

SIMULASI DAN ANALISA SCHEDULING SERVICE CLASS PADA JARINGAN WiMAX MENGGUNAKAN OPNET MODELER

Ahmad Arif, Helmy Fitriawan, Muhamad Komarudin
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
imailisia@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan manusia akan informasi saat ini mendorong permintaan terhadap akses data internet bekecepatan tinggi meningkat dengan pesatnya. Layanan yang ditawarkan pun semakin beragam mencakup teks, suara, video, dan data. Hal tersebut kini telah semakin menjadi kebutuhan sehari-hari yang tak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Sehingga dibutuhkan teknologi yang mampu memberikan layanan suara, data, maupun video dengan kualitas yang lebih baik. Penelitian ini membahas tentang penerapan *scheduling service class* pada aplikasi-aplikasi komunikasi data pada jaringan *fixed WiMAX*. Jaringan *fixed WiMAX* disimulasikan menggunakan Opnet Modeler. Perancangan jaringan dilakukan menggunakan satu buah BS, 16 buah SS, dan server sebagai sumber trafik. Pengambilan data dilakukan selama sepuluh menit. Hasil simulasi yang didapat menunjukkan bahwa pada aplikasi suara, *service class* UGS memiliki nilai *throughput* terbesar yaitu 3 Mbps dan memiliki nilai *jitter* terkecil yaitu mendekati 0 s. Pada aplikasi video, *service class* rtPS memiliki nilai *throughput* terbesar yaitu 44 Mbps dan memiliki nilai *delay* terkecil yaitu 0,17 s. Pada aplikasi *file transfer*, *service class* nrtPS memiliki nilai *throughput* terbesar yaitu 6.745.187 bps dan memiliki nilai *delay* terkecil yaitu 0,014 s. Pada aplikasi *web browsing*, *service class* nrtPS memiliki nilai *throughput* terbesar yaitu 8,2 Mbps dan memiliki nilai *delay* terkecil yaitu 0,022 s.

Kata kunci : *fixed WiMAX, scheduling service, Opnet Modeler*

Abstract

Human need for information now pushing the demand for internet data access speed high rises rapidly. The service offers diverse include text, sound, video, and data. It has become even daily needs that can not be separated from human life. So the need for technology that can deliver voice, data, and video with better quality. This study discusses the application of scheduling service class on data communications applications in the Fixed WiMAX network. Fixed WiMAX network is simulated using OPNET Modeler. Network design performed using a single BS, SS 16 pieces, and the server as a source of traffic. Data is collected for ten minutes. The simulation results obtained show that the application of sound, UGS service class has the greatest value is 3 Mbps throughput and jitter smallest value that is close to 0 s. In video applications, rtPS service class has the greatest value of throughput is 44 Mbps and has the smallest delay value was 0.17 s. On the application file transfer, nrtPS service class has the greatest value is 6,745,187 bps throughput and has the smallest delay value is 0.014 s. In the web browsing application, nrtPS service class has the greatest value is 8.2 Mbps throughput and has the smallest delay value is 0.022 s.

Keywords : *fixed WiMAX, scheduling service, Opnet Modeler*

I. Pendahuluan

Perkembangan layanan informasi komunikasi melaju begitu pesat. Pada awalnya layanan informasi komunikasi hanya berupa suara, sekarang telah berkembang layanan yang dapat memenuhi kebutuhan informasi, data (multimedia), dan video. Pada layanan informasi data (multimedia) dan video, kecepatan dan kehandalan dalam pengaksesan data maupun video merupakan parameter penting bagi pelanggan. Komunikasi video juga membutuhkan lebar pita yang besar karena melibatkan transmisi

suara dan data *real time*. Sehingga dibutuhkan teknologi yang mampu memberikan layanan suara, data, maupun video dengan kualitas yang lebih baik.

