

**PERENCANAAN JARINGAN AKSES MOBILE WiMAX
(WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS)
2,5 GHz UNTUK WILAYAH DKI JAKARTA**

Hesti Susilawati, ST., MT.¹ Widhiatmoko HP, ST² Dimass Noly Mardhiko³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
¹hesti_s@yahoo.co.id, ²aries_whp001@yahoo.com, ³local_geniuscool@yahoo.com

ABSTRAK

Standar IEEE 802.16e yang dikenal dengan *mobile* WiMAX adalah standar *broadband wireless access* (BWA) yang beroperasi pada frekuensi 2 - 6 GHz. Standar ini merupakan pengembangan dari standar WiMAX sebelumnya untuk mendukung mobilitas pengguna. Pada penelitian ini, penulis melakukan perhitungan untuk memprediksi kebutuhan *bandwidth* untuk pelanggan *mobile* WiMAX di wilayah DKI Jakarta untuk jangka waktu tiga tahun sejak WiMAX diimplementasikan. Kebutuhan *bandwidth* ini akan digunakan untuk menentukan jumlah *base station* yang dibutuhkan dari sisi kapasitas. Penulis juga melakukan perhitungan jumlah *base station* dari sisi *coverage* menggunakan persamaan Erceg. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada tiga tahun pertama penetrasi WiMAX di Jakarta, kebutuhan jumlah *base station* dari sisi *coverage* lebih besar dari pada perhitungan dari sisi kapasitas.

Kata kunci : *Mobile* WiMAX, *bandwidth*, *base station*, kapasitas, *coverage*

ABSTRACT

IEEE 802.16e Standard, known as WiMAX Mobile, is a standard for Broadband Wireless Access (BWA) operating in the frequency band of 2 – 6 GHz. This standard, which is the evolution of the previous WiMAX Standard, is established to support mobility. In this Final Project the calculation is made to forecast the requirement of bandwidth for WiMAX users in the area of DKI Jakarta for the planning horizon of three years since the beginning of the program deployment. The bandwidth forecast will be applied to determine the number of Base Stations required to meet the capacity standpoint. Meanwhile from the coverage standpoint, the writer uses Erceg Formula to calculate the number of Base Stations. From the outcome of the calculation process, it comes to a conclusion that for the first three years of the WiMAX deployment in Jakarta, the number of Base Stations based on the coverage standpoint is larger than that based on the capacity standpoint.

Keyword : *Mobile* WiMAX, *bandwidth*, *base Station*, *capacity*, *coverage*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman dan teknologi akhir-akhir ini membuat kebutuhan manusia akan transfer dan akses informasi, baik itu *voice*, data ataupun video menjadi sangat besar. Oleh karena itu diciptakan suatu teknologi baru yaitu *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX). WiMAX merupakan standar yang dikembangkan oleh grup IEEE 802.16. Pada bulan Desember 2005, IEEE mengeluarkan standar IEEE 802.16e yang dikenal sebagai *Mobile WiMAX* yang merupakan amandemen standar sebelumnya untuk mendukung aplikasi *Mobile*.

Rumusan masalah yang kita kaji adalah merencanakan jaringan yang optimal, merencanakan kebutuhan *bandwidth*, merencanakan jumlah *base station* yang dibutuhkan untuk melayani pelanggan *Mobile WiMAX*.

Dari rumusan masalah yang telah disampaikan dapat diketahui bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk memperkirakan kebutuhan *bandwidth* dan mengetahui jumlah *base station* untuk melayani pelanggan WiMAX dalam penelitian.

Hasil akhir dari penelitian ini mudah-mudahan dapat memberikan penjelasan mengenai kebutuhan *bandwidth* dan jumlah *base station* yang dibutuhkan untuk mencakup seluruh wilayah DKI Jakarta agar dapat melayani pelanggan *Mobile WiMAX*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Mobile WiMAX*

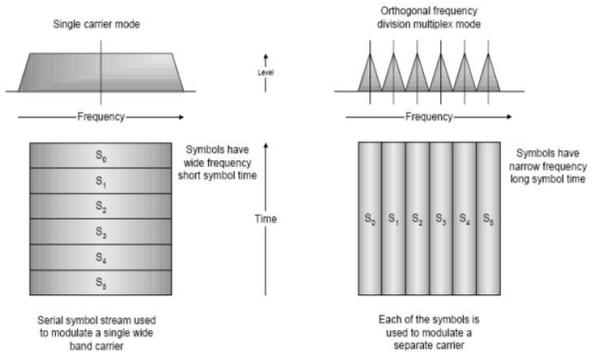
Mobile WiMAX yang berdasar standar IEEE 802.16e memungkinkan sistem WiMAX diterapkan pada aplikasi *portable* dan *mobile* maupun *fixed* dan *nomadic*. *Mobile WiMAX* memperkenalkan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) dan mendukung beberapa fitur lain untuk menyediakan layanan *mobile broadband* bagi pengguna. Fitur-fitur tersebut adalah:

- a. Toleransi pada *multipath* dan *self-interference* dengan ortogonalitas subkanal, baik untuk *downlink* maupun *uplink*,
- b. *Scalable channel bandwidth* dari 1,25 sampai 20 MHz,
- c. *Time Division Duplex* (TDD) memberikan efisiensi yang mendukung trafik asimetris.

2.2. OFDM dan OFDMA

2.2.1. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan suatu sistem *multicarrier* yang membagi spektrum frekuensi ke dalam sejumlah *subcarrier* berpita sempit. Pada sistem *multicarrier* seperti OFDM, *stream data input* dibagi ke dalam sejumlah *substream* paralel, dimana masing-masing *stream* dikirim dan dimodulasikan melalui *subcarrier* terpisah yang saling ortogonal.

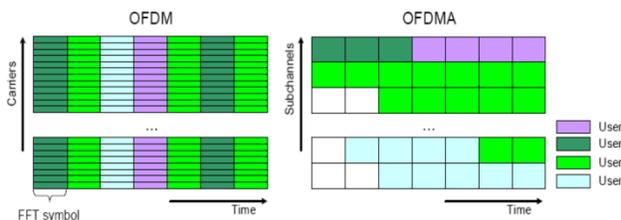


Gambar 1 Perbandingan Sistem *Carrier Tunggal* dengan sistem *Multicarrier*

2.2.2. Orthogonal Frequency Division

Multiple Access

Pada sistem OFDM, sumber daya yang dapat digunakan dibagi dalam domain waktu (simbol OFDM) dan domain frekuensi (*subcarrier*). Pada *mobile WiMAX*, beberapa *subcarrier* dikelompokkan menjadi suatu *subchannel* untuk dialokasikan kepada pengguna. Sistem tersebut disebut *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). OFDMA adalah skema yang memungkinkan proses *multiplexing* pada aliran data dari beberapa pengguna.

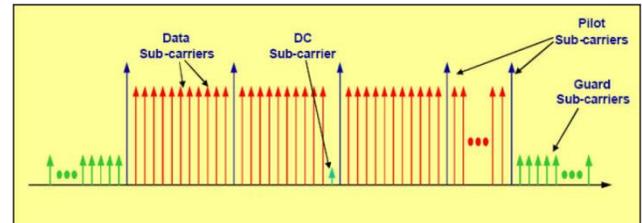


Gambar 2 Perbedaan antara OFDM dengan OFDMA

Struktur simbol OFDMA terdiri dari tiga tipe *subcarrier*, yaitu:

- a. *Data subcarrier* yang digunakan untuk transmisi data,

- b. *Pilot subcarrier* yang digunakan untuk estimasi dan sinkronisasi,
- c. *Null subcarrier* yang berfungsi sebagai *guard band* dan *DC carrier* dan tidak digunakan untuk transmisi.



Gambar 3 Struktur *Subcarrier* OFDMA

2.3. Model Propagasi Erceg

Model propagasi digunakan untuk memprediksikan kuat sinyal rata-rata pada suatu tempat dengan jarak tertentu dari *transmitter*. Oleh karena itu, model propagasi berperan penting dalam perencanaan jaringan *wireless* terutama untuk menentukan *coverage* suatu *base station*.

