

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kota Madiun

Kota Madiun terletak di Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Memiliki luas wilayah seluas 33,23 Km<sup>2</sup> dan secara astronomis berada pada 7° - 8° Lintang Selatan dan 111° - 112° Bujur Timur.

#### 4.1.1 Geografis

Secara geografis Kota Madiun berbatasan langsung dengan :

Sebelah Utara : Kecamatan Madiun

Sebelah Timur : Kecamatan Wungu

Sebelah Selatan : Kecamatan Geger

Sebelah Barat : Kecamatan Jiwan

Kota Madiun terdiri dari 3 kecamatan serta 27 kelurahan. Dengan luas setiap kecamatan yang berbeda, kecamatan Manguharjo memiliki luas 10,04 Km<sup>2</sup>, Kecamatan Taman memiliki luas 12,46 Km<sup>2</sup>, dan Kecamatan Kartoharjo memiliki luas 10,73 Km<sup>2</sup>. Ketinggian permukaan Kota Madiun rata-rata 70 meter di atas permukaan air laut.

#### 4.1.2 Penduduk

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Madiun, pertumbuhan penduduk cenderung meningkat setiap tahunnya.

Tabel 4.1 *Data Penduduk Kota Madiun*

Tahun	Kecamatan			Total
	Manguharjo	Taman	Kartoharjo	
2012	49812	73286	49323	172421
2013	50301	74006	49087	174114
2014	49117	75170	50086	174373
2015	48985	75696	50314	174995
2016	48849	76221	50537	175607

Sumber : BPS Kota Madiun (2017)

## 4.2 Prediksi Jumlah Penduduk Kota Madiun Tahun 2021

Prediksi jumlah penduduk bertujuan untuk mengetahui kebutuhan trafik dan kapasitas layanan yang akan diberikan. Berikut hasil prediksi jumlah penduduk tahun 2021 dengan model eksponensial yaitu:

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Jumlah Penduduk Kota Madiun pada Tahun 2021

Kecamatan	Prediksi Penduduk Tahun 2021(Jiwa)	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	Kepadatan Penduduk per km <sup>2</sup>
Manguharjo	47919	10.04	4772
Taman	80359	12.46	6449
Kartoharjo	52492	10.73	4892
<b>Total</b>	<b>180770</b>	<b>33.23</b>	-

Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan di perhitungan prediksi per kecamatan pada sub bab 4.2.1

### 4.2.1 Prediksi Penduduk Setiap Kecamatan

Data penduduk di Kota Madiun selama 5 tahun terakhir yaitu tahun 2012-2016 diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Madiun. Perhitungan jumlah penduduk tahun 2021 menggunakan model eksponensial seperti dijelaskan pada BAB II persamaan 2-5.

#### 4.2.1.1 Kecamatan Manguharjo

Tabel 4.3 menampilkan data yang dibutuhkan dalam perhitungan jumlah penduduk menggunakan model eksponensial.

Tabel 4.3 Perhitungan Jumlah Penduduk Kecamatan Manguharjo

No	Tahun	Yi	Ti	ti <sup>2</sup>	log yi	ti.log yi
1	2012	49812	-2	4	4.691806185	-9.38361237
2	2013	50301	-1	1	4.701576619	-4.70157662
3	2014	49117	0	0	4.691231833	0
4	2015	48985	1	1	4.690063112	4.690063112
5	2016	48849	2	4	4.688855678	9.377711356
Total		247064	0	10	23.46353343	-0.01741452

Selanjutnya menghitung variabel a dan b yaitu

$$\log Pt = \log \alpha + T \log \beta$$

$$\alpha = \text{antilog} \left[ \frac{\sum \log Y}{n} \right]$$

$$\alpha = \text{antilog} \left[ \frac{23,46353343}{5} \right]$$

$$\alpha = 49284,08365$$

$$b = \text{antilog} \left[ \frac{\sum t \cdot \log Y}{\sum t^2} \right]$$

$$b = \text{antilog} \left[ \frac{-0,01741452}{10} \right]$$

$$b = 0,995998187$$

Setelah itu nilai hasil perhitungan a dan b dimasukkan dalam persamaan 2-5 pada BAB II untuk mendapatkan persamaan model eksponensial

$$P_t = \alpha \cdot \beta^T$$

$$P_t = 49284,08365 \times 0,995998187^T$$

Untuk meramalkan jumlah penduduk tahun 2021 di kecamatan Manguharjo maka harus diketahui terlebih dahulu faktor T dengan cara

$$T = t_{\text{mendatang}} - t$$

$$T = 2021 - 2014$$

$$T = 7$$

Sehingga untuk mendapatkan jumlah penduduk di tahun 2021 masukkan nilai T ke dalam persamaan eksponensial yang sudah didapat.  $P_t$  adalah jumlah penduduk di tahun ke t.

$$P_{2021} = 49284,08365 \times 0,995998187^7$$

$$P_{2021} = 47919$$

Jadi jumlah penduduk di Kecamatan Manguharjo pada tahun 2021 adalah 47919 jiwa

#### 4.2.1.2 Kecamatan Taman

Tabel 4.4 menampilkan data yang dibutuhkan dalam perhitungan jumlah penduduk menggunakan model eksponensial.

Tabel 4.4 *Perhitungan Jumlah Penduduk Kecamatan Taman*

No	Tahun	yi	Ti	ti <sup>2</sup>	log yi	ti.log yi
1	2012	73286	-2	4	4.86502102	-9.73004204
2	2013	74006	-1	1	4.86926693	-4.86926693
3	2014	75170	0	0	4.87604455	0
4	2015	75696	1	1	4.87907293	4.879072931
5	2016	76221	2	4	4.88207464	9.764149285
Total		374379	0	10	24.3714801	0.043913247

Selanjutnya menghitung variabel a dan b yaitu

$$\log P_t = \log \alpha + T \log \beta$$

$$\alpha = \text{antilog} \left[ \frac{\sum \log Y}{n} \right]$$

$$a = \text{antilog} \left[ \frac{24,3714801}{5} \right]$$

$$a = 74867,96265$$

$$b = \text{antilog} \left[ \frac{\sum t \cdot \log Y}{\sum t^2} \right]$$

$$b = \text{antilog} \left[ \frac{0,043913247}{10} \right]$$

$$b = 1,010162692$$

Setelah itu nilai hasil perhitungan a dan b dimasukkan dalam persamaan 2-5 pada BAB II untuk mendapatkan persamaan model eksponensial

$$P_t = \alpha \cdot \beta^T$$

$$P_t = 74867,96265 \times 1,010162692^T$$

Untuk meramalkan jumlah penduduk tahun 2021 di kecamatan Taman maka harus diketahui terlebih dahulu faktor T dengan cara

$$T = t_{\text{mendatang}} - t$$

$$T = 2021 - 2014$$

$$T = 7$$

Sehingga untuk mendapatkan jumlah penduduk di tahun 2021 masukkan nilai T ke dalam persamaan eksponensial yang sudah didapat.  $P_t$  adalah jumlah penduduk di tahun ke t.

$$P_{2021} = 74867,96265 \times 1,010162692^7$$

$$P_{2021} = 80359$$

Jadi jumlah penduduk di Kecamatan Taman pada tahun 2021 adalah 80359 jiwa

#### 4.2.1.3 Kecamatan Kartoharjo

Tabel 4.5 menampilkan data yang dibutuhkan dalam perhitungan jumlah penduduk menggunakan model eksponensial.

