua teknologi yang umum dari WPAN adalah *bluetooth* dan *infrared*. *Bluetooth* merupakan teknologi pengganti kabel yang menggunakan gelombang radio.

Sedangkan WLAN (*Wireless Local Area Network*) 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 dapat digunakan pada ruangan terbuka maupun tempat yang tidak diperbolehkan untuk dilakukan instalasi kabel permanen.

WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) 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. WiMAX merupakan teknologi WMAN yang sedang dikembangkan.

Gambar 2.2 menunjukkan desain jaringan WMAN.



Gambar 2.2 Desain Jaringan WMAN
Sumber : Jeffrey G Andrews 2007 : 25

Dan terakhir adalah WWAN (*Wireless Wide Area Network*). WWAN 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*).

2.2.2 Standarisasi Jaringan *Wireless*

Wireless diatur dengan menggunakan standar IEEE 802.11. Saat ini sudah banyak perangkat dengan dukungan konektivitas *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 ditawarkan 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.

Perbandingan standar *wireless* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Standar *Wireless*

No	Spesifikasi	Transfer 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 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.

2.2.3.1 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.

2.2.3.2 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.

2.2.3.3 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. Pembagian klasifikasi daerah dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pembagian Klasifikasi Daerah

No.	Kategori	Keterangan
1.	Urban	<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.	Suburban	<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	Rural	<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 Surabaya dikategorikan dalam daerah urban dikarenakan Kota Surabaya merupakan daerah bisnis dan perkantoran dengan banyak gedung pencakar langit.

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 *broadband wireless access* (BWA) berkecepatan tinggi untuk pertukaran informasi. WiMAX memiliki jangkauan yang jauh hingga

mencapai 50 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.

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. Standar WiMAX mengacu pada standar IEEE dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Standar WiMAX mengacu pada standar 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	Gross data rate	32 Mbps - 134,4 Mbps	1 Mbps - 75 Mbps	1 Mbps - 75 Mbps
8	Duplexing	TDD and FDD	TDD and FDD	TDD and FDD
9	Multiplexing	TDMA	TDMA, OFDMA	TDMA, OFDMA
10	Channel Bandwidth	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	Air-interface designation	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	WiMAX implementation	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*. Berikut Tabel 2.4 yang menunjukkan standar *interface* WiMAX.

Tabel 2.4 Standar *Interface* WiMAX

Designation	Band Frekuensi	Duplexing
Wireless MAN-SC	10 GHz - 66 GHz (LOS)	TDD dan FDD
Wireless MAN-SCa	2 GHz - 11 GHz (NLOS)	TDD dan FDD
Wireless 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 (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing *sub-carrier* tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio symbol yang rendah.

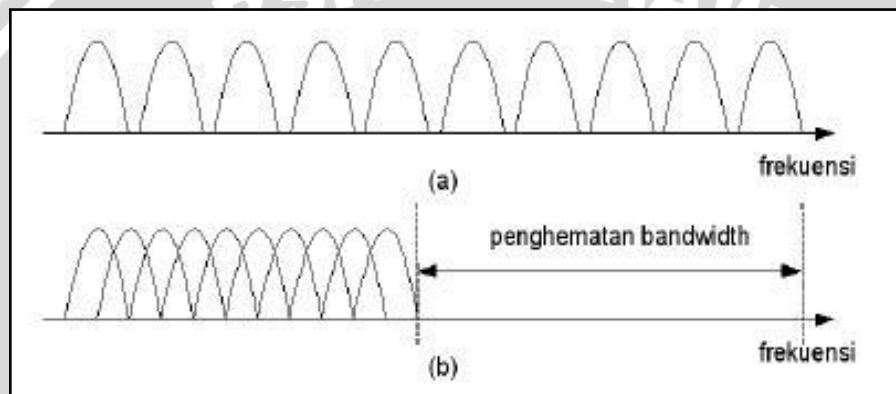
Prinsip kerja dari OFDM dapat dijelaskan sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk paralel, sehingga bila *bit rate* semula adalah R , maka *bit rate* di tiap-tiap jalur paralel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *sub-carrier*).

Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM.

Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim.

Karena sifat ortogonalitas ini, maka antar *subcarrier* yang berdekatan bisa dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI) dengan menambahkan *cyclic prefix* (CP) selama *guard interval*. *Cyclic prefix* ini terdiri dari akhir dari simbol OFDM.

Hal ini akan membuat sistem OFDM mempunyai efisiensi spektrum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi *multicarrier* konvensional. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 (a) Sinyal suara (b) Sinyal suara dengan OFDM
Sumber : Jeffrey G Andrews and Arunabha Ghosh, 2007 : 96

Sinyal *carrier* dari OFDM merupakan penjumlahan dari banyaknya *sub-carriers* yang *orthogonal*, dengan data *baseband* pada masing-masing *sub-carriers* dimodulasikan secara bebas menggunakan teknik modulasi QAM atau PSK.

Sinyal yang terkirim tersebut, dalam persamaan matematik bisa diekspresikan sebagai berikut,

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_n f(t - nT) e^{j(\omega_0 t + \varphi)} \right\} \quad (1) \quad (2.1)$$

Dimana $\text{Re}(\cdot)$ adalah bagian real dari persamaan, $f(t)$ adalah respons impuls dari filter transmisi, T adalah periode simbol, ω_0 adalah frekuensi pembawa (*carrier frequency*) dalam bentuk radian, φ adalah fase pembawa (*carrier phase*), dan b_n adalah data informasi yang telah termodulasi yang menjadi input dari IDFT.

Pada stasiun penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke paralel, kemudian konversi sinyal paralel dengan *Fast Fourier Transform* (FFT), setelah itu demodulasi, konversi paralel ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi.

OFDM adalah salah satu jenis dari multicarrier (FDM), tetapi memiliki efisiensi pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik. Pada OFDM overlap antar frekuensi yang bersebelahan diperbolehkan dan tidak menimbulkan interferensi, karena masing-masing sudah saling *orthogonal*.

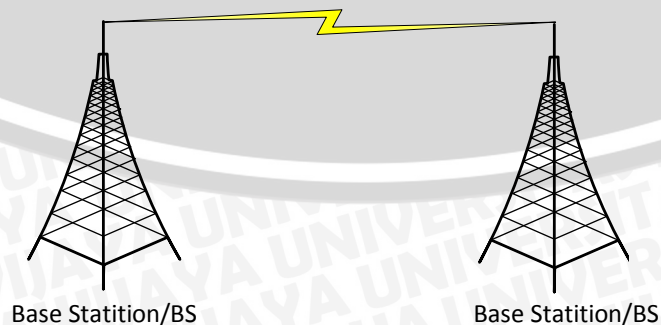
Sedangkan pada sistem *multicarrier* konvensional untuk mencegah interferensi antar frekuensi yang bersebelahan perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band*), dimana hal ini memiliki efek samping berupa menurunnya kecepatan transmisi bila dibandingkan dengan sistem *single carrier* dengan lebar spektrum yang sama. Sehingga salah satu karakteristik dari OFDM adalah tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi.

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

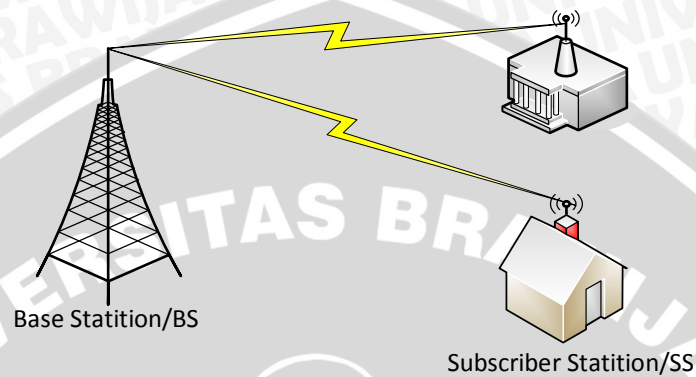
Point to point adalah topologi yang menghubungkan antara terminal pemancar dan terminal penerima. Pada sisi pemancar dan sisi penerima terdapat 1 perangkat pemancar dan 1 perangkat penerima. Topologi *point to point* digunakan untuk menjalin hubungan antar *base station*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 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*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.5.

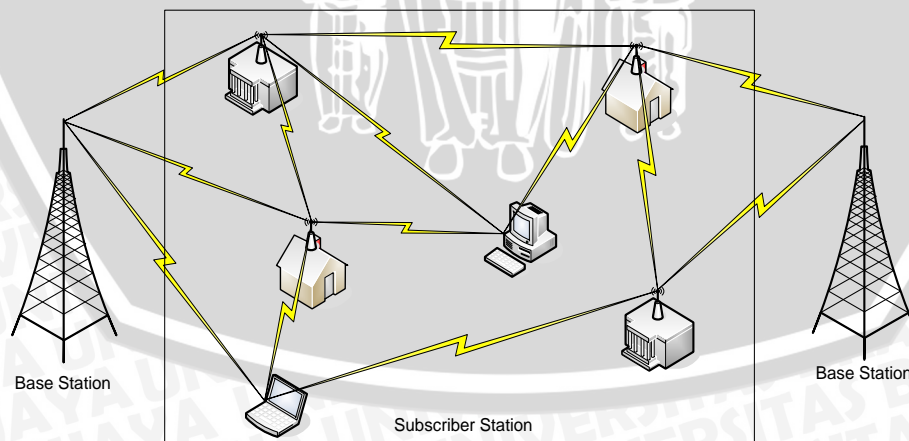


Gambar 2.5 Metode *Point to Multipoint* pada WiMAX

Sumber : perancangan

2.3.3.3 Mesh Network

Mesh Network berfungsi sebagai *router* bagi *end user* terminal yang lain. *Mesh network* menawarkan peningkatan *coverage* WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) karena setiap *subscriber* berfungsi sebagai BS baru bagi *subscriber* disampingnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6.

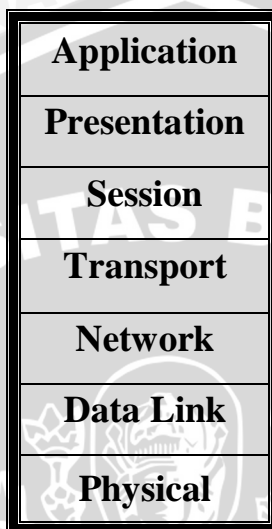


Gambar 2.6 Metode *Mesh* Pada WiMAX

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*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 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 yang berada dalam *data link layer* berfungsi sebagai penerjemah protokol-protokol yang ada di atasnya.

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. Fitur layanan PHY dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 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. Fitur layanan MAC dapat dilihat pada Tabel 2.6.

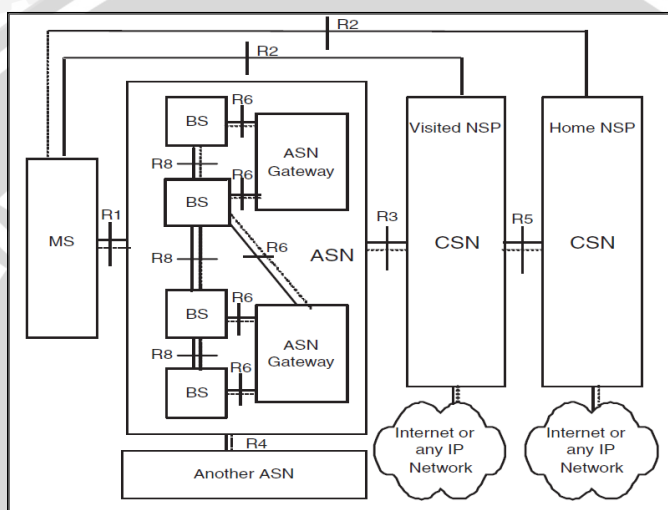
Tabel 2.6 Fitur Layanan MAC

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

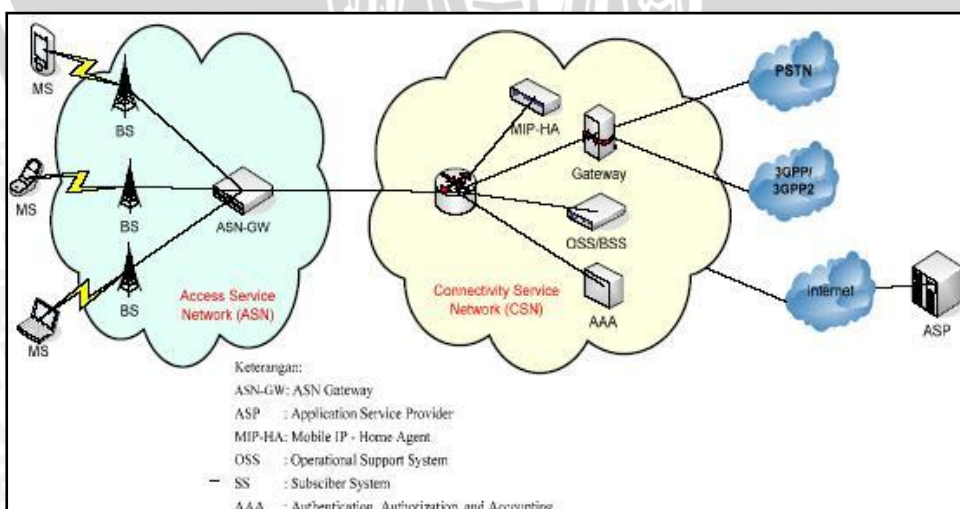
Arsitektur WiMAX secara umum terdiri dari tiga bagian, yaitu *Mobile Station* (MS) atau *Subscriber Station* (SS), *Access Service Network* (ASN) dan *Connectivity Service Network* (CSN). ASN terdiri dari dua bagian, yaitu *Base Station* (BS) dan *ASN Gateway*. BS dihubungkan secara *point to multipoint* 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*. Arsitektur WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Arsitektur WiMAX

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

Sedangkan dalam aplikasi, konfigurasi jaringan WiMAX ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi Jaringan WiMAX

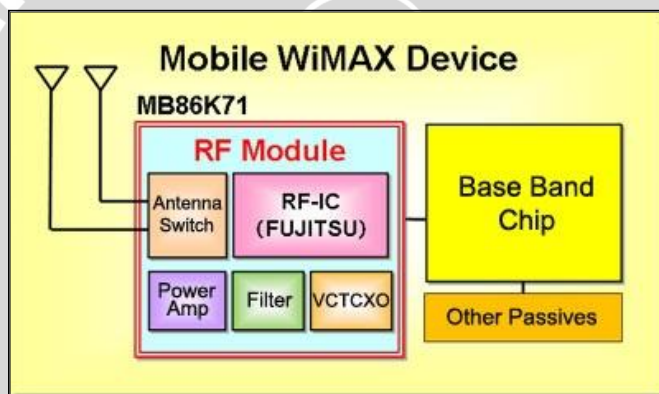
Sumber : itttelkom.ac.id

Konfigurasi jaringan WiMAX pada gambar diatas merupakan konfigurasi untuk jenis pelanggan yang *fixed* atau tidak bergerak.

