

Self-Organisation Network (SON) Dengan Mekanisme Mobility Load Balancing

Khotibul Umam Fahmi, Ardian Ulvan[#], Melvi

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

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* (BS) yang kelebihan beban dengan BS yang berdekatan dan *low-loaded*. *Load balancing* dilakukan melalui pengaturan parameter (*metric*) *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*. Semakin besar *bandwidth*, kapasitas sel akan semakin besar. Semakin tinggi spesifikasi tipe modulasi yang digunakan, kapasitas sel juga akan semakin besar. Dilain 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*.

Abstract

Load Balancing is one of the mechanisms 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 parameter is the capacity of the cell. Cell capacity is strongly influenced by the bandwidth, modulation type, and the bit rate used by user. The greater the bandwidth the greater the capacity of the cell. The larger type of modulation used, the cell capacity will also be greater. On the other hand, the greater bit rate used by 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 delay on handover process.

Key words: Load Balancing; Self-Organization Network; Cell's Capacity; LTE; Handover Margin.

1. Pendahuluan

Proses *maintenance* dan optimasi *Base Station* (BS) biasanya dilakukan secara manual konvensional dengan jangka waktu yang lama, pada hari-hari tertentu, seperti hari libur atau hari Minggu. Pada saat ini sedang berkembang sistem *Long-Term Evolution* (LTE) yang memperkenalkan fungsi *Self-Organisation Network* (SON) yang *tuning* parameter teknisnya dilakukan secara otomatis berdasarkan pengukuran periodik secara otomatis pula. Dalam LTE, konsep SON diperlukan sebagai *feature*

tambahan untuk mendapatkan efisiensi jaringan.

Evolusi 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* variabel, arsitektur protokol yang sederhana, dan dukungan untuk operasi SON [1]. *Release 10* atau yang dikenal LTE Advanced adalah spesifikasi generasi keempat (4G)

[#] Penulis korespondensi

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].

Dalam LTE, konsep SON diperlukan sebagai feature tambahan untuk mendapatkan efisiensi jaringan. Salah satu mekanisme yang digunakan dalam SON adalah teknik Load-Balancing (LB) yang memberikan keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan. Karena dengan LB, jika ada BS yang bebannya over load, sebagian beban dapat dipindahkan ke BS lain masih memiliki kapasitas sel yang dapat melayani. Sehingga kinerja jaringan akan lebih optimal. LB dicapai dengan mengatur kontrol parameter jaringan sedemikian rupa sehingga sel-sel yang kelebihan beban (over-load) dapat mengalihkan beban tersebut kepada satu atau lebih BS yang berdekatan (low-loaded) [3].

Salah satu mekanisme yang dapat digunakan dalam SON adalah teknik *Load-Balancing* (LB) yang memberikan keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan. LB dicapai dengan mengatur kontrol parameter jaringan sedemikian rupa sehingga sel-sel yang kelebihan beban (*over-load*) dapat mengalihkan beban tersebut kepada satu atau lebih BS yang berdekatan dan dengan beban yang rendah (low-loaded). Sehingga beban pada sel awal berkurang dan *load traffic* di antara BS tersebut menjadi seimbang.

2. State of the Art

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, telah dijelaskan bahwa algoritma *self-organisation network* dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja jaringan secara keseluruhan dan mengurangi efek negatif (misalnya: *call dropping*, kegagalan *handover*) [4]. Algoritma ini menggunakan kombinasi antara hysteresis terbaik dan waktu pemicu *handover* (*time to trigger*) sebagai status jaringan saat ini. Pada algoritma 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 terbatas pada skenario simulasi penggunaan realistik dan skenario simulasi [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 simulasi jaringan sintetis, dimana situasi perubahan beban berlangsung secara dinamis. Keuntungan LB secara keseluruhan terlihat di semua skenario simulasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa jumlah rata-rata kepuasan pengguna dapat ditingkatkan 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] diperkenalkan penggunaan metode *Self-organization*, yang terdiri dari (*Self-optimization*, *Self-configuration*, dan *Self-healing*) sebagai konsep yang menjanjikan 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 [7] proyek SOCRATES menjelaskan bahwa dalam LTE penggunaan *base station* (BS) di rumah atau disebut *Home eNodeB* akan digunakan di masa yang akan datang. Sebuah eNodeB rumah secara fisik akan diinstal oleh pelanggan dan mungkin secara fisik tidak dapat diakses oleh operator. Penggunaan eNodeB yang diramalkan menjadi besar menjadikan mekanisme *Self-Optimization* menjadi sangat penting. Pada penelitian ini, interferensi eNodeB rumah dan cakupan serta mobilitas ke dan dari sel eNodeB rumah 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-Optimalization akan dikembangkan [7].

