

ANALISIS KINERJA *HANDOVER* PADA JARINGAN KOMUNIKASI SELULER UMTS MENGGUNAKAN OPNET

Muhammad Wildan Aula Sabiq^{*)}, Imam Santoso, Ajub Ajulian Zahra

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} *Email: mwildan.elektro09@gmail.com*

Abstrak

Dengan bertambahnya jumlah pelanggan maka kebutuhan komunikasi meningkat dan mobilitas pengguna pada jaringan komunikasi seluler menuntut adanya kontinuitas layanan. Dalam hal ini *handover* merupakan bagian mendasar yang mendukung mobilitas pengguna. *Handover* bertujuan untuk menyediakan layanan mobile secara kontinyu kepada pengguna yang bergerak hingga melampaui jangkauan suatu sel. Oleh karena itu faktor *handover* menjadi sangat riskan dalam menjaga kontinuitas layanan. Adapun layanan data multimedia menjadi satu hal yang harus diprioritaskan karena pada layanan tersebut membutuhkan parameter Quality of Service (QoS) yang bagus pula. Pada penelitian ini dirancang suatu simulasi kinerja HHO (Hard Handover) dan SHO (Soft Handover) pada jaringan UMTS. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software OPNET Modeler 14.5. Pada simulasi dibuat jaringan UMTS multisel dengan jumlah 7 buah sel. Adapun trafik yang dianalisis merupakan layanan aplikasi UMTS berupa FTP, web browsing, video conferencing, dan voice. Dilakukan dua buah skenario simulasi dengan kondisi HHO dan SHO dengan variasi jumlah pengguna layanan. Kinerja aplikasi dirancang sesuai QoS (Quality of Service) masing-masing. Selanjutnya hasil kinerja jaringan UMTS untuk setiap aplikasi dianalisis menurut parameter throughput, delay, dan packet loss. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa pada QoS 0 dan QoS 3 hasil terbaik diperoleh saat SHO, sedangkan QoS 1 dan QoS 2 hasil terbaik diperoleh saat HHO.

Kata kunci : 3G, UMTS, Handover, QoS, HHO, SHO

Abstract

By the increasing number of subscribers, the need of communication is increasing and user mobility in cellular communication networks demands the continuity of service. In this case, *handover* is a fundamental part that support user mobility. *Handover* aims to provide continuous mobile services for users moving across its range of a cell. Therefore, *handovers* become very risky factor in maintaining service continuity. As for Multimedia data services into one of the things that should be prioritized because the parameters of the service requires good Quality of Service (QoS) too. A simulation of HHO (Hard Handover) and SHO (Soft Handover) performance in UMTS network was designed. Simulations were carried out using OPNET Modeler 14.5 software. The simulation was made multicell, with 7 UMTS cell. The analyzed traffics were UMTS application services such as FTP, web browsing, video conferencing, and voice. Two simulated scenarios were conducted with a variety of service user number variation. Application performance was designed according to each QoS (Quality of Service) class. Furthermore, the UMTS network performance for each application was analyzed according to the throughput, delay, and packet loss parameter. Based on simulation result, we can conclude that the best results of QoS 0 and QoS 3 are obtained when the SHO, while the best results of QoS 1 and QoS 2 are obtained when the HHO.

Keywords: 3G, UMTS, Handover, QoS, HHO, SHO

1. Pendahuluan

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication system*) merupakan teknologi jaringan komunikasi seluler generasi ke-3 yang menyediakan layanan kecepatan tinggi berupa suara dan data sehingga memungkinkan pelanggan melakukan transmisi data dalam ukuran besar dengan

kecepatan yang lebih tinggi dalam jangkauan sinyal yang cukup luas dengan jumlah pelanggan yang lebih besar^[2]. Dengan bertambahnya jumlah pelanggan maka kebutuhan komunikasi meningkat dan mobilitas pengguna pada jaringan komunikasi seluler menuntut adanya kontinuitas layanan. Dalam hal ini *handover* merupakan bagian mendasar yang mendukung mobilitas pengguna.

