

NdutSIM: SIMULATOR JARINGAN KOMPUTER BERBASIS *DESKTOP* DENGAN DUKUNGAN SIMULASI MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)

Suryo Bramasto¹⁾ Muhammad Ramli²⁾

¹⁾ Informatika Institut Teknologi Indonesia

Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15320

email : ¹⁾suryo.bramasto@gmail.com, ²⁾muhamad.ramli@ymail.com

ABSTRACT

This paper describes a desktop-based computer network simulator. The system is built with Java programming language and can be executed as a standalone Java application or Java applet. The environment enables process visualization and simulation in computer networks with arbitrary topology. Physical and logical IP addressing of computers and router interfaces are supported, as well as working with sub-networks. Routers enable static packet routing, importing static routes in the configuration procedure. Components are configured using configuration dialogue (standard Windows dialogue). The processes of forming, addressing, sending, transferring and receiving of frames are visualized, where functions routings such as traditional and Multiprotocol Label Switching (MPLS) based routing are explained. The system enables the creation of many laboratory exercises, which offer students opportunities to follow visually characteristic processes in computer networks.

Key words

computer based learning, computer networks, MPLS, simulations, visualization

1. Pendahuluan

Proses pembelajaran jaringan komputer terkadang akan memberikan tantangan baik untuk siswa maupun instruktur. Beberapa macam simulator jaringan komputer telah dirancang dan dikembangkan sebagai alat pembelajaran. Penggunaan media pembelajaran berbasis *desktop* merupakan salah satu pendekatan yang dapat membantu proses pembelajaran jaringan komputer. Alat bantu pembelajaran berbasis komputer dengan dukungan animasi merupakan pilihan yang diharapkan dapat memberikan manfaat bagi siswa. Animasi dapat menyediakan siswa dengan penjelasan eksplisit yang dinamis. Sedangkan visualisasi merupakan hal yang

diperlukan dalam meningkatkan pemahaman bagi siswa terhadap kompetensi yang sedang dipelajari. Tujuan dari penelitian ini adalah menyediakan cara guna meningkatkan proses belajar mengajar dengan mengimplementasikan simulasi berbasis komputer dan animasi untuk kompetensi jaringan komputer.

Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini merupakan simulator jaringan komputer interaktif yang dibangun dengan bahasa pemrograman Java. Tujuan dari simulator ini adalah membantu siswa untuk memahami prinsip dasar jaringan komputer berbasis TCP/IP sebagai bagian dari sistem pembelajaran jaringan komputer. Proses pembelajaran juga mencakup domain lain dalam ranah jaringan komputer. Proses yang terjadi saat pertukaran data antar perangkat jaringan dalam jaringan komputer merupakan proses yang kompleks dan terjadi dalam waktu yang sangat singkat, sehingga pengguna tidak dalam kondisi yang akan mampu memahami apa yang terjadi sesungguhnya dalam suatu jaringan komputer. Tujuan dari simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini adalah menunjukkan secara visual mengenai apa yang sebenarnya terjadi terkait proses-proses yang ada dalam suatu jaringan komputer. Simulator jaringan komputer ini juga memiliki fitur-fitur seperti editor topologi jaringan dan simulasi dalam skenario *real time*, sehingga diharapkan simulator ini cocok untuk kegiatan belajar mengajar untuk level sarjana sekaligus untuk keperluan penelitian.

Simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini merupakan simulator jaringan komputer berbasis *desktop* yang memungkinkan visualisasi proses lalu lintas data dalam jaringan komputer. Tujuan utama dari pengembangan simulator jaringan komputer ini adalah untuk kepentingan edukasi. Simulator jaringan komputer ini memungkinkan siswa untuk melakukan desain jaringan komputer dengan berbagai topologi dan berbagai komponen, melakukan konfigurasi jaringan komputer melalui antar muka command line, dan melihat aliran *data frame* pada lokasi yang berbeda-beda dalam jaringan komputer, serta melihat isi data terenkapsulasi. Simulator

yang dikembangkan memfasilitasi persepsi terhadap prinsip-prinsip dasar operasi protocol seperti protokol-protokol Ethernet, IP, ARP, PPP, dan sebagainya. Simulator ini juga memungkinkan pemeriksaan *switching*, *routing*, dan proses-proses lain dalam jaringan komputer.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan desain dan implementasi suatu simulator yang membantu siswa dalam kompetensi jaringan komputer. Tujuan dasar dari penelitian ini yakni membangun suatu piranti lunak yang menyediakan umpan balik yang responsif terkait desain jaringan komputer. Tujuan dasar lain adalah penyediaan antarmuka berbasis grafis. Dengan simulator ini siswa dapat membangun berbagai topologi jaringan komputer hanya dengan *point and click* dan input parameter-parameter jaringan melalui *keyboard*. Dengan fitur-fitur yang ada akan memungkinkan siswa untuk membangun laboratorium jaringan komputer yang komprehensif dan terstruktur dalam lingkungan *personal computer* (PC) tunggal.