Model Erceg diperoleh dari hasil eksperimen terhadap 95 buah makrocel di Amerika Serikat pada frekuensi kerja 1,9 GHz. Model ini diadopsi oleh IEEE 802.16 sebagai model yang direkomendasikan untuk aplikasi *broadband*. Model Erceg berlaku pada keadaan berikut.

- a. $1900 \text{ MHz} \leq f \leq 3500 \text{ MHz}$
- b. $10 \text{ m} \leq h_b \leq 80 \text{ m}$
- c. $0,1 \text{ km} \leq d \leq 8 \text{ km}$

Berdasarkan *terrain*, model Erceg dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Tipe A : daerah perbukitan dengan densitas pepohonan sedang sampai tinggi,
- b. Tipe B : daerah perbukitan dengan pepohonan jarang atau daerah rata dengan densitas pepohonan sedang,
- c. Tipe C : daerah rata dengan densitas pepohonan yang rendah.

Persamaan umum model Erceg adalah

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + s \quad (1)$$

Keterangan:

- a. $A = \text{free space path loss}$ yang dinyatakan dengan

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0 f}{c} \right) \quad (2)$$

- b. $\gamma = \text{path loss exponent}$ yang dinyatakan dengan

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b} \quad (3)$$

- c. $\Delta PL_f =$ faktor koreksi untuk penggunaan frekuensi

$$\Delta PL_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{1900} \right) \quad (4)$$

- d. $\Delta PL_h =$ faktor koreksi tinggi antena penerima pada

berbagai kondisi *terrain* dengan h_m dalam meter

$$\Delta PL_h = -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_m}{2} \right) \quad (5)$$

untuk *terrain* tipe A & B

$$\Delta PL_h = -20 \log_{10} \left(\frac{h_m}{2} \right) \quad (6)$$

untuk *terrain* tipe C

- e. $d =$ jarak antara antena pemancar dengan penerima (m)
- f. $d_0 = 100$ meter
- g. $s =$ perubahan acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing*
- h. $h_b =$ tinggi antena *base station*
- i. $a, b, c =$ konstanta digunakan untuk menghitung *path loss exponent* γ dan besarnya tergantung pada tipe *terrain*

Tabel 1 Parameter Model Erceg

Parameter	Terrain A	Terrain B	Terrain C
A	4,6	4	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20

(Sumber : *Wireless Physical Layer Concepts*, Prof.Raj Jain, 2008)

2.4. Prosedur Perencanaan Jaringan

Dalam prosedur perhitungan kebutuhan *bandwidth* terbagi menjadi beberapa tahap, antara lain:

1. Melakukan perhitungan kebutuhan *shared bandwidth* atau kebutuhan *bandwidth* untuk aplikasi data yang tidak sensitif terhadap *delay* seperti *internet browsing*. Perhitungan *shared bandwidth* dilakukan terhadap tiga jenis, yaitu:

- a. Prosedur Perhitungan *Shared bandwidth* untuk pelanggan residensial

$$\text{jmlh pelanggan residensial} = \frac{\text{jmlh penduduk}}{4} \times \% \text{ pelanggan} \quad (7)$$

$$\text{Bandwidth (Mbps)} = \text{jmlh pelanggan residensial} \times \frac{\text{kecepatan akses}}{1024} \times \text{OSF} \quad (8)$$

- b. Prosedur Perhitungan *Shared bandwidth* untuk pelanggan *corporate*

$$\text{jmlh pelanggan corporate} = \frac{\text{panjang jln} \times \% \text{ kantor per jln} \times 2}{\text{lebar kantor}} \times \% \text{ pelanggan} \quad (9)$$

$$\text{Bandwidth (Mbps)} = \text{jmlh pelanggan corporate} \times \text{bandwidth per gedung} \times \text{OSF} \quad (10)$$

c. Prosedur Perhitungan *Shared bandwidth* untuk pelanggan personal

i. Pemukiman

$$\text{jmlh pelanggan personal} = 0,61 \times \text{jmlh penduduk} \times \% \text{ pelanggan} \quad (11)$$

$$\text{Bandwidth (Mbps)} = \text{jmlh pelanggan personal} \times \frac{\text{kecepatan akses}}{1024} \times \text{OSF} \quad (12)$$

ii. Jalan Padat Aktivitas

$$\text{jmlh plnggn personal} = \frac{\text{pnjng jln} \times \% \text{ kntr} / \text{jln} \times 2}{\text{lebar kntr}} \times \text{jmlh pegawai} / \text{kntr} \times \% \text{ plnggn} \quad (13)$$

- Melakukan perhitungan *bandwidth* untuk kebutuhan *voice* atau layanan *telephony*. Perhitungan ini menggunakan teori trafik Erlang. Jumlah kanal yang dibutuhkan untuk melayani seluruh pelanggan kemudian dikonversi menjadi kebutuhan *bandwidth*. Hasil penjumlahan kebutuhan *shared bandwidth* dengan kebutuhan *voice* merupakan *bandwidth* total yang diperlukan suatu wilayah untuk estimasi waktu tiga tahun.

$$\text{Intensitas trafik per user} = \lambda \times h$$

$$\text{Intensitas trafik per user} = \text{Intensitas trafik per user} \times \text{pengguna layanan voice}$$

$$\text{Jumlah sel} = \frac{\text{Total shared bandwidth}}{\text{bandwidth yang dapat ditangani oleh satu sel}}$$

$$\text{Intensitas trafik per sektor} = \frac{\text{Intensitas trafik total}}{3 \times \text{jumlah sel}}$$

$$\text{bandwidth voice per sektor} = \text{Jumlah kanal yang diperlukan} \times \frac{\text{kecepatan akses}}{1024}$$

$$\text{Total bandwidth voice} = \text{Bandwidth voice per sektor} \times 3 \times \text{jumlah sel}$$

$$\text{Total bandwidth} = \text{Total shared bandwidth} + \text{total bandwidth voice}$$

- Menentukan jumlah *base station* yang dibutuhkan berdasarkan besar *bandwidth* total. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{jmlh base station} = \frac{\text{bandwidth total}}{\text{bandwidth persel}} \quad (21)$$

- Menentukan lokasi *base station* berdasarkan kebutuhan *bandwidth* setiap daerah. Parameter penting pada perhitungan *shared bandwidth* adalah *oversubscription factor* (OSF).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian yang penulis lakukan bersifat studi literatur terhadap jurnal-jurnal dan teori yang kiranya mendukung penulisan ini. Adapun untuk tahap penelitiannya adalah sebagai berikut

i. Tahapan Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, penulis mengambil materi penelitian mengenai Perencanaan Jaringan Akses *Mobile WiMAX*. Parameter-parameter yang diamati terbagi beberapa tahap, yaitu sebagai berikut :

- Jumlah penduduk per kecamatan di wilayah Jakarta,
- Jumlah pelanggan *WiMAX* di wilayah Jakarta,
- Jumlah gedung di jalan padat aktivitas,
- Jumlah tiap ruas panjang jalan di wilayah DKI Jakarta.

ii. Tahapan Pengolahan Data

Pada tahapan ini, semua data yang sudah dikumpulkan akan diolah untuk memperoleh tujuan penelitian dengan rincian sebagai berikut :

1. Merencanakan dan Menentukan daerah layanan,
2. Menentukan cakupan daerah layanan dengan memperhatikan jumlah pelanggan dan tipe pelanggan,
3. Menentukan teknologi yang akan digunakan,
4. Menentukan alokasi frekuensi pada jaringan WiMAX.

iii. Tahap Analisis Data

Pada tahap ini, data yang sudah diolah akan diterapkan dalam perencanaan dengan melakukan analisis atau perhitungan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan kebutuhan *shared bandwidth* yang dilakukan terhadap tiga jenis pelanggan yaitu:
 - a. Kebutuhan *shared bandwidth* pelanggan Residensial. Dengan persamaan (7) dan (8).
 - b. Kebutuhan *shared bandwidth* pelanggan *Corporate*. Dengan persamaan (9) dan (10).
 - c. Kebutuhan *shared bandwidth* pelanggan Personal
 - i. Pemukiman
Dengan persamaan (11) dan (12).
 - ii. Jalan Padat Aktivitas

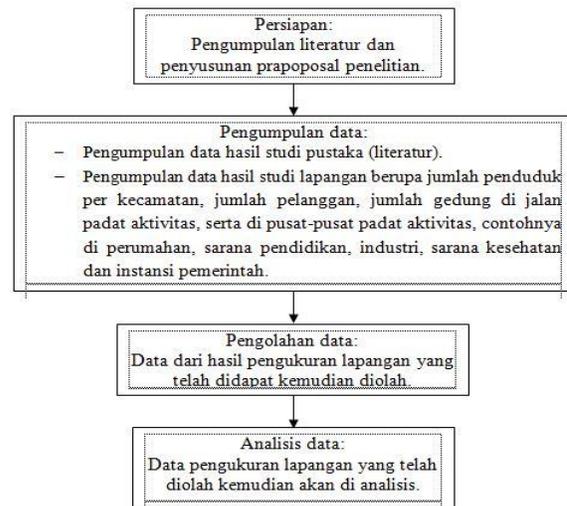
Dengan persamaan (13).

