

# PERBANDINGAN KINERJA AM (*ACKNOWLEDGED MODE*) DAN UM (*UNACKNOWLEDGED MODE*) *SUB-LAYER RLC (RADIO LINK CONTROL)* JARINGAN UMTS PADA TRAFIK LAYANAN APLIKASI MENGGUNAKAN OPNET

Andri Wardita<sup>\*)</sup>, Sukiswo, and Imam Santoso

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

<sup>\*)</sup> Email: [imanuelandri90@gmail.com](mailto:imanuelandri90@gmail.com)

## Abstrak

Universal Mobile Telecommunication System adalah teknologi seluler generasi ketiga yang merupakan revolusi dari GSM. Sub-layer Radio Link Control yang ada pada data link layer dapat beroperasi dalam tiga mode, yaitu Transparent Mode, Unacknowledged Mode, dan Acknowledged Mode. Pada penelitian ini dirancang sebuah simulasi kinerja AM dan UM pada sub-layer RLC dengan Opnet Modeler 14.5. Adapun trafik yang dianalisis merupakan layanan aplikasi email, web browsing, video conferencing, dan voice. Dilakukan tiga buah skenario simulasi dengan variasi berupa kondisi diam dan Bergeraknya pengguna layanan dan variasi jumlah pengguna layanan. Dari hasil simulasi didapatkan nilai throughput terbaik untuk aplikasi email, video conferencing, dan voice diperoleh skenario UM yaitu sebesar 7913 bps, 64807 bps, dan 8801 bps. Untuk aplikasi web, diperoleh oleh skenario AM sebesar 5475 bps. Response time terbaik untuk email sebesar 2.47 detik untuk DL dan 2.6 detik untuk UL, didapat pada skenario AM. Response time terbaik untuk web yaitu 0.42 detik untuk Object dan 0.99 detik untuk Page Response Time, yang keduanya diperoleh pada skenario AM. End-to-end delay terbaik video conferencing dan voice diperoleh pada skenario UM, dengan nilai rata-rata 0.26 detik dan 0.32 detik. Packet loss terendah aplikasi email dan web diperoleh pada skenario AM, yaitu sebesar 0.07% dan 7%. Packet loss terendah aplikasi video conferencing dan voice didapat pada skenario UM, yaitu sebesar 10.53% dan 5.05%.

*Kata kunci : 3G, UMTS, QoS, AM, UM*

## Abstract

Universal Mobile Telecommunication System is a 3<sup>rd</sup> Generation cellular technology which is a revolution of GSM. Radio Link Control Sub-layer in data link layer can operates in three mode: Transparent Mode, Unacknowledged Mode, and Acknowledged Mode. In this study designed a simulation of AM and UM performance in RLC sub-layer, carried out using OPNET Modeler 14.5. The analyzed traffic are email, web browsing, video conferencing, and voice application. Conducted three simulated scenarios with a variety of fixed and moving service users and service user number variation. From results, the best throughput for email, video conferencing, and voice applications are obtained in UM scenario that are 7913 bps, 64807 bps, and 8801 bps. For web application, the best throughput obtained by AM scenario that are 5475 bps. Best response time for email is 2.47 second for DL and 2.6 second for UL from AM scenario. Best response time from web is 0.42 second for Object and 0.99 second for Page Response Time, both acquired in AM scenario. End-to-end delay obtained for video conferencing is constant 0.26 second, and for voice is 0.32 second, both obtained in UM scenario. Minimum email and web packet loss obtained by AM scenario, the value is 0.07% and 7%. Minimum packet loss for video conferencing and voice application obtained by UM scenario, the value is 10.53% and 5.05%.

*Keywords : 3G, UMTS, QoS, AM, UM*

## 1. Pendahuluan

Dalam Radio Interface UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) terdapat 3 buah layer yang berperan

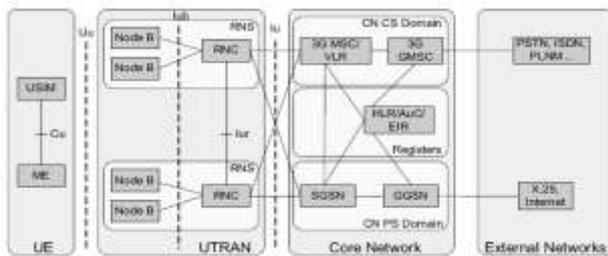
penting. Pada layer kedua terdiri dari sub-layer MAC (*Medium Access Control*) dan RLC (*Radio Link Control*).

Pada sub-layer RLC proses transfer data dapat dilakukan dalam TrM (*Transparent Mode*), AM (*Acknowledged Mode*) dan UM (*Unacknowledged Mode*). Mode tersebut

mempengaruhi kinerja dari layanan aplikasi yang dijalankan dalam jaringan UMTS.