Handover bertujuan untuk menyediakan layanan *mobile* secara kontinyu kepada pengguna yang bergerak hingga melampaui jangkauan suatu sel. Oleh karena itu faktor *handover* menjadi sangat riskan dalam menjaga kontinuitas layanan. Adapun layanan data multimedia menjadi satu hal yang harus diprioritaskan karena pada layanan tersebut membutuhkan parameter *Quality of Service* (QoS) yang bagus pula^[5].

Handover merupakan aspek penting dalam sistem radio seluler yang perlu ditangani dan dikaji dengan teliti untuk memastikan koneksi panggilan diteruskan dan membolehkan panggilan *diblocking*. Secara umum *handover* digolongkan ke dalam dua kategori yaitu, *soft handover* dan *hard handover*. *Hard handover* merupakan kategori dari *handover* dimana koneksi dari radio link awal pada suatu pergerakan diputuskan sebelum radio link yang baru dibentuk. Sedangkan *Soft handover* memungkinkan kedua sel, baik sel asal ataupun sel baru untuk melayani *user* (*mobile station*) secara bersamaan selama transisi *handover*. Transisinya adalah ketika MS bergerak dari sel asal ke sel baru dan akhirnya berada di sel baru. Hal ini dimungkinkan karena semua sel memakai frekuensi kerja yang sama. *Soft handover* selain mengurangi kemungkinan putusnya pembicaraan juga menyebabkan proses *handover* berjalan dengan halus sehingga tidak mengganggu pengguna.

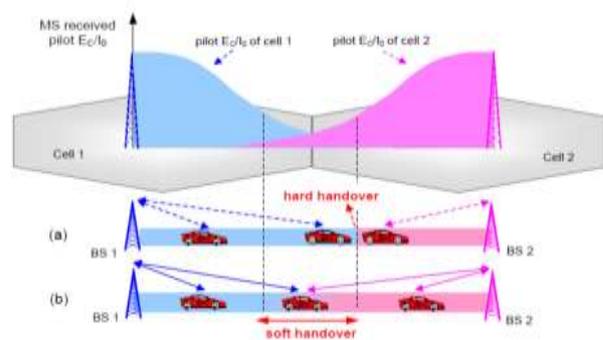
Ketika sebuah panggilan dilakukan, MS selalu mengecek sel-sel tetangga untuk menentukan apakah sinyal dari sel yang lain cukup besar jika dibandingkan dengan sinyal dari sel asal. Jika hal ini terjadi, ini merupakan indikasi bahwa MS (*Mobile station*) telah memasuki daerah cakupan sel yang baru dan *handover* dapat mulai dilakukan. *Mobile station* mengirim pesan kendali (*control message*) ke MTSO yang menunjukkan sinyal dari sel baru semakin menguat. MTSO melakukan *handover* dengan menyediakan sebuah link kepada *mobile station* melalui sel baru tetapi link yang lama tetap dipertahankan. Sementara *mobile station* berada pada daerah perbatasan antara kedua sel, panggilan dilayani oleh kedua sel site, hal ini menyebabkan berkurangnya efek *ping-pong* atau mengulang permohonan untuk menangani kembali panggilan diantara kedua sel site. Sel asal akan memutuskan hubungan jika *mobile station* sudah sungguh-sungguh dilayani oleh sel yang baru. **Gambar 2** memperlihatkan perbandingan proses dasar dari hard dan *soft handover*.

Jika dibandingkan dengan *hard handover*, *soft handover* memperlihatkan banyak keuntungan, contohnya menghilangkan efek *ping-pong* dan menghaluskan transmisi (tidak ada *break point* pada *soft handover*). Tidak ada efek *ping-pong* berarti beban *signaling* pada jaringan semakin menurun sehingga dengan *soft handover* tidak ada data loss yang diakibatkan oleh pemutusan transmisi yang mana terjadi pada *hard handover*.