2. Melakukan perhitungan *bandwidth* untuk kebutuhan *voice* atau layanan *telephony*. Perhitungan ini menggunakan teori trafik Erlang. Dengan persamaan (14), (15), (16), (17), (18), (19), dan (20).
3. Menentukan jumlah *base station* yang dibutuhkan berdasarkan besar *bandwidth* total. Dengan persamaan (21).

iv. Tahap Akhir

Merupakan tahap paling akhir dari laporan yaitu penulisan laporan dan seminar hasil penelitian.

3.2. Diagram Alur Penelitian



Gambar 4 Diagram Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Kebutuhan *Shared*

Bandwidth

4.1.1. Kebutuhan *Shared Bandwidth*

Pelanggan Residensial

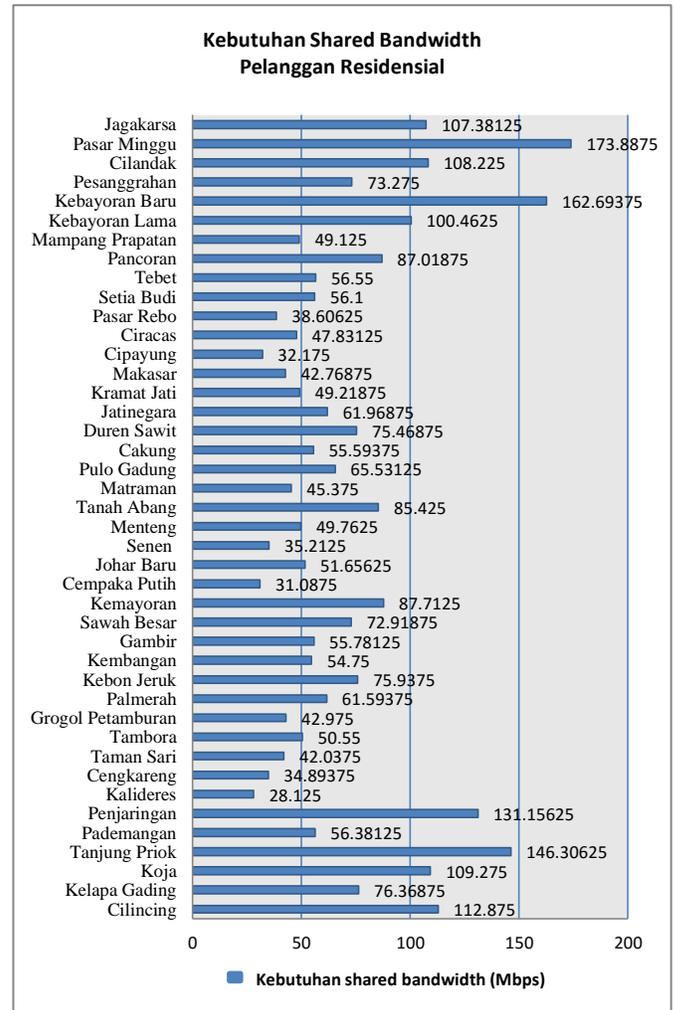
Sebagai contoh perhitungan, digunakan Kecamatan Menteng dengan jumlah penduduk 70.772 orang. Kecamatan Menteng terdiri dari rumah-rumah mewah sehingga diasumsikan persentase pelanggannya sebesar 15% dari total rumah di kecamatan tersebut.

$$\begin{aligned} \text{jumlah pelanggan residensial} &= \frac{70.772}{4} \times 0,15 \\ &= 2.654 \text{ rumah} \end{aligned}$$

Sehingga *shared bandwidth* yang dibutuhkan Kecamatan Menteng adalah

$$\begin{aligned} \text{Bandwidth (Mbps)} &= 2.654 \times \frac{384}{1.024} \text{ (Mbps)} \\ &\times \frac{1}{20} \\ &= 49,7625 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Data *bandwidth* yang dibutuhkan untuk pelanggan residensial di kecamatan lainnya dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 5 Grafik Kebutuhan *Shared Bandwidth* Pelanggan Residensial per Kecamatan

Dari gambar grafik di atas diketahui bahwa total *shared bandwidth* pelanggan residensial adalah 2.982,0375 Mbps.

4.1.2. Kebutuhan *Shared Bandwidth* Pelanggan *Corporate*

Sebagai contoh perhitungan, digunakan Jalan Gatot Subroto yang termasuk dalam kawasan segitiga emas. Di kawasan segitiga emas, persentase jalan yang digunakan sebagai gedung perkantoran adalah 80% dari keseluruhan jalan tersebut. Selain itu juga

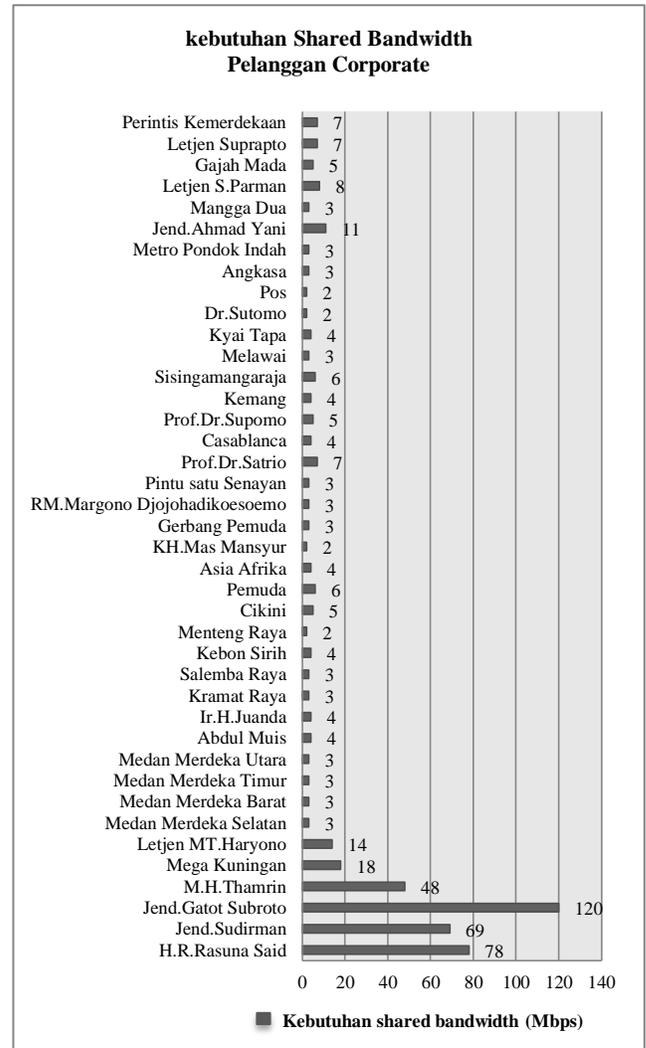
diasumsikan bahwa satu gedung terdiri dari 15 kantor dan setiap kantornya membutuhkan 2 Mbps, maka total *bandwidth* yang dibutuhkan per gedung adalah 30 Mbps.

