PENGUKURAN PERFORMA ALGORITMA KENDALI KONGESTI ACTIVE QUEUE MANAGEMENT (AQM) PADA JARINGAN BACKBONE MULTICAST BERBASIS PROTOCOL Multicast PIM-DM

Performance Measurement of Active Queue Management (AQM) Congestion Control Algorithm in Multicast Backbone Network Based on PIM-DM Multicast Protocol

Rizka Ardiansyah

Jurusan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

e-mail: rizka@untad.ac.id / ardiansyah.rizka@gmail.com

Received 12 / 11 / 2018, Revised 22 / 11 / 2018, Accepted 24 / 11 / 2018

Abstract

UDP is a data transmission protocol on the Internet that allows data to be sent in realtime and become a development base of various services such as IPTV, VOIP, VOD, and video conferencing. The multicast network was a solution to provide better service to many public needs with the concept of simplicity and efficiency. Dense traffic situation triggering a packet loss and delay that not tolerated by some services, especially multimedia streaming service, while UDP does not guarantee the quality of service so that the necessary traffic management method that serves as a traffic controller to the congestion in the network. This study analyzes the performance of technology based on Active Queue Management (AQM) congestion control in a multicast backbone network based on Protocol Independent Multicast – Dense Multicast using Droptail, Deficit Round Robin (DRR), and Random Early Detection (RED) algorithm, which is simulated using NS2. The simulation results show that the congestion control algorithm, DRR provides the best performance with a balanced value of mean delay, mean throughput, and the mean loss. RED is a congestion control algorithm which has the best queue management mechanism but not able to suppress the mean loss in each scenario tested because RED has a small amount of buffer size, Droptail not an appropriate algorithm for multicast networks implemented in, the absence of an interrupt mechanism trigger data services will have a tendency towards a particular data packet.

keywords— Congestion Control, AQM, DRR, Droptail, RED

1. Pendahuluan

Perkembangan internet sudah semakin pesat bukan hanya paket data kecil yang dapat dibawa melalui jaringan internet, melainkan paket data besar seperti *transfer video* dan suara secara bersamaan kini telah dapat dilewatkan melalui jaringan internet. Perkembangan ini berbanding lurus dengan banyaknya pengguna jasa layanan internet. Meningkatnya penggunaan dan popularitas dari internet maka meningkat pula perkembangan aplikasi-aplikasi baru yang muncul seperti *voice*, *video* dan *web*. Peningkatan ini menyebabkan adanya beban yang signifikan pada jaringan yang memiliki *bandwidth* yang terbatas, hal inilah yang memicu terjadinya kongesti [1].

UDP merupakan tulang punggung protocol pengiriman data di Internet [2]. Protocol UDP yang memungkinkan data dapat dikirim secara realtime serta menjadi cikal bakal lahirnya berbagai layanan seperti IP Television, VOIP (Voice Over Internet Protocol), VOD (Video On Demand), serta video conference. Berbagai layanan tersebut kini menjadi konsumsi publik secara luas, sehingga

sarana dan prasana jaringanpun diharuskan menyesuaikan dengan kebutuhan publik, maka tidak heran jika saat ini konsep jaringan multicast adalah solusi untuk memberi pelayanan yang lebih baik terhadap kebutuhan publik tersebut. Menurut Prasetya [3] Universal Datagram Protocol (UDP) tidak menjamin Quality of Service (QOS) dari layanannya, sementara konsep jaringan multicast yang saat ini banyak digunakan sebagai media bagi layanan-layanan berbasis UDP sangat sensitif terhadap kongesti yang memungkinkan menurunnya kualitas data yang diterima oleh end user. Keadaan traffic jaringan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas layanan aplikasi internet khususnya pada jaringan multicast [2]. Keadaan traffic yang padat dan tidak terkontrol akan memicu terjadinya paket loss, dan delay yang tentunya sangat tidak dapat ditolelir oleh beberapa layanan khususnya layanan multimedia streaming, sehingga dibutuhkan suatu metode management traffic yang berfungsi sebagai pengontrol traffic terhadap kemacetan (congestion control) yang terjadi dalam jaringan. Transmisi paket melalui media pada setiap waktu memerlukan pengolahan rutin paket [2] Saat ini teknik yang digunakan dalam pengendalian kongesti masih berdasarkan Additive Increase Multiplicative Decrease (AIMD) yang diimplikasikan dalam TCP, metode ini melibatkan umpan balik implisit atau eksplisit. Saat tidak ada kongesti jumlah data yang dikirim meningkat sementara jika terjadi kongesti jumlah data yang dikirim akan diturunkan menunggu hingga jaringan telah bebas dari kongesti. Metode seperti ini sekalipun mampu menekan paket loss namun akan mengakibatkan delay yang cukup besar dan pada layanan tertentu seperti halnya multimedia streaming, hal ini tidak dapat ditolelir. Metode active queue management congestion control merupakan metode pengontrolan terhadap kongesti yang berbasis pada tiap router jaringan. Active queue management berkerja secara realtime pada tiap line router memonitor dan mengatur setiap data yang akan melintas, serta melakukan management terhadap queue jika kapasitas data tidak berbanding lurus dengan kapasitas line router untuk melewatkannya. Active queue management memiliki beberapa algoritma untuk mengontrol kongesti pada link jaringan antara lain DropTail, DRR (Deficit Round-Robin), dan RED (Random Early Detection).

Penelitian ini menganalisa performa teknologi algoritma *congestion control* berbasis *active queue management* dengan algoritma *DropTail*, DRR (*Deficit Round-Robin*), dan RED (*Random Early Detection*), pada jaringan *backbone multicast* berbasis PIM-DM (*Protocol Independent Multicast-Dense Mode*), yang disimulasikan dengan menggunakan *network simulator 2* (NS2), untuk mendapatkan gambaran algoritma yang paling cocok di implementasikan pada jaringan multicast berbasis protocol multicast PIM-DM.