Tabel 4.5 *Perhitungan Jumlah Penduduk Kecamatan Kartoharjo*

No	Tahun	yi	Ti	ti <sup>2</sup>	log yi	ti.log yi
1	2012	49323	-2	4	4.69304948	-9.38609897
2	2013	49087	-1	1	4.69096649	-4.69096649
3	2014	50086	0	0	4.69971635	0
4	2015	50314	1	1	4.70168885	4.70168885
5	2016	50537	2	4	4.70360946	9.407218915
Total		249347	0	10	23.4890306	0.031842302

Selanjutnya menghitung variabel a dan b yaitu

$$\log P_t = \log \alpha + T \log \beta$$

$$\alpha = \text{antilog} \left[ \frac{\sum \log Y}{n} \right]$$

$$\alpha = \text{antilog} \left[ \frac{23,4890306}{5} \right]$$

$$\alpha = 49866,16848$$

$$b = \text{antilog} \left[ \frac{\sum t \cdot \log Y}{\sum t^2} \right]$$

$$b = \text{antilog} \left[ \frac{0,031842302}{10} \right]$$

$$b = 1,007358372$$

Setelah itu nilai hasil perhitungan a dan b dimasukkan dalam persamaan 2-5 pada BAB II untuk mendapatkan persamaan model eksponensial

$$P_t = \alpha \cdot \beta^T$$

$$P_t = 49866,16848 \times 1,007358372^T$$

Untuk meramalkan jumlah penduduk tahun 2021 di kecamatan Kartoharjo maka harus diketahui terlebih dahulu faktor T dengan cara

$$T = t_{\text{mendatang}} - t$$

$$T = 2021 - 2014$$

$$T = 7$$

Sehingga untuk mendapatkan jumlah penduduk di tahun 2021 masukkan nilai T ke dalam persamaan eksponensial yang sudah didapat.  $P_t$  adalah jumlah penduduk di tahun ke t.

$$P_{2021} = 49866,16848 \times 1,007358372^7$$

$$P_{2021} = 52492$$

Jadi jumlah penduduk di Kecamatan Kartoharjo pada tahun 2021 adalah 52492 jiwa

#### 4.2.2 Perhitungan Penduduk Usia Produktif

Usia produktif menurut BPS kota Madiun adalah usia dalam batas 15 tahun-64 tahun dan pengguna internet Indonesia berdasarkan survey APJII 2016 dengan usia berkisar 10 – 55 tahun keatas. Sehingga estimasi rata-rata usia pengguna *mobile* di Kota Madiun berkisar usia 10-64 tahun . Data Pada Tabel 4.6 adalah jumlah penduduk berdasarkan kelompok usia dari tahun 2012-2016 di Kota Madiun.

Tabel 4.6 *Jumlah Penduduk Berdasarkan Kelompok Usia*

No	Usia	Jumlah				
		2012	2013	2014	2015	2016
1	0 - 4 Tahun	13629	12994	13024	13068	12443
2	5 - 9 Tahun	12495	13048	13064	13108	12741
3	10 - 14 Tahun	<b>12616</b>	<b>12394</b>	<b>12410</b>	<b>12451</b>	<b>12078</b>
4	15 - 19 Tahun	<b>14179</b>	<b>14116</b>	<b>14136</b>	<b>14184</b>	<b>13987</b>
5	20 - 24 Tahun	<b>12011</b>	<b>12421</b>	<b>12437</b>	<b>12478</b>	<b>12474</b>
6	25 - 29 Tahun	<b>12908</b>	<b>12533</b>	<b>12551</b>	<b>12591</b>	<b>12243</b>
7	30 - 34 Tahun	<b>13729</b>	<b>13762</b>	<b>13780</b>	<b>13826</b>	<b>13229</b>
8	35 - 39 Tahun	<b>12939</b>	<b>12927</b>	<b>12944</b>	<b>12990</b>	<b>12618</b>
9	40 - 44 Tahun	<b>13279</b>	<b>13221</b>	<b>13241</b>	<b>13285</b>	<b>13065</b>
10	45 - 49 Tahun	<b>12700</b>	<b>13121</b>	<b>13141</b>	<b>13188</b>	<b>13423</b>
11	50 - 54 Tahun	<b>11578</b>	<b>12236</b>	<b>12258</b>	<b>12302</b>	<b>12940</b>
12	55 - 59 Tahun	<b>9772</b>	<b>10445</b>	<b>10464</b>	<b>10505</b>	<b>11550</b>
13	60 - 64 Tahun	<b>6834</b>	<b>7059</b>	<b>7073</b>	<b>7102</b>	<b>8067</b>
14	>65 Tahun	13752	13824	13850	13917	14749
Total		172421	174101	174373	174995	175607
Total Pengguna <i>Mobile Internet</i> Berdasarkan Usia		132545	134235	134435	134902	135674
Total Pengguna <i>Mobile Internet</i> Berdasarkan Usia (%)		76.87289	77.1018	77.09622	77.08906	77.26002
Rata-Rata Pengguna <i>Mobile Internet</i> Berdasarkan Usia (%)		<b>77.0839973</b>				

Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Madiun (2017) dan perhitungan rata-rata pengguna *mobile internet* berdasarkan usia

Total dan persen usia produktif pada tabel 4.6 didapatkan dari hasil perhitungan. Total usia produktif didapat dengan menjumlahkan penduduk usia antara 10-64 tahun. Dan persen usia produktif didapat dengan membandingkan total usia produktif dengan total penduduk. Untuk mempermudah definisi tersebut dapat dituliskan dalam persamaan (4-1) berikut :

$$\% \text{ usia produktif} = \frac{\text{Total Pengguna Mobile Internet berdasarkan usia}}{\text{Total Penduduk}} \times 100 \% \quad (4-1)$$

$$\text{Rata-Rata Pengguna Mobile Internet Berdasarkan Usia (\%)} = \frac{76,873+77,102+77,096+77,089+77,26}{5}$$

Rata-Rata Pengguna *Mobile Internet* Berdasarkan Usia (%) = 77,084

Sehingga dari hasil rata-rata usia produktif dapat disimpulkan bahwa besarnya usia produktif di Kota Madiun adalah 77,084%.

#### 4.2.3 Perhitungan Pengguna LTE tahun 2021

Berdasarkan survey Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) pada tahun 2014 penetrasi pengguna internet di Jawa Timur mencapai 31 % (APJII,2014). Jika dilihat secara nasional penetrasi pengguna internet juga selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya. Dimana dalam 10 tahun mengalami peningkatan penetrasi internet sekitar 3% per tahun. Jika peningkatan penetrasi terjadi secara linier, diprediksi pada tahun 2021 tingkat penetrasi internet di Jawa Timur akan mencapai 52%. APJII juga menyatakan dalam surveynya bahwa 92% dari pengguna internet di Jawa dan Bali menggunakan perangkat mobile. Berdasarkan Ericsson *Mobility Report*, prediksi pengguna LTE di Asia Pasifik termasuk Indonesia pada tahun 2021 sebesar 50% dari pengguna telekomunikasi yang ada. Prosentasi tersebut menjadi landasan dalam penelitian ini untuk mendapatkan jumlah pelanggan LTE pada tahun 2021 di Kota Madiun. Tabel 4.7 menjelaskan jumlah pengguna setelah dikalikan dengan faktor tersebut.

Tabel 4.7 *Jumlah Pengguna LTE Tahun 2021*

Kecamatan	Prediksi Penduduk Tahun 2021 (Jiwa)	Faktor Pengali			
		Usia Pengguna 77.084%	Penetrasi Internet 52%	Pengguna Mobile 92%	Pengguna LTE 50%
Mangunharjo	47919	36937	19207	17670	8835
Taman	80359	61943	32210	29633	14816
Kartoharjo	52492	40462	21040	19357	9679
<b>Jumlah</b>	180770	139345	72457	66660	<b>33330</b>

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah pengguna LTE pada tahun 2021 di Kota Madiun mencapai 33330 jiwa.

