

Makalah Seminar Tugas Akhir
EVALUASI KINERJA PENJADWALAN MODIFIED DEFICIT ROUND
ROBIN (MDRR) DAN ROUND ROBIN (RR) PADA JARINGAN
MOBILE WIMAX

Cahyo Utomo¹⁾, Sukiswo, ST, MT²⁾; Ajub Ajulian Zahra, ST, MT²⁾
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstract

Nowdays, In the telecommunications world, WiMAX technology is one of the development technologies. Because WiMax technology is capable of supporting data transmission speeds are very high. One of the issues that are popular on this technology is the quality of service varies for each application that use. The quality of this service depends on the scheduling algorithm used in the WiMAX network. In Wimax, there are no standard that regulate scheduler implementation so the designers can implement any scheduling algorithm in WiMAX accordance with needs.

In the final project will simulate the Mobile WiMAX network that aims to determine the performance of the algorithm used in this network. Scheduling will be analyzed in this final project was the Modified Deficit Round Robin (MDRR) and Round Robin (RR). Network simulations are conducted using OPNET 14.0 software. Some of the metrics used as performance benchmarks scheduling algorithm is throughput, delay, and Fairness Index.

In the first scenario scheduling can work well for applications that run fourth. It can be seen from the results thoughput stable, time delay is small enough, and Firness index value approaching the value 1. In the second scenario scheduling can work well even though the throughput of Web applications has decreased. But overall throughput value remains stable. Value of time delay that occurs is also still quite small. While the Fairness index value decreased due to declining thoughput web applications. In the third scenario, all applications have a fairly stable value unless the web application,. It can be seen from the throughput, and delay time. While the Fairness Index decreased due to this scenario does not appear throughput web application. Throughput of this application does not arise because these applications have the lowest QoS, so when traffic is full throughput of this application does not appear.

Keywords: mobile WiMAX, Scheduling, MDRR, RR, Fairness Index, throughput, OPNET

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wimax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menyediakan koneksi jalur pita lebar pada jarak yang jauh dengan kecepatan tinggi. Salah satu keunggulan Wimax dibandingkan teknologi internet nirkabel 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. Kebebasan untuk menentukan algoritma penjadwalan menyebabkan banyaknya jenis algoritma penjadwalan yang mungkin

dapat diimplementasikan. Masing-masing algoritma penjadwalan mungkin hanya optimal diterapkan pada kondisi tertentu.

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, maka pada Tugas akhir ini akan mencoba melakukan evaluasi kinerja dari algoritma penjadwalan *Modified Deficit Round Robin* (MDRR) dan *Round Robin* (RR) pada jaringan *mobile* Wimax dengan skenario, parameter, dan jenis metrik QoS yang berbeda sehingga diperoleh data untuk dapat mengetahui kinerja dari algoritma-algoritma tersebut.

1.2 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah mengevaluasi kinerja penjadwalan *Modified Deficit Round Robin* (MDRR) dan *Round Robin* (RR) pada jaringan *Mobile* WiMAX.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan atau analisis tidak melebar dan terarah, maka permasalahan dibatasi pada :

1) Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

2) Dosen Teknik Elektro UNDIP

1. Algoritma penjadwalan yang akan digunakan adalah *Modified Deficit Round Robin* (MDRR) dan *Round Robin* (RR).
2. Aplikasi yang digunakan pada simulasi 4 jenis yaitu : *File Transfer Protocol* (FTP), Voip, Video konferen, dan *web browsing*.
3. Kelas QoS yang digunakan ada 4 jenis yaitu : UGS, rtPS, nrtPS, dan BE
4. Simulasi jaringan *mobile* Wimax hanya menggunakan 1 *Base Station* (BS).
5. Skenario jaringan sebanyak 3 buah dengan jumlah user (*mobile station*) berbeda-beda tiap skenario.

II. DASAR TEORI

2.1 Pengertian Wimax

Wimax adalah singkatan dari *Worldwide Interoperability for Microwave Access*. Teknologi Wimax dapat digunakan di area jaringan nirkabel metropolitan (MAN) untuk menghubungkan *hot spot Wi-Fi* ke internet dan memberikan perpanjangan nirkabel ke jaringan kabel dan DSL dari akses *broadband*. Standar Wimax yang asli, IEEE 802.16, menetapkan bahwa frekuensi yang digunakan memiliki rentang antara 10 - 66-GHz, namun standar yang baru yaitu IEEE 802.16a menambahkan rentang frekuensi yang dapat digunakan yaitu antara 2 -11 GHz, yang sebagian besar sudah mendapat izin internasional, dan hanya sedikit yang masih memerlukan lisensi dari dalam negeri. Speifikasi Wimax mampu meningkatkan keterbatasan yang dimiliki standar *Wi-Fi* dengan memberikan peningkatan lebar pita dan enkripsi yang lebih kuat. Juga bertujuan untuk menghasilkan konektivitas antar terminal jaringan tanpa menggunakan sistem LOS dalam beberapa keadaan. Dengan Wimax, kecepatan data seperti *Wi-Fi* dengan mudah dapat dilakukan dengan gangguan yang semakin berkurang.

2.2 Mobile Wimax

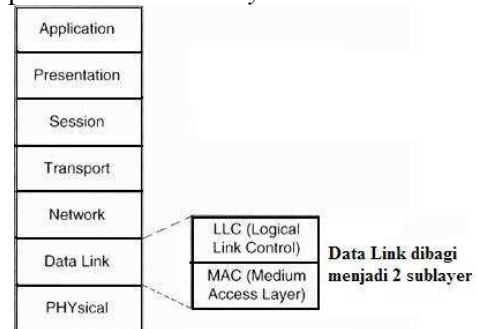
Wimax merupakan teknologi nirkabel pita lebar dengan akses *fixed, nomadic, portable, dan mobile* yang disebut juga dengan WBA (*Wireless Broadband Access*) dan dikenal dengan IEEE 802.16 ataupun ETSI HiperMAN. Akses tersebut *digolongkan* dalam dua bagian, yaitu Wimax yang mendukung akses *fixed* dan *nomadic* adalah standar IEEE 802.16-2004, sedangkan Wimax yang mendukung *portability* dan *mobility* adalah standar IEEE 802.16e. 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 mengoptimisasi 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 SOFDM,

yang menggunakan 256 frekuensi pembawa maka interferensi kanal akan seminim mungkin. Frekuensi yang digunakan adalah 2,5 GHz dan 3,5 GHz.

2.3 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^[7]

Dua lapisan jaringan yang didefinisikan pada standar IEEE 802.16 adalah lapisan fisik dan lapisan MAC. Lapisan MAC dibagi atas 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*.

2.4 Lapisan Fisik Wimax

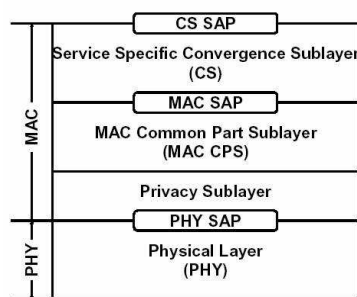
Tujuan dari adanya lapisan fisik adalah untuk melakukan transportasi fisik sebuah data. Dalam standar IEEE 802.16-2004, lapisan fisik ditetapkan bekerja pada frekuensi berkisar antara 10 sampai 66 GHz dengan propagasi *Line Of Sight* (LOS) dan propagasi *Non Line Of Sight* (NLOS) pada rentang frekuensi 2 sampai 11 GHz.

