

**IMPLEMENTASI JARINGAN ENTERPRISE
UNTUK MENINGKATKAN AVAILABILITY JARINGAN
(Study Kasus di SMK N 2 Yogyakarta)**

Haryanto¹⁾, Wing Wahyu Winarno²⁾, Eko Pramono³⁾

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Informatika Universitas AMIKOM Yogyakarta

^{2),3)} Dosen Universitas AMIKOM Yogyakarta

Jl Ring road Utara, Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55281

Email : haryanto77@gmail.com¹⁾, wing@amikom.ac.id²⁾, eko.p@amikom.ac.id³⁾

Abstrak

The enterprise network is a small, medium, or large-scale network in which there is a system built to meet the needs of internal users in accessing intranet, extranet, and remote systems applications. Network availability can be improved by applying redundant networks and hierarchical networks. Redundant links function as fault tolerant when there are links or networking devices that do not work.

The purpose of this research is to replace the topology tree network with enterprise network. Implementation of enterprise network in SMK N 2 Yogyakarta is designed in accordance with the needs of school networks. Enterprise networks implement VLAN and RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol). The network is implemented by adding core layer and distribution layer while the access layer is fixed. At core layer and distribution layer apply redundant link by using Rapid Spanning Tree Protocol. From the results of implementation and testing proved that network availability increased by applying redundant links.

Keywords: *network, enterprise, VLAN, redundant, link, RSTP, layer.*

1. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Jaringan komputer merupakan bagian penting dari sistem komunikasi dalam setiap aspek kehidupan. Tanpa adanya jaringan tidak bisa berkomunikasi antara satu dengan yang lain secara efisien. Jaringan *enterprise* adalah jaringan berskala kecil, sedang, ataupun besar yang di dalamnya terdapat sistem yang dibangun dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pengguna internal dalam mengakses aplikasi intranet, extranet, dan remote system, misalnya jaringan perusahaan yang mempunyai banyak devisi (kantor cabang), jaringan kampus/ perguruan tinggi yang terdiri dari beberapa fakultas/jurusan, sekolah yang terdiri dari beberapa jurusan/gedung.

Jaringan *enterprise* mempunyai kelebihan: (1) Scalability yakni kemudahan instalasi dan interkoneksi, serta perluasan/perkembangan jaringan (2) Redundant link yakni link-link cadangan yang dapat digunakan jika link utama mengalami masalah, ada perbaikan, terjadi banyak antrian

atau mengalami penurunan performa (3) Hirarki yakni pembagian tugas level dan fungsi sehingga alur data (*traffict flow*) jadi lebih terkontrol dengan baik (4) Security yakni aktifitas ilegal dapat diminimalisir pada setiap level.

Performa jaringan komputer dapat diuji berdasarkan besar tingkat availability dari jaringan tersebut. Availability dapat ditingkatkan melalui implementasi jaringan yang *redundant* dengan jaringan hirarki. *Redundant* dalam jaringan komputer berfungsi sebagai fault tolerant apabila terdapat *link* atau *networking device* yang tidak berfungsi. *Redundant* dapat berupa *link redundant*, atau *networking device redundant*. *Device* yang biasanya digunakan adalah switch *enterprise* yang di dukung dengan feature *redundant* dengan menerapkan *spanning tree protocol* contohnya Cisco Catalyst, Mikrotik CRS dan Junifer.

b. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah adalah sebagai berikut

- 1) Bagaimana meningkatkan availability jaringan di SMK N 2 Yogyakarta dengan redundant link?
- 2) Bagaimana menerapkan jaringan hirarki di SMK N 2 Yogyakarta ?

c. Batasan Variabel Penelitian

Berdasarkan luasnya cakupan dalam penelitian ini dan untuk keseragaman pemahaman dalam penelitian maka terdapat batasan variabel yang perlu dilakukan, yaitu :

- 1) Topologi jaringan dirancang ulang menggunakan topologi jaringan *enterprise* sesuai dengan kebutuhan penelitian.
- 2) Implementasinya yaitu pada Jurusan Teknik Komputer Jaringan dan Multimedia yang memiliki 6 laboraturiaum komputer, 1 ruang guru dan 4 area hotspot.
- 3) Topologi jaringan *enterprise* ini hanya membahas tentang teknologi VLAN dan RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*) menggunakan IPv4.

d. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian implementasi jaringan *enterprise* adalah:

- 1) Menggantikan jaringan *topology tree* yang kurang terstruktur dengan jaringan *enterprise* yakni dengan implementasi jaringan *hierarchy* menggunakan VLAN dan *redundant link* menggunakan *spanning tree protocol*.
- 2) Mengimplementasikan jaringan *enterprise* untuk meningkatkan *avalability* jaringan.

e. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan harapan dapat memberikan manfaat :

- 1) Meningkatkan layanan jaringan sistem informasi intranet dan internet dengan implementasi jaringan *enterprise* untuk meningkatkan *availability* jaringan di SMK N 2 Yogyakarta.
- 2) Sebagai media pembelajaran dan praktek untuk siswa program keahlian teknik komputer jaringan dan multimedia khususnya materi jaringan *enterprise*.