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*. Berikut ini adalah arsitektur SS WiMAX Fujitsu yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Arsitektur SS WiMAX Fujitsu
Sumber : Gunawan Wibisono dan Gunadi DH, 2006 : 57

Fungsi masing-masing modul 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)

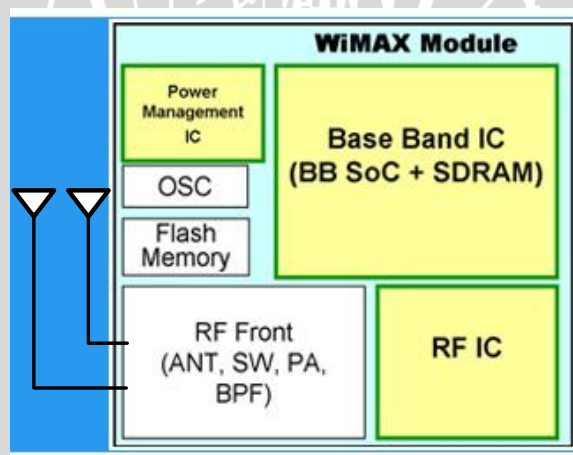
ASN merupakan subsistem yang memberikan semua fungsionalitas koneksi radio dengan pelanggan WiMAX. Tugas utama dari ASN adalah sebagai berikut :

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*. Berikut ini adalah arsitektur BS WiMAX Fujitsu yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Arsitektur BS WiMAX Fujitsu

Sumber : gunawan wibisono dan Gunadi DH, 2006 : 60

Fungsi masing -masing modul 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

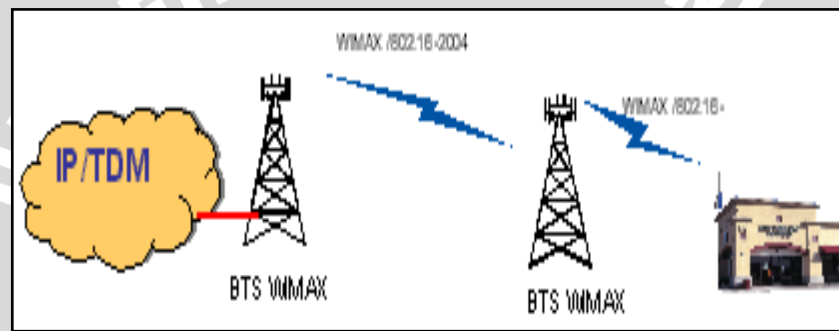
Berbagai keunggulan yang diberikan WiMAX, menjadikan teknologi ini sebagai solusi dari era teknologi *broadband*. WiMAX IEEE 802.16d dapat diaplikasikan pada aplikasi yang lain, yaitu aplikasi *backhaul*, akses *broadband* dan personal *broadband*.

2.3.6.1 Aplikasi *Backhaul*

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

- *Backhaul* WMAN

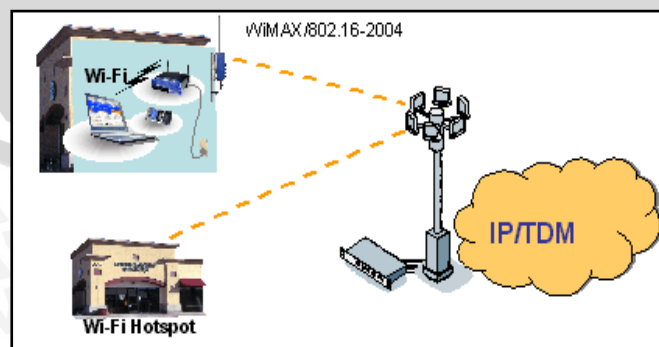
Dalam konteks WiMAX sebagai *backhaul* WMAN, aplikasinya mirip dengan fungsi BTS sebagai *repeater*, yang bertujuan untuk memperluas jangkauan dari WiMAX. Konfigurasinya seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konfigurasi WiMAX sebagai *Backhaul* WMAN
Sumber : www.ristinet.com

- *Backhaul* Hotspot

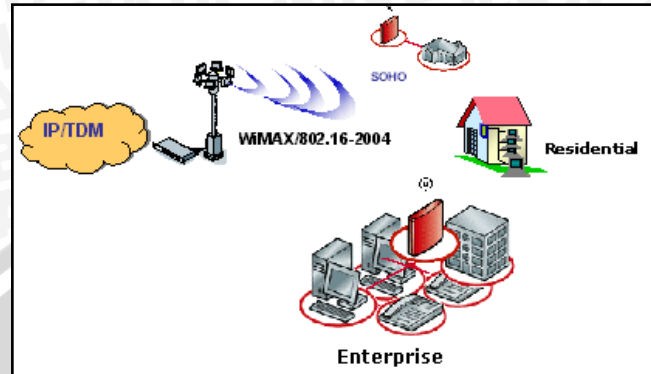
Pada aplikasi ini, WiMAX merupakan solusi dari keterbatasan jaringan kabel yang umumnya digunakan pada teknologi DSL. Konfigurasi dari aplikasi ini seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konfigurasi WiMAX sebagai *Backhaul* Hotspot
Sumber : www.ristinet.com

2.3.6.2 Akses *Broadband*

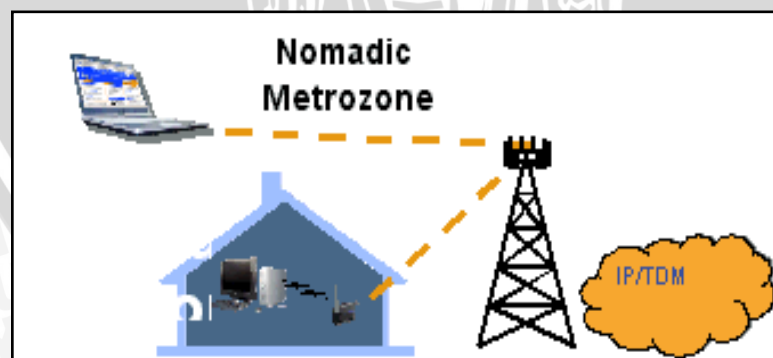
WiMAX dapat diaplikasikan untuk melayani kebutuhan *broadband* bagi pelanggan, baik pelanggan rumahan atau perusahaan. Konfigurasi dari aplikasi ini seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Konfigurasi WiMAX sebagai Akses *Broadband*
Sumber : www.ristinet.com

2.3.6.3 *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 dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Konfigurasi WiMAX sebagai *Personal Broadband*
Sumber : www.ristinet.com

2.4 Perencanaan Jaringan WiMAX

Dalam perencanaan jaringan WiMAX akan dilakukan beberapa tahap perhitungan. Sehingga dari hasil perhitungan yang dilakukan akan didapatkan suatu jaringan yang baik. Perencanaan jaringan WiMAX meliputi beberapa langkah yaitu perhitungan jumlah pelanggan, perhitungan kapasitas kanal, perhitungan total kebutuhan *bandwidth*, perhitungan *bitrate*, perhitungan radius sel dan jumlah sel, penentuan lokasi BS, 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 Surabaya. Data yang diperoleh adalah data antara tahun 2006 sampai tahun 2010. Data tersebut selanjutnya akan digunakan untuk meramalkan jumlah penduduk lima tahun mendatang, yaitu tahun 2015. Peramalan jumlah penduduk ini akan menggunakan metode Least Square atau metode Kuadrat Terkecil.

Metode Least Square atau metode Kuadrat Terkecil digunakan untuk melakukan analisa apakah terdapat hubungan diantara dua variable yang ditinjau, seberapa kuat hubungan yang terjadi dan digunakan untuk peramalan kondisi mendatang dengan memanfaatkan persamaan regresi atau kurva regresi yang dihasilkan.

Berikut adalah persamaan kurva penduga regresi linier sederhana :

$$Y = A + BX \quad (2-2)$$

Kurva tersebut dimanfaatkan untuk menunjukkan hubungan atau korelasi antara sejumlah pasangan data X dan Y yang mempunyai kecendrungan hubungan linier. Fungsi *Least Square* adalah meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan antara titik-titik

koordinat data yang sebenarnya dan titik koordinat yang dihasilkan oleh persamaan regresi.

Proses penyelesaian permasalahan dengan menggunakan metode regresi linier sederhana dimulai dengan membaca cacah pasangan data yang ada, dinyatakan dengan variable N. Dengan suatu proses berulang sebanyak N kali masing-masing pasangan data dibaca sebagai X[I] dan Y[I]. Indeks I digunakan untuk mengidentifikasi setiap pasangan data X dan Y. Proses kemudian dilanjutkan untuk menghitung harga-harga berikut :

$\sum X[I]$: jumlah semua data X
$\sum Y[I]$: jumlah semua data Y
$\sum X[I] \times Y[I]$: jumlah semua data X x Y
$\sum (X[I])^2$: jumlah semua data X dikuadratkan

Pada akhirnya nilai-nilai koefisien persamaan regresi A dan B dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$B = \frac{\sum (X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I] / N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2 / 2\}} \quad (2-3)$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X} \quad (2-4)$$

Keterangan :

\bar{Y} = harga rata-rata Y, dihitung dengan formula $\sum Y[I] / N$

\bar{X} = harga rata-rata X, dihitung dengan formula $\sum X[I] / N$

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. Untuk mengetahui jumlah penduduk usia produktif digunakan persamaan :

$$\text{Jumlah penduduk usia produktif} = 70\% \times \text{jumlah penduduk total} \quad (2-5)$$

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 :

$$FP = \frac{\sum \text{saluran terpasang} + \text{Calon pelanggan} + \text{suspressed demand}}{\sum \text{bangunan}} \quad (2-6)$$

dengan :

FP = Faktor penetrasi

2.4.1.4 Jumlah Pelanggan WiMAX

Pelanggan WiMAX adalah 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 :

$$\text{Pelanggan WiMAX} = \text{user operator} \times FP \quad (2-7)$$

2.4.2 Perhitungan 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 :

$$A_{\text{total}} = A_{\text{user}} \times \sum \text{pelanggan WiMAX} \quad (2-8)$$

dengan :

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). Berdasarkan keputusan BRTI (Badan Regulasi Telekomunikasi Indonesia), WiMAX menggunakan frekuensi 2.3GHz

2.4.4 Bit Rate

Bit rate adalah kecepatan pengiriman informasi melalui media transmisi dan dinyatakan dengan satuan bit/detik (bps). Perhitungan *bit rate* ini akan dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$R = \frac{2 \log n}{t_b} \quad (2-9)$$

dengan :

R = *Bit Rate* (bps)

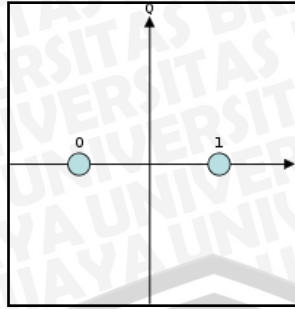
n = Banyaknya simbol

t_b = Durasi bit (detik)

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. Berikut ini adalah diagram konstelasi BPSK yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.

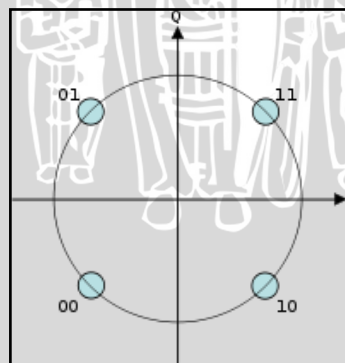


Gambar 2.16 Diagram Konstelasi BPSK

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. Berikut ini adalah diagram konstelasi modulasi QPSK yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



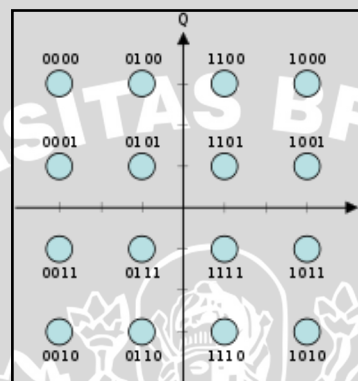
Gambar 2.17 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK

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

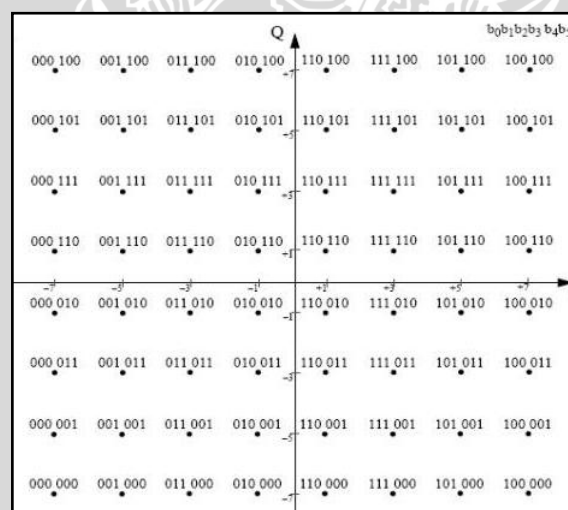
2.4.4.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

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. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 2.18.