Prinsip teknologi di balik lapisan fisik Wimax adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). OFDM merupakan teknik transmisi *multicarrier* yang baru-baru ini populer untuk komunikasi data nirkabel kecepatan tinggi dua arah. OFDM pada dasarnya menyempitkan beberapa pembawa termodulasi bersama sehingga dapat mengurangi lebar pita yang diperlukan dan pada saat yang sama menjaga sinyal termodulasi

agar *orthogonal* satu sama lain sehingga mereka tidak saling mengganggu. OFDM didasarkan pada teknologi yang disebut *Frequency Division Multiplexing* (FDM) yang menggunakan banyak frekuensi untuk mengirimkan sinyal secara paralel. OFDM lebih efisien daripada FDM karena memungkinkan subpembawa untuk saling berdekatan satu sama lain dengan mencari frekuensi yang *orthogonal*. Di sisi lain, OFDMA memungkinkan subpembawa tertentu yang akan ditugaskan kepada pengguna yang berbeda. Sekelompok subpembawa akan membentuk suatu subkanal dengan masing-masing subkanal milik SS tertentu.

2.5 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*.



Gambar 4. Lapisan Protocol pada IEEE Std. 802.16^[18]

2.5.1 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)

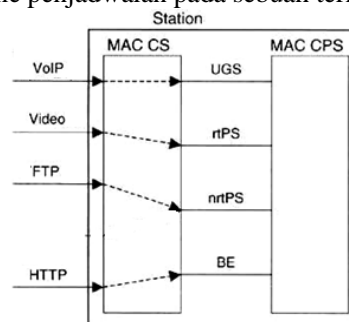
2.5.2 Common Part Sublayer

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 SS).

CPS menerima data dari CS melalui MAC SAP untuk diproses lebih lanjut. CPS menjalankan berbagai fungsi, diantaranya adalah pembentukan frame, akses jamak, penjadwalan, mengatur lebar pita radio, dan manajemen QoS. Algoritma penjadwalan diterapkan pada fungsi penjadwalan di sublapisan ini. Penjadwalan merupakan bagian dari tugas mengatur pengalokasian lebar pita yang merupakan tanggung jawab CPS. Penjadwalan merupakan mekanisme menangani paket data agar terjadi distribusi lebar pita yang adil bagi semua pengguna pada Wimax.

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.



Gambar 5. Mekanisme penjadwalan pada sebuah station

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

2.5.3 Security Sublayer

Seluruh sistem nirkabel menggunakan kanal radio sebagai media transmisi data. Kanal Radio merupakan kanal terbuka dimana paket-paket data yang lewat dapat ditangkap dan dibaca oleh siapa saja. Untuk itu, aspek keamanan pada sistem nirkabel sangat penting. Pada Wimax, keamanan menjadi satu sublapisan dari lapisan MAC. *Security sublayer* pada Wimax bertugas untuk menyediakan berbagai fungsi, yaitu autentifikasi, pertukaran kunci keamanan, dan integritas kontrol.

2.6 QoS pada Wimax

Standar IEEE 802.16 menetapkan bahwa lapisan MAC dapat memberikan jaminan QoS yang berbeda-beda 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)

2.7 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 tugas akhir ini antar lain :

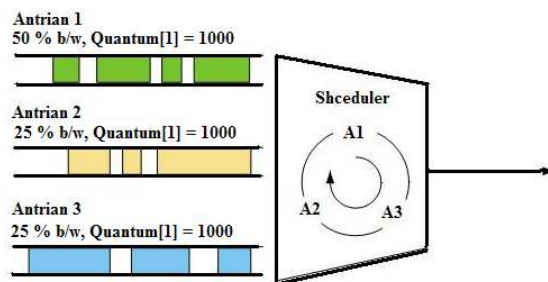
1. *Throughput*
2. *Waktu tunda*
3. *Fairness Index*

2.8 Algoritma Penjadwalan

Algoritma penjadwalan pada penjadwal pada BS tidak ditetapkan pada IEEE 802.16. Hal ini memungkinkan para peneliti untuk mengembangkan algoritma penjadwaan yang optimal untuk diterapkan pada lapisan MAC Wimax. Salah satu algoritma penjadwalan yang banyak dibahas pada beberapa paper adalah *Modified Deficit Round Robin* (MDRR). Algoritma tersebut dipilih untuk dibahas karena algoritma tersebut sederhana dan mudah diimplementasikan. Selain itu, algoritma tersebut juga merupakan penjadwalan *default* jaringan Wimax pada OPNET modeler.

2.8.1 Algoritma penjadwalan DRR

Penjadwal mengunjungi setiap antrian yang tidak kosong dan mendeteksi ukuran paket yang akan dilayani pada antrian tersebut, kemudian nilai DC antrian akan ditambah sebesar nilai kuantum antrian. Jika ukuran paket dalam antrian tersebut lebih kecil atau sama dengan nilai DC maka paket tersebut akan dilayani. Tapi jika ukuran paket lebih besar dari nilai DC maka penjadwal akan berpindah ke antrian selanjutnya tanpa melayani paket tersebut. Setelah paket dilayani, maka nilai DC akan dikurangi sejumlah ukuran paket yang telah dilayani. Pada putaran-putaran selanjutnya penjadwal akan mengunjungi antrian yang tidak kosong dan melayani paket serta mengurangi nilai DC dari antrian tersebut sebesar paket yang telah dilayani sampai ukuran paket lebih besar dari nilai DC atau antrian telah kosong. Jika antrian kosong maka nilai DC akan direset menjadi 0.



Gambar 6. Algoritma Penjadwalan DRR^[8]

2.8.2 Modified Deficit Round Robin (MDRR)

Dalam algoritma MDRR setiap antrian memiliki nilai kuantum dan nilai *deficit counter* yang diinisialisasi menjadi nilai kuantum. Setiap antrian tidak kosong dilayani dalam mode *round robin*. Paket didalam antrian akan dilayani selama nilai DC antrian lebih besar dari 0. Besarnya ukuran paket yang dilayani akan digunakan untuk mengurangi nilai DC sebesar ukuran paket yang dilayani. Antrian tidak akan dilayani lagi setelah nilai DC menjadi 0 atau negatif. Dalam putaran selanjutnya, DC antrian tidak kosong yang dikunjungi penjadwal akan ditambah dengan nilai kuantum antrian tersebut. Untuk efisiensi, nilai kuantum yang digunakan harus sama besar dengan ukuran maksimum paket di dalam antrian. Hal ini dilakukan untuk menjamin algoritma MDRR selalu melayani minimal satu paket dari masing-masing antrian tidak kosong.

