

EVALUASI KINERJA PENJADWALAN *WEIGHTED FAIR QUEUEING* (WFQ) DENGAN *ADAPTIVE MODULATION AND CODING* (AMC) DALAM JARINGAN MOBILE WIMAX

Nur Cahyo^{*)}, Sukiswo, And Ajub Ajulian Zahra

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

^{*)}E-mail: sonic_cahyo@yahoo.co.id

Abstrak

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menyediakan koneksi jalur lebar pita pada jarak yang jauh dengan kecepatan tinggi yang berbasis pada standar IEEE 802.16. Teknologi yang dipakai Mobile WiMAX adalah Scalable Orthogonal Division Multiple Access (SOFDMA). Pada jaringan WiMAX akan digunakan oleh banyak pengguna, maka dalam hal tersebut dibutuhkan penjadwalan. Penjadwalan ini bertujuan untuk mengatur antrian pada semua pengguna agar tidak terjadi banyak packet loss. Pada penelitian ini dirancang sebuah simulasi dan analisis kinerja jaringan Mobile WiMAX yang terbagi dalam 3 skenario menggunakan perangkat lunak OPNET v14.5. Dalam Skenario Tak Penuh terdapat 18 pengguna, Skenario Hampir Penuh terdapat 25 pengguna dan Skenario Penuh terdapat 31 pengguna. Perbedaan jumlah pengguna dimaksudkan untuk menganalisa penjadwalan Weighted Fair Queueing (WFQ). Parameter-parameter yang digunakan adalah throughput, delay jaringan dan fairness index pada setiap pengguna dalam masing-masing skenario. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa nilai throughput untuk layanan HTTP berkisar antara 129-135 kbps, untuk layanan FTP antara 106-113 kbps, untuk VoIP berkisar 138 kbps dan Video Conference sebesar 79 kbps. Dengan penjadwalan WFQ memberikan cukup adil alokasi pembagian lebar pita, dibuktikan dengan fairness index untuk Skenario Tak Penuh sebesar 0,96, untuk Skenario Hampir Penuh sebesar 0,95 dan untuk Skenario Penuh sebesar 0,97. Delay masing-masing layanan kurang dari 0.006 detik

Kata kunci : Mobile WiMAX, OPNET Modeler v14.5, Weighted Fair Queueing, Throughput, Delay

Abstract

WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) is a wireless communications technology that provides broadband connections over long distances tape at high speed based on the IEEE 802.16 standard. Mobile WiMAX technology is used Scalable Orthogonal Division Multiple Access (SOFDMA). In WiMAX network will be used by many users, it is necessary in terms of scheduling. Scheduling is intended to regulate the queueonall users from a lot of packet loss does not occur. In this study designed a simulation and performance analysis of Mobile WiMAX network is divided into 3 scenarios using OPNET software v14.5 . In Scenario Not Fully there are 18 users , Scenario Almost Full are 25 users and 31 users Scenario sold there . The difference is intended to analyze the number of users Weighted Fair Queueing scheduling (WFQ) . The parameters used are the throughput, the network delay and fairness index for each user in each scenario. From the simulation results obtained that the throughput values for the HTTP service ranged between 129-135 kbps, for the FTP service between 106-113 kbps, 138 kbps range for VoIP and Video Conference at 79 kbps. With WFQ scheduling gives a pretty fair distribution of bandwidth allocation, evidenced by the fairness index for Scenario Not Full of 0.96, for Scenario Almost Full of 0.95 and 0.97 for the full scenario. Delay of each service is less than 0.006 seconds

Keywords : Mobile WiMAX, OPNET Modeler v14.5, Weighted Fair Queueing, Throughput, Delay

I Pendahuluan

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Acces*) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menyediakan koneksi jalurpita lebar pada jarak yang jauh

dengan kecepatan tinggi. Salah satu keunggulan WiMAX dibandingkan teknologi internet nirkabel yang lain yang telah ada adalah kemampuan memberikan kepastian *Quality of service* (QoS). Terdapat 5 tipe kelas layanan QoS yang disediakan oleh Wimax^[1] yaitu

Unsolicited Grand Service (UGS), Real time Polling Service (rtPS), Non Real Time Polling Service (nrtPS), Best Effort (BE), dan Extended Real time Polling Service (ErtPS). Masing-masing kelas QoS tersebut memberikan kualitas layanan yang berbeda-beda tergantung dari aplikasi layanan yang disediakan oleh WiMAX tersebut.

Dalam Pada IEEE standar 802.16, tidak ditetapkan algoritma penjadwalan untuk downlink maupun uplink. Hal ini menjadikan algoritma penjadwalan yang efisien merupakan tantangan bagi peneliti dan pengembang WiMAX. Penjadwalan pada Wimax memang sedang menjadi isu terbaru dalam perkembangan teknologi telekomunikasi. Banyak referensi yang sudah membahas penjadwalan pada jaringan WiMAX.