Teknologi yang digunakan sekarang masih berupa tradisional *broadband* yang dilewatkan melalui saluran telepon dan kabel yang perkembangannya lambat karena masalah pemasangan, pengembangan, dan pembangunan infrastruktur yang mahal dan terbatas. Hadirnya teknologi WiMAX dengan standar IEEE 802.16

memungkinkan koneksi *nirkabel* kecepatan tinggi dengan biaya yang efektif ke pengguna, baik yang berada di perkotaan maupun daerah. [1]

Teknologi *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* merupakan teknologi yang masih baru dalam keluarga jaringan komputer, namun WiMAX merupakan salah satu teknologi *broadband wireless connection* yang saat ini banyak operator di Indonesia mulai tertarik untuk mengimplementasikan. Teknologi WiMAX mengacu pada standar 802.16 dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, dapat memberikan perspektif baru dalam mengakses internet dengan kecepatan tinggi tanpa tergantung pada jaringan kabel. Dengan lahirnya teknologi baru di jaringan *wireless* seperti WiMAX, tentunya diiringi dengan kemampuan yang lebih bila dibanding dengan teknologi generasi sebelumnya. Disamping mengusung isu *interoperability, security, availability, capability, Non Line of Sight (NLOS)*, jarak jangkauan yang luas dan *mobility*, WiMAX tak kalah penting juga menawarkan *Quality of Service (QoS)*. Pengaturan QoS pada jaringan WiMAX dijalankan oleh *Medium Access Control (MAC)* layer.

QoS adalah kemampuan dari suatu jaringan untuk menyediakan pelayanan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan pengguna WiMAX. Dengan kemampuan memberikan QoS yang beragam, maka akan sangat menguntungkan baik bagi operator maupun pelanggan. Bagi operator dapat memberikan perbedaan layanan dan tarif berdasarkan tipe QoS kepada yang diberikan pelanggan. Sedangkan pada pelanggan dapat memilih layanan sesuai dengan pertimbangan kebutuhan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui penerapan *scheduling service class* pada aplikasi-aplikasi komunikasi data pada jaringan WiMAX dengan mensimulasikan sebuah jaringan WiMAX menggunakan *software* OPNET Modeler. Serta mencoba menganalisa jenis *scheduling service class* manakah yang tepat untuk diimplementasikan pada jaringan, sehingga jaringan tersebut dapat berjalan dengan baik.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Standarisasi WiMAX

WiMAX merupakan standar *Broadband Wireless Access (BWA)* dengan kemampuan untuk menyalurkan data kecepatan tinggi (layaknya teknologi xDSL pada jaringan *wireline*). Banyak kemampuan lebih yang ditawarkan oleh teknologi WiMAX dibanding teknologi sebelumnya seperti kemampuan diterapkan dalam kondisi *Non Line of Sight (NLOS)*, aplikasinya baik untuk *fixed, nomadix, portable* maupun *mobile*.

Di IEEE terdapat *working group* yang khusus menangani dan mengembangkan WIMAX (802.16).

Standar 802.16 ini difokuskan untuk mengatur spesifikasi sistem WiMAX di layer MAC (layer 2) dan PHY (layer 1). Di ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*) juga mengatur spesifikasi BWA yang setara dengan WiMAX yaitu *ETSI BRAN HIPERACCESS*. Standar ini mengatur spesifikasi *fixed point to Multipoint (PMP)* BWA yang beroperasi pada *band frekuensi* 10 sampai dengan 66 GHz [2]. Standarisasi untuk WiMAX sendiri terus mengalami evolusi dan pengembangan oleh IEEE sejak pertama kali dikeluarkan tahun 2001.

