

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 14 NOMOR 3

Desember 2018

Self-Organisation Network (SON) dengan Mekanisme Load Balancing

152-157

Ardian Ulvan, Khotibul Umam Fahmi, Melvi, dan Robert Bestak

JRE	Vol. 14	No. 3	Hal 145–220	Banda Aceh, Desember 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	-------------	------------------------------	--------------------------------------

Self-Organisation Network (SON) dengan Mekanisme Load Balancing

Ardian Ulvan¹, Khotibul Umam Fahmi¹, Melvi¹, dan Robert Bestak²

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl. S. Brodjonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145

²Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Electrical Engineering,
Czech Technical University in Prague
Technicka 2, Dejvice, Praha 6, 166 27, Czech Republic
e-mail: ardian.ulvan@eng.unila.ac.id

Abstrak—*Load balancing* adalah salah satu mekanisme yang digunakan pada *self-organisation network* (SON) untuk melakukan keseimbangan *load traffic* pada base station yang kelebihan beban dengan base station yang berdekatan dan *low-loaded*. *Load balancing* dilakukan melalui pengaturan parameter *handover* untuk mendapatkan keseimbangan trafik jaringan yang optimal. Pada artikel ini parameter yang diatur adalah kapasitas sel, yang sangat dipengaruhi oleh *bandwidth*, tipe modulasi, dan *access rate* yang digunakan *user*. Pengujian dilakukan dengan simulasi dan pengukuran test-bed jaringan. Hasil pengujian pada jaringan *Long Term Evolution Advanced* ditemukan fenomena semakin besar *bandwidth*, kapasitas sel akan semakin besar. Selain itu, semakin tinggi spesifikasi tipe modulasi yang digunakan, kapasitas sel juga akan semakin besar. Di lain pihak, semakin besar bit rate yang digunakan *user*, maka kapasitas sel akan semakin kecil. Analisa hasil perhitungan kapasitas sel ini menjadi dasar operasional prosedur *load balancing*. Sebuah algoritma proses *load balancing* dirancang untuk menjelaskan prosedur tersebut. Algoritma ini juga memperhitungkan analisis efek pingpong yang mungkin terjadi akibat keterlambatan proses *handover*.

Kata kunci: *load balancing, self-organization network, kapasitas sel, LTE/LTE-A, margin handover*

Abstract—*Load balancing* is one of the mechanism used in the self-organization network (SON) to balance the traffic at the overloaded base station with the adjacent low-loaded base station. *Load balancing* is done by adjusting the handover parameters (metric) to obtain the optimal traffic balance. In this work, the adjusted parameters are the capacity of the cell. Cell capacity is strongly influenced by the bandwidth, modulation type, and the bit rate used by the user. The performance of load balancing was tested by a simulation and network test-bed measurement. The testing results on the Long-Term Evolution Advanced network showed the greater the bandwidth the greater the capacity of the cell. Moreover, the larger type of modulation, the cell capacity will also be greater. On the other hand, the greater bit rate used by the user, then the cell capacity will decrease. The calculation analysis of cell capacity is taken as the basic operation for load balancing procedure. A load balancing process algorithm is introduced to describe the mentioned procedure. The algorithm also considers the ping-pong effect that might occur due to the delay on the handover process.

Keywords: *load balancing, self-organization network, cell's capacity, LTE/LTE-A, handover margin*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Proses maintenance dan optimasi *Base Station* (BS) biasanya dilakukan secara konvensional dan manual dengan jangka waktu yang lama, pada hari-hari tertentu dimana traffic komunikasi cenderung rendah, seperti pada hari libur. Pada jaringan nirkabel bergerak generasi ke 4 (4G) berbasis *Long-Term Evolution advanced* (LTE-A) telah terdapat fungsi *Self-Organisation Network* (SON) yang dapat digunakan untuk keperluan maintenance dan optimasi BS. Dengan SON, tuning parameter teknis dilakukan secara otomatis berdasarkan pengukuran periodik secara otomatis. Dalam LTE-A, konsep SON diperlukan sebagai feature tambahan untuk mendapatkan efisiensi jaringan.