Dalam UMTS terdapat empat jenis kelas layanan yaitu: *Conversational*, *Streaming*, *Interactive*, *Background*. Setiap kelas layanan UMTS dapat diklasifikasikan menurut atribut QoS yang masing-masing kelas memiliki acuan berbeda seperti dijelaskan berikut yang dibagi menjadi 3 grup atau atribut yaitu:

- *Delay* : Delay transfer
- *Bandwidth* : untuk *bit rates*, contohnya *maximum bit rates*
- *Reliability* : penanganan trafik, alokasi dan prioritas, dll

Faktor utama yang membedakan atribut-atribut tersebut adalah sensitivitas *delay* yang berbeda untuk setiap kelas trafik. Layanan *conversational* seperti *video* dan *audio* toleran terhadap *error*, namun tidak dapat mentoleransi *delay*. Sedangkan untuk layanan seperti *web browsing* dan *email* memiliki toleransi *delay* lebih besar daripada layanan *conversational*, namun tidak dapat mentoleransi *error data*. Pada **tabel 1** dijelaskan tentang karakteristik tiap layanan beserta contohnya. Kelas *interactive* mencakup *web browsing*, maka hilangnya informasi harus sekecil mungkin karena dapat merusak kualitas layanan.



Gambar 2. (a) *Hard handover* (b) *Soft handover*[11]

Tabel 1. Karakteristik Fundamental Kelas Trafik UMTS^[7]

Kelas Trafik	Karakteristik Fundamental
Kelas <i>Conversational</i>	Keberlangsungan komunikasi dipertahankan antara masing-masing kesatuan sumber dan tujuan. Pola <i>conversational</i> (<i>delay</i> yang rendah, jitter rendah, kejernihan dan tidak ada gema) nilai <i>end-to-end delay</i> harus di bawah 400 ms. Contoh : <i>speech</i> , <i>video</i>
Kelas <i>Streaming</i>	Digunakan untuk transfer data yang berjalan lancar melalui proses <i>buffering</i> . Jadi melalui proses ini dapat dijalankan <i>web broadcast</i> dan juga <i>video on demand</i> , dimana kedua aplikasi tersebut menggunakan teknik yang sama untuk kompresi <i>video</i> tetapi berbeda dalam hal pengkodean, dan protokol yang digunakan. (jitter rendah, <i>delay</i> bernilai konstan mungkin terjadi) Contoh : <i>streaming video</i> dan <i>audio</i>
Kelas <i>Interactive</i>	Berpola <i>request</i> dan <i>response</i> . Waktu responnya tergantung dari jenis informasi yang diinginkan, kualitas link dan tipe protokol yang digunakan Contoh : <i>web browsing</i> , akses <i>database</i> , serta <i>game online</i>
Kelas <i>Background</i>	Tujuan komunikasi data tidak mengharapkan terkirimnya data dalam batas waktu tertentu/singkat (dapat mentoleransi <i>delay</i> , bahkan hingga satu menit, <i>packet loss</i> rendah) Kelas ini terdiri dari semua aplikasi

yang secara pasif menerima data atau secara aktif meminta layanan data tanpa permintaan layanan data secara mendesak dalam menangani data.

Bit rate pada kelas ini tidak dijamin karena menggunakan model pelayanan *best effort*.