1.1. Tujuan

Tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membangun skenario jaringan *backbone multicast* berbasis *Protocol Independent Multicast - Dense Mode* (PIM-DM) yang terimplementasi konsep *queue management* dengan algoritma *Deficit Round Robin* (DRR), *Droptail*, dan *Random Early Detection* (RED).
2. Menganalisis performansi algoritma *queue management* tersebut dalam tiap skenario yang berbeda.
3. Mengetahui performa algoritma *queue management* yang dikelompokkan berdasarkan skenario yang di buat, dan pola pengukuran yang telah ditetapkan yaitu analisis *delay*, *packet*

loss, dan *throughput* secara *end to end* serta analisis *queue size*, *throughput*, *data lost* pada tiap link jaringan *backbone*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat dalam latar belakang maka rumusan masalah dalam penelitian ini ditekankan pada :

1. Bagaimana mengukur dan menganalisa tingkat efektifitas masing-masing algoritma antrian dalam tiap skenario yang meliputi *delay*, *packet loss* dan *throughput* secara *end to end* serta analisis *queue size*, *throughput*, *data lost* pada tiap link jaringan *backbone* ?
2. Bagaimana performa jaringan *backbone multicast* berbasis *Protocol Independent Multicast – Dense Multicast* (PIM-DM) yang terimplementasi algoritma *queue management Deficit Round Robin* (DRR), *Droptail* dan *Random Early Detection* (RED) dalam menangani beban *traffic* dan keadaan jaringan yang bervariasi?

1.3. Tahapan Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dari penulisan materi penelitian ini, maka penulis melakukan beberapa kegiatan antara lain :

1. Kajian Pustaka : Mengumpulkan referensi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.
2. Desain Sistem : Melakukan perancangan simulasi meliputi penentuan topologi dan model skenario pengujian yang digunakan.
3. Perancangan Skenario Simulasi : Penelitian ini nantinya akan dibagi dalam tiga skenario. Topologi yang digunakan adalah sebuah topologi jaringan *backbone* sederhana berbasis *Protocol Independent Multicast Dense Multicast*, untuk pembangkit *traffic* digunakan *Constant Bit Rate* (CBR) sebagai pembangkit *traffic* yang *constant* pada parameter interval dan besar paket yang sama, sedangkan untuk mendukung layanan *live multimedia streaming* pada setiap *server multicast* di gunakan UDP sebagai protocol transport.
4. Pengujian dan Analisa : Kualitas penerimaan user *end to end* dari server multicast ke group multicast 1, 2, dan 3 akan dianalisa melalui beberapa parameter antara lain *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Selain itu untuk menganalisa kerja dari algoritma *congestion control* pada tiap link juga akan dilakukan pengukuran yang meliputi *queue size*, *data lost*, dan *throughput*.

2. Landasan Teori

Internet telah mengalami perkembangan konsep menjadi media komunikasi *universal* yang bukan hanya sekedar melayani komunikasi berbasis text saja namun juga dapat menangani komunikasi suara bahkan *video streaming*. Perkembangan internet yang cenderung memiliki pola yang tidak seimbang ini akan menjadi masalah serius bagi layanan yang memanfaatkan jaringan internet. Tentunya beberapa alternative yang dapat dilakukan antara lain melakukan *management* secara menyeluruh di setiap aspeknya guna memanfaatkan sumber daya yang telah ada secara maksimal agar mampu menunjang berbagai layanan yang memanfaatkan jaringan internet tersebut.

2.1. Arsitektur TCP/IP

Pada dasarnya sistem komunikasi antar komputer dalam suatu jaringan memerlukan dukungan sebuah *protocol* yang bertugas untuk mengatur bagaimana komunikasi antar komputer tersebut. TCP/IP suite (*Transport Control Protocol / Internet Protocol*) merupakan sekelompok *protocol* yang mengatur komunikasi data komputer dan memungkinkan komputer berbagai jenis, berbagai *vendor*, serta berbeda sistem operasi untuk berkomunikasi bersama dengan baik. Model *protocol* TCP/IP dapat digambarkan seperti pada gambar 1.

Gambar 1. Layer pada TCP/IP [4]

TCP (*Transport Control Protocol*) merupakan *protocol* yang berada pada *layer transport* dari *layer* TCP/IP. TCP adalah *protocol* yang bersifat *byte stream*, *connection-oriented* dan *reliable* dalam pengiriman data. TCP menggunakan komunikasi *byte-stream*, yang berarti bahwa data dinyatakan sebagai suatu urutan-urutan *byte*. *Connection-oriented* berarti sebelum terjadi proses pertukaran data antar komputer terlebih dahulu harus dibentuk suatu hubungan. Keandalan TCP dalam mengirimkan data didukung oleh mekanisme yang disebut *Positive Acknowledgement with Retransmission* (PAR) [3].

UDP (*User Datagram Protocol*), merupakan *protocol* yang juga berada pada *layer transport* selain TCP. *Protocol* ini bersifat *connectionless* dan *unreliable* dalam pengiriman data. *Connectionless* berarti tidak diperlukannya suatu bentuk hubungan terlebih dahulu untuk mengirim data. *Unreliable* berarti pada *protocol* ini data tidak dijamin akan sampai pada tujuan yang benar dalam kondisi yang benar pula. Keandalan pengiriman data pada *protocol* ini menjadi tanggung jawab dari program aplikasi pada *layer* di atasnya. Jika dibandingkan dengan TCP, UDP adalah *protocol* yang lebih sederhana dikarenakan proses yang ada di dalam lebih sedikit. Dengan demikian aplikasi yang memanfaatkan UDP sebagai *protocol transport* dapat mengirimkan data tanpa melalui proses pembentukan koneksi terlebih dahulu. Hal ini pun terjadi pada saat mengakhiri suatu koneksi, sehingga dalam banyak hal proses yang terjadi sangatlah sederhana dibanding jika mengirimkan data melalui *protocol* TCP. UDP bersifat *broadcasting* dan *multicasting* sehingga pengiriman datagram dengan menggunakan UDP ke banyak *client* sekaligus akan efisien jika prosesnya menggunakan *connectionless* [4]. *Protocol* UDP lebih sering diimplementasikan untuk aplikasi-aplikasi yang

mengarah proses *realtime* seperti aplikasi *multimedia*, dimana rugi-rugi paket data yang kecil lebih ditoleransi daripada nilai *delay* yang terjadi.

2.2. Protocol Independent Multicast (PIM)

Protocol Independent Multicast (PIM) adalah merupakan kumpulan *multicast routing protocol*, dimana masing-masing dari tiap *routing protocolnya* dioptimalisasi untuk lingkungan yang berbeda [3]. Setiap *router* yang mengimplementasikan PIM saling bertukar pesan untuk menentukan *upstream interface* dan *downstream interface* yang menghubungkan *Source* dengan *Group* (S, G) sebagai satu kesatuan informasi. Ketika semua *router* di dalam jaringan telah menentukan *upstream interface* dan *downstream interface* yang menghubungkan *Source* dengan *Group* (S, G), maka terbentuklah *multicast tree*, seperti terlihat pada gambar di bawah. *Source* dan *router* yang terhubung langsung dengan *source* sebagai akarnya, dan cabang-cabang yang merupakan semua subnet jaringan yang memiliki anggota setidaknya satu dari sebuah grup. Tidak ada cabang yang tidak memiliki anggota yang berhubungan dengan suatu grup. Mekanisme ini disebut juga *reverse path multicast* (RPM).. Dalam PIM terdapat dua jenis *routing protocol* yaitu PIM – *Sparse Mode* dan PIM – *Dense Mode*.