Dengan mengacu pada beberapa sumber, melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh saudara Cahyo Utomo dan penelitian Vinit Grewal, maka penelitian ini akan mencoba melakukan evaluasi kinerja dari algoritma penjadwalan *Weighted Fair Queueing (WFQ)* menggunakan *Adaptive Modulation and Coding (AMC)* pada jaringan *mobile WiMAX* dengan skenario, parameter dan jenis metrik QoS yang berbeda sehingga diperoleh data untuk dapat mengetahui kinerja dari algoritma-algoritma tersebut.

Mobile WiMAX

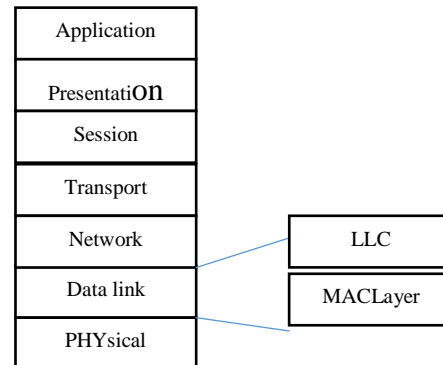
WiMAX merupakan teknologi nirkabel pita lebar dengan akses *fixed, nomadic, portabledan mobile* yang disebut juga dengan WBA (*Wireless Broadband Access*) dan dikenal dengan IEEE 802.16 ataupun ETSI HiperMAN. Akses tersebut digolongkan dalam dua bagian, yaitu Wimax yang mendukung akses *fixed* dan *nomadic* adalah standar IEEE 802.16-2004, sedangkan WiMAX yang mendukung *portability* dan *mobility* adalah standar IEEE802.16e. Sebelumnya versi Wimax ini mengalami pembaharuan, mulai dari versi 802.16a, 802.16b, 802.16c, 802.16d (2004) dan terakhir adalah 802.16e. *Mobile WiMAX (IEEE 802.16e)* merupakan versi baru dari WiMAX 802.16-2004 yang mempunyai kemampuan dalam mengoptimalkan kanal radio nirkabel yang dinamis serta mendukung kemampuan untuk *handoffs* dan *roaming*.

Standar IEEE 802.16e menggunakan *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access (SOFDMA)*, sebagai teknik modulasi multicarrier-nya dengan subkanalisasi. Dengan menggunakan SOFDMA, yang menggunakan 256 frekuensi pembawa maka interferensi kanal akan seminim mungkin. Frekuensi yang digunakan adalah 2,5 GHz dan 3,5 GHz.

Struktur Lapisan Pada WiMAX

Standar IEEE 802.16 hanya mencakup dua lapisan terbawah dari lapisan OSI. Pada standar IEEE 802.16,

data link layer dibagi menjadi 2 sublapisan yaitu LLC (Logical Link Control) dan MAC (Medium Access Control). Gambar 1 di bawah ini menunjukkan tujuh lapisan OSI dan dua sublapisan dari data link layer.



Gambar 1 OSI network reference seven-layer model^[6]

Dua lapisan jaringan yang didefinisikan pada standar IEE 802.16 adalah lapisan MAC. Lapisan MAC dibagi ats 3 sublapisan, yaitu *Convergen Sublayer, Common part Sublayer* dan *Security Sublayer*. Pada lapisan fisik ditentukan tipe sinyal yang digunakan, jenis modulasi dan demodulasi, serta berbagai karakteristik fisik lainnya. Lapisan fisik *mobile WiMAX* berada pada kisaran frekuensi 2-11 GHz. Frekuensi ini memungkinkan transmisi yang bersifat *Non Line of Sight (NLOS)*.

Lapisan MAC, merupakan antarmuka antara lapisan fisik dan layer data link di atasnya. Pada awalnya, lapisan MAC hanya didesain untuk arsitektur *point to multipoint (PMP)*. Melalui amandement 802.16a dan 802.16d, lapisan MAC WiMAX juga mendukung arsitektur *mesh network*.