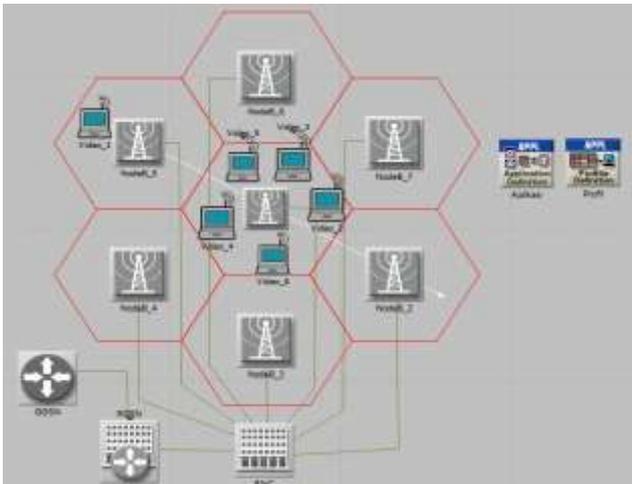
2. Metode

2.1 Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini dibuat suatu jaringan UMTS dengan menggunakan simulator OPNET Modeler 14.5 Simulasi dirancang dengan menggunakan *node-node* berbeda sesuai dengan fungsinya pada jaringan UMTS. Secara umum, jaringan UMTS yang akan dibuat terdiri dari beberapa *User Equipment (UE)*, 7 *Node B*, sebuah *Radio Network Controller (RNC)*, sebuah *Serving GPRS Support Node (SGSN)*, sebuah *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*, sebuah *Ethernet hub*, sebuah *FTP server* dan sebuah *web server*. Pengaturan *handover* dilakukan pada *Node RNC*. Untuk setiap aplikasi yang dijalankan dilakukan dalam skenario HHO maupun SHO.

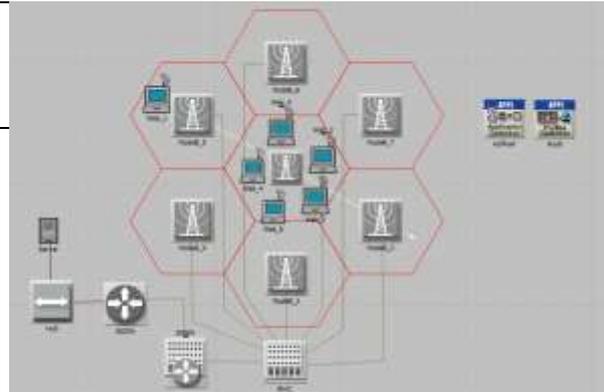
2.2 Simulasi Jaringan UMTS

Parameter masing-masing node telah disediakan secara default oleh UMTS model pada OPNET sesuai dengan standar *Release 99* yang ditentukan oleh *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. Aplikasi yang dijalankan yaitu *FTP*, *web browsing*, *video conferencing*, dan *voice*. Dalam simulasi dijalankan 2 buah skenario simulasi untuk masing-masing kelas berbeda.



Gambar 2. Skenario pertama dengan 6 UE QoS *Conversational* dan *Streaming class*

Pada skenario pertama UE berjumlah 1, 6, 12, 18 dan 30 dengan variasi QoS *conversational* yang menggunakan aplikasi *voice* dan QoS *streaming* yang menggunakan aplikasi *video*. Pada skenario pertama ini semua pengguna dalam keadaan diam kecuali satu user yang bergerak dengan kecepatan 45 km/jam, mobilitas UE diatur dengan menggunakan fitur *trajectory* yang disediakan OPNET.



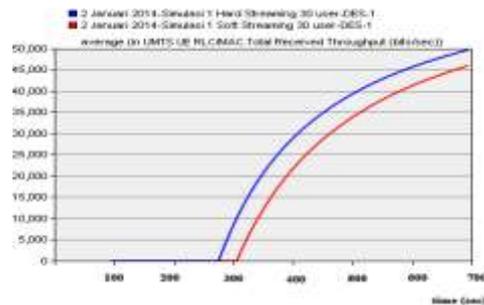
Gambar 3. Skenario kedua dengan 6 UE QoS *Interactive* dan *Background class*

Pada skenario kedua UE berjumlah 1, 6, 12, 18 dan 30 dengan variasi QoS *interactive* yang menggunakan aplikasi *web* dan QoS *background* yang menggunakan aplikasi *FTP*. Pada skenario ini semua pengguna dalam keadaan diam kecuali satu user yang bergerak dengan kecepatan 45 km/jam, mobilitas UE diatur dengan menggunakan fitur *trajectory* yang disediakan OPNET.

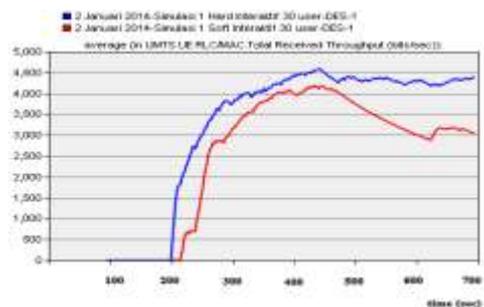
3. Hasil dan Analisa

3.1 Throughput

Throughput merupakan jumlah paket data yang diterima setiap detik. Dinyatakan dalam satuan *bit per second (bps)*. Dalam tugas akhir ini, besarnya *throughput* dapat dilihat dari statistik *UMTS UE RLC/MAC Total Received Throughput (bits/sec)* untuk setiap pengguna masing-masing aplikasi.



