

PERANCANGAN SISTEM KOMUNIKASI WIMAX UNTUK LAYANAN BROADBAND DI LINGKUNGAN PEMERINTAH KOTA BALIKPAPAN

Nurwahidah Jamal¹⁾, Rina Pudji Astuti²⁾, Dharu Arseno³⁾

¹Fakultas Pasca Sarjana Institut Teknologi Telkom Bandung.

Jl. Telekomunikasi No 1. Bandung, 40285

HP (penulis utama): +62 81350630033

E-mail : idadjamal05@gmail.com¹⁾

Abstrak

Salah satu arah pembangunan jangka panjang Balikpapan adalah mewujudkan penyelenggaraan tata pemerintahan yang baik dengan pengembangan sistem informasi manajemen tata kelola kota. Untuk mendukung arah pembangunan tersebut perlu dirancang *blueprint* penggelaran layanan *broadband* di Balikpapan yang mampu menjangkau seluruh Balikpapan dengan luas wilayah 503,30 km².

Dipilih teknologi *fixed WiMAX* karena cakupannya dapat mencapai 50 km dengan kecepatan akses sampai 75 Mbps. Teknologi ini di implementasikan sebagai jaringan *backhaul* dan akses *WiMAX*. Ditentukan *system gain* yang tepat agar diperoleh area *availability* yang baik. Proses penentuan kapasitas, jumlah sel dan *coverage* masing-masing sel dilakukan berdasarkan kondisi dan kebutuhan real di Balikpapan.

Struktur jaringan yang dihasilkan terdiri dari kombinasi *mikrosel* (luas sel 4.116 km² sebanyak 19 sel) dan *makrosel* (luas sel 21.900 km² sebanyak 20 sel). Agar diperoleh daerah cakupan sel dengan sinyal penerimaan yang baik, digunakan *base station* dengan tinggi 40 - 50 meter dan *power transmit* 30 dBm - 43 dBm.

Kata kunci: *WiMAX 802.16-2004, Struktur Jaringan, OFDM, AMC, Coverage, Capacity.*

Abstract

One of the long-term developments of Balikpapan is the implementation of good governance with the city management information systems. To support the development path should be designed *blueprint* for deploying *broadband services* capable of reaching all Balikpapan in Balikpapan with an area of 503.30 km².

Fixed WiMAX technology is selected because the scope is able to reach of 50 km with access up to 75Mbps. This technology is implemented as *WiMAX* access and *wireless backhaul networks*. The appropriate *system gains* determined in order to obtain good area *availability* in coverage areas. The process of determining the capacity the number of cells and the coverage of each cell is based on the real conditions and needs of Balikpapan.

The resulting network structure consisting of a combination of *microcell* (4,116 km² cellswideby 19cells) and *makrosel* (21,900 km² cellswideby 20cells). To obtain a cell coverage area with good signal reception, a *base station* of 40 – 50 meters high and 30 43 dBm transmit power are used.

Keywords: *WiMAX802.16-2004, OFDM Network Structure, AMC, Coverage, Capacity*

1. Latar Belakang

Salah satu arah pembangunan jangka panjang Balikpapan adalah mewujudkan penyelenggaraan tata pemerintahan yang baik dengan pengembangan sistem informasi manajemen tata kelola kota [5]. Untuk mendukung arah pembangunan tersebut perlu dirancang *blueprint* penggelaran layanan *broadband* di kota Balikpapan.

Layanan *broadband* ini akan memfasilitasi kebutuhan akses informasi berkecepatan tinggi bagi pegawai, institusi pendidikan, dan warga masyarakat Balikpapan. Penggelaran layanan *broadband* tersebut diharapkan mampu menjangkau seluruh Balikpapan dengan luas wilayah 503,30 Km².

