

**SIMULASI KINERJA WAKTU KONVERGENSI PROTOKOL
ROUTING OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF) PADA
JARINGAN KAMPUS**

*PERFORMANCE SIMULATION OF ROUTING PROTOCOL
CONVERGENCE TIME OF OPEN SHORTEST PATH FIRST
(OSPF) ON CAMPUS NETWORK*

ANRITSU STEVEN CHRISTIAN POLII



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**SIMULASI KINERJA WAKTU KONVERGENSI PROTOKOL
ROUTING OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF) PADA
JARINGAN KAMPUS**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

S2 Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh:

ANRITSU STEVEN CHRISTIAN POLII

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

TESIS

SIMULASI KINERJA WAKTU KONVERGENSI PROTOKOL ROUTING OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF) PADA JARINGAN KAMPUS

Disusun dan diajukan oleh:

ANRITSU STEVEN CHRISTIAN POLII

Nomor Pokok P2700211444

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 2 Agustus 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat.

Menyetujui,

Komisi Penasehat

Dr-Eng. Muhammad Niswar, ST, M.IT.
Ketua

Dr.Eng. Wardi, ST, M.Eng.
Anggota

**Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro,**

**Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin.**

Prof.DR.Ir.H. Salama Manjang, MT.

Prof.Dr.Ir. Mursalim, M.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Anritsu Steven Christian Polii
Nomor mahasiswa : P270021144
Program studi : S2 Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 8 Juni 2013

Yang menyatakan

Anritsu Steven Christian Polii

KATA PENGANTAR

Ungkapan syukur dan puji terima kasih, penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas petunjuk dan bimbingan-Nya yang senantiasa menaungi penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan penelitian tesis ini.

Selama penyelesaian penelitian tesis ini, tidak lepas dari dukungan berbagai pihak baik materi maupun spiritual. Untuk itulah dengan penuh hormat penulis menyampaikan terima kasih yang luar bisa kepada:

1. Dr-Eng. Muhammad Niswar, ST, M.IT., selaku Ketua Komisi Penasehat yang dengan penuh kesabaran dan perhatian memberikan arahan dan petunjuk serta pembimbingan teknis penyelesaian penelitian tesis ini.
2. Dr.Eng. Wardi, ST, M.Eng., Selaku Anggota Komisi Penasehat yang dengan bijaksana dan arif dalam membimbing, serta memberikan dorongan mental dan semangat juang dalam penyelesaian tesis.
3. Dr.Ir. Andani Achmad, MT.; Dr.Ir. Dzulfajri B. Hasanuddin, M.Eng.; Dr.Eng. Syafaruddin, ST, M.Eng., selaku Tim Penguji yang begitu antusias memberikan masukan korektif untuk melengkapi penelitian ini.
4. Pimpinan, staf edukatif dan administratif Universitas Hasanuddin

dan Politeknik Negeri Manado, yang turut berperan sehingga tesis ini terselesaikan.

5. Istri dan anak-anak serta keluarga yang senantiasa menopang dan berjuang bersama-sama dalam penyelesaian pendidikan S2.
6. Serta pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang ikut membantu penulis untuk menyelesaikan tesis.

Paparan konsep penelitian tesis ini sekiranya dapat membantu *network engineering* dalam hal mengimplementasikan sistem jaringan menggunakan protokol *OSPF Routing*.

Konsep penelitian tesis ini membahas tentang simulasi kinerja durasi waktu konvergensi pada tipe protokol *Interior Gateway Protocols (IGP)* kategori *Link-State Routing Protocols* jenis *classless IPv4* klasifikasi protokol *OSPFv2 routing* untuk jaringan kampus dengan studi topologi jaringan pada jurusan teknik elektro, politeknik negeri manado.

Makassar, Juni 2013

Anritsu Steven Christian Polii

ABSTRAK

ANRITSU STEVEN CHRISTIAN POLII. *Simulasi Kinerja Waktu Konvergensi Protokol Routing Open Shortest Path First (OSPF) pada Jaringan Kampus* (dibimbing oleh Muhammad Niswar dan Wardi).

Penelitian ini bertujuan untuk mempercepat waktu konvergensi pada protokol OSPF setelah inialisasi *router* berdasarkan studi topologi jaringan. Adapun metode penelitian yang digunakan adalah melakukan simulasi pada *area backbone OSPF* secara *blackbox* menggunakan simulator jaringan. Simulasi dilakukan dengan menguji skenario *standard* parameter *OSPF* (*baseline*) dan berbagai varian skenario *tunning* parameter *OSPF*. Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil pengujian skenario tersebut. Sehingga didapatkan bentuk skenario terbaik yang mampu meningkatkan rerata kecepatan waktu konvergensi. Hasil penelitian berupa bentuk skenario terbaik sesuai studi topologi jaringan yang mempunyai pola menggunakan nilai *default* parameter-parameter *interface timer* dan menurunkan nilai parameter-parameter *SPF calculation timer*. Kombinasi pola ini memiliki rerata durasi konvergensi akhir selama 6,548623 detik dengan panjang durasi simulasi 1200 detik. Sedangkan untuk *baseline* memiliki durasi konvergensi akhir selama 8,964145 detik. Jika dibandingkan maka, terjadi percepatan konvergensi selama 2,415522 detik. Sehingga kesimpulan penelitian ini bahwasanya terjadi peningkatan rerata kecepatan waktu konvergensi sebesar 26,95% oleh karena itu dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk implementasi jaringan protokol *routing OSPF*.

Kata kunci: *Protokol Routing, OSPF, Konvergensi, Interface Timers, SPF Calc Timers.*

ABSTRACT

ANRITSU STEVEN CHRISTIAN POLII. *Performance Simulation of Routing Protocol Convergence Time of Open Shortest Path First (OSPF) on Campus Network* (supervised by Muhammad Niswar and Wardi).

This research aims to improve the convergence time of OSPF protocol with several network topology scenarios. We conducted simulation experiments to evaluate the OSPF convergence time with default parameters (baseline) and various parameters. We then compare the results and get the best parameters to minimize the convergence time. Simulations performed with testing the standard parameters OSPF scenario (baseline) and various variants of scenarios tuning OSPF parameters. Further comparison of the results of the testing carried out such scenarios. So we get the best form of scenarios that can increase the average speed of convergence time. Simulation results show that by using default value of timer interface and reducing the SPF calculation timers can reduce the convergence time up to 26.95% with compare to baseline parameters. Therefore, we recommend to use these tuned parameters for implementation in OSPF network.

Keywords: *Routing Protocol, OSPF, Convergence, Interface Timers, SPF Calc Timers.*

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	7
E. Ruang Lingkup/Batasan Masalah	7
F. Sistematika Tesis	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Teori Relevan dan Kolateral	10
1. Protokol <i>routing</i> dinamis	10
2. <i>Link-State Routing Protocols</i>	14
3. <i>OSPF Routing</i>	19
4. <i>Network Simulator</i>	25
B. <i>Road Map</i> Penelitian	28
C. Kerangka Konseptual	32
D. Hipotesis	34
E. Alur Penelitian	34
BAB III METODE PENELITIAN	35
A. Lokasi dan Waktu	35

	halaman
B. Kebutuhan Sistem	35
C. Populasi Teknik Sampel	36
D. Pengumpulan Data	36
E. Teknik Analisis Data	37
F. Tahap-Tahap Penelitian	38
G. Rancangan Penelitian	39
H. Simulasi dan Pengujian	46
1. Parameter Simulasi dan Pengujian	46
2. Skenario Simulasi dan Pengujian	47
3. Tahapan Metode Simulasi dan Pengujian	53
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	55
A. Hasil Simulasi dan Analisis Pengujian	55
1. Tabulasi Hasil simulasi dan pengujian	58
2. Analisis Pengujian dan Hasil Skenario <i>Baseline</i> (Skenario 1)	59
3. Analisis Pengujian dan Hasil Skenario Variatif (Skenario 2-9)	62
4. Perbandingan Skenario <i>Baseline</i> dan Skenario Variatif Hasil Terbaik	66
B. Hasil Akhir Penelitian	69
C. Diskusi	71
BAB V PENUTUP	75
A. Kesimpulan	75
B. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Nilai <i>OSPF cost</i> pada jenis kabel dan kecepatan	23
2.	Skema pengalamatan <i>IP</i>	41
3.	Spesifikasi rancangan <i>logical</i> perangkat keras dan utilitas <i>OSPF</i>	42
4.	Pengaturan parameter atribut <i>router</i>	43
5.	Spesifikasi konfigurasi kabel	45
6.	Penetapan skenario simulasi dan pengujian	51
7.	Skenario nilai simulasi dan pengujian	52
8.	Data dan hasil pengujian	58
9.	Perbandingan skenario <i>baseline</i> dan skenario variatif hasil terbaik	68
10.	Rekomendasi nilai variabel & parameter sistem jaringan protokol <i>OSPF</i>	70

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Klasifikasi protokol <i>routing</i>	15
2.	Algoritma <i>routing SPF</i>	16
3.	<i>OSPF</i> dengan algoritma <i>Dijkstra SPF</i>	21
4.	Kerangka konseptual studi topologi jaringan	33
5.	Alur penelitian	34
6.	Tahap-tahap penelitian	38
7.	Tahapan rancangan penelitian	39
8.	Studi topologi jaringan	40
9.	Spesifikasi kabel <i>failure/recovery</i>	44
10.	Diagram durasi konvergensi skenario <i>baseline</i>	59
11.	Diagram durasi konvergensi skenario variatif	63
12.	Diagram perbandingan skenario 1 (<i>baseline</i>) dan variatif hasil terbaik	67

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
<i>IGP</i>	<i>Interior Gateway Protocols</i> . Protokol <i>internet</i> yang digunakan untuk bertukar informasi <i>routing</i> dalam suatu sistem otonom (<i>autonomous system</i>). (Cisco Systems, Inc., 2007)
<i>LSA</i>	<i>Link State Advertisement</i> . <i>Broadcast packet</i> yang digunakan <i>link-state protocols</i> , memuat informasi tentang <i>neighbor</i> dan <i>path cost</i> . (Cisco Systems, Inc., 2007)
<i>OSPF</i>	<i>Open Shortest Path First</i> . Hirarki algoritma <i>routing</i> dari <i>IGP – link state</i> , sebagai penerus <i>RIP</i> pada komunitas <i>internet</i> . Fitur-fitur <i>OSPF</i> berupa <i>least-cost routing</i> , <i>multipath routing</i> , dan <i>load balancing</i> . <i>OSPF</i> merupakan versi awal dari <i>IS-IS Protocols</i> . (Cisco Systems, Inc., 2007)
<i>RFC</i>	<i>Request for Comments</i> . Dokumen normatif yang disetujui <i>IETF (internet engineering task force)</i> sebagai referensi (<i>tidak semua RFC adalah standard</i>) pengembangan <i>internet</i> dengan status kategori berbeda-beda yang dapat diralat jika ditemukan kesalahan. (IETF, 1986)
<i>SPF</i>	<i>Shortest Path First</i> . Algoritma <i>routing</i> yang beriterasi berdasarkan panjang <i>path</i> untuk menentukan rute terpendek dari rangkaian rute (<i>spanning tree</i>). (Cisco Systems, Inc., 2007)

BAB I

PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan menguraikan tentang, Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Ruang Lingkup/Batasan Masalah, dan Sistematika Tesis.

A. Latar Belakang Masalah

Data penetrasi pengguna internet di dunia sampai dengan 30 Juni 2012 diperkirakan berjumlah $\pm 34,3\%$ (Miniwatts Marketing Group, 2013), Jumlah ini akan terus bertambah seiring dengan perkembangan teknologi dan peradaban. Pertumbuhan jumlah pengguna internet akan mempengaruhi traffic jaringan ditingkat *LAN* dan sangat berpotensi untuk dilakukan subnetting jaringan yang berdampak pada beban kerja *backbone* yang meningkat untuk menangani banyaknya permintaan *bandwidth*.

Mengacu pada data statistik penetrasi pengguna internet dunia berbanding dengan kenaikan jumlah pengguna *internet* setiap tahun dan perkembangan era teknologi yang konvergen, akan memicu terjadinya peningkatan jumlah pengguna *internet* ditingkat *LAN* yang mempunyai implikasi terhadap ketersediaan dan performansi jaringan.

Data mahasiswa, tenaga kependidikan, dan tenaga dosen Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado hingga tahun 2013 diperkirakan

lebih dari 600 orang (Politeknik Negeri Manado, 2013), dengan ketersediaan *bandwidth* 10 Mbps. Hal ini berpotensi terjadinya kepadatan trafik jaringan yang sangat tinggi meskipun tidak semua *user* menggunakan jaringan. Kepadatan trafik mempunyai implikasi dengan kegagalan *node (router)* untuk meneruskan *packet* data sehingga *node* tersebut harus melakukan inisialisasi kembali atau harus di-*restart*. Pada kondisi seperti inilah konvergensi jaringan berperan.

Pra kondisi saat ini, sistem *routing* pada Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado menggunakan model *routing* dinamis dengan nilai *default* pada setiap variabel dan parameternya. Nilai parameter *default* ideal diterapkan pada trafik jaringan yang normal. Apabila beban trafik jaringan sangat tinggi karena pengaruh jumlah pengguna dan kandidat pengguna yang banyak dan keterbatasan *bandwidth* maka diperlukan alternatif solusi terkait kesiapan *router* dalam menjalankan fungsinya.

Pemilihan protokol *routing* yang sesuai dengan kondisi jaringan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kinerja jaringan, terlebih jika protokol *routing* tersebut mempunyai karakteristik dinamis dan bersifat *non-proprietary standard*.

Isu yang harus dipertimbangkan dalam hal pemilihan protokol *routing* adalah pertimbangan operasional mencakup kemudahan pengelolaan, pertimbangan teknis mencakup kemampuan mendukung perangkat tertentu, dan pertimbangan bisnis mencakup prioritas bisnis dan regulasi yang mempengaruhi keputusan rancangan jaringan (Thomas, 2003).

Protokol *OSPF* merupakan protokol *routing* yang bersifat *non-proprietary* (Cisco System, Inc., 2005), yang dikembangkan oleh *IETF*. Versi pertama *OSPF (OSPFv1)* dipublikasikan melalui *RFC 1131* yang dirilis pada tahun 1989. Selanjutnya *OSPFv2* diperkenalkan pada tahun 1998 yang didokumentasikan pada *RFC 2328* dan pada tahun 1999 dirilis *OSPFv3 for IPv6* melalui *RFC 2740* (Islam dan Ashique, 2010).

Salah satu kemampuan protokol *link-state* adalah konvergensi yang cepat dan protokol *OSPF* termasuk dalam kategori protokol *link-state* tipe *Interior Gateway Protocol (IGP)*.

Konsep-konsep penelitian yang pernah dilakukan mengenai waktu konvergensi protokol *OSPF routing*, yaitu:

1. Evaluasi performansi protokol *routing* dinamis pada aplikasi *video streaming*, hasil penelitian menunjukkan performansi *EIGRP* lebih baik dari *OSPF* pada aplikasi *real-time video streaming* (Hasan dkk., 2013).
2. Pengaruh konfigurasi *Timer OSPF* terhadap konvergensi jaringan pada *router* generasi baru, penelitian ini menghasilkan perbedaan konfigurasi dan efeknya terhadap deteksi kegagalan cepat, *false alarm*, kongesti jaringan, dan pemulihan kegagalan (Singh, 2013).
3. Konvergensi dinamis *OSPF* saat terjadi banyak kegagalan *link* atau *node*, hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak kegagalan *link* atau *node* memiliki peluang lebih besar untuk menunda konvergensi (Zhao dkk., 2013).

4. Survey kecepatan konvergensi dan skalabilitas *OSPF* integrasi *MANETs* dan jaringan konvensional, hasil penelitian berupa *survey* lengkap terhadap peningkatan kecepatan konvergensi *OSPF* dan perluasan *OSPF* integrasi *mobile ad-hoc network* dengan jaringan konvensional (Goyal dkk., 2012).
5. Implementasi, analisis, dan perbandingan protokol *routing RIP* dan *OSPF* menggunakan simulator jaringan *opnet education version*, penelitian ini menghasilkan perbandingan *RIP* dan *OSPF* dalam hal efisiensi, *throughput*, *delay*, dan *failure* (Dubey dkk., 2012).
6. Analisis protokol *routing IGP* untuk aplikasi *real-time*, hasil penelitian berupa evaluasi performansi *RIP*, *OSPF*, dan *EIGRP* dengan parameter durasi konvergensi, *traffic sent*, *end to end delay* dan variasi *delay*, *utilization*, dan *packet loss* (Yehia dkk., 2011).
7. Konvergensi cepat dengan *reroute* cepat pada *IP networks*, hasil penelitian berupa usulan pendekatan alternatif *fast convergence with fast reroute (FCFR)* dengan mengevaluasi performansinya dan hasil perbandingan menunjukkan bahwa *overhead* per paket jauh lebih sedikit (Robertson dkk., 2010).
8. Performansi *OSPF* dan optimasi *software open source routing*. Hasil yang diperoleh menunjukkan jika *software open source routing* dioptimalkan, *router* berbasis *PC* melakukan *switching* yang lebih baik dari *router* komersial *cisco 2801* (Eramo dkk., 2007).
9. Penjadwalan kalkulasi tabel *routing* untuk mencapai konvergensi

cepat pada protokol *OSPF*, hasil penelitian berupa usulan skema *LSA Correlation* dengan beberapa optimasi (Goyal dkk., 2007).

Alasan pemilihan topik penelitian ini, bahwasanya dengan melakukan peningkatan kinerja protokol *OSPF routing* di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado maka akan mempercepat kesiapan *router* dalam menangani *packet data* dan menjalankan fungsi utamanya, yaitu meneruskan *packet* dengan mencari rute terbaik.