2.9 Pengenalan OPNET

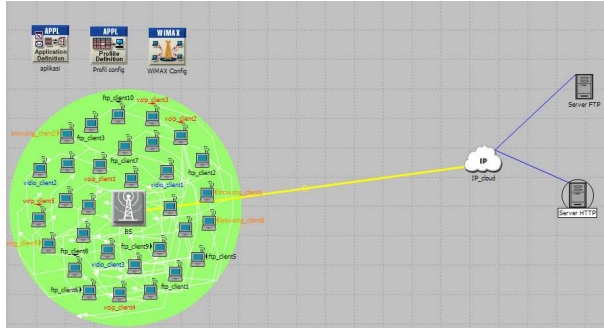
OPNET Modeler adalah suatu perangkat lunak simulator yang dapat digunakan untuk merancang dan mempelajari jaringan komunikasi, perangkat komunikasi, protokol dan aplikasi yang digunakan. Opnet juga menyediakan antarmuka grafis editor untuk membangun berbagai model jaringan mulai dari lapisan fisik modulator hingga proses aplikasi. OPNET mendukung spesifikasi model sejumlah alat, yang disebut editor. Editor ini menangani informasi model yang dibutuhkan sehingga mirip dengan struktur sistem jaringan yang sesungguhnya. Spesifikasi Model yang ditunjukkan di *Proyek Editor* mengandalkan elemen tertentu pada *Node Editor*.

III. PERANCANGAN SIMULASI

3.1. Pengaturan Parameter Simulasi

Pada tugas akhir ini akan dibuat dan disimulasikan jaringan *mobile* Wimax. Pembuatan simulasi menggunakan beberapa buah *node* yang berbeda sesuai dengan fungsinya pada jaringan. Secara umum, jaringan *mobile* Wimax yang akan dibuat terdiri dari beberapa *mobile Subscriber Station* (SS), satu *Base Station* (BS), dan *server*. *Mobile* SS diwakili oleh *Node Wimax workstation*, *node Wimax_BS* mewakili BS Wimax sedangkan server diwakili oleh *node ppp_server*. Program akan

dijalankan untuk mensimulasikan aktivitas jaringan Wimax selama 10 menit (600 detik).



Gambar 7. Jaringan mobile Wimax pada OPNET

3.2. Konfigurasi Wimax

Jaringan Wimax terdiri dari dua komponen utama yaitu *Subscriber Station (SS)* dan *Base Station (BS)*. SS adalah perangkat Wimax yang ada pada sisi pelanggan. Simulasi jaringan menggunakan *node mobile Wimax Workstation* sebagai SS. Pengaturan parameter SS dapat dilakukan pada *node* ini. Beberapa parameter yang dapat diatur adalah jenis aplikasi data yang dijalankan, profil lapisan fisik, tipe lapisan fisik yang digunakan, dan parameter Wimax yang lain. Pengaturan parameter pada SS sesuai tabel 1.

Tabel 1. Parameter pada Wimax Workstation

Parameter	Nilai
Antena gain	-1 dBi
Maksimum Transmision Power	2 W
PHY profile	Wireless OFDMA 20 MHz
PHY profile type	OFDM

Di dalam OPNET, pengaturan *PHY profile* harus berdasarkan nilai dari *PHY profile* yang telah diatur pada *node Wimax configuration*. Sesuai tabel 1. di atas nilai *PHY profile* diatur menggunakan *Wireless OFDMA* dengan *bandwidth* sebesar 20 Mhz, sedangkan *PHY profile type* yang digunakan diatur menggunakan tipe OFDM.

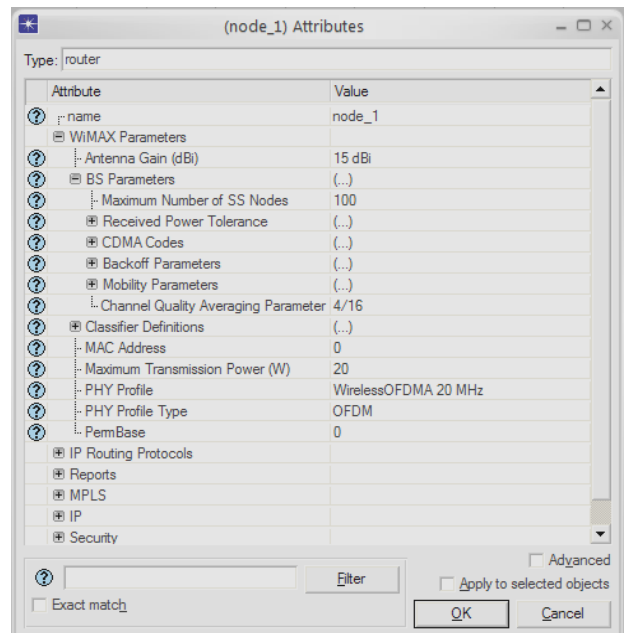
Selain pengaturan Wimax parameter, pada SS juga dapat dilakukan pengaturan jenis *service flow*. Jenis *service flow* ini akan menentukan besarnya alokasi lebar pita sistem pada tiap-tiap SS. Pengaturan ini disesuaikan dengan pengaturan kelas QoS yang diatur pada *node Wimax Configuration*.

Pengaturan *service flow* untuk tiap SS tergantung Janis layanan yang digunakan. Kelas layanan tertinggi adalah kelas Platinum yang diatur untuk layanan VoIP. Sedangkan kelas layanan yang paling rendah adalah kelas Bronze yang diatur untuk layanan *Web browsing*. Untuk pengaturan yang lebih lengkap ditunjukkan tabel 2. dibawah ini.

Tabel 2. Pengaturan service flow pada SS

APLIKASI	UPLINK		DOWNLINK	
	SERVICE CLASS	INITIAL MODULATION	SERVICE CLASS	INITIAL MODULATION
Web Browser	Broze	16QAM	Bronze	64QAM
FTP	Silver	16QAM	Silver	64QAM
Video	Gold	16QAM	Gold	64QAM
VoIP	Platinum	16QAM	Platinum	64QAM

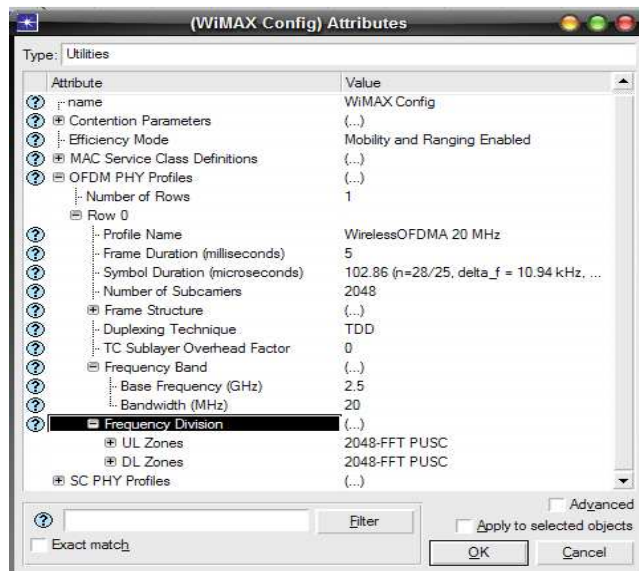
Komponen utama Jaringan Wimax yang lain adalah BS. BS Memiliki fungsi *transceiver* yaitu dapat berfungsi sebagai penerima dan juga berfungsi sebagai pemancar. BS dapat melayani beberapa SS pada cakupan area tertentu. Pengaturan parameter Wimax *Base Station* seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Atribut parameter pada node Wimax Base Station

Parameter yang berpengaruh pada daya pancar BS yaitu *maximum transmission power* yang diatur sebesar 20 watt. Sedangkan *antenna gain* diatur sebesar 15 dBi. *PHY profile* pada BS juga harus disesuaikan dengan *PHY profile* yang ada pada Wimax SS. Hal ini bertujuan agar parameter-parameter lapisan fisik yang digunakan antara BS dan SS memiliki nilai yang sama sehingga dapat terjadi hubungan yang baik antar BS dan SS.