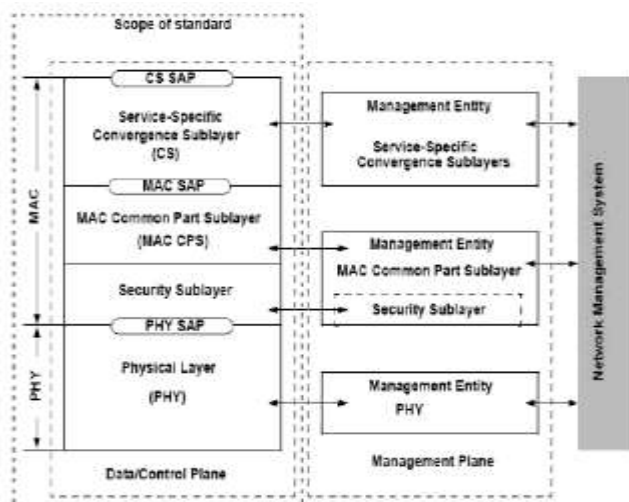
Lapisan MAC pada WiMAX

Sesuai dengan standar IEEE 802.16 lapisan MAC merupakan sublapisan kedua dari lapisan data link. Lapisan MAC pada Wimax bersifat *connection oriented*. Saat telah terkoneksi dengan sebuah BS, SS akan membuat satu atau lebih koneksi ke BS sesuai dengan jenis data yang ingin ditransmisikan. Pemetaan data ke jenis kelas QoS yang sesuai dan pembuatan koneksi dilakukan pada lapisan MAC. Lapisan MAC pada Wimax dibagi atas tiga sublapisan, yaitu *Convergen Sublayer (CS), Common part Sublayer (CPS)*, dan *Security Sublayer*.

Convergen Sublayer

Convergen Sublayer (CS) merupakan sublapisan paling atas dari lapisan MAC. CS bersifat *connection oriented*. Pada standar IEEE 802.16 tahun 2004, didefinisikan dua spesifikasi CS, yaitu *Asynchronous*

Transfer Mode (ATM) CS dan Paket CS. ATM CS didesain untuk dapat menerima paket ATM dari lapisan ATM di atasnya. Paket CS didesain untuk dapat menerima paket data dari lapisan atas yang menggunakan protokol berbasis paket. Contoh protokol yang berbasis paket adalah *Internet Protocol (IP)* baik versi 4 maupun versi 6, *Point to Point Protocol (PPP)*, dan standar IEEE 802.3 (Ethernet)



Gambar 2 Standar MAC dan PHY (*physical layer*) IEEE 802.16^[1]

Common Part Sublayer

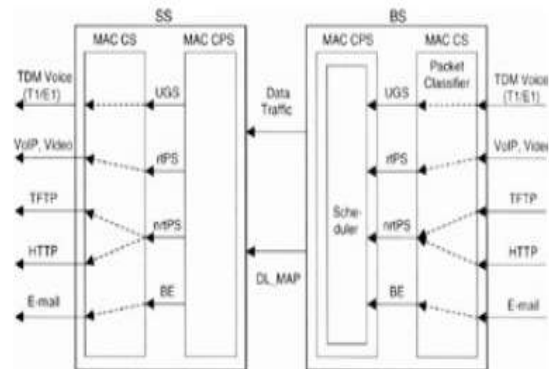
Common Part Sublayer (CPS) merupakan sublapisan kedua pada lapisan MAC Wimax. Sublapisan ini bertanggung jawab atas 3 hal berikut :

1. Pengalokasian lebar pita
2. Pembentukan koneksi
3. Pengaturan koneksi antara dua terminal (BS dan MS)

Penjadwalan erat kaitannya dengan kelas QoS yang didefinisikan pada standar Wimax. Tujuan dilakukannya penjadwalan adalah agar setiap pengguna sebisa mungkin dapat memperoleh layanan yang sesuai dengan aplikasi yang dijalankan. Penjadwal pada BS mengalokasikan sejumlah lebar pita yang dibutuhkan oleh tiap-tiap aplikasi yang meminta alokasi lebar pita. Pemberian alokasi lebar pita ini dilakukan perCID. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa setiap koneksi berelasi dengan sebuah service flow dan setiap service flow memiliki QoS parameter yang berisi jenis kelas QoS yang dipakai. Gambar 5 menunjukkan ilustrasi mekanisme penjadwalan pada sebuah terminal.

Modul penjadwal pada BS bertugas untuk menentukan profil burst dan periode transmisi dari tiap-tiap koneksi. Pilihan parameter pengkodean dan modulasi ditentukan oleh BS dengan memperhatikan kualitas saluran dan beban jaringan yang ada. Untuk itu, penjadwal pada BS harus memonitor nilai CINR dari berbagai

saluran untuk kemudian menentukan kebutuhan lebar pita untuk tiap SS sesuai dengan kelas layanan untuk jenis koneksi tersebut.



Gambar 3 Mekanisme penjadwalan pada sebuah sistem^[4]

QoS pada WiMAX

Standar IEEE 802.16 menetapkan bahwa lapisan MAC dapat memberikan jaminan QoS yang berbedabeda untuk setiap jenis aplikasi. Perbedaan jenis jaminan QoS ini disebut dengan kelas QoS. Tiap kelas dilengkapi dengan parameter QoS service flow yang mengatur tingkah laku dari kelas tersebut. Terdapat 5 jenis kelas QoS menurut IEEE 802.16e yaitu :

1. *Unsolicited Grant Service (UGS)*
2. *Real time Polling Service (rtPS)*
3. *Non real time Polling Service (nrtPS)*
4. *Best Effort (BE)*
5. *Extended real time Polling Service (ertPS)*