Permasalahan yang timbul dengan menerapkan protokol *OSPF routing* pada suatu jaringan salah satunya adalah waktu konvergensi. Terkait kandidat pengguna jaringan di Jurusan Teknik Elektro sangat banyak sedangkan ketersediaan *bandwidth* yang relatif kurang, sehingga sering terjadi kepadatan trafik yang sangat berpotensi *router* sering-sering melakukan inisialisasi kembali bahkan harus di-*restart*.

Berdasarkan penjelasan awal latar belakang, paparan konsep-konsep penelitian yang pernah ditawarkan, alasan, dan permasalahan maka pada penelitian ini akan dilakukan studi mengenai perubahan waktu pada kartu antar muka jaringan yang dikombinasikan dengan perubahan waktu pada kalkulasi *Shortest Path First (SPF)* dengan judul **Simulasi Kinerja Waktu Konvergensi Protokol *Routing Open Shortest Path First (Ospf)* Pada Jaringan Kampus**, sehingga dapat dievaluasi kinerja waktu konvergensi protokol *OSPF routing* untuk diberikan rekomendasi alternatif implementasi protokol *OSPF routing* sesuai studi topologi jaringan di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado.

B. Rumusan Masalah

Sebagaimana deskripsi latar belakang, maka identifikasi permasalahan yang terjadi, yaitu:

1. Bagaimana melakukan peningkatan kinerja waktu konvergensi protokol *Routing OSPF*.
2. Bagaimana mengukur parameter-parameter pendukung yang dapat mempengaruhi peningkatan kecepatan konvergensi.
3. Bagaimana melakukan simulasi kinerja waktu konvergensi protokol *OSPF routing*.
4. Bagaimana merekomendasikan implementasi sistem jaringan menggunakan protokol *OSPF routing* sesuai studi topologi di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan permasalahan diatas maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Meningkatkan kinerja waktu konvergensi protokol *OSPF routing* sesuai studi topologi jaringan.
2. Melakukan simulasi kinerja waktu konvergensi dengan membandingkan durasi konvergensi *baseline OSPF* dengan berbagai varian waktu kartu antar muka jaringan maupun waktu untuk kalkulasi *SPF*.

3. Membuat rekomendasi alternatif guna implementasi sistem jaringan di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini secara umum bermanfaat untuk meningkatkan efektifitas kerja *router* saat terjadi re-inisialisasi atau *restart*. Efektifitas kerja *router* dapat lebih optimal melalui peningkatan kecepatan konvergensi akses jaringan *private* bagi *user internet* yang secara global dapat meningkatkan performansi jaringan internal (*private*) maupun eksternal (*public*).

Manfaat penelitian secara khusus, yaitu: tersedianya suatu referensi pembandingan sebagai bahan rekomendasi alternatif bagi administrator jaringan di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado dalam mengimplementasikan model jaringan menggunakan protokol *OSPF*.

E. Ruang Lingkup/Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan penelitian ini hanya berorientasi pada batasan-batasan berikut.

1. Rancangan topologi fisik berkiprah pada *domain local network* dalam *area backbone* jaringan *OSPF routing* di jurusan teknik elektro politeknik negeri manado.
2. Evaluasi kinerja konvergensi *OSPF routing* variabel pengukuran utama berdasarkan parameter waktu untuk kartu antarmuka

jaringan (*interface timer*) dan waktu untuk kalkulasi *SPF* (*SPF calculation timer*).

3. Parameter evaluasi kinerja konvergensi *OSPF* berupa *Hello interval*, *Dead Interval*, Transmisi Tunda, Transmisi Kembali, *SPF* Tunda, dan Waktu Tunggu antar 2 Urutan *SPF*.
4. Proses simulasi kinerja waktu konvergensi *OSPF* dengan membuat pola waktu yang bervariasi baik untuk *Interface timers* maupun *SPF calculation timers*.
5. *Output* berupa hasil pengujian yang terbaik untuk dijadikan rekomendasi alternatif sistem jaringan protokol *OSPF routing*.
6. Simulasi sistem dijalankan menggunakan aplikasi *OPNET modeler 14.5 educational version*.

F. Sistematika Tesis

Sistematika penulisan tesis yang dikerjakan mengikuti kaidah-kaidah berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan berisi Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Ruang Lingkup/Batasan Masalah, dan Sistematika Tesis.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjabarkan tentang Teori Relevan dan Kolateral, *Road Map* Penelitian, Kerangka Konseptual, Hipotesis, dan Alur Penelitian yang

mendukung penyelesaian evaluasi kinerja waktu konvergensi *OSPF*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Topik ini membahas tentang Lokasi dan Waktu, Kebutuhan Sistem, Populasi Teknik Sampel, Pengumpulan Data, Teknik Analisis Data, Tahap-Tahap Penelitian, Rancangan Penelitian, serta Simulasi dan Pengujian.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Topik ini menguraikan tentang capaian dari penelitian ini melalui pembahasan sub topik Simulasi dan Pengujian, Hasil Simulasi dan Analisis Pengujian, serta Diskusi.

BAB V : PENUTUP

Pada bagian ini berisi rangkuman keseluruhan penelitian yang ditarik menjadi Kesimpulan, dan berisi pengembangan sistem dan *future study* dari penelitian ini yang dirumuskan dalam Saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka membahas tentang Teori Relevan dan Kolateral, *Road Map* Penelitian, Kerangka Konseptual, Hipotesis, dan Alur Penelitian.

A. Teori Relevan dan Kolateral

1. Protokol *routing* dinamis

Protokol *routing* dinamis mempelajari tentang jaringan tujuan dari *router* tetangga melalui proses *sharing* informasi. Adapun Kategori protokol *routing* dinamis (Deal, 2008, pp.482-489), yaitu:

1. *Distance vector*

Protokol *routing distance vector* menggunakan *distance* (mengakumulasikan nilai metrik) dan *vector* (petunjuk arah) untuk mencari rute ke tujuan. Salah satu protokol yang masuk kategori *distance vector*, yaitu *routing information protocols (RIP)*.

2. *Link-state*

Protokol *routing link state* akan mempelajari topologi lengkap pada jaringan tersebut. Protokol yang masuk kategori ini, yaitu *open shortest path first (OSPF)* dan *intermediate system to intermediate system (IS-IS)*.

3. *Hybrid*

Protokol *hybrid* menggabungkan fitur protokol *distance vector* dan *link-state*. Biasanya protokol *hybrid* berbasis *distance vector* tetapi memiliki fitur protokol *link-state*. Protokol yang masuk kategori ini, yaitu *Ripv2*, *EIGRP*, dan *BGP*.

Setiap jenis protokol *routing* mempunyai pendekatan berbeda dalam proses *sharing* informasi dengan *router* tetangga serta pemilihan rute terbaik ke tujuan.

Dalam pemilihan protokol *routing* perlu dipertimbangkan faktor-faktor berikut.

1. Metrik *routing* yang digunakan untuk memilih rute.
2. Bagaimana informasi *routing* di *shared*.
3. Kecepatan konvergensi protokol *routing*.
4. Bagaimana *router* mengelola informasi *routing*.
5. *Overhead* dari protokol *routing*.

Karena perbedaan antara ragam jenis-jenis protokol *routing*, masing-masing protokol *routing* mempunyai kelebihan dan kekurangan. Deskripsi kelebihan dan kekurangan masing-masing kategori protokol *routing* dinamis yang diwakili oleh protokol *routing* pada kategori tersebut diuraikan seperti berikut.

1. Kelebihan dan kekurangan protokol *distance vector (RIP)*.
 - a. Kelebihan *RIP*, yaitu:
 - (1) Mudah dalam implementasi dan perawatan.

(2) Sumber daya (*Memory* dan *CPU*) yang rendah.

b. Kekurangan *RIP*, yaitu:

(1) Informasi yang ada hanya metrik dan *next-hop router* untuk meneruskan *packet*.

(2) Informasi rute hanya terbatas pada tetangga terdekat yang terkoneksi langsung dengan *router* tersebut.

(3) Memerlukan *bandwidth* untuk mengirimkan periodik *update* secara rutin.

(4) Konvergensi yang lambat.

(5) Skala terbatas.

(6) Tidak secara bebas menentukan rute.

2. Kelebihan dan kekurangan protokol *link state* (*OSPF*).

a. Kelebihan *OSPF*, yaitu:

(1) *OSPF* merupakan jenis protokol yang *non-proprietary standard*.

(2) *OSPF* selalu menentukan rute secara bebas.

(3) Jika terjadi perubahan pada jaringan akan cepat dilakukan *update*.

(4) Utilisasi *bandwidth* yang rendah.

(5) Mendukung multi rute.

(6) Mendukung *classless addressing* yang mempunyai karakteristik *variable length subnet masking* (*VLSM*).

(7) *Process ID* pada semua *router* tidak harus sama.

- (8) Informasi rute berisi topologi lengkap artinya tidak hanya tetangga terdekat yang terkoneksi langsung tetapi seluruh topologi protokol *routing OSPF*.
- (9) Tidak mengirimkan periodik *update* yang dapat mengkonsumsi *bandwidth*.
- (10) Konvergensi yang cepat.
- (11) *LSP* spesifik di *flood* hanya ketika terjadi perubahan topologi.
- (12) *OSPF* meminimalisasi rute dan menurunkan ukuran *routing table* dengan pembagian *area*.
- (13) Multi *area* dapat meminimalisasi kekurangan protokol *routing OSPF*.

b. Kekurangan *OSPF*, yaitu:

- (1) Memerlukan memori tambahan untuk *link state database*.
- (2) Memerlukan pemrosesan *CPU* yang lebih untuk mengkalkulasi algoritma *SPF*.
- (3) Memerlukan *bandwidth* lebih untuk *flooding LSP*.

3. Kelebihan dan kekurangan Protokol *Hybrid (EIGRP)* (Islam dan Ashique, 2010, p.10).

a. Kelebihan *EIGRP*, yaitu:

- (1) Mudah untuk dikonfigurasi.
- (2) Penentuan rute secara bebas.
- (3) Menyimpan backup rute guna menemukan jaringan

tujuan.

- (4) Waktu konvergensi yang rendah dan reduksi utilisasi *bandwidth*.
- (5) Mendukung *VLSM*.
- (6) Mendukung otentikasi *routing update*.

b. Kekurangan *EIGRP*, yaitu:

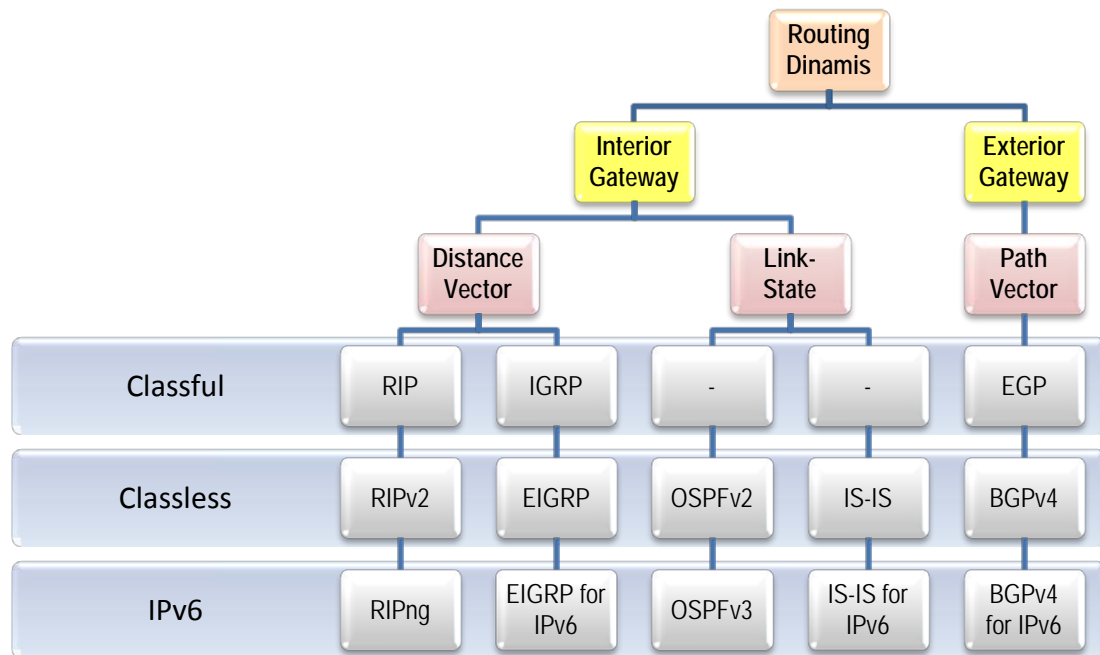
- (1) Protokol *routing* hak paten (*proprietary*) *cisco*.
- (2) *Router* selain *vendor cisco* tidak dapat melakukan utilisasi *EIGRP*.

Uraian kekurangan dan kelebihan masing-masing protokol *routing*, didukung juga dengan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini, serta hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya, maka pemilihan protokol yang digunakan pada penelitian ini yaitu, protokol *routing OSPF*. Adapun pertimbangan lainnya dalam pemilihan protokol *OSPF* mengenai studi topologi jaringan di jurusan teknik elektro, politeknik negeri manado bahwa kondisi saat ini diperlukan proses konvergensi yang cepat berhubung *router* sangat berpotensi sering re-inisialisasi bahkan *restart* karena kandidat pengguna jaringan yang banyak sedangkan *bandwidth* terbatas.

2. Link-State Routing Protocols

Link-state routing protocols biasa juga disebut *shortest path first protocols* yang dikembangkan berdasarkan algoritma *Edgar Dijkstra's*, yaitu *shortest path first (SPF) algorithm*.

Link-state routing protocols merupakan bagian dari *Interior Gateway Protocols (IGP)* jenis *classless addressing*. Klasifikasi *routing protocols* dapat dilihat pada gambar berikut.

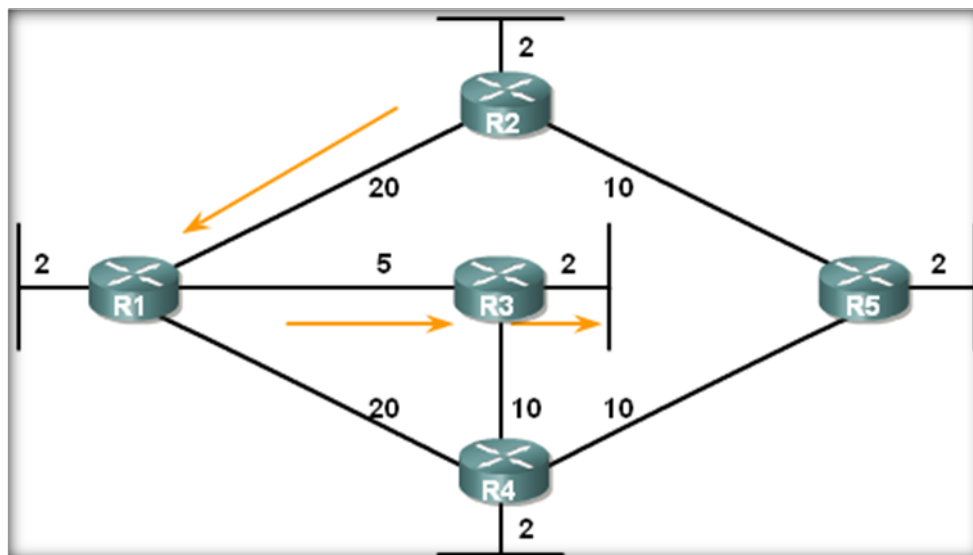


Gambar 1. Klasifikasi protokol *routing* (Cisco Systems, Inc., 2007)

Pada *link-state protocols*, *Link* adalah sebuah *interface* pada *router* yang telah dikonfigurasi dengan *IP Address* dan *Subnet Mask* serta dalam keadaan *Up* sebelum *link-state protocols* mempelajari tentang *link* tersebut. Informasi tentang keadaan (*state*) daripada *links* disebut *Link-state* yang meliputi informasi: *IP address* dan *subnet mask*; jenis jaringan, misal. *ethernet* atau *serial point-to-point link*; *cost* dari pada *link*; *Router* tetangga pada *link* tersebut (Cisco Systems, Inc., 2007, p.10.1.4.2).

a. Algoritma Routing SPF

Pada protokol *routing*, *Algoritma Dijkstra's* biasanya disebut juga algoritma *shortest path first (SPF)*. Algoritma ini menjumlahkan *cost* setiap *path* sepanjang jalur dari *source network* ke *destination network*. Algoritma inilah yang menjadi maksud dari setiap *routing* algoritma yang dikembangkan.



Gambar 2. Algoritma routing SPF (Cisco Systems, Inc., 2007)

Setiap jalur pada Gambar 2 diberi nilai *cost* secara *arbitrary*, jalur terpendek dari R2 LAN untuk menjangkau R3 LAN dapat ditempuh berdasarkan penjumlahan terendah nilai *cost* dari setiap segmen jaringan. Rute terpendek R2 LAN ke R3 LAN, yaitu R2 ke R1 berjumlah 20, R1 ke R3 berjumlah 5, R3 ke R3 LAN berjumlah 2. Sehingga R2 LAN ke R3 LAN berjumlah 27.

Nilai *cost* 27 tidak berlaku untuk *router* lain yang ingin menjangkau R3

LAN. Setiap *router* dapat menentukan besarnya *cost* ke setiap tujuan dalam sebuah topologi jaringan *OSPF*. Dengan kata lain, setiap *router* mengkalkulasikan algoritma *SPF* dan menentukan nilai *cost* dari perspektifnya.

b. *Link-state Routing Process*

Untuk mencapai *state convergence*, semua *router* dalam suatu topologi harus memenuhi proses *link-state routing* berikut (Cisco Systems, Inc., 2007, p.10.1.3.1).