Selain dari yang telah dibahas disini, ada beberapa publikasi lainnya yang juga mengkaji mekanisme *load balancing* dan SON, namun tidak dikaji karena tingkat relevansinya yang rendah dengan topik yang sedang diteliti. Dalam makalah ini, dilakukan penelitian dan analisa parameter (*metrics*) untuk proses *load balancing* yang menggunakan konsep SON pada sistem nirkabel broadband berbasis teknologi LTE. Selain itu, dalam penelitian ini kami juga menentukan algoritma untuk proses *load balancing*.

3. Load Balancing

Penggunaan LB dimaksudkan untuk memberikan keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan yang menggunakan platform jaringan LTE, serta menggunakan fungsi SON. LB dicapai dengan mengatur parameter jaringan kontrol sedemikian rupa, sehingga sel-sel yang kelebihan (*overloaded*) dapat dipindahkan ke sel-sel *lowloaded* yang berdekatan. Dalam jaringan, fluktuasi beban tinggi terjadi dan biasanya membuat *overdimensioning* 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 disekitarnya [6].

Algoritma LB 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 sumber sel 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 LB *handover*, akan ada peningkatan yang signifikan pada sinyal *overhead* jika permintaan berulang [5].

4. 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. 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 [8]:

$$\begin{aligned} n &= \text{Jumlah sub carrier} \times \text{Tipe Modulasi} \quad (1) \\ &= (\text{Jumlah RB} \times 12 \times \text{OFDMA Symbols}) \times \\ &\quad \text{Bit rate Modulasi} \end{aligned}$$

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, dengan kanal dengan bandwidth sebesar 20 MHz mempunyai 100 RB. Setiap RB dapat menyediakan 12 *subcarrier* secara orthogonal, sehingga dengan total 100 RB, akan terbentuk 1200 *subcarriers* dalam domain frekuensi. 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 symbol = 100.8 Mbps.

5. Hasil dan Pembahasan

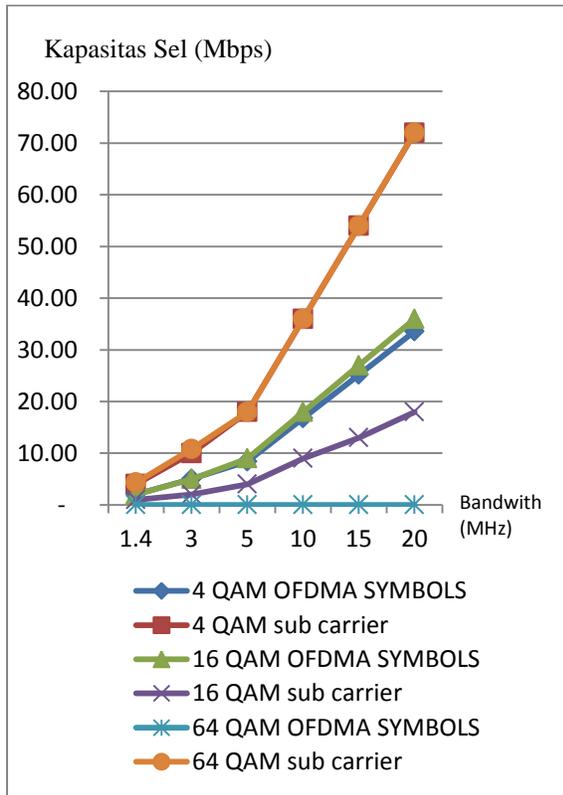
Tujuan *Load Balancing* adalah menemukan *off-set handover* yang optimal antara sel *overloaded* dan sel target yang *lowloaded*. Parameter yang digunakan untuk *Load Balancing* dalam penelitian ini adalah kapasitas sel. Dengan menghitung kapasitas sel akan diketahui beban yang ada pada sel.

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 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 (bite per sekon). 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.