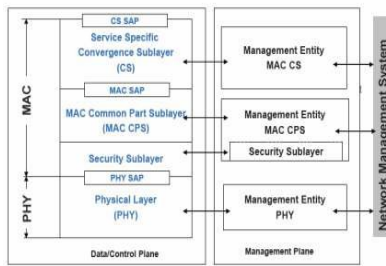
Tabel 1. Standarisasi WiMAX

	802.16	802.16a rev d	802.16e
Selesai	Desember 2001	Juni 2004	Akhir 2005
Spektrum	10-66 GHz	2-11 GHz	<6 GHz
Kondisi kanal	LOS	NLOS	NLOS
Bit Rate	32-134 Mbps pada 28 MHz	Sampai 70 Mbps	Sampai 35 MHz
Modulasi	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256 subcarrier, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256 subcarrier, QPSK, 16QAM, 64QAM
Mobilitas	Fixed	Fixed, portable	Nomadic, portable
Bandwidth	20, 25, 28 MHz	1,5 sampai 20 MHz	1,25 sampai 20 MHz
Jangkauan	2-5 Km	Hingga 30 Km	Hingga 10 Km

2.2 Struktur Layer

Karakteristik standar 802.16e ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *Physical Layer (PHY Layer)* dan *Medium Access Control (MAC)*. Perbedaan karakteristik kedua layer ini akan membedakan varian-variannya. Pada gambar 3. ditunjukkan lingkup dari standar yang meliputi PHY dan MAC.

Physical Layer menjalankan fungsi mengalirkan data di level fisik. *MAC Layer* berfungsi sebagai penerjemah protokol – protokol yang ada di atasnya seperti ATM dan IP. *MAC Layer* dibagi menjadi tiga sub-layer yaitu : *Convergence Sublayer (CS)*, *MAC Common Part Sublayer* dan *Security Sublayer* [3]. Fungsi lapis fisik adalah membangun koneksi fisik diantara dua sisi alat komunikasi, dan biasanya melalui dua jalur komunikasi (*uplink* dan *downlink*).



Gambar 1. Layer PHY dan MAC pada Standar WiMAX

III. Scheduling Service Class

Pada mekanisme MAC layer memungkinkan WiMAX dapat menjalankan QoS dengan berbagai kebutuhan *bandwidth* dan aplikasi. Sebagai contoh aplikasi suara dan video memerlukan *latency* yang rendah tetapi masih bisa mentolerir beberapa *error rate*. Sebaliknya aplikasi-aplikasi data pada umumnya sangat sensitif terhadap *error rate*, sedangkan faktor *latency* bukan menjadi pertimbangan kritis. Perubahan parameter QoS bisa diminta oleh SS ke BS dengan sambungan masih tetap terjaga. Pada layer MAC menggunakan scheduling service class untuk mengirimkan dan menangani SDU dan MAC PDU berdasarkan QoS yang diinginkan. Berikut jenis dari *scheduling service* pada WiMAX [4].

1) Unsolicited Grant Service (UGS)

UGS digunakan untuk layanan yang membutuhkan jaminan pengiriman data dengan prioritas paling utama. Karakteristik UGS meliputi :

- Seperti halnya layanan *Constant Bit Rate* (CBR) pada ATM, yang dapat memberikan pengiriman data secara periodik dengan ukuran yang sama.
- Untuk layanan yang membutuhkan jaminan *real-time*.
- Efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput*, *latency* dan *jitter*.
- Maximum dan minimum *bandwidth* yang ditawarkan sama.
- Contohnya untuk aplikasi VoIP, T1/E1 atau ATM CBR.

2) Real-time Polling Service (rtPS)

Karakteristik dari rtPS meliputi :

- efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput* dan *latency*.
- Garansi rate dan syarat *delay* telah ditentukan.
- Contohnya MPEG, Voip, *Video Conference*

3) non-real-time Polling Service (nrtPS)

Karakteristik dari nrtPS meliputi :

- efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput* yang intensif.
- Layanan mungkin dapat di *expand* sampai *full bandwidth* namun dibatasi pada kecepatan maksimum yang telah ditentukan.
- Garansi rate diperlukan namun *delay* tidak digaransi.
- Contohnya aplikasi seperti video dan *audio streaming*.