Permasalahan yang terdapat pada perancangan ini adalah terdapat beberapa kantor pada lokasi yang berdekatan sehingga pada titik tertentu terdapat kebutuhan *bandwidth* yang sangat tinggi melebihi kapasitas *base station*. Untuk mengatasi hal tersebut maka jaringan akses dirancang menggunakan kombinasi *fixed WiMAX* dengan *fiber optik*.

Prose penentuan kapasitas, jumlah sel dan *coverage* masing-masing sel dilakukan berdasarkan kondisi dan kebutuhan real di Balikpapan. Kebutuhan layanan, *QoS* dan kondisi kanal pada masing-masing pengguna sangat bervariasi sehingga pada penelitian ini digunakan teknik modulasi adaptif. Simulasi hasil rancangan dilakukan menggunakan *software* Mapinfo 10.5 dan *software* Atoll untuk mensimulasikan *coverage* area layanan dan *coverage* level sinyal.

2. WiMAX

WiMAX merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dengan jangkauan yang luas, menerapkan QoS serta memiliki kemampuan *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line of Sight* (NLOS).

2.1 OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan suatu teknik multiplexing yang membagi *bandwidth* menjadi beberapa frekuensi *subcarrier*. OFDM merupakan bentuk khusus dari *multi-carrier modulation* (MCM). Dalam system OFDM, aliran data input dibagi menjadi beberapa aliran data paralel dengan data rate yang lebih rendah dari data rate sebelumnya (durasi symbol bertambah) dan masing-masing aliran data paralel tersebut di modulasi dan ditransmisikan melalui *subcarrier* terpisah yang saling *orthogonal*.

Tabel 1 Parameter OFDM pada WiMAX [4]

Parameter	Fixed WiMAX OFDM-PHY		Mobile WiMAX Scalable OFDMA-PHY		
FFT size	256	128	512	1,024	2,048
Number of used data subcarriers	192	72	360	720	1,440
Number of pilot subcarriers	8	12	60	120	240
Number of null/guardband subcarriers	56	44	92	184	368
Cyclic prefix or guard time (T _g /T _b)	1/32, 1/16, 1/8, 1/4				
Oversampling rate (F _s /BW)	Depends on bandwidth: 7/6 for 256 OFDM, 8/7 for multiples of 1.75 MHz, and 28/25 for multiples of 1.25 MHz, 1.5 MHz, 2 MHz, or 2.75 MHz				
Channel bandwidth (MHz)	3.5	1.25	5	10	20
Subcarrier frequency spacing (kHz)	15.625		10.94		
Useful symbol time (μs)	64		91.4		
Guard time assuming 12.5% (μs)	8		11.4		
OFDM symbol duration (μs)	72		102.9		
Number of OFDM symbol in 5 ms frame	69		48.0		

2.2 Model Propagasi SUI

SUI model merupakan model yang dikembangkan untuk frekuensi di bawah 11 GHz. Perhitungan jarak jangkau maksimum dan luas wilayah dari suatu perangkat jaringan dengan menggunakan model SUI dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

Free space pathloss

$$PL_f = 32,4 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{MHz} \quad (1)$$

dimana PL_f adalah free space path loss (dB), d_{km} adalah jarak antar base station (km), f_{MHz} adalah frekuensi (MHz) [7].

Total loss

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + S(2.9) \quad (2)$$

dimana L adalah total loss, A adalah free space loss, γ adalah eksponen path loss, d adalah jarak base station dengan receiver, d_0 adalah jarak referensi (100 meter), X_f adalah factor koreksi frekuensi, X_h adalah factor koreksi tinggi CPE, S adalah factor shadowing, log normal (8,2 – 10,6)[7].

2.3 System Gain

System gain diperlukan untuk menentukan nilai redaman maksimum dari propagasi gelombang yang masih diizinkan agar BS dan SS masih dapat berkomunikasi dengan baik pada daerah cakupannya. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan sistem gain adalah:

Effective Isotropic Radiated Power (dBm)

$$EIRP = P_{TX} - L_C + G_{TX-Ant} \quad (3)$$

Dimana, P_{TX} adalah transmit power, L_C adalah cable loss, G_{TX-Ant} adalah transmit antenna gain[7].