Kinerja dari AM dan UM jaringan UMTS dapat dimodelkan dengan beberapa perangkat lunak. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis kinerja dari AM dan UM pada Jaringan UMTS satu sel dengan menggunakan NS-2[12]. Penelitian tentang peningkatan performa QoS jaringan UMTS dengan menganalisis parameter *throughput*, *jitter*, dan *end-to-end delay* juga telah dilakukan[9]. Sudah ada pula penelitian pengaruh kinerja RLC untuk QoS yang berbeda pada jaringan UMTS satu sel dengan menggunakan NS-2[4].

Pada penelitian ini dirancang sebuah simulasi perbandingan kinerja AM dan UM *sub-layer* RLC jaringan UMTS pada trafik layanan aplikasi menggunakan OPNET.



Gambar 1. Arsitektur Jaringan UMTS [8]

Secara garis besar jaringan UMTS terdiri dari 3 bagian utama, yaitu UE (User Equipment), UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), dan Core Network. UE merupakan sebuah terminal pada sisi pengguna.

UE terdiri dari ME (Mobile Equipment) yang merupakan perangkat pengiriman radio dan USIM (UMTS Subscriber Identity Module) yang merupakan kartu yang memuat identitas pelanggan. UTRAN menjalankan fungsi utama menghubungkan UE dengan Core Network. UTRAN memiliki dua elemen utama yaitu Node B dan RNC (Radio Network Controller). Core Network merupakan inti unit kontrol pada jaringan UMTS. Unit ini mengontrol semua tipe operasi pada jaringan. Core Network bertanggungjawab membangun, mempertahankan, dan memutuskan komunikasi dengan pelanggan.

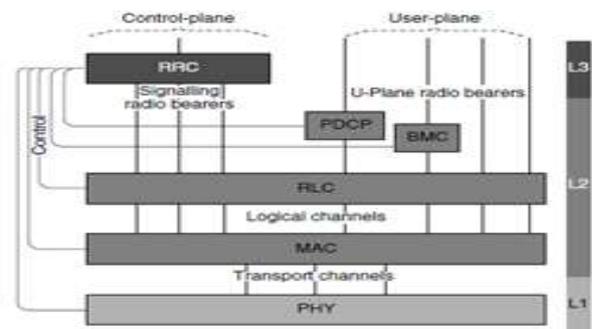
Pada *radio interface protocol* untuk UTRAN, terdapat 3 *layer* utama. *Layer* pertama adalah *physical layer* (*layer* fisik), kemudian *layer* kedua yaitu *data link layer*, dan *layer* ketiga yaitu *network layer*. Dalam *layer protocol* UTRA FDD (*Frequency Division Duplex*), *Layer* kedua dibagi lagi menjadi 2 buah *sub-layer*, MAC (*Medium Access Control*) dan RLC (*Radio Link Control*). Dalam *user plane*, selain MAC dan RLC terdapat 2 buah protokol berdasarkan layanan yaitu PDCP (*Packet Data*

*Convergence Protocol*) dan BMC (*Broadcast/Multicast Control Protocol*). Sementara itu pada *layer* ketiga terdiri dari protokol RRC (*Radio Resources Control*) yang merupakan bagian dari *user plane*.

*Physical layer* memberikan layanan pada MAC melalui *transport channel*. Sedangkan MAC *layer* mentransfer layanan pada RLC melalui *logical channels* yang mentransfer data berdasarkan tipe karakteristik data yang ditransmisikan.

*Layer* RLC memberikan layanan untuk *layer* di atasnya melalui SAPs (*Service Access Points*). SAPs menjelaskan bagaimana *layer* RLC menangani paket data. Contohnya, saat fungsi ARQ (*Automatic Repeat Request*) dijalankan pada RLC. Maka pada *control plane*, layanan RLC digunakan oleh *layer* RRC untuk transmisi *signalling*. Sedangkan pada *user plane*, layanan RLC digunakan oleh protokol *layer* PDCP maupun BMC atau oleh fungsi *user plane* dari *layer* di atasnya (contoh untuk kode *speech*). Layanan RLC disebut *Signalling Radio Bearers* di *control plane* dan *Radio Bearers* di *user plane*. Protokol RLC dapat beroperasi dalam tiga mode, yaitu *transparent*, *unacknowledged*, dan *acknowledged mode*.