(a)



(b)

Gambar 2.18 (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 :

$$R = \sqrt{\frac{\text{Kapasitas pelanggan BS}}{\pi \times \Omega}} \quad (2-10)$$

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

$$\Omega = \frac{\text{jumlah pelanggan}}{\text{Luas area}} \quad (2-11)$$

dengan :

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 Media 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 media transmisi berupa kabel 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*

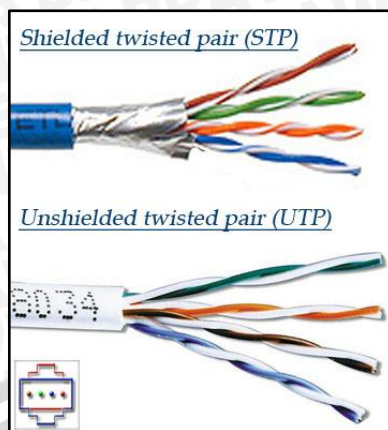
Twisted pair cable adalah kabel yang terdiri dari dua buah konduktor yang digabungkan dengan tujuan untuk mengurangi atau meniadakan interferensi elektromagnetik dari luar seperti radiasi elektromagnetik dan *crosstalk* yang terjadi di antara kabel yang berdekatan. Ada dua macam *Twisted Pair*, yaitu 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 pasang 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. Kabel *Twisted Pair* STP dan UTP dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 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 sinyal 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*

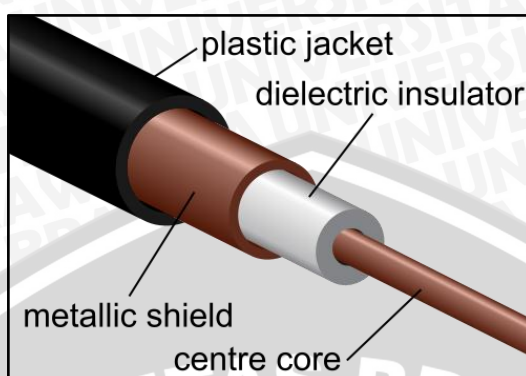
Kabel ini mempunyai rata-rata diameter 12 mm dan biasanya diberi warna kuning. Kabel ini cukup sulit untuk dilakukan pemasangan karena ukurannya yang sangat besar dan biayanya sangat mahal, sehingga kabel ini hanya dipergunakan untuk kepentingan khusus.

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. Kabel koaksial dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 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 bandingkan dengan *core*.

A. Perambatan

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*.

B. Indeks Bias

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 mendekati ke arah *cladding* semakin kecil. Jadi pada *graded* indeks, pusat *core* memiliki nilai indeks bias yang paling besar.

C. Redaman

Menurut rekomendasi ITU-T G.0653E, kabel serat optik harus mempunyai koefisien redaman 0.5 dB/km untuk panjang gelombang 1310 nm dan 0.4 dB/km untuk panjang gelombang 1550 nm. Tapi besarnya koefisien ini bukan merupakan nilai yang mutlak, karena harus mempertimbangkan proses pabrikan, desain & komposisi fiber, dan desain kabel. Untuk itu terdapat range redaman yang masih diijinkan yaitu 0.3-0.4 dB/km untuk panjang gelombang 1310 nm dan 0.17-0.25 dB/km, untuk panjang gelombang 1550. Selain itu, koefisien redaman mungkin juga dipengaruhi spektrum panjang gelombang yang diperoleh dari hasil pengukuran pada panjang gelombang yang berbeda.

Secara sederhana, maka besarnya redaman (A) pada section kabel dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + \alpha_s \cdot \chi + \alpha_c \cdot y \quad (2.12)$$

dimana,

α_n = koefisien redaman fiber ke-n dalam elementary cable section;

L_n = panjang fiber ke-n;

m = jumlah total concatenated fiber dalam elementary cable section;

α_s = mean splice loss;

χ = jumlah splices dalam elementary cable section;

α_c = mean loss of line connectors;

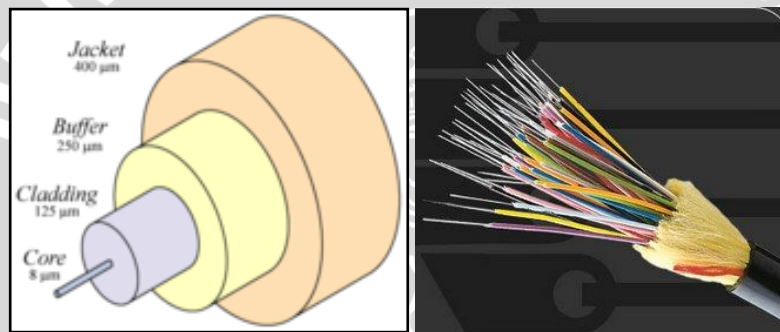
y = jumlah line connectors dalam elementary cable section (jika tersedia).

D. Kelebihan

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

- Lebar jalur besar dan kemampuan dalam membawa banyak data, dapat memuat kapasitas informasi yang sangat besar dengan kecepatan transmisi mencapai gigabit-per detik dan menghantarkan informasi jarak jauh tanpa pengulangan.
- Biaya pemasangan dan pengoperasian yang rendah serta tingkat keamanan yang lebih tinggi.
- Ukuran kecil dan ringan, sehingga hemat pemakaian ruang.
- Imun, kekebalan terhadap gangguan elektromagnetik dan gangguan gelombang radio.
- Non-Penghantar, tidak ada tenaga listrik dan percikan api.
- Tidak berkarat

Gambar 2.21 menunjukkan bagian serat optik dan bentuk fisik serat optik.



Gambar 2.21 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*.

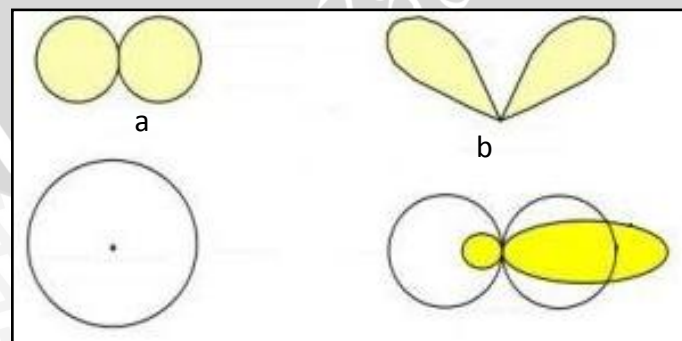
2.4.8.1 Antena *Omnidirectional*

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 2.22 menunjukkan pola radiasi masing - masing antena.



Gambar 2.22 (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 Hatta. Model Hatta adalah formula analisis yang didasarkan pada pengukuran *path loss* data yang dilakukan oleh Okumura Hatta pada tahun 1965. Model Hatta adalah satu model yang paling luas digunakan untuk estimasi besar *path loss* pada sistem makro seluler.

Persamaan *path loss* untuk model Hatta adalah :

$$PL \text{ (dB)} = 46.3 + 20,54 \log (f) - 13.82 \log (h_b) + (44.9 - 6.55 \log (h_b)) \log (d) - a(h_m) + C_F \quad (2-13)$$

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

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

$$a(h_m) = (1.11 \log (f) - 0.7) h_m - (1.56 \log (f) - 0.8) \quad (2-14)$$

dengan :

PL = *Path loss* (km)

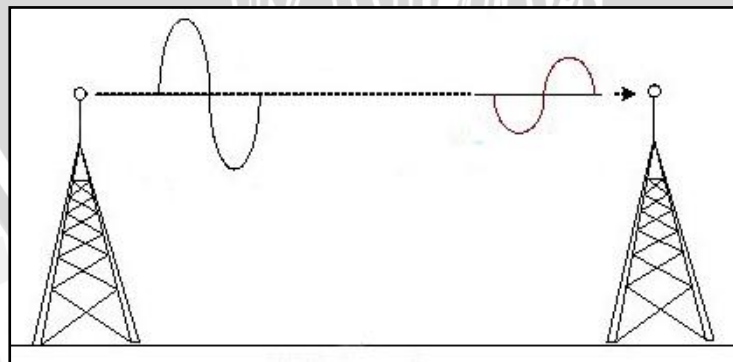
f = Frekuensi kerja (MHz)

d = Jarak maksimum antara BS dengan SS (km)

h_b = Tinggi antena BS (m)

h_m = Tinggi antena SS (m)

Gambar 2.23 menunjukkan adanya redaman sinyal atau *path loss*.



Gambar 2.23 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 :

$$P_r = P_t + G_t - G_r - PL - C_r - C_t \quad (2-15)$$

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 :

$$P_t = P_r - G_t + G_r + PL + C_t + C_r \quad (2-16)$$

dengan :

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_r = Redaman kabel sisi SS (dB)

2.4.11 Receive Signal Level

Receive Signal Level adalah kemampuan penerima menerima daya minimum. Semakin kecil nilai RSL, maka semakin baik sensitifitas penerima. Nilai RSL dapat dihitung dengan persamaan :

$$RSL = \frac{Eb}{No} + (NF - 204(\text{dBW})) + (10 \log \text{Laju Bit}) + \text{Fading Margin} \quad (2.17)$$

$$No = NF - 204 (\text{dBW}) \quad (2.18)$$

$$\frac{Eb}{No} = Eb - No \quad (2.19)$$

Dari substitusi persamaan (4.19), (4.20) dan (4.21) maka :

$$RSL = Eb + (10 \log \text{Laju Bit}) + \text{Fading Margin} \quad (2.20)$$

Dimana :

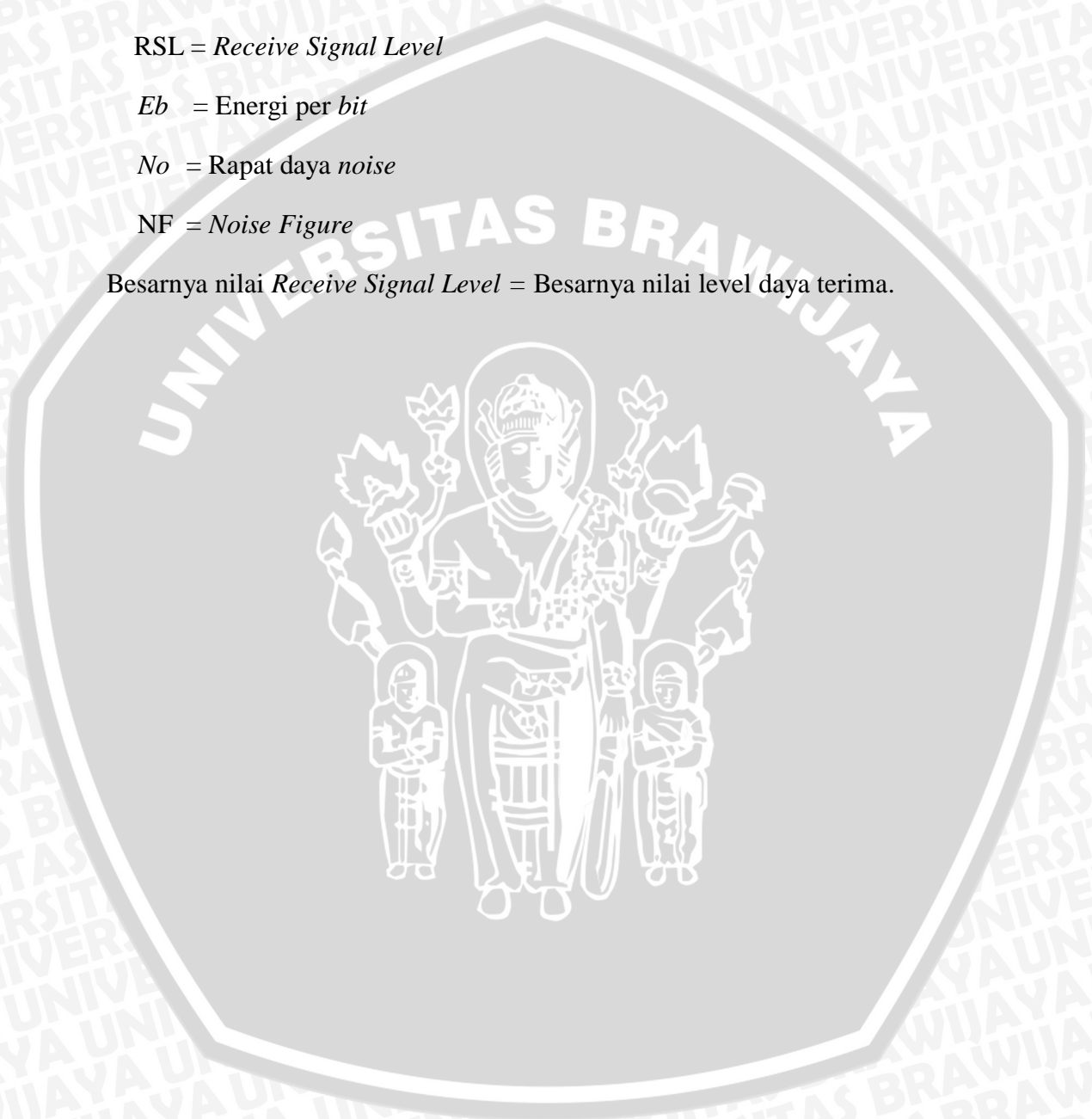
RSL = *Receive Signal Level*

E_b = Energi per bit

N_o = Rapat daya noise

NF = *Noise Figure*

Besarnya nilai *Receive Signal Level* = Besarnya nilai level daya terima.



BAB III METODOLOGI

Dalam penyusunan skripsi ini, akan dilakukan perencanaan jaringan Jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur. 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 :

- **JARINGAN WIRELESS**

Meliputi pengertian *wireless*, tipe jaringan *wireless*, standarisasi jaringan *wireless* 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 JARINGAN WIMAX**

Meliputi penjelasan mengenai langkah-langkah dalam merencanakan jaringan WiMAX yang meliputi perhitungan jumlah pelanggan, perhitungan kapasitas kanal, perhitungan *pathloss*, perhitungan level daya terima, perhitungan *bitrate*, perhitungan radius sel dan jumlah sel, penentuan lokasi BS, penentuan media transmisi dan penentuan jenis antenna.

3.2 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 yang meliputi jumlah penduduk dan bangunan, luas wilayah dan peta wilayah Kota Surabaya Bagian Timur.
- Data spesifikasi perangkat BS dan SS WiMAX.
- Data penggunaan trafik internet pada salah satu operator.
- Data lokasi BTS eksisting pada salah satu operator di Kota Surabaya Bagian Timur.
- Tabel Erlang B dengan *Grade of Service* (GOS) 2%.

3.3 Perencanaan Jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur

Dalam melakukan perencanaan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur 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.