1. Setiap *router* belajar tentang koneksi jaringan ada pada dirinya sendiri.
2. Setiap *router* bertanggung jawab untuk menyampaikan *hello packet* ke tetangganya yang terhubung langsung dengannya.
3. Setiap *router* membangun *Link State Packet (LSP)* yang berisi *state* setiap *link* yang terhubung langsung dengannya.
4. Setiap *router* melakukan *flood LSP* ke semua tetangganya yang kemudian disimpan pada *database* penerima.
5. Setiap *router* menggunakan *database* untuk membangun topologi peta lengkap dan menghitung jalur terbaik ke setiap jaringan tujuan.

Secara umum rangkaian proses dari *link-state routing* mempunyai tahapan-tahapan, yaitu:

1. Setiap *router* belajar tentang *link* miliknya, dengan cara mendeteksi

interface pada saat dalam *state Up*.

2. Setiap *router* bertanggung-jawab untuk bertemu dengan tetangganya melalui *link* miliknya, hal ini dilakukan dengan melakukan pertukaran *hello packet* dengan *link router* tetangga.
3. Setiap *router* membangun *LSP* yang berisi *state* dari setiap *link* miliknya, hal ini dilakukan dengan merekam semua informasi menyangkut setiap tetangganya berupa *neighbor ID*, *link type*, dan *bandwidth*.
4. Setiap *router* melakukan *flooding LSP* ke seluruh tetangganya. Selanjutnya *router* tetangga melakukan *flooding* ke tetangga yang lain sampai seluruh *router* dalam sebuah *area* menerima *LSP* tersebut dan menyimpan pada *database* lokal masing-masing *router*.
5. Setiap *router* menggunakan *database* untuk membangun peta lengkap topologi dan menghitung rute terbaik menuju setiap jaringan tujuan. Untuk membangun peta topologi dan penentuan rute terbaik ke setiap jaringan tujuan digunakan algoritma *SPF*.

Ikhtisar *link-state routing protocols* bahwa setiap *router* menentukan status *link-states router* bersangkutan dan melakukan *flooding informasi* tersebut ke *router* lainnya pada *area* yang sama. Selanjutnya setiap *router* membangun *link-state database (LSDB)* yang berisi informasi *link-state router* lainnya sehingga setiap *router* mempunyai *LSDB* identik. Berdasarkan informasi *LSDB*, *router* menjalankan algoritma *SPF* yang akan menciptakan

SPF tree dengan *router* tersebut sebagai *root tree*. Saat *SPF Tree* telah lengkap, maka *router* dapat menentukan sendiri rute terbaik menuju jaringan yang ada pada *tree* tersebut. Informasi rute terbaik kemudian disimpan dalam *routing table router*.

Link-state routing protocols membangun peta lokal topologi jaringan yang memperbolehkan *router* untuk menentukan rute terbaik ke jaringan yang ada. *LSP* yang baru akan dikirim apabila terjadi perubahan topologi. Ketika terjadi penambahan, pengurangan, atau modifikasi *link*, *router* akan melakukan *flooding LSP* baru ke *router* lainnya. Saat *router* menerima *LSP* baru, *router* tersebut akan melakukan *update LSDB*, menjalankan kembali (*rerun*) algoritma *SPF*, menciptakan *SPF tree* baru, dan melakukan *update routing table*.

3. OSPF Routing

Open Shortest Path First (OSPF) merupakan *link-state routing protocol* yang dikembangkan mulai tahun 1987 oleh *IETF OSPF Working Group*.

Pada tahun 1989, spesifikasi *OSPFv1* dipublikasi melalui *RFC 1131*. *OSPFv1* merupakan *protocol routing* dengan status *experimental* dan tidak pernah di *deploy*.

Tahun 1991, *OSPFv2* diperkenalkan oleh *John T. Moy* pada *RFC 1247*, yang menawarkan peningkatan teknis dibandingkan dengan *RFC 1131*. Selanjutnya tahun 1998 spesifikasi *OSPFv2* diperbaharui dan didokumentasikan dalam *RFC 2328* yang digunakan sampai saat ini sebagai

standard OSPF skema pengalamatan *IPv4*.

Tahun 1999 *OSPFv3 for IPv6* dipublikasikan dalam dokumen *RFC 2740* yang juga digunakan sampai saat ini sebagai *standard OSPF* skema pengalamatan *IPv6*.

a. **OSPF Packet Type**

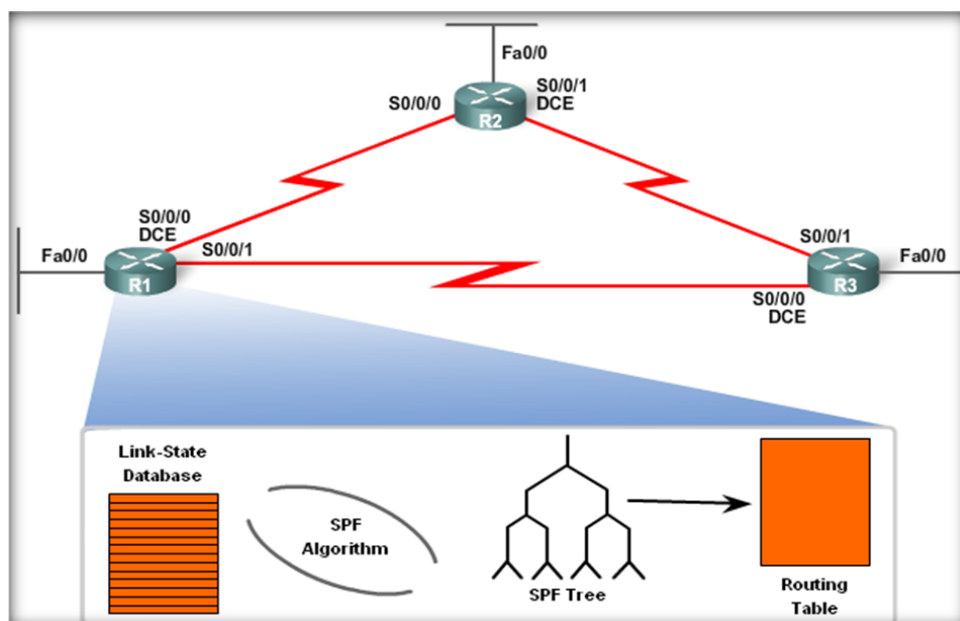
OSPF link-state packets (LSPs) terdiri 5 jenis layanan *packet* yang masing-masing mempunyai tujuan dalam proses *OSPF Routing* (Cisco Systems, Inc., 2007, p.11.1.3.1), yaitu:

1. *Hello packet*, menemukan tetangga dan membangun kedekatan antaranya.
2. *Database Description (DBD packet)*, melakukan pengecekan sinkronisasi *database* antar *router*.
3. *Link-State Request (LSR Packet)*, meminta rekaman *link-state* tertentu dari *router* ke *router*.
4. *Link-State Update (LSU Packet)*, mengirimkan permintaan khusus rekaman *link-state*.
5. *Link-State Acknowledgement (LSAck Packet)*, menjawab jenis *packet* lainnya.

b. **Algoritma OSPF**

Setiap *OSPF router* memelihara *link-state database* yang berisi *LSAs*

yang diterima dari semua *router* lainnya. Ketika *router* menerima semua *LSAs* dan membangun *local link-state database*, *OSPF* menggunakan algoritma *Dijkstra's SPF* untuk menciptakan sebuah *SPF Tree*. Kemudian *SPF Tree* inilah yang digunakan untuk mengisi *routing table* dengan rute terbaik ke setiap jaringan.



Gambar 3. OSPF dengan algoritma *Dijkstra SPF* (Cisco Systems, Inc., 2007)

c. OSPF Router ID

OSPF router ID digunakan sebagai identifikasi unik setiap *router* dalam *area OSPF routing*. Beberapa *router* (misal. *Cisco*) mengambil *router ID* berdasarkan 3 kriteria yang bersifat *precedence*.

Penentuan *router ID* mengikuti urutan berikut: (Cisco System, Inc., 2005).

1. Menggunakan alamat *IP* yang terkonfigurasi dengan perintah *OSPF router-id*.
2. Jika *router-id* tidak dikonfigurasi, maka *router* akan memilih alamat *IP* tertinggi dari *loopback interfaces* apa saja.
3. Jika tidak ada *loopback interfaces* yang dikonfigurasi, maka *router* akan memilih alamat *IP* aktif tertinggi dari *interfaces* fisik yang ada.

d. **OSPF Metric**

OSPF metric biasanya disebut *cost*, RFC 2328 mendefinisikan "A cost is associated with the output side of each router interface. This cost is configurable by the system administrator. The lower the cost, the more likely the interface is to be used to forward data traffic." (Moy, 1998).

Meskipun demikian RFC 2328 tidak secara spesifik menentukan berapa nilai *cost* sebenarnya. Perhitungan *cost OSPF* dapat dilihat pada formula berikut (Thomas, 2003, p.256).

$$Cost = \frac{reference\ bandwidth}{interface\ bandwidth} \quad (1)$$

Reference bandwidth mempunyai nilai *default* 10^8 , dan *interface bandwidth* bervariasi tergantung jenis *interface* yang digunakan. Semakin tinggi *bandwidth (link speed)* mengindikasikan semakin kecil *cost link*.

Berdasarkan rumus (1) dapat dihitung *OSPF Cost* untuk berbagai jenis *link* dan *speed* seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai *OSPF cost* pada jenis kabel dan kecepatan (Thomas, 2003)

Jenis Kabel	Kecepatan (dibagi 10^8)	Nilai <i>OSPF Cost</i>
Serial	56.000	1785
DS0	64.000	1562
T1	1.544.000	65
E1	2.048.000	48
Token Ring	4.000.000	25
Ethernet	10.000.000	10
Token Ring	16.000.000	6
T3	44.736.000	3
Fast Ethernet	100.000.000	1
Gigabit Ethernet	1.000.000.000	1
OC-3	155.520.000	1
OC-12	622.080.000	1

Minimum *cost* pada *OSPF* bernilai 1, *OSPF* tidak dapat membedakan *high speed link*. Sebagai solusi untuk mengatasi *speed* diatas 10^8 ($>100Mbps$) dengan mengubah nilai *reference bandwidth* yang digunakan *OSPF* dalam perhitungan melalui perintah **auto-cost reference-bandwidth ref-bw** (Thomas, 2003, p.259).

Default nilai *ref-bw* adalah 100 dalam satuan *Mbps* atau 10^8 dengan demikian nilai *reference bandwidth* dapat di-*adjust* sesuai kebutuhan untuk memenuhi karakteristik *high-speed link*. Penting untuk diingat bahwa, jika dilakukan *adjust* terhadap *reference bandwidth* pada *high-speed link* maka harus juga dilakukan *adjust* terhadap semua *link type* termasuk *speed link* $<100 Mbps$ yang ada pada *area OSPF* tersebut.

Selain perintah di atas untuk *adjust cost* dapat juga dilakukan dengan cara mengisi langsung *nilai cost* yang diinginkan dengan perintah ***ip ospf cost value*** (Thomas, 2003, p.259).

e. *Link-State Advertisements (LSAs)*

Link-state routers melakukan *flood LSP* ketika inialisasi atau ketika terjadi perubahan topologi (Cisco Systems, Inc., 2007, p.11.0.1.4).

Pada jaringan *multiaccess*, *flooding* dapat berlebihan jika *router* dalam jaringan *multiaccess* mengirimkan *flood* ke *router* lainnya, hal ini akan memicu *router* lainnya menjawab *LSAs* tersebut ke seluruh *router* pada jaringan *OSPF*.

Solusi untuk pengelolaan jumlah *router* yang berdekatan dan *flooding LSAs* pada jaringan *multiaccess* adalah *Designated Router (DR)*. *OSPF* akan memilih *DR* sebagai titik distribusi untuk pengiriman dan penerimaan *LSAs*, *Backup Designated Router (BDR)* juga dipilih untuk menjaga apabila *DR* gagal. Selanjutnya setiap *flooding LSAs* oleh *router* akan dikirimkan hanya ke *DR* dan *BDR* saja untuk ditindak lanjuti oleh *DR* dengan mengirimkan kembali *LSA* ke seluruh *router* pada jaringan *multiaccess*. Dengan demikian setiap *flooding LSA* akan dikirimkan hanya ke *DR* dan *BDR*, *DR* mengirimkan jawaban ke *router* pengirim sekaligus mengirimkan *LSA Router* pengirim ke seluruh *router* lainnya. Jika *DR* gagal menjalankan fungsinya maka *BDR* menjadi *DR* untuk melaksanakan tugasnya dan akan dipilih juga *BDR* baru.

4. *Network Simulator*

Pada penelitian dibidang jaringan, sangatlah mahal untuk menyebarkan hasil pengujian lengkap yang didalamnya terdiri atas peralatan komputer jaringan, *router* dan *data link* untuk proses validasi dan verifikasi beberapa protokol jaringan atau algoritma jaringan khusus. Dalam situasi ini *network simulator* dapat menghemat biaya dan waktu untuk menyelesaikan tugas tersebut.

Network Simulator digunakan oleh masyarakat dari berbagai kalangan, seperti peneliti akademik, pengembang industri, dan *quality assurance (QA)* untuk desain, simulasi, verifikasi, dan analisa performansi dari protokol jaringan yang berbeda. secara umum *network simulator* meliputi *area* yang luas dari teknologi jaringan dan protokol, juga dapat membantu *users* untuk membangun jaringan yang kompleks dengan rancangan topologi jaringan yang berbeda menggunakan beragam jenis *nodes*.

Network simulator mencoba melakukan pemodelan *network* yang nyata. Ide prinsipilnya jika sebuah sistem dapat dimodelkan maka fitur dari model tersebut dapat diubah dan hasil terkait dapat dianalisa (Pan dan Jain, 2008).

Pada penelitian bidang jaringan komputer dan komunikasi, simulasi bisa diartikan teknik yang berguna apabila perilaku jaringan dapat dimodelkan, setelah didapatkan data maka perilaku dari protokol dan jaringan dapat diamati dan dianalisa sebagai bagian dari rangkaian uji coba *offline*. Sedangkan emulasi artinya jaringan yang dalam perencanaan telah

disimulasikan untuk dinilai kinerjanya atau memprediksi kemungkinan dampak dari perubahan atau optimasi.

Saat ini ada beberapa *network* simulator yang dirilis oleh pengembang perangkat lunak dengan menawarkan berbagai fitur yang berbeda. bagaimanapun juga tidak semua *network* simulator tools akan dibahas, hanya tools terkait dengan penelitian ini yang akan dideskripsikan dengan singkat.

a. *Opnet Modeler*

Opnet adalah merek dagang komersial terdaftar dan nama produk dari *OPNET Technologies, Inc.* Untuk memenuhi kebutuhan pemodelan dan simulasi jaringan, *Opnet* menyediakan produk *Opnet Modeler*®.

Opnet mempunyai 3 fungsi utama, yaitu *modelling*, *simulating*, dan *analysis*. *Modelling* menyediakan lingkungan grafis untuk menciptakan semua bentuk model protokol. *Simulating* memanfaatkan 3 teknologi simulasi yang berbeda dan dapat digunakan untuk mempelajari pengalamatan *area* yang luas. *Analysis* dapat dilakukan berdasarkan data dan hasil simulasi kemudian ditampilkan dengan mudah dalam bentuk *user friendly graphs, charts, statistics*, dan bahkan *generate* animasi.

Opnet mengklaim bahwa layanan pemodelan dan simulasinya mempunyai kemampuan: (OPNET Technologies, Inc., 2013).

1. Pemodelan dan simulasi konstruksi jaringan.
2. Pemodelan peralatan, protokol dan gelombang.

3. Simulasi efek komunikasi.
4. Pemodelan efek maya untuk *computer network operations (CNO)*.
5. Simulasi dengan sistem nyata (*hardware, software, application*).
6. Analisis sistem transportasi komunikasi (optik, *wireless*, dan satelit).
7. Pemodelan lapisan *application (OSI Layer 7* atau *TCP/IP Layer 4)*.
8. 3D visualisasi jaringan simulasi.
9. Menggabungkan simulasi dengan *HLA, DIS* dan *co-simulation*.
10. Desain sistem *command, control, communications, computer (C4)*.
11. Perencanaan sistem dan optimalisasi *Mobile ad hoc (MANET)*.
12. Pengujian *prototype* dan studi skalabilitas.
13. *Independent verification dan validation (IV&V) Model*.

Opnet editor terdiri atas 3 model yang bersifat *precedence*, yaitu:

1. *Network Models*.
 - a. Representasi *data network*.
 - b. *Run* simulasi jaringan.
2. *Node Models*.
 - a. Model peralatan jaringan.
3. *Process Models*.
 - a. Representasi protokol komunikasi, *CPUs*, dan sistem antrian.

Network Models dibentuk dari individual *node* sedangkan *nodes* dibentuk oleh *modules*. Perilaku dari pada *modules* didefinisikan melalui *Process models*.

B. *Road Map* Penelitian

Hasil penelitian dari *road map* yang berkaitan dengan konvergensi protokol *OSPF routing*, yaitu:

1. Tahun 2013

a. Jurnal *CTTS*, Vol. 2, Issue 1.

Peneliti : *Hasan, Shafiul; Khan, Md. Nazmul Islam; Islam, Mohammad Nazrul; Ashique, Ahsan Ullah Md.*

Judul : *Performance Evaluation of Dynamic Routing Protocols on Video Streaming Applications.*

Penelitian ini melakukan analisa perbandingan *EIGRP* dan *OSPF* pada aplikasi *real-time video streaming* dengan melakukan evaluasi berdasarkan kuantitatif metrik. Penelitian menghasilkan performansi *EIGRP* lebih baik pada aplikasi *real-time video streaming* (Hasan dkk., 2013).

b. Publikasi Konferensi *IISTE*, Vol. 2, No. 3.