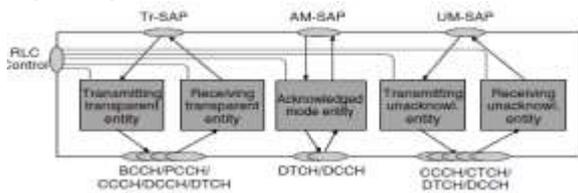
PDCP hanya ada untuk layanan domain PS (*Packet Switched*). Fungsi utamanya adalah kompresi *header*. Layanan yang diberikan oleh PDCP disebut *Radio Bearers*. Sedangkan BMC digunakan untuk menyampaikan pesan *radio interface* yang berasal dari *Cell Broadcast Centre*. Pada spesifikasi *Release '99 3GPP*, layanan *broadcasting* yang dispesifikasikan hanya layanan SMS *Cell Broadcast* dari GSM. Layanan yang diberikan protokol BMC juga disebut *Radio Bearer*.



Gambar 2. Arsitektur Protokol Radio Interface UTRAN FDD [7]

RLC menghasilkan layanan segmentasi dan retransmisi untuk data pengguna dan data kontrol. Setiap kesatuan layanan RLC dikonfigurasi oleh RRC untuk beroperasi dalam satu dari 3 mode : Tr (*Transparent Mode*), UM (*Unacknowledged Mode*), atau AM (*Acknowledged Mode*). Pada *user plane*, layanan RLC disebut RB (*Radio*

Bearer), sedangkan pada *control plane* disebut SRB (*Signalling Radio Bearer*).



Gambar 3. Arsitektur Layer RLC[7]

Pada Gambar 3 ditunjukkan ketiga tipe RLC dan hubungannya dengan RLC-SAPs dan MAC-SAPs. Pada mode *transparent* dan *unacknowledged*, RLC bersifat satu arah (*unidirectional*) sedangkan pada mode *acknowledged* bersifat dua arah (*bidirectional*). Untuk semua mode RLC, deteksi galat dengan CRC dilakukan pada *layer* fisik dan hasilnya dikirimkan ke RLC bersama dengan data aktualnya.

Pada *transparent mode*, tidak terjadi penambahan *protocol overhead* untuk data *layer* di atasnya. Pada *unacknowledged mode*, tidak terjadi proses retransmisi dan pengiriman data tidak dijamin. Pengiriman data dilakukan secara *unidirectional* karena tidak diperlukan kesesuaian antara *uplink* dan *downlink*. Contoh layanan untuk *unacknowledged mode* adalah VoIP (*Voice over IP*) dan layanan *broadcast cell*.

Pada *acknowledged mode*, sebuah mekanisme ARQ (*Automatic Repeat Request*) digunakan untuk proses koreksi galat. Tingginya kualitas dibandingkan dengan *delay* dari RRC dapat diatur oleh RRC berdasarkan konfigurasi jumlah retransmisi yang dihasilkan RLC. *Acknowledged Mode* bersifat *bidirectional* dan mampu menjalankan proses 'piggybacking' suatu indikasi dari status link dari arah berlawanan pada data pengguna. AM merupakan normal mode yang digunakan untuk layanan tipe paket seperti *internet browsing* dan *download email*. *Layer RLC* memiliki beberapa fungsi, diantaranya tempat terjadinya pemisahan menjadi segmen dan penyatuan kembali PDU (*Packet Data Unit*) dari *layer* di atasnya menjadi RLC PU (*Payload Units*) yang lebih kecil, penggabungan (*concatenation*) dari RLC SDU (*Service Data Unit*), pengisian PDU (*padding*) yang merupakan penyesuaian ukuran PDU yang akan ditransmisikan, transfer dari data pelanggan dengan AM, UM, dan TM, koreksi galat dengan proses retransmisi AM, pengiriman data PDU *layer* di atasnya dengan berurutan, mendeteksi duplikasi RLC PDU agar tidak terjadi pengiriman berulang.

Selain itu, mengontrol aliran data rate secara berpasangan antara pengirim dan penerima informasi, mengecek nomor urutan untuk UM. RLC SDU yang rusak selanjutnya dihapuskan, mendeteksi dan memulihkan *error protocol*, melakukan *ciphering* untuk AM dan UM,

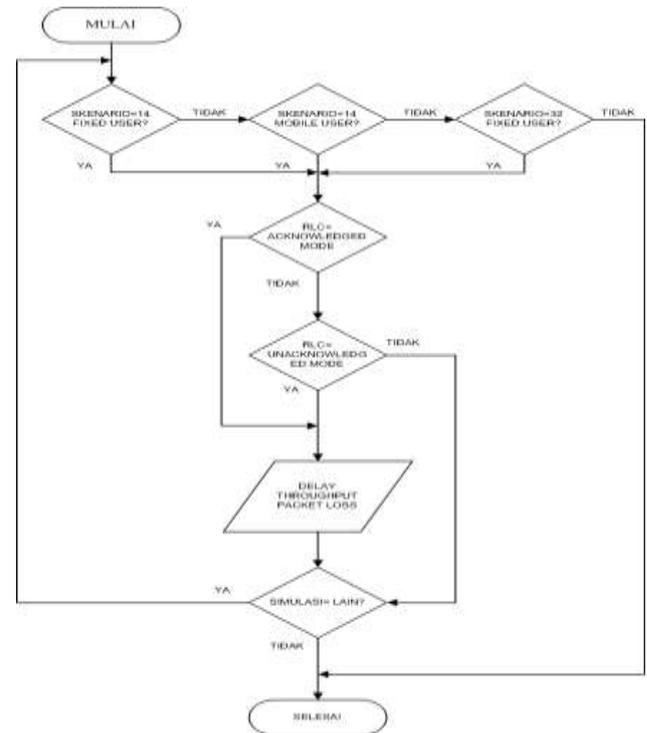
serta menahan atau melanjutkan fungsi dari transfer data juga merupakan fungsi *layer RLC*.