Matriks QoS

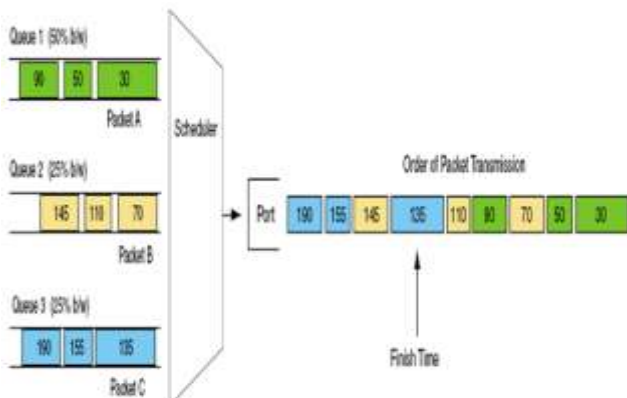
Kualitas suatu algoritma penjadwalan dapat dinilai baik atau buruk dengan menetapkan parameter-parameter pengukuran. Parameter pengukuran digunakan agar dalam menganalisa efektivitas suatu algoritma penjadwalan dapat dilakukan dari sudut pandang yang sama. Parameter pengukuran inilah yang disebut dengan metrik QoS. Beberapa metrik QoS yang akan digunakan pada penelitian ini antar lain :

1. *Throughput*
2. Waktu Tunda (*delay*)
3. *Fairness Index*

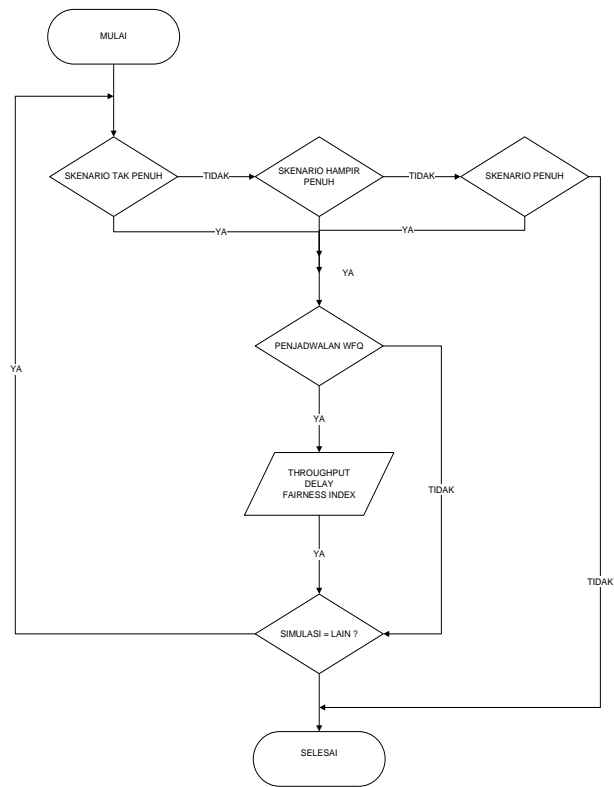
Penjadwalan WFQ

Pada algoritma penjadwalan WFQ, mekanisme penjadwalannya mendekati penjadwalan menggunakan WRR (*Weighted Round Robin*). WFQ mendekati teori disiplin penjadwalan ini dengan menghitung dan menetapkan *finish time* untuk setiap paket. Dengan memberikan *bit rate* dari *port output*, jumlah antrian aktif, berat *relatif* ditetapkan untuk masing-masing antrian, dan

panjang dari masing-masing paket di setiap antrian, maka akan memungkinkan disiplin penjadwalan untuk menghitung dan menetapkan *finish time* untuk setiap paket yang datang. Penjadwalan kemudian memilih dan meneruskan paket yang memiliki *finish time* terkecil di antara semua paket antrian. Penting untuk memahami bahwa *finish time* bukan merupakan waktu transmisi sebenarnya untuk setiap paket. Sebaliknya, *finish time* adalah angka yang diberikan untuk setiap paket yang merupakan urutan dimana paket seharusnya ditransmisikan pada *port output*.



Gambar 3 Penjadwalan WFQ dengan service berdasarkan *Finish Time* paket [5]



Gambar 4 Diagram alir simulasi

2 Metode

2.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian ini dibuat suatu jaringan WiMAX dengan menggunakan simulator OPNET modeler v14.5. simulasi dirancang dengan menggunakan node-node berbeda sesuai fungsinya pada jaringan *mobileWiMAX*. Pembuatan simulasi menggunakan beberapabuah node yang berbeda sesuai fungsinya pada jaringan. Secara umum, jaringan *mobile WiMAX* yang dibuat terdiri dari beberapa *mobile Subscriber Station (SS)*, satu *Base Station (BS)* dan *Server*. Pengaturan parameter WiMAX dapat diatur d WiMAX configuration.