Protocol Independent Multicast – Sparse Mode (PIM - SM) adalah *routing protocol multicast* yang dirancang berdasarkan asumsi bahwa data tertentu yang *dimulticast* akan jarang di distribusikan ke seluruh jaringan. Dengan kata lain, diasumsikan bahwa kebanyakan subnet jaringan tidak ingin terhadap paket *multicast* tertentu. Untuk menerima data *multicast router* secara eksplisit harus memberitahukan tetangga hulu mereka tentang minat mereka dalam kelompok-kelompok tertentu dan sumber-sumber yang diinginkan. *Router* menggunakan *PIM join* dan *prune message* (pesan pemangkasan) untuk bergabung dan meninggalkan pohon distribusi *multicast*.

PIM-SM secara *default* menggunakan pohon bersama, dimana pohon distribusi *multicast* berakar pada beberapa *node* yang dipilih (Pada PIM *router* ini disebut *Rendevous Point* atau RP) dan digunakan oleh semua sumber untuk mengirimkan data ke *group multicast*. Untuk mengirim ke RP, sumber harus merangkum data dalam PIM *control Message* dan dikirim melalui *unicast* ke RP. Hal ini dilakukan oleh sumber *Designated Router* (DR), yang merupakan *router* pada jaringan lokal sumber. Sebuah DR tunggal dipilih dari semua *router* PIM pada jaringan, sehingga pesan kontrol yang tidak perlu tidak dikirim. Salah satu persyaratan penting dari PIM – *Sparse Mode* adalah kemampuan untuk menemukan alamat dari RP untuk grup *multicast* menggunakan pohon bersama. Dalam hal ini sebagai mekanisme untuk menemukan RP digunakan, termasuk konfigurasi statis, *Bootstrap Router*, *Auto-RP*, *Anycast-RP*, dan *Embadded RP*. PIM – SM juga mendukung penggunaan pohon berbasis *source-based*, dimana pohon distribusi *multicast* dibangun terpisah untuk masing-masing sumber pengirim data ke *group multicast*. Setiap pohon berakar pada *router* yang berdampingan dengan sumber, dan sumber langsung mengirim data ke akar pohon. Pohon yang berbasis *source-based* memungkinkan penggunaan *Source-Specific Multicast* (SSM), yang memungkinkan *host* untuk menentukan sumber dari mana mereka ingin menerima data, serta kelompok yang mereka ingin bergabung. Dengan SSM *host* mengidentifikasi aliran data *multicast* dengan pasangan alamat sumber dan grup (S, G), dari pada melalui alamat grup saja (*, G). PIM – SM adalah merupakan *protocol soft-state*, Yang setiap *statenya* akan *time out* beberapa saat setelah menerima *control message*. Untuk menjaga *state-nya* tetap hidup, pesan PIM *join* akan secara periodik dipancarkan kembali.

Protocol Independent Multicast – Dense Mode (PIM - DM) adalah *multicast Routing protocol* yang dirancang berdasarkan asumsi yang berlawanan dengan PIM – SM yaitu setiap subnet dalam jaringan menginginkan data yang *dimulticast*, sehingga data yang *dimulticast* didistribusikan secara “padat” ke seluruh jaringan. Data *multicast* awalnya dikirim ke semua *host* di jaringan. Router yang tidak memiliki *host* yang tertarik terhadap data yang *dimulticast* akan mengirimkan PIM Prune message (Pesan pemangkasan) untuk melepaskan dirinya dari pohon distribusi *multicast*. Ketika sumber pertama kali mulai mengirimkan data, setiap router yang menerima data yang *dimulticast* akan meneruskan data tersebut ke semua router tetangga, setiap router yang menerima data yang diteruskan dari router tetangganya juga akan melakukan hal yang serupa, tapi hanya setelah memeriksa bahwa paket tiba pada *upstream interface*, jika tidak maka paket akan di *drop*. Mekanisme seperti ini mencegah terjadinya *loop forwarding*. Dengan cara ini berarti data membanjiri setiap bagian jaringan. Beberapa router yang tidak membutuhkan data akan merespon dengan mengirimkan PIM Prune message ke router tetangga hulu, yang akan menyebabkan router hulu berhenti menirirkan data ke tetangga hilir. Hal ini akan menyebabkan router hulu menjadi tidak memiliki kebutuhan atas data yang *dimulticast* maka router hulu akan kembali mengirimkan PIM Prune message ke tetangga hulunya dan begitu seterusnya. Prilaku ‘broadcast dan Prune’ ini berarti bahwa pada akhirnya data hanya akan dikirim pada bagian-bagian jaringan yang membutuhkannya. Akhirnya *prune state* pada tiap router akan *time out* dan data akan mengalir kembali pada bagian yang sebelumnya dipangkas. Hal ini akan kembali memicu secara lebih lanjut pengiriman *prune message*, dan pada waktu tertentu *prune state* pada tiap router akan kembali *time out*. PIM-DM hanya menggunakan metode distribusi sumber berbasis pohon. Maka PIM-DM tidak menggunakan RP (*Rendevous Point*), yang membuatnya lebih sederhana dari PIM-SM. PIM-DM adalah merupakan *protocol* yang paling efisien ketika sebagian besar *receiver* tertarik terhadap data yang *dimulticast*.

2.3. Teknologi Streaming

Streaming adalah suatu teknologi untuk memainkan *file* audio atau video secara langsung maupun dengan *prerecord* dari sebuah mesin *server* (*web server*)[3]. *File* audio atau video yang terletak pada sebuah *server* dapat secara langsung dijalankan pada komputer *client* sesaat setelah ada permintaan dari pengguna sehingga proses *download file* tersebut yang menghabiskan waktu cukup lama dapat dihindari. Saat *file* tersebut di-*stream* maka akan terbentuk sebuah *buffer* di komputer *client* dan data audio atau video tersebut akan mulai di *download* ke dalam *buffer* yang telah terbentuk pada mesin *client*. Setelah *buffer* terisi dalam waktu hitungan detik, maka secara otomatis *file* video ataupun audio akan dijalankan oleh sistem. Sistem akan membaca informasi dari *buffer* sambil tetap melakukan proses *download file* sehingga proses *streaming* tetap berlangsung ke mesin *client*. Konsep dasar dari video *streaming* adalah membagi paket video ke dalam beberapa bagian, mentransmisikan paket tersebut, kemudian pada pihak penerima (*client*) dapat men-*decode* dan memainkan potongan paket *file* video tanpa harus menunggu seluruh *file* terkirim ke mesin penerima. Ada tiga tipe video *streaming* yaitu :