Peneliti : *Singh, Himanshu.*

Judul : *Effects of OSPF Timers Configurations on Network Convergence in New Generation Routers.*

Penelitian ini melakukan investigasi efek konfigurasi parameter pada *router* generasi baru yang menyediakan *bandwidth* dan toleransi kongesti yang lebih besar. Penelitian ini menghasilkan perbedaan konfigurasi dan

efeknya terhadap deteksi kegagalan cepat, *false alarm*, kongesti jaringan, dan pemulihan kegagalan (Singh, 2013).

c. Publikasi Konferensi *ISA, ASTL Vol. 2, pp. 48-51*.

Peneliti : *Zhao, Dan; Hu, Xiaofeng; Wu, Chunqing*.

Judul : *On Understanding OSPF Convergence Dynamics in Presence of Multiple Failure*.

Penelitian ini melakukan studi analisis perilaku konvergensi *OSPF* dengan adanya kegagalan yang banyak mengakibatkan interaksi antara deteksi kegagalan dan penjadwalan kalkulasi *routing* dapat membangkitkan komplikasi dinamis selama proses konvergensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak kegagalan *link* atau *node* memiliki peluang lebih besar untuk menunda konvergensi (Zhao dkk., 2013).

2. Tahun 2012

a. Jurnal *IEEE, Vol. 14, Issue 2, pp. 443-463*.

Peneliti : *Goyal, M.; Soperi, M.; Baccelli, E.; Choudhury, G.; Shaikh, A.; Hosseini, H.; Trivedi, K*.

Judul : *Improving Convergence Speed and Scalability in OSPF: A Survey*.

Penelitian ini melakukan survey kecepatan konvergensi dan skalabilitas integrasi *MANETs* dan jaringan konvensional pada *OSPF routing*. Hasil penelitian berupa *survey* lengkap

terhadap peningkatan kecepatan konvergensi *OSPF* dan perluasan *OSPF* integrasi *mobile ad-hoc network* dengan jaringan konvensional (Goyal dkk., 2012).

- b. Jurnal *IJREAS*, Vol. 2, issue 2, pp. 633-640.

Peneliti : *Dubey, Archana; Makloha, Sushma; Sarwar, Saoud.*

Judul : *Implementation, Analysis & Comparison of Routing Protocol (RIP & OSPF) Using Network Simulator Education Version Opnet.*

Penelitian ini melakukan studi perbandingan hasil efisiensi, *throughput*, *delay*, dan *failure* dengan melakukan improvisasi terhadap parameter tersebut (Dubey dkk., 2012).

3. Tahun 2011

- a. Jurnal *IJCA (0975-8887)*, Vol. 26, No. 3.

Peneliti : *Yehia, Mohamad A.; Aziz, Mohammed S.; Elsayed, Hussein A.*

Judul : *Analysis of IGP Routing Protocols for Real Time Applications: A Comparative Study.*

Penelitian ini melakukan studi perbandingan performansi *RIP*, *OSPF*, dan *EIGRP* serta melakukan studi terhadap efek pembagian *OSPF area* pada *QoS VOIP*. Penelitian ini menghasilkan analisis performansi *RIP*, *OSPF*, dan *EIGRP* dengan parameter durasi konvergensi, *traffic sent*, *end to*

end delay dan variasi *delay*, *utilization*, dan *packet loss* (Yehia dkk., 2011).

4. Tahun 2010

- a. Publikasi konferensi *IEEE, High Performance Switching and Routing (HPSR)*, pp. 100-106.

Peneliti : Robertson, Glenn; Bedenbaugh, James;
Nelakuditi, Srihari.

Judul : *Fast convergence with fast reroute in IP networks*.

Penelitian ini melakukan pengamatan terhadap rute paket saat terjadi kegagalan *link*. Penelitian ini menghasilkan usulan pendekatan alternatif *fast convergence with fast reroute (FCFR)* dengan mengevaluasi performansinya dan hasil perbandingan menunjukkan bahwa *overhead* per paket jauh lebih sedikit (Robertson dkk., 2010).

5. Tahun 2007

- a. Jurnal *IJCSA IEEE, Vol 4, No. 1*, pp. 53-68.

Peneliti : Eramo, Vincenzo; Listanti, Marco; Cianfrani, Antonio.

Judul : *OSPF Performance and Optimization of Open Source Routing Software*.

Penelitian ini membangun *test-bed* dan melakukan pengukuran waktu *switching* pada *router* berbasis *PC* dan

aplikasi *routing open source*. Hasil yang diperoleh menunjukkan jika *software open source routing* dioptimalkan, *router* berbasis *PC* melakukan *switching* yang lebih baik dari *router* komersial *cisco 2801* (Eramo dkk., 2007).

- b. Publikasi konferensi *IEEE, Broadband communications, network and systems*, pp. 863-872.

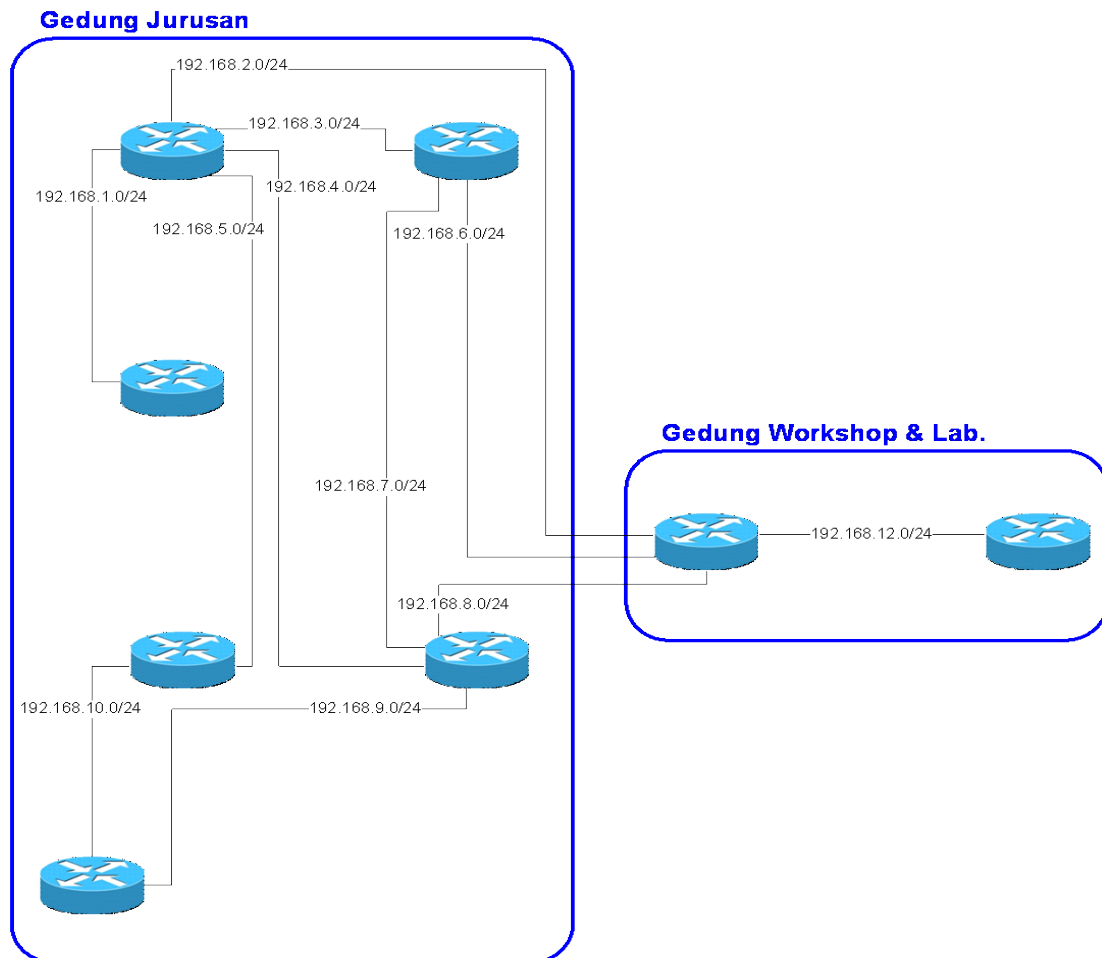
Peneliti : *Goyal, M.; Xie, W.; Soperi, M.; Hosseini, S.H.; Vairavan, K.*

Judul : *Scheduling routing table calculations to achieve fast convergence in OSPF protocol.*

Penelitian ini melakukan pengujian permasalahan penjadwalan *routing table update* pada protokol *link-state* dengan menganalisis skema dasar *hold time* dan menawarkan pendekatan alternatif yang disebut korelasi *LSA* kemudian membandingkannya dengan skema *hold time* (Goyal dkk., 2007).

C. Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual menjelaskan tentang proses konvergensi protokol *OSPF routing* berdasarkan model *prototyping*. Studi topologi jaringan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Kerangka konseptual studi topologi jaringan

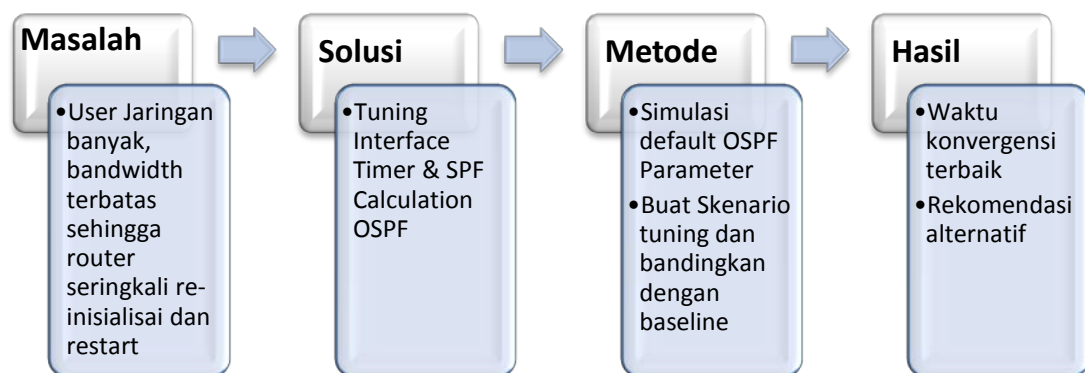
Gambar 4 merupakan *layout* implisit gedung Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado dan topologi fisik implementasi protokol *OSPF routing*.

Kerangka konseptual untuk menyelesaikan penelitian ini dengan membuat *baseline* skenario yang merupakan *default OSPF* sesuai studi topologi dan melakukan pengujian dengan membuat beberapa kombinasi skenario untuk membandingkan hasil waktu konvergensi protokol *OSPF routing*.

D. Hipotesis

Pengujian sistem menggunakan metode *blackbox* pada protokol *OSPF routing* yang didukung dengan beberapa skenario yang disimulasikan secara simultan terurut akan mendapatkan akurasi waktu konvergensi yang lebih baik.

E. Alur Penelitian



Gambar 5. Alur penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

Paparan metode penelitian meliputi Lokasi dan Waktu, Kebutuhan Sistem, Populasi Teknik Sampel, Pengumpulan Data, Teknik Analisis Data, Tahap-Tahap Penelitian, dan Rancangan Penelitian.

A. Lokasi dan Waktu

- Lokasi : Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado.
- Waktu : Januari 2013 - Juni 2013.

B. Kebutuhan Sistem

Kebutuhan evaluasi kinerja sistem berupa perangkat lunak dan lainnya. Pada perancangan ini, spesifikasi utama sistem yang didesain berupa kebutuhan perangkat lunak untuk konfigurasi evaluasi kinerja sistem, yaitu:

1. Sistem Operasi, *Windows XP Professional SP2*.
2. Program Aplikasi, *Network simulator Opnet Modeler 14.5 educational version*.

C. Populasi Teknik Sampel

Populasi objek yang diteliti mempunyai karakteristik *link-state routing protocols IPv4* klasifikasi *classless* pada jenis *interior gateway protocols*, dengan teknik pemilihan *sample* berdasarkan nilai *link-cost value*, *inteface timers*, dan *SPF calculation timers* pada protokol *open shortest path first (OSPF)*.

D. Pengumpulan Data

1. Instrumen pengumpul data

Instrumen pengumpul data melalui observasi, meliputi:

- a. Mengamati keadaan lingkungan yang akan dijadikan objek penelitian.
- b. Mengamati kondisi perangkat lunak utama yang digunakan.
- c. Mengamati *environment* perangkat lunak simulasi sistem.

2. Teknik pengumpulan data

Tahap-tahap prosedur pengambilan dan pengumpulan data berupa:

a. Pengukuran langsung

Dilakukan dengan mengambil nilai statistik pengukuran antara waktu simulasi dan waktu konvergensi.

b. Observasi

Pengamatan pola waktu konvergensi apabila terjadi

perubahan topologi.

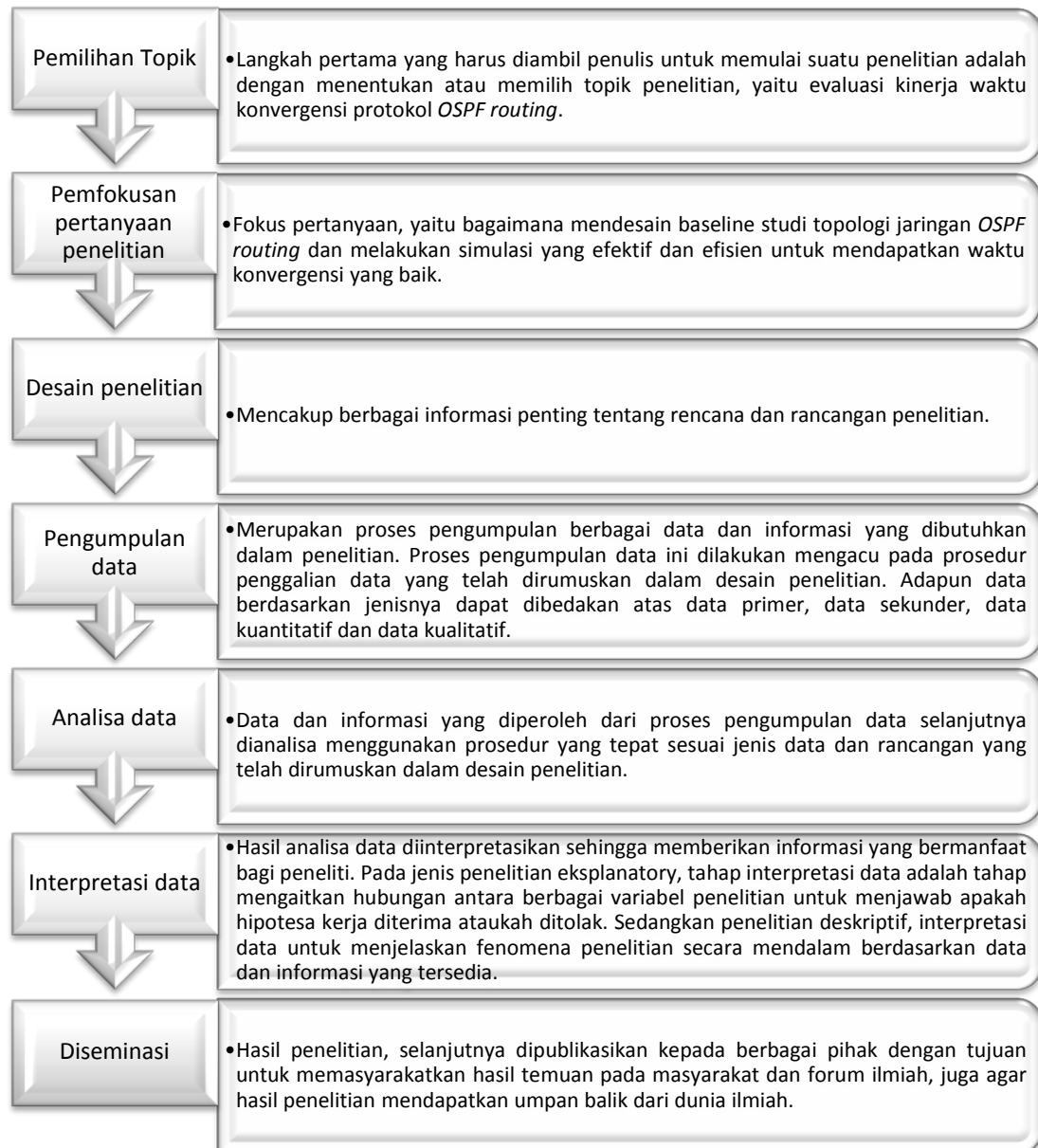
c. Pelaksanaan *test*

Testing dilakukan dengan menguji skenario *baseline* dan beberapa skenario yang mempunyai pola yang bervariasi.

E. Teknik Analisis Data

Proses analisis data dimulai dengan menelaah seluruh data yang tersedia dari berbagai sumber, yaitu pengamatan yang sudah ditulis dalam catatan, gambar dan sebagainya. Data tersebut dibaca, dipelajari, dan ditelaah selanjutnya adalah mengadakan reduksi data yang dilakukan dengan jalan membuat abstraksi yang merupakan usaha membuat rangkuman inti. Langkah selanjutnya adalah menyusunnya menjadi kategori satuan-satuan, pengkategorian ini dilakukan sambil merancang sistem. Tahap akhir dari analisis data adalah mengadakan pemeriksaan keabsahan data selanjutnya memulai tahap penafsiran data dalam mengolah hasil sementara menjadi teori substantif dengan menggunakan metode rekayasa perangkat lunak model *prototype*.