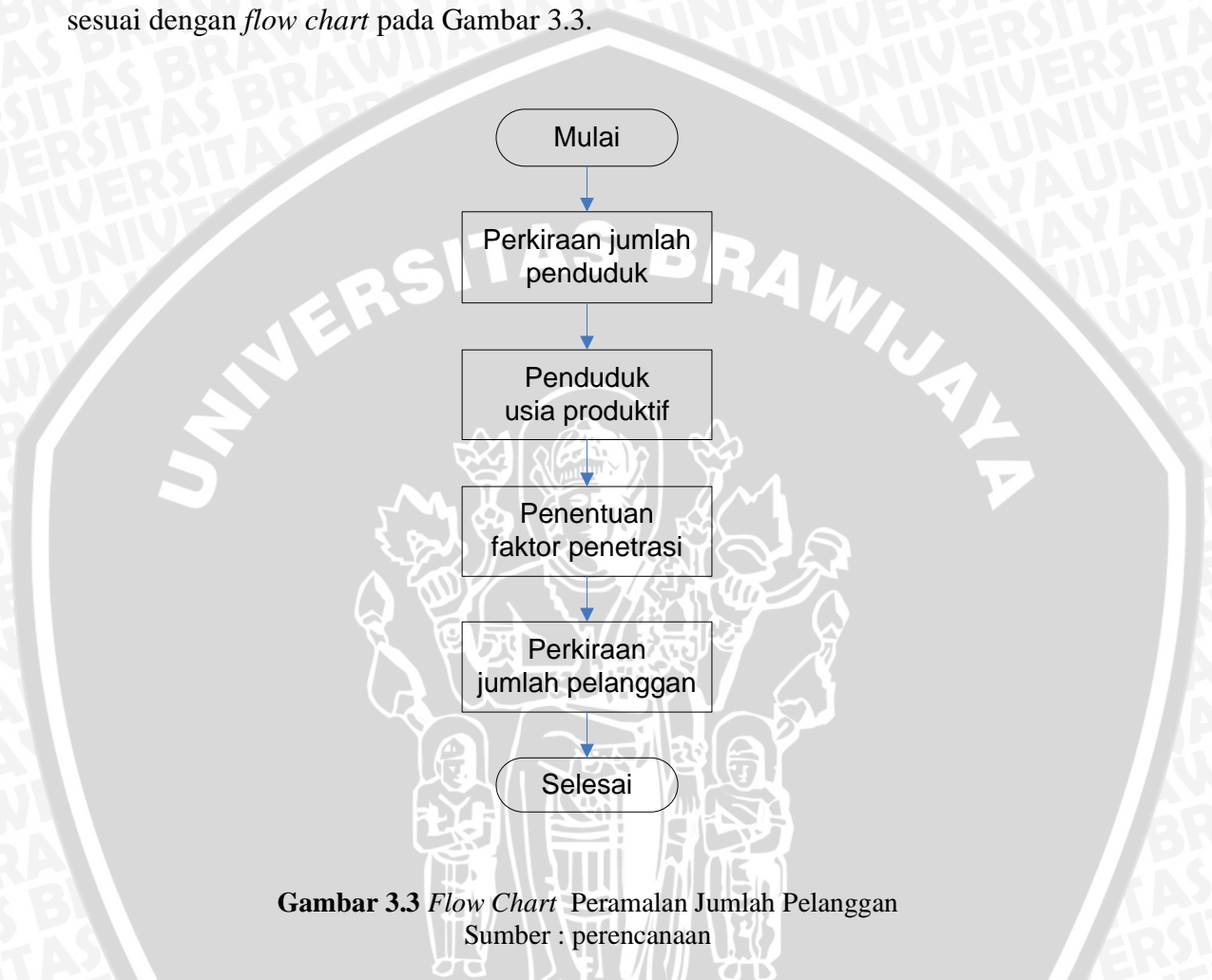


Gambar 3.2 *Flow Chart* Perencanaan Jaringan WiMAX
Sumber : Perancangan

Sesuai dengan Gambar 3.2, maka dalam melakukan perencanaan jaringan 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 Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kota Surabaya yaitu jumlah penduduk antara tahun 2006 hingga 2010. Dari data tersebut akan dilakukan peramalan jumlah penduduk pada tahun 2015 dengan menggunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil

- 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. 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. .

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Penentuan jenis antena

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

3.4 Pemberian Rekomendasi Perencanaan

Rekomendasi yang diberikan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Tujuan dari pembuatan rekomendasi ini adalah untuk membuat alternatif dalam perencanaan jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur.

3.5 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 Surabaya merupakan kota besar yang ada di Indonesia dengan jumlah penduduk yang cukup banyak dan dikenal sebagai kota industri. Setiap tahun kota ini juga 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. 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 WiMAX dalam pembahasan skripsi ini adalah topologi *point to multipoint*, sedangkan bentuk konfigurasi dari WiMAX ini ditunjukkan pada Gambar 2.9 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 Surabaya Bagian Timur akan dilakukan langkah - langkah perencanaan sehingga diperoleh hasil perencanaan yang baik. Langkah - langkah tersebut adalah :

1. Identifikasi daerah perencanaan yaitu Kota Surabaya Bagian Timur 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 perencanaan.
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 Jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur.

4.2 Kondisi Wilayah Perencanaan

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Jawa Timur yang merupakan kota industri. Selain itu Kota Surabaya memiliki banyak sekolah dan perguruan tinggi. Secara Geografis Kota Surabaya terletak pada $112^{\circ}36' - 112^{\circ}54'$ Bujur Timur dan $7^{\circ}12' - 7^{\circ}21'$ Lintang Selatan. Luas Kota Surabaya adalah $290,44 \text{ km}^2$ sedang Kota Surabaya Bagian Timur memiliki luas $85,88 \text{ km}^2$ yang berupa dataran rendah antara 3 - 6 m di atas permukaan laut. Kota Surabaya Bagian Timur terdiri dari 7 kecamatan yaitu Kecamatan Tambaksari, Gubeng, Rungkut, Tenggiling Mejoyo, Gunung Anyar, Sukolilo dan Mulyorejo yang memiliki luas wilayah yang berbeda - beda seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Luas Wilayah Kota Surabaya Bagian Timur

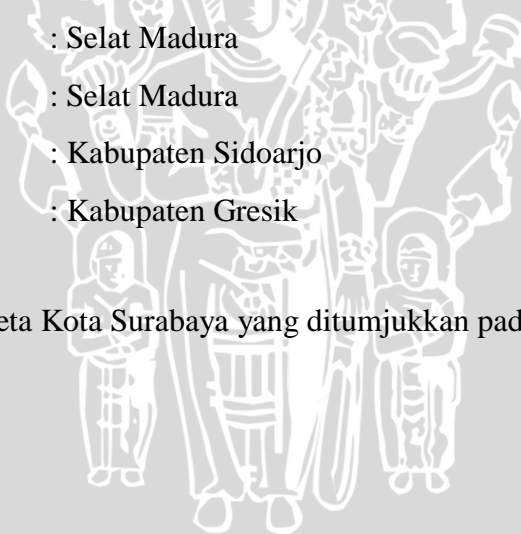
No	Kecamatan	Luas wilayah (km ²)	Persentase (%)
1	Tambaksari	9,09	10,58%
2	Gubeng	7,49	8,72%
3	Rungkut	17,45	20,33%
4	Tenggiling Mejoyo	5,9	6,87%
5	Gunung Anyar	12,36	14,39%
6	Sukolilo	21	24,45%
7	Mulyorejo	12,59	14,66%
Jumlah luas wilayah Kota Surabaya Bagian Timur		85,88	100%

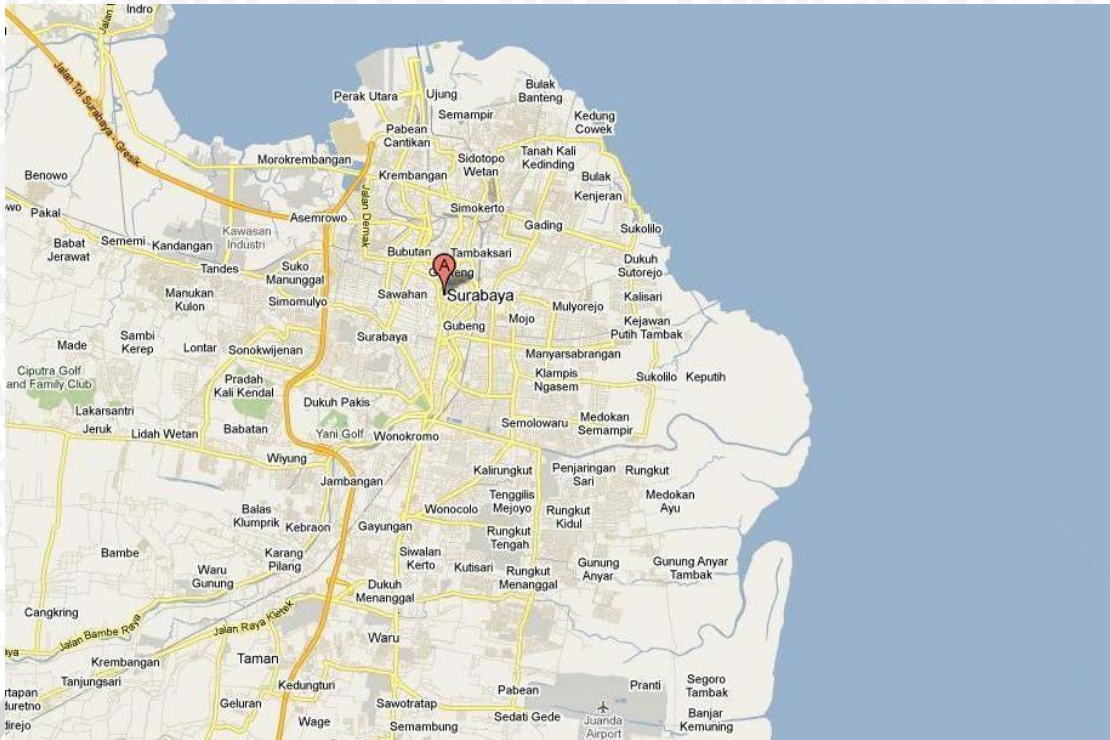
Sumber : Biro Pusat Statistik Kota Surabaya

Kota Surabaya termasuk dalam kategori daerah urban, karena banyaknya gedung yang tinggi, tingkat lalu lintas yang padat dan sedikitnya pepohonan.. Sedangkan batas - batas dari Kota Surabaya adalah :

- Sebelah utara : Selat Madura
- Sebelah timur : Selat Madura
- Sebelah selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Sebelah barat : Kabupaten Gresik

Berikut ini adalah peta Kota Surabaya yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Peta Kota Surabaya
Sumber : Google Maps

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 metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah Tabel 4.2 yang menunjukkan jumlah penduduk Kota Surabaya Bagian Timur.

Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Kota Surabaya Bagian Timur

	Kecamatan	Tahun				
		2006	2007	2008	2009	2010
1	Tambaksari	216.481	219.100	223.185	226.814	229.408
2	Gubeng	152.827	154.608	157.298	153.067	148.371
3	Rungkut	86.426	88.343	91.532	97.730	97.715
4	Tenggiling Mejoyo	52.653	53.720	55.517	55.838	52.290
5	Gunung Anyar	43.403	44.577	46.652	49.215	48.050
6	Sukolilo	94.826	96.485	99.387	102.772	103.927
7	Mulyorejo	75.440	76.915	79.404	81.402	82.270
	Jumlah	722.056	733.748	752.975	766838	762.031

Sumber : Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kota Surabaya

Sedangkan untuk jumlah bangunan (rumah, sekolah, perkantoran, rumah sakit dan bangunan umum lain) di Kota Surabaya Bagian Timur pada tahun 2008 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

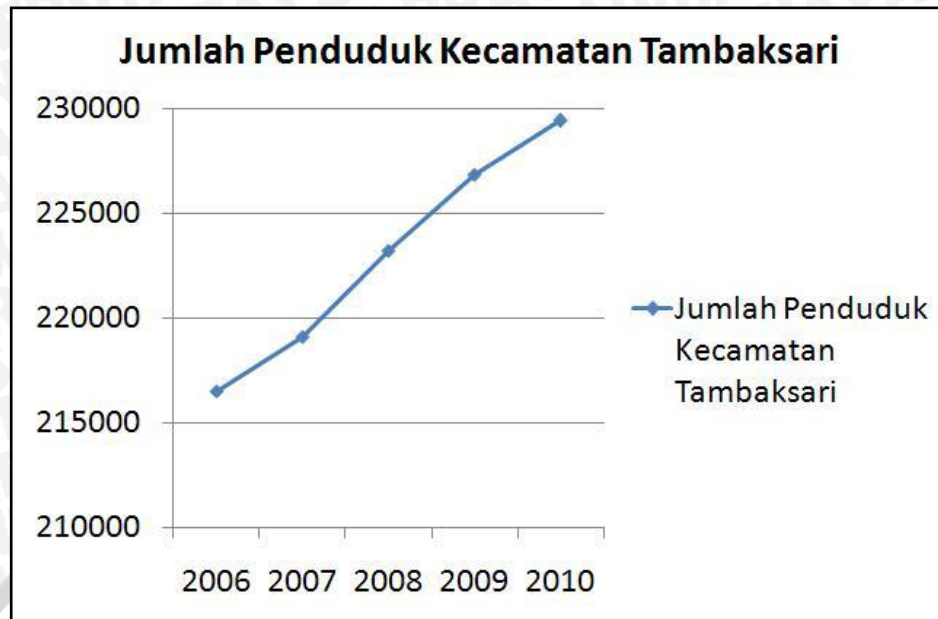
Tabel 4.3 Jumlah Penduduk dan Bangunan di Kota Surabaya Bagian Timur Tahun 2008

No	Kecamatan	Jumlah	
		Penduduk	Bangunan
1	Tambaksari	223.185	56.859
2	Gubeng	157.298	40.074
3	Rungkut	91.532	23.888
4	Tenggiling Mejoyo	55.517	14.489
5	Gunung Anyar	46.652	12.176
6	Sukolilo	99.387	25.320
7	Mulyorejo	79.404	20.723
	Jumlah	752.975	193.529