1. *Video-on-Demand (VOD)* adalah suatu bentuk *streaming* pada permintaan data yang sudah ada atau tersimpan dalam *server*. VOD membolehkan pengguna untuk dapat melakukan proses *pause*, *rewind*, *fast forward*, atau melakukan indeks isi *multimedia*.
2. *Live Streaming*, aplikasi *live streaming* dapat dijumpai pada teknologi *broadcast* radio dan televisi, aplikasi ini mengijinkan pengguna untuk menerima siaran radio dan televisi secara

langsung (*live*). Dalam *live streaming* tidak ada data video yang disimpan di dalam *server* sehingga klien tidak dapat melakukan proses *fast forward* dalam media yang diakses. Proses *capture* dan *encoding* secara langsung dilakukan sesuai dengan format videonya sebelum video itu ditransmisikan kepada *client*.

3. *Real-time Streaming*, aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk berkomunikasi dengan audio atau video dalam waktu yang riil. Contohnya adalah komunikasi tatap muka langsung melalui internet atau sering disebut dengan komunikasi *video conference*.

Protocol streaming bertujuan sebagai standarisasi komunikasi antara *streaming server* dan komputer klien [5]. Spesifikasi protokol *streaming* dibedakan menurut fungsinya yaitu:

1. *Real-time Streaming Protocol* (RTSP) RTSP adalah protokol level aplikasi yang berfungsi sebagai mekanisme kontrol pengiriman data audio atau video secara *real-time*. Protokol ini mempermudah klien ketika ingin melakukan proses *pause* atau mencari posisi *random* ketika memutar kembali data. Dengan kata lain, RTSP berlaku sebagai “*network remote control*”. RTSP memiliki empat buah perintah. Perintah ini dikirim dari klien kepada *server streaming*. Keempat perintah tersebut adalah:
  - *Setup*, *server* mengalokasikan sumber daya kepada klien.
  - *Play*, *server* mengirim sebuah *stream* ke sesi klien yang telah dibangun dari perintah *setup* sebelumnya.
  - *Pause*, *server* menunda pengiriman *stream* namun tetap menjaga sumber daya yang telah dialokasikan.
  - *Teardown*, *server* memutuskan koneksi dan membebastugaskan sumber daya yang sebelumnya telah digunakan.
2. Empat perintah RTSP dapat dilakukan setelah klien dan *server* sudah berada dalam *session* yang disepakati. Klien melakukan proses DESCRIBE dan *server* merespon dengan protokol SDP (*Session Description Protocol*). *Real-time Transport Protocol* (RTP) Protokol yang didesain untuk memberikan layanan pengiriman *end-to-end* untuk data dengan karakteristik *real-time* seperti interaktif audio dan video secara *unicast* atau *multicast* dalam sebuah jaringan komputer (RFC-3550 2003). Protokol RTP berjalan di atas protokol UDP sebagai media *transport*. RTP didesain untuk digunakan pada *transport layer*, namun demikian RTP digunakan diatas UDP, bukan pada TCP karena TCP tidak dapat beradaptasi pada pengiriman data yang *real-time* dengan keterlambatan yang relatif kecil seperti pada pengiriman data komunikasi suara. Dengan menggunakan UDP yang dapat mengirimkan paket IP secara *multicast*, RTP *stream* yang dibentuk oleh satu terminal dapat dikirimkan ke beberapa terminal tujuan. Selain itu, oleh karena informasi RTP dienkapsulasi dalam packet UDP. Jika packet RTP hilang (*lost*) atau didrop di jaringan, maka RTP tidak akan melakukan *retransmission* (sesuai standar *protocol* UDP). Hal ini dilakukan agar *user* tidak terlalu lama menunggu (*long pause*) atau *delay*, dikarenakan permintaan *retransmission*.

2.4. Active Queue Management (AQM)

Kongesti dapat didefinisikan lebih tepat sebagai berikut: Suatu jaringan dikatakan congesti dari perspektif pengguna jika karena kenaikan beban jaringan, kualitas layanan yang dirasakan oleh pengguna kurang dari batas kualitas minimum yang masih dapat diterima oleh pengguna. Oleh karena hal tersebut peran utama algoritma *Active queue management* adalah menjaga titik *fairness* untuk paket data yang *direquest* untuk setiap *client* dalam jaringan serta memaksimalkan penggunaan sumber daya jaringan untuk menjaga *Quality of Service* dari tiap layanan, hingga pada titik tertentu dimana kondisi jaringan memang sudah tidak layak digunakan untuk layanan tertentu. *Router* sebagai pengatur lalu lintas paket data, memiliki sesuatu *system* antrian yang memungkinkan paket data yang masuk ke *router* disimpan terlebih dahulu sebelum diproses. Dengan adanya *system* antrian ini, paket-paket data yang masuk tidak serta merta ditolak oleh *router* ketika *router* sedang memproses suatu paket, tetapi menyimpannya terlebih dahulu pada suatu *buffer*. *Buffer* ini besarnya terbatas yang berakibat pada terbatasnya jumlah paket data yang dapat diantrikan pada *router*. Apabila *buffer* telah penuh maka paket data yang tiba selanjutnya akan ditolak sampai *buffer* cukup untuk menampungnya. Oleh karena itu dibuat suatu mekanisme pengaturan antrian agar jumlah paket data yang terbuang dapat diminimalisir. Mekanisme ini disebut *Active Queue Management* (AQM) [6].

Terdapat beberapa algoritma AQM yang ada dan sudah diimplementasikan pada jaringan komputer. Salah satu yang populer adalah RED. Selain itu terdapat pula algoritma lain seperti DRR dan Droptail. Namun, semua algoritma tersebut tidak dapat berdiri sendiri untuk melakukan pengendalian congesti. Algoritma tersebut perlu didukung pengiriman paket data pada sisi pengirim, karena pada dasarnya AQM hanya menghasilkan keluaran berupa *drop probability* dan *congestion price* yang menginformasikan kondisi antrian di *router*. Dengan kata lain AQM memberikan keluaran pasif yang harus diproses secara aktif oleh *host* pengirim.