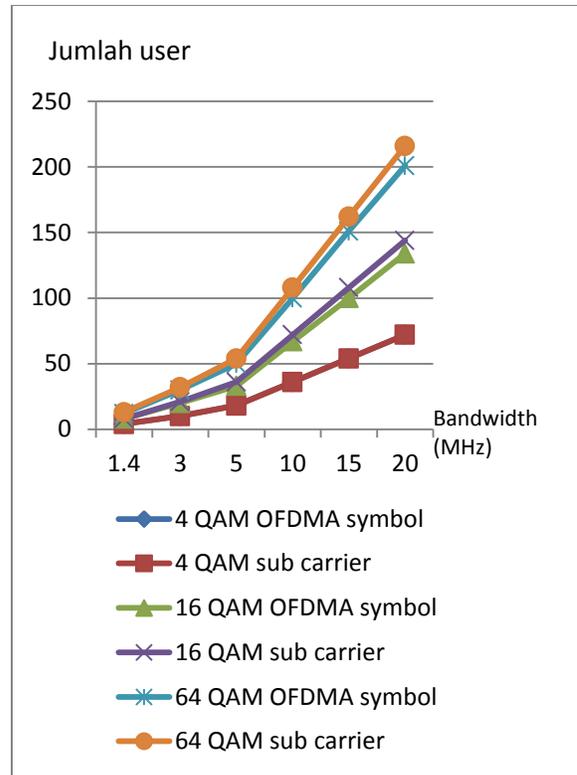
Dari perhitungan dapat dilihat perbandingan kapasitas sel dengan bandwidth pada jenis modulasi yang berbeda seperti tampak pada Gambar 1.



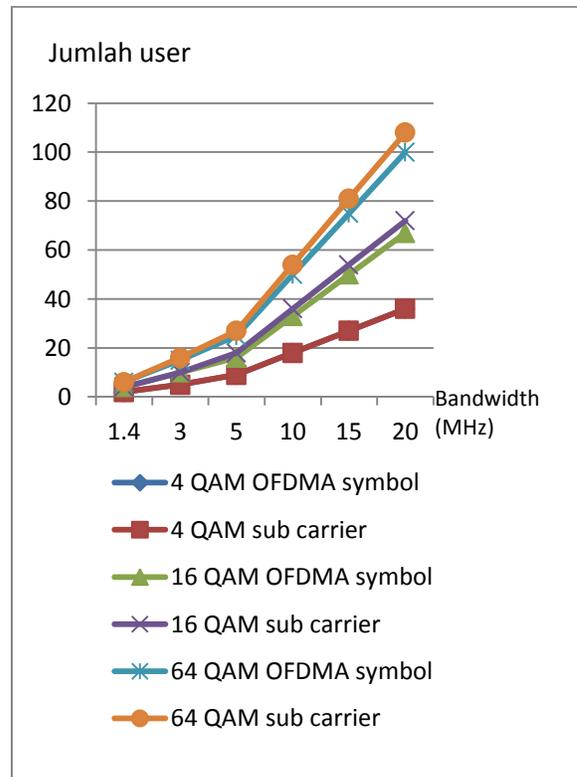
Gambar 1. Perbandingan kapasitas sel dengan bandwidth.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa kapasitas sel menggunakan OFDMA symbol dan *sub carrier* memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Selain itu terlihat bahwa kapasitas sel berbanding lurus dengan bandwidth dan tipe modulasi. Semakin besar bandwidth, maka kapasitas sel juga semakin besar. Hal ini karena semakin besar bandwidth, maka lebar spektrum frekuensi yang bisa digunakan juga semakin besar. 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.

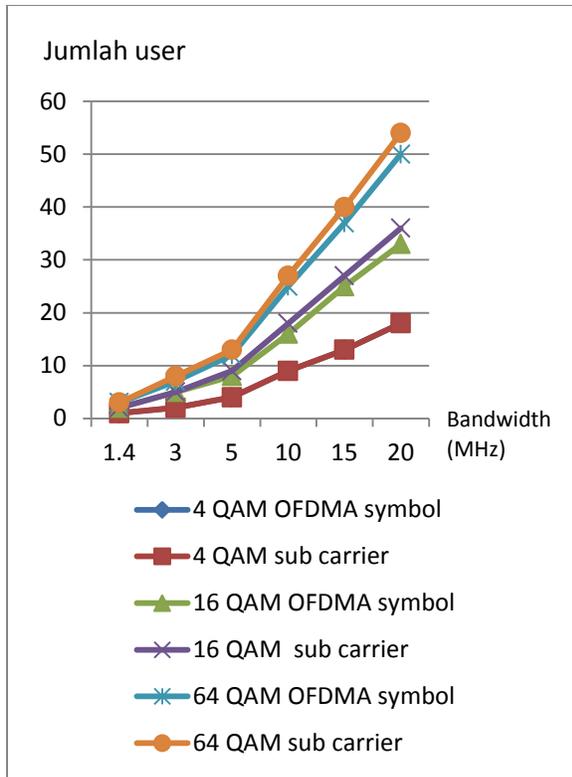
Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 juga dapat diketahui perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada tipe modulasi yang berbeda, tetapi dengan tipe user sama. Perbandingan ini dapat dilihat melalui Grafik 4.2 sampai Grafik 4.5.