4) Best Effort (BE)

Karakteristik dari BE meliputi :

- Untuk trafik yang tidak membutuhkan jaminan kecepatan data.
- Tidak ada jaminan pada rate atau *delay*nya.
- Contohnya aplikasi internet (*web browsing*), *email*, FTP.

IV. OPNET Modeler

OPNET Modeler adalah sebuah perangkat lunak untuk memodelkan dan mensimulasi jaringan kabel maupun jaringan *nirkabel*. OPNET menyediakan lingkungan kerja yang luas untuk pemodelan dan evaluasi kehandalan berbagai jaringan komunikasi. Perangkat lunak Opnet yang digunakan pada penelitian ini adalah Opnet Modeler versi 14.0.

Model jaringan WiMAX merupakan model simulasi kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation Model*) yang memungkinkan untuk melakukan penganalisaan performansi jaringan *Wireless Metropolitan Area Network* [5].

V. Simulasi Jaringan

Pembuatan simulasi menggunakan beberapa buah *node* yang berbeda sesuai dengan fungsinya pada jaringan. Secara umum, jaringan *fixed Wimax* yang akan dibuat terdiri dari beberapa *Subscriber Station* (SS), satu *Base Station* (BS), dan *server*. SS diwakili oleh *Node WiMAX workstation*, *node Wimax_bs_router* mewakili BS WiMAX sedangkan server diwakili oleh *node ethernet_server*. Program akan dijalankan untuk mensimulasikan aktivitas jaringan Wimax selama 10 menit (600 detik).

5.1 Pengaturan Aplikasi Data

Aplikasi data adalah jenis-jenis data yang akan dilewatkan sebagai trafik pada jaringan Wimax. Ada 4 jenis aplikasi data yang akan digunakan pada simulasi ini, yaitu suara, video, FTP dan *web browsing*.

1) Aplikasi suara

Sebuah aplikasi suara memungkinkan dua klien untuk membangun saluran virtual dimana mereka dapat berkomunikasi menggunakan sinyal suara

yang telah dikodekan secara digital. Pengaturan aplikasi suara dapat dilakukan sesuai tabel 2.

Tabel 2. Parameter pada aplikasi suara

Parameter	Nilai
Encoder scheme	G.711
Voice frame per packet	1
Type of Service	Interactive voice (6)

Aplikasi suara yang digunakan adalah *PCM quality Speech* dimana spesifikasinya memakai *skema encoder G. 711* dengan bit rate sebesar 64 Kbps. Selain itu *voice frame per paket* yang digunakan sebesar 1 *frame per paket*. Sedangkan *Type of Service (ToS)* diatur menggunakan Interactive voice (6).

2) Aplikasi Video

Aplikasi video yang digunakan pada simulasi ini adalah aplikasi video konferensi. Sebuah aplikasi video konferensi memungkinkan pengguna untuk mentransfer *frame streaming* video pada jaringan. Parameter video pada simulasi kali ini menggunakan video *low resolution* yaitu Frame waktu antar kedatangan sebesar 10 frame per detik, dengan ukuran frame 128x120 pixels. Sedangkan *Type of Service (ToS)* yang digunakan adalah Best Effort (0). Parameter aplikasi video dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter pada aplikasi Video

Parameter	Nilai
Frame interarrival time	15 frame/sec
Frame size information (bytes)	128x240 pixels
Type of service	Best effort (0)

3) Aplikasi FTP

Aplikasi FTP memungkinkan transfer file antara klien dan server. FTP memiliki dua perintah dasar untuk memindahkan file yaitu perintah "get" dan "put". Perintah "get" memicu pengiriman file dari server ke klien. Perintah "put" mengirim file dari klien ke server.

