

EFISIENSI ENERGI JARINGAN *HOMOGENEOUS* WCDMA/3G PADA LINGKUNGAN *INDOOR*

Riswanto Tambun, Linawati, Widyadi Setiawan

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email : riswantambun@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan yang besar dari penggunaan *Information and Communication Technology* (ICT) menyebabkan konsumsi energi meningkat drastis. Kenaikan tak terduga konsumsi energi ICT terjadi karena industri seluler telah menyebarkan lebih dari empat juta *base station* (BS) untuk pengguna/user, masing-masing mengkonsumsi sekitar 25 MWh per tahun. Efisiensi energi pada BS menjadi pertimbangan utama dalam merancang jaringan seluler yang lebih baik. Salah satunya yaitu efisiensi energi jaringan *homogeneous* WCDMA/3G pada lingkungan *indoor* dengan mengevaluasi *power consumption*. Analisis dilakukan dengan mengamati dan membandingkan konsumsi daya atau kebutuhan energi antara dua sistem peletakan BS yaitu sistem dengan 3 *macro* BS dan sistem 12 *micro* BS untuk menjangkau pengguna yang berada di dalam ruangan atau lingkungan *indoor*. Konsumsi daya yang diamati dan dibandingkan adalah konsumsi daya berdasarkan luas area cakupan yang sama dan konsumsi daya berdasarkan kebutuhan *area spectral efficiency* (ASE) dan juga *area power consumption* (APC) pada kondisi *busy hour* maupun *non busy hour* sehingga ditemukan jarak optimal peletakan BS. Penelitian dilakukan dengan bantuan RENE Matlab Toolbox. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa konsumsi daya per BS pada *micro* BS lebih rendah dibandingkan konsumsi daya per BS pada *macro* BS. Namun, untuk menjangkau luas area yang sama konsumsi daya total untuk penggunaan 3 *macro* BS lebih efisien dengan persentase sebesar 16,98%, dibandingkan penggunaan 12 *micro* BS pada kondisi beban atau penggunaan energi maksimal (*load=1*). Selain itu, dari hasil simulasi diperoleh bahwa, *intersite distance* mempengaruhi ASE dan APC. Selanjutnya diperoleh penggunaan *micro* BS lebih efisien dibandingkan *macro* BS baik pada kondisi *busy hour* maupun *non busy hour* pada target kebutuhan ASE 6 bits/s/Hz/km² hingga 12 bits/s/Hz/km².

Kata Kunci: *homogeneous* WCDMA, *area spectral efficiency*, *area power consumption*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan yang besar dari penggunaan ICT menyebabkan konsumsi energi global meningkat drastis. Kenaikan tak terduga konsumsi energi global dari penggunaan ICT terjadi karena industri seluler telah menyebarkan lebih dari empat juta BS untuk pengguna ponsel, masing-masing mengkonsumsi sekitar 25MWh per tahun [1]. Dari total emisi karbon dunia, 2% - 3% disumbang oleh infrastruktur ICT. Selain itu, diperkirakan bahwa konsumsi energi ICT meningkat 15-20% pertahun, sehingga dua kali lipat setiap lima tahun [2].

Penelitian lain menunjukkan, khusus untuk memenuhi kebutuhan BS akan arus listrik dibutuhkan biaya sekitar \$3000 pertahun untuk mengoperasikannya [3] dan diperkirakan setiap tahun sekitar 120.000 BS baru menyebar guna melayani pelanggan seluruh dunia yang secara signifikan meningkatkan *carbon footprint* yang lebih banyak lagi di bumi [4].

Saat ini, perancangan jaringan seluler fokus pada penghematan energi pada BS. Penghematan energi pada BS dilakukan untuk mengurangi besarnya konsumsi energi dari penggunaan ICT. Beberapa hal yang dilakukan untuk mengurangi konsumsi energi BS berfokus pada sistem-sistem pendukung BS seperti sistem pendinginan atau *cooling* yang

menggunakan *solar panel* sebagai sumber daya yang ramah lingkungan (*green energy*) dan hal lain yang dilakukan untuk menghemat konsumsi energi pada BS adalah dengan menggunakan sistem atau skema *switching on/off*. Meng-nonaktifkan sel pada jaringan dapat mengurangi konsumsi energi [5].