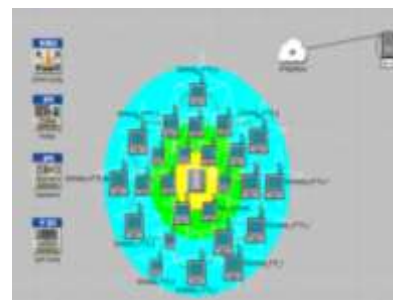
2.2 Simulasi Jaringan WiMAX

Simulasi yang dilakukan pada PENELITIAN ini mengunakan tiga skenario yang berbeda. Yang membedakan antara skenario satu dengan yang lainnya adalah jumlah SS yang digunakan. Aplikasi yang dijalankan yaitu HTTP, FTP, VoIP dan *Video Conference*. Pada Skenario Tak penuh terdapat 18 pengguna (SS) dengan rincian 6 pengguna HTTP, 6 pengguna FTP, 4 pengguna VoIP dan 2 pengguna *Video Conference*.

Pada Skenario Hampir Penuh terdapat 25 pengguna (SS) dengan rincian 8 pengguna HTTP, 8 pengguna FTP, 6 pengguna VoIP dan 3 pengguna *Video Conference*.

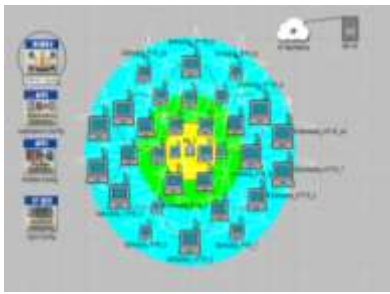


Gambar 5 Skenario Tak Penuh dengan 18 SS



Gambar 6 Skenario Hampir Penuh dengan 25 SS

Pada Skenario Penuh terdapat 31 pengguna (SS) dengan rincian 10 pengguna HTTP, 10 pengguna FTP, 8 pengguna VoIP dan 3 pengguna *Video Conference*.



Gambar 7 Skenario Penuh dengan 31 SS

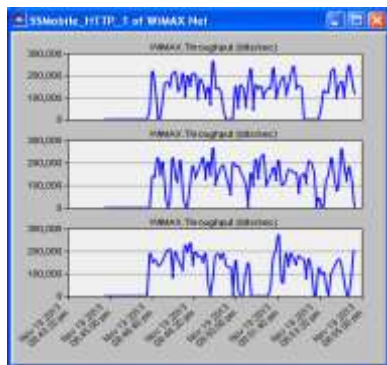
3 Hasil dan Analisis

3.1 Throughput

Throughput merupakan jumlah paket data yang diterima setiap detiknya. Biasanya throughput dinyatakan dalam satuan *bit per second* (bps). Dalam penelitian ini, besarnya throughput dapat dilihat dari statistik WiMAX untuk setiap pengguna masing-masing aplikasi pada setiap skenario.

Throughput aplikasi HTTP

Setelah dilakukan simulasi pada ketiga skenario didapatkan hasil seperti gambar di bawah.



Gambar 8 Throughput aplikasi HTTP pada setiap skenario

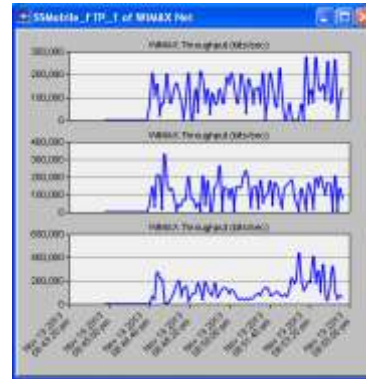
Pada ketiga gambar di atas dapat dilihat, throughput pengguna 1 layanan HTTP pada setiap skenario. Throughput yang didapatkan semakin menurun berbanding terbalik dengan jumlah pengguna yang terdapat pada skenario. Hal ini disebabkan karena jumlah pengguna bertambah banyak sedangkan *bandwidth* yang disediakan sudah mencapai batas maksimum.

Throughput aplikasi FTP

Setelah dilakukan simulasi pada ketiga skenario didapatkan hasil seperti gambar di bawah.

Pada ketiga gambar di atas dapat dilihat, throughput pengguna 1 layanan FTP pada setiap skenario. Throughput yang didapatkan semakin menurun

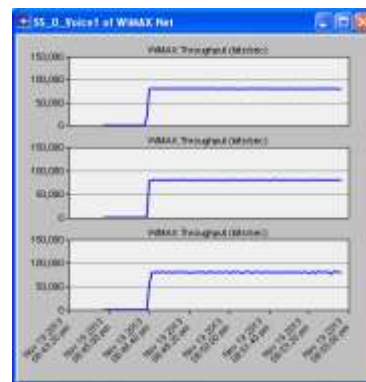
berbanding terbalik dengan jumlah pengguna yang terdapat pada skenario. Hal ini disebabkan karena jumlah pengguna bertambah banyak sedangkan *bandwidth* yang disediakan sudah mencapai batas maksimum. Pada aplikasi FTP ini throughput lebih stabil dibandingkan layanan HTTP dikarenakan QoS pada FTP yaitu nrtPS lebih tinggi dibandingkan HTTP yaitu *Best Effort*.