Tabel 4. Parameter pada aplikasi FTP

Parameter	Nilai
Command mix (get/total)	50%
Inter-request time (s)	constant (1,0)
File size (bytes)	Constant (50000)
Type of service	Excellent effort (3)

Aplikasi FTP yang digunakan pada simulasi ini menggunakan data yang memiliki ukuran file sebesar 50.000 byte dan *inter-request time* menggunakan constant (1,0).

Command Mix pada pengaturan aplikasi FTP menunjukkan prosentase file perintah "get" terhadap perintah FTP total. Sedang prosentase sisanya adalah

besarnya file dari perintah "put". Dengan kata lain saat *command mix* diatur sebesar 50 % maka besarnya file yang dikirim dan yang diterima sama. *Type of Service* yang digunakan untuk aplikasi ini adalah Excellent effort (3).

4) Aplikasi Web browsing

Model aplikasi *Web browsing* adalah HTTP. Pengguna mengunduh halaman dari server. Halaman yang diunduh ini berisi data teks dan informasi grafis. Data yang digunakan sesuai dengan nilai parameter seperti tabel 5.

Tabel 5. Parameter pada aplikasi HTTP

Parameter	Nilai
HTTP Specification	HTTP 1.1
Page interarrival time	Constant (1,0)
Page properties	-
Object size	Konstan (1000), large image, small image,
Number of object	Konstan (1), konstan (5), konstan (8), konstan (3)
Server selection	-
Page per server	Exponential (10)
Type of service	BE (Best Effort)

Spesifikasi HTTP yang digunakan adalah HTTP versi 1.1. *Page interarrival time* pareto (5, 20). Parameter *page properties* menunjukkan properti halaman yang dijalankan pada aplikasi HTTP. Berdasarkan tabel 5. di atas, suatu web yang dimodelkan memiliki halaman web dengan ukuran 1000 byte dan berisi obyek berupa *large image* sejumlah 5 buah, *medium image* sebanyak 3 buah, dan *small image* sebanyak 8 buah.

5.2 Skenario Simulasi

Pada simulasi ini akan dirancang 4 skenario, dengan masing-masing skenario menggunakan trafik yang sama, dan menggunakan jenis *scheduling service class* yang berbeda. Dimana pada masing-masing skenario terdiri dari 4 jenis *scheduling service class*, yaitu UGS, rtPS, nrtPS, dan BE. Untuk seluruh skenario akan menggunakan model jaringan yang terdiri dari 1 *server*, 1 *base station*, dan 16 *subscriber station*. Sebuah *server* yang menyediakan layanan aplikasi akan terhubung dengan *base station*. *Base station* akan memancarkan sinyal yang kemudian akan terkirim kepada *subscriber station* di sekitar *base station*, proses ini disebut *downlink*.

Untuk seluruh skenario akan menggunakan konfigurasi aplikasi maksimal untuk setiap aplikasi yang sudah tersedia pada OPNET. Sehingga performa setiap QoS teruji dalam menangani aplikasi dengan konfigurasi maksimal dan agar dapat menentukan jenis *scheduling service class* terbaik untuk masing-masing aplikasi dengan konfigurasi maksimal. Berikut beberapa skenario yang akan dilakukan :

1) Voice Traffic

Pada skenario ini akan menguji performa masing-masing *scheduling service class* dalam menangani *Voice Traffic* dengan menggunakan UGS, rtPS, dan BE. Server akan menyediakan aplikasi *voice* dengan kualitas *PCM Quality Service*. Aplikasi yang dilayani oleh *base station* adalah *voice*, sesuai dengan apa yang sudah disediakan oleh *server. subscriber station* yang digunakan sebanyak 16 buah, dimana seluruh *subscriber station* meminta satu aplikasi yang sama, yaitu *voice*.