Simulator jaringan yang dikembangkan memungkinkan siswa untuk melakukan desain, membangun, dan melakukan konfigurasi jaringan komputer secara *drag and drop*. Fitur monitor pada simulator jaringan komputer dapat digunakan untuk observasi jalur *real time* dari paket data, saat paket data tersebut berjalan melalui perangkat-perangkat jaringan dalam jaringan komputer yang dibangun. Siswa juga dapat memantau kemajuan dari perjalanan paket data.

Perangkat modern memungkinkan siswa untuk membangun simulasi yang kompleks dengan animasi, yang membantu klarifikasi kompleksitas jaringan komputer. Banyak terdapat piranti yang memungkinkan simulasi jaringan komputer, seperti misalnya Boson Router Simulator [1] yang memfasilitasi pembangunan topologi jaringan komputer secara acak. Simulator Boson ini juga dapat dikonfigurasi melalui *command line*. Boson simulator mendukung protokol-protokol RIP, OSPF, IGRP, PPP dan ARP are represented. Simulator jaringan Krang [2] memiliki topologi statis yang terdiri atas empat router yang harus dikonfigurasi. Tersedia perintah-perintah konfigurasi standar. Krang juga memiliki fitur kalkulator alamat IP. Krang bekerja di lingkungan Microsoft Windows. Simulator jaringan lainnya yakni The Ptolemy project, yang mempelajari pemodelan, simulasi, dan desain dari *concurrent, real-time, embedded systems* [3].

Perangkat eksperimental yang tersedia untuk pengajar dan peneliti antara lain Emulab, PlanetLab, the Xbone, Schooner dan ONL [4]. Perangkat pemodelan dan simulasi yang dikembangkan oleh perguruan tinggi antara lain OpNet, ns2, dan Ethereal [5], [6], [7]. Sedangkan perangkat pada referensi [8] menunjukkan bagaimana informasi bergerak diantara berbagai bagian sistem. Perangkat pada referensi [8] ini juga memiliki animasi yang memungkinkan pengguna melihat urutan segala sesuatu yang terjadi. Perbedaan antara simulator jaringan

komputer yang dikembangkan pada penelitian ini dengan simulator jaringan lain pada referensi [1], [2], [5], [6], [7] adalah simulator yang dikembangkan pada penelitian ini dapat menampilkan data yang terenkapsulasi pada ranah Multiprotocol Label Switching (MPLS), sedangkan simulator pada referensi [1], [2], [5], [6] dan [7] memungkinkan siswa untuk belajar, mengelola, dan melakukan konfigurasi jaringan komputer dengan yang menunjukkan kesuksesan transfer data. Simulator yang dikembangkan pada penelitian ini menekankan bagaimana data terpakatkan dan ditransmisikan melalui perangkat dan kabel jaringan komputer.

Selanjutnya yang secara berurutan dikemukakan pada makalah ini adalah proses transport data dalam jaringan komputer, arsitektur dan organisasi sistem, penggunaan simulasi jaringan melalui antarmuka berbasis *desktop*, penyuntingan jaringan komputer, konfigurasi komponen jaringan, contoh konfigurasi router statis, dan diakhiri dengan kesimpulan dan saran pengembangan lebih lanjut.

2. Proses Data Transport dalam Jaringan Komputer

Proses transport data dalam jaringan komputer dapat dibagi-bagi menjadi beberapa langkah sistematis. Pada komputer yang mengirim data yakni:

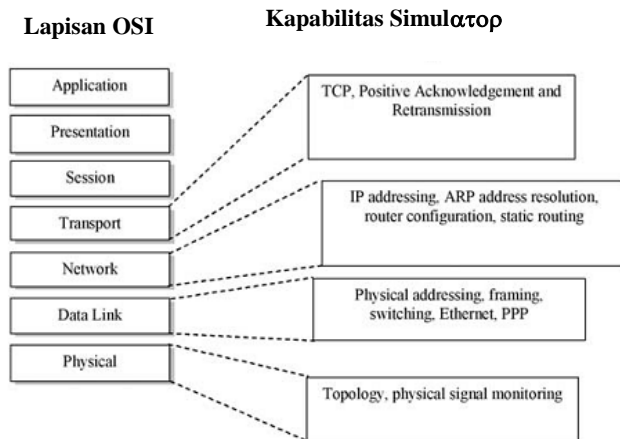
- I. pengguna dengan aplikasi menciptakan data
- II. data dipecah menjadi paket-paket
- III. alamat data dibubuhkan pada paket
- IV. paket ditransmisikan melalui jaringan komputer.