Evolusi spesifikasi LTE dimulai oleh the *Third Generation Partnership Project* (3GPP) release 8 dan berlanjut pada release 10 yang bertujuan untuk memenuhi kinerja persyaratan *mobile broadband* yang semakin meningkat. Beberapa feature kunci dari release 8 meliputi: efisiensi spektral yang tinggi, latensi sangat rendah, dukungan *bandwidth variable*, arsitektur protokol yang sederhana, dan dukungan untuk operasi SON [1]. *Release 10* atau yang dikenal LTE-A adalah spesifikasi generasi keempat (4G) yang menyediakan peningkatan kecepatan data untuk mendukung jalannya layanan dan aplikasi bagi pengguna (100Mb/s untuk mobilitas tinggi dan 1 Gb/s untuk mobilitas rendah) [2].

Salah satu mekanisme yang digunakan dalam SON adalah teknik *load-balancing* (LB) yang memberikan

keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan. Jika ada BS yang bebannya over load, sebagian beban dapat dipindahkan ke BS lain yang masih memiliki kapasitas sel yang dapat melayani. Dengan demikian kinerja jaringan akan lebih optimal. LB dicapai dengan mengatur kontrol parameter jaringan sedemikian rupa sehingga sel-sel yang kelebihan beban (*over-loaded*) dapat mengalihkan beban tersebut kepada satu atau lebih BS yang berdekatan (*low-loaded*) [3]. Dengan demikian, beban pada sel awal menjadi berkurang dan *load traffic* di antara BS tersebut menjadi seimbang. Parameter yang digunakan untuk *load balancing* dalam penelitian ini adalah kapasitas sel. Dengan menghitung kapasitas sel akan diketahui beban yang ada pada sel. Melalui penelitian ini, SON dengan LB dapat menemukan *offset handover* yang optimal antara sel *overloaded* dan sel target yang *lowloaded* dapat menjadi solusi teknis bagi operator dalam merencanakan, mengoperasikan, dan me-maintain jaringan lebih optimal.

Beberapa kajian teknis tentang SON telah dilakukan di dalam beberapa penelitian sebelumnya. Sebuah algoritma *self-organisation network* diperkenalkan dan digunakan untuk mengurangi efek negatif yang terjadi dalam jaringan seperti *call dropping*, dan kegagalan *handover* [4]. Algoritma ini menggunakan kombinasi antara hysteresis terbaik dan waktu pemicu *handover* (*time to trigger*) sebagai status jaringan saat ini. Dalam penelitian ini diteliti efek algoritma *self-optimizing* pada pengaturan jaringan dengan skenario real. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pengaturan nilai statis dari parameter-parameter hysteresis dan *time to trigger* terjadi secara otomatis sebagai respon terhadap perubahan kinerja jaringan. Algoritma ini memperhitungkan bobot faktor yang diberikan oleh kebijakan operator untuk metrik-metrik kinerja yang berlainan, khususnya untuk rasio kegagalan *handover*, rasio *call dropping* dan rasio *ping pong handover*. Fitur terbaru ini menjadikan algoritma SON menjadi fleksibel dan sangat menarik bagi operator. Hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi algoritma berhasil meningkatkan kinerja sistem secara signifikan. Namun hasil saat ini masih terbatas pada skenario simulasi dari sebuah penggunaan realistik [4].

Dalam penelitian lainnya [5], algoritma *self-optimisation* telah digunakan untuk mengevaluasi kinerja jaringan yang membutuhkan beban sel sebagai input dan pengontrol parameter *handover*. Dalam makalah tersebut diperlihatkan perbandingan hasil dengan *setup* simulasi yang berbeda-beda. Misalnya: *setup* jaringan dasar (jaringan reguler), *grid* non-reguler dengan ukuran sel yang berbeda dan juga untuk *setup* trafik dengan kondisi yang realistik. Metode yang digunakan untuk estimasi setelah *handover* didasarkan pada prediksi *signal-to-interference noise ratio* (SINR) dan menggunakan pengukuran *User Equipment* (UE). Efisiensi algoritma LB diuji dalam sebuah simulasi jaringan, dimana situasi perubahan beban berlangsung secara dinamis. Keuntungan LB secara keseluruhan terlihat di semua skenario simulasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa jumlah rata-rata kegagalan koneksi dapat diminimalisasi

dengan LB. Keuntungan algoritma ini tergantung pada situasi beban lokal dan kapasitas sel-sel disekitarnya yang tersedia, dimana LB mendistribusikan beban dengan mengubah parameter *handover*. Jika kapasitas di sekitar tidak ada, parameter jaringan dan kinerja jaringan yang tersisa tidak berubah [5].