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis mengangkat penelitian tentang konsumsi daya pada lingkungan *indoor* untuk jaringan seluler WCDMA/3G dengan mengevaluasi *power consumption* dan kapasitas dari pengguna pada kasus infrastruktur *homogeneous*.

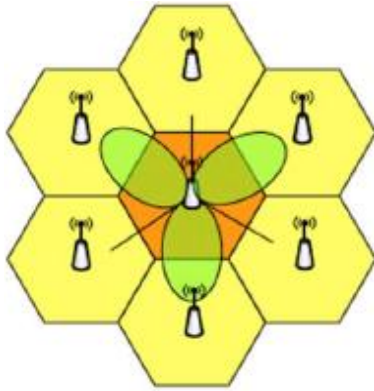
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan *Homogeneous* Seluler

Homogeneous seluler merupakan jaringan seluler konvensional yang menggunakan satu jenis akses node saja, dalam hal ini penggunaan *macrocell* atau *microcell* saja. Contoh *Homogeneous Network* dapat dilihat pada gambar 1 dimana pengguna satu jenis akses node dengan 3 sektor digunakan [6].

2.2 Model Propagasi

Dalam penelitian ini dimana *macro* dan *micro* BS ditempatkan di luar ruangan untuk menjangkau *user* yang berada di dalam ruangan.



Gambar 1. Contoh Homogeneous Network[6].

Oleh karena itu digunakan perhitungan propagasi atau *path loss outdoor to indoor*, untuk memperkirakan redaman lintasannya [6].

Model yang diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PL(dB) = & 161.04 - 7.1 * \log_{10}(W) + 7.5 \\
 & * \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7 \\
 & * (h/h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS}) \\
 & + (43.42 - 3.1 \\
 & * \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d) - 3) \\
 & + 20 * \log_{10}(fc) - 3.2 \\
 & * (\log_{10}(11.75 * h_{UT}))^2 - 4.97 \\
 & + \text{Wall loss}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Dimana:

- $PL(dB)$ = total path loss
- d = jarak dalam meter (10-5000m)
- W = lebar jalan (5-50m)
- h = tinggi rata-rata bangunan (5-50m)
- h_{BS} = tinggi Base Station (10-150m)
- h_{UT} = tinggi User Terminal (1-10m)
- fc = Frekuensi (2-6GHz)
- Standard Deviation = 8

Nilai *wall loss (indoor penetration loss)* sesuai dengan bahan dasardapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Wall Loss Berdasarkan Jenis Bahan [7]

Bahan Dasar Dinding	Wall Loss	Frekuensi
Wooden / kayu	4 dB	2,1 GHz
Glass / kaca	2,2-3 dB	2,1 GHz
Concrete / beton	10dB	2,1 GHz

2.3 Link Budget

Perhitungan *link budget* perangkat BTS (*Base Transceiver Station*) dan MS (*Mobile Station*) akan menghasilkan suatu nilai MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) yang merupakan persyaratan maksimal redaman lintasan dan menentukan kelayakan suatu *link* propagasi. Data teknis perangkat WCDMA/3G pada tabel 2 arah *uplink* dan *downlink* diperlukan untuk menentukan rugi lintasan dan radius sel maksimum (jarak antara *base station* dan *mobile station*) yang diberikan oleh perangkat. Perhitungan *link budget* merupakan perhitungan tingkat daya yang dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat daya penerimaan lebih besar atau sama

dengan level daya *threshold*. MAPL arah *downlink* dinyatakan sebagai:

$$MAPL_{DL} = L_{DL} - T_{F1} - F_m - Body_A - Building_A \tag{2}$$

Dengan

$$\begin{aligned}
 L_{DL} = & T_{xBS} + G_{BS} + G_{MS} - S_{MS} - (DL_{BS} + JL_{BS} \\
 & + T_{xFilter Loss BS})
 \end{aligned} \tag{3}$$

Sedangkan MAPL arah *uplink* dinyatakan sebagai:

$$MAPL_{UL} = L_{UL} - T_{F1} - F_m - Body_A - Building_A \tag{4}$$

Dengan

$$\begin{aligned}
 L_{UL} = & T_{xMS} + G_{MS} + G_{BS} + DG_{BS} - S_{BS} - (DL_{BS} \\
 & + JL_{BS})
 \end{aligned} \tag{5}$$

Dengan:

$MAPL_{DL}$ = Maximum Allowable Path Loss Downlink

$MAPL_{UL}$ = Maximum Allowable Path Loss Uplink

L_{DL} = Product Pathloss Downlink

L_{UL} = Product Pathloss Uplink

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

$T_{xFilter Loss BS}$ = Transmitted Filter Loss BS

Tabel 2. Data teknis perangkat WCDMA/3G Macro Base Station[6], [8]

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

2.4 Area Power Consumption

Area Power Consumption (APC) atau konsumsi daya area digunakan untuk mengukur konsumsi daya dari suatu jaringan berdasarkan luas areanya. APC didefinisikan sebagai konsumsi daya rata-rata per sel dibagi dengan luas sel dan diukur dalam satuan watts per kilometer persegi (watts/Km^2) [6], [9]. APC dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

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

Dimana:

P_{cell} adalah konsumsi daya rata-rata (watt)

A_{cell} adalah area cell (Km^2)

Nilai P_{cell} didapat dengan menggunakan perumusan power model baik power model untuk macro BS maupun micro BS.

2.5 Spectral Efficiency

Spectral efficiency merupakan 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 adalah ukuran dari seberapa efisien spektrum frekuensi yang terbatas digunakan [6], [9].

$$\text{Spectral Efficiency} = \log_2 (1 + S/N) \dots\dots (7)$$

2.6 Area Spectral Efficiency

Area spectral efficiency adalah mean dari rate yang diperoleh 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^2) [6], [9]. Secara matematis, area spectral efficiency dapat dinyatakan sebagai:

$$S = \frac{1}{A_{\text{Cell}}} * E S X = \frac{1}{A_{\text{Cell}}} A S X = x \cdot dx \dots\dots\dots (8)$$

Dengan:

$S (X = x)$ adalah ASE dari user x .

A_{cell} adalah Area atau luas dari sel.

$E[S(X)]$ menunjukkan bahwa rata-rata dari spectral efficiency yang digunakan.

ASE merupakan mean dari semua pengguna dalam sistem dibagi dengan area atau cakupan seluler dan ASE akan berbeda dari data rates individu.

2.7 Power Models

Beberapa power model BS pada jaringan homogeneous dibahas pada sub-bab 2.7.1 dan 2.7.2.

2.7.1 Macro Base Station

Power models untuk macro BS memiliki hubungan linier antara average radiated power per site dan average power consumption [6], [9]. Hubungannya adalah sebagai berikut:

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

Koefisien A_{macro} didapat dengan memperhitungkan efisiensi dari amplifier dan loss yang disebabkan oleh feeders dan cooling dari BS. Koefisien B_{macro} 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_{tx} dihitung dengan menggunakan perhitungan path loss.

2.7.2 Micro Base Station

Power model untuk micro base station adalah sebagai berikut [6,9].

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

Koefisien A_{micro} , dan B_{micro} memiliki kesamaan dengan A_{macro} dan B_{macro} . Parameter L merupakan tingkat aktivitas trafik dari BS. Untuk 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. P_{tx} didapat dengan perumusan path loss.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan mengamati dan membandingkan konsumsi daya atau kebutuhan energi antara dua sistem peletakan BS yaitu sistem dengan macro BS saja dan sistem micro BS saja untuk menjangkau pengguna / user yang berada di dalam ruangan atau lingkungan indoor. Konsumsi daya yang diamati dan dibandingkan adalah konsumsi daya dari sisi BS.

3.1 Konsumsi Daya Base Station pada Luas Area Cakupan yang Sama

Bagian ini akan mengamati dan membandingkan bagaimana konsumsi daya BS dilihat dari peletakan BS berdasarkan luas area maksimal yang tercakupi. Bagian ini akan membandingkan sistem dengan macro BS saja dan sistem dengan micro BS saja dimana akan dibandingkan konsumsi daya atau kebutuhan energi 3 macro BS dengan 12 micro BS melalui perhitungan.

Luas area cakupan yang sama didapat dari perhitungan luas area dari macro BS berdasarkan jangkauan terjauhnya. Jangkauan sel terjauh yang digunakan adalah jangkauan yang dapat diterima dari arah uplink dan arah downlink macro BS.