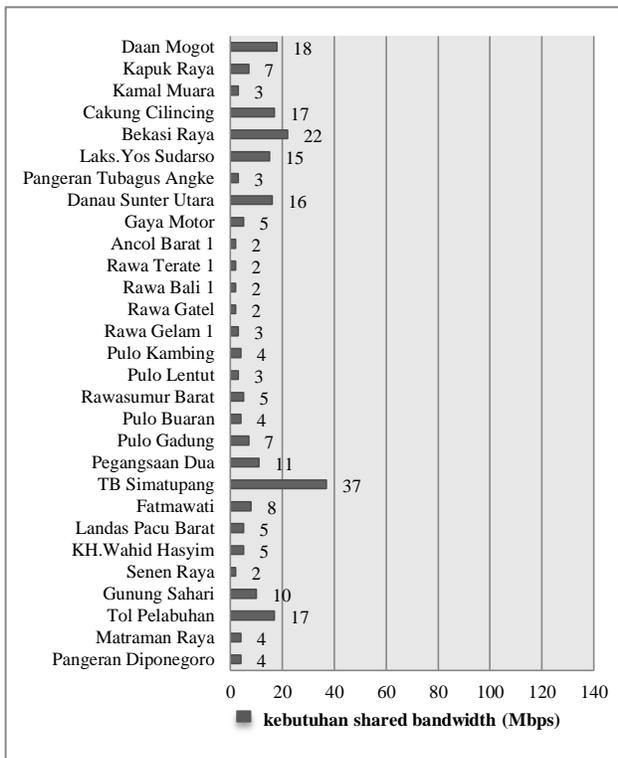
$$\begin{aligned} \text{jmlh pelanggan } corporate & \\ &= \frac{6.996 \times 0,8 \times 2}{70} \times 0,25 \\ &= 40 \text{ gedung} \end{aligned}$$

Shared bandwidth yang dibutuhkan Jalan Gatot Subroto adalah

$$\begin{aligned} \text{Bandwidth (Mbps)} &= 40 \times 30 \times \frac{1}{10} \\ &= 12 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Data *bandwidth* yang dibutuhkan untuk pelanggan *corporate* di jalan padat aktivitas lainnya dapat dilihat pada grafik berikut.





Gambar 5 Grafik Kebutuhan *Shared Bandwidth* Pelanggan *Corporate* pada Jalan Padat Aktivitas

Dari gambar grafik di atas diketahui bahwa total *shared bandwidth* pelanggan *corporate* adalah 732 Mbps.

4.1.3. Kebutuhan *Shared Bandwidth*

Pelanggan Personal

4.1.3.1. Kebutuhan *Shared Bandwidth* Pelanggan Personal di Wilayah Permukiman

Sebagai contoh perhitungan, digunakan Kecamatan Menteng yang merupakan kawasan permukiman mewah, sehingga dapat diasumsikan bahwa jumlah penduduk yang berlangganan *mobile WiMAX* sebesar 20% dari jumlah penduduk yang berpotensi menggunakan *WiMAX*.

jmlh pelanggan personal

$$= 0,61 \times 70.772 \times 0,2$$

$$= 8.634 \text{ pelanggan}$$

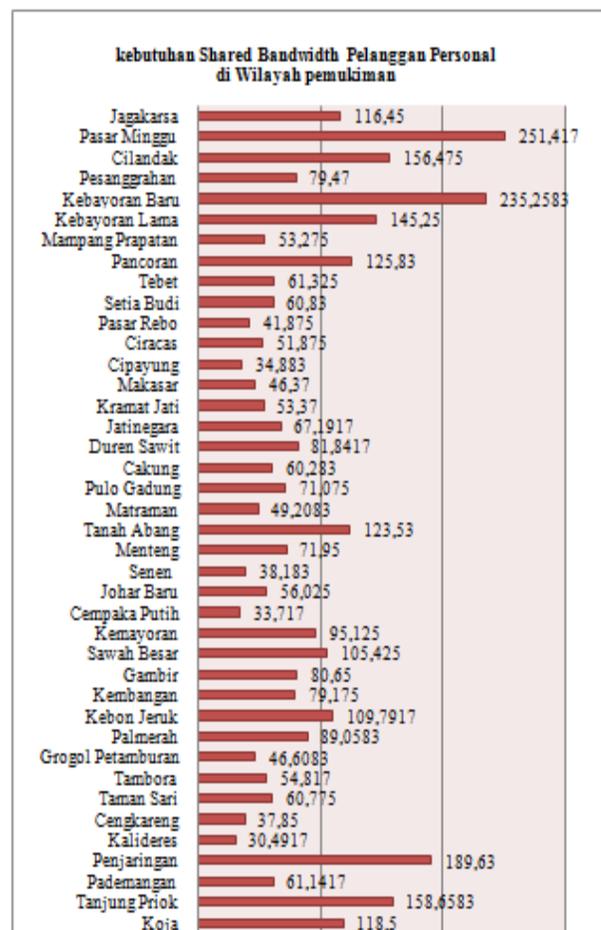
Sehingga *shared bandwidth* yang dibutuhkan Kecamatan Menteng untuk pelanggan personal adalah

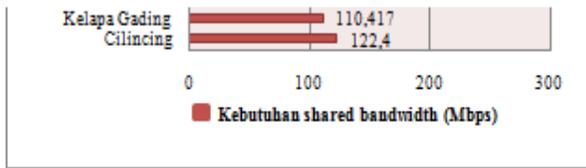
Bandwidth (Mbps)

$$= 8.634 \times \frac{256}{1.024} \text{ (Mbps)} \times \frac{1}{30}$$

$$= 71,95 \text{ Mbps}$$

Data *bandwidth* yang dibutuhkan untuk pelanggan personal di Kecamatan lainnya dapat dilihat pada grafik berikut.





Gambar 6 Grafik Kebutuhan *Shared Bandwidth* Pelanggan Personal di Wilayah Permukiman per Kecamatan

Dari gambar grafik di atas diketahui bahwa total *shared bandwidth* untuk pelanggan personal di wilayah permukiman adalah 3.717,472 Mbps.

4.1.3.2. Kebutuhan Shared Bandwidth Pelanggan Personal di Jalan Padat Aktivitas

Sebagai contoh perhitungan, digunakan Jalan Gatot Subroto yang termasuk dalam kawasan segitiga emas. Di kawasan segitiga emas, persentase jalan yang digunakan sebagai gedung perkantoran adalah 80% dari keseluruhan jalan tersebut. Diasumsikan dalam satu gedung terdapat 750 pegawai dan 20% di antaranya berlangganan *mobile WIMAX*.

jumlah pelanggan personal

$$= \frac{6.996 \times 0,8 \times 2}{70} \times 750 \times 0,2 = 23.986 \text{ pelanggan}$$

