

## EFISIENSI ENERGI JARINGAN *HOMOGENEOUS* WCDMA/3G PADA LINGKUNGAN *OUTDOOR*

Linawati, Ngurah Indra ER., I G. P. Agus Aries Pratama

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email: lina1wati@gmail.com

### Abstract

*Telecommunication technology and applications have developed fast recently. Hence this development will take energy consumption significantly. Many studies have been done on energy efficiency on cellular network. The studies are more focused on energy usage of the base station, as the base station is the component of cellular station which takes the most energy consumption. Therefore this study analyzes energy efficiency on homogeneous network of WCDMA/3G for outdoor environment. Energy consumption of three macro base stations is compared with energy consumption of 12 micro base stations. This comparison analysis has been conducted on the same Area Spectral Efficiency (ASE). The results show that the macro base stations are more efficient for energy usage than the micro base stations. However based on ASE requirements, the micro base stations are more efficient than the macro base stations on both busy hours and non-busy hour.*

**Keywords :** WCDMA, base station, energy efficiency, area spectral efficiency

### Abstrak

Sektor telekomunikasi yang terus mengalami peningkatan, turut pula meningkatkan konsumsi energi. Banyak penelitian tentang efisiensi energi pada jaringan seluler lebih terfokus pada sisi base station (BS) karena merupakan penyumbang konsumsi energi terbesar pada jaringan seluler. Dalam penelitian ini, analisis efisiensi energi dilakukan dengan membandingkan konsumsi energi 3 macro BS dan 12 microBS pada jaringan *homogeneous* WCDMA/3G pada lingkungan *outdoor*. Perbandingan konsumsi energi macro BS dan micro BS dilakukan pada luas area pelayanan yang sama dan sesuai dengan kebutuhan Area Spectral Efficiency (ASE). Analisis menunjukkan penggunaan 3 macro BS lebih efisien dalam konsumsi energi pada luas area pelayanan yang sama dibandingkan dengan 12 micro BS. Sedangkan pada analisis konsumsi energi sesuai dengan kebutuhan ASE, penggunaan 12 micro BS lebih efisien dibandingkan dengan 3 macro BS baik kondisi busy hour maupun non busy hour.

**Kata Kunci :** WCDMA, base station, efisiensi energi, area spectral efficiency

## 1. PENDAHULUAN

Sektor telekomunikasi terutama jaringan seluler akan terus berkembang, apalagi dengan adanya teknologi baru seperti 3G dan LTE yang muncul ke pasar. Saat ini, sektor telekomunikasi mengonsumsi sekitar 1% sampai dengan 2% dari total konsumsi energi dunia dan menyumbang sekitar 1% dari emisi *Carbon Dioxide* (CO<sub>2</sub>) dunia dan akan terus meningkat dimasa depan [1]. Pada jaringan seluler *mobile*, BS merupakan penyumbang konsumsi energi terbesar dari total konsumsi energi yang diperlukan yaitu sekitar 57% [2].

Efisiensi energi pada BS menjadi pertimbangan utama dalam merancang jaringan seluler. Sebagian usaha yang telah dilakukan untuk mengurangi konsumsi energi / *power consumption* difokuskan pada sisi *hardware* (perangkat keras), *manufacture* (pembuatan), *deployment* (peletakan), dan juga pada proses pengoperasian BS. BS generasi selanjutnya bahkan telah melangkah hingga menggunakan *power amplifier* (penguat daya) yang lebih efisien dan sumber daya alam yang lebih ramah lingkungan

(*Green Energy*) seperti *solar panel* pada bagian *cooling* (pendingin) [3].

Analisis tentang efisiensi energi untuk WCDMA/3G pada jaringan *homogeneous* dan *heterogeneous* di lingkungan *indoor* telah dilakukan dimana penggunaan *microBS* pada kasus *homogeneous* dan penambahan *picoBS* untuk *macro* BS pada kasus *heterogeneous* lebih efisien dalam penggunaan energi pada kondisi tertentu [4].