3.2 Konsumsi Daya Base Station Berdasarkan Kebutuhan Area Spectral Efficiency

Bagian konsumsi daya dilihat dari peletakan BS berdasarkan kebutuhan ASE dan juga APC sehingga ditemukan jarak optimal peletakan BS. Jarak optimal intersite distance (ISD) BS adalah jarak ISD dimana target kebutuhan ASE terpenuhi dan tidak melebihi jarak ISD dimana APC bernilai minimal. Pada bagian ini, dilakukan perbandingan konsumsi daya BS pada 2 kondisi user, yaitu non busy hour (normal) dan busy hour melalui simulasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Konsumsi Daya Base Station

Dalam tabel 3 diperlihatkan hasil perhitungan konsumsi daya BS dengan cakupan yang sama.

Tabel 3. Konsumsi Daya Base Station

BS	Jangkauan maksimal per BS(m)	Transmitted Power per BS		Konsumsi daya per BS (watt)	Total konsumsi daya (watt)
		dBm	Watt		
3 Macro	569,49	36,917	4,916	523,5016	1570,5048
12 Micro	284	40,413	10,99	157,6616	1891,9392

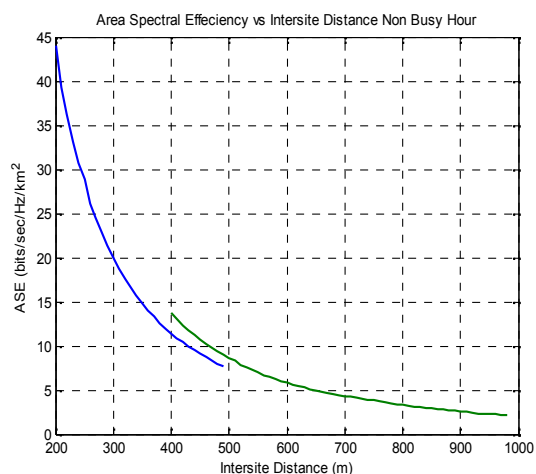
Tabel 3 memperlihatkan bahwa, *transmitted power* BS mempengaruhi konsumsi daya BS. Dapat diketahui bahwa konsumsi daya per BS pada *micro* BS lebih rendah dibandingkan konsumsi daya per BS pada *macro* BS. Namun konsumsi daya total untuk penggunaan 3 *macro* BS untuk menjangkau luas area yang sama lebih efisien dengan persentase sebesar 16,98%, dibandingkan penggunaan 12 *micro* BS pada kondisi beban atau penggunaan energi maksimal ($load=1$).

Disisi lain, jika memperhitungkan jumlah *user* yang dilayani atau beban yang terjadi pada *micro* BS, maka akan mempengaruhi *load micro* BS dan berpengaruh terhadap konsumsi energi *micro* BS.

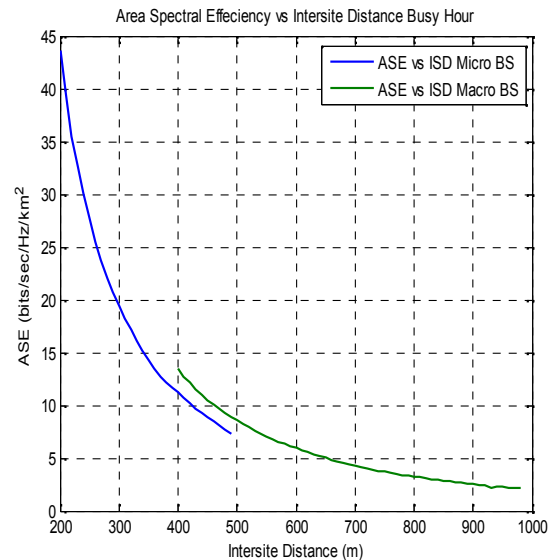
Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai dari *transmitted power* BS untuk mencapai jangkauan tertentu antara lain adalah tinggi antenna BS maupun *gain* dari antenna yang digunakan.

4.2 Analisis Hasil Area Spectral Efficiency

Gambar 2 berikut adalah hasil simulasi perbandingan ASE rata-rata *macro* BS dan *micro* BS pada kondisi *non busy hour* dan *busy hour* untuk tiap BS. Dalam simulasi, digunakan 3 *macro* BS dan 12 *micro* BS. *Inter site distance* maksimum yang digunakan untuk *macro* BS dan *micro* BS adalah ISD berdasarkan perhitungan yaitu *macro* BS adalah 986 m dan *micro* BS adalah 491 m.