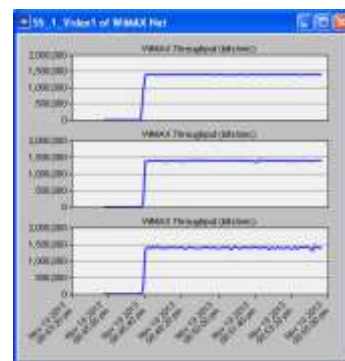
Gambar 10 Throughput aplikasi FTP setiap skenario

Throughput Video Conference dan VoIP

Setelah dilakukan simulasi pada ketiga skenario didapatkan hasil seperti gambar di bawah.



Gambar 11 Throughput aplikasi VoIP setiap skenario



Gambar 12 Throughput aplikasi Video Conference setiap skenario

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada ketiga skenario untuk aplikasi *video conference* dan VoIP memiliki hasil *throughput* dengan nilai rata-rata yang hampir sama setiap pengguna aplikasi tersebut. Pada aplikasi *video conference*, QoS yang digunakan adalah rtPS dimana kelas tersebut sensitif terhadap delay dan *bandwidth* yang dialokasikan sebesar 30% dari *bandwidth* yang tersedia. Pada aplikasi VoIP nilai rata-rata *throughput* yang hampir sama pada setiap skenario dikarenakan kelas QoS yang digunakan adalah UGS. Dalam kelas QoS, UGS adalah kelas tertinggi untuk aplikasi. Sama halnya *video conference*, VoIP dialokasikan 30% dari *bandwidth* yang tersedia.

Nilai rata-rata *throughput* untuk ketiga skenario dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

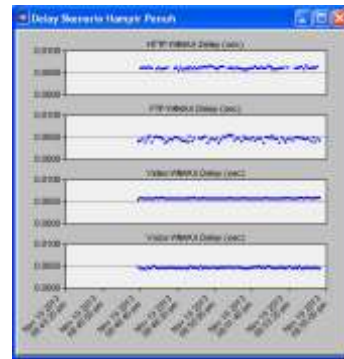
Tabel 1 Rata-rata *throughput* ketiga skenario

Aplikasi	Rata-rata throughput (bps)			Aplikasi	Rata-rata throughput (bps)		
	Skenario				Skenario		
	1	2	3		1	2	3
HTTP	125.166	133.039	117.042	FTP	99.591	106.757	
HTTP	146.858	138.436	146.350	FTP	84.640	102.449	
HTTP	132.609	151.767	121.463	FTP		115.514	
HTTP	156.347	158.869	142.391	FTP		122.411	
HTTP	133.167	131.957	106.416	VoIP	80.158	79.947	79.674
HTTP	118.841	148.743	127.228	VoIP	80.227	79.737	80.316
HTTP		163.772	128.154	VoIP	79.460	80.866	80.112
HTTP		150.816	143.773	VoIP	79.937	79.592	80.263
HTTP			130.161	VoIP		79.236	80.273
HTTP			129.175	VoIP		80.533	79.615
FTP	106.654	108.042	118.311	VoIP			80.714
FTP	119.341	112.042	115.729	VoIP			79.727
FTP	104.248	108.119	102.566	Video	1.401.596	1.387.557	1.392.524
FTP	118.066	113.114	113.404	Video	1.393.320	1.391.561	1.394.936
FTP	111.519	96.294	123.395	Video		1.387.271	1.399.950
FTP	111.845	118.558	111.383				

3.2 Waktu Tunda (Delay)

Delay (waktu tunda) yang dibutuhkan oleh pengguna setiap aplikasi dalam mengirim dan menerima data yang dikirim oleh server atau pengguna lain.

Dari grafik di atas dapat dilihat untuk *delay* rata-rata dari masing-masing aplikasi yaitu pada aplikasi HTTP sebesar 0,0055 detik, aplikasi FTP sebesar 0,0046 detik, aplikasi VoIP sebesar 0,0058 detik dan *Video Conference* sebesar 0,0048 detik. Dengan hasil tersebut *delay* aplikasi pada Skenario Tak Penuh nilai *delay* terkecil diperoleh pada layanan FTP. Berikut data *delay* untuk setiap skenario.