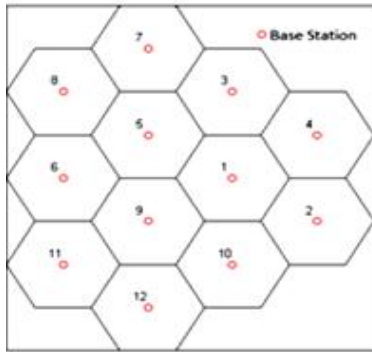
Dalam penelitian ini, dilakukan analisis mengenai konsumsi daya pada lingkungan *outdoor* WCDMA/ 3G *cellular network* dengan meninjau luas area dan kebutuhan ASE pada kasus infrastruktur *homogeneous*.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Jaringan *Homogeneous* Seluler

Jaringan *homogeneous* seluler merupakan jaringan seluler dengan menggunakan satu jenis akses node saja yaitu semuanya *macrocell* atau

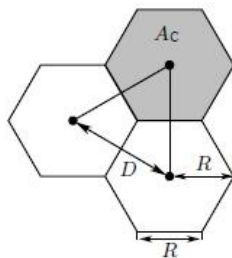
semuanya *microcell* seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Contoh Jaringan Homogeneous

### 2.2 Model Jaringan Seluler

Dalam melakukan simulasi, model jaringan seluler dengan bentuk heksagonal digunakan, dimana panjang sisi adalah  $R$ , *Intersite Distance* (ISD) adalah  $D = \sqrt{3} R$ , dan luas area heksagonal adalah  $A_c = 3\sqrt{3}/2 R^2$ . ISD adalah jarak antara *base station* terdekat seperti ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. *Intersite Distance* ( $D$ ), panjang sisi ( $R$ ), dan luas area heksagonal ( $A_c$ )

### 2.3 Model Propagasi

Model propagasi atau *pathloss model* merupakan cara untuk memprediksi daya sinyal rata-rata. Pada penelitian ini menggunakan *pathloss model* NLOS 3GPP sebagaiberikut.

$$PL = 161.04 - 7.1 * \log_{10}(W) + 7.5 * \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7 * (\frac{h}{h_{BS}}) * 2) * \log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 * \log_{10}(h_{BS})) * (\log_{10}(d) - 3) + 20 * \log_{10}(fc) - (3.2 * (\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97) \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

- $PL$  =pathloss(dB)
- $d$  =jarak dalam meter (10-5000m)
- $W$  =lebar jalan (5-50m)
- $h$  =tinggi rata-rata bangunan (5-50m)
- $h_{BS}$  =tinggi BS (10-150m)
- $h_{UT}$  =tinggi User Terminal (1-10m)
- $fc$  =Frekuensi (2-6GHz)

### 2.4 Total Pathloss

*Total pathloss* diperlukan untuk menentukan *loss* propagasi maksimum yang terjadi, dengan memperhitungkan *link budget* pada BS dan *Mobile Station* (MS), dilihat dari arah *downlink* dan arah *uplink*. *Total pathloss* arah *downlink* dinyatakan sebagai:

$$PL_{DL} = L_{DL} - T_{F1} - F_m - Body_A - Building_A \dots (2)$$

dengan

$$L_{DL} = T_{xBS} + G_{BS} + G_{MS} - S_{MS} - (DL_{BS} + JL_{BS} + T_{xFilterLossBS}) \dots \dots \dots (3)$$

Sedangkan *total pathloss* arah *uplink* dinyatakan sebagai:

$$PL_{UL} = L_{UL} - T_{F1} - F_m - Body_A - Building_A \dots (4)$$

dengan

$$L_{UL} = T_{xMS} + G_{MS} + G_{BS} + DG_{BS} - S_{BS} - (DL_{BS} + JL_{BS}) \dots \dots \dots (5)$$

Dengan:

- $PL_{DL}$  = Total Pathloss Downlink
- $PL_{UL}$  = Total Pathloss Uplink
- $L_{DL}$  = Product PathlossDownlink
- $L_{UL}$  = Product PathlossUplink
- $T_{xMS}$  = Transmitted Power MS
- $T_{xBS}$  = Transmitted Power BS
- $G_{MS}$  = Gain Antena MS
- $G_{BS}$  = Gain Antena BS
- $DG_{BS}$  = Diversity Gain BS
- $S_{BS}$  = Receiver Sensitivity BS
- $S_{MS}$  = Receiver sensitivity MS
- $DL_{BS}$  = Duplexer Loss BS
- $JL_{BS}$  = Jumper Loss BS
- $T_{F1}$  = Total Feeder Loss
- $F_m$  = Fade Margin
- $Body_A$  = Body Attenuation
- $Building_A$  = Building Attenuation
- $T_{xFilterLossBS}$  = Transmitted Filter Loss BS