2.4.1. Droptail

Teknik antrian FIFO mengacu pada FCFS (*First Come First Serve*), paket data yang pertama datang diproses terlebih dahulu. Paket data yang keluar terlebih dahulu dimasukkan ke dalam antrian FIFO jika *traffic* melebihi nilai kapasitas *link router* maka paket data akan dimasukkan ke antrian, paket data tidak mengalami pembuangan hanya tertunda beberapa saat [1]. Data yang ada dalam antrian akan dikeluarkan sesuai dengan siapa yang lebih dulu masuk ke dalam antrian. Dengan jenis antrian FIFO paket akan dilayani berdasarkan laju kedatangan. Apabila kapasitas *buffer* telah penuh maka paket yang datang akan di *drop*. Mekanisme pelayanan paket untuk FIFO tidak ada prioritas pelayanan paket yang bersifat *non-preemptive*. Dengan artian, paket yang datang akan dilayani sampai selesai dan tidak bias *diinterrupt* hingga pelayanan terhadap paket yang bersangkutan selesai, walaupun ada paket dengan prioritas yang lebih tinggi. Pelayanan yang bersifat *non-preemptive* menimbulkan rata-rata waktu tunggu yang lebih besar dan akan berdampak pada tingginya paket yang di *drop*. Untuk mengatasi ini maka kita dapat menyesuaikan batas maksimum antrian.

2.4.2. Random Early Detection (RED)

RED merupakan teknik *Active Queue Management* (AQM) yang digunakan untuk jaringan IP berskala besar yang akan diterapkan pada *IP Next Generation Network*. RED menggunakan suatu paket *drop profile* untuk mengontrol keagresifan proses pembuangan paket. *Drop profile*

mendefinisikan suatu tingkat probabilitas *dropping* paket melalui tingkat antrian. Algoritma RED menggunakan rata-rata panjang antrian untuk menentukan kapan paket ditandai. RED akan melakukan *dropping* suatu paket yang datang dengan menghitung probabilitas *dropping*-nya secara dinamis berdasarkan nilai rata-rata antriannya [1]. Nilai antrian rata-ratanya adalah:

$$avg(t) = (1 - a) * avg(t - 1) + a.q, \text{ dengan } a = 0.02 \dots (1)$$

- Jika antrian rata-rata < batas minimum (*minthresh*), $avg < min\_th$ maka RED akan melewatkan paket yang datang ke *bottleneck link* (diantrikan).
- Jika antrian rata-rata berada diantara batas minimum (*minthresh*) dan batas maksimum (*maxthresh*), $min\_th < avg < max\_th$ maka RED akan membuang paket yang datang ke *bottleneck link* berdasarkan probabilitas P_a

$$P_a = \frac{max\ p*(avg-min\_th)}{(max\_th-min\_th)} \dots \dots \dots (2)$$

- Dengan $max\ p = 0.1$ merupakan batas maksimum probabilitas *dropping*.
- Jika antrian rata-rata > batas maksimum (*minthresh*), $avg > max\_th$, maka RED akan membuang paket yang datang ke *bottleneck link*.

Mekanisme manajemen queue RED digambarkan seperti pada gambar 2.

Gambar 2. Mekanisme *management queue* RED

2.4.3. Deficit Round Robin (DRR)

Deficit Round Robin (DRR) merupakan skema penjadwalan hasil dari modifikasi *Weighted Round Robin* (WRR), DRR membolehkan tiap kelas/prioritas memiliki panjang paket yang berbeda-

beda sehingga tidak diperlukan lagi informasi mengenai ukuran paket rata-rata. Ide dasar DRR adalah suatu kelas berhak untuk mengirimkan paket dalam suatu putaran jika ukuran paket yang dimilikinya lebih kecil atau sama dengan ambang batas yang ditetapkan, ambang batas ini dinamakan *Quantum* yang merupakan padanan terhadap pembagian layanan untuk mendapatkan status *Deficit Counter* [6]. Mekanisme manajemen queue DRR digambarkan seperti pada gambar 3.

Gambar 3. Mekanisme *management queue* DRR [6]

Pada saat permulaan tiap putaran (*round*), *Quantum* ditambahkan ke *Deficit Counter*, kemudian jika paket *Head-of-Line* (HoL) di antrian tersebut berukuran lebih kecil atau sama dengan *DeficitCounter*, maka paket HoL tersebut akan dikirimkan dan *Deficit Counter* akan berkurang, dikurangi oleh ukuran paket HoL, jika tidak maka paket *HoL* tak akan dikirim pada putaran tersebut dan *Deficit Counter*nya berukuran sama dengan nilai *Quantum* dimasing-masing antrian. Bila di dalam antrian tidak ada paket yang akan dikirimkan, *Deficit Counter* akan dikembalikan ke nilai 0. Nilai *Quantum* ditetapkan secara *specific* oleh algoritma berdasarkan lebar *bandwidth* pada tiap *link* jaringan.

3. Perancangan Skenario Sistem

Untuk melakukan pengujian performansi terhadap algoritma congestion control Droptail, DRR, dan RED dibuat masing-masing tiga buah skenario, dimana masing-masing scenario mencerminkan kondisi jaringan tertentu. Aplikasi pembangkit traffic yang digunakan adalah Constant Bit Rate untuk membangkitkan traffic secara constant pada parameter interval. Video codec yang digunakan adalah standar H.264 dengan *bit rate* 1024 Kbps. Pada jaringan backbone terdapat enam buah server pembangkit background traffic dengan bit rate 3 Mbps. Masing-masing server multicast memiliki kapasitas pengiriman dan besar paket yang sama. pola pengukuran yang diterapkan yaitu analisa *delay*, *packet loss*, dan *throughput* secara *end to end* serta analisis *queue size*, *throughput*, *data lost* pada jalur multicast yang terbentuk.

3.1. Perancangan Skenario 1

Pada Skenario 1 *client* dari masing-masing *group* hanya ada satu, terdapat tiga *group multicast*, dan tiga *server multicast*. Masing-masing *server multicast* akan mengirimkan data secara simultan ke masing-masing *group*, *server multicast* 1 akan mengirimkan data secara *multicast* ke *Provider* 1, begitu pula *server multicast* 2 akan mengirimkan data secara simultan ke *Provider* 2, dan *server*

multicast 3 akan mengirimkan data ke *Provider* 3. Pada ruang lingkup internet *backbone* akan dibangkitkan beberapa jalur *traffic background* yang berbeda-beda.

Pembangkit traffic yang digunakan antara lain protocol CBR (Constant Bit Rate) berbasis TCP dan UDP, serta FTP yang berbasis TCP. Hal ini dimaksudkan untuk membuat ruang lingkup jaringan internet *backbone* dipenuhi dengan berbagai lalu lintas data (*background traffic*) dengan pola yang berbeda, sehingga akan tercermin konsep jaringan internet yang benar-benar sibuk, lalu akan dianalisa kualitas penerimaan *user* melalui aliran data dari *server multicast* ke masing-masing *multicast group* yang meliputi *throughput*, *delay*, dan *packet lost*. Selain itu untuk menganalisa kerja dari algoritma *congestion control* pada tiap *link* juga akan dilakukan pengukuran yang meliputi *queue size*, *data lost*, dan *throughput*.