## 2. Metode

### 2.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian 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)*, 8 *Node B*, sebuah *Radio Network Controller (RNC)*, sebuah *Serving GPRS*

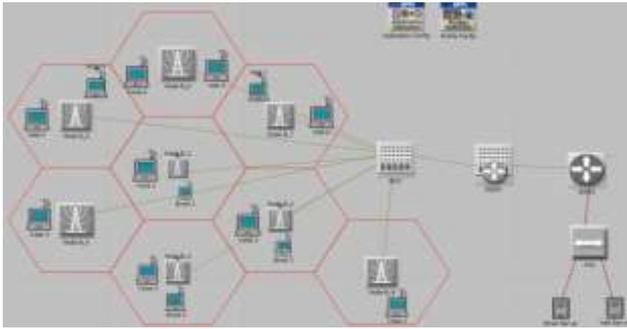
*Support Node (SGSN)*, sebuah *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*, sebuah *Ethernet hub*, sebuah *email server* dan sebuah *web server*. Pengaturan AM dan UM dilakukan pada *Node RNC*. Untuk setiap aplikasi yang dijalankan dilakukan dalam RLC AM maupun UM.



Gambar 4. Diagram Alir Simulasi

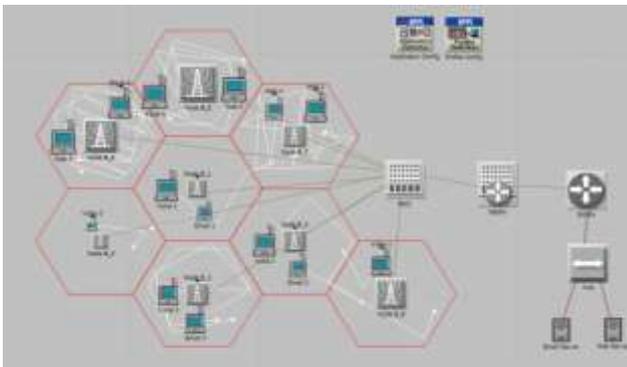
### 2.2 Simulasi Jaringan UMTS

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 *email*, *web browsing*, *video conferencing*, dan *voice*. Dalam simulasi dijalankan 3 buah skenario simulasi untuk masing-masing AM dan UM.



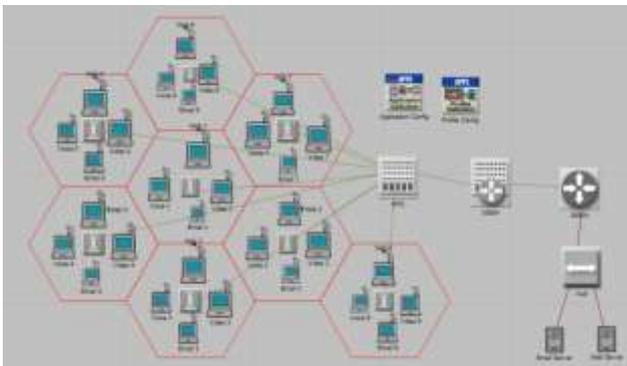
Gambar 5. Skenario Simulasi Dengan 14 UE

Pada skenario pertama berjumlah 14 UE dengan rincian 4 *email client*, 4 *web client*, 2 *video client*, dan 4 *voice client*. Pada skenario pertama ini semua *node* dalam keadaan diam.



Gambar 6. Skenario Simulasi Dengan 14 UE Bergerak

Pada skenario kedua, jumlah *node* sama dengan skenario pertama, namun yang membedakan adalah mobilitas dari UE. Mobilitas UE diatur dengan menggunakan fitur *trajectory* yang disediakan OPNET. Mobilitas terjadi dengan kecepatan bervariasi dari pejalan kaki hingga berkendara 70km/jam.