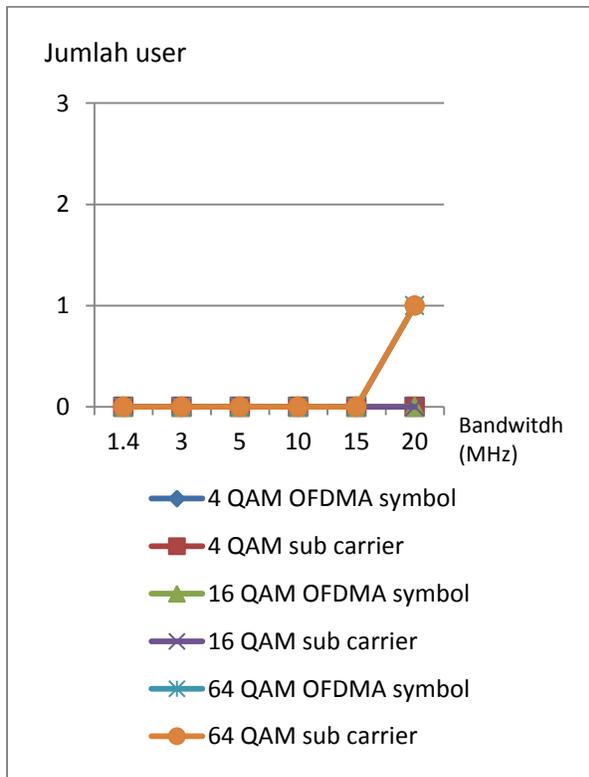
Grafik 4.2 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada jenis User A