F. Tahap-Tahap Penelitian

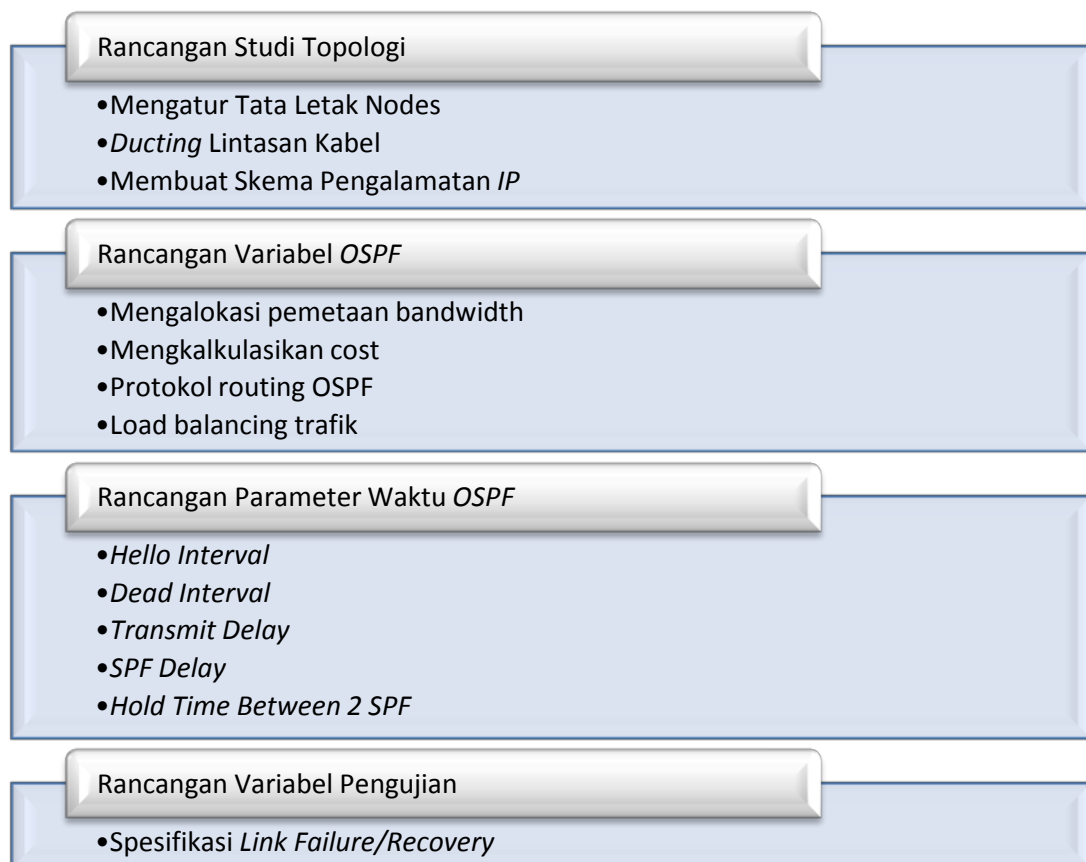


Gambar 6. Tahap-tahap penelitian

G. Rancangan Penelitian

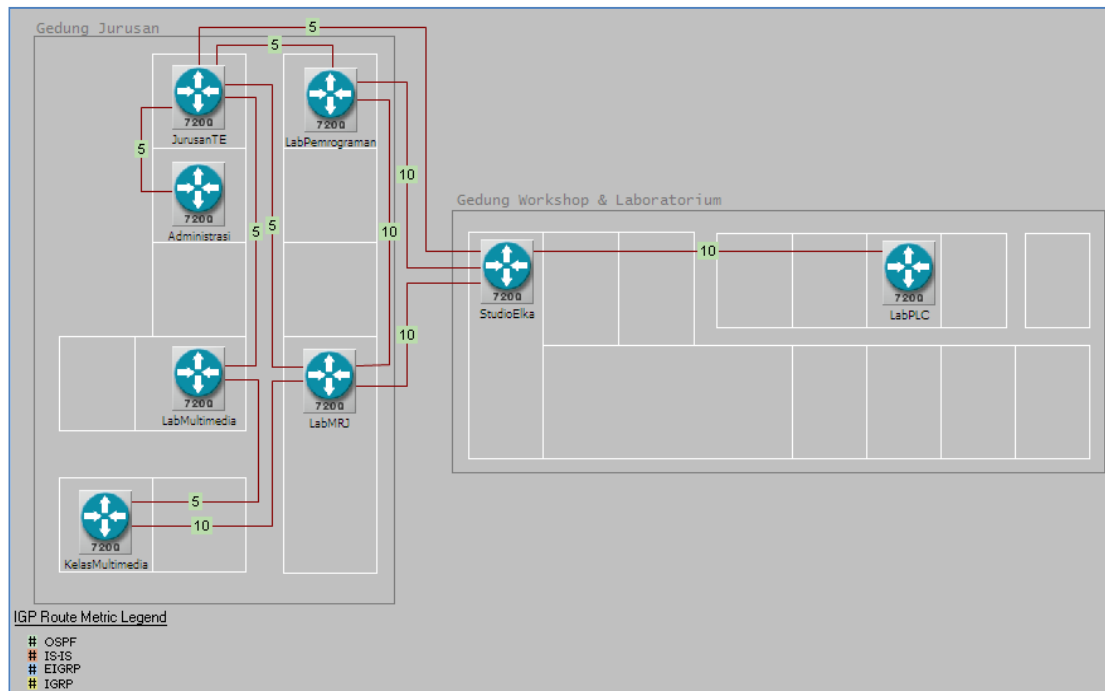
Penelitian ini rencananya akan dimodelkan melalui simulasi sistem *OSPF routing* yang *scalable* dengan variabel-variabel penunjang antara lain *load balancing*, *cost-link*, *reference bandwidth*, *data rate* kabel, *Interface Timers*, *SPF calculation timers*.

Dalam rancangan penelitian ini dibuat rancangan 1 skenario yang mewakili seluruh seluruh skenario. Tahapan rancangan penelitian secara umum dideskripsikan sebagai berikut.



Gambar 7. Tahapan rancangan penelitian

Berdasarkan tahapan rancangan penelitian, maka hal pertama yang dikerjakan adalah membuat diagram studi topologi jaringan di Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado.



Gambar 8. Studi topologi jaringan

Studi topologi jaringan yang dirancang mengikuti *layout* implisit gedung utama Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado dengan konsentrasi *node (router)* terbanyak ada di gedung jurusan.

Hal ini dilakukan dengan alasan bahwa, pada gedung tersebut terdapat 3 laboratorium komputer yang rerata jumlah komputer setiap laboratorium sebanyak 24 unit dan proses administrasi dan pengisian sistem informasi akademik jurusan terpusat pada gedung ini. Selain itu pula, pengguna jaringan *mobile* terkonsentrasi pada gedung jurusan.

Berdasarkan studi topologi jaringan selanjutnya dibuat skema pengalamatan *IP* jenis *classless* dengan model pengalamatan *VLSM* (*Variable Length Subnet Masking*) seperti diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Skema pengalamatan *IP*

No.	Nama Node	Alamat Jaringan	Port Interface
1	JurusanTE	192.168.1.0/24	IF1
		192.168.2.0/24	IF2
		192.168.3.0/24	IF3
		192.168.4.0/24	IF4
		192.168.5.0/24	IF5
2	Administrasi	192.168.1.0/24	IF1
3	LabPemrograman	192.168.3.0/24	IF1
		192.168.6.0/24	IF2
		192.168.7.0/24	IF3
4	LabMRJ	192.168.4.0/24	IF1
		192.168.7.0/24	IF2
		192.168.8.0/24	IF3
		192.168.9.0/24	IF4
5	LabMultimedia	192.168.5.0/24	IF1
		192.168.10.0/24	IF2
6	KelasMultimedia	192.168.10.0/24	IF1
		192.168.9.0/24	IF2
		192.168.8.0/24	IF3
7	StudioElka	192.168.2.0/24	IF1
		192.168.6.0/24	IF2
		192.168.8.0/24	IF3
		192.168.11.0/24	IF4
8	LabPLC	192.168.12.0/24	IF1

Skema pengalamatan pada Tabel 2 menunjukkan alamat *IP* dari setiap *port interface router* yang digunakan. Kelas *IP address* termasuk dalam

kategori kelas C, *Private IP Address* dengan rata-rata ketersediaan jumlah *host* sebanyak 254 alamat *IP* untuk satu jaringan. Meskipun jumlah *host IP* merata 254 tetapi dalam implementasi pada protokol *OSPF routing*, tetap saja harus menggunakan *VLSM* karena *OSPF* termasuk dalam klasifikasi *classless routing*.

Alasan mendasar dalam perancangan skema pengalamatan sesuai Tabel 2 adalah bahwa untuk jaringan internal seperti studi topologi jaringan (Gambar 8) harus menggunakan *private address* baik kategori kelas A, kelas B, maupun kelas C.

Spesifikasi rancangan *logical hardware OSPF* mendeskripsikan kebutuhan perancangan untuk memenuhi studi topologi di atas (Gambar 8) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Spesifikasi rancangan *logical* perangkat keras dan utilitas *OSPF*

No.	Uraian	Spesifikasi	Jumlah
1	<i>Router</i>	<i>IOS, 6-port 10BaseT Ethernet,</i>	8 unit
2	<i>Link</i>	<i>1000BaseX duplex link, Data Rate 1 Gbps</i>	3 link
		<i>10Gbps Ethernet, duplex link, Data Rate 10Gbps</i>	8 link
3	<i>Link Failure/Recovery</i>	Gambar 9	1 node

Tabel 3 memuat kebutuhan utama dalam perancangan dan kebutuhan dalam proses pengujian. Kebutuhan dalam perancangan topologi, yaitu peralatan logis *router* dan *link* (media kabel), sedangkan kebutuhan untuk

pengujian adalah *link failure/recovery* yang merupakan aplikasi untuk mengatur waktu dan *link* yang akan dilakukan pemutusan atau penyambungan kembali.

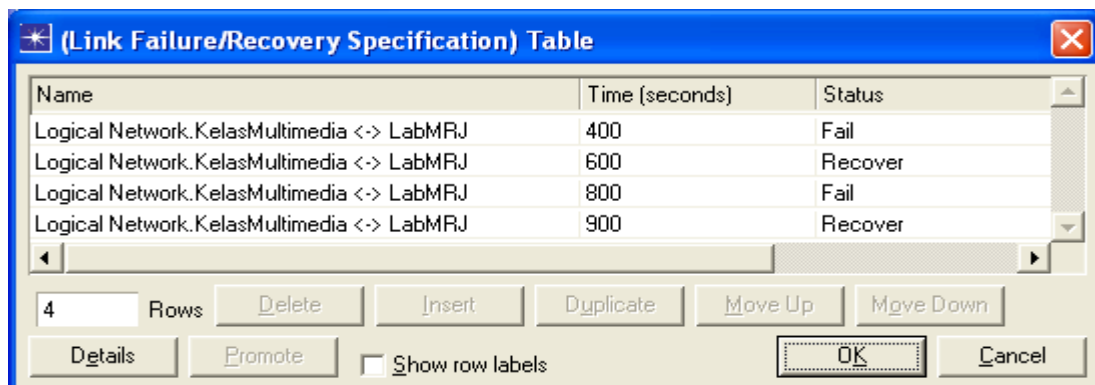
Spesifikasi rancangan *node* untuk jenis peralatan *router* berisi pengaturan atribut dengan parameter beserta nilainya seperti berikut.

Tabel 4. Pengaturan parameter atribut *router*

No.	Nama Node	Interface	Alamat IP	Subnet Mask	Area ID	Interface Bandwidth (Kbps)
1	JurusanTE	IF1	192.168.1.1	255.255.255.0	0	2.000
		IF2	192.168.2.1	255.255.255.0	0	2.000
		IF3	192.168.3.1	255.255.255.0	0	2.000
		IF4	192.168.4.1	255.255.255.0	0	2.000
		IF5	192.168.5.1	255.255.255.0	0	2.000
2	Administrasi	IF1	192.168.1.254	255.255.255.0	0	2.000
3	LabPemrograman	IF1	192.168.3.254	255.255.255.0	0	2.000
		IF2	192.168.6.1	255.255.255.0	0	1.000
		IF3	192.168.7.1	255.255.255.0	0	1.000
4	LabMRJ	IF1	192.168.4.254	255.255.255.0	0	2.000
		IF2	192.168.7.254	255.255.255.0	0	1.000
		IF3	192.168.8.1	255.255.255.0	0	1.000
		IF4	192.168.9.1	255.255.255.0	0	1.000
5	LabMultimedia	IF1	192.168.5.254	255.255.255.0	0	2.000
		IF2	192.168.10.1	255.255.255.0	0	2.000
6	KelasMultimedia	IF1	192.168.10.254	255.255.255.0	0	2.000
		IF2	192.168.9.254	255.255.255.0	0	1.000
7	StudioElka	IF1	192.168.2.254	255.255.255.0	0	2.000
		IF2	192.168.6.254	255.255.255.0	0	1.000
		IF3	192.168.8.254	255.255.255.0	0	1.000
		IF4	192.168.11.1	255.255.255.0	0	1.000
8	LabPLC	IF1	192.168.11.254	255.255.255.0	0	1.000

Setting parameter atribut *router* pada Tabel 4 merupakan pengaturan yang dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi studi topologi Gambar 8 dan skema pengalamatan pada Tabel 2 beserta alasannya. Pengaturan *Area ID* bernilai 0 (0.0.0.0) artinya seluruh *router* berada di satu *area* yaitu *area backbone*. Pengaturan *interface bandwidth* dipetakan dengan pertimbangan bahwa perkiraan titik-titik pengguna jaringan terbanyak mendapat alokasi yang lebih.

Spesifikasi untuk *attribute* kabel *Failure/Recovery* dapat dilihat pada gambar berikut.



Name	Time (seconds)	Status
Logical Network.KelasMultimedia <-> LabMRJ	400	Fail
Logical Network.KelasMultimedia <-> LabMRJ	600	Recover
Logical Network.KelasMultimedia <-> LabMRJ	800	Fail
Logical Network.KelasMultimedia <-> LabMRJ	900	Recover

Gambar 9. Spesifikasi kabel *failure/recovery*

Rancangan yang dimaksud pada Gambar 9 dijelaskan seperti berikut.

1. Awalnya seluruh *router* dalam *state* konvergen.
2. Detik ke-400, sambungan kabel antara KelasMultimedia dan LabMRJ terjadi kegagalan koneksi (misal putus).
3. Detik ke-600, sambungan kabel antara KelasMultimedia dan LabMRJ kembali terhubung.

4. Detik ke-800, kembali terjadi kegagalan koneksi antara KelasMultimedia dan LabMRJ.
5. Detik ke-900, koneksi antara KelasMultimedia dan LabMRJ terhubung.

Penetapan waktu pada *failure/recovery* untuk waktu mulai terjadinya kegagalan dengan alasan dari hasil pengujian awal pembelajaran, waktu selesai proses konvergensi terjadi di detik ke-120,298869. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa sebelum terjadi kegagalan *link* (detik ke-400), sistem jaringan dalam *state* konvergensi.

Spesifikasi konfigurasi kabel terdiri dari masing-masing kabel yang menghubungkan 2 buah *node* (*router*).

Tabel 5. Spesifikasi konfigurasi kabel

No.	Kabel	Data-Rate Kabel	Bandwidth	Cost
1	JurusanTE <-> Administrasi	10Gbps	2 Mbps	5
2	JurusanTE <-> StudioElka	1Gbps	2 Mbps	5
3	JurusanTE <-> LabPemrograman	10Gbps	2 Mbps	5
4	JurusanTE <-> LabMRJ	10Gbps	2 Mbps	5
5	JurusanTE <-> LabMultimedia	10Gbps	2 Mbps	5
6	LabPemrograman <-> StudioElka	1Gpbs	1Mbps	10
7	LabPemrograman <-> LabMRJ	10Gbps	1Mbps	10
8	LabMRJ <-> StudioElka	1Gpbs	1Mbps	10
9	LabMRJ <-> Kelas Multimedia	10Gbps	1Mbps	10
10	LabMultimedia <-> KelasMultimedia	10Gbps	2Mbps	5
11	StudioElka <-> LabPLC	10Gpbs	1Mbps	10

Pemetaan *bandwidth* dan *cost-link* berdasarkan formula baku yang telah ditetapkan pada rumus (1).

Dalam penentuan *cost OSPF*, seluruh *link* menggunakan reference *bandwidth* sebesar 10^7 (10Mbps) dengan alokasi *interface bandwidth* diuraikan pada Tabel 5 kolom *bandwidth*. Alasan penggunaan reference *bandwidth* yang lebih kecil dari *default reference bandwidth* (10^8) karena lebih mudah bagi *admin* untuk mengingat dan membaca pada konfigurasi *router* angka yang kecil daripada yang besar.

Rancangan seluruh skenario mengacu pada topologi jaringan (Gambar 8), logical perangkat keras (Tabel 3), spesifikasi atribut *router* (Tabel 4), dan spesifikasi *Link Failure/Recovery* (Gambar 9).

H. Simulasi dan Pengujian

1. Parameter Simulasi dan Pengujian

Parameter-parameter yang ditetapkan dalam simulasi dan pengujian, yaitu:

1. Waktu untuk kartu antarmuka jaringan (*interface timers*)
 - a. *Hello Interval*.
 - b. *Dead Interval*.
 - c. *OSPF transmisi kembali (OSPF retransmission)*.
 - d. *OSPF transmisi tunda (OSPF transmit delay)*.

2. Waktu untuk kalkulasi *SPF*
 - a. *SPF* Tunda (*SPF Delay*).
 - b. Waktu tunggu antar 2 *SPF* berurutan (*Hold time between 2 SPF*).

Waktu simulasi masing-masing skenario berdurasi 1200 detik (20 menit) yang disimulasikan secara simultan terurut. Penetapan durasi waktu simulasi dalam detik dengan alasan bahwa waktu konvergensi dari *OSPF routing* hanya dalam hitungan detik. Sedangkan pemilihan simulasi yang simultan terurut dilakukan dengan pertimbangan bahwa jika setiap skenario disimulasikan pada saat yang berbeda maka ada kemungkinan mempengaruhi hasil pengukuran karena kerja daripada perangkat keras (mis. *RAM*, *CPU*, dan sebagainya) komputer tempat instalasi simulator jaringan, setiap waktu dapat berubah-ubah.