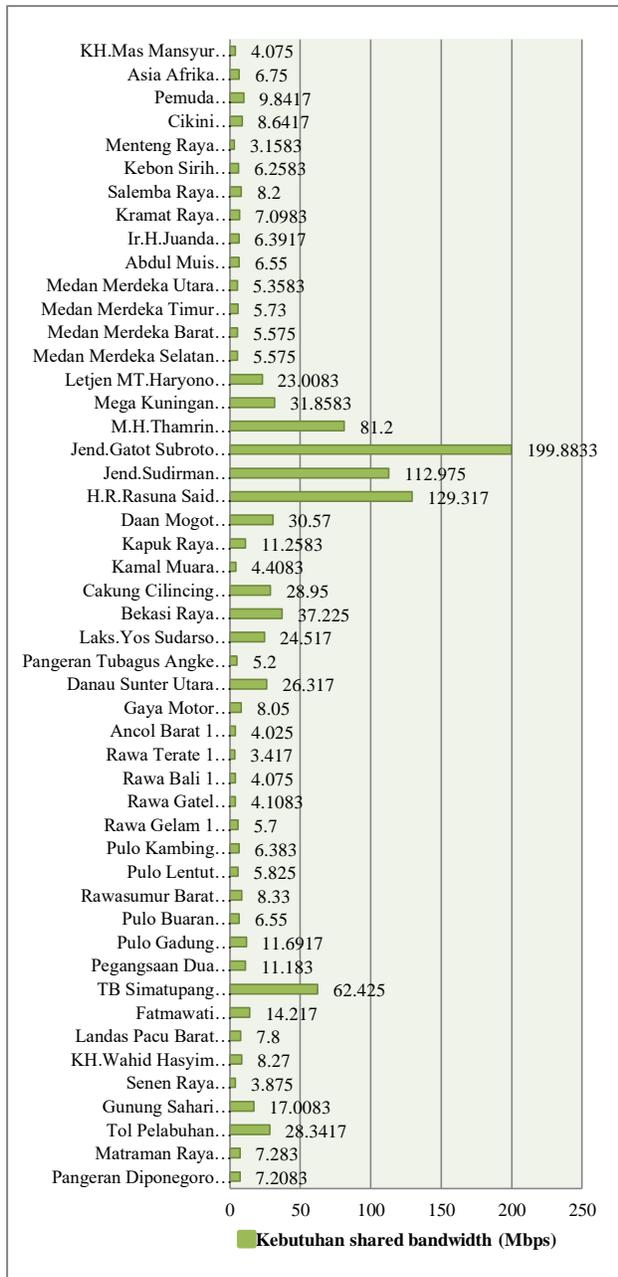
Sehingga *shared bandwidth* yang dibutuhkan Jalan Gatot Subroto untuk pelanggan personal adalah

Bandwidth (Mbps)

$$= 23.986 \times \frac{256}{1.024} \text{ (Mbps)} \times \frac{1}{30} = 199,8833 \text{ Mbps}$$

Data *bandwidth* yang dibutuhkan untuk pelanggan personal di jalan padat aktivitas lainnya dapat dilihat pada grafik berikut.





Gambar 7 Grafik Kebutuhan *Shared Bandwidth* Pelanggan Personal di Jalan Padat Aktivitas

Dari gambar grafik di atas diketahui bahwa total *shared bandwidth* untuk pelanggan personal di jalan padat aktivitas adalah 1.236,7271 Mbps.

4.1.4. Kebutuhan *Shared Bandwidth* Daerah Khusus

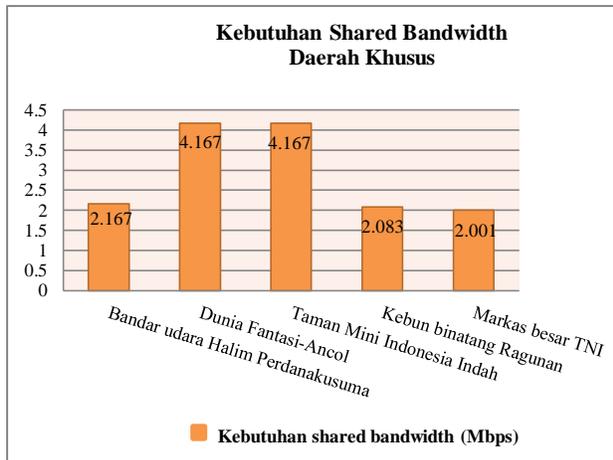
Sebagai contoh perhitungan, digunakan daerah khusus Taman Mini Indonesia Indah (TMII) dengan Jumlah pengunjung pada jam sibuk adalah 5.000 orang. Potensi pengguna WiMAX adalah 50% dari pengunjung karena sekitar 50% pengunjungnya adalah anak-anak yang belum termasuk dalam kelompok usia yang berpotensi menggunakan WiMAX. Pelanggan WiMAX adalah 20% dari total potensi pengguna.

$$\begin{aligned} \text{jmlh plnggn daerah khusus} &= 5.000 \times 0,5 \times 0,2 \\ &= 500 \text{ pelanggan} \end{aligned}$$

Sehingga *shared bandwidth* yang dibutuhkan Taman mini indonesia indah (TMII) untuk daerah khusus adalah

$$\begin{aligned} \text{Bandwidth (Mbps)} &= 500 \times \frac{256}{1.024} \text{ (Mbps)} \times \frac{1}{30} \\ &= 4,167 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Data *bandwidth* yang dibutuhkan untuk daerah khusus lainnya dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 8 Grafik Kebutuhan *Shared Bandwidth* Daerah Khusus

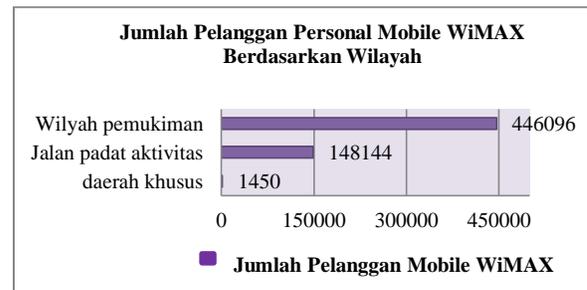
Dari grafik di atas diketahui bahwa *Shared Bandwidth* Daerah Khusus berbeda-beda, ini dikarenakan jumlah pengunjung tiap daerah khusus tidak sama. Walaupun hanya Dunia Fantasi-Ancol dan Taman Mini Indonesia Indah yang *Shared Bandwidth* sama, karena asumsi yang digunakan untuk jumlah pengunjung di daerah ini sama. Jadi total *shared bandwidth* untuk pelanggan di daerah khusus adalah 14,585 Mbps.

Berdasarkan data kebutuhan *bandwidth* pelanggan residensial adalah 2.982,0375 Mbps, pelanggan *corporate* adalah 732 Mbps, pelanggan personal adalah 4.954,1991 Mbps, dan kebutuhan *bandwidth* daerah khusus adalah 14,585 Mbps, maka total *shared bandwidth* yang diperlukan untuk melayani pelanggan di DKI Jakarta adalah 8.682,8216 Mbps.

4.1.5. Kebutuhan *Bandwidth* untuk Telephony

Dengan asumsi yang telah dipaparkan seluruh pelanggan *mobile* WiMAX

menggunakan *handsetnya* untuk melakukan layanan *voice*, maka jumlah pengguna yang berpotensi melakukan panggilan melalui *handset* adalah 595.690 orang dengan perincian sebagai berikut.



Gambar 9 Grafik Jumlah Pelanggan Personal *Mobile* WiMAX Berdasarkan Wilayah

Hasil perhitungan jumlah pelanggan personal *Mobile* WiMAX berdasarkan wilayah tersebut didapat dari penjumlahan pada tiap-tiap pelanggan personal berdasarkan wilayahnya. Sehingga mendapatkan hasil total pelanggan personal tiap wilayah.

Jumlah pengguna layanan *telephony* residensial adalah 25% dari pelanggan residensial. Sebagai contoh perhitungan, digunakan kecamatan Menteng dengan jumlah pelanggan 2.654 rumah.

$$\begin{aligned} \text{jmlh pengguna voice} &= 2.654 \times 0,25 \\ &= 664 \text{ pengguna} \end{aligned}$$

Diketahui bahwa jumlah pengguna layanan *voice* di wilayah permukiman adalah 39.764 orang. Data pengguna *voice* untuk Pengguna Residensial per Kecamatan dapat dilihat pada grafik 4.7 berikut.

Dengan asumsi bahwa dalam satu jam sibuk, pengguna layanan *voice* yang

menggunakan fasilitas kantor adalah 150 orang per gedung untuk kantor besar yang berada di wilayah segitiga emas dan 50 orang per gedung untuk kantor di wilayah lainnya dan di bangunan industri.