#### 4.3 Coverage Dimensioning

*Coverage Dimensioning* merupakan langkah perencanaan jaringan dari spesifikasi alat dan parameter *input* jaringan secara teknik, diantaranya dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat, dan lain-lain. Pada tahap ini bertujuan

untuk mengetahui luas wilayah cakupan sebuah eNodeB. Kemudian akan didapatkan jumlah eNodeB yang dibutuhkan berdasarkan *coverage dimensioning*.

#### 4.3.1 Radio Link Budget

Proses ini merupakan tahapan perencanaan untuk melakukan prediksi perencanaan yang sesuai dengan spesifikasi alat yang ingin digunakan. Spesifikasi *link budget* perencanaan ini mengikuti nilai pada modul Huawei *Technologies* dan beberapa literatur tambahan yang bekerja di frekuensi 2600 MHz. Perhitungan *path loss system* adalah yang pertama dilakukan. Perhitungan ini meliputi arah *uplink* dan *downlink*, dengan memperhitungkan beberapa parameter diantaranya *transmit power*, *gain antenna*, *fading margin*, *sensitivitas*, dan lain-lain. Perhitungan *Link budget* dan *path loss* dilakukan pada sisi *Uplink* dan *Downlink*. Dimana sisi *Uplink* saat *User* menjadi *Transceiver* dan eNodeB menjadi *Receiver*, sedangkan sisi *Downlink* sebaliknya *User* menjadi *receiver* dan eNodeB menjadi *Transceiver*. Data rate *Uplink* pada *link budget* ini adalah 64 (kbps) dimana ini adalah data rate tercepat pada WCDMA dan rate untuk *Downlink* adalah 1024 (kbps) dimana ini adalah data rate tercepat untuk jaringan LTE.

Tabel 4.8 *Uplink link budget*

Parameter		Nilai Parameter
<b><i>Transceiver – User</i></b>		
a	<i>Max tx power</i> (dBm)	23.0
b	<i>Tx antenna gain</i> (dBi)	0.0
c	<i>Body loss</i> (dB)	0.0
d	EIRP	23.0
<b><i>Receiver – eNodeB</i></b>		
e	eNodeB <i>noise figure</i> (dB)	2.0
f	<i>Thermal noise</i> (dB)	-118.4
g	<i>Receiver noise</i> (dBm)	-116.4
h	SINR	7.0
i	<i>Receiver sensitivity</i>	-123.4
j	<i>Interference margin</i> (dB)	1.0
k	<i>Rx Antenna gain</i> (dBi)	18.0
<b><i>Path loss</i></b>		<b>144,5</b>

Sumber : Holman Harry & A. Toskala, 2009

Tabel 4.9 *Keterangan uplink link budget*

Parameter		Nilai Parameter
<b>Transceiver – User</b>		
a	Maksimum power transmisi pada <i>user</i> . Didentifikasi sesuai <i>device</i> yang digunakan. Diambil nilai rata-rata.	23.0
b	<i>Antenna gain</i> pada <i>user</i> tergantung <i>device</i> dan band frekuensi yang digunakan. Nilai maksimum dapat mencapai 5 – 10 dBi saat <i>user</i> tidak bergerak	0.0
c	<i>Body loss</i> biasanya untuk <i>link budget</i> suara di mana <i>transceiver</i> diletakkan dengan kepala pengguna.	0.0
d	$EIRP = a + b - c$	23.0
<b>Receiver – eNodeB</b>		
e	eNodeB <i>noise figure</i> (dB) Tergantung pada desain implementasi. Persyaratan kinerja minimum adalah sekitar 5 dB tapi teknisnya dapat lebih baik.	2.0
f	<i>Thermal noise</i> (dB) Hasil perhitungan dari k (konstanta Boltzman) x T (290K) x Bandwidth. Nilai bandwidth tergantung bit rate, dimana nilai bitrate tergantung dari <i>resource block</i> . Diasumsikan <i>resource block</i> untuk 64 kbps. (360 kHz)	-118.4
g	$Receiver\ noise(dBm) = e + f$	-116.4
h	SINR Nilainya tergantung pada modulasi dan <i>coding</i> , yang lagi-lagi tergantung pada data rate dan pada jumlah blok sumber daya yang dilokasikan. 64 kbps (-7dB)	-7.0
i	$Receiver\ sensitivity = g + h$	-123.4
j	<i>Interference margin</i> (dB) dihitung untuk peningkatan tingkat <i>interference</i> terminal disebabkan oleh gangguan dari pengguna lain. Karena LTE <i>uplink</i> ortogonal, tidak ada gangguan <i>intra-cell</i> tapi kita masih perlu margin untuk gangguan sel lainnya. <i>Interference margin</i> dalam prektek sangat bergantung pada kapasitas yang direncanakan. <i>Interference margin</i> LTE bisa lebih kecil dari pada di	2.0

Parameter		Nilai Parameter
	WCDMA/ HSUPA dimana pengguna intra-sel yang tidak Orthogonal. Dengan kata lain, pernapasan sel akan lebih kecil di LTE dibandingkan di CDMA.	
k	Rx <i>Antenna gain</i> (dBi) tergantung pada ukuran antenna dan jumlah sektor. 3-sektor antenna 1,3 m tinggi pada 2 GHz 18 dBi gain. Antena ukuran yang sama pada 900 MHz gainnya lebih kecil	18.0
<b>Path loss = d - i - j - k + l</b>		<b>144,5</b>

Sumber : Holman Harry & A. Toskala, 2009

Tabel 4.10 *Downlink link budget*

Parameter		Nilai Parameter
<b>Transceiver – User</b>		
a	<i>Max tx power</i> (dBm)	46.0
b	<i>Tx antenna gain</i> (dBi)	18.0
c	<i>Body loss</i> (dB)	2.0
d	EIRP	62.0
<b>Receiver – eNodeB</b>		
e	eNodeB <i>noise figure</i> (dB)	7.0
f	<i>Thermal noise</i> (dB)	-104.5
g	<i>Receiver noise</i> (dBm)	-97.5
h	SINR	-9.0
i	<i>Receiver sensitivity</i>	-106.5
j	<i>Interference margin</i> (dB)	4.0
k	<i>Rx Antenna gain</i> (dBi)	20.0
<b>Path loss</b>		<b>145,4</b>

Sumber : Holman Harry & A. Toskala, 2009

Tabel 4.11 Keterangan Downlink link budget

Parameter		Nilai parameter
<i>Transceiver – eNodeB</i>		
a	Max tx power (dBm). Untuk makro <i>cell</i> dengan power 20 – 60 W nilainya berkisar 43 – 48 dBm	46.0
b	Tx <i>antenna gain</i> (dBi) sesuai pada <i>uplink</i> budget	18.0
c	<i>Cable loss</i> terjadi antara connector dengan antenna. Nilainya tergantung panjang kabel , tebal kabel dan frekuensi kerja. Nilainya berkisar 1 – 6 dB	2.0
d	$EIRP = a + b - c$	62.0
<i>Receiver – User</i>		
e	<i>User noise figure</i> (dB). Nilainya tergantung frekuensi band dan alokasi bandwidth. Berkisar antara 6- 11 dB	7.0
f	<i>Thermal noise</i> (dB) Hasil perhitungan dari k (Konstanta Boltzman) x T (290K) x Bandwidth. Nilai bandwidth tergantung bit rete, dimana nilai bitrate tergantung dari <i>resource block</i> . Diasumsikan 50 <i>resource block</i> untuk 1 Mbps. (8 MHz)	-104.5
g	<i>Receiver noise floor</i> (dBm) = e + f	-97.5
h	SINR Nialinya tergantung pada modulasi dan coding, yang lagi–lagi tergantung pada data rate dan pada jumlah blok sumber daya yang dialokasikan. 1000 kbps (-9dB)	-9.0
i	<i>Receiver sensitivity</i> = g + h	-106.5
j	<i>Interference margin</i> (dB) dihitung untuk peningkatan tingkat interference terminal disebabkan oleh gangguan dari pengguna lain. Diasumsikan G-faktor 4 dB sehingga besarnya ineterference margin $10 \cdot \log_{10}(1+10^4/10) = 5,5$ dB	4.0
k	<i>Control channel overhead</i> (dB)	-20.0
<b><i>Path loss = d – I – j –k + I</i></b>		<b>145,5</b>