Pada komputer yang menerima data:

- I. data diterima dari media transmisi untuk kemudian dibawa ke komputer
- II. alamat data yang dibubuhkan oleh pengirim dilepaskan dari data yang ditransmisikan
- III. paket-paket disatukan menjadi data
- IV. data diterima oleh aplikasi

Model rujukan digunakan untuk menjelaskan dan menstandarisasi semua fungsi jaringan komunikasi komputer, yang mana fungsi-fungsi tersebut diatur dalam lapisan-lapisan. Setiap lapisan memiliki abstraksi yang berbeda dalam organisasi jaringan komputer. Setiap lapisan dikembangkan sedemikian rupa sehingga memiliki fungsi spesifik seperti yang telah ada pada standarisasi protocol-protokol.

Pada tahun 1984, ISO (*International Organization for Standardization*) mengeluarkan model rujukan lapisan OSI (*Open Systems Interconnection*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, yang mana menjadi standar jaringan komputer.



Gambar 1 Hubungan Lapisan OSI dengan Kapabilitas Simulator

Setiap informasi terpropagasi melalui komputer merupakan data. Secara logis, data ditata menjadi unit-unit informasi yang saling tukar antar sistem komputer. Unit-unit ini mencakup informasi yang dikirim dan elemen-elemen lain yang diperlukan untuk menyediakan komunikasi yang handal.

Proses pengepakan data yang akan saling dipertukarkan dalam jaringan komputer disebut enkapsulasi. Melalui enkapsulasi, data disesuaikan dengan protokol yang dibutuhkan sebelum ditransmisikan. Data terbentuk pada lapisan aplikasi pada model lapisan OSI dan kemudian diteruskan ke lapisan dibawahnya dimana ditambahkan *headers*, *trailers*, dan informasi-informasi lain yang diperlukan untuk transmisi data.

Tiga lapisan pertama pada model lapisan OSI berhubungan dengan *data stream*. Lapisan transport mewariskan *data stream* yang dibagi menjadi segmen-segmen. Segmen-segmen tersebut diteruskan ke lapisan *network* untuk ditambahkan *network header* dan diberikan paket-paket. Selain informasi-informasi yang diperlukan, paket-paket tersebut juga mencakup alamat *logical* dari pengirim dan penerima, juga informasi lain terkait kendali kesalahan dan integritas data. Alamat *logical* memungkinkan perangkat jaringan untuk mengirim paket-paket melalui jaringan komputer sesuai jalur yang ditentukan. Paket-paket dari lapisan *network* kemudian diteruskan ke lapisan *data link* untuk ditambahkan *header* dan *trailer*, yang mana kemudian dibangun menjadi *frame* lapisan *data link*. *Header* lapisan *data link* berisi alamat fisik dari pengirim dan penerima, serta beberapa informasi kendali.

Dua atau lebih perangkat jaringan dan secara langsung saling berkomunikasi dengan cara bertukar frame jika setiap perangkat saling mengetahui alamat fisik perangkat yang lain. Skema pengalamatan TCP/IP menggunakan 32-bit alamat IP untuk setiap perangkat dalam jaringan komputer. Alamat IP ini merupakan suatu entitas virtual dari sudut pandang pengguna, dimana hanya digunakan

oleh protokol-protokol pada lapisan yang lebih tinggi. Tetapi dalam rangka proses komunikasi, dua atau lebih komputer dalam jaringan fisik harus mengetahui alamat fisik aktual (yang disebut sebagai alamat MAC) komputer lain, sehingga setiap komputer dalam jaringan memiliki alamat fisik aktual dan alamat IP *logical*. Tujuan dari skema pengalamatan ini adalah untuk menyembunyikan detail perangkat keras dengan pengalamatan IP sekaligus memungkinkan pengguna hanya mengutilisasi alamat IP. Karena komunikasi harus dilakukan melalui kanal fisik aktual menggunakan alamat fisik, maka diperlukan mekanisme pemetaan alamat IP ke alamat fisik, yang mana menjadi fungsi dari address resolution protocol (ARP).

Kapabilitas dari simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini serta hubungannya dengan model lapisan OSI ditunjukkan pada gambar 1.

Simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini juga mendukung simulasi routing MPLS (*Multiprotocol Label Switching*). Routing MPLS menggunakan perangkat LER (Label Edge Router) dan LSR (*Label Switch Router*). *Multiprotocol Label Switching* (disingkat menjadi MPLS) yaitu adalah teknologi penyampaian paket pada jaringan backbone berkecepatan tinggi. Asas kerjanya menggabungkan beberapa kelebihan dari sistem komunikasi circuit-switched dan packet-switched yang melahirkan teknologi yang lebih baik dari keduanya. Sebelumnya, paket-paket diteruskan dengan protokol routing seperti OSPF, IS-IS, BGP, atau EGP. Protokol routing berada pada lapisan *network* dalam sistem OSI, sedangkan MPLS berada di antara lapisan *data link* dan *network*.