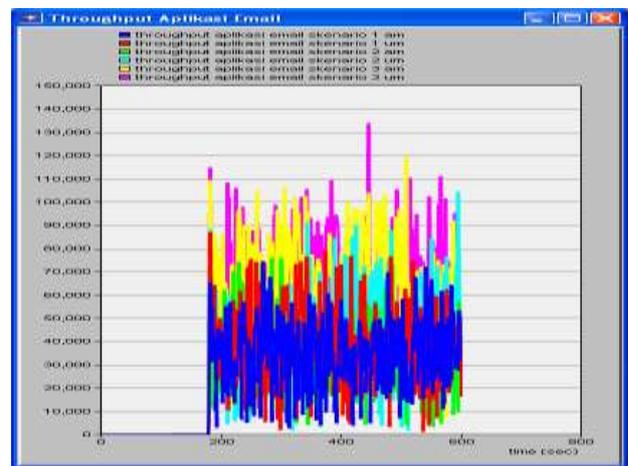
Gambar 7. Skenario Simulasi Dengan 32 UE

Pada skenario ketiga, UE yang disimulasikan berjumlah 32 dengan rincian 8 *email client*, 8 *web client*, 8 *video client*, dan 8 *voice client*.

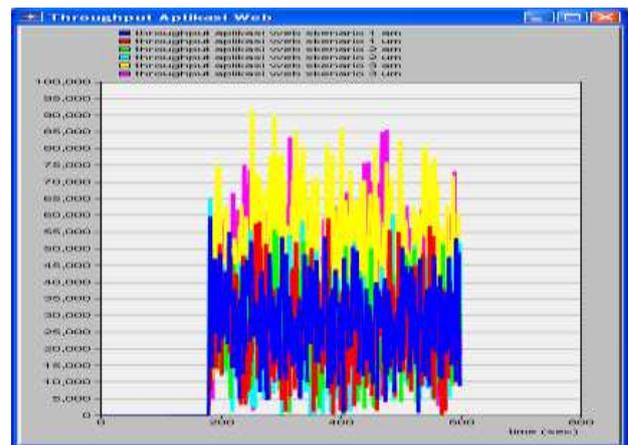
### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1 Throughput

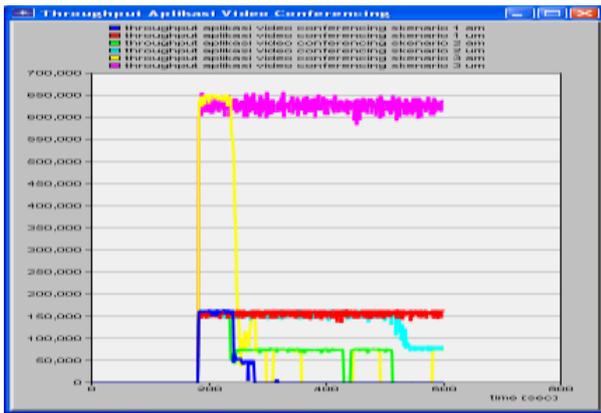
*Throughput* merupakan jumlah paket data yang diterima setiap detik. Biasanya *throughput* dinyatakan dalam satuan *bit per second* (bps). Dalam penelitian ini, besarnya *throughput* dapat dilihat dari statistik *UMTS UE RLC/MAC* untuk setiap pengguna masing-masing aplikasi.



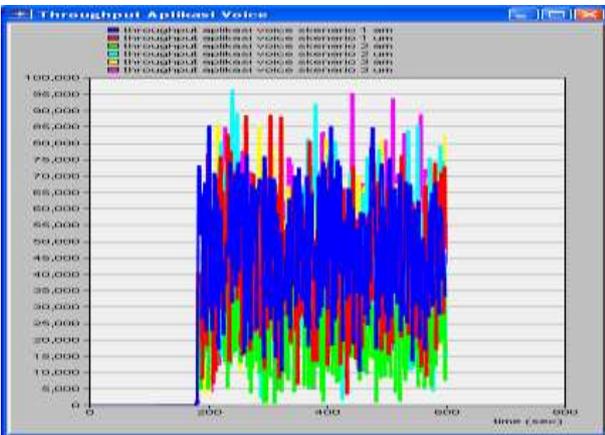
Gambar 8. Throughput Email



Gambar 9. Throughput Web



Gambar 10. Throughput Video Conferencing



Gambar 11. Throughput Voice

Throughput aplikasi email pada simulasi UM didapat bernilai lebih tinggi dibanding AM. Berdasarkan simulasi, pergerakan pengguna sampai kecepatan 70 km/jam tidak terlalu berpengaruh terhadap throughput. Namun nilai throughput menurun saat keadaan trafik lebih padat, yang ditunjukkan skenario ketiga.

Simulasi pada aplikasi web menunjukkan bahwa throughput pada AM lebih tinggi dibanding UM. Seperti pada aplikasi email, pergerakan pengguna sampai kecepatan 70 km/jam tidak terlalu berpengaruh pada throughput. Kepadatan trafik memberikan pengaruh turunya throughput aplikasi web, ditunjukkan pada skenario ketiga.