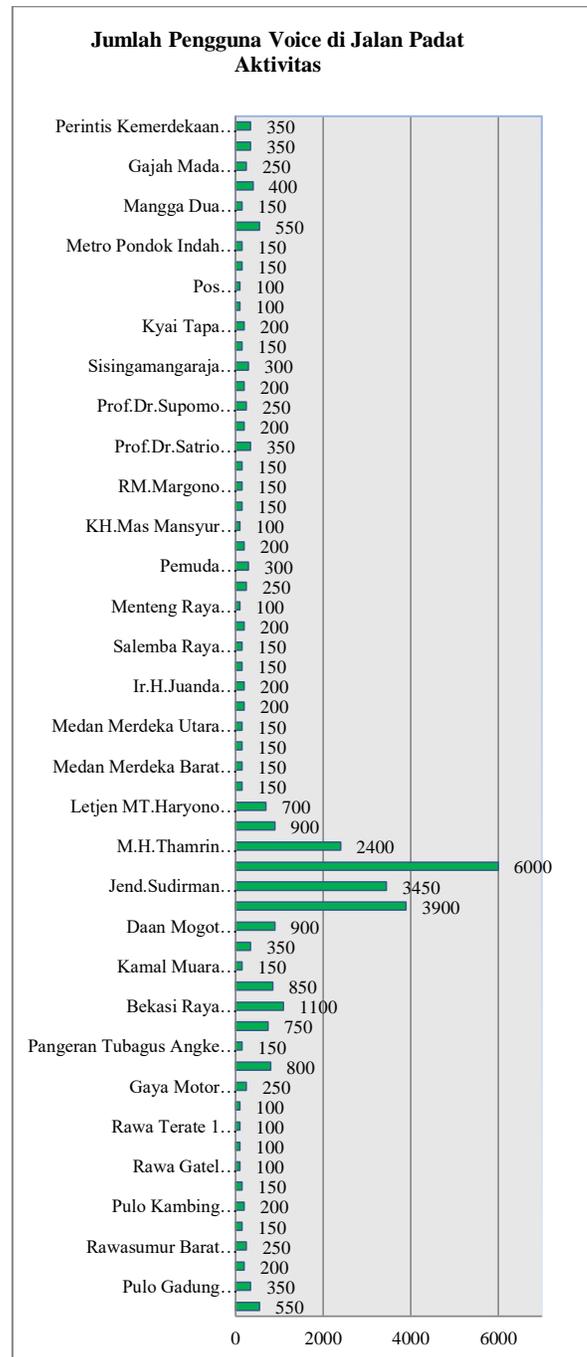
$$\begin{aligned} \text{jmlh pengguna voice} &= 150 \times 40 \\ &= 6.000 \text{ pengguna} \end{aligned}$$

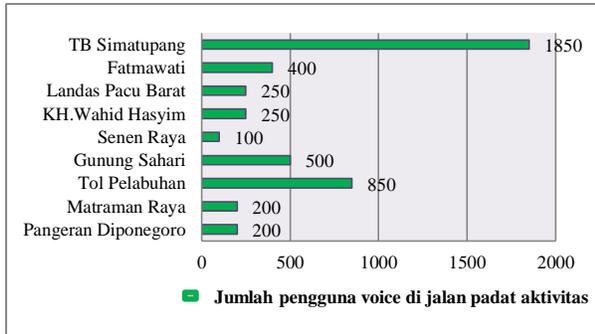
Maka jumlah pengguna yang berpotensi melakukan panggilan pada jalan padat aktivitas adalah 36.600 orang dengan perincian sebagai berikut.



Gambar 10 Grafik Jumlah Pengguna Voice Residensial per Kecamatan

Sebagai contoh perhitungan, digunakan Jalan Gatot Subroto yang termasuk dalam kawasan segitiga emas dengan jumlah pelanggan 40 gedung.





Gambar 11 Grafik Jumlah Pengguna Voice Fasilitas Kantor di Jalan Padat Aktivitas

Berdasarkan gambar grafik 9, grafik 10, dan grafik 11, diketahui bahwa pengguna layanan *voice* menggunakan WiMAX berjumlah 672.054 orang. Jika waktu bicara rata-rata seorang pelanggan adalah 3 menit, maka:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas trafik per user} &= \lambda \times h \\ &= 1 \times \frac{180 \text{ dtk}}{3.600 \text{ dtk}} \\ &= 0,05 \text{ Erlang} \end{aligned}$$

Dengan total pengguna layanan *voice* sejumlah 672.054 orang, diperoleh

$$\begin{aligned} \text{Intensitas trafik per user} \\ &= 0,05 \text{ Erlang} \times 672.054 \\ &= 33602,7 \text{ Erlang} \end{aligned}$$

Untuk menghitung *bandwidth voice*, data yang diperlukan adalah jumlah kanal. Karena wilayah DKI Jakarta terbagi menjadi beberapa sel dan setiap selnya terbagi menjadi tiga sektor, data yang diperlukan adalah jumlah kanal per sektor. Untuk mengetahui jumlah kanal per sektor, diperlukan data jumlah *base station*,

sedangkan jumlah *base station* belum diketahui karena *bandwidth voice* belum diketahui. Sehingga cara yang dilakukan untuk menghitung *bandwidth voice* sekaligus menghitung jumlah *base station* adalah dengan proses iterasi.

Langkah-langkah perhitungan *shares bandwidth* untuk layanan *telephony*, yaitu:

1. Menghitung jumlah sel, dengan cara membagi total *shared bandwidth* dengan *bandwidth* yang dapat ditangani oleh satu sel. Sesuai asumsi yang telah dipaparkan pada bab 4, *bandwidth* yang dapat dilayani oleh satu sel adalah 90 Mbps.

$$\text{Jumlah sel} = \frac{8.682,8216}{90} = 97 \text{ Sel}$$

2. Menghitung intensitas trafik per sektor, diperoleh dengan cara membagi intensitas trafik total dengan jumlah sektor total.

$$\begin{aligned} \text{Intensitas trafik per sektor} &= \frac{33602,7}{3 \times 97} \\ &= 115,473 \text{ Erlang} \\ &\approx 116 \text{ Erlang} \end{aligned}$$

Untuk memenuhi persyaratan GoS 2%, maka:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kanal yang diperlukan} \\ &= 129 \text{ kanal per sektor} \end{aligned}$$

3. Menghitung *bandwidth voice per sector*, Jika satu kanal *voice* membutuhkan *bandwidth* 20 kbps, maka:

bandwidth voice per sektor

$$= 129 \times \frac{20}{1.024}$$

$$= 2,5 \text{ Mbps}$$

4. Menghitung total *bandwidth* yang diperlukan untuk melayani pengguna layanan *telephony* adalah

$$\text{Total } \textit{bandwidth voice} = 2,5 \times 3 \times 97$$

$$= 728 \text{ Mbps}$$

Bandwidth total yang diperlukan untuk melayani kebutuhan *shared bandwidth* dan *bandwidth voice* adalah

$$\text{Total } \textit{bandwidth} = 8.682,8216 + 728$$

$$= 9.410,8216 \text{ Mbps}$$

Langkah perhitungan yang kedua ini sama dengan langkah perhitungan yang pertama, karena perhitungan ini menggunakan proses iterasi. Langkah perhitungannya sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah sel, dengan cara membagi total *shared bandwidth* dengan *bandwidth* yang dapat ditangani oleh satu sel. Sesuai asumsi yang telah dipaparkan, *bandwidth* yang dapat dilayani oleh satu sel adalah 90 Mbps.

$$\text{Jumlah sel} = \frac{9.410,8216}{90} = 105 \text{ Sel}$$

2. Menghitung intensitas trafik per sektor, diperoleh dengan cara membagi intensitas trafik total dengan jumlah sektor total.

$$\text{Intensitas trafik per sektor} = \frac{33602,7}{3 \times 105}$$

$$= 106,675 \text{ Erlang}$$

$$\approx 107 \text{ Erlang}$$

Untuk memenuhi persyaratan GoS 2%, maka:

Jumlah kanal yang diperlukan

$$= 120 \text{ kanal per sektor}$$

3. Menghitung *bandwidth voice per sector*, Jika satu kanal *voice* membutuhkan *bandwidth* 20 kbps, maka:

bandwidth voice per sektor

$$= 120 \times \frac{20}{1.024}$$

$$= 2,34375 \text{ Mbps}$$

4. Menghitung total *bandwidth* yang diperlukan untuk melayani pengguna layanan *telephony* adalah

$$\text{Total } \textit{bandwidth voice} = 2,34375 \times 3 \times 107$$

$$= 752,34375 \text{ Mbps}$$

Bandwidth total yang diperlukan untuk melayani kebutuhan *shared bandwidth* dan *bandwidth voice* adalah

$$\text{Total } \textit{bandwidth} = 8.682,8216 + 752,34375$$

$$= 9.435,16535 \text{ Mbps}$$

Dari hasil iterasi, jumlah *bandwidth* yang dibutuhkan untuk melayani pengguna layanan *voice* adalah 752,34375 Mbps. Kebutuhan *bandwidth* total untuk melayani

pelanggan WiMAX di wilayah DKI Jakarta adalah 9.435,16535 Mbps.