2. Skenario Simulasi dan Pengujian

Skenario simulasi dan pengujian pada penelitian ini terdiri atas:

1. Skenario *Baseline*, bentuk skenario ini berdasarkan keadaan studi topologi jaringan pada jurusan teknik elektro politeknik negeri manado. Skenario *baseline* dijadikan dasar untuk melakukan perbandingan dengan skenario variatif.
2. Skenario Variatif, bentuk skenario yang mempunyai parameter konsisten dengan nilai yang diubah-ubah.

a. Skenario *Baseline*

Skenario *baseline* merupakan acuan standar keadaan model jaringan saat ini sebagai pembanding dengan skenario pengujian variatif. Skenario *baseline* memiliki bentuk skenario yang sama untuk keseluruhan skenario variatif artinya skenario *baseline* merupakan acuan pembanding dengan skenario variatif yang meliputi variabel dan parameter berikut:

1. Bentuk topologi jaringan yang konsisten untuk seluruh skenario yang diujikan.
2. Penetapan *Load Balancing* pada *node router* untuk *area* konsentrasi pengguna yang banyak.
3. Waktu yang sama jika terjadi pemutusan dan penyambungan kembali jaringan kabel antara 2 *router*.
4. Panjang waktu simulasi yang sama.

Pertimbangan penetapan skenario *baseline* dengan alasan, bahwa tata letak ruangan dan bangunan juga konsentrasi pengguna jaringan mempengaruhi rancangan topologi jaringan. Faktor putusnya jaringan kabel baik secara alamiah atau sengaja diputuskan untuk proses perawatan jaringan kabel, yang didalamnya mencakup pengurangan infrastruktur jaringan.

Dalam hal panjang waktu simulasi, satuan ditetapkan dalam detik meskipun durasi simulasi mencapai angka menit. Penetapan ini dilakukan dengan alasan bahwa waktu konvergensi *routing OSPF* bisa dalam hitungan detik dan bisa juga dalam hitungan menit tetapi apabila data hasil pengujian

dalam detik, maka akan kesulitan membaca waktu konvergensi berhubungan konversi secara *opnet* akan membulatkan ke atas dalam menit jika ada angka dalam detik.

Skenario *baseline* (Skenario 1) menggunakan pola nilai *default* parameter *interface* tetap dan *SPF* tetap.

b. Skenario Variatif

Berdasarkan skenario *baseline* maka dibuat skenario variatif untuk melakukan simulasi perbandingan konvergensi *OSPF* dengan membuat 8 skenario yang dikategorikan dalam 3 skenario utama, yaitu:

1. Skenario *interface* tetap, *SPF* bervariasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan nilai *default* waktu untuk kartu antarmuka jaringan dan variasi waktu untuk kalkulasi *SPF*.
 - a. Skenario 2 (*Interface* Tetap, *SPF* Turun), waktu untuk kartu antarmuka jaringan tetap (nilai *default*) dan waktu untuk kalkulasi *SPF* diturunkan.
 - b. Skenario 3 (*Interface* Tetap, *SPF* Naik), waktu untuk kartu antarmuka jaringan tetap (nilai *default*) dan waktu untuk kalkulasi *SPF* dinaikkan.
2. Skenario *interface* turun, *SPF* bervariasi. Simulasi dengan menurunkan waktu untuk kartu antarmuka jaringan dan waktu untuk kalkulasi *SPF* yang bervariasi.
 - a. Skenario 4 (*Interface* Turun, *SPF* Tetap), waktu untuk kartu

- antarmuka jaringan diturunkan, dan waktu untuk kalkulasi *SPF* tetap (nilai *default*).
- b. Skenario 5 (*Interface Turun, SPF Turun*), waktu untuk kartu antarmuka jaringan diturunkan, dan waktu untuk kalkulasi *SPF* diturunkan.
 - c. Skenario 6 (*interface Turun, SPF Naik*), waktu untuk kartu antarmuka jaringan diturunkan, dan waktu untuk kalkulasi *SPF* dinaikkan.
3. Skenario *interface* naik, *SPF* bervariasi. Simulasi dengan menaikkan waktu untuk Kartu Antarmuka Jaringan dan waktu untuk kalkulasi *SPF* dengan variasi, yaitu:
- a. Skenario 7 (*Interface Naik, SPF Tetap*), waktu untuk kartu antarmuka jaringan dinaikkan, dan waktu untuk kalkulasi *SPF* tetap (nilai *default*).
 - b. Skenario 8 (*Interface Naik, SPF Turun*), waktu untuk kartu antarmuka jaringan dinaikkan, dan waktu untuk kalkulasi *SPF* diturunkan.
 - c. Skenario 9 (*Interface Naik, SPF Naik*), waktu untuk kartu antarmuka jaringan dinaikkan, dan waktu untuk kalkulasi *SPF* dinaikkan.

Secara singkat bentuk skenario simulasi dan pengujian dari keseluruhan skenario yang terdiri dari 9 skenario yang ditetapkan, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Penetapan skenario simulasi dan pengujian

Skenario	Waktu untuk kartu antarmuka jaringan	Waktu untuk Kalkulasi SPF	Keterangan
1	Tetap	Tetap	Parameter <i>Default</i> (<i>Baseline</i>)
2	Tetap	Turun	
3	Tetap	Naik	
4	Turun	Tetap	<i>Fine-Tuning</i> (Cisco Systems, Inc., 2007, p.11.5.2.2)
5	Turun	Turun	
6	Turun	Naik	
7	Naik	Tetap	
8	Naik	Turun	
9	Naik	Naik	

Pemilihan skenario simulasi dan pengujian dengan alasan unsur keterwakilan 2 parameter utama dengan 3 variasi nilai, yaitu: waktu tetap (*default*), waktu naik, dan waktu turun. Variasi nilai untuk naik menggunakan pola 2 kali waktu *default* yang dibulatkan ke atas, sedangkan untuk nilai turun menggunakan pola waktu *default* dibagi 2 yang dibulatkan ke atas yang diformulasikan seperti berikut.

$$Tetap = Waktu Default \quad (2)$$

$$Naik = Roundup(2 \times Waktu Default) \quad (3)$$

$$Turun = Roundup\left(\frac{Waktu Default}{2}\right) \quad (4)$$

Untuk waktu *default* yang bernilai 1, pada pola turun tidak digunakan formula turun (rumus (4)) karena secara *default*, masukan (*input*) berupa waktu untuk kartu antarmuka jaringan khususnya parameter transmisi tunda (*transmit delay*) pada aplikasi *Opnet* tidak menerima masukan lebih kecil dari 1 detik.

Berdasarkan skenario dan parameter yang telah ditentukan terlebih dahulu, selanjutnya ditetapkan variabel nilai simulasi dan pengujian seperti tabel berikut.

Tabel 7. Skenario nilai simulasi dan pengujian

Skenario	Deksripsi Pola Skenario	Waktu untuk Kartu Antarmuka Jaringan ^(a) (detik)				Waktu untuk Kalkulasi <i>SPF</i> ^(b) (detik)		
		<i>Hello Interval</i>	<i>Dead Interval</i>	Transmisi Tunda	Transmisi Kembali	<i>SPF Tunda</i>	Waktu Tunggu Antar 2 Urutan <i>SPF</i>	
1	(a) = Tetap, (b) = Tetap	10	40	1	5	5	10	
2	(a) = Tetap, (b) = Turun	10	40	1	5	3	5	
3	(a) = Tetap, (b) = Naik	10	40	1	5	10	20	
4	(a) = Turun, (b) = Tetap	5	20	1	3	5	10	
5	(a) = Turun, (b) = Turun	5	20	1	3	3	5	
6	(a) = Turun, (b) = Naik	5	20	1	3	10	20	
7	(a) = Naik, (b) = Tetap	20	80	2	10	5	10	
8	(a) = Naik, (b) = Turun	20	80	2	10	3	5	
9	(a) = Naik, (b) = Naik	20	80	2	10	10	20	

Keterangan:

(a) = Variabel waktu untuk kartu antarmuka jaringan.

(b) = Variabel waktu untuk kalkulasi *SPF*.

Tabel 7 merupakan variasi pola skenario beserta nilai parameter-parameter pengujian dalam satuan detik untuk simulasi 9 skenario.

3. Tahapan Metode Simulasi dan Pengujian

Tahapan proses simulasi dan pengujian berdasarkan waktu, yaitu:

1. Masukan berupa durasi simulasi, parameter-parameter, yaitu *hello*, *dead*, *transmit delay*, re-transmission, *SPF delay*, *Hold Time* Sequence *SPF*.

Duration = 1200 detik (20 menit).

Hello interval = vary.

Dead interval = vary.

Transmit delay = vary.

Re-transmission = vary.

SPF delay = vary.

Hold Time Between 2 SPF = vary.

2. *Runtime* Proses secara simultan terurut untuk 9 skenario, dengan runtunan waktu sebagai berikut:

- a. Pada detik ke-400, kabel penghubung antara *router* KelasMultimedia dan *router* LabMRJ terputus (*fail*).

Link Failure = 400 detik.

- b. Selanjutnya kabel tersebut terhubung kembali (*recover*) pada detik ke-600.

Link Recovery = 600 detik.

- c. Namun kabel tersebut kembali terputus pada detik ke-800.

Link Failure = 800 detik.

d. Pada detik ke-900 kembali tersambung dan beroperasi normal.

Link Recovery = 900 detik.

3. Keluaran berupa durasi konvergensi.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Paparan hasil penelitian dan pembahasan terdiri dari Hasil Simulasi dan Analisis Pengujian, Hasil Akhir Penelitian, dan Diskusi.

A. Hasil Simulasi dan Analisis Pengujian

Hasil simulasi dan analisis pengujian diuraikan dalam bentuk tabulasi data dan diagram skenario hasil pengujian yang terdiri dari 2 analisis pengujian dan hasil, yaitu:

1. Skenario *baseline* yang merujuk pada keadaan *real* studi topologi skenario 1.
2. Skenario variatif yang terdiri dari delapan skenario yaitu, skenario 2 sampai dengan skenario 9.

Sebelum melakukan pengujian perlu dipahami terlebih dahulu metode *shortest path first (SPF)* dari *node* asal ke *node* tujuan yang mempunyai mekanisme kalkulasi *shortest path* berbasiskan nilai *cost* terendah yang didapatkan melalui perhitungan rumus (1).

Misalkan sesuai Gambar 8 dan data Tabel 5, *router* LabPLC hendak mengirimkan *packet* data ke *router* KelasMultimedia. Sesuai topologi ada banyak rute yang dapat dilalui *packet data* tersebut, namun secara kasat

mata terdapat 3 rute dengan nilai *cost* terrendah yang diambil pada kasus ini untuk dikalkulasikan guna mendapat rute terbaik, yaitu:

Rute1: *Link* LabPLC ke StudioElka jumlah *cost* = 10

Link StudioElka ke LabMRJ jumlah *cost* = 10

Link LabMRJ ke KelasMultimedia jumlah *cost* = 10

Rute2: *Link* LabPLC ke StudioElka jumlah *cost* = 10

Link StudioElka ke JurusanTE jumlah *cost* = 5

Link JurusanTE ke LabMRJ jumlah *cost* = 5

Link LabMRJ ke KelasMultimedia jumlah *cost* = 10

Rute3: *Link* LabPLC ke StudioElka jumlah *cost* = 10

Link StudioElka ke JurusanTE jumlah *cost* = 5

Link JurusanTE ke LabMultimedia jumlah *cost* = 5

Link LabMultimedia ke KelasMultimedia jumlah *cost* = 5

Dari ketiga rute di atas, setiap *link* dari rute mempunyai *cost* yang dibutuhkan untuk perhitungan *SPF*. Mekanisme perhitungan *shortest path* ketiga rute tersebut seperti berikut.

Rute1: $Cost = 10+10+10 = 30$

Rute2: $Cost = 10+5+5+10 = 30$

Rute3: $Cost = 10+5+5+5 = 25$

Routing protokol *OSPF* akan memilih Rute3 sebagai rute terpendek berdasarkan hasil kalkulasi *SPF*, walaupun jumlah *hop* (*router*) yang dilewati lebih banyak dari rute1, tetapi memiliki *cost* terrendah yaitu 25. Setelah mendapatkan nilai *cost* dari semua jaringan tujuan, maka akan diciptakan

SPF Tree yang kemudian mengisi *routing table* setiap *router*.

Metode pengujian untuk mendapatkan data dilakukan dengan pengukuran langsung terhadap parameter-parameter yang telah ditetapkan dan variasi nilainya (Tabel 7). Selanjutnya disimulasikan secara simultan terurut yang mana seluruh skenario dijalankan sekaligus pada saat bersamaan dengan durasi setiap skenario selama 1200 detik dan proses komputasi yang terlaksana secara *blackbox* sesuai urutan skenario mulai dari skenario 1 sampai dengan skenario 9, sehingga menghasilkan data pengukuran langsung sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Data hasil pengukuran langsung ini kemudian dikumpulkan dan ditabulasikan untuk dianalisis proses konvergensi yang terjadi pada masing-masing skenario guna mendapatkan waktu konvergensi terbaik untuk selanjutnya dilakukan perbandingan dengan waktu konvergensi menggunakan nilai *default* parameter *OSPF routing*.

1. Tabulasi Hasil simulasi dan pengujian

Data pengujian dan hasil pengujian dari 9 skenario dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8. Data dan hasil pengujian

Skenario	SKENARIO PENGUJIAN	DATA PENGUJIAN							HASIL PENGUJIAN								
		Deskripsi Pola Skenario		Waktu untuk Kartu Antarmuka Jaringan (detik)			Waktu untuk Kalkulasi <i>SPF</i> (detik)		Konvergensi								
				Hello Interval	Dead Interval	Transmisi Tunda	Transmisi Kembali	<i>SPF</i> Tunda	Waktu Tunggu Antar 2 Urutan <i>SPF</i>	Ke-1 Durasi (detik)	Ke-2 Durasi (detik)	Ke-3 Durasi (detik)	Ke-4 Durasi (detik)	Ke-5 Durasi (detik)	Ke-6 Durasi (detik)	Ke-7 Durasi (detik)	Ke-8 Durasi (detik)
1	(a) = Tetap, (b) = Tetap	10	40	1	5	5	10	18,387243	18,324181	^{a)} 10,000268	^{b)} 5,000268	5,0003	^{c)} 5,000268	^{d)} 5,000268	5,0003679	-	
2	(a) = Tetap, (b) = Turun	10	40	1	5	3	5	11,387243	18	^{a)} 8,000268	^{b)} 3,000268	3,0003	^{c)} 3,000268	^{d)} 3,000268	3,0003679	-	
3	(a) = Tetap, (b) = Naik	10	40	1	5	10	20	13,387243	33,324181	^{a)} 10,000268	^{b)} 10,000268	10,0003	^{c)} 10,000268	^{d)} 10,000268	10,000368	-	
4	(a) = Turun, (b) = Tetap	5	20	1	3	5	10	48,387243	^{a)} 10,000268	^{b)} 25,144997	^{c)} 5,000268	^{d)} 25,755381	-	-	-	-	
5	(a) = Turun, (b) = Turun	5	20	1	3	3	5	45,119198	^{a)} 8,000268	^{b)} 23,144997	^{c)} 3,000268	^{d)} 23,755381	-	-	-	-	
6	(a) = Turun, (b) = Naik	5	20	1	3	10	20	53,387243	^{a)} 10,000268	^{b)} 30,144997	^{c)} 10,000278	^{d)} 30,755381	-	-	-	-	
7	(a) = Naik, (b) = Tetap	20	80	2	10	5	10	18,387243	5,723563	28,324181	^{a)} 10,000268	^{b)} 5,000268	5,000300	^{c)} 5,000268	^{d)} 5,000268	5,0003	
8	(a) = Naik, (b) = Turun	20	80	2	10	3	5	11,387243	3,723563	23	^{a)} 8,000268	^{b)} 3,000268	3,000300	^{c)} 3,000268	^{d)} 3,000268	3,0003	
9	(a) = Naik, (b) = Naik	20	80	2	10	10	20	13,387243	10,723563	33,324181	^{a)} 10,000268	^{b)} 10,000268	10,0003	^{c)} 10,000268	^{d)} 10,000268	10,0003	

Keterangan:

(a) = Variabel untuk kartu antarmuka jaringan;

(b) = Variabel untuk kalkulasi *SPF*

^{a)} = Kabel terputus detik ke-400;

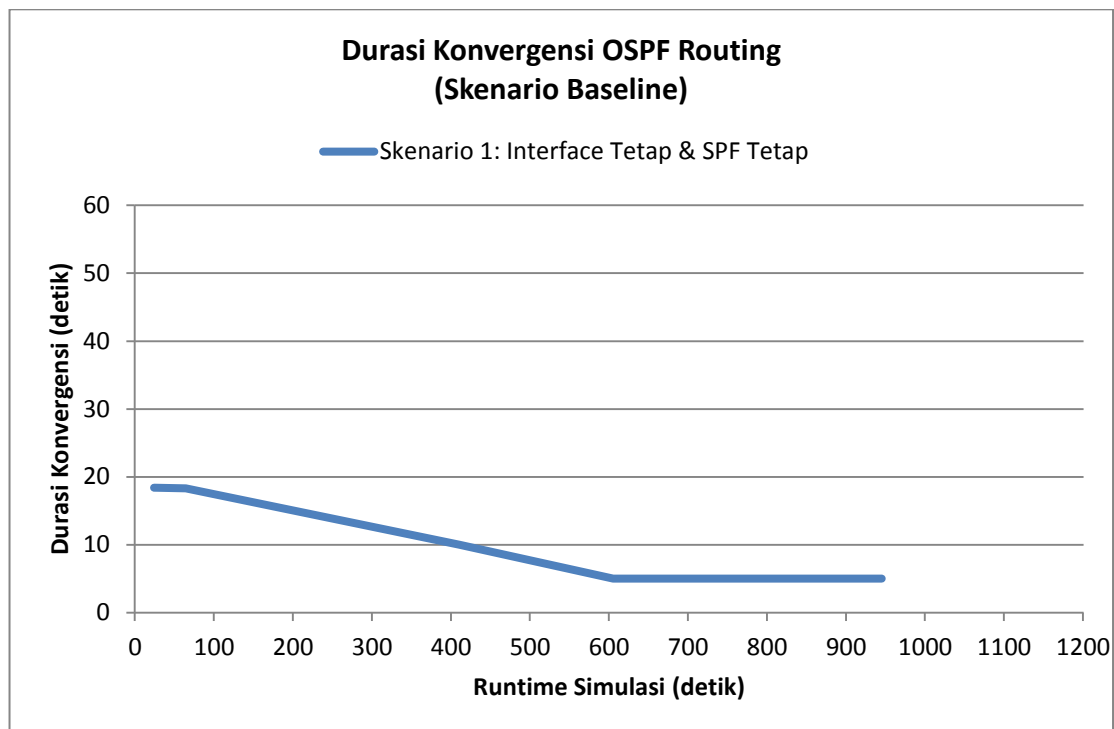
^{b)} = Kabel terhubung detik ke 600

^{c)} = Kabel terputus detik ke 800;

^{d)} = Kabel terhubung detik ke 900

2. Analisis Pengujian dan Hasil Skenario *Baseline* (Skenario 1)

Hasil pengujian skenario *baseline* yang merupakan keadaan saat ini pada studi topologi jaringan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Diagram durasi konvergensi skenario *baseline*

Gambar 10 menunjukkan durasi konvergensi skenario 1, yaitu skenario *baseline*, yang mana seluruh parameter waktu menggunakan nilai *default* sesuai dengan keadaan yang ada pada studi topologi saat ini. Pola nilai saat ini, yaitu waktu untuk kartu antarmuka jaringan tetap dan waktu untuk kalkulasi *SPF* tetap.