Tabel 1. Throughput Simulasi

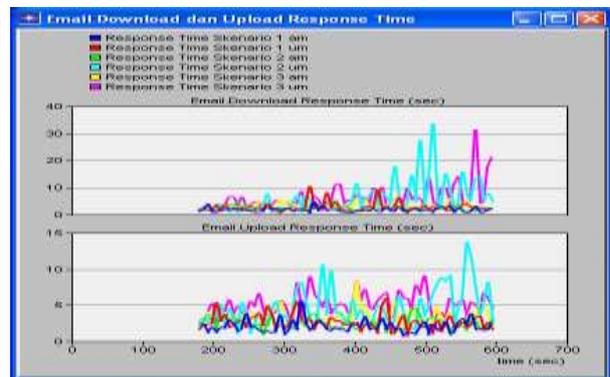
Aplikasi	Skenario	Throughput (bps)	
		Acknowledged Mode	Unacknowledged Mode
Email	1	6998.23	7843.62
	2	7024.17	8754.25
	3	6706.29	7141.06
	Rata-rata	6909.56	7912.97
Web	1	5844.11	5188.53

	2	5565.73	5404.78
	3	5015.55	4142.94
	Rata-rata	5475.13	4912.08
Video	1	11234.76	66723.67
	2	28782.85	60788.36
	3	13200.42	66907.73
	Rata-rata	17739.34	64806.59
Voice	1	9888.27	9297.99
	2	5070.24	8476.13
	3	8222.67	8628.10
	Rata-rata	7727.06	8800.74

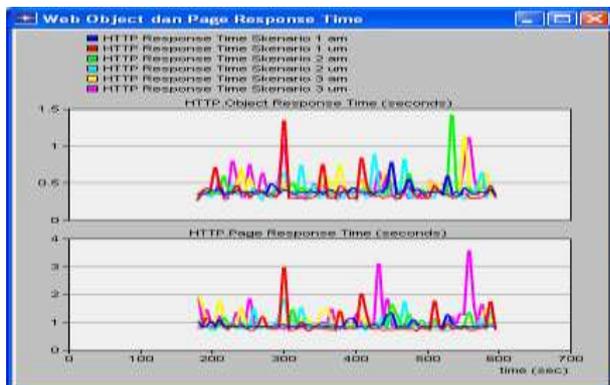
Untuk video dan voice, throughput UM bernilai jauh lebih besar daripada AM. Nilai setiap skenario pada UM juga relatif stabil tidak seperti pada AM.

### 3.2 Delay

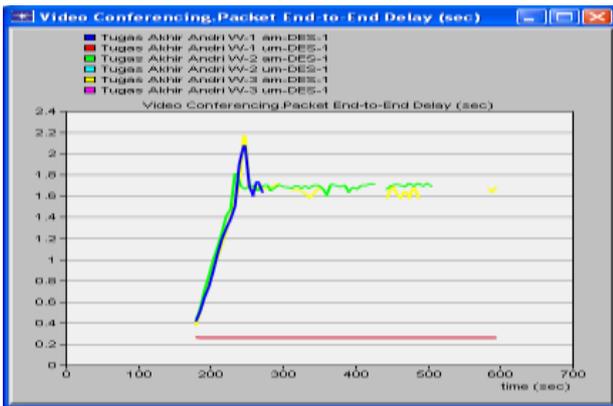
Delay merupakan parameter pokok yang membedakan kinerja dari AM dan UM. Pada aplikasi email delay dilihat dari nilai download dan upload response time pada komunikasi yang terjadi antara pengguna aplikasi email dan server email. Pada aplikasi web, delay dilihat dari nilai object dan page response time pada komunikasi yang terjadi antara pengguna aplikasi email dan server web. Sedangkan untuk aplikasi video conferencing dan voice, end-to-end delay antar pasangan pengguna yang saling berkomunikasi secara simetris.



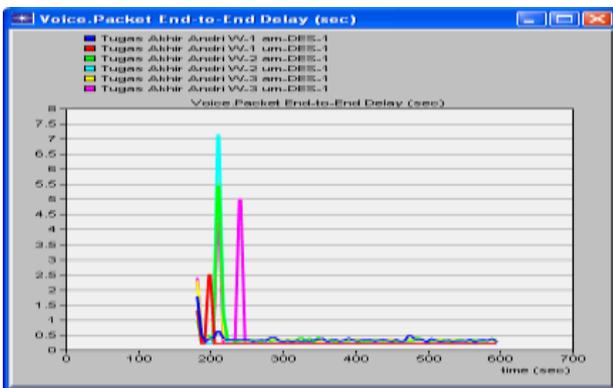
Gambar 12. DL dan UL Response Time Aplikasi Email



Gambar 13. Object dan Page Response Time Aplikasi Web



Gambar 14. End-to-end Delay Aplikasi Video Conferencing



Gambar 15. End-to-end Delay Aplikasi Voice

Pada *email*, *delay* dilihat dari DL (*download*) dan UL (*upload*) *response time* secara global, yaitu waktu yang diperlukan untuk menerima dan mengirimkan *email* dari *server*. DL dan UL pada simulasi AM bernilai lebih rendah daripada simulasi UM.