Sumber : Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya

➤ Kecamatan Tambaksari

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Tambaksari maka digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Tambaksari mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.2 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Tambaksari Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\begin{aligned} \sum X[I] &= 2006 + 2007 + 2008 + 2009 + 2010 \\ &= 10040 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Y[I] &= 216.481 + 219.100 + 223.185 + 226.814 + 229.408 \\ &= 1.114.988 \end{aligned}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{1.114.988}{5} = 222.997,6 \approx 222.998$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 216.481 = 434.260.886 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 219.100 = 439.733.700 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 223.185 = 448.155.480 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 226.814 = 455.669.326 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 229.408 = \underline{461.110.080} + \\ &2.238.929.472\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] \times Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{2.238.929.472 - 222.998}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}} \\ &= \frac{2.238.706.474}{-30.240.470} \\ &= -74,03 \\ &\approx -74\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\
 &= 222.998 - (-74.2008) \\
 &= 222.998 + 148.592 \\
 &= 371.590
 \end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Tambaksari pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

$$\text{Sehingga } Y[2015] = 371.590 - 74X[2015]$$

$$Y[2015] = 371.590 - (74 \times 2015)$$

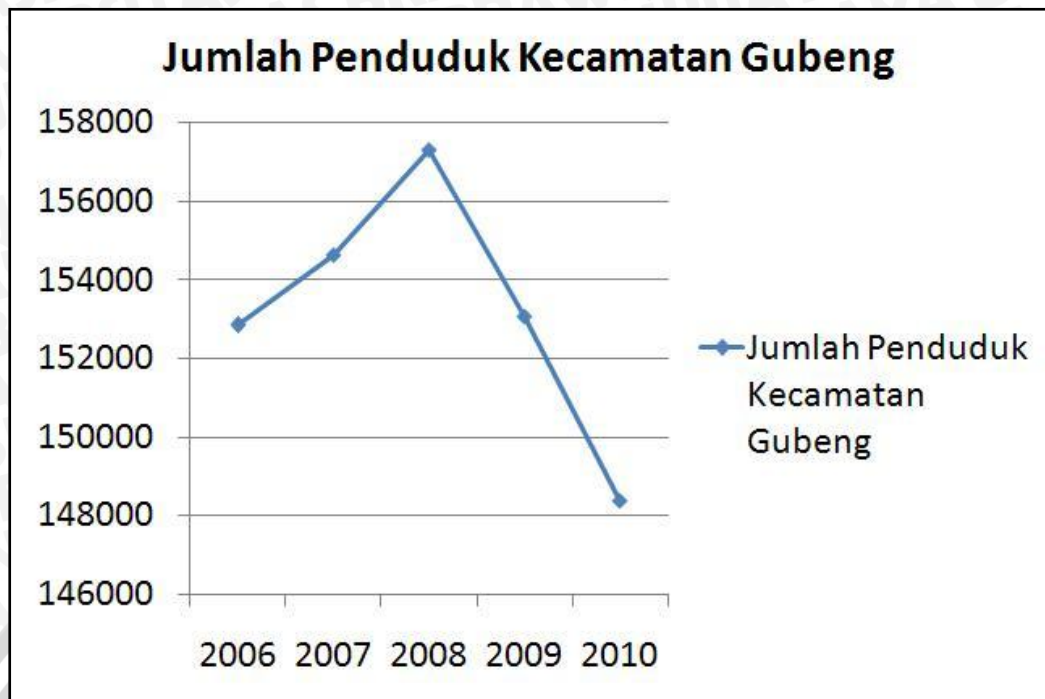
$$Y[2015] = 371.590 - 149.110$$

$$Y[2015] = 222.480$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Tambaksari berjumlah 222.480 jiwa.

➤ Kecamatan Gubeng

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Gubeng maka digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Gubeng mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.3 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Gubeng Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\sum X[I] = 10040$$

$$\sum Y[I] = 766.171$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{766.171}{5} = 153.234,2 \approx 153.234$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 152.827 = 306.570.962 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 154.608 = 310.298.256 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 157.298 = 315.854.384 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 153.067 = 307.511.603 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 148.371 = \underline{298.225.710} + \\ &1.538.460.915\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] \times Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{1.538.460.915 - 153.234}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}} \\ &= \frac{1.538.307.681}{-30.240.470} \\ &= -50,87\end{aligned}$$

$$\approx -51$$

$$\begin{aligned}
 A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\
 &= 153.234 - (-51.2008) \\
 &= 153.234 + 102.408 \\
 &= 255.642
 \end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Gubeng pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

$$\text{Sehingga } Y[2015] = 255.642 - 51X[2015]$$

$$Y[2015] = 255.642 - (51 \times 2015)$$

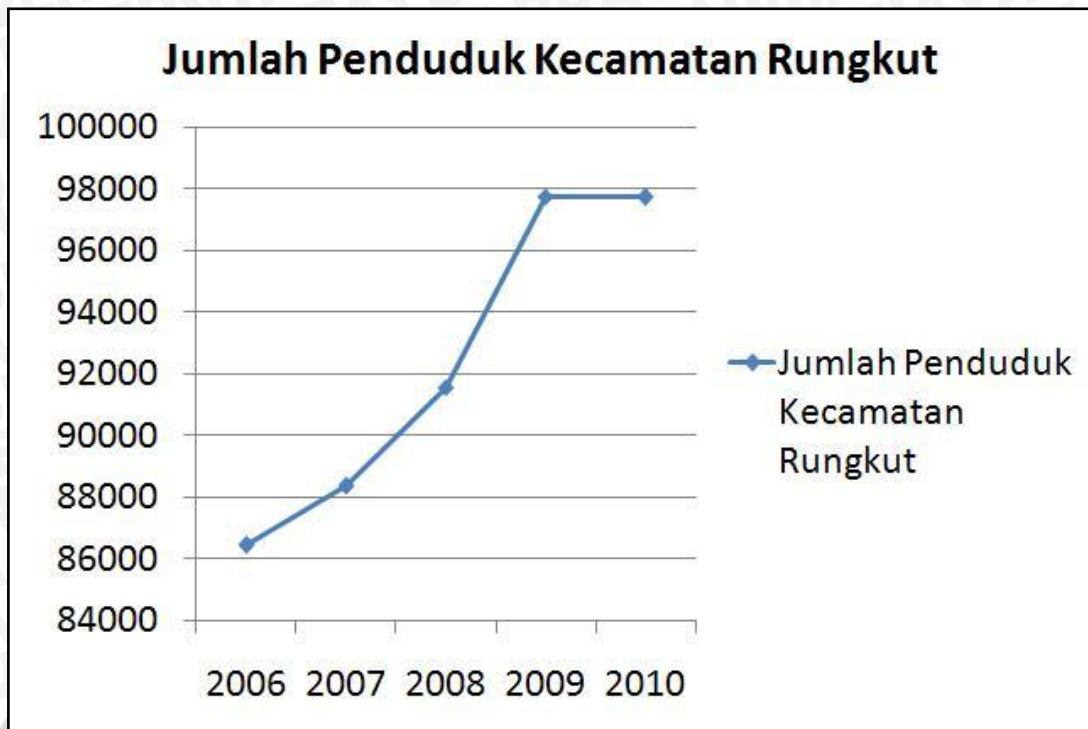
$$Y[2015] = 255.642 - 102.765$$

$$Y[2015] = 152.877$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Gubeng berjumlah 152.877 jiwa.

➤ Kecamatan Rungkut

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Rungkut maka digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Rungkut mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.4 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Rungkut Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\sum X[I] = 10040$$

$$\sum Y[I] = 461.746$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{461.746}{5} = 92.349,2 \approx 92.349$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 86.426 = 173.370.556 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 88.343 = 177.304.401 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 91.532 = 183.796.256 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 97.730 = 196.339.570 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 97.715 = \underline{196.407.150} + \\ &927.217.933\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] x Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{927.217.933 - 92.349}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}} \\ &= \frac{927.125.584}{-30.240.470} \\ &= - 30,66\end{aligned}$$

$$\approx - 31$$

$$\begin{aligned}
 A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\
 &= 92.349 - (-31.2008) \\
 &= 92.349 + 62.248 \\
 &= 154.697
 \end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Gubeng pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

$$\text{Sehingga } Y[2015] = 154.697 - 31X[2015]$$

$$Y[2015] = 154.697 - (31 \times 2015)$$

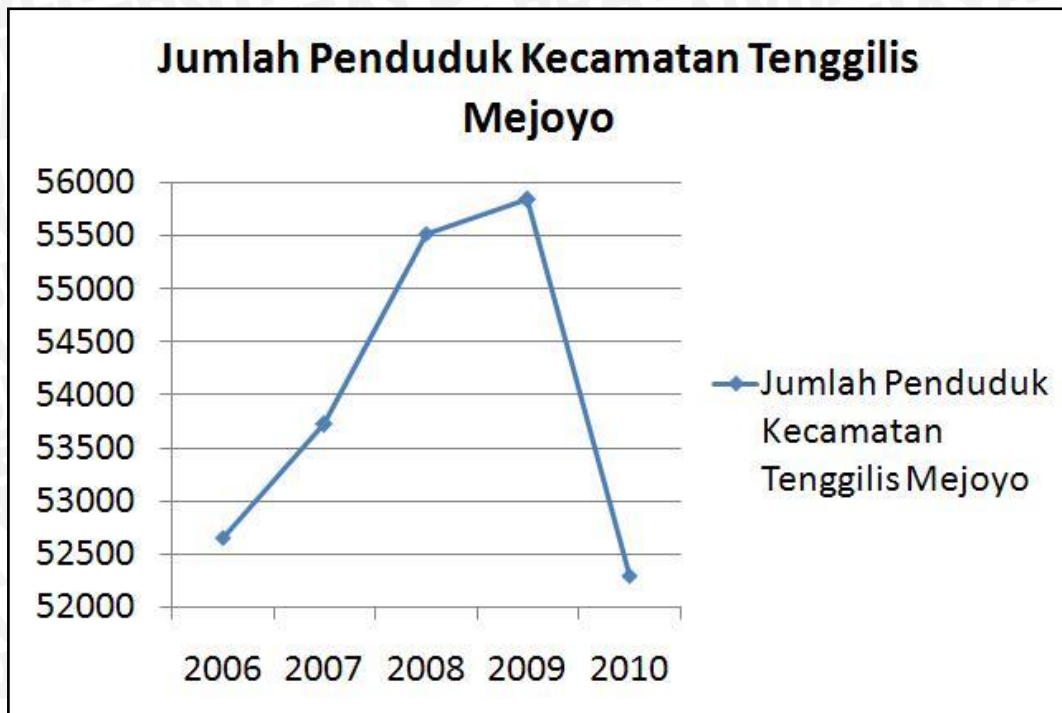
$$Y[2015] = 154.697 - 62.465$$

$$Y[2015] = 92.232$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Rungkut berjumlah 92.232 jiwa.

➤ Kecamatan Tenggilis Mejoyo

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Gubeng Tenggilis Mejoyo maka digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Tenggilis Mejoyo mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.5 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Tenggilis Mejoyo Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\sum X[I] = 10040$$

$$\sum Y[I] = 270.018$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{270.018}{5} = 54.003,6 \approx 54.004$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 52.653 = 105.621.918 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 53.720 = 107.816.040 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 55.517 = 111.478.136 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 55.838 = 112.178.542 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 52.290 = \underline{105.102.900} + \\ &542.197.536\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] x Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{542.197.536 - 54.004}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{542.143.532}{-30.240.470}\end{aligned}$$

$$= - 17,9$$

$$\approx - 18$$

$$\begin{aligned}
 A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\
 &= 54.004 - (-18.2008) \\
 &= 54.004 + 36.144 \\
 &= 90.148
 \end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Gubeng pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

$$\text{Sehingga } Y[2015] = 90.148 - 18X[2015]$$

$$Y[2015] = 90.148 - (18 \times 2015)$$

$$Y[2015] = 90.148 - 36.270$$

$$Y[2015] = 53.878$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Tenggilis Mejoyo berjumlah 53.878 jiwa.

➤ Kecamatan Gunung Anyar

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Gunung Anyar maka digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Gunung Anyar mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.6 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Gunung Anyar Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\sum X[I] = 10040$$

$$\sum Y[I] = 231.897$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{231.897}{5} = 46.379,4 \approx 46.379$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 43.403 = 87.066.418 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 44.577 = 89.466.039 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 46.652 = 93.677.216 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 49.215 = 98.872.935 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 48.050 = \underline{96.580.500} + \\ &465.663.108\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] x Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{465.663.108 - 54.004}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}} \\ &= \frac{465.616.729}{-30.240.470} \\ &= - 15,4 \\ &\approx - 15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\
 &= 46.379 - (-15.2008) \\
 &= 46.379 + 30.120 \\
 &= 76.499
 \end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Gubeng pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

$$\text{Sehingga } Y[2015] = 76.499 - 15X[2015]$$

$$Y[2015] = 76.499 - (15 \times 2015)$$

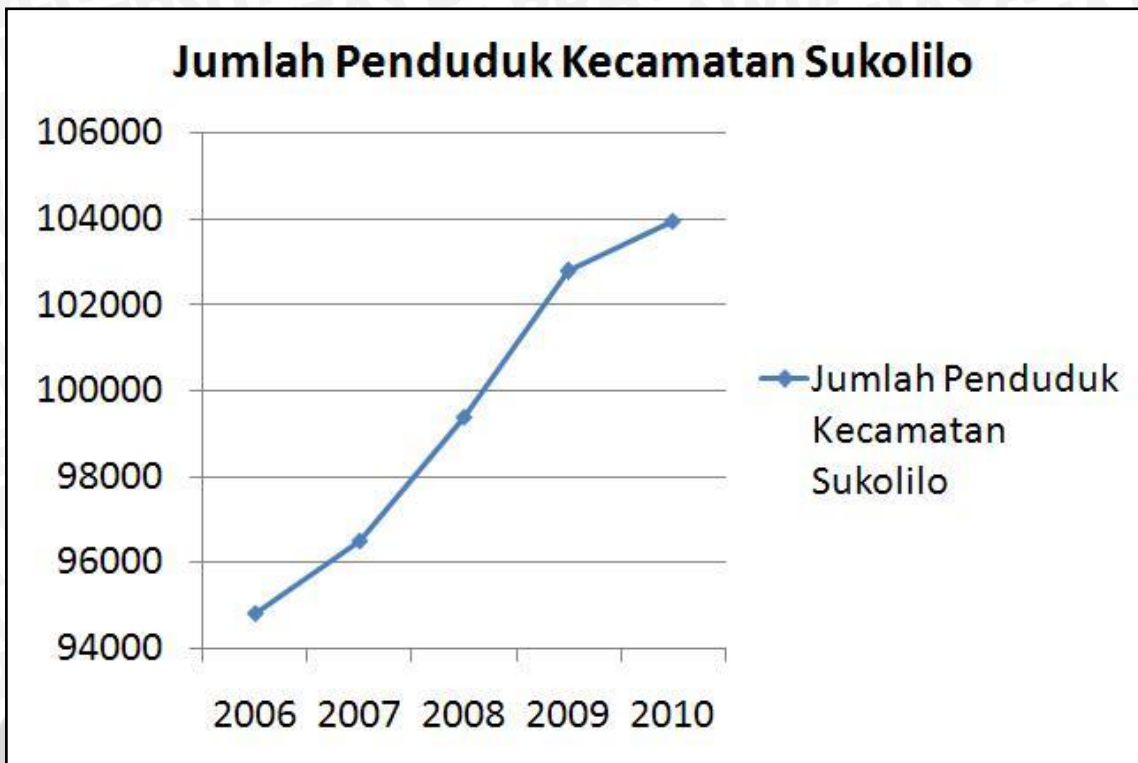
$$Y[2015] = 76.499 - 30.225$$

$$Y[2015] = 46.274$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Gunung Anyar berjumlah 46.274 jiwa.