### 2.5 Area Power Consumption (APC)

APC didefinisikan sebagai konsumsi daya rata-rata per sel dibagi dengan luas sel dan diukur dalam satuan watts per kilometer persegi ( $W/Km^2$ ). APC dapat dinyatakan secara matematis sebagai:

$$APC = P_{Cell} / A_{Cell} \dots \dots \dots (6)$$

dengan

$P_{cell}$  adalah konsumsi daya rata-rata (Watt)  
 $A_{cell}$  adalah *area cell* ( $Km^2$ )

Nilai  $P_{cell}$  didapat dari perumusan *power model*, baik *power model* untuk *macro* maupun *micro* BS.

**2.6 Spectral Efficiency**

*Spectral efficiency* adalah penggunaan spektrum yang dioptimalkan sehingga jumlah maksimum informasi dapat ditransmisikan dalam *bandwidth* yang diberikan sebagai fungsi dari *signal to noise ratio* yang tersedia. *Spectral efficiency* didapatkan berdasarkan teori kapasitas Shannon, yang dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$Spectral\ Efficiency = \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Dimana S/N merupakan *signal to noise ratio* dalam Watt.

**2.7 Area Spectral Efficiency (ASE)**

ASE dapat didefinisikan sebagai *mean* dari *rate* yang didapat dalam sebuah jaringan per satuan *bandwidth* per satuan *area*. *ase* diukur dalam satuan bits per second per hertz per kilometer persegi (bits/s/hz/km<sup>2</sup>). Secara matematis, ASE dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$S = \left( \frac{1}{A_{Cell}} \right) * E[S(X)] = \frac{1}{A_{Cell}} \int A S (X = x). dx. (8)$$

Dimana S (X = x) adalah ASE dari *user* x dan *Acell* adalah *Area* atau luas dari sel. E[S(X)] menunjukkan bahwa rata-rata dari *Spectral Efficiency* yang digunakan.

**2.8 Macro Base Station Power Model**

*Power model* untuk *macro* BS adalah sebagai berikut.

$$P_{macro} = A_{macro} * P_{tx} + B_{macro} \dots \dots \dots (9)$$

Koefisien *Amacro* didapat dengan memperhitungkan efisiensi dari *amplifier* dan *loss* yang disebabkan oleh *feeders* dan *cooling* dari BS. Koefisien *Bmacro* didapat berdasarkan *average power* yang ditransmisikan dan *model power* yang dikonsumsi dalam *signal processing*, *battery backup* dan juga *cooling* pada BS. kedua koefisien ini bernilai konstan pada *macro* BS. Nilai *P<sub>tx</sub>* didapatkan melalui perhitungan *total path loss*.

**2.9 Micro Base Station Power Model**

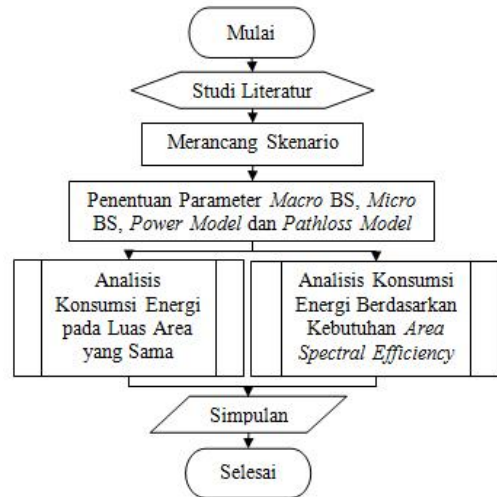
*Power model* untuk *micro* BS adalah sebagai berikut.

$$P_{Micro} = L * (A_{micro} * P_{tx} + B_{micro}) \dots \dots \dots (10)$$

Koefisien *Amicro*, dan *Bmicro* memiliki persamaan dengan *Amacro* dan *Bmacro* pada *macro* BS. Sedangkan parameter *L* merupakan tingkat aktivitas dari BS. Dalam kondisi dengan trafik yang tinggi, *L* akan mendekati 1 sedangkan pada kondisi trafik rendah, *L* akan mendekati 0. *L* adalah *Load* atau beban yang dilayani oleh perangkat.