Rancangan *topologi* untuk skenario 1 ditunjukkan pada gambar 4 dibawah ini :

Gambar 4. Topologi jaringan skenario 1.

3.2. Perancangan Skenario 2

Pada skenario 2 dilakukan penambahan jumlah *client* pada *group* yang dianalisa sebelumnya yaitu dari satu buah *client* menjadi tiga buah *client*, serta penambahan tiga *group* lain (*Provider* 4, *Provider* 5, dan *Provider* 6) di titik tertentu yang berfungsi sebagai penambah beban *multicast*. *Group* baru yang ditambahkan memiliki *client* masing-masing empat buah. Aliran data dari *server multicast* 1 melayani kebutuhan data dari *Provider* 1 dan *Provider* 4, begitu pula *server multicast* 2 akan melayani kebutuhan data dari *Provider* 2 dan *Provider* 5, serta *server multicast* 3 akan melayani kebutuhan data dari *Provider* 3 dan *Provider* 6. Hal ini dimaksudkan untuk meninjau performa *traffic management* pada jaringan *backbone multicast* melalui penggunaan algoritma *congestion control* *Deficit Round Robin* (DRR), *Random Early Detection* (RED) dan *DropTail* dalam kondisi *host* yang lebih banyak. Kualitas penerimaan *user end to end* dari *server multicast* ke *Provider* 1, 2, dan 3 akan dianalisa melalui beberapa parameter antara lain *throughput*, *delay*, dan *packet lost*. Selain itu untuk menganalisa kerja dari algoritma *congestion control* pada tiap *link* juga akan dilakukan pengukuran yang meliputi *queue size*, *data lost*, dan *throughput*.

Rancangan *system* yang diterapkan pada skenario 2 adalah seperti pada gambar 5 dibawah ini:

Gambar 5. Topologi jaringan skenario 2.

3.3. Perancangan Skenario 3

Pada *skenario 3* tetap pada konsep dan desain topologi yang sama dengan *skenario 2* namun dengan aktifitas jaringan yang sedikit berbeda, dimana *group multicast* akan secara dinamis berpindah *channel* dalam kurun waktu tertentu, aturan yang digunakan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Pola interkoneksi grup multicast terhadap server multicast.

Waktu	Group Multicast	Server Multicast 1	Server Multicast 2	Server Multicast 3
Detik 5	Profider 1	Connected	Disconnect	Disconnect
	Profider 2	Disconnect	Connected	Disconnect
	Profider 3	Disconnect	Disconnect	Connected
	Profider 4	Connected	Disconnect	Disconnect
	Profider 5	Disconnect	Connected	Disconnect
	Profider 6	Disconnect	Disconnect	Connected
Detik 15	Profider 1	Disconnect	Connected	Disconnect
	Profider 2	Disconnect	Disconnect	Connected
	Profider 3	Connected	Disconnect	Disconnect
	Profider 4	Disconnect	Connected	Disconnect
	Profider 5	Disconnect	Disconnect	Connected
	Profider 6	Connected	Disconnect	Disconnect
Detik 25	Profider 1	Disconnect	Disconnect	Connected
	Profider 2	Connected	Disconnect	Disconnect
	Profider 3	Disconnect	Connected	Disconnect
	Profider 4	Disconnect	Disconnect	Connected
	Profider 5	Connected	Disconnect	Disconnect
	Profider 6	Disconnect	Connected	Disconnect

Detik 35	Pada detik ke 35 masing-masing <i>group multicast</i> melakukan <i>disconnect</i> terhadap <i>server multicast</i> sekaligus merupakan akhir dari jalannya simulasi.

Pada scenario 3, aktifitas jaringan tidak hanya statis terhadap satu *channel* saja melainkan berpindah-pindah terhadap beberapa *channel* berbeda (*Channel server multicast 1*, *channel server multicast 2*, dan *channel server multicast 3*) dalam kurun waktu tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk meninjau performa *traffic management* pada jaringan *backbone multicast* melalui penggunaan algoritma *congestion control* Deficit Round Robin (DRR), Random Early Detection (RED), dan DropTail dalam kondisi *host* yang lebih padat serta *request* data yang dinamis dari tiga buah *server multicast*. Kualitas penerimaan *user end to end* dari *server multicast* ke *group multicast 1, 2, dan 3* akan dianalisa melalui beberapa parameter antara lain *throughput*, *delay*, dan *packet lost*. Selain itu untuk menganalisa kerja dari algoritma *congestion control* pada tiap *link* juga akan dilakukan pengukuran yang meliputi *queue size*, *data lost*, dan *throughput*.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Performa Algoritma AQM pada Skenario 1

Pada skenario 1 diuji bagaimana performansi dari masing-masing algoritma *congestion control* dalam menangani beban jaringan yang tidak begitu besar hanya satu buah *member multicast* untuk masing-masing *server multicast*. *Traffic video* dibangkitkan dengan menggunakan aplikasi *traffic Constant Bit Rate* (CBR), yang dikirimkan dari *server multicast* ke *end user*. masing-masing *server multicast* pada skenario 1 hanya akan memiliki satu *member multicast*. Video codec yang digunakan adalah standar H.264 dengan *bit rate* 1024 Kbps. Gambaran animasi topologi untuk scenario 1 ditampilkan pada gambar 6.

Gambar 6. Gambaran animasi topologi skenario 1.

4.1.1. Analisa Delay dan Packet Loss

Rata-rata *delay* yang diperoleh dari paket data yang dikirim oleh masing-masing *server multicast* dengan menggunakan algoritma *congestion control* DropTail, DRR, dan RED dapat dilihat pada gambar 7.

Gambar 7. Perbandingan rata-rata delay pada skenario 1.

Pada gambar 7 terlihat delay jaringan yang mengimplementasikan algoritma DRR memiliki catatan delay paling *fair* terhadap setiap beban traffic hal ini terlihat dari catatan mean delay jaringan yang mengimplementasikan DRR memiliki selisih mean delay paling kecil. Catatan mean delay DRR sekalipun tidak sebaik RED namun masih lebih baik dari pada droptail. Algoritma kendali kongesti RED terlihat memiliki kerja yang paling efisien untuk menekan delay pada setiap sesi pengiriman data, hal ini dikarenakan RED memiliki *buffer size* yang kecil sehingga paket data tidak akan berlama-lama berada dalam antrian. Sekalipun RED mampu menekan *delay* dengan sangat baik namun selisih *mean delay* RED terhadap setiap aliran data masih cukup besar jika dibandingkan dengan DRR yang memiliki tingkat *fairness* yang paling baik diantara ketiga algoritma *congestion control* yang diujikan.