Prinsip kerja MPLS ialah menggabungkan kecepatan switching pada layer *data link* dengan kemampuan routing dan skalabilitas pada *layer network*. Cara kerjanya adalah dengan menyelipkan label di antara header layer *data link* dan *layer network* pada paket yang diteruskan. Label dihasilkan oleh *Label-Switching Router* dimana bertindak sebagai penghubung jaringan MPLS dengan jaringan luar. Label berisi informasi tujuan node selanjutnya kemana paket harus dikirim. Kemudian paket diteruskan ke node berikutnya, di node ini label paket akan dilepas dan diberi label yang baru yang berisi tujuan berikutnya. Paket-paket diteruskan dalam path yang disebut LSP (*Label Switching Path*).

Komponen MPLS yakni:

- LSP: Merupakan jalur yang melalui satu atau serangkaian LSR dimana paket diteruskan oleh label swapping dari satu MPLS node ke MPLS node yang lain.
- LSR: MPLS node yang mampu meneruskan paket-paket layer-network

- LER: MPLS node yang menghubungkan sebuah MPLS domain dengan node yang berada di luar MPLS domain
- MPLS Egress Node: MPLS node yang mengatur trafik saat meninggalkan MPLS domain
- MPLS ingress Node: MPLS node yang mengatur trafik saat akan memasuki MPLS domain
- MPLS label: merupakan label yang ditempatkan sebagai MPLS header
- MPLS node: node yang menjalankan MPLS. MPLS node ini sebagai control protokol yang akan meneruskan paket berdasarkan label.

3. Arsitektur dan Organisasi Aplikasi Simulator Jaringan Komputer

Simulator jaringan komputer pada penelitian ini dikembangkan dengan bahasa pemrograman Java, serta mengakomodir komponen-komponen jaringan yakni PC, label edge router, dan label switch router.

Router bekerja pada ranah protokol-protokol yang berada di lapisan *network* pada model lapisan OSI. Router berfungsi sebagai penghubung dua jaringan atau lebih untuk meneruskan data dari satu jaringan ke jaringan lainnya. Cara kerja router mirip dengan bridge jaringan, yakni mereka dapat meneruskan paket data jaringan dan dapat juga membagi jaringan menjadi beberapa segmen atau menyatukan segmen-segmen jaringan. Akan tetapi, router berjalan pada lapisan ketiga pada model OSI (lapisan jaringan), dan menggunakan skema pengalamatan yang digunakan pada lapisan itu, seperti halnya alamat IP. Sementara itu, bridge jaringan berjalan pada lapisan kedua pada model OSI (lapisan *data-link*), dan menggunakan skema pengalamatan yang digunakan pada lapisan itu, yakni alamat MAC. Router pada simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini terdiri atas LER dan LSR, tetapi keduanya dapat pula berfungsi sebagai router *dynamic* dan *static* jika fitur enkapsulasi MPLS tidak diaktifkan. Konfigurasi router pada simulator jaringan komputer ini dilakukan melalui *dialogue form*.

Elemen dasar dari simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini adalah Editor, Kendali, Manager, dan Monitor. Editor Object Editor memungkinkan penciptaan objek yakni sumber lalu lintas, tujuan lalu lintas, LER, LSR, dan node-node. Kendali Object memungkinkan antarmuka pengguna berbasis grafis untuk penyuntingan jaringan komputer. Object Monitor memungkinkan konfigurasi simulator baik asal dan tujuan lalu lintas data, serta proses simulasi itu sendiri. Kapanpun dimungkinkan untuk menghinetikan visualisasi transfer data, pemeriksaan struktur *frame*, dan melanjutkan kembali simulasi yang dihentikan.

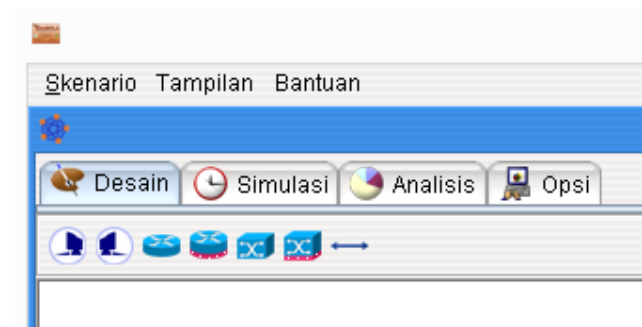
4. Simulator dan Penggunaannya

Simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki fitur-fitur yakni:

- Visualisasi local area network (LAN) pada berbagai lapisan OSI secara *real time*.
- Pengalamatan IP.
- Pertukaran data antar komputer.
- Pelacakan *event-event* dalam jaringan komputer secara *real time*
- Implementasi berbagai protokol
- MPLS Routing
- Perekaman jaringan yang disimulasikan dalam *file* tekstual untuk digunakan lain waktu.
- Eksekusi simulator dalam bentuk aplikasi Java berbasis swing.