**3. METODE PENELITIAN**

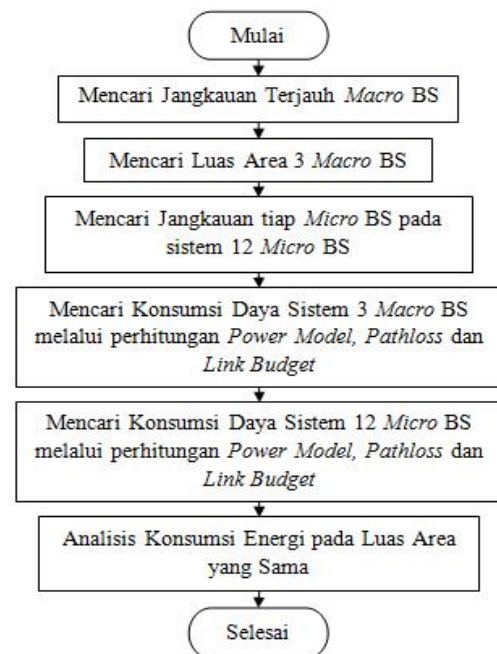
Pada penelitian ini akan dibandingkan konsumsi daya antara dua sistem yaitu sistem dengan *macro* BS dan sistem dengan *micro*BS pada teknologi WCDMA/3G. Konsumsi daya yang diamati adalah konsumsi daya dari sisi BS. Gambar 3 memperlihatkan langkah – langkah penelitian ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

**3.1 Konsumsi Energi BS pada Luas Area Pelayanan yang Sama**

Pada bagian ini, melalui langkah penelitian seperti pada gambar 4, akan diamati konsumsi daya sistem dengan 3 *macro* BS dan sistem dengan 12 *micro* BS pada luas area pelayanan yang sama.



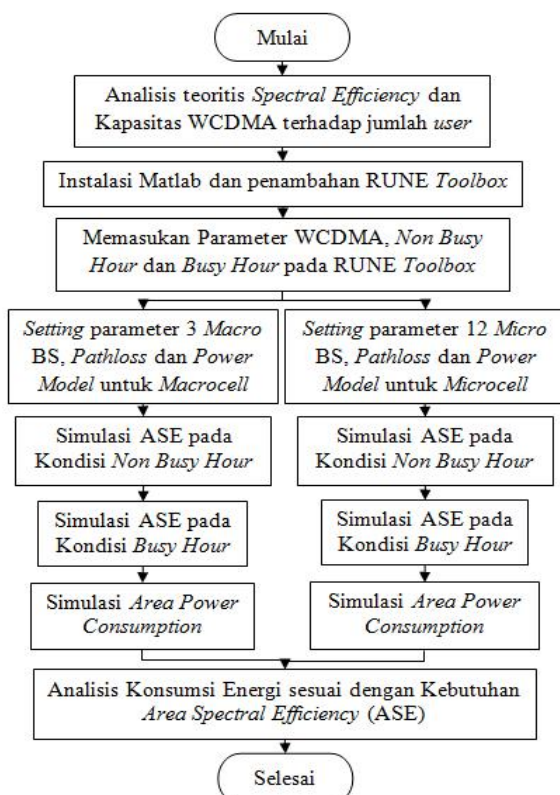
Gambar 4. Diagram Analisis Konsumsi Energi pada Luas Area Pelayanan yang Sama

Luas area yang digunakan merupakan luas area heksagonal dari *macro* BS berdasarkan jangkauan terjauh atau maksimal. Jangkauan sel maksimal yang digunakan adalah jangkauan yang dapat diterima dari kedua sisi *uplink* dan *downlink* *macro*BS. Mencari luas area *macro*BS akan dilakukan dengan perhitungan *total pathloss* dan perhitungan jari-jari sel melalui perumusan model propagasi. Setelah itu, akan dicari pula luas area setiap *micro*BS berdasarkan luas area *macro*BS.

Konsumsi daya diketahui melalui perumusan *power model* dimana diperlukan nilai *transmitted power* yang didapat dari perhitungan *link budget* dan model propagasi. Konsumsi daya dilihat dari sisi BS sehingga dilakukan analisis berdasarkan *link budget* arah *downlink*. Dalam skenario ini, *load* yang terjadi pada BS sama dengan 1.