Tahapan dan analisis proses konvergensi pada diagram di atas (Gambar 10) dan berdasarkan data hasil pengujian (Tabel 8), diuraikan seperti

berikut.

1. Konvergensi pertama kali terjadi pada detik ke-5,974078 dengan durasi konvergensi selama 18,387243 detik. Hal ini dikarenakan sudah menjadi perilaku *OSPF routing* bahwa untuk pertama kali saat *router* dihidupkan akan mengirimkan *hello packet* ke *router* tetangga, setelah proses pengenalan selesai maka jaringan *OSPF routing* akan berada dalam *state* konvergensi yang terjadi pada detik ke-24,36132133.
2. Konvergensi ke-2 terjadi pada detik ke-46,18145 dengan durasi konvergensi selama 18,324181 detik. Pemicu terjadinya konvergensi ke-2 adalah waktu *default dead interval* yaitu 40 detik sehingga setelah terjadi konvergensi pertama kali (detik ke-5,974078), selanjutnya terjadi konvergensi kedua (detik ke-46,18145). Apabila dicermati maka selisih waktu antara konvergensi pertama dan kedua sebesar ± 40 detik yang sesungguhnya adalah waktu *default dead interval*.
3. Pemicu terjadinya konvergensi ke-3 yaitu kegagalan koneksi *link* pada detik ke-400, sebagaimana yang sudah diatur pada simulasi ini untuk melakukan pengujian terhadap waktu konvergensi jika terjadi kegagalan *link* (*Link Failure*). Data hasil pengujian menunjukkan bahwa pada konvergensi ketiga (detik ke-400) durasi konvergensi terjadi selama 10,00026785 detik.
4. Konvergensi ke-4 dipicu oleh pengaturan *recovery link* yang terjadi

pada detik ke-600. Data hasil pengujian pada konvergensi ke-4 terjadi selama 5,000267951 detik

5. Konvergensi ke-5 mempunyai karakteristik yang mirip dengan konvergensi ke-2, yang mana konvergensi ke-5 terjadi pada detik ke-640,8552 dengan durasi konvergensi selama 5,00030035 detik. Kesamaan karakteristik dimaksud yaitu sebelum konvergensi ke-5 (detik ke-640,8552) telah terjadi konvergensi ke-4 (detik ke-600), sehingga selisih waktu yang dibutuhkan ± 40 detik. Dengan demikian berdasarkan data dan analisis dapat dikatakan konvergensi ke-5 terjadi karena waktu *default dead interval* (40 detik) telah terpenuhi sehingga meskipun tidak diatur sebelumnya, konvergensi ini tetap terjadi.
6. Sama halnya dengan konvergensi ke-3, konvergensi ke-6 terjadi karena kegagalan *link* yang sudah diatur sebelumnya, hanya saja kegagalan *link* konvergensi ini diatur pada detik ke-800. Durasi konvergensi ke-6 terjadi selama 5,000267846 detik.
7. Konvergensi ke-7 dipicu oleh pengaturan sebelumnya yang mana *recovery link* terjadi pada detik ke-900 dengan durasi konvergensi selama 5,000267951 detik.
8. Proses Konvergensi ke-8, mempunyai karakteristik yang mirip konvergensi ke-2 dan ke-5. Konvergensi ke-8 terjadi pada detik ke-940,031, dengan durasi konvergensi selama 5,000367935 detik.

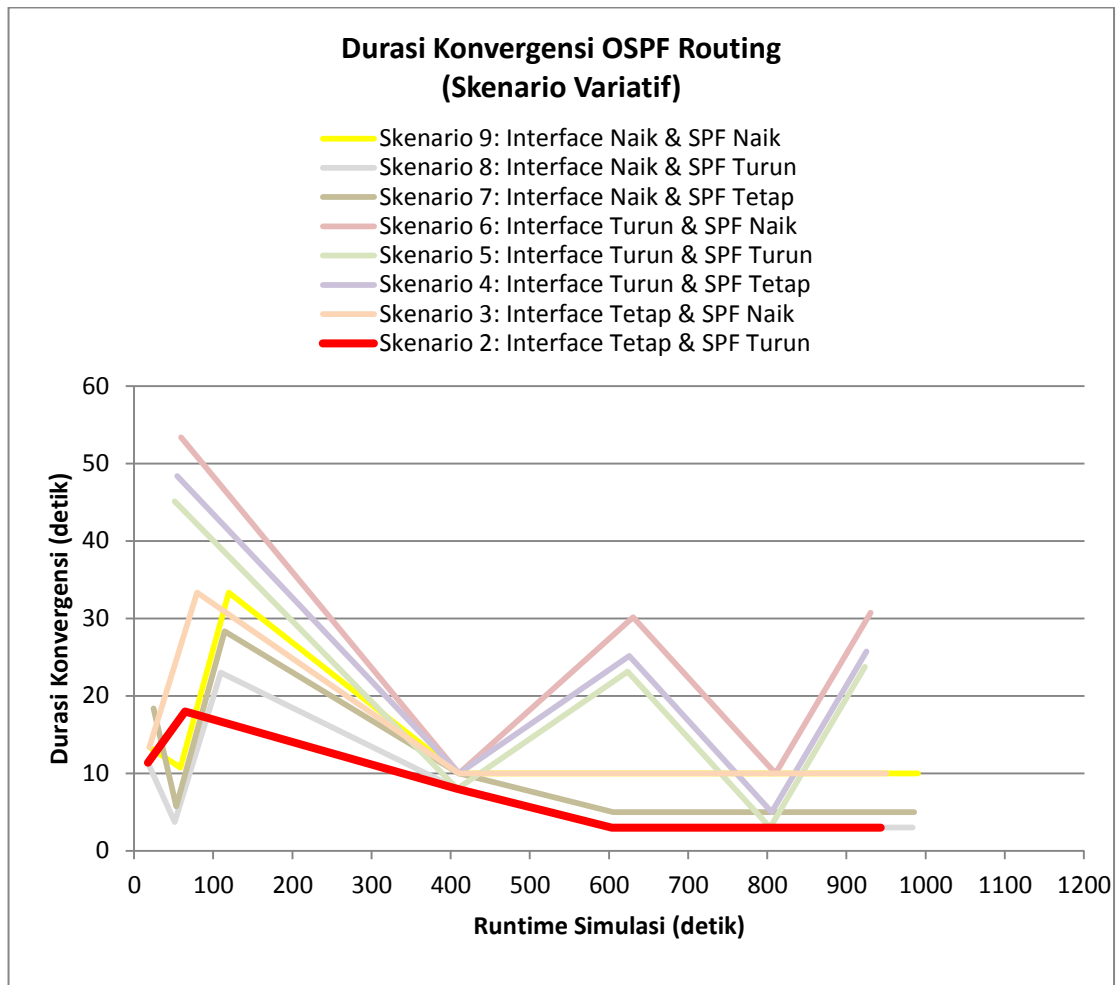
Rangkuman keseluruhan hasil tahapan dan analisis proses konvergensi skenario *OSPF baseline*, yaitu:

1. Pola nilai parameter yang digunakan, yaitu waktu untuk kartu antarmuka tetap dan waktu untuk kalkulasi *SPF* tetap.
2. Terjadi 8 kali konvergensi meskipun pengaturan *link failure/recovery* hanya 4 kali, hal ini disebabkan oleh perilaku *OSPF routing* yang melakukan konvergensi apabila waktu *default dead interval* telah terpenuhi. Data hasil juga menunjukkan pola konvergensi terkait waktu *dead interval* hanya terjadi apabila *link* tersambung (*recover*).
3. Setelah proses konvergensi ke-8 (*state* konvergensi detik ke-950,0314), tidak terjadi lagi proses konvergensi meskipun panjang waktu saat simulasi dan pengujian selama 1200 detik.
4. Rerata durasi konvergensi akhir = 8,964145424 detik.

3. Analisis Pengujian dan Hasil Skenario Variatif (Skenario 2-9)

Pengujian hasil skenario variatif mengacu pada kerangka pola skenario yang telah ditetapkan pada bagian perancangan dan telah disimulasikan.

Hasil pengujian untuk keseluruhan skenario variatif (skenario 2-9) dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 11. Diagram durasi konvergensi skenario variatif

Gambar 11 menunjukkan hasil durasi konvergensi skenario variatif untuk skenario 2 sampai dengan skenario 9 dengan polanya masing-masing. Pada analisis dan pengujian hasil, sub topik ini mengambil sampel konvergensi tercepat sebagaimana didukung dengan data hasil pengujian (Tabel 8) dan diagram perbandingan skenario variatif (Gambar 11). Berdasarkan data tersebut maka ditetapkan bahwa skenario 2 (*red line*) mempunyai waktu konvergensi yang kecil dibandingkan yang lain (Tabel 8) serta mempunyai pola perubahan dinamis antar *state* konvergensi seperti ditunjukkan pada

Gambar 11.

Adapun tahapan dan analisis proses konvergensi pada Gambar 11 didukung dengan data hasil pengujian (Tabel 8), diuraikan seperti berikut.

1. Konvergensi pertama kali (ke-1) terjadi pada detik ke-5,97408 dengan panjang durasi konvergensi selama 11,3872 detik. Sama halnya dengan alasan konvergensi ke-1 pada skenario *baseline* (skenario 1), bahwa konvergensi ke-1 pada skenario ini (skenario 2) terjadi karena setiap *router* saat pertama kali dihidupkan akan melakukan inisialisasi pengiriman *hello packet* ke tetangga terdekat untuk nantinya diteruskan informasi tersebut ke seluruh jaringan *OSPF routing* pada *area* yang sama. Setelah setiap *router* menerima balasan *hello packet* dari *router* tetangganya, selanjutnya jaringan tersebut berada dalam *state* konvergensi yang terjadi pada detik ke-24,36132133.
2. Konvergensi ke-2 terjadi pada detik ke-46,18145 dengan panjang durasi konvergensi selama 18 detik. Data konvergensi ke-1 yang terjadi pada detik ke-5,97408, jika dikurangkan dengan konvergensi ke-2 akan mendapatkan hasil ± 40 detik. Berdasarkan hasil ini juga dapat dikatakan bahwa konvergensi ke-2 dipicu oleh waktu *default dead interval*.
3. Konvergensi ke-3 dipicu oleh pengaturan *link failure* pada detik ke-400. Durasi konvergensi yang dibutuhkan untuk berada pada *state* konvergensi setelah kegagalan *link* sebesar 8,000268 detik.

4. Pemicu Konvergensi ke-4 adalah pengaturan *link recovery* saat perancangan yang diatur terjadi pada detik ke-600. Panjang waktu yang dibutuhkan untuk proses konvergensi setelah *link* terhubung (*recover*) selama 3,000268 detik.
5. Konvergensi ke-5 terjadi pada detik ke-640,855 dengan durasi konvergensi selama 3,0003 detik. Konvergensi ke-5 terjadi tanpa pengaturan pada *link failure/recovery*. Hal ini dipicu oleh waktu *default dead interval*, karena selisih waktu mulai terjadinya konvergensi ke-4 (detik ke-600) dan waktu mulai terjadinya konvergensi ke-5 (640,855244) sebesar ± 40 detik.
6. Konvergensi ke-6 dipicu oleh pengaturan *link failure* yang diatur terjadi pada detik ke-800. Panjang waktu yang dibutuhkan untuk proses konvergensi setelah kegagalan *link* selama 3,000268 detik.
7. Konvergensi ke-7 dipicu oleh pengaturan *link recovery* yang sebelumnya telah diatur dalam perancangan sistem, yaitu pada detik ke-900. Proses konvergensi ke-7 membutuhkan waktu selama 3,000268 detik setelah *link* terhubung (*recover*).
8. Konvergensi ke-8 terjadi pada detik ke-940,031006 dengan panjang durasi konvergensi selama 3,000268 detik. Konvergensi ke-8 tidak diatur dalam skenario meskipun demikian tetap saja terjadi, hal ini bukan tanpa alasan, karena sebagaimana uraian sebelumnya telah dijelaskan bahwa pemicu terjadi konvergensi selain dari yang diatur adalah waktu *default dead interval* telah

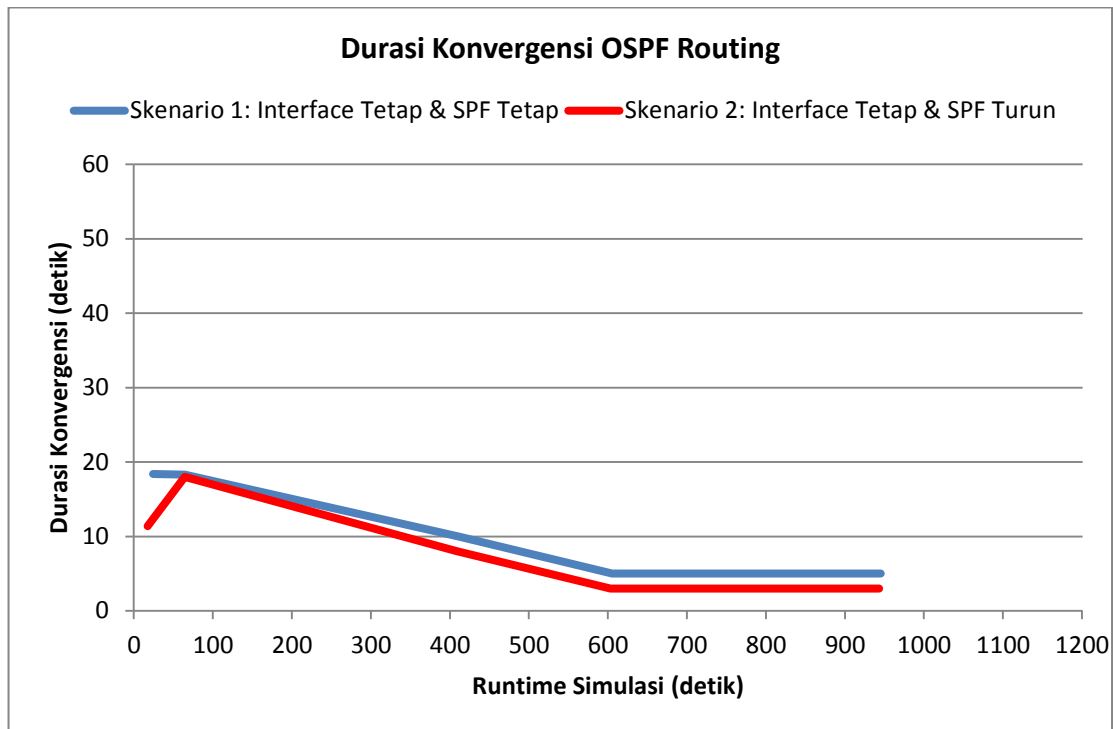
tercapai yaitu 40 detik dan tidak ada pengiriman *hello packet* selama *interval* tersebut.

Berdasarkan paparan mengenai analisis pengujian dan hasil skenario variatif, data hasil pengujian (Tabel 8), dan diagram skenario variatif Gambar 11, maka rangkuman skenario variatif secara keseluruhan diuraikan seperti berikut.

1. Dari 8 skenario yang disimulasikan dan diujikan, waktu durasi konvergensi terbaik sesuai data dan hasil jatuh pada skenario 2 dengan pola waktu untuk kartu antarmuka jaringan tetap dan waktu untuk kalkulasi *SPF* diturunkan.
2. Meskipun sesuai data terdapat jumlah konvergensi yang lebih sedikit, yaitu 5 kali (skenario 4, 5, dan 6) dibandingkan dengan skenario 2 (8 kali), namun waktu yang diperlukan untuk proses konvergensi sangatlah besar jika dibandingkan dengan konvergensi skenario 2 didukung juga dengan hasil pengujian sesuai diagram skenario variatif yang menunjukkan pola perubahan yang dinamis antar *state* konvergensi.
3. Skenario terbaik (skenario 2) dari skenario variatif memiliki rerata durasi konvergensi akhir = 6,548623 detik.