Gambar 4. *Throughput Video Conferencing*



Gambar 5. *Throughput Voice*

Throughput aplikasi *voice* pada simulasi SHO bernilai lebih tinggi dibanding simulasi HHO. Berdasarkan simulasi nilai *throughput* menurun saat keadaan trafik lebih padat, yang ditunjukkan skenario kedua.

Simulasi pada aplikasi *video conferencing* menunjukkan bahwa *throughput* pada HHO lebih tinggi dibanding SHO. Seperti pada aplikasi *voice*, Kepadatan trafik memberikan pengaruh turunya *throughput*, ditunjukkan pada skenario kedua.

Tabel 2. Throughput Simulasi

Aplikasi	Skenario	Throughput (bps)	
		HHO	SHO
FTP	1	7,150	7,723
	2	7,268	7,927
	3	6,404	8,663
	4	7,028	8,779
	5	7,758	7,723
	Rata-rata	7,121	8,071
Web	1	4,749	4,549
	2	4,564	4,559
	3	4,761	4,048
	4	4,345	3,752
	5	4,382	3,042
	Rata-rata	4,560	3,991
Video	1	49,577	49,602
	2	49,558	49,373
	3	49,536	49,172
	4	49,515	47,794
	5	49,635	45,929
	Rata-rata	49,564	48,374
Voice	1	8,640	8,718
	2	8,644	8,709
	3	8,530	8,536
	4	8,378	8,532
	5	8,158	8,354
	Rata-rata	8,470	8,570

Pada kelas *conversational* perbandingan nilai *throughput* menunjukkan bahwa jumlah paket yang diterima lebih banyak dalam SHO. Oleh karena itu SHO cocok untuk QoS 0. Sedangkan pada kelas *streaming* perbandingan nilai menunjukkan bahwa jumlah paket yang diterima HHO lebih besar dari SHO oleh karena itu HHO cocok untuk QoS 1.

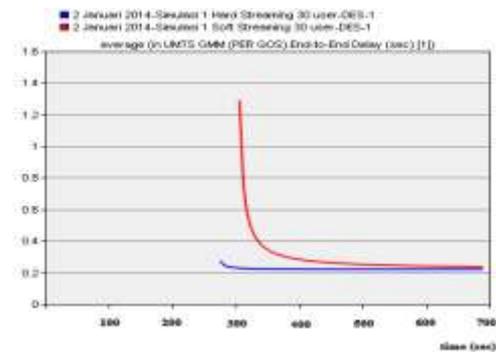
Pada aplikasi *web* perbandingan nilai *throughput* menunjukkan bahwa jumlah paket yang diterima lebih banyak dalam HHO, Oleh karena itu HHO cocok untuk QoS 2. Sedangkan pada aplikasi FTP perbandingan nilai *throughput* menunjukkan bahwa jumlah paket yang diterima lebih banyak dalam SHO. Maka SHO cocok untuk QoS 3.

3.2 Delay

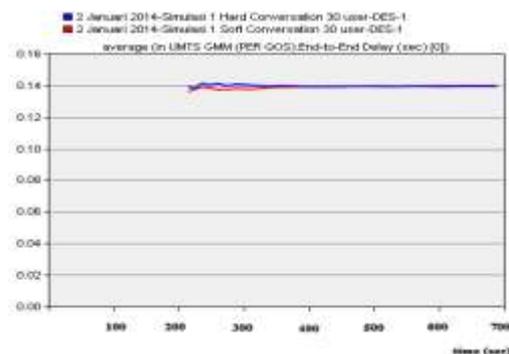
Delay merupakan interval waktu yang dibutuhkan oleh suatu paket data saat data mulai dikirim dan keluar dari proses antrian dari titik sumber awal (*source*) ke titik tujuan (*destination*).