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian antara lain:

a. Menemukan Permasalahan

Langkah yang pertama kali dilakukan adalah menemukan permasalahan. Permasalahan yang peneliti temukan adalah tidak tersedianya redundant link dan tidak menerapkan jaringan hirarki sehingga rentan terhadap gangguan hal ini dikarenakan topologi yang diterapkan topologi *tree*.

b. Pengumpulan literatur

Dalam melakukan studi literatur penulis menggunakan antara lain: Buku, Jurnal Ilmiah, Makalah dan Laporan Penelitian sedangkan pada tahap pengumpulan data dan Informasi dilakukan dengan dokumentasi antara lain wawancara dengan kepala sekolah, ketua jurusan, staf Pengelola Data Elektronik (PDE), membaca dokumentasi layout topologi jaringan dan juga survey langsung kelapangan untuk mendapatkan gambaran sesungguhnya topologi yang telah diterapkan.

c. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan antara lain dengan identifikasi kebutuhan yaitu identifikasi kebutuhan data apa saja yang di gunakan, peralatan yang dibutuhkan untuk implementasi jaringan *enterprise*, parameter-parameter yang yang ditetapkan untuk mengukur peningkatan *availability*, software *utility* atau *tool* yang digunakan menganalisa dari hasil penelitian, bagaimana hasil peningkatan *availability* yang diharapkan dan apa saja kelemahan dari sistem tersebut, Pelaporan yaitu kesimpulan dari hasil analisis penelitian.

a. Metodologi Design

Metodologi Design yang dilakukan peneliti antara lain perancangan sistem yaitu pemodelan menggunakan dengan membuat gambar design topologi jaringan interkoneksi yang akan dibangun, dengan gambar ini akan memberikan gambaran seutuhnya dari kebutuhan yang ada. Design bisa berupa design struktur topologi, design akses data dan design tata layout perkabelan yang akan memberikan gambaran jelas tentang *project* yang akan dibangun.

b. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dengan mengumpulkan data awal berupa topologi jaringan awal dan design yang akan diimplementasikan, peralatan yang digunakan, protokol jaringan dan layanan jaringan, untuk analisa peningkatan *availability* jaringan dengan mengukur kecepatan konvergensi *switched network* pada *redundant link*, *throughput* dan *delay*.

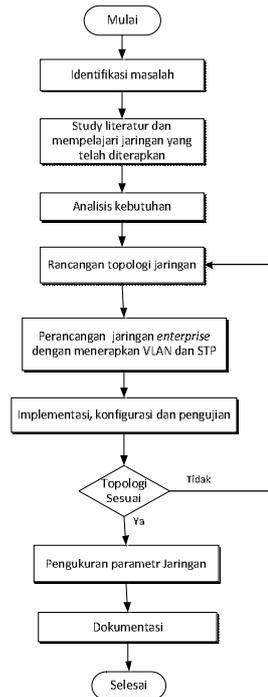
c. Metode Analisis Data

Teknik analisa data pada penelitian ini adalah dengan implementasi jaringan enterprise kemudian mengukur parameter yang mempengaruhi *availability* jaringan yaitu waktu konvergensi *rapid spanning tree protocol*, *delay* jaringan dan *throughput* jaringan. Analisa data waktu konvergensi *spanning tree protocol* dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan perpindahan dari switch utama ke switch cadangan sebagai *redundant device*. Untuk mengukur waktu konvergensi menggunakan *loglist* dari perangkat switch.

Analisa data *delay* jaringan dengan menggunakan *software tool* wireshark dengan cara mengukur lamanya waktu pengiriman bit pertama paket data ICMP sampai ke penerima. Untuk mengukur *throughput* jaringan dengan *software tool iperf* terdiri dari *iperf-server* dan *iperf-client*. Hasil analisa waktu konvergensi RSPT, *delay* dan *throughput* dibandingkan dengan standard kualitas kelayakan.

d. Alur Penelitian

Alur penelitian implementasi jaringan enterprise di tunjukan pada gambar 1. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah jaringan komputer di SMK N 2 Yogyakarta. Untuk menyelesaikan masalah study literatur tentang jaringan yang telah diterapkan. Kemudian melakukan analisis jaringan komputer yang sesuai dan menyiapkan alat yang dibutuhkan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Selanjutnya merancang topologi jaringan dengan menerapkan VLAN dan RSTP. Tahapan selanjutnya implementasi konfigurasi dan pengujian jaringan enterprise di SMK N 2 Yogyakarta, selanjutnya melakukan pengukuran dan analisa data dengan *software utility*, diakhiri dengan penyelesaian laporan penelitian.

3. TINJAUAN PUSTAKA

a. Jaringan *enterprise*

Jaringan *enterprise* adalah jaringan berskala kecil, sedang, ataupun besar yang di dalamnya terdapat sistem yang dibangun dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pengguna internal dalam mengakses aplikasi intranet, extranet, dan remote sistem. Jaringan *enterprise* menerapkan jaringan hirarki dan redundan link. Jaringan hirarki diimplementasikan dengan VLAN sedangkan *redundant link* diimplementasikan dengan RSTP.