Gambar 2. Area Spectral Efficiency vs Intersite Distance Non Busy Hour



Gambar 3. Area Spectral Efficiency vs Intersite Distance Busy Hour

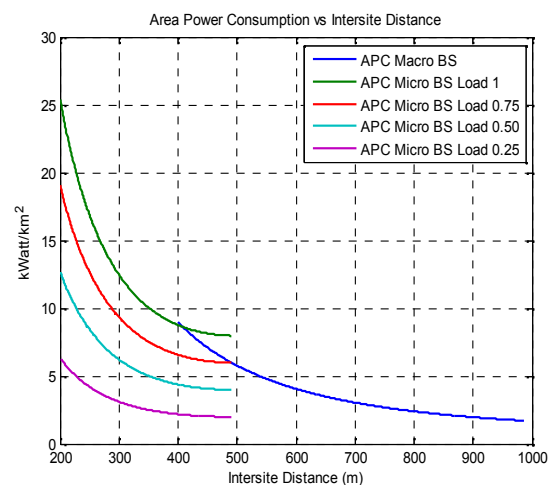
Dari analisis hasil simulasi pada gambar 2 dan gambar 3 diperoleh bahwa, *intersite distance* mempengaruhi ASE. Semakin dekat *intersite distance* BS, semakin tinggi pula ASE yang diperoleh.

Pada ISD tertentu, ASE dari *macro* BS lebih baik dibandingkan *micro* BS. Itu disebabkan karena *gain macro* BS yang lebih tinggi serta interferensi antar BS lebih rendah dibandingkan *micro* BS yang membuat *signal to noise ratio* pada *macro* BS lebih baik dibandingkan *micro* BS.

Area spectral efficiency pada kondisi *non busy hour* lebih tinggi dibandingkan kondisi *busy hour* pada jarak *intersite distance* yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan jumlah *user* akan mengurangi *spectral efficiency* yang terjadi.

4.3 Analisis Hasil Area Power Consumption

Berikut ini adalah hasil perbandingan *area power consumption macro base station* dan *micro base station* dengan berbagai kondisi *load*.



Gambar 4. Area Power Consumption vs Intersite Distance

Dari hasil simulasi pada gambar 4 diperoleh bahwa, *intersite distance* mempengaruhi *area power consumption* BS. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa bagaimana beban atau *load* mempengaruhi *area power consumption* pada *micro* BS.

4.4 Analisis Konsumsi Energi sesuai dengan Target Area Spectral Efficiency

Berikut ini adalah tabel hasil simulasi konsumsi daya *base station* berdasarkan target *area spectral efficiency* (ASE) pada kondisi *non busy hour* dan pada kondisi *busy hour*.

Tabel 4. Konsumsi energi pada target area spectral efficiency 7, 8, 9, 10, 11 dan 12 bits/s/Hz/km² non busy hours

Target ASE(bits/s/Hz/km ²)	Tipe Deployment	ISD Optimal Dimana ASE Tercapai (m)	APC pada jarak optimal ISD (Kwatts/Km ²)	% Efisiensi Energi
7	Macro	577	4,382	-
	Micro	526	2,003	54,29
8	Macro	538	5,015	-
	Micro	492	1,994	60,23
9	Macro	500	5,784	-
	Micro	463	2,016	65,14
10	Macro	474	6,421	-
	Micro	439	2,06	67,91
11	Macro	454	6,989	-
	Micro	419	2,117	69,70
12	Macro	435	7,603	-
	Micro	401	2,188	71,22

Dari tabel 4 tersebut, dapat diketahui bahwa penggunaan energi *micro* BS lebih efisien untuk target ASE 7 bits/s/Hz/km² hingga 12 bits/s/Hz/km² pada kondisi *nonbusy hour*.