Receiver Sensitivity (dBm)

$$R_{SS} = -101 + SNR_{RX} + 10 \cdot \log \left(F_s \cdot \frac{N_{used}}{N_{FFT}} \cdot \frac{N_{subchannels}}{16} \right) \quad (4)$$

dimana SNR_{RX} adalah receiver SNR (dB), F_s adalah frekuensi sampling (MHz), $N_{subchannels}$ adalah subchannel, N_{used} adalah subcarrier yang digunakan, N_{FFT} adalah subcarrier (FFT) [3]

Maximum Allowable Pathloss (dB)

$$MAPL = EIRP + G_{RX-Ant} - R_{SS} - M_{tot} \quad (5)$$

dimana G_{RX-Ant} adalah receive antenna gain, M_{tot} adalah total margin [7].

3 Perancangan Sistem Komunikasi WiMAX Untuk Layanan Broadband.

Tahapan perancangan yang dilakukan meliputi; penentuan area layanan, pengguna layanan dan jenis layanan di setiap lingkungan pelanggan, penentuan kebutuhan *bandwidth*, perancangan struktur jaringan, penentuan kapasitas, penentuan *coverage*/jarak jangkauan, penentuan jumlah sel berdasarkan kapasitas (*capacity*), jarak jangkauan/*coverage*, penentuan koordinat base station. dan simulasi sistem.

3.1 Area layanan, pengguna layanan, dan jenis layanan.

Area layanan meliputi daerah permukiman (perkotaan) yang dikategorikan sebagai wilayah *urban* dengan luas 75,861 km² dan daerah pertanian (pedesaan) yang dikategorikan sebagai wilayah *suburban* dengan luas 427,448 km². Area layanan terdiri atas 87 kantor dan 175 sekolah negeri.

Layanan diperuntukkan bagi pegawai kantor, guru dan pegawai sekolah, siswa dari masing-masing sekolah negeri dari tingkat SD/ sederajat sampai dengan SMU/SMK/ sederajat, dan warga masyarakat.

Jenis layanan yang akan diberikan adalah layanan *video conferencing*, layanan data, layanan telephony (VoIP), dan layanan aplikasi beberapa kantor seperti kantor Walikota dan dinas-dinas yang dapat diakses oleh warga masyarakat.

3.2 Kebutuhan Bandwidth

Kebutuhan *bandwidth* dari masing-masing kantor dan sekolah dihitung berdasarkan jumlah pengguna layanan dikali dengan *bandwidth* yang disediakan untuk masing-masing layanan dengan asumsi:

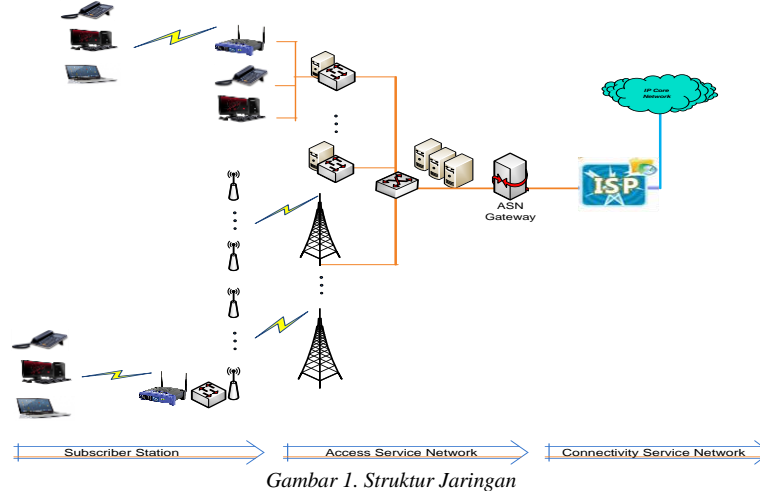
- Masing-masing 1 (satu) layanan *video conferencing* untuk kantor Walikota, DPRD, Dinas-dinas, dan Lembaga Teknis.
- 2 (dua) kanal untuk layanan VoIP untuk masing-masing kantor dan sekolah.
- Pada saat yang bersamaan terdapat 30% pegawai kantor, 20% guru dan pegawai, 40 orang siswa, dan 0,05% warga masyarakat.
- Bandwidth yang disediakan untuk layanan *video conferencing* : 1024 kbps, dan untuk layanan VoIP : 87,2 kbs [1, 2]
- Bandwidth minimal yang disediakan bagi pengguna untuk mengakses layanan-layanan adalah: pegawai kantor dan guru 128 kbps, warga masyarakat 64 kbps, dan siswa 12 kbps.