Gambar 13 Grafik waktu tunda Skenario Tak Penuh

Tabel 2 Rata-rata delay ketiga skenario

Aplikasi	Rata-rata delay (s)			Aplikasi	Rata-rata delay (s)		
	Skenario				Skenario		
	1	2	3		1	2	3
HTTP	0,0048	0,0064	0,0060	FTP		0,0061	0,0062
HTTP	0,0051	0,0058	0,0061	FTP		0,0062	0,0058
HTTP	0,0044	0,0060	0,0058	FTP			0,0053
HTTP	0,0045	0,0052	0,0060	FTP			0,0048
HTTP	0,0059	0,0057	0,0055	VoIP	0,0058	0,0047	0,0047
HTTP	0,0047	0,0052	0,0057	VoIP	0,0047	0,0049	0,0047
HTTP		0,0055	0,0058	VoIP	0,0044	0,0058	0,0039
HTTP		0,0043	0,0072	VoIP	0,0051	0,0036	0,0069
HTTP			0,0051	VoIP		0,0044	0,0057
HTTP			0,0051	VoIP		0,0066	0,0062
FTP	0,0045	0,0055	0,0054	VoIP			0,0072
FTP	0,0055	0,0053	0,0058	VoIP			0,0074
FTP	0,0050	0,0056	0,0052	Video Conference	0,0061	0,0058	0,0060
FTP	0,0048	0,0066	0,0055	Video Conference	0,0060	0,0060	0,0060
FTP	0,0052	0,0053	0,0054	Video Conference		0,0058	0,0060
FTP	0,0040	0,0057	0,0055	Global	0,105	0,131	0,279

Dari tabel dan grafik di atas kita dapat melihat *delay* pada setiap pengguna aplikasi dalam setiap skenario berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah pengguna yang ada dalam skenario tersebut. Pada aplikasi HTTP total rata-rata *delay* pada Skenario Tak Penuh sebesar 0,0049 detik, pada Skenario Hampir Penuh sebesar 0,0055 dan pada Skenario Penuh sebesar 0,0058 detik.

Namun pada total rata-rata pada aplikasi FTP terdapat perbedaan tidak begitu besar saat bertambahnya jumlah pengguna. Pada Skenario Tak Penuh total rata-rata *delay* sebesar 0,0048 detik, pada Skenario Hampir Penuh sebesar 0,0058 detik. Namun pada Skenario Penuh mengalami penurunan menjadi sebesar 0,0055 detik. Hal tersebut tidak terlalu berpengaruh dikarenakan dalam penjadwalan memberikan *bandwidth* yang adil pada setiap pengguna yang memiliki jenis *type of service* yang sama. Hal ini berlaku untuk pengguna layanan VoIP dan *Video*

Conference yang memiliki total rata-rata sebesar 0,005 dan 0,006 detik untuk semua skenario.

3.3 Fairness Index

Nilai Fairness Index dapat dicari dengan menggunakan rumus Jain's Fairness

$$Jain's\ Fairness\ Index = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n * (\sum_{i=1}^n x_i^2)} \quad (1)$$

Sedangkan nilai xi untuk menentukan Fairness Index (FI) dengan menggunakan rumus Jain's Fairness indeks dapat dicari dengan rumus di bawah ini

$$HTTP\ user\ 1 = X_i = \frac{Throughput}{MRTR} = \frac{125166}{128000} = 0,978$$

Dengan cara yang sama seperti pada perhitungan diatas diperoleh data seperti pada tabel di bawah

Tabel 3 Nilai X_i untuk Skenario Tak Penuh

Aplikasi	MRTR (bps)	Rata-rata throughput (bps)	Nilai Xi	Aplikasi	MRTR (bps)	Rata-rata throughput (bps)	Nilai Xi
HTTP	128.000	125.166	0,978	FTP	128.000	118.066	0,922
HTTP	128.000	146.858	1,147	FTP	128.000	111.519	0,871
HTTP	128.000	132.603	1,036	FTP	128.000	111.845	0,874
HTTP	128.000	156.341	1,221	VoIP	96.000	80.158	0,835
HTTP	128.000	133.167	1,040	VoIP	96.000	80.227	0,836
HTTP	128.000	118.841	0,928	VoIP	96.000	79.460	0,828
FTP	128.000	106.654	0,833	VoIP	96.000	79.937	0,833
FTP	128.000	119.341	0,932	Video	1.000.000	1.401.596	1,402
FTP	128.000	104.248	0,814	Video	1.000.000	1.393.320	1,393

Untuk mencari Fairness Interclass digunakan rumus Jain's Fairness Index di bawah ini. Hal ini menunjukkan keadilan alokasi bandwidth antar class dalam WiMAX.

$$Jain's\ Fairness\ Index = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n * (\sum_{i=1}^n x_i^2)} = 0,966$$

Sedangkan nilai Fairness Index Intraclass pada Skenario Tak Penuh dapat dihitung dengan rumus :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}}$$

Fairness Intraclass pengguna HTTP :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{118.841}{156.347} = 0,76$$

Fairness Intraclass pengguna FTP :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{104.248}{119.341} = 0,87$$

Fairness Intraclass pengguna VoIP :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{79.460}{80.227} = 0,99$$

Fairness Intraclass pengguna Video Conference :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{1.393.320}{1.401.596} = 0,99$$

Dengan cara yang sama dengan skenario pertama nilai Fairness Index skenario kedua dan ketiga didapatkan sesuai dengan tabel di bawah ini.