Sumber : Holman Harry &amp; A. Toskala, 2009

### 4.3.2 Perhitungan Jari-Jari Sel

Perencanaan LTE ini menggunakan model propagasi SUI yang bekerja pada frekuensi 2600 MHz. Hal ini dikarenakan model SUI dianggap lebih tepat diaplikasikan untuk perencanaan jaringan LTE 2600 MHz. Persamaan model propagasi pada perencanaan di Kota Madiun menggunakan model propagasi daerah suburban dan urban yang bertipe kota kecil.

Berdasarkan perhitungan *link budget* sebelumnya, MAPL yang digunakan dalam perhitungan jari-jari sel adalah MAPL dengan nilai terkecil yaitu MAPL *downlink*. Hal ini dikarenakan makin kecil MAPL maka jari-jari sel akan makin kecil. Sehingga sisi *uplink* dan *downlink* dapat tercakup sepenuhnya. Untuk *uplink* perhitungan *cell radius* adalah sebagai berikut.

Perhitungan jari-jari sel adalah sebagai berikut :

$$LP = 109,78 + 47,9 \log (r/100)$$

$$144,5 = 109,78 + 47,9 \log (r/100)$$

$$\log (r/100) = \frac{34,72}{47,9} = 0,725$$

$$r = 1,017 \text{ Km}$$

Untuk perhitungan pada sisi *downlink* sebagai berikut,

$$LP = 109,78 + 47,9 \log (r/100)$$

$$145,4 = 109,78 + 47,9 \log (r/100)$$

$$\log (r/100) = \frac{35,62}{47,9} = 0,744$$

$$r = 1,017 \text{ Km}$$

### 4.3.3 Perhitungan Jumlah Site Berdasarkan Coverage

Bentuk sel yang digunakan pada system seluler adalah bentuk segi enam. Luas sel dengan bentuk segi enam dapat dinyatakan dengan persamaan segi enam pada BAB II persamaan 2-2 (Ericson, 2000:31).

$$\text{Coverage area} = \frac{3}{2} \sqrt{3} R^2 (\text{Km}^2)$$

$$\text{Coverage area} = \frac{3}{2} \sqrt{3} (1,017)^2 (\text{Km}^2)$$

$$\text{Coverage area} = 2,687 (\text{Km}^2)$$

Jadi luas pelayan yang dapat dilayani oleh sebuah eNodeB adalah 2,687 Km<sup>2</sup>. Untuk menghitung kebutuhan eNodeB di setiap Kecamatan di Kota Madiun dilakukan perhitungan pembagian luas area dengan luas *coverage* eNodeB sesuai pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Jumlah kebutuhan eNodeB berdasarkan coverage

No	Kecamatan	Luas Wilayah (Km <sup>2</sup> )	Jumlah eNodeB
1	Manguharjo	10.04	4
2	Taman	12.46	5
3	Kartoharjo	10.73	4
	Total	<b>33.23</b>	13

Sumber : Hasil Perhitungan (2017)

#### 4.4 Capacity Dimensioning

##### 4.4.1 Trafik dan Model Layanan

Pada perencanaan ini menggunakan contoh model trafik layanan LTE seperti Tabel 2.3 dan 2.4. Penentuan parameter model dan trafik layanan digunakan untuk menentukan *single user throughput* yang merupakan kecepatan minimal yang diterima oleh seorang pengguna dalam jam sibuk. Perhitungan dilakukan berdasarkan tipe daerah yang ditempati tiap pengguna. Sehingga akan mendapatkan *single user throughput*, *network throughput* serta *throughput* per km<sup>2</sup> pada daerah yang akan direncanakan.

Berikut adalah perhitungan  $\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}}$  layanan VoIP dari arah uplink.

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \text{ (Kbit)} = \text{Session Time} \times \text{Session Duty Ratio} \times \text{Bearer Rate} \times \frac{1}{1-\text{BLER}}$$

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \text{VoIP}_{UL} = 26,9 \times 80 \times 0,6 \times \frac{1}{1-10\%} = 1.434,7 \text{ Kbit}$$

Kemudian menghitung  $\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}}$  setiap layanan dari arah *uplink* maupun *downlink* yang ditampilkan pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Throughput per session setiap layanan

Traffic Parameter	UL	DL
	Throughput per Session (Kb)	Throughput per Session (Kb)
VoIP	1.434,7	1.434,7
Video Phone	4.863,4	4.863,4
Video Convergence	125.060,0	125.060,0
Real Time Gaming	12.504,0	100.048,0
Streaming Media	6.252,0	950.418,0
IMS Signaling	24,3	24,3
Web Browsing	6.252,0	25.011,0
File Transfer	93.793,0	500.226,7
Email	7.816,1	12.505,7
P2P File Sharing	333.480,0	1.000.453,3

Hasil tersebut digunakan untuk menghitung *single service throughput* tiap layanan dan *single user throughput* berdasarkan tipe daerah. Dimana tiap morfologi area memiliki nilai *penetration ratio*, BHSA dan PAR yang berbeda (lihat Tabel 2.4 dan 2.5). Berikut adalah perhitungan *single service throughput* pada layanan VoIP arah *uplink* di daerah Suburban.

$$\text{single Service Throughput} = \frac{\text{Throughput}_{\text{Session VoIP\_UL}}}{\text{Session}} \times \text{Penetration Ratio} \times \text{BHSA} \times \frac{1}{1+\text{PAR}}$$

$$\text{single Service Throughput} = 1.434,7 \text{ Kbit} \times 100\% \times 1,3 \times \frac{1}{1+20\%} = 2.238,13 \text{ Kbit}$$

Selanjutnya menggunakan Persamaan 2-9 guna mendapatkan nilai *single user throughput* berdasarkan tipe daerah yang ditempati tiap pengguna seperti pada Tabel 4.14  
Tabel 4.14 *Single service throughput dan single user throughput*

Traffic Parameter	Single Service Throughput Urban	
	UL	DL
VoIP	2.238,13	2.238,13
Video Phone	186,76	186,76
Video Convergence	3.376,62	3.376,62
Real Time Gaming	600,19	4.802,30
Streaming Media	168,80	25.661,29
IMS Signaling	35,01	35,01
Web Browsing	3.001,44	12.005,28
File Transfer	4.502,08	24.010,88
Email	281,38	450,20
P2P File Sharing	24.010,56	72.032,64
<b>Total</b>	<b>38.400,92</b>	<b>144.799,06</b>
<b>Single User Throughput in Busy Hour (Kbps)</b>	<b>10,67</b>	<b>40,22</b>