Tabel 2 Kebutuhan *Bandwidth* (Mbps)

Kebutuhan Bandwidth	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Urban	726.839	752.964	770.964	790.339	816.464	840.339
Suburban	116.928	119.303	119.428	121.303	122.553	125.053
Jumlah	843.767	872.267	890.392	911.642	939.017	965.392

Berdasarkan asumsi-asumsi diatas, maka kebutuhan *bandwidth* dapat dilihat pada Tabel 2.

3.3 Struktur Jaringan



Gambar 1. Struktur Jaringan

Model sistem dirancang dengan struktur seperti pada gambar 1. Sistem *WiMAX* pada gambar 1 terdiri dari *Base Station (BS)*, *CPE/SS* berupa *Outdoor Unit (ODU)*, dan server untuk keperluan *Network Management System (NMS)* serta koneksi ke jaringan. Pada struktur jaringan, *base station* terhubung secara *link point to point* dan *link point to multipoint* menghubungkan *base station* dengan beberapa *CPE* berupa *outdoor unit* pada perkantoran dan sekolah. Beberapa perkantoran dan sekolah menerapkan sistem komunikasi antara *CPE* dengan *end user* menggunakan teknologi *Wi-Fi*.

3.4 Kapasitas Sistem

Kapasitas masing-masing *subcarrier* tergantung pada orde modulasi [6].

Kapasitas per simbol per subcarrier

$$C_{raw} = \text{Data subcarrier} \times \frac{k}{T_s} \quad (6)$$

dimana k adalah bit per simbol modulasi, T_s adalah OFDM symbol time [6]

Kapasitas per simbol per subcarrier (C)

$$C = C_{raw} \times \text{Coding Rate} \quad (7)$$

Dengan menggunakan parameter OFDM pada Tabel 3 dan persamaan (6) dan (7), kapasitas masing-masing tipe modulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3 Parameter OFDM [4]

Parameter		
N FFT	:	256
Subcarrier	:	200
Data Subcarrier	:	192
Pilot Subcarrier	:	8
Channel Bandwidth (B)	:	3500000 Hz
Oversampling Factor (n)	:	1.143
Sampling Frequency (Fs)	:	4,000,000 Hz
Spasi Subcarrier (Δf)	:	15,625 Hz
Useful Symbol Time (T _b)	:	64 μ s
Cyclic Prefix (CP) Time	:	0.125 μ s
OFDM Symbol Time (T _s)	:	72 μ s
Frame Duration	:	5 ms

Tabel 4 Kapasitas berdasarkan Modulasi

Modulasi + Coding	C _{raw} (Mbps)	C (Mbps)
BPSK 1/2	2.909	1.455
QPSK 1/2	5.818	2.909
QPSK 3/4	5.818	4.364
16 QAM 1/2	11.636	5.818
16 QAM 3/4	11.636	8.727
64 QAM 2/3	17.455	11.636
64 QAM 3/4	17.455	13.091

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prasetiyono Hari Mukti dengan judul “Studi Perencanaan Jaringan *WiMAX* di Wilayah Kota Bandung dengan Memanfaatkan Tower Telkom *Flexi*” mengestimasi

kapasitas sebuah sel dengan cara menghitung berdasarkan distribusi tipe modulasi. Dengan memodifikasi bentuk sel dari bentuk lingkaran menjadi hexagonal diperoleh kapasitas AMC seperti pada tabel 5.