Dalam proyek penelitian SOCRATES [6]-[8] diperkenalkan penggunaan metode *self-organization*, yang terdiri dari *self-optimization*, *self-configuration*, dan *self-healing* sebagai sebuah konsep dalam otomatisasi akses perencanaan jaringan nirkabel, penyebarannya, dan optimasi jaringannya. *Self-organization* pada jaringan seluler dianggap sebagai pendekatan kunci untuk menurunkan *operational expenditure/capital expenditure* (OPEX/CAPEX) dan memungkinkan biaya pendukung yang efektif dari berbagai layanan dan aplikasi komunikasi seluler yang berkualitas tinggi dengan harga yang dapat diterima

Pada makalah lain [9] dan proyek penelitian FREEDOM [10] diuraikan bahwa dalam jaringan LTE-A, *base station* rumah atau disebut *Home eNodeB* (HeNB) akan digunakan secara masif di masa yang akan datang. Sebuah HeNB secara fisik akan diinstal oleh pelanggan dan besar kemungkinan secara fisik tidak dapat diakses oleh operator. Penggunaan HeNB yang diramalkan menjadi besar menjadikan mekanisme *self-optimization* menjadi sangat penting. Pada penelitian tersebut, interferensi HeNB dan cakupan serta mobilitas ke dan dari sel HeNB lainnya diidentifikasi. Pengukuran digunakan sebagai masukan bagi optimasi algoritma yang telah diidentifikasi tersebut. Sebuah metode untuk mempertimbangkan prioritas dari operator yang berbeda juga telah dikembangkan. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi efek dan keuntungan dari perubahan parameter kontrol yang diidentifikasi, dan berdasarkan pada hasil tersebut, algoritma untuk *self-organizing* dikembangkan.

Selain dari yang telah di-review disini, ada beberapa publikasi lainnya yang juga mengkaji mekanisme LB dan SON, namun tidak ditampilkan karena tingkat relevansinya yang rendah dengan topik yang sedang diteliti. Dalam artikel ini, dilakukan penelitian dan analisa parameter (*metrics*) untuk proses LB yang menggunakan konsep SON pada jaringan *mobile broadband* berbasis teknologi LTE-A. *Metric* yang diperhitungkan adalah tipe modulasi, bandwidth, dan kapasitas sel. Penelitian ini fokus pada tipe modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dengan beberapa *symbol rate*, karena memiliki unjuk kerja yang lebih baik dari tipe modulasi lainnya [1, 4-10] dalam hal bandwidth dan kapasitas sel. Selain itu, dalam penelitian ini juga ditentukan algoritma untuk proses *load balancing* yang dapat diimplementasikan dalam sistem.

II. METODE

A. Load balancing

Penggunaan LB dimaksudkan untuk memberikan keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan yang

menggunakan *platform* jaringan LTE/LTE-A, serta menggunakan fungsi SON. LB dicapai dengan mengatur parameter jaringan kontrol sedemikian rupa, sehingga beban (*user*) pada sel-sel yang *overloaded* dapat dipindahkan ke sel-sel *low-loaded* yang berdekatan. Dalam jaringan, fluktuasi beban tinggi terjadi dan biasanya membuat *over-dimensioning* jaringan selama tahap perencanaan. Dalam sebuah jaringan yang mengaktifkan SON, dengan algoritma LB yang diusulkan, SON akan memonitor jaringan dan bereaksi terhadap beban puncak, sehingga kinerja yang lebih baik dapat tercapai dengan mendistribusikan beban ke sel-sel di sekitarnya.

Algoritma LB yang diusulkan pada penelitian ini bertujuan untuk menemukan *offset handover* yang optimal antara sel yang *overloaded* dan sel target yang mungkin. Nilai *offset* yang dioptimalkan akan menjamin bahwa pengguna yang diserahkan kepada sel target tidak akan kembali ke sel asal, dan beban sel menjadi berkurang. Beban transfer selama LB tidak boleh melebihi kapasitas yang dilaporkan yang tersedia pada BS. Masalah ini harus dikontrol oleh mekanisme masuk dan pengontrol kemacetan dalam BS. Ketika mekanisme ini menolak permintaan *handover* LB, akan ada peningkatan yang signifikan pada sinyal *overhead* jika permintaan berulang [5]-[8].