Simulator jaringan ini memungkinkan penyuntingan topologi jaringan komputer sekaligus pelacakan proses-proses yang terjadi dalam jaringan yang disimulasikan secara *real time*. Operasi pada jaringan komputer yang disimulasikan terbagi menjadi tiga bagian, yakni:

- Penyuntingan jaringan komputer sesuai skenario yang diinginkan menggunakan komponen-komponen yang ada.
- Menentukan parameter-parameter utama terkait proses yang diinginkan, seperti penamaan, pengalamatan IP, konfigurasi router, dan sebagainya.
- Pelacakan proses dalam sistem dengan presentasi visual pergerakan *frame* melalui perangkat-perangkat jaringan, jalur transmisi, berikut keterangan tekstual.



Gambar 2 Komponen-Komponen Penyuntingan Jaringan Komputer dan Topologinya

4.1 Penyuntingan Jaringan Komputer

Jaringan komputer dapat disunting melalui *toolbar*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, komponen-komponen yang dapat digunakan yakni sumber data, tujuan data, LER (aktif/pasif), dan LSR (aktif/pasif).

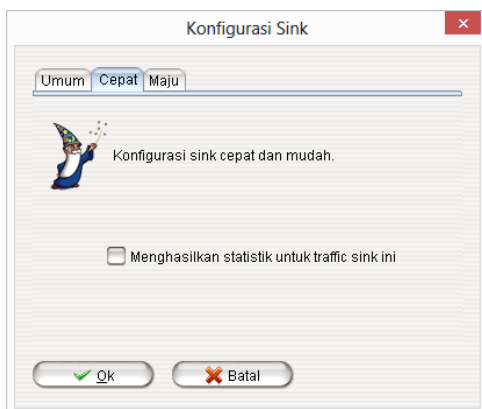
Pemilihan komponen-komponen ini dapat dilakukan pengguna dengan klik mouse. Penghubung komponen-komponen tersebut adalah *link* yang ditunjukkan dengan panah dua arah pada gambar 2.

Tab Desain pada gambar 2 merupakan bagian dimana pengguna membangun topologi jaringan yang hendak disimulasikan. Tab simulasi merupakan bagian dimana pengguna menjalankan simulasi, membuat *trace file* untuk simulasi yang dijalankan, dan menambahkan *traffic congestion* pada saat transmisi data sedang disimulasikan. Tab Analisis merupakan bagian dimana ditunjukkan statistik-statistik terkait transmisi data pada router. Sedangkan tab Opsi merupakan tempat pengaturan parameter-parameter terkait simulasi yang hendak dilakukan.

4.2 Konfigurasi Komponen-Komponen

Konfigurasi komponen-komponen dalam simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini dilakukan melalui *Windows dialogues* dan *Windows controls*. Karakteristik pengirim dan penerima data dapat dikonfigurasi dengan klik kanan pada *icon* yang bersangkutan. Karakteristik pada penerima data adalah posisi perangkat pada topologi, serta statistik perangkat terkait transmisi data (Gambar 3). Konfigurasi berikutnya adalah untuk sumber data, dimana terdapat konfigurasi tipe lalu lintas data seperti apa yang ditransmisikan (Gambar 4) dan konfigurasi lanjut guna kustomisasi paket data (Gambar 5). Sedangkan untuk alamat IP, akan terkonfigurasi secara otomatis oleh sistem. Yang harus ditentukan oleh *user* adalah port dari perangkat-perangkat dalam jaringan komputer yang disimulasikan.

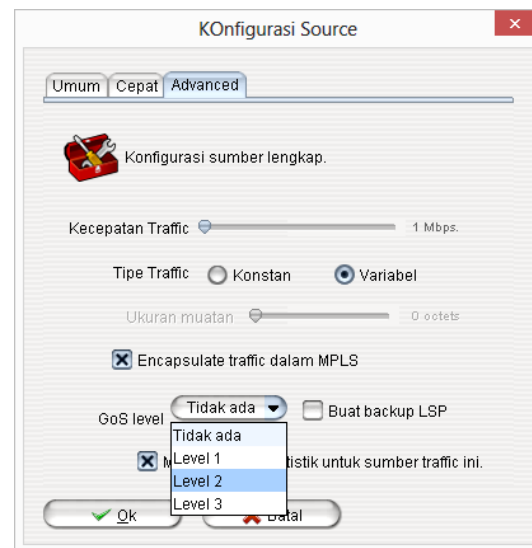
Konfigurasi berikutnya adalah untuk perangkat-perangkat router. Baik LER maupun LSR memiliki karakteristik konfigurasi yang sama, yakni besar bandwidth dan ukuran buffer (Gambar 6). Selanjutnya yang dapat dikonfigurasi pada simulator jaringan ini adalah *link*. Karakteristik *link* yang dapat dikonfigurasi adalah *link* tersebut menghubungkan perangkat yang mana, serta *delay* pada link.