Untuk aplikasi *web*, *delay* dilihat dari *object* dan *page response time* secara global. Sesuai dengan Tabel 2, rata-rata *response time* terbaik untuk aplikasi *web* diperoleh pada skenario AM.

Parameter *delay* pada aplikasi *video conferencing* dan *voice* diperoleh dengan melihat *packet end-to-end delay*. Berdasarkan simulasi, performa *packet end-to-end delay video conferencing* bernilai konstan 0.26 detik untuk UM, dan bervariasi untuk AM dengan rata-rata 1.24 sec. Sedangkan pada aplikasi *voice*, *end-to-end delay* dapat diartikan waktu perjalanan dari mulut pengirim menuju telinga pengguna yang dituju. Hasil simulasi UM menunjukkan nilai *end-to-end delay* 0.32 detik, lebih baik daripada AM yang bernilai 0.54 detik. Hasil selengkapnya untuk *Delay* setiap aplikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Delay Simulasi

Jenis Delay	Skenario	AM(sec)	UM(sec)
Email DL Response Time	1	1.84	2.64
	2	2.35	6.10
	3	3.21	6.50
	Rata-rata	2.47	5.08
Email UL Response Time	1	2.03	2.71
	2	2.42	4.41
	3	3.37	4.98
	Rata-rata	2.60	4.03
Web Object Response Time	1	0.40	0.40
	2	0.43	0.44
	3	0.44	0.50
	Rata-rata	0.42	0.45
Web Page Response Time	1	0.93	0.93
	2	0.98	0.94
	3	1.07	1.14
	Rata-rata	0.99	1.00
Video End-to-end Delay	1	1.18	0.26
	2	1.35	0.26
	3	1.20	0.26
	Rata-rata	1.24	0.26
Voice End-to-end Delay	1	0.35	0.26
	2	0.55	0.37
	3	0.72	0.35
	Rata-rata	0.54	0.32

### 3.3 Packet Loss

Besarnya *packet loss* didapatkan dari selisih trafik yang diterima dan trafik yang dikirimkan dalam jaringan selama aplikasi berjalan. Besarnya *packet loss* untuk aplikasi *email* dan *web* didapat secara global dan termasuk komponen jaringan eksternal berupa *ethernet web* dan *email server* dalam simulasi. Sedangkan pada *video conferencing* dan *voice*, *packet loss* dihitung berdasarkan komunikasi yang terjadi secara berpasangan.

Tabel 3. Packet Loss Simulasi

Aplikasi	Skenario	Packet Loss (%)	
		AM	UM
Email	1	0.06	0.21
	2	0.01	1.90
	3	0.14	0.42
	Rata-rata	0.07	0.84
Web	1	4.43	7.86
	2	5.14	7.86
	3	11.66	16.37
	Rata-rata	7.08	10.70
Video	1	86.09	7.84
	2	85.72	15.91
	3	85.65	7.83
	Rata-rata	85.82	10.53
Voice	1	1.83	2.86
	2	47.00	7.94
	3	13.96	4.35
	Rata-rata	20.93	5.05

Pada aplikasi *email* dan *web packet loss* simulasi AM bernilai lebih rendah daripada simulasi UM. Hal ini disebabkan adanya proses retransmisi pada AM bila terdapat paket yang hilang. Sedangkan untuk aplikasi

*video conferencing* dan *voice* terjadi sebaliknya, yaitu *packet loss* UM yang bernilai lebih rendah. Hal ini disebabkan karena untuk aplikasi *video conferencing* dan *voice* termasuk dalam kelas QoS (*Quality of Service*) *Conversational*. Pada kelas tersebut *delay* yang rendah harus terpenuhi, dan trafik dikirim secara kontinyu setiap detiknya sehingga tidak sesuai dengan AM.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap hasil yang telah didapat dari simulasi dapat disimpulkan bahwa *throughput* layanan *email* UM semua skenario memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan AM, yaitu dengan rata-rata 7913 bps untuk UM dan 6910 bps untuk AM. *Throughput* layanan *web* AM memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan UM, yaitu dengan rata-rata 5475 bps untuk AM dan 4912 bps untuk UM. *Throughput* layanan *video conferencing* UM memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan AM, yaitu dengan 64807 bps untuk UM dan 17739 bps untuk AM. *Throughput voice* UM untuk semua skenario memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan AM, yaitu dengan 8801 bps untuk UM dan 7727 bps untuk AM. Berdasarkan *throughputnya*, aplikasi *email* yang masuk dalam kelas QoS *background* lebih sesuai untuk menggunakan UM. Aplikasi *web* yang masuk dalam QoS *interactive* lebih sesuai dijalankan dalam AM. Untuk aplikasi bersifat *real time conversation* yang masuk dalam kelas *Conversational* seperti *voice* dan *video conferencing*, lebih baik dalam UM.