Penentuan nilai *network throughput* setiap kecamatan menggunakan Persamaan 2-14. Perhitungan didapat dengan memperhatikan *single user throughput* berdasarkan tipe daerah setiap kecamatan yang ditampilkan pada Tabel 4.18. Berikut Perhitungan *uplink* dan *downlink network throughput* pada kecamatan Mangunharjo :

$$\text{UL Network Throughput} = (\text{UL Single User Throughput}) \times (\text{Total Target User})$$

$$\text{UL Network Throughput} = 10,67 \times 8835$$

$$\text{UL Network Throughput} = 94.269,45 \text{ bit}$$

$$DL \text{ Network Throughput} = (DL \text{ Single User Throughput}) \times (\text{Total Target User})$$

$$DL \text{ Network Throughput} = 40,22 \times 8835$$

$$DL \text{ Network Throughput} = 355.343,7 \text{ bit}$$

Tabel 4.15 *Network throughput tiap kecamatan*

Item	Manguharjo		Taman		Kartoharjo	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL
<b>Jumlah Pengguna</b>	8835		14816		9679	
<b>Network Throughput (Mbps)</b>	94	355	158	595	103	389

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai *network throughput* setiap kecamatan dari arah *uplink* dan *downlink*. *Network throughput* adalah total bit *throughput* jaringan tiap daerah untuk mengakses berbagai layanan pada jam sibuk.

#### 4.4.2 Kapasitas Sel

Besarnya kapasitas sel bergantung dari konfigurasi skema *mapper* modulasi (Tabel 2.6) yang digunakan serta *bandwidth* yang dialokasikan. Kapasitas sel didefinisikan sebagai *throughput per sel*. Penentuan *throughput per sel* menggunakan Persamaan 2-10, 2-11, 2-12 dan 2-13. Berikut adalah perhitungan *throughput per cell* pada salah satu skema modulasi, yaitu QPSK 1/3 arah *uplink*.

$$UL \text{ MAC layer throughput} + CRC = (168 - 24) \times M \times MCS \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$UL \text{ MAC layer throughput} + 24 = (168 - 24) \times 2 \times 0,33 \times 100 \times 2 \times 1000$$

$$UL \text{ MAC layer throughput} = 19,199 \text{ Mbps}$$

$$UL \text{ Cell Average} = UL \text{ MAC layer throughput} \times SINR \text{ Probability}$$

$$UL \text{ Cell Average} = 19,199 \text{ Mbps} \times 0,8 = 15,359 \text{ Mbps}$$

$$\text{Throughput per cell} = UL \text{ Cell Average} \times a \times b \times c$$

$$\text{Throughput per cell} = 15,359 \text{ Mbps} \times \frac{300}{302} \times \frac{302}{304} \times \frac{306}{308} = 15,058 \text{ Mbps}$$

$$\text{Throughput per cell} = 15,058 \text{ Mbps}$$

Selanjutnya melakukan perhitungan ke setiap modulasi yang ada pada skema *mapper*. Sehingga akan mendapatkan kapasitas *throughput* maksimal yang mampu terlayani setiap selnya. Kapasitas sel atau *throughput per cell* ditampilkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 *Throughput per cell downlink dan uplink*

<i>Mapper</i>	<i>Code Bits (M)</i>	<i>Code Rate (MCS)</i>	<i>SINR</i>	<i>SINR Probabilty</i>	<i>DL Cell Average</i>	<i>UL Cell Average</i>	<i>Throughput per Cell (DL)</i>	<i>Throughput per Cell (UL)</i>
QPSK 1/3	2	0,33	-0,75	0,8	12.799.981	15.359.981	12.549.001	15.058.805
QPSK ½	2	0,5	1,5	0,5	11.999.988	14.399.988	11.764.694	14.117.635
QPSK 2/3	2	0,67	3,5	0,25	7.999.994	9.599.994	7.843.131	9.411.759
16 QAM ½	4	0,5	7	0,17	8.159.996	9.791.996	7.999.996	9.599.996
16 QAM 2/3	4	0,67	9,5	0,15	9.599.996	11.519.996	9.411.761	11.294.114
16 QAM 4/5	4	0,8	10,5	0,1	7.679.998	9.215.998	7.529.409	9.035.292
64 QAM ½	6	0,5	11,5	0,1	7.199.998	8.639.998	7.058.821	8.470.586
64 QAM 2/3	6	0,67	>14,7	0,05	4.799.999	5.759.999	4.705.881	5.647.058
					<b>Throughput per Cell (Mbps)</b>		<b>68,86</b>	<b>82,64</b>

#### 4.4.3 Perhitungan Jumlah eNodeB Berdasarkan *Capacity*

Jumlah eNodeB yang diperlukan bergantung dari *network throughput* tiap kecamatan berbanding dengan besarnya kapasitas sel. Selain itu juga akan menghitung jumlah pengguna per sel serta luas dan jari-jari sel berdasarkan *capacity*. Perhitungan ini menggunakan Persamaan 2-17, 2-18, 2-19, 2-20 dan 2-21. Berikut perhitungan Jumlah eNodeB kecamatan Manguharjo yaitu :

$$DL/UL \text{ Site Capacity} = (DL/UL \text{ Cell Capacity}) \times (\text{Cell Sectors})$$

$$DL/UL \text{ Site Capacity} = 68,86 \times 3$$

$$DL/UL \text{ Site Capacity} = 206,58 \text{ Mbps}$$

$$\text{Number of site DL/UL} = \frac{DL/UL \text{ Network Throughput}}{DL/UL \text{ Site Capacity}}$$

$$\text{Number of site DL/UL} = \frac{335}{206,58}$$

$$\text{Number of site DL/UL} = 1,621$$

$$\text{Cell coverage} = \frac{\text{Area wide}}{\text{Number of site}}$$

$$\text{Cell coverage} = \frac{10,04}{1,621}$$

$$\text{Cell coverage} = 6,194 \text{ km}^2$$

$$\text{Cell radius 3 sector} = \sqrt{\frac{\text{cell coverage}}{2,6 \times 1,95}}$$

$$\text{Cell radius 3 sector} = \sqrt{\frac{6,194}{2.6 \times 1.95}}$$

$$\text{Cell radius 3 sector} = 1,105 \text{ km}$$

$$\text{Jumlah eNodeB} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas sel}}$$

$$\text{Jumlah eNodeB} = \frac{10,04}{6,194}$$

$$\text{Jumlah eNodeB} = 1,62 \text{ atau dibulatkan menjadi } 2 \text{ eNodeB}$$

Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Jumlah eNodeB setiap kecamatan

Item	Manguharjo		Taman		Kartoharjo	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Total pengguna di tahun 2021	8.835		14.816		9.679	
Total Network Throughput (IP Layer) (Mbps)	355	94	595	158	389	103
Throughput per Cell (Mbps)	68,86	82,64	68,86	82,64	68,86	82,64
Site Capacity (Mbps)	206,59	247,91	206,59	247,91	206,59	247,91
Jumlah site	1,621	1,137	2,88	0,637	1,882	0,415
Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	10,04		12,46		10,73	
Luas sel (km <sup>2</sup> )	6,194		4,326		5,707	
Radius sel (km)	1,105		0,923		1,06	
Jumlah eNodeB berdasarkan Kapasitas	2		3		2	

Sumber: Perhitungan (2017)

Berdasarkan *capacity dimensioning*, perencanaan ini membutuhkan 7 eNodeB dengan total 21 sel karena 1 eNodeB terdiri dari 3 sel.