Selain pengaturan parameter BS dan SS, pengaturan parameter lapisan-lapisan pada Wimax juga dapat dilakukan pada OPNET. Pengaturan tersebut terletak pada *node Wimax configuration*.



Gambar 9. Attribute parameter pada Wimax Config

Pada gambar 9 di atas terlihat bahwa pengaturan juga dapat dilakukan pada lapisan fisik jaringan Wimax. Pada OPNET versi 14.0 lapisan fisik yang digunakan jaringan Wimax adalah OFDM. Sedangkan parameter yang lain diatur sesuai tabel 3.

Tabel 3. Parameter lapisan fisik pada Wimax config

Parameter	Nilai
Frame duration	5 milisecond
Symbol duration	102.9 microsecond
Number of Subcarriers	2048
Duplexing technique	TDD
Base Frequency	2.5 GHz
Bandwidth	20 MHz
UL Zones	2048-FFT PUSC
DL Zones	2048-FFT PUSC

Berdasarkan Wimaxforum, parameter lapisan fisik OFDMA pada *mobile* Wimax menggunakan lebar pita kanal sebesar 20 MHz yang memiliki subpembawa sebanyak 2048 buah. Durasi frame yang dipakai sebesar 5 milisekon dan durasi simbol sebesar 102.9 mikrosek. Frekuensi operasi Wimax berada pada 2500 MHz. Teknik dupleksing yang dipakai adalah teknik TDD (*Time Division Multiplexing*).

Berdasarkan gambar 9. di atas dapat dilihat bahwa parameter lapisan MAC yang dapat diatur adalah pengaturan kelas QoS yang ada pada Wimax. Pada perancangan simulasi ini menggunakan 4 tipe kelas QoS yang berbeda untuk beberapa aplikasi yang digunakan. Tabel 4. menunjukkan pengaturan kelas QoS yang digunakan pada lapisan MAC Wimax.

Tabel 4. Parameter kelas QoS pada lapisan MAC Wimax

Parameter	Nilai
Service class name	Bronze
Scheduling type	BE
Maksimum Sustained Traffic Rate	384.000 bps
Minimum Reserved Traffic Rate	128.000 bps
Service class name	Silver

Scheduling type	nrtPS
Maksimum Sustained Traffic Rate	500.000 bps
Minimum Reserved Traffic Rate	128.000 bps
Service class name	Gold
Scheduling type	rtPS
Maksimum Sustained Traffic Rate	2.000.000 bps
Minimum Reserved Traffic Rate	1.000.000 bps
Service class name	Platinum
Scheduling type	UGS
Maksimum Sustained Traffic Rate	128.000 bps
Minimum Reserved Traffic Rate	96.000 bps

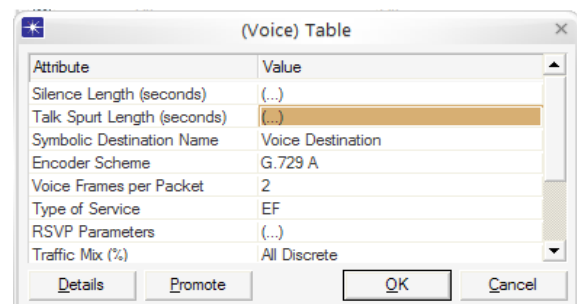
Pengaturan kelas QoS ini akan digunakan pada pengaturan *service flow* yang ada *node* Wimax *workstation*. Setiap jenis layanan aplikasi akan diatur *service flow*-nya berdasarkan nilai yang ada pada tabel 4. di atas.

3.3. Pengaturan Aplikasi Data

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

3.3.1. Aplikasi Suara

Aplikasi suara yang digunakan adalah aplikasi voip, karena data suara dikirimkan melalui paket-paket IP. Sebuah aplikasi suara memungkinkan dua klien untuk membangun saluran virtual dimana mereka dapat berkomunikasi menggunakan sinyal suara yang telah dikodekan secara digital. Protokol lapisan transport yang digunakan untuk aplikasi ini adalah UDP. Pengaturan aplikasi suara dapat dilakukan sesuai gambar 10.



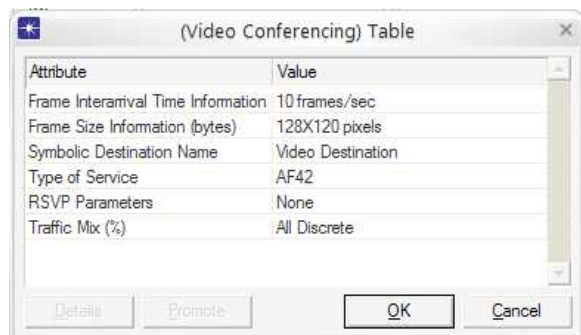
Gambar 10. Atribut parameter pada aplikasi suara

Aplikasi suara yang digunakan memakai *skema* encoder G. 729 A dengan bit rate sebesar 8 Kbps. Selain itu *voice frame per paket* yang digunakan sebesar 2 frame per paket. Sedangkan *Type of Service (ToS)* diatur menggunakan DSCP EF (*Expedited Forwarding*).

3.3.2. Aplikasi video

Aplikasi video yang digunakan pada simulasi ini adalah aplikasi video konferensi. Sebuah

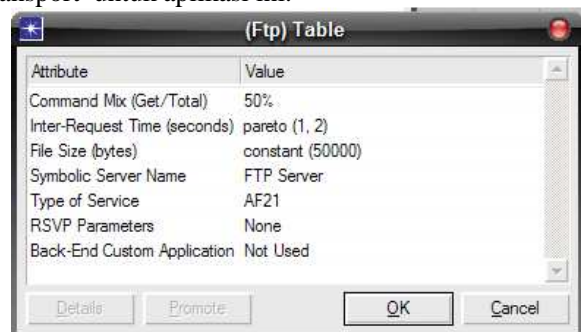
aplikasi video konferensi memungkinkan pengguna untuk mentransfer *frame streaming* video pada jaringan. UDP adalah protokol yang digunakan untuk lapisan transport standar video konferensi. Parameter video pada simulasi kali ini menggunakan video *low resolution* yaitu Frame waktu antar kedatangan sebesar 10 frame per detik, dengan ukuran frame 128x120 pixels. Sedangkan *Type of Service (ToS)* yang digunakan adalah AF42.



Gambar 11. Atribut parameter pada aplikasi video

3.3.3. 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. Aplikasi FTP yang digunakan pada simulasi ini menggunakan data yang memiliki ukuran file sebesar 50.000 byte dan *inter-request time* menggunakan pareto (1,2). TCP adalah protokol *default* pada lapisan transport untuk aplikasi ini.