### 3.2 Konsumsi Energi BS Berdasarkan Kebutuhan ASE

Pada bagian ini seperti ditampilkan pada gambar 5, konsumsi energi dilihat dari jarak ISD optimal peletakan BS berdasarkan kebutuhan ASE melalui simulasi.



**Gambar 5.** Diagram Analisis Konsumsi Energi Berdasarkan Kebutuhan ASE

Jarak ISD optimal adalah jarak ISD dimana target kebutuhan ASE terpenuhi dan tidak melebihi jarak ISD dimana APC bernilai minimal. Konsumsi

daya penggunaansistem 3 *macro*BS dan 12 *micro* BS akan dibandingkan pada 2 kondisi *user*, yaitu *non busy hour* dan *busy hour*. Pada kondisi *non busy hour* jumlah *active user* adalah 50 *user*, sedangkan pada *busy hour* adalah 150 *user*. *Load* penggunaan BS pada *non busy hour* adalah 0,25 dan *busy hour* adalah 0,5. Target ASE akan menyesuaikan dengan hasil simulasi.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Konsumsi Energi BS Pada Luas Area yang Sama

Pada skenario ini, jangkauan terjauh ditentukan oleh parameter *macro* BS yang dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter *Macro* BS [4][5]

Parameter	Unit	Uplink	Downlink
Frequency	Mhz	1980	2100
Ms Tx Power	dBm	30	-
Ms Rx sensitivity	dBm	-	-102
Ms Antenna Gain	dBi	2	2
Ms Height	m	1,5	1,5
Bs Tx Power	dBm	-	38
Bs Rx Sensitivity	dBm	-104	-
Bs Antenna Gain	dBi	15	15
Bs Antenna Height	m	30	30
Bs diversity Gain	dB	2,4	-
Bs duplexer loss	dB	0,7	0,7
Bs jumper loss	dB	0,8	0,8
Bs Tx Filter Loss	dB	-	2
Product path loss	dB	151,9	153,5
Feeder loss per m	dB/m	0,0636	0,0636
Total feeder loss	dB	1,908	1,908
Fade Margin	dB	5,5	5,5
Body attenuation	dB	2	2
Building attenuation	dB	10	10

Sehingga didapatkan *total pathloss uplink* sebesar 132,492 dB dan *downlink* sebesar 134,092 dB. Sedangkan jari-jari *macro* BS arah *uplink* adalah 1030,9m dan *downlink* adalah 1102,4m.

Jarak terjauh yang digunakan adalah jarak yang dapat dijangkau oleh kedua sisi, *uplink* dan *downlink*. Maka jarak atau jangkauan terjauh yang digunakan adalah 1030,9m. Dari jangkauan terjauh yang digunakan maka dapat diketahui ISD dan luas ( $A_c$ ) dari 3 *macro* BS adalah sebagai berikut.

$$ISD = \sqrt{3} * d = 1785,5 \text{ m} = 1,785 \text{ km}$$

$$A_c = \left( \frac{3\sqrt{3}}{2} * d^2 \right) * 3 = 8,278 \text{ km}^2$$

Dengan mengetahui luas area 3 *macro* BS maka didapatkan luas area per BS ( $A_c$ ), radius ( $d$ ) dan ISD masing-masing untuk penggunaan 12 *micro* BS adalah sebagai berikut.

$$A_c = \frac{\text{Luas 3 Macrocell}}{12} = \frac{8,278 \text{ km}^2}{12} = 0,690 \text{ km}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{Ac * 2}{3\sqrt{3}}} = 0,515 \text{ km} = 515 \text{ m}$$

$$ISD = \sqrt{3} * d = 892 \text{ m} = 0,892 \text{ km}$$

Dengan mengetahui jangkauan terjauh dari BS, maka konsumsi daya BS dapat ditemukan dengan menggunakan perumusan *power model*.