#### 4.5 Perencanaan Lokasi eNodeB

Perencanaan dalam menentukan lokasi eNodeB menggunakan *software* Atoll. Karena Atoll mendukung *multi-format* dan *multi-resolusi* data geografi. eNodeB yang dibutuhkan di Kota Madiun berdasarkan *capacity* dan *coverage* ditampilkan pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Jumlah eNodeB berdasarkan coverage dan capacity

Kecamatan	Luas Wilayah km <sup>2</sup>	Morfologi Area	Jumlah eNodeB	
			Coverage	Capacity
Manguharjo	10.04	Urban	4	2
Taman	12.46	Urban	5	3
Kartoharjo	10.73	Urban	4	2
<b>Jumlah</b>	-	-	13	7

Dari Tabel 4.18 jumlah eNodeB yang dibutuhkan dari perhitungan *coverage* adalah 13 eNodeB sedangkan perhitungan *capacity* adalah 7 eNodeB. Maka dalam perencanaan lokasi eNodeB menggunakan kebutuhan eNodeB yang paling banyak, yaitu sejumlah 13 eNodeB

#### 4.6 Hasil Dan Analisis Perencanaan Lokasi eNodeB Dengan Software Atoll

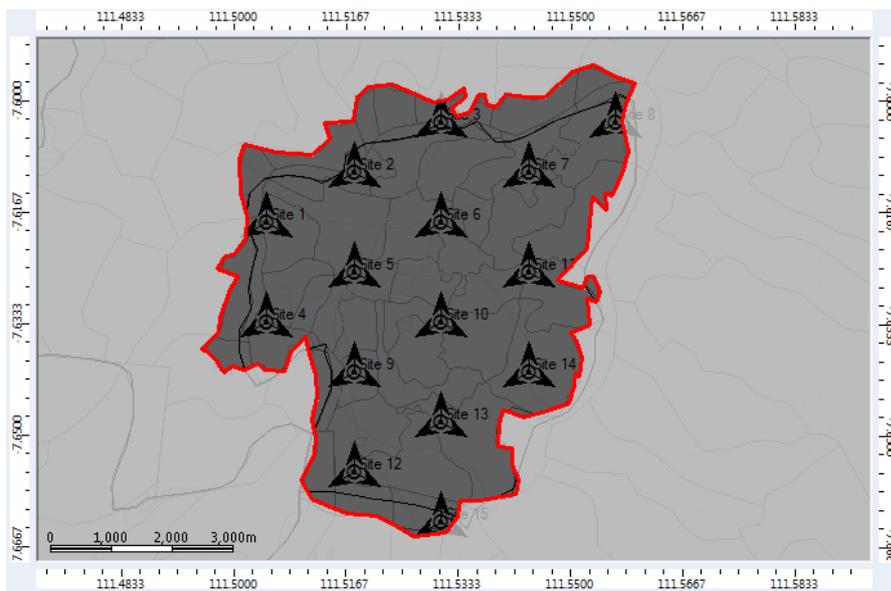
##### 4.6.1 Pemetaan eNodeB Pada Software Atoll

Pada skripsi ini peta yang digunakan di unduh dari gispedia.com. Kemudian peta yang digunakan harus terhubung dengan koordinat WGS 84 yaitu salah satu referensi system koordinat yang digunakan oleh *Global Positioning System* (GPS). Untuk wilayah Indonesia, khususnya Kota Madiun diproyeksikan pada wilayah UTM *zone* 49S.

Penentuan lokasi *site* tidak mengacu pada lokasi menara tower bersama *existing*. Penempatan menara tetap mempertimbangkan *coverage area* yang terlayani. Gambar 4.1 merupakan hasil rekomendasi lokasi *site* pada software Atoll yang digunakan pada perencanaan ini yang terdiri dari 15 *site* lebih banyak 2 *site* dari perhitungan karena untuk mengurangi *blank spot area*.

Penentuan letak *site* eNodeB dalam skripsi ini berdasarkan efisiensi area yang tercakup *site* terhadap area total Kota Madiun.

Dengan pertimbangan jumlah eNodeB yang dibutuhkan rekomendasi peletakan eNodeB dapat di gambarkan seperti gambar 4.1.



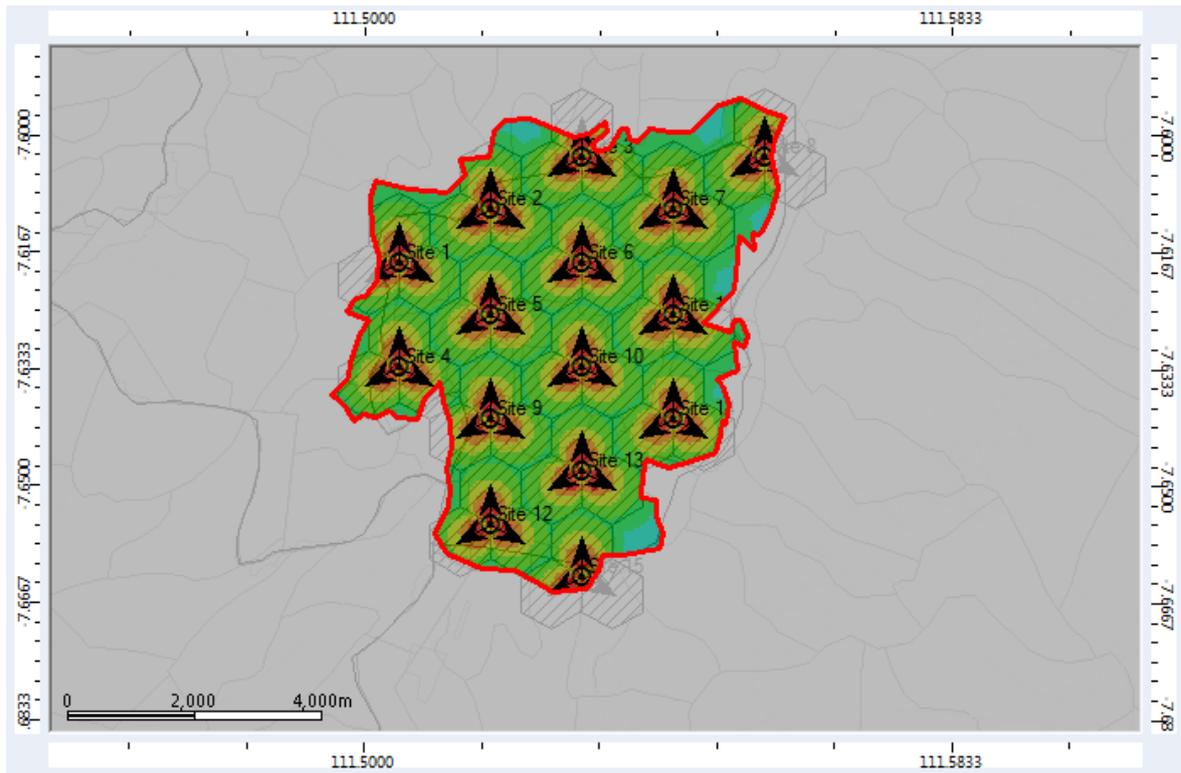
Gambar 4.1 Rekomendasi Letak eNodeB di Kota Madiun

Tabel 4.19 Rekomendasi koordinat lokasi *site* di Kota Madiun yang digunakan untuk mengetahui letak koordinat *site* hasil perencanaan pada *software* Atoll

Tabel 4.19 Rekomendasi koordinat lokasi *site* di Kota Madiun

No	Nama Site	Koordinat	
		Longitude (X)	Latitude (Y)
1	Site 1	111.5048926	-7.618162159
2	Site 2	111.5178388	-7.610684454
3	Site 3	111.5307845	-7.60320639
4	Site 4	111.5049101	-7.633087004
5	Site 5	111.5178567	-7.625609274
6	Site 6	111.5308029	-7.618131183
7	Site 7	111.5437486	-7.610652735
8	Site 8	111.5566938	-7.603173929
9	Site 9	111.5178747	-7.640534083
10	Site 10	111.5308213	-7.633055967
11	Site 11	111.5437674	-7.625577491
12	Site 12	111.5178927	-7.655458882
13	Site 13	111.5308397	-7.64798074
14	Site 14	111.5437863	-7.640502238
15	Site 15	111.5308582	-7.662905503