Pada aplikasi *video conferencing* dan *voice*, *end-to-end delay* antar pasangan pengguna yang saling

berkomunikasi secara simetris akan dianalisis. Sedangkan pada aplikasi FTP dan aplikasi *web*, *end-to-end delay* terjadi antara pengguna aplikasi *web* dan *web server* maupun pengguna aplikasi FTP dan FTP server.



Gambar 6. End-to-end Delay Aplikasi Video Conferencing



Gambar 7. End-to-end Delay Aplikasi Voice

Sesuai dengan tabel 3, Parameter *delay* diperoleh dengan melihat nilai *end-to-end delay*. Berdasarkan simulasi, performa *end-to-end delay video conferencing* bernilai 0.22 detik untuk HHO lebih baik daripada SHO yang bernilai 0.27 detik. Sedangkan pada aplikasi *voice* dan FTP, hasil simulasi SHO menunjukkan nilai *end-to-end delay* 0.132 detik untuk *voice* dan 0.539 untuk FTP, pada *voice delay* SHO lebih baik daripada HHO yang bernilai 0.139 detik sedangkan pada FTP *delay* lebih baik pada HHO yang bernilai 0.476 detik.

Adapun kelas *conversational* meliputi layanan *real time* yang seharusnya tidak memiliki parameter *delay*. Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa SHO memiliki *delay* yang lebih kecil dari HHO, oleh karena itu QoS 0 cocok untuk kelas *conversational*. Kelas *streaming* meliputi layanan *real time* dari hasil diatas dapat diketahui bahwa HHO memiliki *delay* yang lebih kecil dari SHO sehingga HHO cocok untuk QoS 1 kelas *streaming*. Kelas *interactive* mencakup layanan *web browsing* seperti *http, email* dll. Jadi harus memiliki *delay* yg lebih kecil dengan waktu respon dan *transfer data* lebih cepat, maka HHO cocok untuk QoS 2 karena memiliki *delay* yang relatif lebih kecil. kelas *background* dapat mentoleransi

delay, bahkan hingga satu menit, akan tetapi yang diutamakan adalah nilai *packet loss* yang lebih kecil maka HHO dan SHO cocok untuk QoS 3 kelas *background*.

Tabel 3. Delay Simulasi

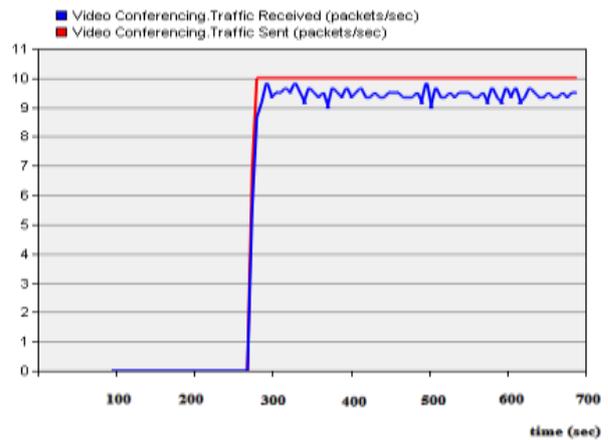
Jenis Delay	Skenario	HHO(sec)	SHO(sec)
FTP End-to-end Delay	1	0.48631	0.5267
	2	0.47853	0.50007
	3	0.43221	0.52636
	4	0.45501	0.56799
	5	0.53276	0.57464
	Rata-rata	0.476964	0.539152
Web End-to-end Delay	1	0.28696	0.28715
	2	0.28523	0.28072
	3	0.28547	0.28639
	4	0.27403	0.27512
	5	0.2855	0.30438
	Rata-rata	0.283438	0.286752
Video End-to-end Delay	1	0.22001	0.22
	2	0.22001	0.21996
	3	0.22	0.22058
	4	0.22003	0.47874
	5	0.22078	0.23645
	Rata-rata	0.220166	0.275146
Voice End-to-end Delay	1	0.13987	0.13186
	2	0.14018	0.13216
	3	0.14025	0.13327
	4	0.1399	0.13235
	5	0.1394	0.13203
	Rata-rata	0.13992	0.132334