Tabel 5. Konsumsi energi pada target area spectral efficiency 6, 7, 8, 9, 10, 11 dan 12 bits/s/Hz/km² busy hours

Target ASE(bits/s/Hz/km ²)	Tipe Deployment	ISD Optimal Dimana ASE Tercapai (m)	APC pada jarak optimal ISD (Kwatts/Km ²)	% Efisiensi Energi
6	Macro	578	4,367	-
	Micro	548	4,052	7,21
7	Macro	548	4,839	-
	Micro	504	3,987	17,60
8	Macro	500	5,784	-
	Micro	470	4,016	30,56
9	Macro	468	6,584	-
	Micro	445	4,094	37,47
10	Macro	459	6,84	-
	Micro	423	4,209	38,46
11	Macro	435	7,603	-
	Micro	402	4,367	42,56
12	Macro	415	8,344	-
	Micro	385	4,538	45,61

Dari tabel 5 tersebut, dapat diketahui bahwa, penggunaan energi *micro* BS lebih efisien untuk

target *area spectral efficiency* 6 bits/s/Hz/km² hingga 12 bits/s/Hz/km² pada kondisi *busy hour*.

5. KESIMPULAN

Dari analisis hasil simulasi efisiensi energi jaringan *homogeneous* WCDMA/3G pada lingkungan *indoor*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Transmitted power* yang dibutuhkan oleh sistem 3macro BS lebih kecil dibandingkan sistem 12micro BS.
2. Konsumsi daya atau kebutuhan energi per *base station* yang dibutuhkan pada sistem 12 *micro* BS lebih kecil yaitu 157,6616 watt dibandingkan konsumsi daya per BS yang dibutuhkan pada sistem 3 *macro* BS yaitu 523,5016 watt. Namun, Konsumsi daya atau kebutuhan energi total sistem 3 *macro* BS adalah 1570,5048 watt dimana lebih efisien dibandingkan konsumsi daya total 12 *micro* BS yaitu 1891,9392 Watt pada kondisi beban maksimal (*load*=1).
3. *Area spectral efficiency* pada kondisi *non busy hour* lebih tinggi dibandingkan kondisi *busy hour* pada jarak ISD yang sama. Ini disebabkan oleh penambahan jumlah user akan mengurangi *spectral efficiency*.
4. Dari hasil simulasi diketahui bahwa, *intersite distance* mempengaruhi *area power consumption* *macro* dan *micro* BS dan beban atau *load* mempengaruhi *area power consumption* pada *micro base station*.
5. Dari hasil simulasi diketahui bahwa, penggunaan energi *micro* BS lebih efisien untuk target ASE 7 bits/s/Hz/km² hingga 12 bits/s/Hz/km² pada kondisi *nonbusy hour*.
6. Dari hasil simulasi diketahui bahwa, penggunaan energi *micro* BS lebih efisien untuk target ASE 6 bits/s/Hz/km² hingga 12 bits/s/Hz/km² pada kondisi *busy hour*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Bhaumik. *Breathe to stay cool: Adjusting cell sizes to reduce energy consumption*.in Proc. ACM Mobicim, Special Workshop on Green Networking, New Delhi, India, 2010, pp. 41-46.
- [2] A. Amanna. *Metrics and Measurement Technologies for Green Communications*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2009.
- [3] A. Fehske. *The global footprint of mobile communication: The ecological and economic perspective*.IEEE Commun. Mag., Aug. 2011 vol. 49, pp. 55-62.
- [4] G. Fettweis and E. Zimmermann. *ICT energy consumption-trends and challenges*. Journal of The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC). 2008.

- [5] X. Weng *et al.*, “Energy-efficient cellular network planning under insufficient cellzooming,” in *Proc. 73rd Vehic. Technol. Conf.*, Budapest, Hungary, 2011, pp. 1-5.
- [6] Aslam, A.M. *Energy Efficient Analysis for WCDMA/3G Homogeneous and Heterogeneous Deployments in Indoor Environment. Thesis*: Tersedia di: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:506601/FULLTEXT01.pdf>
Diakses tanggal 8 Agustus 2013.
- [7] Tarigan, Esron. *Studi Perancangan Cakupan Sinyal Sistem WCDMA di Dalam Ruangan*. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara. Medan: 2007
- [8] Sukrama, I Made. *Perencanaan Coverage Sistem GSM dan UMTS Telkomsel Wilayah Kuta Selatan*. Tugas Akhir. Universitas Udayana. Denpasar:2012
- [9] Richter, Fehske, Marsch and Fettweis. *Energy Efficiency Aspects of Base Station Deployment Strategies for Cellular Networks*. Journal of Vodafone Stiftungslehrstuhl, Technische Universität Dresden Technische Universität Dresden.