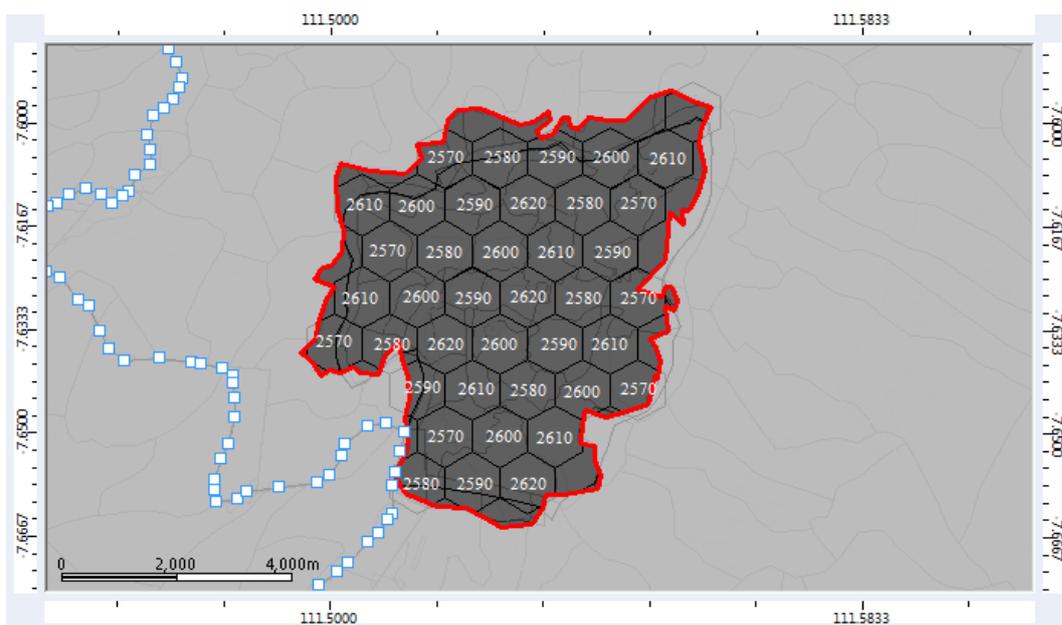
Gambar 4.2 adalah penampang lokasi eNodeB yang sudah dipilih dengan menyertakan *coverage area* yang dapat dilayani.



Gambar 4.2 Rekomendasi Letak eNodeB Beserta Coverage area di Kota Madiun

#### 4.6.2 Frekuensi Reuse

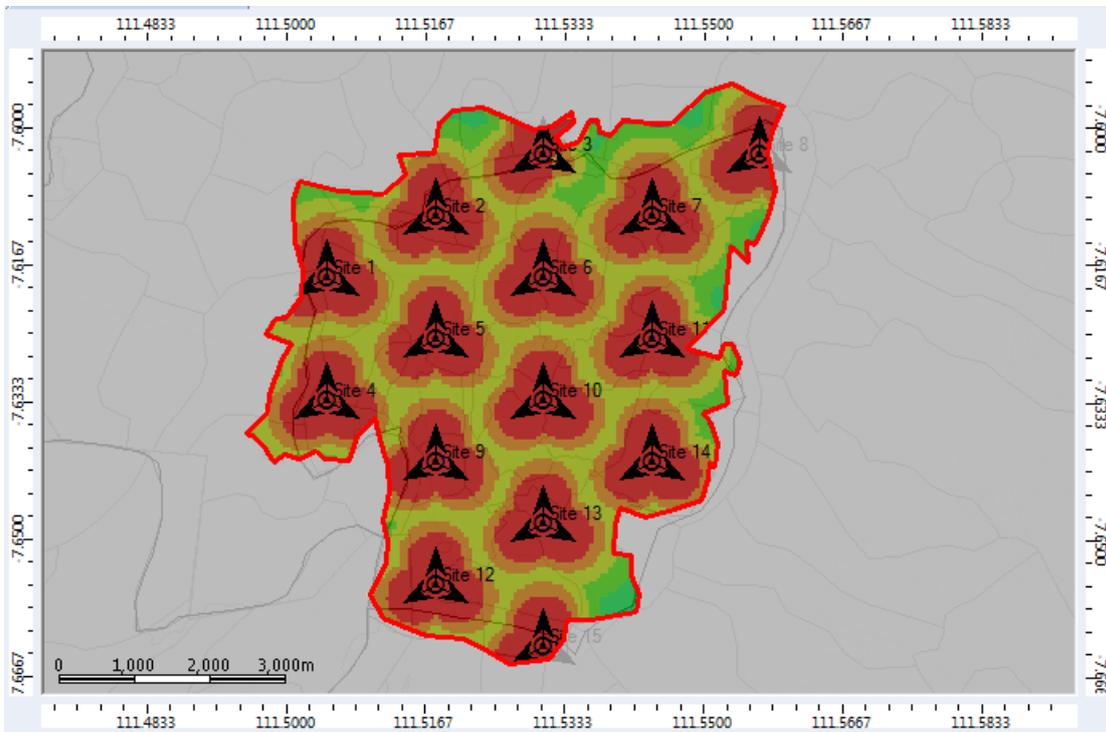
Untuk penghematan pemakaian sumber frekuensi, digunakan skema frekuensi *reuse* yaitu skema pengulangan frekuensi yang sama pada sel lain pada sistem komunikasi seluler. Frekuensi yang digunakan TDD bands 38 yaitu 2.570 MHz – 2.620 MHz. (Uke Kurniawan, 2012) Gambar 4.7 adalah rekomendasi skema frekuensi *reuse* yang digunakan. Berikut adalah perencanaan frekuensi *reuse* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.7



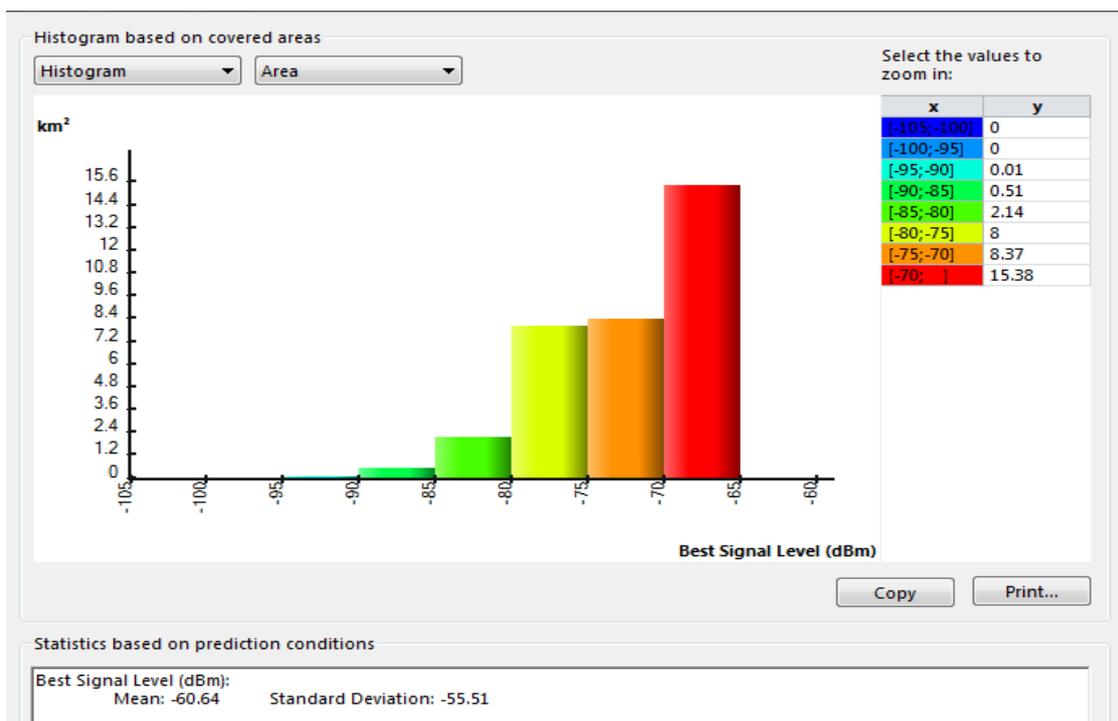
Gambar 4.3 Rencana frekuensi reuse yang digunakan