Gambar 12. Atribut parameter pada aplikasi FTP

Command Mix pada pengaturan aplikasi FTP menunjukkan prosentase file perintah "get" terhadap perintah FTP total. Sedangkan 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 AF21.

3.3.4. Aplikasi HTTP

Model aplikasi HTTP adalah *Web browsing*. Pengguna mengunduh halaman dari server. Halaman yang diunduh ini berisi data teks dan informasi grafis. TCP adalah protokol transport *default* untuk HTTP.

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	Pareto (1,2)
Page Properties	-
Object Size	konstan (1000), large image, small image, medium image
Number of objects	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 HTTP versi 1.1. *Page interarrival time* pareto (1, 2) dengan 1 menunjukkan *location* (α) dan 2 menunjukkan *shape* (k). Parameter *page properties* menunjukkan properti halaman yang dijalankan pada aplikasi HTTP. Berdasarkan tabel 3.5 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.

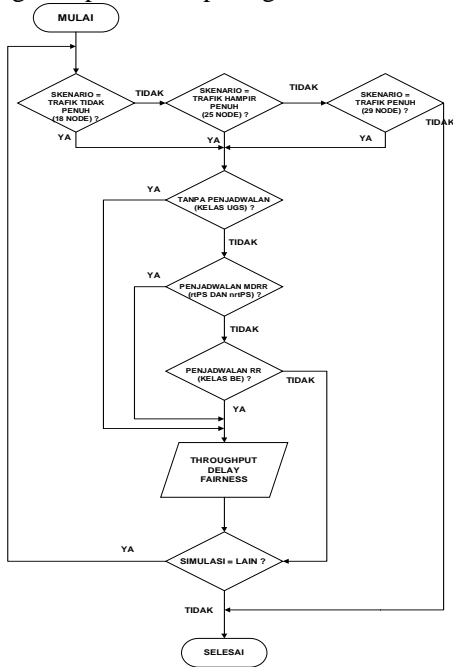
3.4 Skenario Simulasi

Simulasi yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan tiga skenario yang berbeda. Yang membedakan antara skenario satu dengan yang lainnya adalah jumlah SS yang digunakan. Pada skenario pertama terdapat 18 pengguna (SS) dengan 6 pengguna *web browsing*, 6 FTP, 2 pengguna video, dan 4 VoIP. Skenario pertama ini dirancang menggambarkan keadaan trafik jaringan tidak penuh dengan atau intensitas trafik pada skenario pertama masih kecil. Skenario kedua pada jaringan terdapat 25 pengguna dengan 8 pengguna *web browsing*, 8 FTP, 3 video, dan 6 VoIP. Skenario kedua menggambarkan jaringan saat trafik dalam keadaan hampir penuh dengan intensitas trafik mendekati nilai satu. Sedangkan skenario ketiga dirancang untuk menggambarkan jaringan yang trafiknya penuh menggunakan 29 pengguna dengan 9 pengguna *web browsing*, 9 pengguna FTP, 3 video, dan 8 pengguna VoIP. Pembuatan skenario dilakukan dengan jumlah pengguna yang berbeda agar dapat diketahui efektivitas algoritma penjadwalan yang digunakan pada jaringan dengan tingkat kepadatan yang berbeda beda. Susunan jaringan serta parameter yang lain diatur dengan nilai yang sama agar lebih mudah dalam menganalisa pengaruh algoritma penjadwalan yang digunakan pada simulasi ini. Berikut adalah tampilan tiap skenario yang dirancang pada simulasi tugas akhir ini.

3.5 Diagram Alir Simulasi

Diagram alir simulasi berfungsi untuk menentukan alur pemikiran dalam merancang simulasi dalam tugas akhir ini. Diagram alir

perancangan dapat dilihat pada gambar 13. berikut ini.



Gambar 13. Diagram alir simulasi

Gambar tersebut menunjukkan skenario terdiri tiga jenis dengan jumlah node yang berbeda-beda yaitu 18, 25, dan 29. Masing-masing kelas QoS pada tiap skenario menggunakan penjadwalan yang berbeda yaitu tanpa penjadwalan adalah kelas UGS, MDRR untuk kelas rtPS dan nrtPS, sedangkan RR untuk kelas BE. Hasil yang diperoleh dianalisis di bab 4

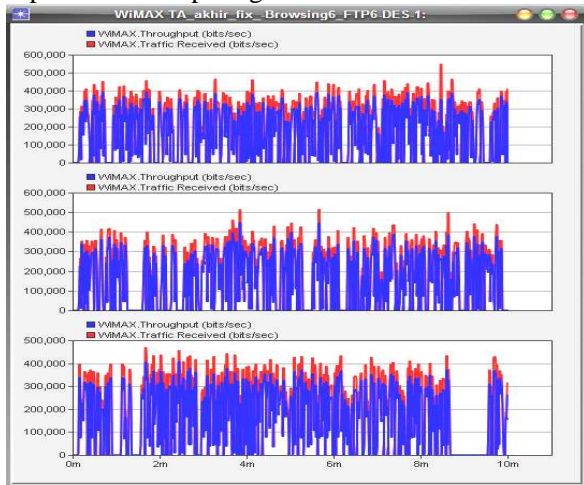
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kinerja program penentuan tipe modulasi ini dilakukan dengan cara melakukan beberapa pengujian dengan beberapa parameter keberhasilan.

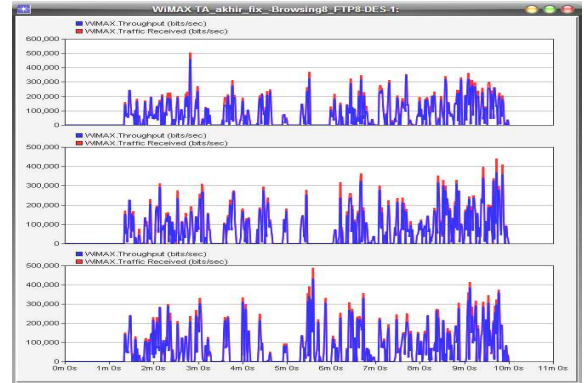
4.1 Throughput Hasil Simulasi

4.1.1 Throughput Aplikasi Web browsing

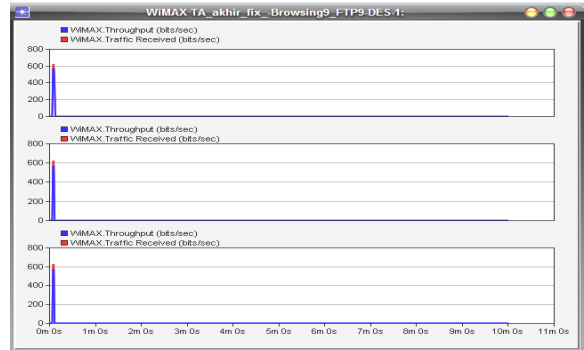
Setelah dilakukan simulasi pada ketiga skenario didapatkan hasil seperti gambar di bawah.