Grafik 4.3 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada jenis User B



Grafik 4.4 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada jenis User C

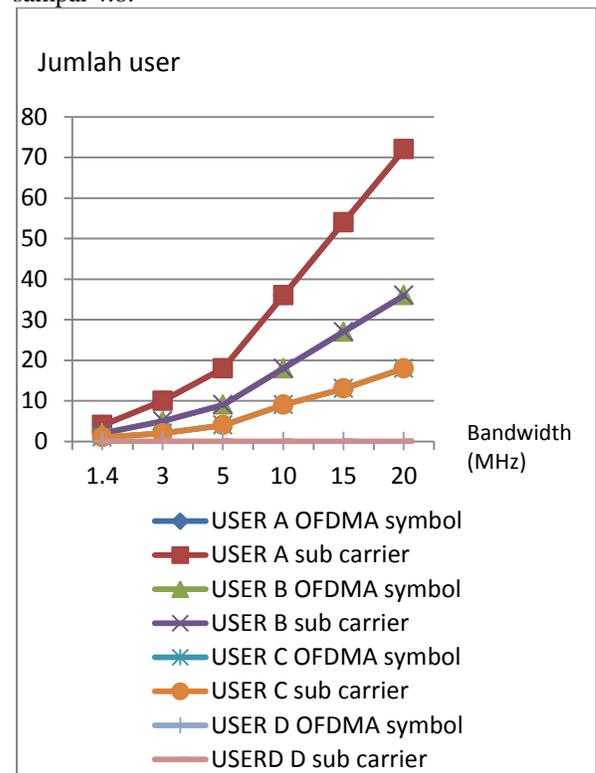


Grafik 4.5 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada jenis User D

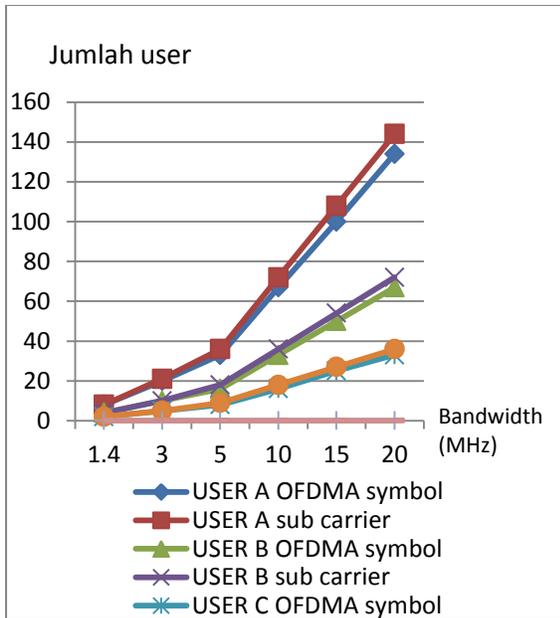
Dari Grafik 4.2 sampai 4.4 terlihat bahwa dengan menggunakan jenis modulasi yang berbeda, tetapi jenis user sama, perbandingan antara jumlah user dengan bandwidth tetap berbanding lurus. Sama dengan perbandingan kapasitas sel dengan bandwidth. Semakin besar kapasitas sel, maka jumlah user yang bisa dilayani pada sel tersebut juga akan semakin banyak.

Pada grafik 4.5 terlihat bahwa 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 satu user.

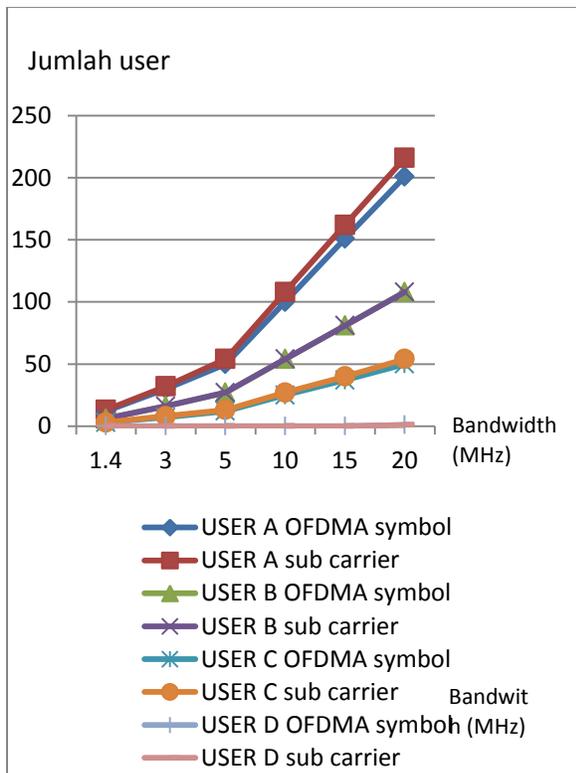
Dari tabel 4.2 dan 4.3 juga dapat mengetahui perbandingan antara jumlah user dengan bandwidth pada saat jenis user berbeda (User A, User B, User C, dan User D) dan tipe modulasi yang digunakan sama. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada grafik 4.6 sampai 4.8.



Grafik 4.6 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada modulasi 4 QAM



Grafik 4.7 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada modulasi 16 QAM



Grafik 4.8 Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada modulasi 64 QAM

Dari grafik 4.6 sampai 4.8 dapat diketahui bahwa dengan jenis user yang berbeda, tetapi tipe modulasi sama, jumlah user tetap berbanding lurus dengan bandwidth. Tetapi perbedaan jumlah user

pada setiap tipe user cukup signifikan di setiap tipe modulasi. Perbedaan kapasitas sel yang digunakan setiap jenis user sangat mempengaruhi jumlah sel yang bisa dilayani sel.