### 4.6.3 Distribusi Level Daya Terima

Hasil prediksi mendapatkan nilai *best signal level* rata-rata -60,64 dBm. *Signal level* yang dikategorikan baik, yaitu >-90 dBm mampu mencakup daerah seluas 106,09 km<sup>2</sup>. Hasil prediksi *signal level* pada *software* Atoll ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.4 Prediksi *signal level* pada *software* Atoll di Kota Madiun



Gambar 4.5 Histogram *signal level* di Kota Madiun

Pada Gambar 4.5 terlihat distribusi *level* daya pada perencanaan ini tergolong baik, karena sebagian besar area tercapuk *signal level*  $\geq -90$  dBm.

#### 4.6.4 Distribusi *Reference Signal Receiver Power (RSRP)*

Jika pada distribusi *signal level* menunjukkan nilai-nilai parameter *power* yang ditransmisikan menuju user. Sedangkan pada distribusi ini menunjukkan nilai parameter *Reference Signal Receive Power (RSRP)* yaitu parameter *power* rata-rata *Resource Element (RE)* pada setiap sel di seluruh *Bandwidth*.

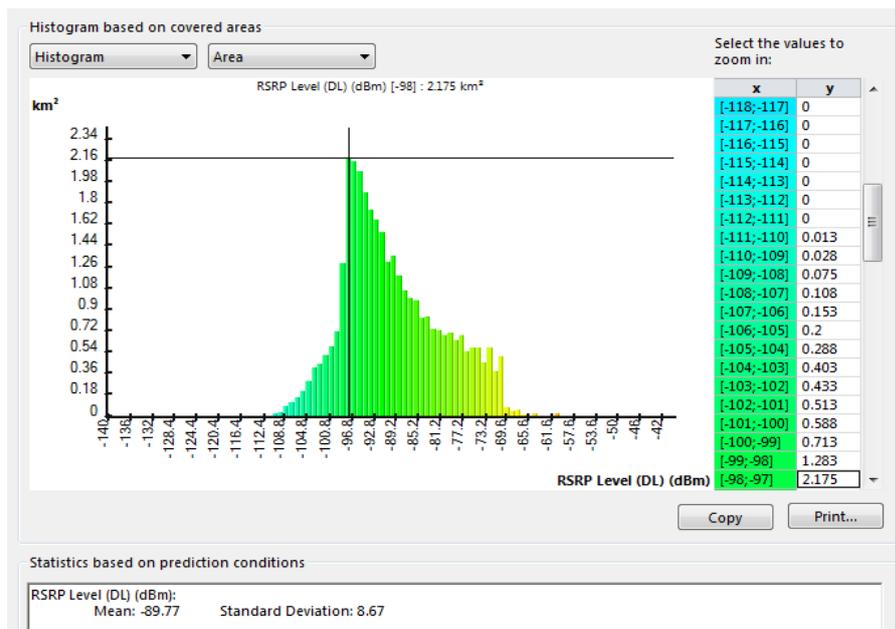
Parameter RSRP memiliki 4 kategori nilai indikator, yaitu *Very Good*, *Good*, *Normal* dan *Bad*. Nilai indikator tersebut ditampilkan pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Nilai *Performance Indicators RSRP*

Nilai	Keterangan
$\geq -71$ dBm	Very Good
$< -71$ dBm to $\leq -81$ dBm	Good
$< -81$ dBm to $\leq -91$ dBm	Normal
$< -91$ dBm to $\leq -101$ dBm	Bad

Sumber: Hikmaturokhman,2015

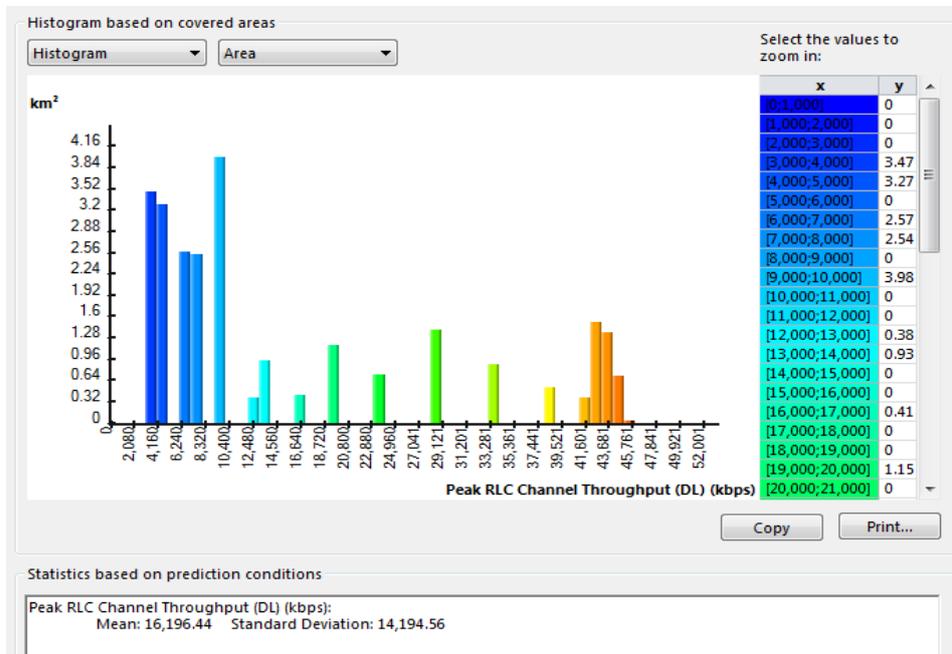
Hasil simulasi Atoll menunjukkan nilai rata-rata RSRP yang diperoleh pada keseluruhan area Kota Madiun adalah -89,77 dBm. Gambar 4.6 menunjukkan distribusi RSRP terhadap luas cakupan. Nilai RSRP dengan cakupan terluas yaitu -98 dBm dengan luas 2,175 Km<sup>2</sup>. Histogram menunjukkan persebaran nilai RSRP yang diperoleh pengguna di area Kota Madiun terhadap luas cakupannya.



Gambar 4.6 Histogram distribusi nilai RSRP terhadap luas cakupannya

### 4.6.5 Distribusi *Throughput*

Berikut hasil simulasi dan histogram distribusi *throughput* ditunjukkan pada gambar 4.7, nilai distribusi *throughput* rata-rata yang diperoleh sebesar 16.196,44 kbps atau 16 Mbps.



Gambar 4.7 Histogram distribusi *throughput*