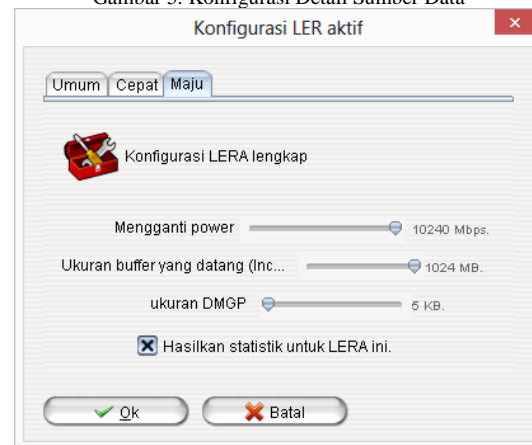
Gambar 3. Konfigurasi Perangkat Penerima Data



Gambar 4. Konfigurasi Tipe Lalu Lintas Data Dari Sumber Data



Gambar 5. Konfigurasi Detail Sumber Data

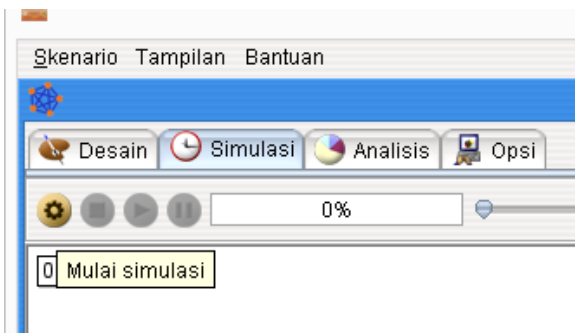


Gambar 6. Konfigurasi Perangkat Router

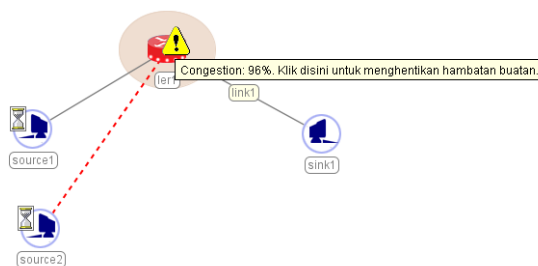
4.3 Proses di Dalam Sistem

Jika topologi telah terbangun dan semua komponen telah terkonfigurasi, maka simulasi dapat dimulai dengan klik tombol “Mulai Simulasi” (Gambar 7). Saat simulasi berjalan, pengguna dapat menghentikan (*Stop*) atau menghentikan sementara untuk kemudian dilanjutkan lagi (*Pause*). *Stop* dan *Pause* dilakukan dengan menekan tombol yang bersangkutan. Saat simulasi sedang berjalan ada beberapa parameter yang dapat diberikan, yakni hambatan buatan (*congestion*), serta pemutusan link. Pemberian hambatan buatan dilakukan dengan klik pada router, sedangkan pemutusan link dilakukan dengan klik pada link (Gambar 8). Penambahan parameter ini dimaksudkan sebagai skenario-skenario yang didukung oleh simulator, karena simulator ini tidak hanya mensimulasikan proses jaringan komputer melainkan juga memberikan data-data secara grafis yang digunakan untuk analisis “tingkat layanan” (*Guarantee of Services*) pada jaringan komputer yang disimulasikan.