➤ Kecamatan Sukolilo

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Sukolilo digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Sukolilo mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.7 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Sukolilo Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\sum X[I] = 10040$$

$$\sum Y[I] = 497.397$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{497.397}{5} = 99.479,4 \approx 99.479$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 94.826 = 190.220.956 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 96.485 = 193.645.395 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 99.387 = 199.569.096 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 102.772 = 206.468.948 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 103.927 = \underline{208.893.270} + \\ &998.797.665\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] x Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{998.797.665 - 99.479}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}} \\ &= \frac{998.698.186}{-30.240.470} \\ &= - 33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\
 &= 99.479 - (-33.2008) \\
 &= 99.479 + 66.246 \\
 &= 165.743
 \end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Sukolilo pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

$$\text{Sehingga } Y[2015] = 165.743 - 33X[2015]$$

$$Y[2015] = 165.743 - (33 \times 2015)$$

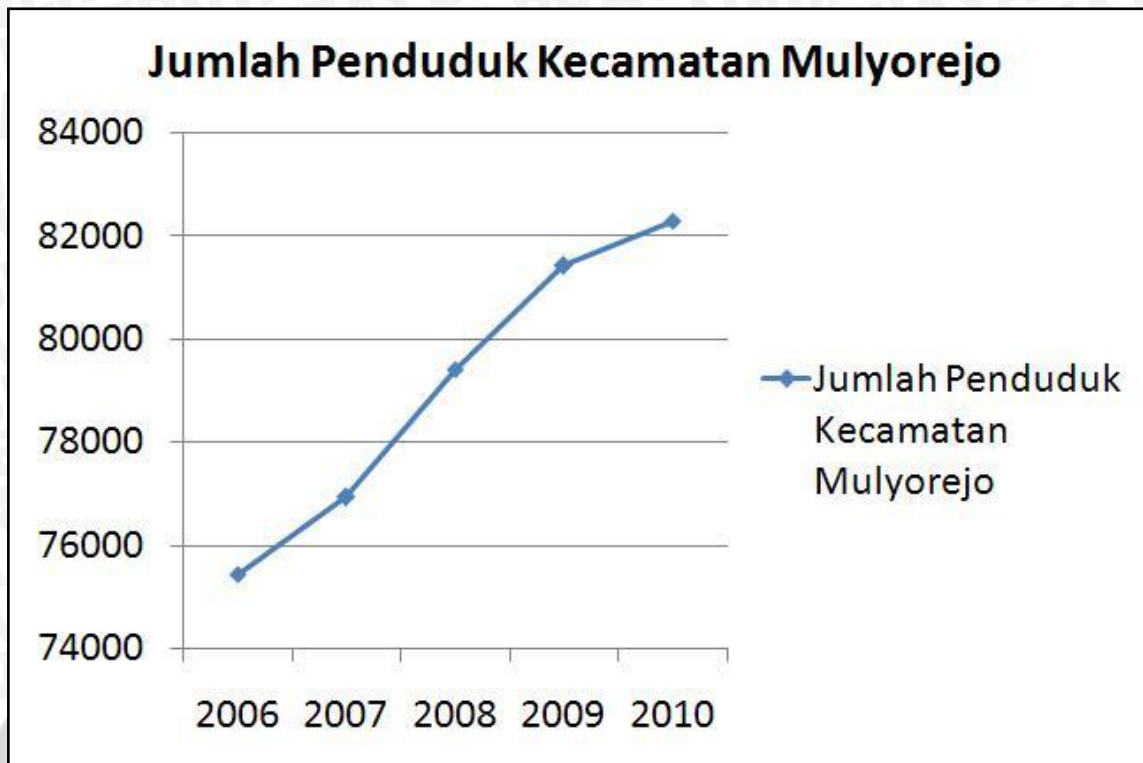
$$Y[2015] = 165.743 - 66.495$$

$$Y[2015] = 99.248$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Sukolilo berjumlah 99.248 jiwa.

➤ Kecamatan Mulyorejo

Untuk mendapatkan nilai perkiraan jumlah penduduk di Kecamatan Mulyorejo digunakan metode Least Square atau Kuadrat Terkecil. Berikut ini adalah gambar grafik perkembangan penduduk Kecamatan Mulyorejo mulai tahun 2006 sampai tahun 2010 :



Gambar 4.8 Grafik Jumlah Penduduk Kecamatan Mulyorejo Tahun 2006 – 2010

Sumber : Perancangan

Berikut adalah persamaan kurva penduga sesuai dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

Sedang nilai A dan B dapat dicari dari persamaan (2-3) dan (2-4) :

$$B = \frac{\sum(X[I] \times Y[I]) - \{\sum Y[I]/N\}}{\sum X[I]^2 - \{(\sum X[I])^2/2\}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari masing-masing parameter.

$$\sum X[I] = 10040$$

$$\sum Y[I] = 395.431$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X[I]}{5} = \frac{10040}{5} = 2008$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y[I]}{5} = \frac{395.430}{5} = 79.086,2 \approx 79.086$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I]xY[I]) &= (X[2006]xY[2006]) = 2006 \times 75.440 = 151.332.640 \\ (X[2007]xY[2007]) &= 2007 \times 76.915 = 154.368.405 \\ (X[2008]xY[2008]) &= 2008 \times 79.404 = 159.443.232 \\ (X[2009]xY[2009]) &= 2009 \times 81.402 = 163.536.618 \\ (X[2010]xY[2010]) &= 2010 \times 82.270 = \underline{165.362.700} + \\ &794.043.595\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(X[I])^2 &= (X[2006])^2 = 2006 \times 2006 = 4.024.036 \\ (X[2007])^2 &= 2007 \times 2007 = 4.028.049 \\ (X[2008])^2 &= 2008 \times 2008 = 4.032.064 \\ (X[2009])^2 &= 2009 \times 2009 = 4.036.081 \\ (X[2010])^2 &= 2010 \times 2010 = \underline{4.040.100} + \\ &20.160.330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\Sigma X[I])^2 &= (10.040)^2 \\ &= 100.801.600\end{aligned}$$

Setelah semua variabel diketahui nilainya, maka nilai A dan B bisa dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned}B &= \frac{\Sigma(X[I] x Y[I]) - \{\Sigma Y[I]/N\}}{\Sigma X[I]^2 - \{(\Sigma X[I])^2/2\}} \\ &= \frac{794.043.595 - 79.086}{20.160.330 - \frac{100.801.600}{2}} \\ &= \frac{793.964.509}{-30.240.470} \\ &= - 26,2 \\ &= - 26\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= \bar{Y} - B\bar{X} \\ &= 79.086 - (-26.2008) \\ &= 79.086 + 52.208 \\ &= 131.294\end{aligned}$$

Setelah nilai A dan B diketahui, maka jumlah penduduk Kecamatan Mulyorejo pada tahun 2015 dapat diramalkan dengan persamaan (2-2) :

$$Y = A + BX$$

atau

$$Y[I] = A + BX[I]$$

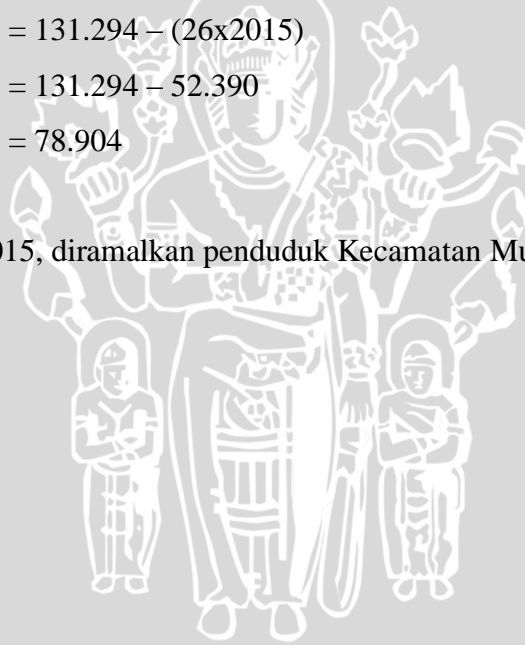
$$\text{Sehingga } Y[2015] = 131.294 - 26X[2015]$$

$$Y[2015] = 131.294 - (26 \times 2015)$$

$$Y[2015] = 131.294 - 52.390$$

$$Y[2015] = 78.904$$

Jadi pada tahun 2015, diramalkan penduduk Kecamatan Mulyorejo berjumlah 78.904 jiwa.



4.3.2 Usia Produktif

Penduduk usia produktif ini diasumsikan sebagai penduduk yang menggunakan layanan internet. Untuk mengetahui jumlah penduduk usia produktif, digunakan perhitungan dengan menggunakan Persamaan (2-5).

$$\text{Jumlah penduduk usia produktif} = 70\% \times \text{jumlah penduduk total}$$

Perkiraan jumlah usia produktif Kota Surabaya Bagian Timur tahun 2015 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perkiraan Jumlah Usia Produktif Kota Surabaya Bagian Timur tahun 2015

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Jumlah Usia Produktif
1	Tambaksari	222.480	155.736
2	Gubeng	152.877	107.014
3	Rungkut	92.232	64.562
4	Tenggiling Mejoyo	53.878	37.715
5	Gunung Anyar	46.274	32.392
6	Sukolilo	99.248	69.474
7	Mulyorejo	78.904	55.233
Jumlah penduduk Kota Surabaya Bagian Timur		745.893	522.126

Sumber : hasil perhitungan

Sedangkan menurut data dari operator secara nasional, jumlah BTS untuk layanan pada tiap operator ditunjukkan oleh Tabel 4.5

Tabel 4.5 Data Jumlah BTS Tiap Operator

No	Nama Operator	Jumlah BTS	Dalam persen (%)
1	Operator A	17232	13,5001
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 jaringan WiMAX ini akan digunakan oleh operator A, dengan lokasi BTS yang ada saat ini seperti pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Lokasi BTS Operator A di Kota Surabaya

No	Lokasi BS	Kecamatan
1	Galaxy Mall	Mulyorejo
2	Kertajaya Indah	Sukolilo
3	Dharma Husada	Mulyorejo
4	Semolowaru	Sukolilo
5	Klampis Ngasem	Sukolilo
6	Keputih	Sukolilo
7	Gubeng	Gubeng
8	Kutisari	Tenggiling Mejoyo
9	Kalisari	Mulyorejo
10	Manyar Sabrangan	Mulyorejo
11	Pucang Sewu	Gubeng
12	Gunung Anyar	Gunung Anyar
13	Pacar Kembang	Tambaksari
14	Rungkut Menanggal	Gunung Anyar
15	Darmawangsa	Gubeng
16	Tenggiling Mejoyo	Tenggiling Mejoyo
17	Rungkut Asri	Rungkut
18	Wisma SIER Building	Tenggiling Mejoyo

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 Surabaya pada tahun 2015 adalah :

- Kecamatan Tambaksari :

$$\begin{aligned} \text{user internet} &= 155.736x(4\% + (3\% \times 15)) \\ &= 155.736x(49\%) = 76.311 \text{ user} \end{aligned}$$

Sedangkan Jumlah *user* internet dalam operator A adalah :

$$\text{user internet operator A} = 76.311 \times 13,5\% = 10.302 \text{ user}$$

Sedangkan untuk faktor penetrasi di Kecamatan Tambaksari dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

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

$$FP = \frac{(1) + 10302 + 0}{56859} = 0,182$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan akan didapatkan nilai faktor penetrasi Kota Surabaya Bagian Timur sesuai dengan Tabel 4.7

Tabel 4.7 Nilai Faktor Penetrasi Kota Surabaya Bagian Timur

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Jumlah Usia Produktif	Faktor Penetrasi
1	Tambaksari	222.480	155.736	0,182
2	Gubeng	152.877	107.014	0,177
3	Rungkut	92.232	64.562	0,178
4	Tenggilis Mejoyo	53.878	37.715	0,172
5	Gunung Anyar	46.274	32.392	0,176
6	Sukolilo	99.248	69.474	0,181
7	Mulyorejo	78.904	55.233	0,176
Jumlah		735.893	522.126	

Sumber : hasil perhitungan

Setelah diketahui nilai dari faktor penetrasinya, maka jumlah pelanggan WiMAX pada operator A di Kecamatan Tambaksari pada tahun 2015 adalah :

$$\begin{aligned} \text{pelanggan WiMAX} &= \text{user internet operator A} \times \text{FP} \\ &= 10.302 \times 0,182 = 1.875 \text{ pelanggan} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan akan didapatkan jumlah pelanggan WiMAX pada operator A sesuai dengan Tabel 4.8

Tabel 4.8 Jumlah Pelanggan WiMAX Operator A tahun 2015

No	Kecamatan	User operator A	Faktor Penetrasi	Pelanggan WiMAX
1	Tambaksari	10.302	0,182	1.875
2	Gubeng	7.079	0,177	1.253
3	Rungkut	4.271	0,178	760
4	Tenggilis Mejoyo	2.495	0,172	429
5	Gunung Anyar	2.143	0,176	377
6	Sukolilo	4.596	0,181	832
7	Mulyorejo	3.653	0,176	643
Jumlah		34.539		6.169

Sumber : hasil perhitungan

Jadi jumlah pelanggan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur pada perencanaan ini pada tahun 2015 adalah 6.169 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 Tambaksari

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= A_{\text{user}} \times \sum \text{pelanggan WiMAX} \\ &= 0,006 \text{ E} \times 1875 \\ &= 11,25 \text{ Erlang} \end{aligned}$$

Jumlah kanal yang dibutuhkan dengan kapasitas trafik sistem 11,25 Erlang sesuai dengan tabel Erlang B dengan GOS 2% adalah 18 kanal.