B. Perhitungan kapasitas sel

Dalam penelitian ini, mekanisme *load balancing* ditentukan dengan pendekatan kapasitas sel. Sebelum diterapkan, maka sistem akan melakukan perhitungan untuk mengetahui kapasitas sel pada sebuah BS. Kapasitas sel dapat diketahui dari *bandwidth*, karena setiap *bandwidth* yang bisa digunakan pada LTE memiliki *resource block* (RB) yang berbeda-beda. Setiap 1 RB memiliki 12 sub carrier. 1 sub carrier memiliki 15 Ksps (*kilo symbol per second*) [11].

Selain RB, *bandwidth* pada LTE juga dapat dihitung melalui metode akses jamak yang digunakan, yang dalam hal ini menggunakan simbol *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA *symbol*), dimana 1 sub carrier memiliki 14 Ksps [12]. Selain itu, kapasitas sel juga dipengaruhi tipe modulasi yang digunakan. Setiap tipe modulasi memiliki jumlah bits yang berbeda. Secara numerik, perhitungan kapasitas BS dapat dilakukan dengan menggunakan simbol *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang menjadi basis utama teknologi akses pada LTE, sebagai berikut [12]:

$$n = \text{Jumlah sub carrier} \times \text{Tipe Modulasi} \\ = (\text{Jumlah RB} \times 12 \times \text{OFDMASymbols}) \times \\ \text{Bit rate Modulasi} \quad (1)$$

dimana n adalah kapasitas sel dalam satuan bit per detik (bps), dan RB adalah jumlah *resource block* yang tergantung dari besar *bandwidth* dari kanal OFDMA yang digunakan saat itu. Sebagai contoh, kanal dengan *bandwidth* sebesar 20 MHz mempunyai 100 RB. Setiap

RB dapat menyediakan 12 *subcarriers* secara *orthogonal*, sehingga dengan total 100 RB, akan terbentuk 1200 *subcarriers* dalam domain frekuensi [11], [12]. Bila digunakan dalam kondisi *cyclic prefix* normal, maka terdapat 14 simbol OFDMA dalam 1 mili detik *subframe*, sehingga *symbol rate* untuk modulasi dapat dihitung $1200 \times 14/0.0001 = 16.8$ Msps. Jika modulasi yang digunakan adalah 64 QAM, maka terdapat 6 bit per simbol. Dengan demikian total bit *rate* yang dihasilkan adalah 16.8 Msps \times 6 bit per simbol = 100.8 Mbps.

C. Algoritma load balancing

Proses pengalihan user dari BS sumber ke BS target dilakukan melalui proses *handover* (HO). Untuk mencari BS target yang memungkinkan untuk dilakukannya HO, diperlukan data nilai *handover margin* (HM) dari setiap BS target. Nilai HM, yang telah memperhitungkan semua efek, khususnya efek ping-pong, dimana *handover* yang berulang-ulang antara BS sumber dan target, dapat diperoleh dengan [13], [14], [15]:

$$HM(e, k) = n_e - n_k, \quad (2)$$

HM (e, k) adalah HM dari BS sumber ke BS target, n adalah jumlah user pada BS, kemudian e adalah BS sumber dan k adalah BS target.

Selain mencari nilai HM BS target, harus dilihat juga apakah spektrum frekuensi operasi BS target sesuai atau tidak. Jika nilai HM diketahui dan spektrum frekuensi operasi sesuai, maka BS tersebut bisa masuk dalam daftar BS potensial. Dari BS target potensial yang ada, dipilih BS target terbaik, yaitu yang memiliki nilai HM tertinggi.

Setelah didapatkan BS target terbaik, maka perlu direncanakan berapa besar beban yang bisa ditransfer untuk mencapai LB. Beban yang direncanakan untuk ditransfer dapat diketahui dengan:

$$HM(e, k) = 2n_0, \quad (3)$$

$$n_0 = (HM(e, k)) / 2, \quad (4)$$

n_0 adalah jumlah user yang direncanakan untuk mencapai LB.