3.3 Packet Loss

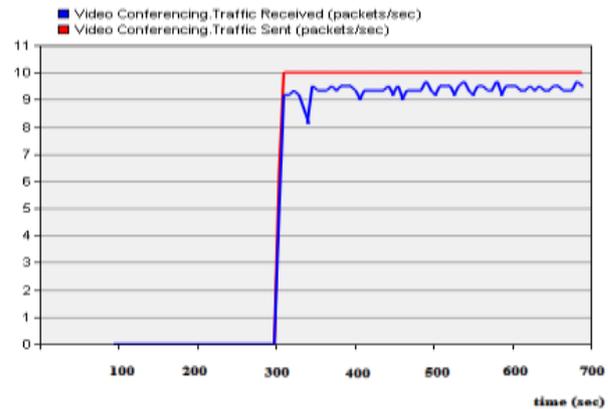
Besarnya *packet loss* didapatkan dari selisih trafik yang diterima dan trafik yang dikirimkan dalam jaringan selama simulasi, tipe *handover* yang digunakan yaitu HHO dan SHO mempengaruhi jumlah *packet loss* tiap aplikasi.

Tabel 4. Packet Loss Simulasi

Aplikasi	Skenario	Packet Loss (%)	
		HHO	SHO
FTP	1	1.15	1.15
	2	2.32	0,00
	3	2.44	1.23
	4	2.44	2.4
	5	1.15	2.37
	Rata-rata	1.9	1.4
Web	1	3,18	2,75
	2	2,29	1,72
	3	2,4	3,47
	4	2,6	4,10
	5	4,3	8,68
	Rata-rata	2,95	4,14
Video	1	5,87	6,15
	2	5,87	6,83
	3	5,90	8,77
	4	5,76	5,79
	5	5,86	6,65
	Rata-rata	5,85	6,83
Voice	1	8,00	15,27
	2	7,57	1,27
	3	16,95	12,35
	4	16,74	15,14
	5	17,39	15,7
	Rata-rata	13,33	11,94



Gambar 8. Trafik yang dikirim dan yang diterima pada simulasi HHO 30 user kelas streaming



Gambar 9. Trafik yang dikirim dan yang diterima pada simulasi SHO 30 user kelas streaming

Pada aplikasi *voice packet loss* terjadi ketika ada *peak load* dan *congestion* (kemacetan transmisi paket akibat padatnya trafik yang harus dilayani) dalam batas waktu tertentu, maka frame (gabungan data *payload* dan *header* yang ditransmisikan) suara akan dibuang sebagaimana perlakuan terhadap *frame data* lainnya pada jaringan berbasis IP. *Packet loss* untuk aplikasi *voice* dan *multimedia* dapat ditoleransi sampai dengan 20%, Maka SHO cocok untuk QoS 0 dengan nilai *packet loss* yang lebih kecil.

Kelas *streaming* meliputi layanan *real time* seperti *video streaming* sehingga HHO cocok untuk QoS 1 karena menerima *packet loss* lebih sedikit daripada SHO, Hal ini ditunjukkan tabel 4 bahwa hampir semua simulasi menggunakan HHO memberikan hasil yang lebih baik dalam trafik yang diterima, berarti lebih banyak paket yang diterima UE selama HHO dibandingkan dengan SHO.

Sedangkan kelas *interactive* mencakup layanan *web browsing* seperti *http, email* dll, maka hilangnya informasi

atau paket harus sekecil mungkin karena dapat merusak atau menghilangkan kualitas informasi layanan. Jadi dari Tabel 4. dapat disimpulkan bahwa HHO cocok untuk QoS 2 karena menunjukkan bahwa jumlah *packet loss* yang diterima saat HHO lebih kecil dibandingkan saat SHO.

Kelas *background* yang memiliki aplikasi FTP seharusnya mengurangi kehilangan informasi atau paket untuk mendapatkan QoS yang lebih baik. Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa SHO memiliki persentase *packet loss* lebih kecil daripada HHO sehingga SHO cocok untuk QoS 3.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa *throughput* layanan FTP dengan SHO memiliki nilai rata-rata lebih tinggi, yaitu 8570 bps. *Throughput* layanan *web* dengan HHO memiliki nilai rata-rata lebih tinggi, yaitu 4560 bps. Sedangkan *throughput* pada layanan *video conferencing* dengan HHO memiliki nilai rata-rata lebih tinggi, yaitu 49564 bps. *Throughput* layanan *voice* dengan SHO memiliki nilai rata-rata lebih tinggi yaitu 8570 bps.