Parameter *Amacro*, *Bmacro*, *Amicro* dan *Bmicro* yang digunakan pada *power model* dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Parameter *Power Model* [4]

BS type	A	B
Macro BS	22,6	412,4
Micro BS	7,84	71,5

Sehingga dari parameter tersebut dapat diketahui konsumsi daya 3 *macro* BS adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} Pathloss &= 161,04 - 7,1 * \log_{10}(10) + 7,5 * \log_{10}(10) \\ &\quad - (24,37 - 3,7 * (\frac{10}{30})^2) \log_{10}(30) + \\ &\quad (43,42 - 3,1 * \log_{10}(30)) (\log_{10}(1030,9) - 3) + 20 * \log_{10}(2,1) - (3,2 * (\log_{10}(11,75 * 1,5))^2 - 4,97) \\ &= 161,04 - 7,1 + 7,5 - 35,39 + (38,8 * (\log_{10}(1030,9) - 3)) + 6,4 - 0,0009 \\ &= 161,04 - 7,1 + 7,5 - 35,39 + 0,513 + 6,4 - 0,0009 = 132,962 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$PL = 132,962 + 1,908 + 5,5 + 2 + 10 = 152,37 \text{ dB}$$

$$T_{xBS} = 152,37 - (15+2) + (-102) + (0,7 + 0,8 + 2) = 36,87 \text{ dBm} = 4,864 \text{ W}$$

$$P_{macro} = 22,6 * 4,864 + 412,4 = 522,3264 \text{ Watt}$$

$$P_{total} = 522,3264 * 3 = 1.566,97 \text{ W}$$

Konsumsi daya untuk 3 *macro* BS adalah sebesar 1,567 KW dengan konsumsi daya per-BS adalah sebesar 522,3264 Watt.

Sedangkan untuk mencari konsumsi daya *micro*BS, menggunakan parameter pada tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter untuk Mencari Konsumsi Daya *Micro* BS[4][5]

Parameter	Unit	Micro BS
Frequency	GHz	2,1
Ms Rx sensitivity	dBm	-102
Ms Antenna Gain	dBi	2
Ms Height	m	1,5
Bs Antenna Gain	dBi	6
Bs Antenna Height	m	15
Bs duplexer loss	dB	0,7
Bs jumper loss	dB	0,8
Bs Tx Filter Loss	dB	2
feeder loss per m	dB/m	0,0636
Total feeder loss	dB	0,954
Fade Margin	dB	5,5
Body attenuation	dB	2
Building attenuation	dB	10
Average Building Height	m	10
Street Width	m	10

Sehingga dari parameter tersebut dapat diketahui konsumsi daya 12 *micro* BS adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} Pathloss &= 161,04 - 7,1 * \log_{10}(10) + 7,5 * \log_{10}(10) \\ &\quad - (24,37 - 3,7 * (\frac{10}{15})^2) \log_{10}(15) + (43,42 \\ &\quad - 3,1 * \log_{10}(15)) (\log_{10}(515) - 3) + 20 * \log_{10}(2,1) - (3,2 * (\log_{10}(11,75 * 1,5))^2 - 4,97) \\ &= 161,04 - 7,1 + 7,5 - 26,7273 + (39,77 * (\log_{10}(515) - 3)) + 6,4 - 0,0009 \\ &= 161,04 - 7,1 + 7,5 - 26,7273 - 11,3372 + 6,4 - 0,0009 \\ &= 129,77 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$PL = 129,77 + 0,954 + 5,5 + 2 + 10 = 148,224 \text{ dB}$$

$$T_{xBS} = 148,224 - (6 + 2) + (-102) + (0,7 + 0,8 + 2) = 41,724 \text{ dBm} = 14,873 \text{ Watt}$$

$$P_{micro} = 1 * (7,84 * 14,873 + 71,5) = 188,1 \text{ Watt}$$

$$P_{total} = 188,1 * 12 = 2257,2 \text{ W} = 2,257 \text{ KWatt}$$

Konsumsi daya untuk 12 *micro* BS adalah sebesar 2,257 KWatt dengan konsumsi daya per-BS adalah sebesar 188,1 Watt.

Dari seluruh hasil, dapat dijabarkan ada tabel 4.