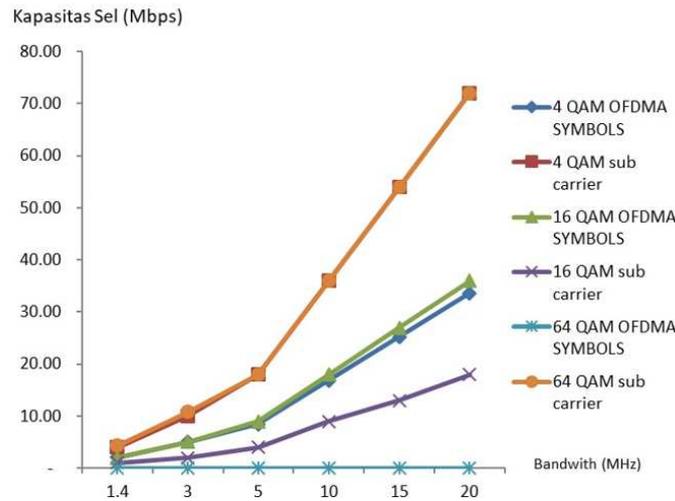
Setelah n_0 diketahui, maka dilakukan HO dari BS sumber ke BS target yang merupakan bagian dari operasi LB. Dalam proses HO bisa terjadi efek ping pong akibat adanya keterlambatan proses HO dan *user* di BS sumber dan BS target ada yang bertambah [14]. Sehingga LB akan terjadi jika:

$$HM(e, k) + HM(k, e) = 2n_0, \quad (5)$$

HM (k, e) adalah HM dari BS target ke BS sumber.

Algoritma yang digunakan untuk melakukan proses LB yaitu:

1. Mengumpulkan pengukuran nilai HM dari BS target potensial,
2. $HM(e, k) = n_e - n_k$



Gambar 1. Perbandingan kapasitas sel terhadap bandwidth

Tabel 1. Kapasitas sel berdasarkan perhitungan simbol OFDMA

NO.	BANDWIDTH (MHz)	RB	KAPASITAS SEL															
			4 QAM				16 QAM				64 QAM							
			n (Mbps)	\sum User A	\sum User B	\sum User C	\sum User D	n (Mbps)	\sum User A	\sum User B	\sum User C	\sum User D	n (Mbps)	\sum User A	\sum User B	\sum User C	\sum User D	
1	1.4	6	2.02	4	2	1	0	4.03	8	4	2	0	6.0	12	6	3	0	
2	3	15	5.04	10	5	2	0	10.08	20	10	5	0	15.1	30	15	7	0	
3	5	25	8.40	16	8	4	0	16.80	33	16	8	0	25.2	50	25	12	0	
4	10	50	16.80	33	16	8	0	33.60	67	33	16	0	50.4	100	50	25	0	
5	15	75	25.20	50	25	12	0	50.40	100	50	25	0	75.6	151	75	37	0	
6	20	100	33.60	67	33	16	0	67.20	134	67	33	0	100.8	201	100	50	1	

- Memilih BS target terbaik
- Memperkirakan n_0 , $n_0 = (HM(e,k))/2$
- Melakukan HO
- Selesai, jika $HM(e,k) + HM(k,e) = 2n_0$.

Berbeda dengan algoritma LB yang telah dikaji sebelumnya [4-10], algoritma ini menggunakan semua spesifikasi *metrics* intrinsik (modulasi, *bandwidth*, kapasitas sel) yang ada pada BS dan jaringan akses. Dengan demikian, proses *load balancing* dan SON dapat dilakukan lebih cepat. Selain itu, dalam penelitian ini, skenario *bit rate* pada *user* dibangun dengan menggunakan simulator Omnet++, namun pengukuran skenario jaringan *real* dilakukan dengan menggunakan *testbed* pada jaringan *experimental Research and Development Center (RDC) CTU-Vodafone-Ericsson*, di Praha, Republik Ceko.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