Tabel 5 Kapasitas AMC

Modulasi + Coding	Luas Area (km ²)		Kapasitas Maksimal (Mbps)	
	Urban	Suburban	Urban	Suburban
64QAM 2/3	1.125	4.934	11.636	11.636
16QAM 1/2	1.253	6.724	14.702	14.992
QPSK 1/2	2.863	15.177	16.726	17.008

3.5 Jarak jangkau/Coverage

Dengan menggunakan persamaan (3), (4), dan (5), nilai *receiver sensitivity*, *EIRP* dan *MAPL* dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 6 Maximum Allowable Pathloss

Modulasi	SNR (dB)	Rx Sensitivity (dBm)	EIRP (dBm)		MAPL (dB)	
			Urban	Suburban	Urban	Suburban
64 QAM 3/4	21.0	-76.05	46.50	54.50	123.051	131.05
64 QAM 2/3	19.0	-78.05	46.50	54.50	125.051	133.05
16 QAM 3/4	15.0	-82.05	46.50	54.50	129.051	137.05
16 QAM 1/2	11.5	-85.55	46.50	54.50	132.551	140.55
QPSK 3/4	8.5	-88.55	46.50	54.50	135.551	143.55
QPSK 1/2	6.0	-91.05	46.50	54.50	138.051	146.05
BPSK 1/2	3.0	-94.05	46.50	54.50	141.051	149.05

Dengan menggunakan faktor deviasi terdistribusi log normal : 8,3 dB, persamaan (1) dan (2), serta mengasumsikan tinggi antenna BS : 40 meter untuk daerah *urban* dan 50 meter untuk daerah *suburban*. Tinggi antenna CPE : 6 meter, maka luas sel dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Luas Sel

Modulasi	jari-jari Sel (km)		Luas Sel (km ²)	
	Urban	Suburban	Urban	Suburban
BPSK 1/2	1.464	3.453	5.552	30.890
QPSK 1/2	1.261	2.908	4.116	21.900
QPSK 3/4	1.113	2.520	3.207	16.443
16QAM 1/2	0.958	2.122	2.377	11.658
16QAM 3/4	0.805	1.736	1.677	7.805
64QAM 2/3	0.659	1.380	1.125	4.934
64QAM 3/4	0.596	1.231	0.921	3.923

3.6 Jumlah Sel Berdasarkan Capacity.

Jaringan akses dilakukan dengan menggunakan kombinasi *air interface* dengan *fiber optic*. *Bandwidth* yang diakses melalui *air interface* adalah 319,639 Mbps untuk wilayah *urban* dan 141,381 Mbps untuk wilayah *suburban* sedangkan dengan *fiber optic* sebesar 504,372 Mbps,

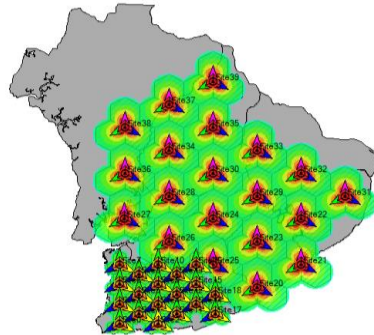
Perhitungan jumlah sel berdasarkan kebutuhan kapasitas dan distribusi pelanggan dilakukan dengan membagi kapasitas total dengan kapasitas *base station* sehingga jumlah sel yang dibutuhkan untuk layanan *broadband* di lingkungan Pemerintah Kota Balikpapan berdasarkan *capacity* adalah 13 sel (7 sel untuk wilayah urban dan 6 sel untuk wilayah suburban).