4. Perbandingan Skenario *Baseline* dan Skenario Variatif Hasil Terbaik

Perbandingan skenario *baseline* yang merupakan topologi *real* dengan skenario variatif hasil terbaik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 12. Diagram perbandingan skenario 1 (*baseline*) dan variatif hasil terbaik

Gambar 12 menunjukkan hasil perbandingan pengujian antara skenario *baseline* yang merupakan representasi dari *real* topologi dengan skenario variatif, yaitu skenario 2 yang ditetapkan sebagai skenario variatif hasil terbaik berdasarkan ulasan topik analisis pengujian dan hasil skenario variatif.

Merujuk pada data hasil pengujian (Tabel 8) dan diagram perbandingan (Gambar 12), maka dilakukan perbandingan antara skenario *baseline* dengan skenario variatif hasil terbaik yang diuraikan pada tabel berikut.

Tabel 9. Perbandingan skenario *baseline* dan skenario variatif hasil terbaik

No.	Uraian Perbandingan	Skenario <i>Baseline</i> (skenario 1)	Skenario Variatif Hasil Terbaik (skenario 2)	Keterangan
1	Jumlah Konvergensi yang terjadi	8 kali	8 kali	-
2	Panjang waktu simulasi	1200 detik	1200 detik	-
3	Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan skenario simulasi dan berada pada <i>state</i> konvergensi	945,03137 detik	943,03137 detik	Selisih = 2
4	Durasi konvergensi ke-1	18,38724 detik	11,38724 detik	Selisih = 7
5	Durasi konvergensi ke-2	18,32418 detik	18 detik	Selisih = 0,32418
6	Durasi konvergensi ke-3	10,00027 detik	8,000268 detik	Selisih = 2
7	Durasi konvergensi ke-4	5,000268 detik	3,000268 detik	Selisih = 2
8	Durasi konvergensi ke-5	5,0003 detik	3,0003 detik	Selisih = 2
9	Durasi konvergensi ke-6	5,000268 detik	3,000268 detik	Selisih = 2
10	Durasi konvergensi ke-7	5,000268 detik	3,000268 detik	Selisih = 2
11	Durasi konvergensi ke-8	5,000368 detik	3,000368 detik	Selisih = 2
12	Rerata Durasi Konvergensi	8,964145 detik	6,548623 detik	Selisih = 2,415523

Berdasarkan data perbandingan pada Tabel 9, maka dapat dinyatakan bahwa skenario 2 dengan deskripsi pola waktu *hello*, *dead*, transmisi tunda, dan transmisi kembali menggunakan nilai *default* (tetap) yang dikombinasikan

dengan menurunkan waktu *SPF* tunda dan waktu tunggu antar 2 *SPF* berurutan mendapatkan hasil yang lebih baik untuk mempercepat konvergensi jaringan *OSPF routing*. Hal ini diperkuat dengan data setiap tahapan konvergensi pada seluruh *state* durasi konvergensi mulai konvergensi ke-1 sampai ke-8 terjadi percepatan konvergensi hingga 2,411523 detik, artinya rata-rata kenaikan percepatan proses konvergensi sebesar 26,95%.

Selain itu juga dengan panjang durasi simulasi selama 1200 detik dan data pengujian yang sama, terdapat sejumlah 8 kali konvergensi pada skenario 2 yang berakhir pada detik ke-943,03137 sedangkan pada skenario 1 dengan jumlah konvergensi yang sama berakhir pada detik ke-945,03137. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa terjadi percepatan *runtime* jumlah konvergensi sebesar 2 detik atau terjadi kenaikan percepatan *state* akhir konvergensi jaringan sebesar 0,21%.

B. Hasil Akhir Penelitian

Hasil akhir penelitian dengan membandingkan keseluruhan skenario untuk mendapatkan hasil terbaik sebagai bahan rekomendasi untuk implementasi sistem jaringan protokol *OSPF routing* sesuai studi topologi.

Berdasarkan rancangan pada studi topologi, data analisis pengujian, dan hasil keseluruhan skenario maka implementasi sistem jaringan protokol *OSPF routing* direkomendasikan sebagai berikut.

Tabel 10. Rekomendasi nilai variabel & parameter sistem jaringan protokol OSPF

No.	Uraian	Rekomendasi	Keterangan
1	Protokol Jaringan	Protokol <i>OSPF</i>	Protokol <i>non proprietary</i> (Cisco System, Inc., 2005)
2	Titik-titik konsentrasi pengguna jaringan terbanyak	Buat <i>Load balancing</i> pada <i>router</i> yang mempunyai beban pengguna yang besar	<i>Load Balancing</i> akan membagi lintasan data pada jaringan
3	Penggunaan media (kabel)	Untuk koneksi antar gedung menggunakan kabel Fiber Optic	Kecepatan data rate kabel mempengaruhi besaran <i>interface bandwidth</i>
4	<i>Hello interval</i>	Menggunakan <i>default hello interval</i>	Hasil pengujian skenario 2, nilai terbaik = 10 detik
5	<i>Dead Interval</i>	Menggunakan <i>default dead interval</i>	Hasil pengujian skenario 2, nilai terbaik = 40 detik
6	Transmisi Tunda	Menggunakan <i>default transmisi tunda</i>	Hasil pengujian skenario 2, nilai terbaik = 1 detik
7	Transmisi Kembali	Menggunakan <i>default transmisi kembali</i>	Hasil pengujian skenario 2, nilai terbaik = 5 detik
8	<i>SPF</i> Tunda	Menurunkan <i>SPF</i> tunda	Hasil pengujian skenario 2, nilai terbaik = 3 detik
9	Waktu tunggu antar 2 urutan <i>SPF</i>	Menurunkan waktu tunggu antar 2 urutan <i>SPF</i>	Hasil pengujian skenario 2, nilai terbaik = 5 detik

C. Diskusi

Kajian bentuk jaringan saat ini dilaksanakan melalui studi pendahuluan terhadap keadaan jaringan di jurusan teknik elektro. Studi pendahuluan yang dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap keadaan sistem jaringan yang ada, selanjutnya menetapkan variabel data yang hendak dikumpulkan. Alasan penetapan variabel data dalam laporan bahwasanya variabel dari data yang dikumpulkan mempunyai relevansi dengan *OSPF routing* dan terkait sistem studi jaringan yang dirangkum seperti berikut.

1. Protokol *routing* menggunakan protokol *OSPF*.
2. Versi *IP* yang digunakan *IP* versi 4 (*IPv4*).
3. Jumlah *Router* sebanyak 8 unit.
4. *Bandwidth* sebesar 10 *Mega bit per second (Mbps)*.
5. Medium jaringan menggunakan media wired untuk koneksi antar *router*.
6. *Setting* parameter menggunakan nilai *default OSPF routing*.
7. Jumlah komputer milik negara yang terhubung ke jaringan sebanyak ± 100 unit.
8. Jumlah kandidat pengguna lebih dari 600 orang.

Berdasarkan hasil laporan studi pendahuluan di atas dan terkait pula dengan maksud penelitian, yaitu meningkatkan waktu konvergensi jaringan *OSPF routing* untuk menangani kepadatan jaringan dalam melayani kegiatan perkuliahan di jurusan teknik elektro politeknik negeri manado dengan bobot 55%-60% yang mana setiap hari harus memenuhi permintaan paling sedikit

100 pengguna internet secara rutin, maka dapat dianalisis secara singkat bahwa kerja dari masing-masing *router* sangat tinggi. Hal ini diperparah lagi dengan kandidat pengguna yang bisa mencapai 600 *user* (termasuk *mobile user*) padahal ketersediaan *bandwidth* hanya sebesar 10Mbps. Hal ini berpotensi terhadap kepadatan trafik jaringan yang bisa membuat *router* tidak dapat menjalankan fungsinya untuk meneruskan *packet* dengan mencari rute terbaik. Dampak yang terjadi *router* harus melakukan reinisialisasi bahkan harus di-*restart* untuk dapat menjalankan fungsinya kembali yang rerata konvergensinya memerlukan waktu 8,964145 detik (Data hasil simulasi dan pengujian).

Jika dibandingkan dengan hasil simulasi dan pengujian pada penelitian ini, maka terjadi percepatan rerata konvergensi sebesar 2,415523 detik atau terjadi kenaikan percepatan sebesar 26,95%.

Penelitian ini menunjukkan peningkatan percepatan rerata konvergensi *routing OSPF* yang lebih baik jika dibandingkan *standard* parameter *OSPF Routing* (Cisco Systems, Inc., 2007). Hal ini diperkuat juga dengan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil simulasi konvergensi pertama kali khusus *OSPF* yang terjadi pada detik ke-45 (Yehia dkk., 2011), sedangkan waktu terbaik pada penelitian ini terjadi konvergensi pertama kali pada detik ke-17,361321 yang memakan waktu selama 11,387243 detik. Hasil yang lebih baik juga terlihat pada perbandingan durasi konvergensi sesuai pengaturan *link recovery* simulasi *OSPF* (Hasan dkk., 2013) yang mempunyai durasi konvergensi *link recovery* mencapai 15 detik, sedangkan pada

penelitian ini durasi konvergensi terbaik saat *link recovery* hanya memerlukan waktu 3,000268 detik. Meskipun terdapat perbedaan waktu yang signifikan pada perbandingan-perbandingan di atas karena dipengaruhi oleh faktor studi topologi jaringan yang berbeda, namun parameter *dead interval* dengan nilai *default* 40 detik turut membuktikan bahwa konvergensi pertama kali dan durasi konvergensi terbaik pada penelitian ini masih berada dalam *range* waktu *dead interval*, yang apabila periode waktu *dead interval* telah tercapai maka konsekuensinya akan dikirimkan *flooding Link State Database (LSDB) update* (Dubey dkk., 2012) keseluruh topologi dalam sebuah sistem otonom *OSPF routing* yang berakibat terjadi konvergensi tambahan.

Mengacu pada hasil perbandingan di atas maka keuntungan (*benefit*) yang ditawarkan oleh sistem pada penelitian ini, yaitu seiring dengan waktu konvergensi yang cepat, maka kesiapan *router* ikut juga dipercepat untuk menjalankan fungsinya dalam meneruskan *packet* dengan mencari rute terbaik.

Adapun kekurangan (*disadvantages*) dari sistem ini, yaitu belum dapat mengantisipasi terhadap perluasan jangkauan jaringan.

Hal-hal yang belum dicapai pada penelitian ini, yaitu:

1. Melakukan uji coba pada jaringan *real* sehingga akurasi hasil lebih presisi.
2. Melakukan perbandingan dengan *routing* protokol sejenis yang bersifat *non-proprietary standard*.

Hal-hal yang belum tercapai di atas, disebabkan oleh kendala-kendala

berikut:

1. Sumber daya peralatan untuk ujicoba dalam keadaan terpasang dan terpakai sehingga akan mengganggu proses perkuliahan dan proses akademik jika harus melakukan *adjustment* pada setiap *router*, selain itu instrumen alat ukur untuk mengukur waktu konvergensi jaringan *OSPF* tidak tersedia.
2. Selaras dengan terganggunya proses perkuliahan dan akademik, resiko jaringan *down* (kegagalan jaringan) akan sangat tinggi jika dilakukan perubahan protokol *routing* terhadap sistem jaringan yang saat ini dalam keadaan terpasang dan terpakai.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dengan permasalahan yang dikemukakan, dan berdasarkan tujuan yang hendak dicapai, serta solusi yang ditawarkan dalam studi sistem jaringan *Routing OSPF* maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja waktu konvergensi protokol *OSPF routing* sesuai studi topologi di jurusan teknik elektro, politeknik negeri manado dapat ditingkatkan dengan menggunakan nilai *default* parameter-parameter waktu untuk kartu antarmuka jaringan dan menurunkan parameter-parameter nilai waktu untuk kalkulasi *SPF*.
2. Berdasarkan hasil perbandingan skenario *baseline* dan skenario variatif hasil terbaik rerata kenaikan percepatan durasi konvergensi sebesar 26,95% dan kenaikan percepatan *state* akhir konvergensi sebesar 0,21%.
3. Nilai yang direkomendasikan dalam studi jaringan *routing OSPF* pada jaringan jurusan teknik elektro politeknik manado, yaitu: *hello interval* = 10 detik; *dead interval* = 40 detik; transmisi tunda = 1 detik; transmisi kembali = 5 detik; waktu tunda *SPF* = 3 detik; dan waktu tunggu antar 2 urutan *SPF* = 5 detik.

B. Saran

Berdasarkan kendala-kendala yang dihadapi selama penelitian dan kekurangan yang ada dalam penelitian maka untuk pengembangan penelitian disarankan:

1. Akurasi hasil akan lebih presisi jika diuji coba pada model jaringan *real*.
2. Melakukan perbandingan dengan *routing* protokol sejenis yang bersifat *non-proprietary standard*.
3. *Future study* terkait implementasi *OSPF routing* pada *wide area network (WAN)*, dimasa yang akan datang tantangnya, yaitu bagaimana antisipasi perluasan jangkauan jaringan. Hal ini dapat dilakukan dengan membagi *domain* kerja *OSPF* menjadi beberapa *area* dan memanfaatkan *virtual link OSPF* untuk koneksi ke *backbone area*, sehingga rekomendasi yang diusulkan pada penelitian ini dapat pula digunakan pada setiap *area* jaringan dalam sistem otonom *OSPF Routing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Cisco System, Inc. 2005. *OSPF Design Guide*, (Online), (http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_white_paper09186a0080094e9e.shtml), diakses 4 Juni 2013).
- Cisco Systems, Inc. 2007. *Exploration 2: Routing Protocols and Concepts*. San Jose, California, US: Cisco Press.
- Deal, R. 2008. *CCNA Cisco Certified Network Associate Study Guide (Exam 640-802)*. US: McGraw-Hill.
- Dubey, A., Makloha, S. & Sarwar, S. 2012. Implementation, Analysis & Comparison of Routing Protocol (RIP & OSPF) Using Network Simulator Education Version Opnet. *International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences (IJREAS)*, Vol.2 (Issue.2): 633-640.
- Eramo, V., Listanti, M. & Cianfrani, A. 2007. OSPF Performance and Optimization of Open Source Routing Software. *International Journal of Computer Science & Applications*, Vol.4 (No.1): 53-68.
- Goyal, M., Soperi, M., Baccelli, E., Choudhury, G., Hosseini, H. & Triverdi, K. 2012. Improving Convergence Speed and Scalability in OSPF: A Survey. *IEEE Journals & Magazines, Communications Surveys & Tutorials, IEEE Transactions*, Vol.14 (Issue 2): 443-463.
- Goyal, M., Xie, W., Soperi, M., Hosseini, S.H. & Vairavan, K. 2007. Scheduling routing table calculations to achieve fast convergence in OSPF protocol. *IEEE Conference Publications, Broadband communications, network and systems, Fourth International Conference on 10-14 September*. Raleigh, NC, USA: IEEE.
- Hasan, S., Khan, M.N.I., Islam, M.N. & Ashique, A.U.M. 2013. Performance

Evaluation of Dynamic Routing Protocols on Video Streaming Applications. *Current Trends in Technology and Science*, Vol.2 (Issue.2): 202-205.

IETF. 1986. *Getting Started in the IETF*, (Online), (<http://www.ietf.org/newcomers.html#whither>, diakses 28 April 2013).

Islam, M.N. & Ashique, M.A.U. 2010. *Simulation-Based Comparative Study of EIGRP and OSPF for Real-Time Applications*. Master Thesis Electrical Engineering, Thesis No: MEE 10:53 tidak diterbitkan. Sweden: Blekinge Institute of Technology.

Miniwatts Marketing Group. 2013. *Internet world stats*, (Online), (<http://www.internetworldstats.com/stats.htm>, diakses 4 Juni 2013).

Moy, J. 1998. *RFC2328: OSPF Version 2*, (Online), (<http://www.ietf.org/rfc/rfc2328>, diakses 28 April 2013).

OPNET Technologies, Inc. 2013. *Network Modeling and Network Simulation Service*, (Online), (<http://www.opnet.com/services/modeling-simulation-service.html>, diakses 30 April 2013).

Pan, J. & Jain, R. 2008. *A Survey of Network Simulation Tools: Current Status and Future Developments*, (Online), (<http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-08/ftp/simtools/>, diakses 30 April 2013).

Politeknik Negeri Manado. 2013. *Borang Institusi Pengelola Program Diploma*. Manado: Politeknik Negeri Manado.

Robertson, G., Bedenbaugh, J. & Nelakuditi, S. 2010. Fast convergence with fast reroute in IP networks. *IEEE Conference Publications, High Performance Switching and Routing (HPSR), International Conference on 13-16 June*. Richardson, TX: IEEE.

- Singh, H. 2013. Effects of OSPF Timers Configurations on Network Convergence in New Generation Routers. *National Conference on Emerging Trends in Electrical, Instrumentation & Communication Engineering, Vol.3 (No.3):* IISTE.
- Thomas, T. 2003. *OSPF Network Design Solutions*. 2nd ed. Indianapolis, USA: Cisco Press.
- Yehia, M.A., Aziz, M.S. & Elsayed, H.A. 2011. Analysis of IGP Routing Protocols for Real Time Applications: A Comparative Study. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, Vol.26 (No.3): 11-17.
- Zhao, D., Hu, X. & Wu, C. 2013. On Understanding OSPF Convergence Dynamics in Presence of Multiple Failures. *ISA Proceedings, The 7th International Conference on Information Security and Assurance*. Korea: ISA.