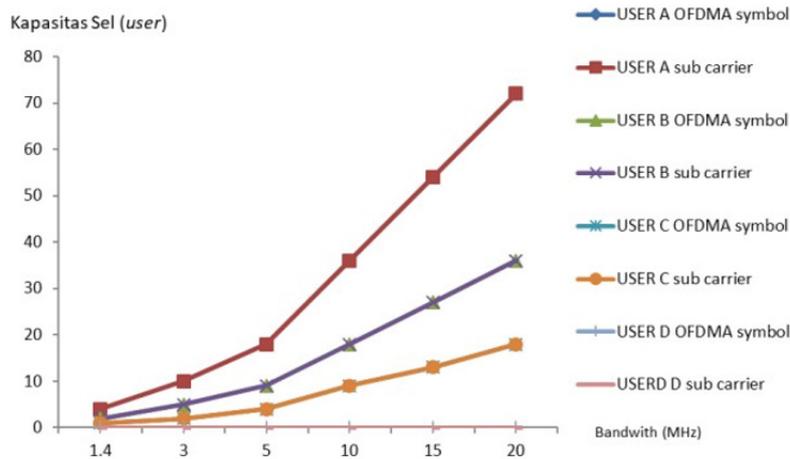
Dari persamaan (1), kapasitas sel dapat diketahui dari *bandwidth* yang digunakan pada BS, karena setiap *bandwidth* yang bisa digunakan pada LTE memiliki RB yang berbeda-beda. Selain itu, kapasitas sel juga dipengaruhi tipe modulasi QAM yang digunakan. Setiap tipe modulasi memiliki jumlah bits yang berbeda.

Pada penelitian ini, ada empat skenario yang dirancang berdasarkan kebutuhan *access rate* pada *user*. Skenario pertama (A) mengasumsikan setiap *user* menggunakan 0,5 Mbps. Skenario kedua (B) setiap *user* diasumsikan menggunakan 1 Mbps. Skenario yang ketiga (C), setiap

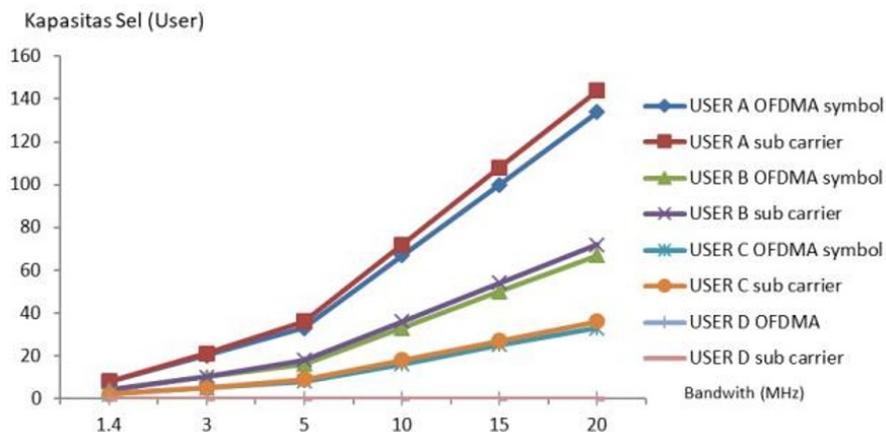
user diasumsikan menggunakan 2 Mbps, dan skenario yang terakhir (D), setiap *user* diasumsikan menggunakan 100 Mbps. Dengan persamaan-persamaan yang diberikan, maka kapasitas sel dapat disimulasikan dengan hasil seperti yang terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Dari simulasi dapat diketahui bahwa kapasitas sel sangat berhubungan dengan *bandwidth* pada jenis modulasi yang berbeda seperti tampak pada Gambar 1. Dari gambar terlihat bahwa kapasitas sel dengan menggunakan OFDMA *symbol* sedikit lebih besar dibandingkan dengan metode *sub-carrier*, meskipun perbedaan tidak signifikan. Selain itu terlihat bahwa kapasitas sel berbanding lurus dengan *bandwidth* dan tipe modulasi. Semakin besar *bandwidth*, maka kapasitas sel juga semakin besar. Secara teknis hal ini disebabkan karena pada sistem LTE besar *bandwidth* sangat tergantung dari lebar spektrum frekuensi yang digunakan [1]. Begitu juga dengan tipe modulasi, semakin besar tipe modulasi, maka *bit rate* akan semakin besar. Ketika *bit rate* semakin besar, maka kapasitas sel pun semakin besar. Namun demikian untuk keseluruhan *bandwidth*, saat kapasitas kanal (Mbps) di set maksimum, maka jumlah *user* yang bisa dilayani oleh sel tersebut akan menurun untuk modulasi dengan *symbol rate* yang semakin tinggi.