Gambar 14. Throughput aplikasi web skenario 1



Gambar 15 Throughput aplikasi web skenario 2

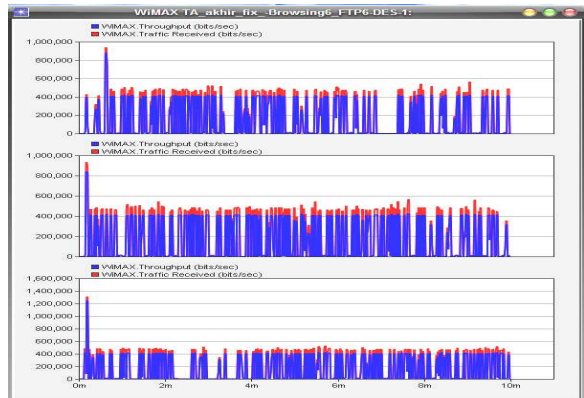


Gambar 16. Throughput aplikasi web skenario 3

Dari ketiga gambar di atas terlihat bahwa semakin banyak jumlah pengguna maka nilai trafik terima dan throughput pada aplikasi web browsing mengalami penurunan. Bahkan pada skenario ketiga nilai trafik terima dan throughput hanya keluar sesaat. Hal ini disebabkan saat intensitas trafik pada jaringan sudah mendekati nilai 1 aplikasi web browsing ini tidak mendapatkan alokasi lebar pita, karena kelas QoS aplikasi ini memiliki prioritas paling rendah. Kelas QoS aplikasi web ini adalah BE dengan dilayani penjadwalan Round Robin (RR) sehingga aplikasi ini memiliki prioritas yang rendah.

4.1.2 Throughput aplikasi FTP

Setelah dilakukan simulasi pada ketiga skenario, didapatkan nilai trafik terima dan throughput untuk aplikasi FTP seperti gambar di bawah.

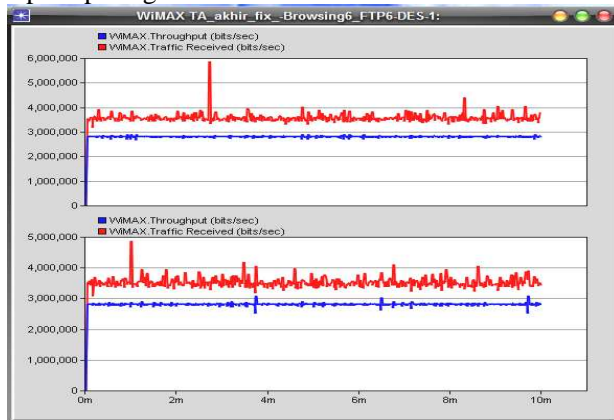


Gambar 17. Throughput dan trafik terima skenario pertama aplikasi FTP pengguna 1-3

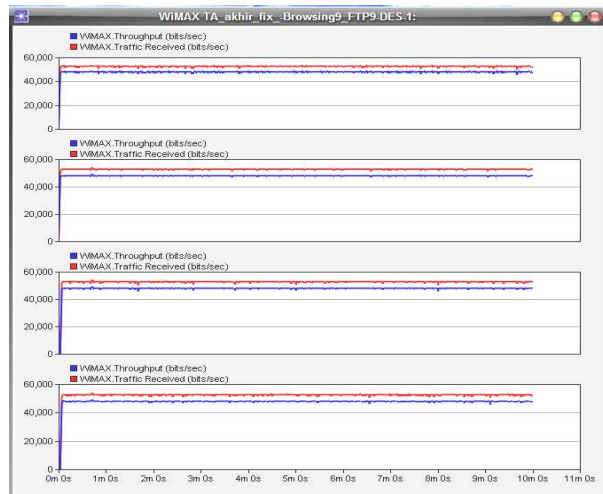
Dari ketiga gambar di atas terlihat bahwa nilai rata-rata trafik terima dan *throughput* aplikasi FTP pada ketiga pengguna memiliki nilai yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada ketiga pengguna aplikasi ini mendapat alokasi lebar pita yang hampir sama dari jaringan. Hal ini disebabkan karena kelas QoS pada aplikasi ini memiliki prioritas yang lebih tinggi dibandingkan kelas QoS pada aplikasi web. Kelas QoS aplikasi FTP adalah nrtPS yang dilayani dengan penjadwalan MDRR dimana kelas ini memiliki alokasi minimum lebar pita yang harus disediakan untuk antrian aplikasi ini. Sedangkan nilai trafik terima dan *throughput* untuk skenario kedua dan ketiga memiliki nilai rata-rata yang hampir sama dengan skenario pertama.

4.1.3 Throughput Aplikasi Video dan VoIP

Setelah dilakukan simulasi didapat nilai *throughput* dan trafik terima aplikasi video dan VoIP seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 18. *Throughput* dan trafik terima skenario pertama aplikasi video konferen



Gambar 19. Grafik *throughput* aplikasi VoIP skenario pertama

Dari hasil simulasi yang dilakukasn pada ketiga skenario untuk aplikasi video dan VoIP memiliki hasil trafik terima dan *throughput* dengan nilai rata-rata yang hampir sama untuk setiap pengguna aplikasi tersebut. Nilai rata-rata trafik terima dan *throughput* pada ketiga

skenario untuk aplikasi video memiliki nilai rata-rata yang hampir sama disebabkan karena aplikasi video konferen memiliki kelas QoS dengan prioritas yang tinggi karena dilayani dengan penjadwalan MDRR sama seperti pada kelas pada aplikasi FTP. Sedangkan pada pengguna aplikasi VoIP nilai rata-rata trafik terima dan *throughput* yang sama untuk setiap skenario ini disebabkan karena kelas QoS yang digunakan pada aplikasi VoIP adalah kelas UGS. Kelas UGS adalah kelas tertinggi dalam kelas QoS. Dalam OPNET kelas UGS tidak dilayani dengan penjadwalan apapun. Karena tidak ada penjadwalan yang sesuai dengan karakteristik kelas UGS tersebut, dimana harus ada jaminan alokasi lebar pita yang pasti bagi kelas tersebut. Sehingga kelas UGS ini sesuai digunakan untuk aplikasi VoIP yang memerlukan jaminan alokasi lebar pita dari jaringan. Oleh sebab itu, pada kondisi trafik jaringan yang penuh, pengguna aplikasi VoIP akan tetap didahulukan dari pada pengguna aplikasi yang lain.