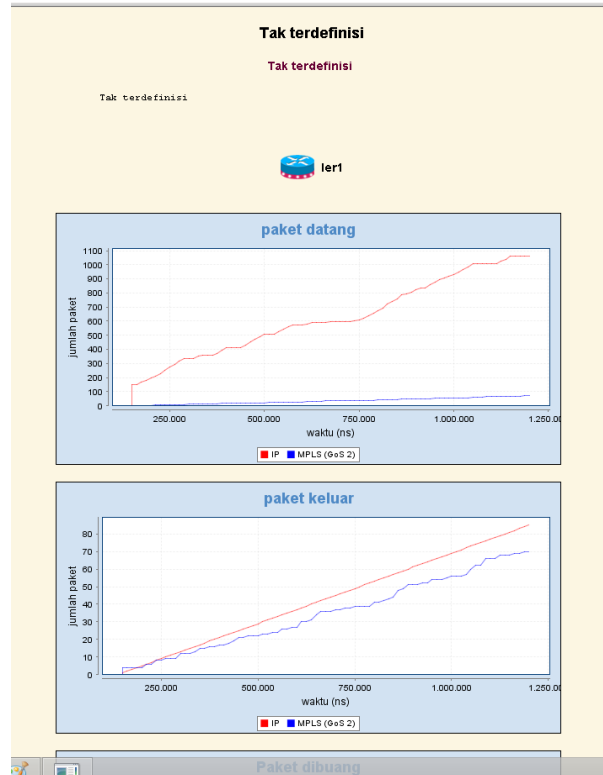
Data-data analisis yang ditampilkan dengan grafis merupakan data-data untuk setiap komponen dalam jaringan komputer yang disimulasikan. Yang ditunjukkan pada Gambar 9 adalah analisis pada perangkat router, tetapi dapat juga ditunjukkan untuk perangkat yang lain.



Gambar 7. Tombol Mulai Simulasi



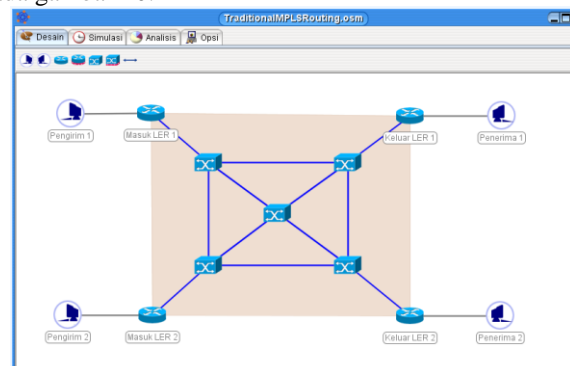
Gambar 8. Perubahan Konfigurasi Saat Simulasi Berjalan



Gambar 9. Analisis Grafis Proses Transmisi Data

5. Contoh Skenario Simulasi

Guna menunjukkan penggunaan simulator jaringan komputer yang dikembangkan dalam penelitian ini, dalam kaitannya dengan pembelajaran jaringan komputer; berikut akan dipaparkan contoh skenario simulasi. Topologi jaringan yang digunakan sebagai contoh skenario ini merupakan topologi jaringan komputer yang menerapkan routing MPLS. Routing MPLS dipilih sebagai contoh alih-alih routing statis agar supaya semua fitur yang ada pada simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini dapat terlihat. Desain topologi ditunjukkan pada gambar 10.

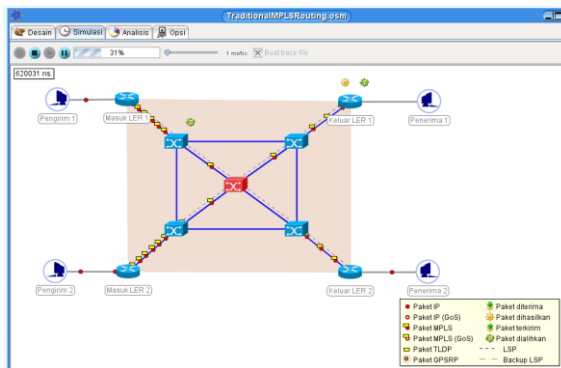


Gambar 10. Desain Topologi Skenario Contoh

Keterangan gambar 10:

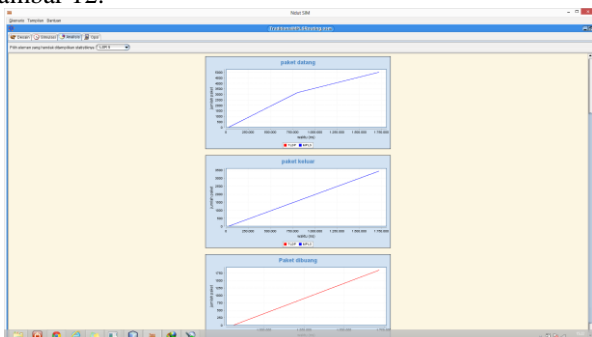
1. Pengirim 1 tujuan Penerima 1
2. Pengirim 2 tujuan Penerima 2
3. Konfigurasi:
 - a. Alamat IP terkonfigurasi oleh sistem
 - b. Kecepatan transfer data 10240 Mbps
 - c. Paket data tidak menerapkan *GoS Over MPLS* dan tidak ada *backup LSP* (Label Switched Path)
 - d. Tidak ada enkapsulasi MPLS
 - e. Ukuran *buffer* telekomunikasi 1 MB
 - f. Tipe paket data: IP dan targeted Label Distribution Protocol (TLDP)