Dari Gambar 1 juga dapat terlihat bahwa penggunaan tipe modulasi yang berbeda, tetapi dengan tipe *bit rate* *user* yang sama, perbandingan antara jumlah *user* dengan *bandwidth* tetap berbanding lurus, seperti halnya dengan perbandingan kapasitas sel dengan *bandwidth*. Semakin besar kapasitas sel, maka jumlah *user*



Gambar 2. Perbandingan jumlah *user* dengan *bandwidth* pada modulasi 4 QAM



Gambar 3. Perbandingan jumlah *user* dengan *bandwidth* pada modulasi 16 QAM

Tabel 2. Kapasitas sel berdasarkan perhitungan *sub-carrier*

NO.	BANDWIDTH (MHz)	RB	KAPASITAS SEL														
			4 QAM				16 QAM				64 QAM						
			n (Mbps)	ΣUser A	ΣUser B	ΣUser C	ΣUser D	n (Mbps)	ΣUser A	ΣUser B	ΣUser C	ΣUser D	n (Mbps)	ΣUser A	ΣUser B	ΣUser C	ΣUser D
1	1.4	6	2.16	4	2	1	0	4.32	8	4	2	0	6.5	13	6	3	0
2	3	15	5.40	10	5	2	0	10.80	21	10	5	0	16.2	32	16	8	0
3	5	25	9.00	18	9	4	0	18.00	36	18	9	0	27.0	54	27	13	0
4	10	50	18.00	36	18	9	0	36.00	72	36	18	0	54.0	108	54	27	0
5	15	75	27.00	54	27	13	0	54.00	108	54	27	0	81.0	162	81	40	0
6	20	100	36.00	72	36	18	0	72.00	144	72	36	0	108.0	216	108	54	1

yang bisa dilayani pada sel tersebut juga akan semakin banyak. Namun fenomena yang berbeda ditemukan pada saat kapasitas kanal dengan *rate* yang tinggi (100 Mbps), user baru bisa dilayani pada saat *bandwidth* yang digunakan adalah 20 MHz. Pada saat *bandwidth* 1,4 MHz sampai 15 MHz kapasitas sel belum mencukupi untuk melayani, meski hanya satu user.

Dari hasil ini dapat diketahui bahwa penentuan *offset handover* untuk LB yang optimal dapat dilakukan bila target BS memiliki konfigurasi *bandwidth* dan *rate* kapasitas yang lebih tinggi, tapi modulasi dengan simbol *rate* yang lebih rendah dibandingkan dengan BS sumber.

Untuk lebih detail dan spesifik, dari hasil simulasi juga dapat dianalisa perbandingan antara jumlah *user* dengan *bandwidth* pada saat tipe bit rate user diatur berbeda, sedangkan tipe modulasi yang digunakan sama.

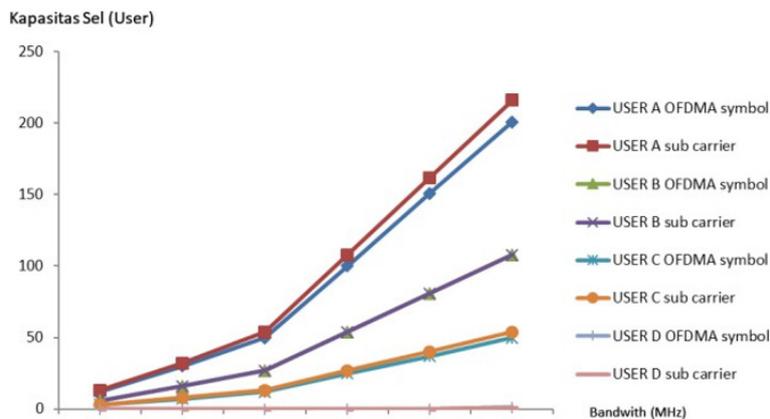
Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 4.

Dari Gambar 2–4 dapat diketahui bahwa pada tipe modulasi yang sama namun dengan *symbol rate user* yang berbeda, pola hubungan antara *bandwidth* dan kapasitas sel

cenderung sama. Jumlah user tetap berbanding lurus dengan *bandwidth*. Perbedaan kapasitas sel yang digunakan setiap jenis user sangat mempengaruhi jumlah sel yang bisa dilayani sel.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian ini dapat diketahui bahwa *self organizing network* (SON) pada jaringan LTE/LTE-A dapat diimplementasikan dengan mekanisme *load*