Algoritma *congestion control* DRR memiliki mekanisme *interrupt* yang lebih konsisten dan *buffer size* yang lebih besar dari pada RED sekalipun tidak lebih besar dari pada *buffer size* Droptail, sehingga DRR mampu mencatat nilai *packet loss fairness* yang paling baik dan *mean loss* yang lebih rendah dari RED. Perbandingan rata-rata packet loss pada skenario 1 ditampilkan pada gambar 8.

Gambar 8. Perbandingan rata-rata packet loss pada skenario 1.

4.1.2. Analisa Throughput

RED dan DRR mampu menjaga nilai throughput lebih baik daripada Droptail terlihat dari nilai throughput yang didapat dalam jaringan yang menerapkan RED dan DRR sedikit lebih kecil dari pada catatan nilai mean throughput tertinggi Droptail untuk aliran data dari *server multicast* 1, hal ini dikarenakan pada RED dan DRR dikenal *system interrupt* terhadap paket data yang memiliki prioritas tertentu, sehingga pengalokasian bandwidth untuk tiap aliran data lebih adil. Perbandingan rata-rata throughput pada skenario 1 ditampilkan pada gambar 9.

Gambar 9. Perbandingan rata-rata throughput pada skenario 1.

4.1.3. Analisa Aktifitas Queue

Catatan *mean throughput* pada gambar 10 menggambarkan bahwa router pada *link* 11-9, *link* 9-4, dan *link* 4-3 menggunakan kapasitas router secara keseluruhan pada setiap sesi, hal ini terlihat pada gambar 10, *mean throughput* mencatat angka 2,9 Mbps dari total kapasitas 3 Mbps.

RED memiliki nilai *mean paket loss* yang cukup tinggi bahkan dapat dikatakan merupakan yang tertinggi diantara kompetitornya seperti ditampilkan pada gambar 11, hal ini dikarenakan buffer size RED lebih kecil dari pada Droptail dan DRR sehingga karena daya tampung yang kecil sementara arus data yang sangat cepat memang akan mengakibatkan *buffer size* RED akan lebih cepat *overload* ketimbang Droptail dan DRR. Pada gambar 12 terlihat bahwa kapasitas *queue size* RED jauh lebih kecil dibandingkan DRR dan Droptail, hal ini memang dikarenakan *buffer size* RED yang tidak sebesar DRR dan droptail.

Gambar 10. Perbandingan rata-rata throughput jalur multicast pada skenario 1.

Gambar 11. Perbandingan rata-rata packet loss jalur multicast pada skenario 1.

Gambar 12. Perbandingan rata-rata queue size jalur multicast pada skenario 1.

4.2. Analisis Performa Algoritma AQM pada Skenario 2

Pada skenario 2 diuji bagaimana performansi dari masing-masing algoritma *congestion control* dalam menangani kuantitas beban jaringan yang besar, terdapat sembilan *member multicast* pada provider 1, 2, dan 3, selain itu juga terdapat penambahan 3 provider lain yang masing-masing memiliki *member multicast* empat buah *node*, provider tambahan ini difungsikan sebagai penambah beban multicast untuk server multicast. Gambaran animasi topologi untuk skenario 2 ditampilkan pada Gambar 13.

Gambar 13. Gambaran animasi topologi skenario 2.

4.2.1. Analisa Delay dan Packet Loss

Berdasarkan data pada Gambar 14, algoritma *congestion control* RED terlihat memiliki kerja yang paling efisien untuk menekan *delay* pada setiap sesi pengiriman data hal ini dikarenakan RED memiliki *buffer size* yang kecil. Berdasarkan data pada gambar Penambahan beban *traffic* pada skenario 2 tidak menambah nilai *mean delay* terhadap data yang di distribusikan, hal ini terlihat dari angka *mean delay* yang tercatat pada skenario 1 tidak mengalami peningkatan yang *signifikan* pada skenario 2. Gambar 15 menunjukkan algoritma *congestion control* DRR sekalipun memiliki nilai rata-rata *mean loss* lebih rendah dari pada Droptail, namun DRR memiliki *loss fairness* lebih baik daripada Droptail dan RED, dengan selisih *mean loss* paling kecil untuk setiap aliran datanya.

Gambar 14. Perbandingan rata-rata delay pada skenario 2.

Gambar 15. Perbandingan rata-rata packet loss pada skenario 2.

4.2.2. Analisa Throughput

Pada Gambar 16 terlihat DRR memiliki *throughput* yang sama untuk setiap aliran data yang berarti tingkat *throughput fairness* DRR pada skenario 2 lebih baik dari pada RED dan Droptail selain itu nilai rata-rata *mean throughput* DRR lebih besar daripada RED dan Droptail. RED dan

DRR memiliki mekanisme penggunaan *throughput* yang seimbang karena pada kedua algoritma ini mengadopsi system *interrupt*.

Gambar 16. Perbandingan rata-rata throughput pada skenario 2.

4.2.3. Analisa Aktivitas Queue

Pada skenario 2 data yang tercatat pada Gambar 17 mengenai *mean throughput* masih serupa dengan skenario 1. Data *mean loss* pada skenario 2 seperti yang ditampilkan pada gambar 18 mengalami penurunan nilai *mean loss* jika dibandingkan dengan data *mean loss* skenario 1, penurunan terjadi pada jaringan berbasis Droptail dan RED masing-masing sebesar 0.02 paket.

Berdasarkan data pada gambar 19 dapat disimpulkan penambahan beban multicast pada skenario 2 menyebabkan terjadinya peningkatan nilai *mean queue size* pada jaringan berbasis Droptail, DRR, dan RED, hal ini dilihat dari membandingkan nilai *mean queue size* pada skenario 1 dan skenario 2.

Gambar 17. Perbandingan rata-rata throughput jalur multicast pada skenario 2.

Gambar 18. Perbandingan rata-rata packet loss jalur multicast pada skenario 2.

Gambar 19. Perbandingan rata-rata queue size jalur multicast pada skenario 2.

4.3. Analisis Performa Algoritma AQM pada Skenario 3

Pada skenario 3 diujikan bagaimana performansi dari masing-masing algoritma *congestion control* dalam menangani beban jaringan yang besar sekaligus bersifat dinamis. Konsep jaringan yang di terapkan pada skenario 3 masih serupa dengan konsep jaringan pada skenario 2 yang membedakan hanyalah aktifitas *member multicast* yang akan secara dinamis berpindah-pindah server multicast yang berbeda selama 10 detik waktu simulasi. Gambaran animasi topologi untuk skenario 3 ditampilkan pada Gambar 20.