2) Video Conferencing Traffic

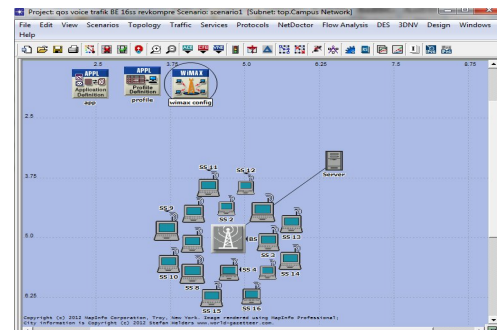
Pada skenario ini akan menguji performa masing-masing *scheduling service class* dalam menangani *Video Conferencing Traffic* dengan menggunakan UGS, rtPS, dan BE. Server akan menyediakan aplikasi *video conferencing* dengan resolusi rendah. Aplikasi yang dilayani oleh *base station* adalah *video Conference*, sesuai dengan apa yang sudah disediakan oleh *server. subscriber station* yang digunakan sebanyak 16, dimana seluruh *subscriber station* meminta satu aplikasi yang sama, yaitu *video conference*.

3) File Transfer Traffic

Pada skenario ini akan menguji performa masing-masing *scheduling service class* dalam menangani *file transfer Traffic* dengan menggunakan UGS, nrtPS dan BE. Server akan menyediakan aplikasi *file transfer*. Aplikasi yang dilayani oleh *base station* adalah *file transfer*, sesuai dengan apa yang sudah disediakan oleh *server. subscriber station* yang digunakan sebanyak 16 buah, dimana seluruh *subscriber station* meminta satu aplikasi yang sama, yaitu *file transfer*.

4) Web Browsing Traffic

Pada skenario ini akan menguji performa masing-masing *scheduling service class* dalam menangani *Web Browsing Traffic* dengan menggunakan UGS, nrtPS, dan BE. Server akan menyediakan aplikasi *web browsing*. Aplikasi yang dilayani oleh *base station* adalah *web browsing*, sesuai dengan apa yang sudah disediakan oleh *server. subscriber station* yang digunakan sebanyak 16 buah, dimana seluruh *subscriber station* meminta satu aplikasi yang sama, yaitu *web browsing*.



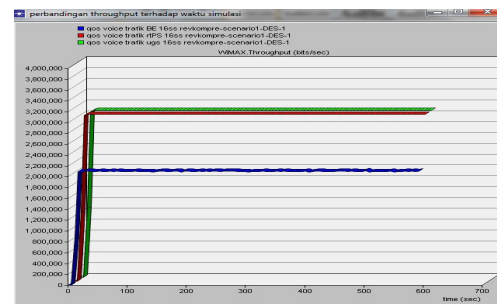
Gambar 2. Topologi jaringan fisik simulasi

VI. Analisa Hasil Simulasi Jaringan

Perbandingan hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi yang diperoleh pada jenis aplikasi yang digunakan dengan jenis *scheduling service class* yang digunakan.

6.1 Voice Traffic

Throughput

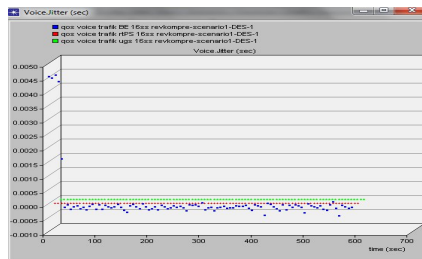


Gambar 3. Perbandingan nilai *throughput* pada UGS, rtPS, dan BE

Berdasarkan grafik diatas dapat kita lihat nilai *throughput* pada masing-masing layanan, dimana UGS memiliki nilai yang tinggi yang hampir sama dengan rtPS yaitu dengan nilai sebesar 3 Mbps, serta BE memiliki nilai *throughput* sebesar 2 Mbps.