Gambar 4. Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada modulasi 64 QAM

balancing. Mekanisme *load balancing* dapat dilakukan dengan menentukan kapasitas sel pada *Base Station* sumber dan target, dengan memperhitungkan *bandwidth*, tipe modulasi, dan *symbol rate* yang digunakan setiap user. Semakin besar bandwidth yang digunakan, kapasitas sel semakin besar. Meskipun dalam pengujian ini digunakan *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*, namun karakteristiknya akan sama untuk tipe modulasi yang lain, semakin besar tipe modulasi yang digunakan, kapasitas sel juga akan semakin besar. Namun demikian, pengujian juga memperlihatkan pada *symbol rate orde tinggi*, kapasitas sel BS akan sangat tergantung dari besar alokasi bandwidth yang dikonfigurasi. Dengan demikian, kapasitas sel dapat digunakan sebagai parameter untuk skema *load balancing*. Dari sisi operator, penelitian ini dapat merekomendasikan bahwa untuk dapat menentukan *offset handover* yang optimal untuk *load balancing* maka *base station* target mesti memiliki konfigurasi *bandwidth* dan *rate kapasitas* yang lebih tinggi, dan *symbol rate* modulasi yang lebih rendah dibandingkan dengan *base station* sumber.

REFERENSI

- [1] 3GPP TS 36.300 v8.5.0 (2008-05), "Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 8).
- [2] 3GPP TS 36.305 v10.4.0 (2012-09), "Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in E-UTRAN (Release 10).
- [3] 3GPP TS 32.500 v10.0.0 (2010-06), "Technical Specification Group services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements (Release 10).
- [4] T. Jansen, et al., "Handover Parameter Optimization in LTE Self-Organizing Networks", IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall, (VTC 2010 - Fall), Ottawa, ON, Canada, September 2010. ISSN 1090-3038, E-ISBN 978-1-4244-3574-6, Print ISBN 978-1-4244-3573-9.
- [5] A. Lobinger, et al., "Load Balancing in Downlink LTE Self-Optimization Network", IEEE 71st Vehicular Technology Conference, (VTC 2010 - Spring), Taipei, Taiwan, Mei 2010. ISSN 1550-2252, E-ISBN 978-1-4244-2519-8, Print ISBN 978-1-4244-2518-1.
- [6] A. A. Atayero, et al., "3GPP Long Term Evolution: Architecture, Protocols and Interfaces", IJICT Journal, International Journal of Information and Communication Technology Research, Covenant University, Nigeria, November 2011. ISSN2223-4985,
- [7] L.C. Schmelz, et al., "Self-configuration, -optimisation and-healing in wireless networks", Wireless World Research Forum Meeting 20, Ottawa, Canada, April, 2008
- [8] K. Zetterberg, et al., "Self-optimisation of LTE home base stations.", COST 2100 TD(09)744, Joint Workshop COST 2100 SWG 3.1 & FP7-ICT-SOCRATES, Braunschweig, Jerman, Februari, 2009.
- [9] A. Ulvan, D. Ribeiro, R. Bestak, "Multiple Cell Partitions for Increasing the CDMA-Based Cell Capacity", in: Mammeri Z. (eds) Wireless and Mobile Networking. IFIP International Federation for Information Processing, Vol 284. Springer, Boston, MA, 2008.
- [10] J. Vidal, et al., "FREEDOM: Femtocell-based network enhancement by interference management and coordination of information for seamless connectivity", ICT-EU STREP FP-7, 2010.
- [11] H. Holma, A. Toskala, "LTE-Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced", Wiley, 2012.
- [12] C. Johnson, "Long Term Evolution IN BULLETS, 2nd Edition". Publisher: Create Space. Pages: 592. Published: 06-07-2012. ISBN- 10: 1478166177. ISBN-13: 9781478166177.
- [13] R. Nasri, Z. Altman, "Handover Adaption for Dynamic Load Balancing in 3GPP Long Term Evolution System", In *proceeding of: The Fifth International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, 3-5 December 2007, Jakarta, Indonesia.
- [14] . Ulvan, R. Bestak, M. Ulvan, "The study of handover procedure in LTE-based femtocell network", *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*, 2010 Third Joint IFIP, E-ISBN 978-1-4244- 8429-4. Print ISBN 978-1-4244-8431-7. INSPEC Accession Number 11727132
- [15] A. Ulvan, R. Bestak, M. Ulvan, "Handover Procedure and Decision Strategy in LTE-based Femtocell Network", *Telecommunication Systems Journal*, Springer US Vol. 52, Issue 4, pp. 2733-2748, April 2013. ISSN 1018-4864 (print), 1572-9451 (online).

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