A. ALGORITMA LOAD BALANCING

Load Balancing (LB) dicapai dengan menyerahkan user dari BS yang kelebihan beban ke BS yang berdekatan dan dapat melayani beban tambahan. Proses penyerahan user dari BS sumber ke BS target dilakukan melalui proses *handover* (HO). Untuk mencari BS target yang memungkinkan untuk melakukan HO, diperlakukan data nilai *Handover Margin* (HM) dari setiap BS target. HM dapat diperoleh dengan [10]:

$$HM(e, k) = n_e - n_k \quad (4.1)$$

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 BTS target, harus dilihat juga apakah *spektrum frekuensi operasi* BTS target sesuai atau tidak. Jika nilai HM diketahui dan *spektrum frekuensi operasi* sesuai, maka BTS 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 [10]:

$$HM(e, k) = 2n_0 \quad (4.2)$$

$$n_0 = \frac{1}{2} HM(e, k) \quad (4.3)$$

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 [10]. Sehingga LB akan terjadi jika:

$$HM(e, k) + HM(k, e) = 2n_0 \quad (4.4)$$

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 BTS target potensial, $HM(e, k) = n_e - n_k$
2. Memilih BTS target terbaik
3. Memperkirakan $n_0, n_0 = \frac{1}{2} HM(e, k)$
4. Melakukan HO
5. Selesai, jika $HM(e, k) + HM(k, e) = 2n_0$

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa dari penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal mengenai hasil dari pengerjaan tugas akhir ini, yaitu :

1. Kapasitas sel dalam sebuah BS dipengaruhi oleh bandwidth, tipe modulasi, dan *bit rate* yang digunakan setiap user. Semakin besar bandwidth yang digunakan, kapasitas sel semakin besar. Semakin besar tipe modulasi yang digunakan, kapasitas sel juga akan semakin besar. Tetapi jika *bit rate* yang digunakan semakin besar, maka kapasitas sel BS akan semakin kecil. Hal ini dapat dilihat pada Grafik 4.1 sampai Grafik 4.8.
2. Kapasitas sel dapat digunakan sebagai parameter untuk skema *Load Balancing*. *Load Balancing* sangat bergantung pada proses *handover* dari BS sumber ke BS target. Untuk mencapai *Load Balancing* perlu direncanakan beban yang ditransfer untuk mencapai *Load Balancing* (n_0) menggunakan Persamaan 4.3. Namun pada proses *Handover*, bisa terjadi adanya *ping-pong handover*. Sehingga *Load Balancing* akan terjadi jika $HM(e, k) + HM(k, e) = 2n_0$.

DAFTAR PUSTAKA

- [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] Jansen, T., 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.
- [4] Lobinger, A., 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.
- [5] Atayero, A.A., 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,
- [6] L.C. Schmelz, et.al., "Self-configuration, -optimisation and-healing in wireless networks", Wireless World Research Forum Meeting 20, Ottawa, Canada, April, 2008
- [7] 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.
- [6] [http://www.3gpp.org/Technologies/Keywords-Acronyms/LTE_Nohrborg, M.,](http://www.3gpp.org/Technologies/Keywords-Acronyms/LTE_Nohrborg_M_) "LTE Overview". Diakses 25-07-2012.
- [7] "Self Organizing Networks - NEC's proposals for next generation radionetwork management," White Paper . NEC Corporation. Februari. 2009.
- [8] Johnson, C., "Long Term Evolution IN BULLETS, 2nd Editon". Publisher: CreateSpace. Pages: 592. Published: 06-07-2012. ISBN-10: 1478166177. ISBN-13: 9781478166177. Diakses: 10-09-2013.
- [http://www.lte-bullets.com/LTE in bullets-DL Bil Rates.pdf](http://www.lte-bullets.com/LTE_in_bullets-DL_Bil_Rates.pdf). Johnson, C., "Long Term Evolution IN BULLETS, 2nd Editon". Publisher : CreateSpace. Pages: 592. Published: 06-07-2012. ISBN-10: 1478166177. ISBN-13: 9781478166177. Diakses: 10-09-2013.
- [9] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-ofdm-ofdma-scdfma.php>. Poole, I., "LTE OFDM, OFDMA and SC-FDMA". Diakses: 10-09-2013.
- [10] Nasri, R., et.al., "Handover Adaption for Dynamic Load Balancing in 3GPP Long Term Evolution System", In proceeding of: MoMM'2007 - The Fifth International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia, 3-5 December 2007, Jakarta, Indonesia
- [11] Ulvan, A., et.al., "Handover Procedure and Decision Strategy in LTE-based Femtocell Network", Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2010 Third Joint IFIP, Department of Telecommunication Engineering Czech Technical University in Prague Technicka 2, 166 27, Praha 6, Czech Republic. Date of Conference: 13-15 Oct 2010. E-ISBN 978-1-4244-8429-4. Print ISBN 978-1-4244-8431-7. INSPEC Accession Number 11727132.