Delay terbaik aplikasi FTP didapat pada kondisi HHO, yaitu sebesar 0.47 detik. Untuk aplikasi *web* didapat pada kondisi HHO, yaitu sebesar 0.28 detik. Sedangkan aplikasi *video conferencing* bernilai 0.22 detik untuk kondisi HHO. Pada aplikasi *voice* nilai *delay* terendah terdapat pada skenario SHO yang bernilai 0.132 detik.

Pada aplikasi *voice* dan FTP, rata-rata *packet loss* terendah didapat saat kondisi SHO yaitu sebesar 11,94 % untuk *voice* dan 1.4 % untuk FTP. *Packet loss* terendah pada aplikasi *video conferencing* dan *web* didapat saat kondisi HHO, yaitu sebesar 5,85 % untuk *video conferencing* dan 2,95 % untuk *web*.

Dari beberapa keunggulan dan kelemahan tersebut, maka dalam hal penggunaan HHO dan SHO dapat disesuaikan dengan kebutuhan, HHO akan lebih efisien jika digunakan dalam aplikasi *video streaming* dan *web browsing*. Sedangkan SHO akan lebih efisien jika digunakan dalam aplikasi *voice* dan FTP.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap program simulasi dan analisis kinerja HHO dan SHO pada jaringan UMTS ini, diharapkan dilakukan penelitian lanjutan dengan Algoritma *handover adaptive* yang dapat mengadopsi sendiri *handover* yang digunakan sesuai dengan jenis data yang digunakan.

Referensi

- [1]. Wahyuni, Rosalinda T. Perbandingan Kinerja AM (Acknowledged Mode) dan UM (Unacknowledged Mode) pada Jaringan UMTS dengan Menggunakan NS-2. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Tugas Akhir 2012.
- [2]. Zelenka, J., Becvar, Z., Bestak R. *Comparison of Handovers* in UMTS and Wimax. Department of Telecommunication Engineering. Czech Technical University.
- [3]. Muhammad, Maqsood Khan and Muhammad Saad Khan. *Investigation of Handovers* in 3G UMTS Traffic Classes. Master of Science in Electrical Engineering. Blekinge Institute of Technology. Thesis 2010
- [4]. Ali, S., Saleem N., Tareen T., 2012. *Measuring the Performance of Handover Mechanisms* in UMTS for Diverse Traffic Services Classes to Improve QoS. International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 55- No.11, October 2012.
- [5]. Rahmatu Dewi, Reisa, Analisis Pengaruh Kecepatan User Pada Saat *Handoff* terhadap Layanan *Data Multimedia* di Jaringan HSDPA.
- [6]. Holma, Harri dan Antti Toskala. Eds. *WCDMA For UMTS*. 3rd Ed. West Sussex : John Wiley and Sons, Ltd. 2004
- [7]. Li, Xi. Radio Access Network Dimensioning for 3G UMTS. Communication Networks Group. *Center for Computer Science and Information Technology* Bremen University. Disertasi 2009.
- [8]. Binucci and Hiltunen, "Soft handover gain in WCDMA". 2003, *vehicular technology* 33: 65-68 .
- [9]. Ludwig, R.; Ekstrom, H.; Willars, P.; Lundin, N." An Evolved 3GPP QoS Concept" IEEE Conference, 2006, pg 388-392.
- [10]. Wardita, Andri. Perbandingan kinerja AM (Acknowledged Mode) DAN UM (Unacknowledged Mode) Sub-Layer RLC (Radio Link Control) Jaringan UMTS pada trafik layanan aplikasi menggunakan OPNET. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Tugas Akhir 2012.
- [11]. Hafid Paronda, Abdul. *Handover* Dalam Komunikasi Bergerak Seluler