Proses simulasi skenario yang ditunjukkan pada gambar 10, ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Contoh Proses Simulasi

Saat simulasi berjalan, statistik untuk setiap elemen topologi jaringan telah dapat ditampilkan (tidak perlu menunggu simulasi selesai). Grafik statistik yang ditampilkan bergerak selaras dengan berjalannya proses di dalam simulasi. Sebagai contoh akan ditampilkan statistik untuk perangkat LSR5 (perangkat warna merah pada gambar 11). Statistik pada LSR5 ini diambil saat simulasi berjalan 84%. Contoh statistik LSR5 ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Contoh Statistik pada Elemen Jaringan

Statistik ini berguna untuk analisis yang menjadi kelanjutan dari proses simulasi. Berdasarkan proses simulasi pada contoh ini maka diperoleh beberapa hal yakni:

1. Penerima 1 menerima paket data dari Pengirim 1
2. Penerima 2 menerima paket data dari Pengirim 2
3. Terjadi *congestion* pada LSR5, karena disimulasikan paket data yang ditransmisikan mengakibatkan kondisi *traffic* pada jaringan yang sangat padat. *Congestion* pada LSR5 mencapai 95%, sehingga mempengaruhi kondisi elemen lain pada jaringan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 12 yang mana terdapat garis merah pada statistik LSR5, hal tersebut menunjukkan adanya paket data yang dibuang. Dan karena *congestion* pada LSR5 yang menjadi *routing central* yang mencapai lebih dari 50% maka dipastikan terjadi pembuangan paket data pada semua elemen topologi jaringan yang disimulasikan, dan terbukti dengan tampilan statistik setiap elemen secara grafis.

6. Tahap Selanjutnya

Penelitian tentang rancang bangun simulator jaringan komputer ini masih berjalan. Beberapa hal yang berikutnya harus dilaksanakan adalah pengujian struktur internal kode program yang ditulis serta pengujian validasi berdasar skenario yang disusun berdasar pengguna berikut *assessment* terhadap pengguna.

Terkait dengan proses *assessment* ini, diharapkan nantinya akan dilaksanakan evaluasi kualitatif dan kuantitatif terhadap pengguna. Evaluasi kualitatif akan melibatkan survey dan diskusi dengan pengguna yakni siswa dan pengajar yang menggunakan simulator ini. Survey tersebut akan difokuskan terhadap bermanfaat atau tidaknya simulator jaringan komputer yang dikembangkan pada penelitian ini sebagai alat bantu belajar berikut efisiensinya. Akan dimintakan juga saran dari siswa dan pengajar untuk pengembangan simulator ini kedepannya.

7. Kesimpulan

Makalah ini memaparkan suatu simulator jaringan komputer yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman Java. Lingkungan simulasi yang dikembangkan memungkinkan pelacakan proses transportasi data dari sumber ke tujuan secara visual baik dalam ranah routing tradisional maupun MPLS. Dimungkinkan juga visualisasi secara *real time* dari proses-proses yang terjadi dalam suatu jaringan komputer. Kemudian dapat dilakukan penyuntingan terhadap elemen-elemen jaringan secara visual. Terdapat juga visualisasi dari statistik tiap elemen jaringan saat proses komunikasi data terjadi. Statistik ini berguna untuk analisis terhadap

skenario yang disimulasikan. Kedepannya masih perlu dilakukan beberapa tahap pengujian sekaligus *assessment* terhadap pengguna.

REFERENSI

- [1] <http://www.routersimulator.com>
- [2] <http://www.routeru.com/krang>
- [3] <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII/>
- [4] The Open Network Laboratory, SIGCSE'06, March 1–5, 2006, Houston, Texas, USA.
- [5] <http://www.opnet.com>
- [6] K. Fall and K. Varadhan, The ns Manual – The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2002.
- [7] <http://www.ethereal.com>
- [8] D. Fajardo-Patrón, L. G. Guerrero-Ojeda, D. Báez-López and V. Alarcon-Aquino, 'Simulator of WCDMA procedures for educational purposes', in Proc. 15th International Conference on Electronics, Communications and Computers, CONIELECOMP 2005, Puebla, Mexico, March 2005.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian yang sedang berjalan ini dibiayai oleh Program Hibah Penelitian Dosen Pemula, Ditlitabmas Ditjen Dikti, Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia; berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian bagi dosen Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah III Jakarta Tahun Anggaran 2015 No: 123/K3/KM/2015, February 23, 2015.

Suryo Bramasto, memperoleh gelar S.T. dari Universitas Gadjah Mada pada 2005 dan M.T. dari Institut Teknologi Bandung pada 2009. Saat ini sebagai dosen tetap pada program studi informatika Institut Teknologi Indonesia.