Gambar 20. Gambaran animasi topologi skenario 3.

4.3.1. Analisa Delay dan Packet Loss

Berdasarkan Gambar 21, 22, dan 23, secara keseluruhan masing-masing algoritma *congestion control* mencatat nilai *delay fairness* yang sangat baik, terlihat pada pencatatan *mean delay* nampak bahwa *mean delay* setiap aliran data memiliki nilai yang sama pada detik ke 5 hingga ke 15. Pada detik ke 15 hingga 25 terjadi peningkatan *mean delay* pada jaringan berbasis droptail, peningkatan terjadi pada aliran data dari server multicast 2 dan server multicast 3 sebesar 0.01 detik dari sesi sebelumnya (detik ke 5 hingga detik ke 15).

Gambar 21. Perbandingan rata-rata delay detik ke 5 hingga detik ke 15.

Gambar 22. Perbandingan rata-rata delay detik ke 15 hingga detik ke 25.

Gambar 23. Perbandingan rata-rata delay detik ke 25 hingga detik ke 35.

Pada detik ke 25 hingga detik ke 35 masing-masing algoritma *congestion control* mengalami penurunan nilai *mean delay fairness*. Terjadi peningkatan *mean delay* pada jaringan berbasis droptail

dan DRR, peningkatan terjadi pada aliran data dari setiap server multicast, sebesar 0.01 second jika dibandingkan dengan sesi sebelumnya (detik 15 hingga detik 25).

4.3.2. Analisa Throughput dan Packet Loss

Perilaku *member multicast* yang dinamis sangat mempengaruhi nilai *loss fairness* dan peningkatan nilai rata-rata *mean loss fairness* yang cukup signifikan pada setiap algoritma *congestion control*, hal ini dibuktikan dengan nilai *mean loss* pada skenario 3 yang ditampilkan pada Gambar 24 jauh lebih besar jika dibandingkan nilai *mean loss* skenario 2. Pada skenario 3 terdapat penurunan nilai *mean throughput* seperti ditampilkan pada Gambar 25, dikarenakan terjadi perpindahan masing-masing *member multicast* terhadap server multicast sehingga untuk melakukan *reconnection* terhadap *joint server* terbaru PIM-DM memerlukan waktu hingga *prune state time out*, selisih waktu ini yang membuat penurunan nilai *mean throughput* menurun.

Gambar 24. Perbandingan rata-rata packet loss skenario 3.

Gambar 25. Perbandingan rata-rata throughput scenario 3.

4.3.3. Analisa Aktifitas Queue

Pada skenario 3, berdasarkan data pada Gambar 26 terdapat penurunan nilai throughput jika dibandingkan pengujian pada skenario 2 hal ini dikarenakan terjadi perpindahan masing-masing *member multicast* terhadap server multicast sehingga untuk melakukan *reconnection* terhadap *joint server* terbaru PIM-DM memerlukan waktu hingga *prune state time out*, selisih waktu ini yang membuat penurunan nilai *mean throughput* menurun. Data *mean loss* pada Gambar 27 membuktikan bahwa RED dengan nilai *throughput* yang lebih rendah mampu menekan *paket loss* di angka *mean loss* yang sama dengan DRR dan Droptail pada *link 4-3* dan *link 9-4*.

Gambar 26. Perbandingan rata-rata throughput jalur multicast.

Gambar 27. Perbandingan rata-rata packet loss jalur multicast.

Gambar 28. Perbandingan rata-rata queue size jalur multicast.

Berdasarkan data pada Gambar 28 RED memiliki *queue lost* yang paling tinggi, tidak lain karena *buffer size* RED memang sangat kecil. Rasio *buffer size* per *performance* algoritma *congestion control* RED jauh lebih baik dari pada DRR maupun Droptail.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Untuk mengukur tingkat efektifitas algoritma antrian dapat dianalisa dengan mencari perbandingan rasio queue size berbanding packet loss yang paling kecil, dimana pada penelitian ini RED memiliki algoritma penanganan congesti yang paling efisien dengan perbandingan buffer size berbanding packet loss yang paling kecil.
2. DRR memiliki kombinasi buffer size dan metode penanganan queue yang paling baik, hal ini dapat dilihat pada pengujian skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 DRR memiliki performance yang paling baik, dengan nilai fairness yang sangat tinggi. DRR memiliki kombinasi buffer size

yang besar dan metode penanganan queue yang memiliki prioritas. Pada pengujian di setiap skenario DRR memiliki performance yang paling seimbang.

3. DRR dan RED memiliki mekanisme *interrupt* pada proses pelayanan *queue*-nya sehingga pelayanan *queue* terhadap setiap aliran data akan dilayani dengan adil.
4. Algoritma *congestion control* RED memiliki mekanisme pengalokasian bandwidth paling baik terhadap setiap aliran data jika dibandingkan DRR dan Droptail, hal ini dapat dilihat pada skenario 3 dimana dengan penggunaan bandwidth dengan selisih 0,02 Mbps lebih kecil pada setiap sesi RED mampu meredam paket loss pada link 9-3 dan link 4-3 dengan kuantitas yang sama dengan DRR dan Droptail.

DAFTAR REFERENSI

- [1] D. Arvianto, H. Hafidudin, dan A. Rudiana, "Analisa Perbandingan Performansi Skema Multi-Level RED untuk Differentiated Services di Internet," dalam *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2007.
- [2] M. Agrawal, N. Tiwari, L. A. S. Chaurasia, dan J. Saraf, "Queueing for Multisource Network- 'Type of Queue Decides Quality of Services of Network,'" dalam *Proceedings of International Symposium on Computing, Communication, and Control (ISCCC 2009)*, 2009.
- [3] B. A. Prasetya, "Pengaruh Video Bit-Rate dan Background Traffic Terhadap Kinerja Video Streaming pada Jaringan Wireless LAN," *Institut Pertanian Bogor*, 2008.
- [4] O. W. Purbo, A. Basalamah, I. Fahmi, dan A. H. Thamrin, *TCP/IP Standar, Desain, dan Implementasi*. Jakarta: Elexmedia Komputindo, 1998.
- [5] T. S. Siadari, "Perancangan dan Implementasi Penyiaran Video Langsung Berbasis Web di IT TELKOM," *Telkom institute of Technology, Bandung*, 2009.
- [6] M. Shreedhar dan G. Varghese, "Efficient fair queuing using deficit round-robin," *IEEE/ACM Transactions on networking*, vol. 4, no. 3, hlm. 375–385, 1996.