Jitter

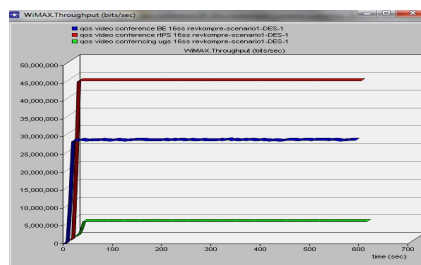
Berdasarkan grafik dibawah dapat kita lihat bahwa pada layanan BE memiliki nilai *jitter* tertinggi daripada UGS dan rtPS, dengan nilai rata-ratanya 2 ms. Pada layanan UGS dan rtPS memiliki nilai *jitter* yang hampir sama.



Gambar 4. Perbandingan nilai jitter pada UGS, rtPS, dan BE

6.2 Video conference Traffic

Throughput

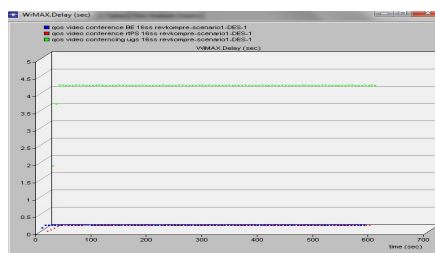


Gambar 5. Perbandingan nilai throughput pada UGS, rtPS, dan BE

Berdasarkan grafik diatas, dapat kita lihat nilai *throughput* pada masing-masing layanan, dimana layanan rtPS memiliki nilai yang paling tinggi yaitu dengan nilai sebesar 44 Mbps, dan layanan BE memiliki nilai *throughput* sebesar 28 Mbps, serta layanan UGS memiliki nilai *throughput* sebesar 4 Mbps.

Delay

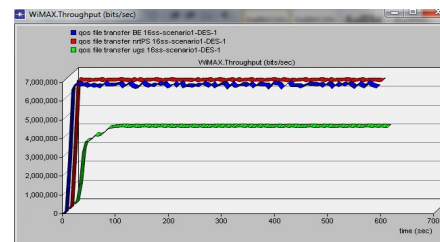
Pada gambar 6, layanan UGS memiliki nilai delay yang terbesar dibandingkan dengan layanan rtPS dan BE, yaitu dengan nilai delay 4 detik. Hal ini dikarenakan pada layanan UGS menawarkan penggunaan untuk ukuran paket data tetap. Pada layanan BE memiliki nilai delay yang cukup relatif kecil, yaitu sebesar 0,27 detik. Dan pada layanan rtPS memiliki nilai delay yang terkecil yaitu sebesar 0,17 detik.



Gambar 6. Perbandingan nilai delay pada UGS, rtPS dan BE

6.3 File Transfer Traffic

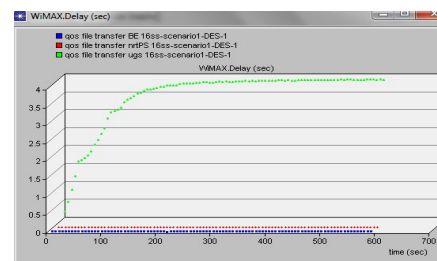
Throughput



Gambar 7. Perbandingan nilai throughput pada UGS, nrtPS, dan BE

Berdasarkan grafik diatas dapat kita lihat nilai *throughput* pada layanan BE dan nrtPS memiliki nilai rata-rata *throughput* yang hampir sama, yaitu untuk layanan BE memiliki nilai sebesar 6.743.346 bps, dan layanan nrtPS memiliki nilai sebesar 6.745.187 bps. Sedangkan untuk layanan UGS memiliki nilai rata-rata *throughput* sebesar 3.975.829 bps.

Delay

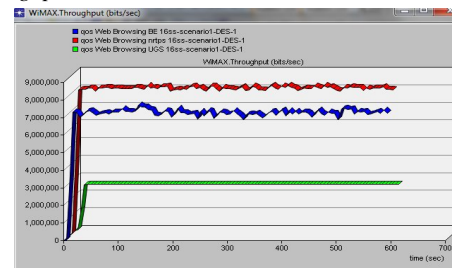


Gambar 8. Perbandingan nilai delay pada UGS, nrtPS, dan BE

Berdasarkan grafik diatas, pada layanan nrtPS memiliki nilai *delay* terkecil yaitu sebesar 0,014 detik. Layanan UGS memiliki nilai rata-rata *delay* terbesar yaitu sebesar 3,56 detik. Sedangkan pada layanan BE memiliki nilai *delay* sebesar 0,05 detik.