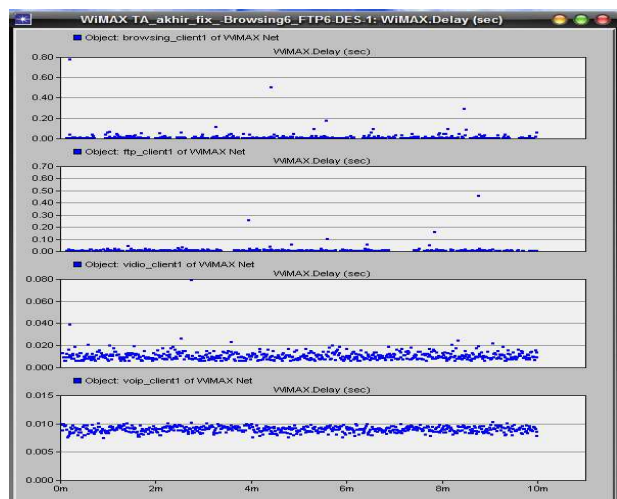
Nilai rata-rata *throughput* untuk ketiga skenario dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 6. Rata-rata *throughput* ketiga skenario

Aplikasi	Rata-rata <i>throughput</i> (bps)			Aplikasi	Rata-rata <i>throughput</i> (bps)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3		Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Web	150.683	52.969	1	FTP	-	95.624	115.399
Web	128.326	52.219	0,96	FTP	-	112.537	105.280
Web	141.213	52.375	0,96	FTP	-	-	94.835
Web	156.558	53.410	0,96	Video	2.793.852	2.795.920	2.793.572
Web	167.677	49.901	0,96	Video	2.793.852	2.793.766	2.786.375
Web	160.527	53.882	0,96	Video	-	2.798.430	2.797.973
Web	-	46.876	0,96	VoIP	47.834	47.833	47.808
Web	-	49.991	0,96	VoIP	47.825	47.834	47.826
Web	-	-	0,96	VoIP	47.653	47.667	47.658
FTP	99.938	119.748	113.103	VoIP	47.666	47.663	47.656
FTP	110.547	108.524	120.807	VoIP	-	47.835	47.828
FTP	107.704	96.685	120.864	VoIP	-	47.833	47.806
FTP	104.801	111.988	118.366	VoIP	-	-	47.660
FTP	107.194	114.152	120.193	VoIP	-	-	47.645
FTP	118.969	105.257	99.280				

4.2 Waktu tunda

Setelah dilakukan simulasi didapatkan nilai waktu tunda untuk aplikasi *web browsing* pada skenario pertama seperti pada gambar di bawah.



Gambar 20. Grafik waktu tunda skenario pertama

Berdasarkan grafik pada gambar 20. dapat dilihat bahwa nilai waktu tunda terkecil dimiliki oleh pengguna aplikasi VoIP dengan rata-rata 0.009 sekon. Nilai ini masih lebih kecil dari standar waktu tunda yang ditentukan oleh ITU-T untuk aplikasi VoIP sebesar 150 milisekon. Aplikasi VoIP memiliki prioritas paling tinggi dalam jaringan, sehingga waktu tunda yang dimiliki juga paling kecil dibandingkan waktu tunda pengguna aplikasi lain. Waktu tunda terkecil kedua dimiliki oleh pengguna aplikasi video dengan rata-rata 0.0107 sekon dan FTP dengan rata-rata 0.0121 sekon. Kedua pengguna aplikasi ini memiliki nilai waktu tunda yang hampir sama karena kelas QoS pada kedua aplikasi ini dilayani dengan penjadwalan yang sama yaitu dengan MDRR. Waktu tunda terbesar dimiliki oleh pengguna aplikasi *web browsing* yang memiliki rata-rata 0.0181 sekon. Hal ini terjadi karena aplikasi *web browsing* ini memiliki prioritas paling rendah dibanding aplikasi yang lain.

Sedangkan nilai waktu tunda untuk skenario kedua dan ketiga dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 7. Rata-rata waktu tunda ketiga skenario

Aplikasi	Rata-rata waktu tunda (s)			Aplikasi	Rata-rata waktu tunda (s)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3		Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Web	0.01814	0.722418	0.011056	FTP	-	0.167744	0.014025
Web	0.01996	0.707339	0.005979	FTP	-	0.040477	0.010835
Web	0.01641	0.711365	0.005979	FTP	-	-	0.013677
Web	0.01951	0.708483	0.005979	Video	0.01077	0.018938	0.157770
Web	0.01695	0.812290	0.005979	Video	0.01108	0.024331	0.135148
Web	0.01926	0.650568	0.005979	Video	-	0.024025	0.056617
Web	-	0.722701	0.005979	VoIP	0.00901	0.010660	0.006793
Web	-	0.678572	0.005979	VoIP	0.00773	0.010201	0.006766
Web	-	-	0.005979	VoIP	0.00937	0.012046	0.008535
FTP	0.01214	0.028860	0.013761	VoIP	0.00880	0.012625	0.008875
FTP	0.01098	0.156633	0.014439	VoIP	-	0.010169	0.011102
FTP	0.00992	0.166949	0.011375	VoIP	-	0.010199	0.008981
FTP	0.00999	0.155437	0.012329	VoIP	-	-	0.008718
FTP	0.01094	0.023713	0.013605	VoIP	-	-	0.008984
FTP	0.01034	0.157013	0.013763	Global	0.020399	0.055473	0.048456

Pada skenario kedua aplikasi VoIP memiliki rata-rata waktu tunda cukup besar karena pada detik ke 81 waktu tunda aplikasi VoIP mengalami kenaikan sesaat sebesar 1,132 sekon. Pada skenario kedua pengguna aplikasi video memiliki waktu tunda yang besar karena banyaknya *burst* yang terjadi pada *throughput* pengguna aplikasi video ini. Penyebab pengguna aplikasi video memiliki rata-rata waktu tunda lebih besar karena ada beberapa saat dimana nilai waktu tunda yang terjadi memiliki nilai yang sangat besar mencapai 0.47 sekon. Dari tabel juga dapat dilihat aplikasi *web browsing* pada skenario ketiga memiliki waktu tunda yang sangat kecil, hal ini dikarenakan pada skenario ketiga ini *throughput* aplikasi *web browsing* hanya muncul sesaat sehingga waktu tunda rata-rata yang tercatat sangat kecil sekali dan tidak dapat dikatakan aplikasi ini memiliki waktu tunda terkecil. Waktu tunda terkecil masih dimiliki oleh pengguna aplikasi VoIP dengan rata-rata 0.00679 sekon. Pada skenario ketiga pengguna aplikasi video memiliki waktu tunda yang besar karena semakin banyaknya

burst yang terjadi pada *throughput* pengguna aplikasi video ini dibanding pada skenario kedua.

4.3 Fairness Index

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

$$Jain's\ Fairness\ Index = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n * (\sum_{i=1}^n x_i^2)} \quad 4.1$$

Sedangkan nilai x_i untuk menentukan *fairness index* (FI) dengan menggunakan rumus Jain's Fairness indeks dapat dicari dengan rumus di bawah ini

$$HTTP\ user\ 1 = x_i = \frac{Throughput}{MRTR} = \frac{150.683}{128.000} = 1.1772$$

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

Tabel 8. Nilai x_i untuk skenario pertama

Aplikasi	MRTR (bps)	Rata-rata throughput (bps)	Nilai X_i	Aplikasi	MRTR (bps)	Rata-rata throughput (bps)	Nilai X_i
Web	128.000	150.683	1,1772	FTP	128.000	104.801	0,8187
Web	128.000	128.326	1,0025	FTP	128.000	107.194	0,8374
Web	128.000	141.213	1,1032	FTP	128.000	118.969	0,9294
Web	128.000	156.558	1,2231	Video	1.000.000	2.793.852	2,7938
Web	128.000	167.677	1,3099	Video	1.000.000	2.793.852	2,7938
Web	128.000	160.527	1,2541	VoIP	96.000	47.834	0,4982
FTP	128.000	99.938	0,7807	VoIP	96.000	47.825	0,4981
FTP	128.000	110.547	0,8636	VoIP	96.000	47.653	0,4963
FTP	128.000	107.704	0,8414	VoIP	96.000	47.666	0,4965