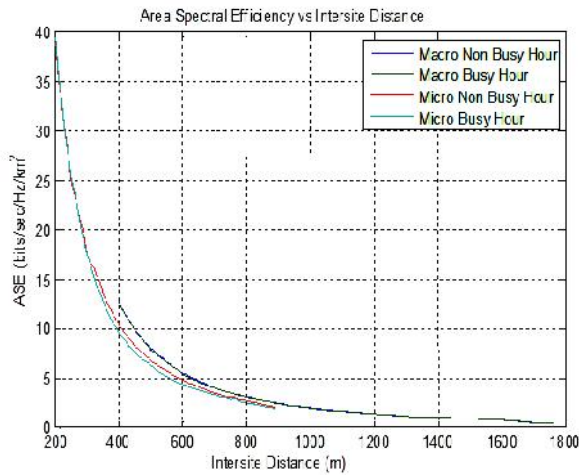
**Tabel 4.** Konsumsi Energi pada Luas Area yang Sama

Base Station	Jangkauan maksimal per-BS (m)	Transmitted Power per-BS		Konsumsi Daya per-BS (Watt)	Total Konsumsi Daya (KWatt)
		dBm	Watt		
3 Macro	1030,9	36,87	4,864	522,32	1,567
12 Micro	515	41,724	14,873	188,1	2,257

Dapat diketahui bahwa konsumsi daya per-BS pada *micro* BS lebih rendah dibandingkan konsumsi daya per-BS pada *macro* BS. Namun konsumsi daya total untuk penggunaan 3 *macro* BS untuk menjangkau luas area yang sama lebih efisien dengan persentase sebesar 30,57%, dibandingkan penggunaan 12 *micro* BS pada kondisi beban atau penggunaan energi maksimal (*load=1*).

## 4.2 Konsumsi Energi BS Berdasarkan Kebutuhan Area Spectral Efficiency

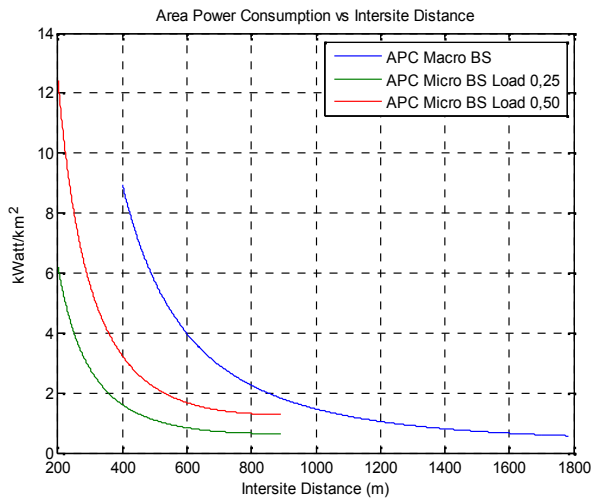
Konsumsi energi penggunaan 3 *macro* BS dan 12 *micro* BS didapatkan melalui simulasi dimana ISD maksimal untuk *macro* BS adalah 1785m dan *micro* BS adalah 892m sesuai dengan hasil pada perhitungan konsumsi energi pada luas area yang sama. Sehingga didapatkan hasil simulasi ASE yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Area Spectral Efficiency vs Intersite Distance berbagai kondisi

Dapat diketahui bahwa, ISD mempengaruhi ASE. Semakin dekat ISD, semakin tinggi pula ASE yang diperoleh. Sedangkan hasil simulasi APC dapat dilihat pada gambar 7.

Dapat dilihat bahwa, ISD mempengaruhi APC dari BS. Semakin jauh ISD, semakin baik pula APC. APC pada load 0,25 lebih baik dibandingkan dengan APC pada load 0,5.



Gambar 7. Area Power Consumption vs Intersite Distance

Dari hasil simulasi dapat diketahui target ASE yang memungkinkan adalah 3-12 bits/s/Hz/Km<sup>2</sup>. Sehingga dapat diketahui konsumsi daya pada kondisi non busy hour yang dijabarkan pada tabel 5.

Dari hasil tersebut, dapat diketahui penggunaan micro BS lebih baik dibandingkan dengan macro BS di setiap kebutuhan ASE. Dengan % efisiensi micro BS terhadap macro BS dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 5. Konsumsi daya pada target ASE3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dan 12bits/s/Hz/km<sup>2</sup>non busy hour

Target ASE (bits/s/Hz/km <sup>2</sup> )	Tipe Deployment	ISD Optimal dimana ASE Tercapai (m)	APC pada jarak optimal ISD (KWatts/Km <sup>2</sup> )
3	Macro	800	2,259
	Micro	755	0,6741
4	Macro	703	2,912
	Micro	663	0,7488
5	Macro	636	3,549
	Micro	592	0,8549
6	Macro	572	4,380
	Micro	530	1,001
7	Macro	536	4,985
	Micro	492	1,126
8	Macro	501	5,703
	Micro	463	1,247
9	Macro	469	6,504
	Micro	435	1,389
10	Macro	449	7,095
	Micro	411	1,538
11	Macro	430	7,735
	Micro	389	1,701
12	Macro	410	8,506
	Micro	368	1,887