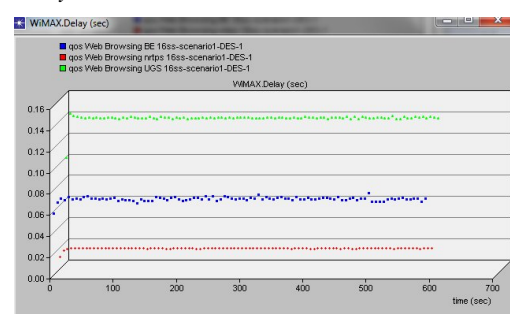
6.4 Web Browsing Traffic

throughput



Gambar 9. Perbandingan nilai throughput pada UGS, nrtPS, dan BE

Berdasarkan grafik diatas dapat kita lihat nilai *throughput* pada masing-masing layanan, dimana untuk layanan nrtPS memiliki nilai rata-rata *throughput* terbesar yaitu 8,2 Mbps, untuk layanan BE memiliki nilai rata-rata *throughput* sebesar 7,1 Mbps, sedangkan untuk layanan UGS memiliki nilai rata-rata *throughput* terkecil yaitu sebesar 2,5 Mbps.



Gambar 10. Perbandingan nilai *Delay* pada UGS, rtPS, dan BE

Berdasarkan grafik diatas, pada layanan nrtPS memiliki nilai *delay* terkecil yaitu sebesar 0.022 detik. Layanan UGS memiliki nilai *delay* terbesar yaitu sebesar 0,14 detik. Sedangkan pada layanan BE memiliki nilai *delay* sebesar 0,075 detik.

VII. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

- Pada aplikasi suara, nilai *throughput* tertinggi terdapat pada *service class* UGS, dan nilai *jitter* terendah terdapat pada *service class* UGS. Sehingga *service class* UGS lebih cocok digunakan pada aplikasi suara.
- Pada aplikasi video, nilai *throughput* tertinggi terdapat pada *service class* rtPS, dan nilai *delay* terendah terdapat pada *service class* rtPS. Sehingga *service class* rtPS lebih cocok digunakan pada aplikasi video.
- Pada aplikasi *file transfer*, *service class* nrtPS memiliki nilai *throughput* yang besar serta memiliki nilai *delay* yang kecil dibanding jenis *service class* yang lain. Sehingga *service class* nrtPS lebih cocok digunakan pada aplikasi *file transfer*.
- Pada aplikasi *web browsing*, *service class* nrtPS memiliki nilai *throughput* yang besar serta memiliki nilai *delay* yang kecil dibanding jenis *service class* yang lain. Sehingga *service class* nrtPS lebih cocok digunakan pada aplikasi *web browsing*.

Daftar Pustaka

- [1] Ricky Septiawan. 2009. *Deregulasi WiFi (wireless Fidelity) dan WiMAX (Worldwide Interopability for Microwave Acces) di negara berkembang*. Universitas Lampung.
- [2] A. Syed and I. Mohammad. 2008. *WiMax : Standards and Security*. CRC Press. New York.
- [3] Wibisono, Gunawan. dan Hantoro, Gunadi Dwi. 2006. *WiMAX Teknologi Broadband Wireless Access (BWA) Kini dan Masa Depan*. Informatika.
- [4] Gunawan Wibisono, Gunadi Dwi Hantoro, Made Meganjaya, Yudi Pram. 2007. *Peluang dan tantangan bisnis WiMAX di Indonesia*. Informatika Bandung, Bandung.
- [5] OPNET. Opnet Modeler 14.0 Documentation.