4.2. Perhitungan Jumlah Base Station

Metode perhitungan kebutuhan jumlah *base station* terdiri dari dua jenis, yaitu perhitungan berdasarkan *coverage* dan perhitungan berdasarkan kapasitas.

4.2.1. Perhitungan Jumlah Base Station

Berdasarkan Coverage

Dalam melakukan perhitungan jumlah *base station* berdasarkan *coverage*, data yang harus dimiliki adalah luas wilayah DKI Jakarta dan luas sel yang dapat dilingkupi oleh sebuah *base station*. Sesuai dengan batasan masalah pada bab 1, tugas akhir ini hanya perencanaan sel pada lima kotamadya di DKI Jakarta dan tidak membahas perencanaan untuk wilayah Kepulauan Seribu. Luas wilayah daratan DKI Jakarta tanpa Kepulauan Seribu adalah 649,71 km².

Untuk mengetahui luas sel, terlebih dahulu harus diketahui jarak jangkauan maksimum suatu *base station*. Faktor penting dalam menentukan jarak jangkauan suatu *base station* adalah nilai *path loss*. *Path loss* merupakan perbandingan antara daya pancar dengan daya terima. Suatu sinyal dapat diterima dengan baik jika di sisi penerima, sinyal tersebut memenuhi nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) tertentu. Pada standar IEEE 802.16e, modulasi yang digunakan pada pinggir sel adalah QPSK. Untuk

modulasi QPSK, SNR yang diperlukan adalah 3,49 dB.

Selain mengetahui SNR yang dibutuhkan, parameter lain yang perlu diketahui untuk menghitung nilai *path loss* adalah parameter *link budget*. Parameter yang digunakan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut

Tabel 2 Parameter *Link Budget Downlink*

Base Station	
Daya output transmitter (P_{Tx})	43 dBm
Gain antenna (G_{Tx})	15 dBi
Loss transmitter (L_{Tx})	0,7 dB
Mobile Station	
Gain receiver (G_{Rx})	0 dBi
Receiver noise figure	7 dB
Thermal noise	-174 dBm/Hz
Margin	
Log normal fade margin	5,56 dB
Fast fading margin	2 dB
Interference margin	2 dB
Building penetration loss	10 dB

Berdasarkan parameter di atas, perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

Bandwidth satu carrier adalah 10 MHz, sehingga

$$\begin{aligned} \text{Thermal noise} &= -174 + 10 \log_{10}(10 \cdot 10^6) \\ &= -104 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\text{SNR} = P_{Rx} - N \quad (22)$$

Dengan P_{Rx} = sensitivitas *receiver*

N = daya *noise* pada *receiver*

$$\begin{aligned} P_{Rx} = \text{SNR} + N &= 3,49 + (-104 + 7) \\ &= -93,51 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total margin} &= 5,56 + 2 + 2 + 10 \\ &= 19,56 \text{ dB} \end{aligned}$$

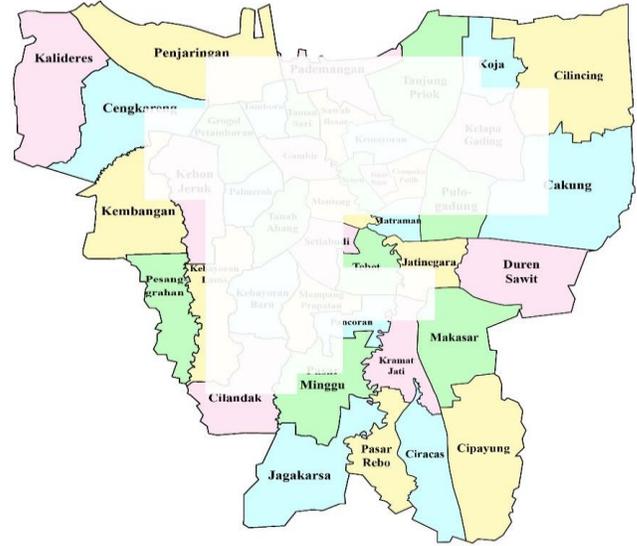
$$Path\ loss = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{Tx} - P_{Rx} - margin \quad (23)$$

$$\begin{aligned} Path\ loss &= 43 + 15 - 0,7 - 93,51 - 19,56 \\ &= 57,3 - (-93,51) - 19,56 \\ &= 131,25\text{ dB} \end{aligned}$$

Jarak jangkau suatu *base station* dapat dihitung dengan persamaan Erceg seperti persamaan (1). Persamaan tersebut dapat dimodifikasi menjadi

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{PL - 20 \log\left(\frac{4\pi d_0 f}{c}\right) - 6 \log\frac{f}{1900} + 10,8 \log\frac{h_m}{2}}{10\gamma}} \quad (24)$$

Pada perencanaan ini, wilayah Jakarta dibagi menjadi *terrain* A yang merupakan daerah padat dengan gedung-gedung perkantoran yang tinggi dan *terrain* B yang mayoritas merupakan daerah permukiman dan jarang terdapat gedung-gedung tinggi. Pembagian *terrain* A dan *terrain* B di wilayah Jakarta dapat dilihat pada gambar berikut. Wilayah yang berada di dalam kotak putih merupakan wilayah *terrain* A.



Gambar 4.9 Pembagian Wilayah Jakarta Berdasarkan *Terrain*

Dengan menggunakan persamaan (3) untuk menghitung *path loss exponent terrain* A, diperoleh

$$\gamma = 4,6 - 0,0075 \cdot 32 + \frac{12,6}{32} = 4,7538$$

Sehingga radius sel pada wilayah *terrain* A adalah

$$\begin{aligned} d &= d_0 \cdot 10^{\frac{131,25 - 20 \log\left(\frac{4\pi \cdot 100 \cdot 2,5 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}\right) - 6 \log\frac{2500}{1900} + 10,8 \log\frac{1,5}{2}}{10 \cdot 4,7538}} \\ &= 1.062\text{ m} \end{aligned}$$

Dengan bentuk sel heksagonal, luas suatu sel pada wilayah *terrain* A adalah

$$\begin{aligned} L &= \frac{3\sqrt{3}}{2} d^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} (1062)^2 \\ &= 2930224,67\text{ m}^2 \\ &= 2,930224\text{ km}^2 \end{aligned}$$

Luas wilayah *terrain* A adalah 255,4375 km² sehingga kebutuhan *base station* pada wilayah *terrain* A adalah

$$\text{Jumlah } base\ station = \frac{255,4375}{2,930224} = 87,17$$

$$\approx 87\ base\ station$$

Sedangkan untuk *terrain* B, Dengan menggunakan persamaan (3) untuk menghitung *path loss exponent terrain* B. Maka diperoleh

$$\gamma = 4 - 0,0065 \cdot 50 + \frac{17,1}{50} = 4,017$$

Sehingga radius sel pada wilayah *terrain* B adalah

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{131,25 - 20 \log\left(\frac{4\pi \cdot 100 \cdot 2,5 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}\right) - 6 \log\frac{2500}{1900} + 10,8 \log\frac{1,5}{2}}{10 \cdot 4,017}}$$

$$= 1.638\ m$$

Dengan bentuk sel heksagonal, luas suatu sel pada wilayah *terrain* B adalah

$$L = \frac{3\sqrt{3}}{2} d^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} (1638)^2$$

$$= 6970752,79\ m^2$$

$$= 6,970752\ km^2$$

Luas wilayah *terrain* B adalah 394,2725 km² sehingga kebutuhan *base station* pada wilayah *terrain* B adalah

$$\text{Jumlah } base\ station = \frac{394,2725}{6,970752} = 56,56$$

$$\approx 57\ base\ station$$

Berdasarkan jangkauan sel, jumlah *base station* yang dibutuhkan wilayah DKI Jakarta adalah 144 *base station*.