Tabel 6. Efisiensi energi micro BS terhadap macro BS pada non busy hour

ASE (bits/s/Hz/km <sup>2</sup> )	Persentase Efisiensi (%)
3	70,15
4	74,28
5	75,91
6	77,15
7	77,41
8	78,13
9	78,64
10	78,32
11	78
12	78,81

Dari hasil persentase, dapat diketahui secara umum bahwa semakin tinggi kebutuhan ASE semakin efisien penggunaan micro BS dibandingkan penggunaan macro BS. Konsumsi daya pada kondisi busy hour dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Konsumsi energi pada target ASE3,4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dan 12bits/s/Hz/km<sup>2</sup>busy hour

Target ASE (bits/s/Hz/km <sup>2</sup> )	Tipe Deployment	ISD Optimal dimana ASE Tercapai (m)	APC pada jarak optimal ISD (KWatts/Km <sup>2</sup> )
3	Macro	800	2,259
	Micro	721	1,390
4	Macro	692	3,004
	Micro	623	1,604
5	Macro	619	3,745
	Micro	560	1,845
6	Macro	578	4,291
	Micro	511	2,119
7	Macro	532	5,060
	Micro	474	2,396
8	Macro	491	5,936
	Micro	440	2,801
9	Macro	469	6,504
	Micro	410	3,090
10	Macro	448	7,127
	Micro	391	3,371
11	Macro	429	7,771
	Micro	372	3,698
12	Macro	410	8,506
	Micro	359	3,954

Dari hasil tersebut, dapat diketahui penggunaan *micro* BS lebih baik dibandingkan dengan *macro* BS di setiap kebutuhan ASE. Persentase efisiensi *micro* BS terhadap *macro* BS dapat dijabarkan dalam tabel 8.

**Tabel 8.** Efisiensi energi *micro* BS terhadap *macro* BS pada *busy hour*

ASE (bits/s/Hz/km <sup>2</sup> )	Persentase Efisiensi (%)
3	38,47
4	46,6
5	50,73
6	50,61
7	52,64
8	52,81
9	52,49
10	52,7
11	52,41
12	53,51

Dari hasil persentase, dapat diketahui secara umum bahwa semakin tinggi kebutuhan ASE semakin efisien penggunaan *micro* BS dibandingkan penggunaan *macro* BS.

#### 4. SIMPULAN

Dari hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsumsi energi 3 *macro* BS lebih baik dibandingkan dengan penggunaan 12 *micro* BS untuk menjangkau luas area yang sama tanpa melihat kondisi user dengan tingkat efisiensi sebesar 30,57%
2. Konsumsi energi pada 12 *micro* BS lebih efisien dibandingkan dengan konsumsi energi 3 *macro* BS untuk kondisi *busy hour* maupun *non busy hour* sesuai dengan kebutuhan ASE. Semakin besar target kebutuhan ASE semakin baik konsumsi energi untuk penggunaan 12 *micro* BS.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Paul Misar. *Wireless LTE Development: How It is Changing Cell Site Energy and Infrastructure Design*. White Paper dari *Experts in Business Critical Continuity*. 2011.
- [2] Han, C., T. Harrold, S. Armour, I. Krikidis and S. Videv. *Green radio: Radio techniques to enable energy-efficient wireless networks*. *IEEE Commun. Magazine*, 49: 46-54. 2011.
- [3] Oh, E., B. Krishnamachari, X. Liu and Z. Niu. *Toward Dynamic Energy-Efficient Operation of Cellular Network Infrastructure*. *IEEE Commun. Magazine*, 49: 56-61. 2011.
- [4] Aslam. *Energy Efficient Analysis for WCDMA/3G Homogeneous and Heterogeneous Deployments in Indoor Environment*. 2012

Tersedia: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:506601/FULLTEXT01.pdf>. Diakses pada 8 Agustus 2013.

- [5] Sukrama, I Made. *Perencanaan Coverage Sistem GSM dan UMTS Telkomsel Wilayah Kuta Selatan*. Tugas Akhir. Teknik Elektro Universitas Udayana. 2012