3.7 Jumlah Sel Berdasarkan Coverage

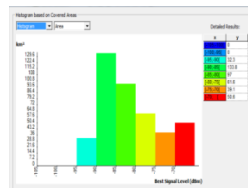
Perhitungan jumlah sel berdasarkan *coverage* dilakukan dengan cara membagi wilayah layanan dengan luas area cakupan maksimum sebuah sel.

Jumlah sel yang dibutuhkan untuk melayani kebutuhan akses *broadband* di lingkungan pemerintah Kota Balikpapan berdasarkan *coverage* adalah 39 sel (19 sel untuk wilayah urban dan 20 sel untuk wilayah suburban).

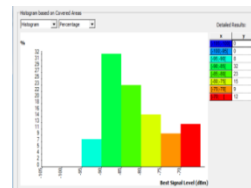
112,6 km² (31%), (-95 ; -90) area cakupan 84,8 km² (23%), (-100 ; -95) dan (-105 ; -100) area cakupan dan presentase cakupan adalah 0 (nol).



Gambar 6. Coverage Level Sinyal
Power transmit; urban 30 dBm, suburban 43 dBm



Gambar 7. Area Coverage Level Sinyal



Gambar 8. Persentase Coverage Level Sinyal

Pada gambar 6 dengan power transmit 30 dBm dan 43 dBm menunjukkan *coverage* sinyal untuk wilayah *urban* dan *suburban* sudah mencakup sel secara keseluruhan. Gambar 7 dan 8 menunjukkan area dan persentase *coverage* level sinyal. Pada receiver sensitivity (-70) area cakupan 46,4 km² (11%), (-75 ; -70) area cakupan 35,8 km² (8%), (-80 ; -75) area cakupan 65,8 km² (15%), (-85 ; -80) area cakupan 111 km² (26%), (-90 ; -85) area cakupan 135 km² (32%), (-95 ; -90) area cakupan 31,4 km² (7%), (-100 ; -95) dan (-105 ; -100) area cakupan dan presentase cakupan adalah 0 (nol).

Peningkatan nilai power transmit akan turut meningkatkan *coverage* level sinyal dan presentase cakupan sinyal dengan level yang lebih baik.

4.3 Struktur Jaringan Hasil Perancangan

Untuk mencakup seluruh Kota Balikpapan diperlukan 39 sel yang terdiri dari 19 *mikrosel* untuk wilayah *urban* dan 20 sel untuk wilayah *suburban*.

Perangkat jaringan pada gambar 9 terdiri atas *base station* (BS) dengan *link point to poin* sebagai *backhaul* yang dihubungkan melalui *fiber optic* dan *point to multipoint* sebagai jaringan akses yang menghubungkan *base station* dengan *customer premises equipment* (CPE) berupa *outdoor unit* dan *server* untuk keperluan *Network Management System* (NMS).



Gambar 9. Struktur Jaringan Hasil Perancangan

Data base station hasil perancangan dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Data base station hasil perancangan.