Rata-rata *Response Time* terbaik aplikasi *email* didapat oleh AM, yaitu sebesar 2.47 detik untuk DL dan sebesar 2.60 detik untuk UL. Rata-rata *Response Time* terbaik untuk aplikasi *web* didapat oleh AM, yaitu sebesar 0.42 detik untuk *Object* dan sebesar 0.99 detik untuk *Page Response Time*. Sesuai dengan nilai *Response Time* yang dihasilkan, *email* dan *web* yang merupakan komunikasi data bersifat asimetrik lebih sesuai menggunakan AM. Nilai *end-to-end delay video conferencing* UM bernilai konstan 0.26 detik untuk semua *user* pada semua skenario. Sedangkan *end-to-end delay video conferencing* AM memiliki nilai rata-rata bervariasi antara 0.99 detik sampai 1.56 detik. Nilai *end-to-end delay* aplikasi *voice* untuk setiap pengguna bervariasi antara 0.22 detik sampai 2.94 detik, dengan nilai rata-rata terendah terdapat pada skenario UM yang bernilai 0.32 detik.

Berdasarkan paket yang dikirimkan dan paket yang berhasil diterima, dapat ditentukan besarnya *packet loss* setiap aplikasi. Pada aplikasi *email* dan *web*, rata-rata *packet loss* yang terendah didapat oleh skenario AM yaitu sebesar 0.07% untuk *email* dan 7% untuk *web*. *Packet loss* terendah pada aplikasi *video conferencing* dan *voice* didapat pada skenario UM, yaitu sebesar 10.53% untuk *video conferencing* dan 5.05% untuk *voice*. Rata-rata *packet loss* yang dialami *video conferencing* pada

skenario AM bernilai sangat besar, yaitu 85.82%. Sedangkan untuk *voice* skenario AM, didapat rata-rata *packet loss* sebesar 20.93%. AM yang menjalankan proses retransmisi paket yang hilang atau rusak tidak sesuai untuk dipakai pada aplikasi bersifat *real time conversation*.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap program simulasi dan analisis kinerja AM dan UM pada jaringan UMTS dengan menggunakan perangkat lunak OPNET Modeler v14.5 ini, diharapkan dilakukan penelitian lanjutan menggunakan standar UMTS Release 4, Release 5, dan Release selanjutnya untuk menghasilkan data *bit rate* yang lebih tinggi.

#### Referensi

- [1]. Ahmad, Rukhsar Cheema, and Muhammad Jehanzeb Irshad. Issues and Optimization of UMTS Handover. Master of Science Engineering. Blekinge Institute of Technology. Thesis 2008.
- [2]. 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.
- [3]. Cao, Jianguo. An E-Model Implementation for VoIP QoS Across a Hybrid UMTS Network. School of Electrical and Computer Engineering. RMIT University. Thesis 2009.
- [4]. Fitri, Riri Sari; Prima Dewi Purnamasari, Fauzan Zaini, dan Amry Daulat Glutom.. 2008. Performance Evaluation of IP Based Multimedia Services in UMTS. Revisa Informatica Economica nr.3(47). Page 5-11.
- [5]. Holma, Harri dan Antti Toskala. Eds. 2004. WCDMA For UMTS. West Sussex : John Wiley and Sons, Ltd.
- [6]. Li, Xi. Radio Access Network Dimensioning for 3G UMTS. Communication Networks Group. Center for Computer Science and Information Technology Bremen University. Disertasi 2009.
- [7]. Lu, Zheng dan Hongji Yang. 2012. Unlocking the Power of OPNET Modeler. New York : Cambridge University Press.
- [8]. 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.
- [9]. Puschita, E., Manuliac, G., Palade, T., 2011. QoS Support in UMTS Networks. The Third International Conference on Advances in Future Internet.
- [10]. Sethi, Adarshpal dan Hnatyshin Vasil. 2013. The Practical OPNET® User Guide For Computer Network Simulation. Boca Raton, London, New York : CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [11]. Utomo, Cahyo. Evaluasi Kinerja Penjadwalan Modified Deficit Round Robin (MDRR) dan Round Robin (RR) pada Jaringan Mobile Wimax. Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. penelitian 2011.
- [12]. 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. penelitian 2012.