Tabel 4 Fairness Index untuk ketiga skenario

Fairness Index	Skenario Tak Penuh	Skenario Hampir Penuh	Skenario Penuh
FI Interclass	0,96	0,95	0,97
HTTP	0,76	0,81	0,73
FTP	0,87	0,71	0,83
VoIP	0,99	0,98	0,99
Video	0,99	0,99	0,99

Berdasarkan nilai Fairness Index yang diperoleh pada tabel di atas diketahui pada Skenario Hampir Penuh dan Skenario Penuh nilai FI Interclass terdapat peningkatan dan penurunan ini dikarenakan jumlah user yang bertambah. Nilai FI Interclass yang semakin kecil ini menunjukkan adanya tingkatan prioritas kelas aplikasi pada jaringan. Namun dari hasil nilai FI Interclass termasuk baik karena mendekati nilai 1. Untuk FI Intraclass pada ketiga skenario memiliki nilai yang cukup tinggi mendekati nilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa pembagian alokasi lebar pita untuk aplikasi yang sama sudah cukup adil

4. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi dan evaluasi permasalahan dalam PENELITIAN ini adalah :

1. Throughput untuk layanan HTTP mempunyai rata – rata sebesar 135,5 kbps untuk Skenario Tak Penuh, pada Skenario Hampir Penuh sebesar 147,17 kbps dan pada Skenario Penuh 129,22 kbps.
2. Throughput untuk layanan FTP mempunyai rata – rata sebesar 111,95 kbps untuk Skenario Tak Penuh, pada Skenario Hampir Penuh sebesar 106,3 kbps dan pada Skenario Penuh 113,19 kbps
3. Throughput untuk layanan Video Conferencing dan VoIP termasuk stabil dengan rata-rata throughput

berkisar 138,8 kbps untuk *Video Conferencing* dan 79,9 kbps untuk VoIP.

4. WFQ (*Weighted Fair Queueing*) memberikan alokasi *bandwidth* yang adil untuk setiap pengguna yang dapat dibuktikan dengan nilai *Fairness Index Interclass* sebesar 0,96 untuk Skenario Tak Penuh, 0,95 untuk Skenario Hampir Penuh dan 0,97 untuk Skenario Penuh..
5. Dalam pembagian *bandwidth* untuk pengguna layanan sejenis, WFQ juga adil dalam alokasi pembagiannya dapat dibuktikan dengan rata-rata nilai *Fairness Index Interclass* sebesar 0,76 untuk layanan HTTP; 0,8 untuk layanan FTP; 0,98 untuk layanan VoIP dan 0,99 untuk layanan *Video Conference*.
6. *Delay* untuk layanan HTTP mempunyai rata-rata sebesar 0,0054 detik, untuk layanan FTP sebesar 0,0054 detik, untuk layanan VoIP sebesar 0,0053 detik dan untuk layanan *Video Conference* sebesar 0,0059 detik.

Referensi

- [1]. Utomo, Cahyo. 2011. *Evaluasi Kinerja Penjadwalan Modified Deficit Round Robin (MDRR) dan Round Robin pada Jaringan Mobile WIMAX*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.
- [2] Bachtiar, Yudha. 2013. *Evaluasi Kinerja Tahapan Handover pada Pengguna Tunggal Layanan FTP Jaringan Mobile WiMAX (IEEE 802.16E)*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Walke, Bernhard H. ; Mangold , Stefan, & Berlemann, Lars. 2006. *IEEE 802 Wireless Systems Protocols, Multi-hop mesh/Relaying, Performance and Spectrum Coexistence*. Ebook.
- [4] Mulyawan, Rahmat. 2010. *Perangan Mekanisme Buffering untuk Multi-QoS pada MAC Layer WiMAX*. Skripsi. ITB, Bandung
- [5] Semeria, Chuck, *Supporting Differentiated Service Classes: Queue Scheduling Disciplines*, White paper, Juniper Network, Sunnyvale,2001.
- [6] Soleyani, Darius M. 2012. *Improvement of System Capacity using Different Frequency Reuse and HARQ and AMC in IEEE 802.16 OFDMW Networks*. White paper, Hong kong.
- [7] Chowdhury, Afrin. 2010. *Analysis of Quality of Service (QoS) for Video Conferencing in WiMAX Network*. Final Project.
- [8] “_____”, 2010. WiMAX Forum. <http://www.wimax360.com>
- [9] Krentini, Adlen. 2011. *DVB-T2 Simulation Model for OPNET*. White paper. IRISA
- [10] WimaxForum, Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks, PDF file, 2005.