Untuk mencari *Fairness Interclass* digunakan rumus Jain's *Fairness Index* di bawah ini.

$$Jain's\ Fairness\ Index = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n * (\sum_{i=1}^n x_i^2)} = 0.7374$$

Sedangkan Nilai *Fairness Index Intraclass* pada skenario pertama dapat dihitung dengan rumus :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} \quad 4.2$$

Fairness Intraclass Pengguna *Web browsing* :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{128.326}{167.677} = 0.7653$$

Fairness Intraclass Pengguna FTP :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{99.938}{118.969} = 0.84$$

Fairness Intraclass Pengguna Video :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{2.793.852}{2.793.852} = 1$$

Fairness Intraclass Pengguna VoIP :

$$MinMax\ Fairness = \frac{Throughput_{min}}{Throughput_{max}} = \frac{47.653}{47.834} = 0.9962$$

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

Tabel 9. Nilai *Fairness Index* untuk ketiga skenario

<i>Fairness Index</i>		Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
<i>FI Interclass</i>		0.7374	0.5714	0.4368
<i>FI Intraclass</i>	Web	0.7653	0.8699	0.9962
	FTP	0.84	0.8377	0.9959
	Video	1	0.9983	0.7846
	VoIP	0.9962	0.9964	0.96

Berdasarkan nilai *Fairness Index* yang diperoleh pada tabel di atas diketahui pada skenario kedua dan ketiga nilai *FI interclass* lebih kecil dari skenario pertama yaitu sebesar 0.5714 dan 0.4368. Nilai *FI Interclass* yang semakin kecil ini menunjukkan adanya tingkatan prioritas kelas aplikasi pada jaringan. Ada aplikasi yang mendapatkan alokasi lebar pita yang semakin sedikit. Dalam hal ini adalah aplikasi *web browsing*. Aplikasi web memiliki prioritas paling rendah sehingga pada skenario kedua nilai trafik terima aplikasi web lebih kecil dibanding skenario pertama, sedangkan pada skenario ketiga trafik terima aplikasi ini hanya keluar sesaat. 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.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Pada jaringan dengan trafik tidak penuh semua aplikasi mendapat alokasi lebar pita, pada jaringan yang memiliki trafik hampir penuh aplikasi *web browsing* mendapat alokasi lebar pita lebih sedikit sebesar 4% dari total trafik terima, sedangkan pada jaringan yang memiliki trafik penuh aplikasi *web browsing* tidak mendapat alokasi lebar pita sistem.
2. UL data *burst usage* dan DL data *burst usage* tidak pernah mencapai 100% karena tidak semua data *burst* digunakan untuk informasi data, tapi juga digunakan untuk *Preamble*, FCH, DL-MAP, UL-MAP, dan *Ranging*.
3. Aplikasi *web browsing* memiliki rata-rata waktu tunda yang paling besar dengan nilai 0.416 sekon, sedangkan aplikasi FTP dan video memiliki rata-rata waktu tunda lebih kecil dibandingkan aplikasi *web browsing* sebesar 0.047 sekon dan 0.0596 sekon, dan rata-rata waktu tunda terkecil dimiliki oleh aplikasi VoIP dengan nilai 0.0094 sekon.
4. Tingkat keadilan dalam memberikan alokasi lebar pita sistem pada skenario pertama memiliki nilai *Fairness Index Interclass* 0.7374, sedangkan pada skenario kedua dan ketiga tingkat keadilan jaringan memiliki nilai

Fairness Index Interclass hanya 0.5215, dan 0.4309.

5. *Fairness Index Interclass* pada skenario kedua dan ketiga memiliki nilai yang lebih kecil disebabkan adanya prioritas pada pembagian lebar pita sistem.
6. *Fairness Index Intraclass* pada ketiga skenario memiliki nilai yang cukup baik pada keempat aplikasi yang ada, dan nilai *FI intraclass* tertinggi terjadi pada aplikasi video dan VoIP yang menandakan bahwa dalam kondisi jaringan apapun pengguna akan selalu mendapatkan alokasi lebar pita yang adil bagi semua penggunanya.

5.2 Saran

Beberapa saran yang terutama bisa menjadi masukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Melakukan simulasi menggunakan OPNET dengan versi yang lebih baru misal 16.0 untuk memperoleh hasil yang lebih baik.
2. Melakukan pengembangan dengan menggunakan BS yang lebih banyak dalam jaringan untuk mengetahui pengaruh Handover pada penjadwalan.
3. Menggunakan variasi jenis aplikasi yang lebih banyak untuk kelas QoS yang sama untuk membandingkan pengaruh jenis aplikasi satu dengan yang lain terhadap penjadwalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. WimaxForum, *Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks*, PDF file, 2005.
- [2]. Wibisono, G., Dwi Hantoro, G., *Wimax, Teknologi Broadband Wireless Access (BWA) Kini dan Masa Depan*, Informatika, Bandung, 2007.
- [3]. IEEE 802.16-2001, "*IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*," PDF file, Oktober,1, 2004
- [4]. Marieska, Mastura Diana, *Analisis Algoritma Penjadwalan Berbasis Quality of Service*, Laporan Tugas Akhir ITB, 2008.
- [5]. Kumar, Amitabh, *Mobile Broadcasting with WiMAX: Principles, Technology, and Applications*, Focal Press, 2008..
- [6]. Singh, Jasmeet, *Quality of Service in Wireless LAN Using OPNET MODELER*, Laporan Thesis Thapar University, PDF file, Juni, 2008.

- [7]. Nuaymi, Loutfi, *WiMAX-Technology for Broadband Wireless Access*, John Wiley & Sons, LTD, 2007.
- [8]. Semeria, Chuck, *Supporting Differentiated Service Classes: Queue Scheduling Disciplines*, White Paper, Juniper Work, 2001.
- [9]. Vegesna, Srinivas, *IP Quality of Service*, PDF file, Cisco Press, 2001
- [10]. WimaxForum, *Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*, PDF file, Agustus, 2006.
- [11]. Baban, Shaswar, *Design and Implementation of a Scheduling Algorithm for the IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) Network*, Thesis University of Westminster, PDF file, September, 2008.



CAHYO UTOMO
(L2F005524)

Dilahirkan di Semarang, 3 Desember 1986. Menempuh pendidikan dasar di SD Purwoyoso I Jarakah lulus tahun 1999 dan melanjutkan ke SLTPN 1 Semarang sampai tahun 2002 dan kemudian dilanjutkan lagi di SMAN 5 Semarang, lulus tahun 2005. Dari tahun 2005 sampai saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi.

Mengetahui dan mengesahkan :

Dosen Pembimbing I

Sukiswo, ST, MT
NIP . 19690714 199702 1 001

Dosen Pembimbing II

Ajub Ajulian Zahra, ST, MT
NIP . 19710719 199802 2 001