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap operator, maka kebutuhan trafik di Kota Surabaya Bagian Timur adalah seperti pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Kebutuhan Kapasitas Kanal Operator A tahun 2015

No	Kecamatan	Trafik total (Erlang)	Kebutuhan kanal	Jumlah pelanggan
1	Tambaksari	11,25	18	1.875
2	Gubeng	7,52	14	1.253
3	Rungkut	4,56	10	760
4	Tenggiling Mejoyo	2,57	7	429
5	Gunung Anyar	2,26	6	377
6	Sukolilo	4,99	10	832
7	Mulyorejo	3,86	9	643
Jumlah		37,01	74	6.169

Sumber : hasil perhitungan

4.5 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, frekuensi kerja WiMAX adalah 2300 MHz, tinggi antenna SS ditentukan sebesar 5 meter dan tinggi pemancar adalah 40 meter, maka nilai *Path loss* sesuai Persamaan (2-13) dan (2-14) adalah :adalah :

$$\begin{aligned} a(h_m) &= (1,11 \log(f) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f) - 0,8) \\ &= (1,11 \log 2300 - 0,7)5 - (1,56 \log 2300 - 0,8) \\ &= (15,15 - 4,44) \\ &= 10,71 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PL \text{ (dB)} &= 46,3 + 20,54 \log(f) - 13,82 \log(h_b) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d) - a(h_m) + C_F \\ &= 46,3 + 20,54 \log 2300 - 13,82 \log 40 + (44,9 - 6,55 \log 40) \log 5,72 - 10,71 + 3 \\ &= 46,3 + 69,05 - 22,11 + 26,17 - 10,71 + 3 \\ &= 111,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Jadi *path loss* yang terjadi pada perencanaan ini adalah 111,7 dB.

4.6 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 (G_t) diasumsikan sebesar 17 dBi, nilai ini disesuaikan dengan *gain* BTS dan redaman kabel pada sisi SS (C_r) dianggap 0 dB karena jaraknya relatif dekat, sedangkan redaman kabel pada BS (C_t) adalah 6,2 dB. Daya output maksimum pemancar BS menurut peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi adalah 30 dBm, sedangkan level daya pancar (P_t) atau daya output BTS yang biasa digunakan adalah 27 dBm. Level daya terima SS (P_r) pada radius 2,88 km dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} P_r &= P_t + G_t - G_r - PL - C_r - C_t \\ &= 27 + 17 - 0 - 111,7 - 0 - 6,2 \\ &= -73,9 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Jadi level daya terima pada SS adalah sebesar -73,9 dBm.

4.7 Receive Signal Level

Receive Signal Level adalah kemampuan penerima menerima daya minimum. Semakin kecil nilai RSL, maka semakin baik sensitifitas penerima.

Jadi besarnya nilai RSL = besarnya nilai level daya terima. Sehingga nilai Bit Rate dapat dihitung.

Nilai RSL dapat dihitung dengan persamaan (2.17), (2.18) dan (2.19).

$\frac{E_b}{N_o}$ untuk BER 10^{-6} dengan modulasi QAM adalah 10,5 dB dan NF = 7dB

Maka besar rapat noise (N_o) dapat dicari dengan persamaan (2.18) :

$$\begin{aligned} N_o &= NF - 204 \text{ (dBW)} \\ &= 7 \text{ (dB)} - 204 \text{ (dBW)} \\ &= -197 \text{ (dBW)} \end{aligned}$$

Sedang besar energi per bit (E_b) dapat dicari dengan persamaan (2.19) :

$$\frac{E_b}{N_o} = E_b - N_o$$

$$10,5 \text{ (dB)} = E_b - (-197 \text{ (dBW)})$$

$$E_b = -186,5 \text{ (dBW)}$$

Fading margin yang digunakan dalam standar adalah 10 dB.

Nilai RSL = nilai level daya terima

$$\begin{aligned} &= -73,9 \text{ dBm} \\ &= (-73,9 - 30) \text{ dBW} \\ &= -103,9 \text{ dBW} \end{aligned}$$

4.8 Bit Rate

Nilai bit rate dapat dicari dengan persamaan (2.20) :

$$RSL = E_b + (10 \log \text{ bit rate}) + \text{Fading Margin}$$

$$-103,9 = -186,5 + (10 \log \text{ bit rate}) + 10$$

$$-(10 \log \text{ bit rate}) = -186,5 + 10 + 103,9$$

$$-(10 \log \text{ bit rate}) = -72,6$$

$$\log \text{ bit rate} = 72,6 / 10$$

$$\log \text{ bit rate} = 7,26$$

$$\begin{aligned} \text{bit rate} &= \log^{-1} 7,26 \\ &= 18.197.008 \text{ bps} \\ &= 18,2 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Jadi besar nilai *bit rate* adalah 18,2 Mbps

4.9 Radius Base Station

Dalam penentuan radius BS harus diperhatikan jumlah pelanggan dan kerapatan pelanggan. Jumlah BS yang akan digunakan untuk melayani pelanggan adalah 7 buah. BS tersebut akan ditempatkan di setiap kecamatan. 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 Surabaya Bagian Timur sampai tahun 2015, didapatkan bahwa jumlah pelanggan WiMAX adalah 6169 pelanggan. Dengan luas wilayah mencapai 85,88km², maka kerapatan pelanggan WiMAX adalah :

$$\Omega = \frac{6169}{85,88 \text{ km}^2} = 71,83 \text{ pelanggan/km}^2$$

Dengan kerapatan pelanggan WiMAX di Kota Surabaya adalah 86,85 pelanggan/km², maka radius BS di Kecamatan Tambaksari adalah :

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{1875}{\pi \times 71,83}} \\ &= 2,88 \text{ km} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama untuk setiap kecamatan, maka radius BS pada setiap kecamatan adalah seperti pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Radius BS

No	Kecamatan	Pelanggan WiMAX	Radius BS (km)	Kerapatan Pelanggan/km ²
1	Tambaksari	1875	2,88	72,00461
2	Gubeng	1253	2,36	71,64094
3	Rungkut	760	1,84	71,49577
4	Tenggilis Mejoyo	429	1,34	76,19893
5	Gunung Anyar	377	1,29	72,22222
6	Sukolilo	832	1,92	71,84801
7	Mulyorejo	643	1,69	71,68339

Sumber : hasil perhitungan

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwasannya radius maksimum dari BS adalah 2,88 km atau memiliki diameter sebesar 5,76 km.

4.10 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 Surabaya. 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)

Penempatan BS akan dilakukan pada BTS *existing* pada operator A. Tabel 4.11 berikut menunjukkan trafik tertinggi pengguna GPRS Bulan Desember 2010 di Kota Surabaya Bagian Timur.

Tabel 4.11 Trafik Tertinggi Pengguna GPRS Bulan Desember 2010 di Kota Surabaya Bagian Timur

No	Lokasi BS	Kecamatan	Rata-rata tiap minggu (Kbyte)
1	Pacar Kembang	Tambaksari	15465843
2	Pucang Sewu	Gubeng	12317865
3	Rungkut	Rungkut	6553748
4	Tenggilis Mejoyo	Tenggilis Mejoyo	6265983
5	Semolowaru	Sukolilo	8135346
6	Gunung Anyar	Gunung Anyar	6113797
7	Kalisari	Mulyorejo	7936955

Sumber : operator A

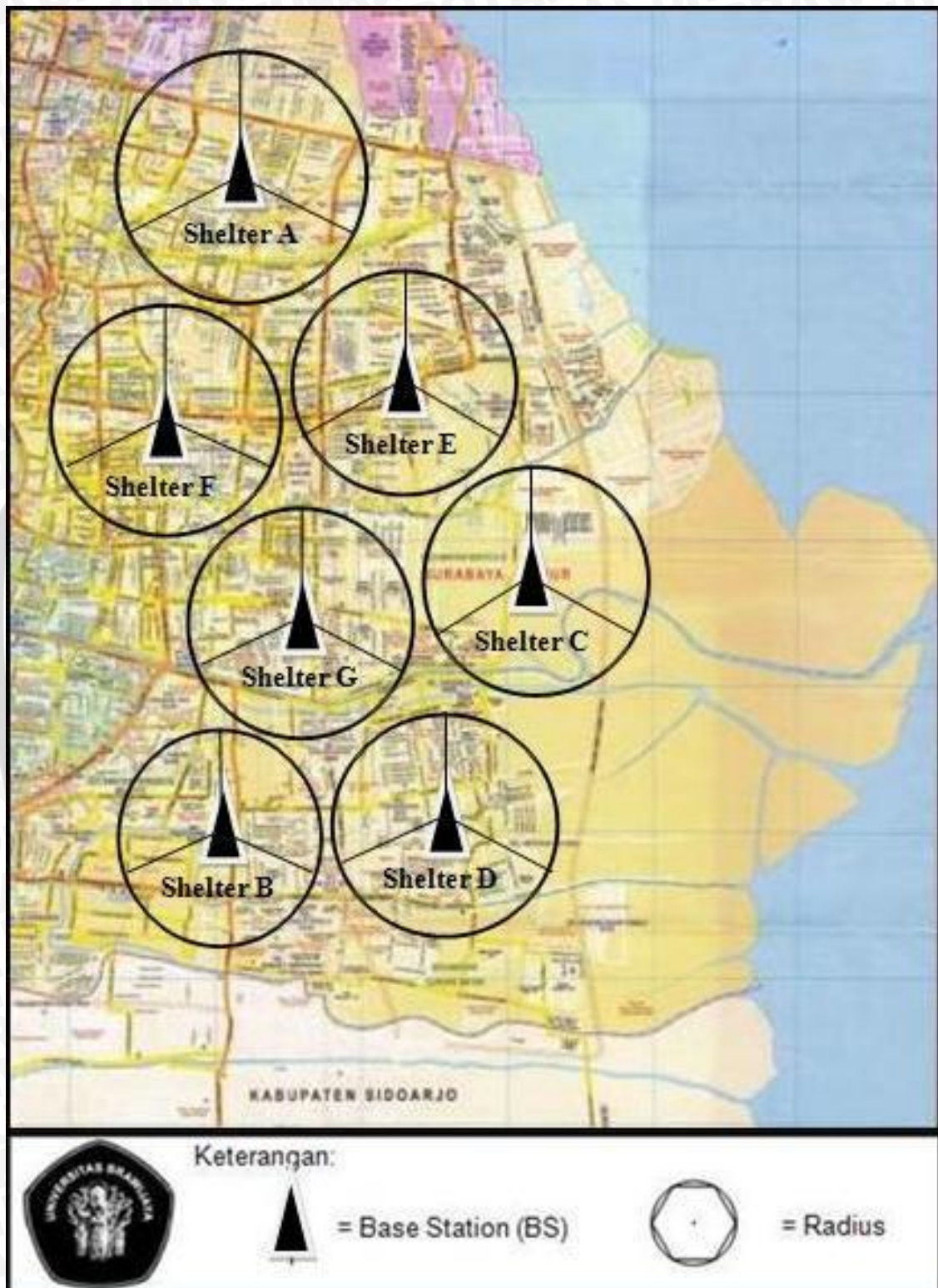
Berdasarkan data di atas, maka penempatan BS dilakukan di tujuh tempat yaitu Pacar Kembang, Pucang Sewu, Rungkut, Tenggilis Mejoyo, Semolowaru, Gunung Anyar dan Kalisari. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Lokasi Penempatan BS di Kota Surabaya

No	Lokasi BS	Kelurahan	Kecamatan
1	Shelter A	Pacar Kembang	Tambaksari
2	Shelter B	Tenggilis Mejoyo	Tenggilis Mejoyo
3	Shelter C	Semolowaru	Sukolilo
4	Shelter D	Gunung Anyar	Gunung Anyar
5	Shelter E	Kalisari	Mulyorejo
6	Shelter F	Pucang Sewu	Gubeng
7	Shelter G	Rungkut	Rungkut

Sumber : Perencanaan

Gambar 4.9 berikut menunjukkan lokasi BS WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur



Gambar 4.9 Lokasi BS WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur
Sumber : Perencanaan

4.11 Kabel Transmisi

Kabel transmisi yang umum digunakan pada teknologi telekomunikasi adalah kabel *twisted pair*, kabel koaksial dan *fiber optic*. Pada perencanaan ini didapatkan *bit rate* 18,2 Mbps, frekuensi kerja 2,3 GHz. 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 4.13.

Tabel 4.13 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 4.14, maka untuk memenuhi kebutuhan perencanaan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur, 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*.

4.12 Penentuan Jenis Antena BS

Dalam perencanaan ini, hal yang diperhatikan untuk menentukan jenis antena BS yang cocok digunakan pada penerapan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur adalah berdasarkan keadaan geografi dan lingkungan Kota Surabaya. Kota Surabaya adalah kota yang termasuk dalam kategori daerah *urban*, dimana banyak gedung bertingkat serta sedikit pepohonan.

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 4.14.