4.2.2. Perhitungan Jumlah Base Station

Berdasarkan Kapasitas

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh, jumlah *base station* yang diperlukan untuk menangani kebutuhan *shared bandwidth* dan *bandwidth voice* di wilayah DKI Jakarta adalah

$$\text{Jumlah } base\ station = \frac{\text{bandwidth total}}{\text{bandwidth per sel}}$$

$$= \frac{9.435,16535}{90}$$

$$= 105\ base\ station$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah *base station* yang dibutuhkan dari sisi *coverage* adalah 144 *base station*, sedangkan jumlah *base station* yang dibutuhkan dari sisi kapasitas adalah 105 *base station*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah *base station* yang harus digunakan pada penentuan lokasi *base station* adalah 144 *base station* supaya seluruh area terlingkupi.

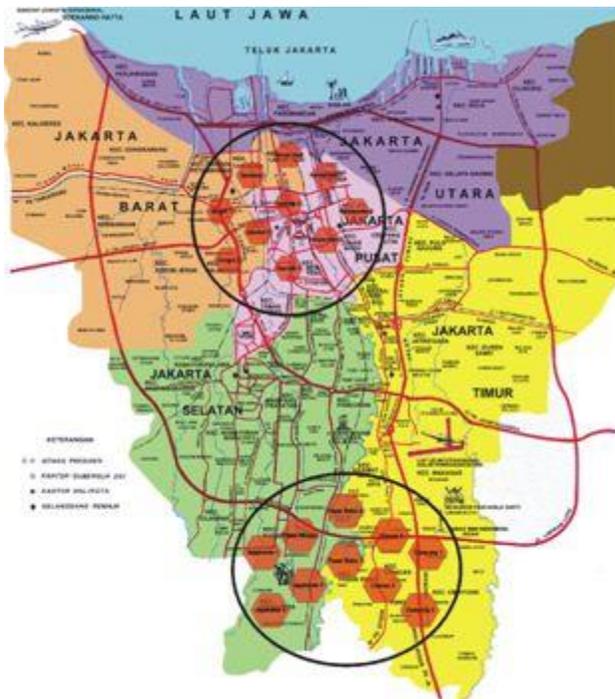
4.3 Penentuan Lokasi Base Station

Penentuan lokasi *base station* berdasarkan hasil jumlah *base station* yang di dapatkan adalah 144 *base station* supaya seluruh area terlingkupi. Jumlah *base station* sebanyak 144 ini merupakan jumlah minimum karena syarat kebutuhan *base*

station berdasarkan kapasitas pun tetap harus dipenuhi.

Sebagai contoh penentuan *base station* akan dilakukan di daerah yang padat aktivitasnya seperti wilayah kotamadya Jakarta Pusat (*Terrain A*) yang memiliki luas area paling kecil dibandingkan kotamadya lainnya di Jakarta, tetapi wilayah ini sangat padat aktivitasnya. Dengan daerah yang tidak padat aktivitasnya adalah wilayah kotamadya Jakarta Selatan dan Jakarta Timur (*Terrain B*) yang kebanyakan hanya wilayah pemukiman penduduk.

Berikut adalah ilustrasi penempatan 20 buah *base station* di wilayah padat aktivitas (*Terrain A*) dengan Wilayah yang tidak padat aktivitas, hanya wilayah pemukiman saja (*Terrain B*).



Gambar 4.10 Site *Base Station* di Wilayah DKI Jakarta

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Total *shared bandwidth* yang diperlukan untuk melayani pelanggan WiMAX di DKI Jakarta adalah 8.682,8216 Mbps dengan perincian sebagai berikut:
 - a. Kebutuhan *shared bandwidth* pelanggan residensial adalah 2.982,0375 Mbps.
 - b. Kebutuhan *shared bandwidth* pelanggan *corporate* adalah 732 Mbps.
 - c. Kebutuhan *shared bandwidth* pelanggan personal adalah 4.954,1991 Mbps.
 - d. Kebutuhan *shared bandwidth* di daerah khusus adalah 14,585 Mbps.
2. *Bandwidth* yang dibutuhkan untuk melayani pengguna layanan *voice* adalah 752,34375 Mbps. Kebutuhan *bandwidth* total untuk melayani pelanggan WiMAX di wilayah DKI Jakarta adalah 9.435,16535 Mbps.
3. Sehingga radius sel pada wilayah *terrain A* adalah 1.062 m. Dengan bentuk sel heksagonal, luas suatu sel pada wilayah *terrain A* adalah 2,930224 km². Sedangkan untuk radius sel pada wilayah *terrain B* adalah 1.638 m. Dengan bentuk sel heksagonal, luas suatu sel pada wilayah *terrain B* adalah 6,970752 km².
4. Jumlah *base station* yang dibutuhkan untuk melayani pelanggan WiMAX di DKI Jakarta jika dihitung dari sisi kapasitas adalah 105 *base station*, sedangkan jumlah *base station*

yang dibutuhkan jika dihitung dari sisi *coverage* adalah 144 *base station*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah *base station* yang harus digunakan pada penentuan lokasi *base station* adalah 144 *base station* supaya seluruh area terlindungi.

5.2. Saran

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk pengembangan selanjutnya antara lain:

1. Pemetaan sel hendaknya dilakukan lebih akurat lagi.
2. Dalam perencanaan di lapangan hendaknya dilakukan survey lapangan untuk mengetahui kondisi *real*, terutama untuk penentuan lokasi *base station* yang akan di bangun.
3. Dalam memperhitungkan persentase pelanggan perlu dilakukan survey terhadap penduduk Jakarta yang menggunakan jaringan *mobile* WiMAX supaya diperoleh asumsi yang lebih akurat.
4. Dalam perencanaan *real* hendaknya dilakukan estimasi kebutuhan *throughput* per pelanggan secara akurat.
5. Dari penelitian ini diharapkan menjadi salah satu dasar agar perusahaan lebih memperhatikan kebutuhan BTS yang akan direncanakan dan melakukan pemeliharaan BTS tersebut agar tetap terjaga sampai beberapa tahun yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik DKI Jakarta. 2009. Jakarta Dalam Angka 2009.
- Departemen Pekerjaan Umum DKI Jakarta. Data Panjang Ruas Jalan di Wilayah DKI Jakarta.
- Ditjen Postel dan Depkominfo. "Penataan Spektrum Frekuensi Radio Layanan Akses Pita Lebar Berbasis Nirkabel". November 2006.
- Gunadi Dwi Hantoro. "Mempelajari WiMAX Secara Tutorial dan Visual". Informatika. Bandung. 2008.
- Gunawan Wibisono dan Gunadi Dwi Hantoro. "WiMAX : Teknologi Broadband Wireless Access (BWA), Kini dan Masa Depan". Informatika. 2006.
- J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed. *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. Prentice-Hall. 2007.
- Natanael Makarios. "Prakiraan Kebutuhan Akses Broadband dan Perencanaan Jaringan Mobile WiMAX untuk Kota Bandung". Laporan Tugas Akhir Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung. 2007.
- Puspito, Sigit W.J. 1999. "Mengenal Teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless", *Elektro Indonesia*, Nomor 241999.

T. S. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice, Second Edition*. Prentice-Hall. 2002.

WiMAX Forum. “*Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks*”. November 2005.

WiMAX Forum. “*Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*”. Agustus 2006.

WiMAX Forum. “*WiMAX’s Technology for LOS and NLOS Environments*”. Agustus 2004.

Wei Chen. “*Time Frequency-Selective Channel Estimation of OFDM System*”. Proquest Company. April 2006.

<http://www.dailywireless.org/2004/11/24/wifi-yrs-wimax/> di akses tanggal 4 April 2010
Pukul 16.00 WIB.