Nama Base Station	Longitude	Latitude	Kapasitas Base Station (Mbps)	Kebutuhan Kapasitas (Mbps)
FO-1				142.897
FO-2				249.703
FO-3				111.772
BS - 1	116.809101	1.218486	50.178	33.389
BS - 2	116.812576	1.236826	50.178	39.808
BS - 3	116.808927	1.268605	100	7.897
BS - 4	116.811207	1.253001		
BS - 5	116.824538	1.275101	50.178	17.402
BS - 6	116.824821	1.257558	50.178	20.013
BS - 7	116.826076	1.240129	50.178	11.689
BS - 8	116.826760	1.222758	50.178	16.748
BS - 9	116.843395	1.231187	100	22.884
BS - 10	116.857979	1.222758		
BS - 11	116.841800	1.247818	50.178	16.725
BS - 12	116.840832	1.267239	50.178	41.616
BS - 13	116.857751	1.274245	151	10.161
BS - 14	116.856839	1.256931		
BS - 15	116.857523	1.240072		
BS - 16	116.873018	1.265360	201	81.308
BS - 17	116.888969	1.257614		
BS - 18	116.873247	1.248046		
BS - 19	116.873474	1.230048		
BS - 20	116.895570	1.241445	51.024	34.833
BS - 21	116.858768	1.215243	51.024	16.328
BS - 22	116.818091	1.195881	306	18.603
BS - 23	116.778663	1.129127		
BS - 24	116.817180	1.106343		
BS - 25	116.778665	1.083788		
BS - 26	116.818093	1.061233		
BS - 27	116.857742	1.037767		
BS - 28	116.934307	1.219574	153	111.772
BS - 29	116.895568	1.196790		
BS - 30	116.973046	1.196564		
BS - 31	116.856830	1.173325	255	21.816
BS - 32	116.895114	1.151681		
BS - 33	116.856603	1.128215		
BS - 34	116.818321	1.151227		
BS - 35	116.857286	1.082877		
BS - 36	116.934080	1.174236	51.024	13.564
BS - 37	116.973045	1.151682	153	13.373
BS - 38	116.934763	1.128671		
BS - 39	116.896252	1.106115		
			1,973.862	965.392

5 PENUTUP

Pada bagian ini disampaikan kesimpulan dari hasil penelitian, dan beberapa masukan untuk kesempurnaan dan pengembangan penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan *bandwidth* untuk layanan *broadband* di lingkungan pemerintah Kota Balikpapan pada tahun 2017 adalah 965,392 Mbps.
2. Spesifikasi teknis perangkat untuk wilayah *urban* adalah tinggi *base station* 40 meter dengan *gain* 17,5 dBi, daya pancar 30 dBm sedangkan untuk wilayah *suburban* digunakan tinggi *base station* 50 meter dengan *gain* 17,5 dBi, daya pancar 43 dBm.
3. Dengan teknik AMC diperlukan jumlah sel sebanyak 19 sel untuk wilayah *urban* dengan luas masing-masing sel adalah 4,116 km² dan 20 sel untuk wilayah *suburban* dengan luas sel masing-masing sel adalah 21,900 km².
4. Jaringan *fixed WiMAX* menghubungkan *base station* dengan *link point to point* dan *link point to multipoint* yang menghubungkan *base station* dengan beberapa CPE berupa *outdoor unit*.

5.2 Saran

1. Untuk kesempurnaan penelitian ini perlu dilakukan survey ke semua titik-titik area layanan.
2. Untuk kesempurnaan simulasi sebaiknya menggunakan peta/raster 3D dan jika menggunakan lebih dari satu software sebaiknya software bisa saling mendukung.
3. Perlu penelitian lebih mendalam mengenai kombinasi wireless dengan fiber optic.

6 Daftar Pustaka

- [1] _____, 2009 – 2010. “*Voice Over IP*”, Cisco Systems, Inc.
- [2] _____, 1992- 2005 “*Implementing QoS Solution for H. 323 Video Conferencing over IP*”, Cisco Systems, Inc
- [3] IEEE standard for Local and metropolitan area networks. “Part 16 : *Air Interface for Broadband Wireless Access Systems*”
- [4] Prasetiyono Hari Mukti, 2008, “*Studi Perancangan Jaringan WiMAX di Wilayah Kota Bandung Dengan Memamfaatkan Tower Telkom Flexi*”
- [5] Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Balikpapan Tahun 2006 – 2011.
- [6] _____, 2006 “*WiMAX Capacity White Paper*” SR Telecom
- [7] Zerihun Abate. “*WiMAX RF Systems Engineering*”, Artech House. 2009.