Tabel 4.14 Spesifikasi Antena

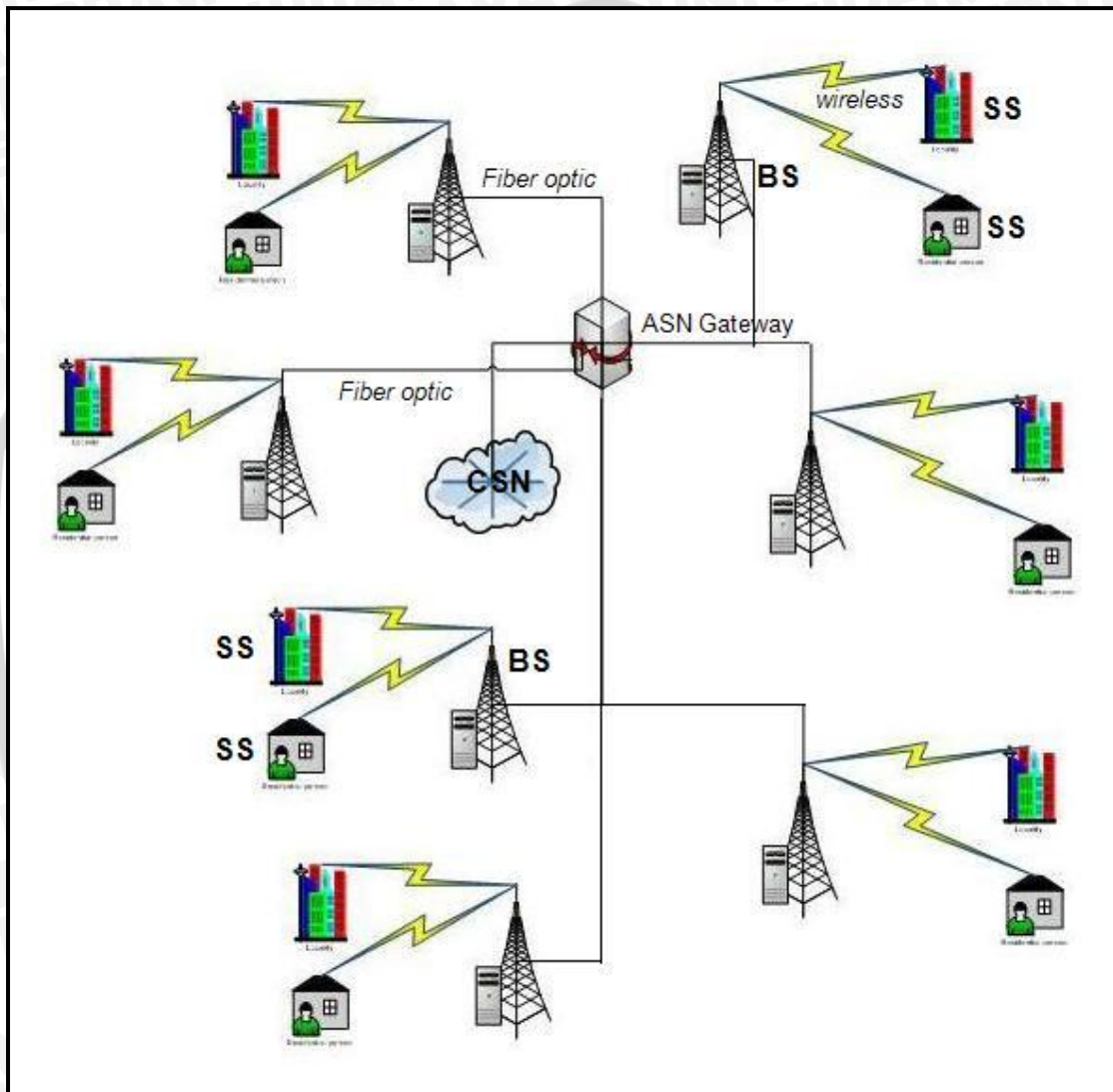
No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi kerja	2,3 GHz
2	<i>Bandwidth</i>	277,5 MHz
3	<i>Gain</i>	17 dBi
4	Impedansi	50 Ω
5	Daya pancar	27 dBm
6	Jangkauan	2,88 km

Sumber : Perencanaan

Karena Kota Surabaya Bagian Timur memiliki banyak gedung bertingkat dan digolongkan daerah *urban*, antena yang digunakan adalah antena *directional*. Sehingga dalam perencanaannya dapat diatur arah antena ke arah yang diinginkan dengan memperhatikan lebar sudut pengarahannya, sehingga dapat mencakup wilayah yang diinginkan. Setiap BS akan menggunakan 3 buah antena *directional*.

4.13 Konfigurasi Jaringan WiMAX

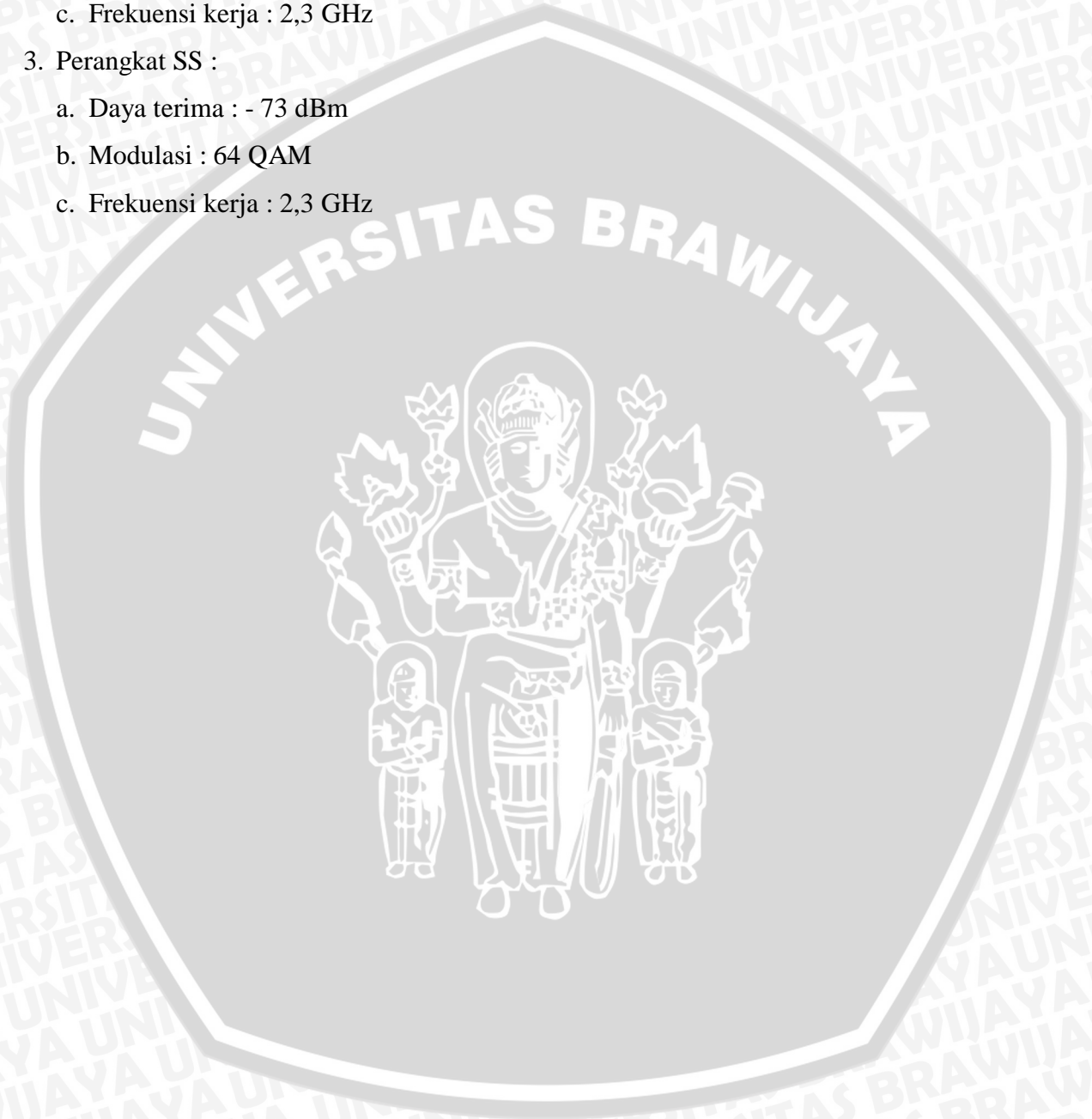
Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, maka dapat diketahui konfigurasi jaringan yang terbentuk dari perencanaan tersebut. Bentuk konfigurasi Hasil perencanaan jaringan WiMAX yang didapatkan dari perencanaan ini adalah seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Konfigurasi Hasil Perencanaan Jaringan WiMAX
Sumber : Perencanaan

Spesifikasi hasil perencanaan adalah :

1. Jarak BS ke SS : radius maksimum 2,88 km
2. Perangkat BS :
 - a. Daya pancar : 27 dBm
 - b. Modulasi : 64 QAM
 - c. Frekuensi kerja : 2,3 GHz
3. Perangkat SS :
 - a. Daya terima : - 73 dBm
 - b. Modulasi : 64 QAM
 - c. Frekuensi kerja : 2,3 GHz



4.14 Rekomendasi Perencanaan

Rekomendasi perencanaan adalah saran yang diberikan untuk pembuatan Jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur. Rekomendasi yang diberikan, berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Rekomendasi perencanaan yang dapat diberikan adalah sesuai dengan Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Rekomendasi Perencanaan WiMAX

No	Parameter	Nilai
1	<i>Pelanggan WiMAX</i>	6.169 <i>Pelanggan</i>
2	Kebutuhan trafik	37,01 Erlang
3	Kebutuhan kanal	74 kanal
4	<i>Bandwidth</i>	3,75 MHz
5	Frekuensi Kerja	2,3 GHz
6	Modulasi	64 QAM
7	<i>Bit rate</i>	22,5 Mbps
8	Radius BS	2,88 km
9	Jumlah BS	7 buah
10	Kabel	<i>fiber optic multimode graded index</i>
11	Level daya terima SS	- 73,9 dBm
12	Level daya pancar BS	27 dBm
13	Antena	<i>directional</i>

Sumber : Perencanaan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

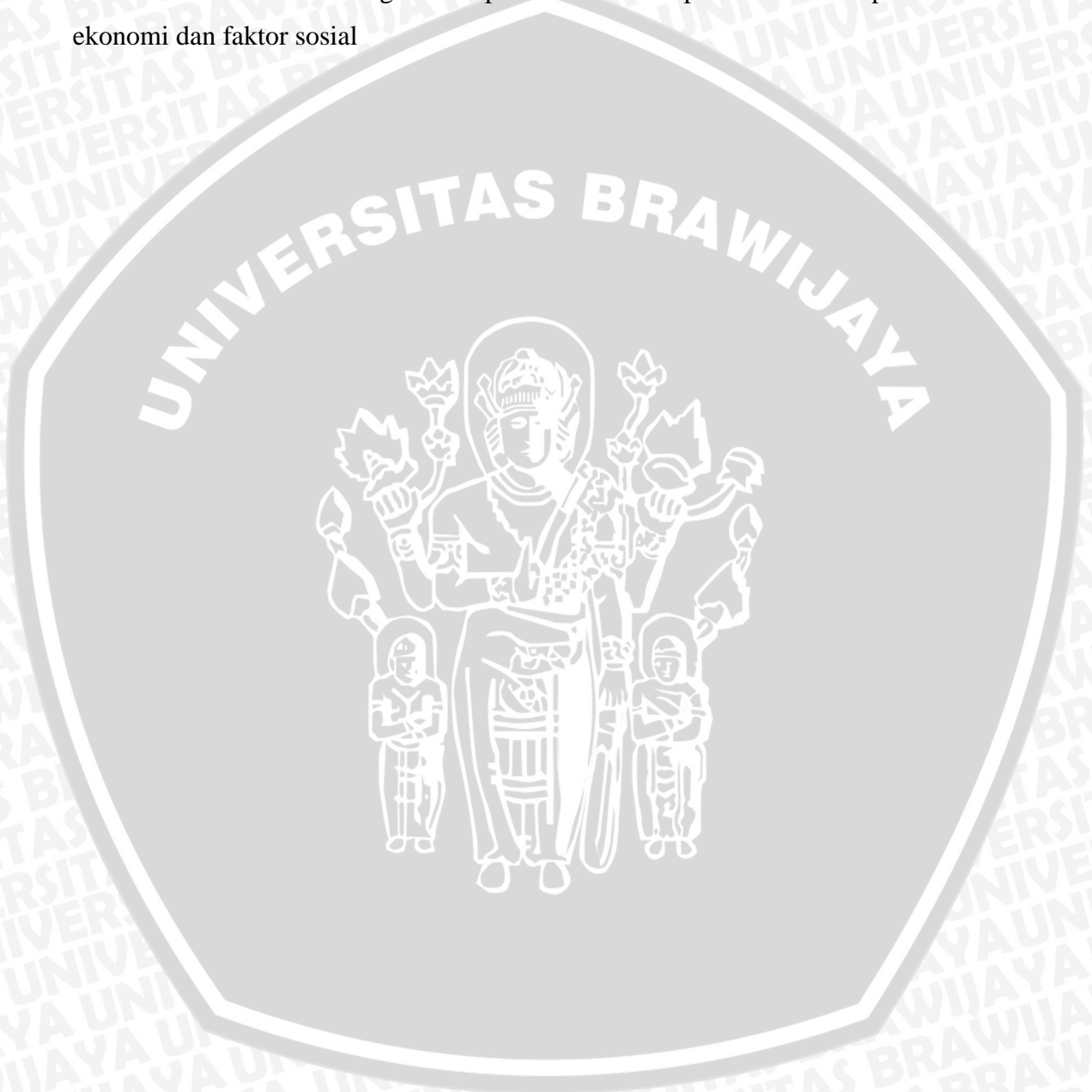
Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dalam bab sebelumnya, maka dari perencanaan Jaringan WiMAX ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan Jaringan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur telah didapatkan beberapa parameter perencanaan, yaitu :
 - a. Jumlah pelanggan WiMAX di Kota Surabaya Bagian Timur adalah 6.169 pelanggan.
 - b. Trafik yang dibutuhkan untuk pelayanan WiMAX adalah 37,01 Erlang dengan jumlah kanal sebanyak 74 kanal.
 - c. *Bandwidth* tiap kanal yang digunakan adalah 3,75 MHz, sehingga total kebutuhan *bandwidth* di Kota Surabaya Bagian Timur adalah 277,5 MHz. Sedangkan frekuensi yang digunakan adalah 2,3 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 2,88 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 2,88 km adalah 156,54 dB.
 - h. Level daya terima SS pada jarak 2,88 km adalah -73,9 dBm.
 - i. Antena yang digunakan untuk pelayanan WiMAX adalah antena *directional*.
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 Jaringan WiMAX antara lain :

1. Perencanaan WiMAX dilakukan dengan menggunakan standar IEEE yang lain, seperti standar 802.16e untuk aplikasi *mobile*.
2. Perencanaan dilakukan dengan memperhatikan beberapa faktor lain seperti faktor ekonomi dan faktor sosial



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 Academi 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 31 November 2011)
- [http:// itttelkom.ac.id/wimax /pp_full.php?ppid=284&fname=materi3.html](http://itttelkom.ac.id/wimax/pp_full.php?ppid=284&fname=materi3.html) (diakses tanggal 31 November 2011)

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)

2. 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.

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

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

5.

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 - $\frac{1}{2}$	≤ -13.0 dB
	QPSK - $\frac{1}{2}$	≤ -16.0 dB
	QPSK - $\frac{3}{4}$	≤ -18.5 dB
	16-QAM - $\frac{1}{2}$	≤ -21.5 dB
	16-QAM - $\frac{3}{4}$	≤ -25.0 dB
	64-QAM - $\frac{3}{4}$	≤ -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 - $\frac{3}{4}$	$\leq -(22.7 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
	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 - ¾	≤-74 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 - ¾	≤-71 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</i> (MRC)
<i>Space Time Coding</i> (STC)	<i>Alamouti coding</i>
<i>Forward Error Corection</i> (FEC)	<i>Reed-Solomon and Convolutional Coding, Rates 1/2, 2/3 and 3/4</i>
<i>Operating Temperature</i>	: -40 to +60°C (-40 to 140°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</i> → 25 W <i>personal</i> → 12,5 W