Jaringan *enterprise* mengimplementasikan jaringan hirarki. Jaringan hirarki membagi topologi jaringan menjadi 3 layer secara fisik. Setiap layer memiliki fungsi spesifik yang mendefinisikan perannya di dalam keseluruhan jaringan. Jaringan hirarki menjadi bertipe modular dimana lebih mengutamakan pada sisi *scalability* dan performansi. *Hierarchical* model terdiri 3 layer untuk mendefinisikan fungsi yang berbeda yakni:

1. *Access* menyediakan koneksi untuk para pengguna.
2. *Distribution* menyalurkan lalu lintas dari suatu jaringan lokal ke jaringan lain berperan mengontrol akses menuju sumberdaya untuk alasan keamanan dan mengontrol lalu lintas jaringan yang melintasi *core layer*.
3. *Core* sebagai jaringan utama berkecepatan tinggi, harus memiliki komponen yang *redundant*, harus sangat handal, dan harus beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan.

b. VLAN (Virtual Local Area Network)

Virtual Local Area Network(VLAN) adalah sebuah grup dari banyak Host dengan bermacam kebutuhan, dimana hanya dapat berkomunikasi dengan host lain dalam sebuah *broadcast domain*, tanpa mempedulikan lokasi secara fisik dari host tersebut VLAN menyediakan cara untuk mengelompokkan perangkat-perangkat dalam satu LAN. VLAN diterapkan berdasar koneksi logis, bukan fisik. Berdasar fungsi, tim proyek, atau aplikasi tanpa mempedulikan lokasi fisik dari pengguna atau perangkat. VLAN melakukan *broadcast domain* pada layer 2 dari jaringan.

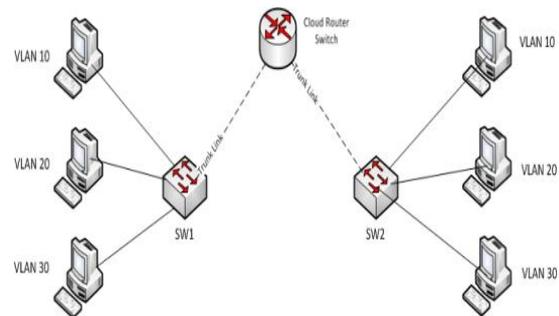
Broadcast domain merupakan suatu set perangkat yang akan menerima *broadcast frames* yang berasal dari perangkat apapun. *Switches* merupakan *multiport bridges* yang

memungkinkan untuk membuat *broadcast domains* yang banyak. Tiap *broadcast domain* berperan seperti *bridge virtual* yang berbeda. Keuntungan VLAN.

- 1) Keamanan, group dapat dipisahkan
- 2) Pengurangan biaya
- 3) Peningkatan kinerja
- 4) Memperkecil *broadcast domain*
- 5) Meningkatkan efisiensi pegawai IT
- 6) Mempermudah proyek dan manajemen aplikasi.

c. VLAN *Trunk*

Sebuah *trunk link* dapat mentransmisikan lebih dari satu VLAN melalui sebuah port switch. *Trunk link* sangat menguntungkan ketika sebuah switch terhubung dengan switch lain, atau terhubung ke router. Sebuah *trunk link* tidak diasosiasikan kepada sebuah VLAN secara spesifik sehingga satu atau banyak, atau seluruh VLAN dapat ditransmisikan antar switch menggunakan sebuah *physical trunk link*. Pada gambar 2 ditunjukkan bahwa tiga buah switch dapat terhubung. Garis putus-putus adalah *trunk link* yang menghubungkan antar segmen VLAN.



Gambar 2. *Trunk Link* VLAN

Jika tidak terdapat *trunk link*, dibutuhkan dua link untuk dapat menghubungkan VLAN yang berlainan segmen. Sejalan dengan bertambahnya VLAN pada sebuah jaringan, jumlah link dapat ikut bertambah secara cepat. Banyak link VLAN dapat dibuat lebih efisien hanya dengan sebuah *trunk link*.

d. *Redundant* LAN

Duplikasi komponen kritis atau fungsi sebuah sistem dengan tujuan meningkatkan realibilitas sistem, terutama untuk tujuan *backup*. Perangkat *redundant* seperti *multilayer switch* menyediakan kemampuan agar dapat menggunakan *default port*

alternatif jika terjadi kegagalan pada *default port* utama. *Redundant switch* di terapkan pada *core layer* dan *distribution layer* dengan menerapkan *spanning tree protocol*, contohnya adalah *cisco catlist*, Mikrotik CRS, Juniper dan sebagainya.

Masalah yang disebabkan *redundant*:

- 1) *MAC database Instability* : isi alamat tabel tidak stabil karena duplikasi *frame* yang sama yang diterima dari *port* yang berbeda pada *switch*, hal ini terjadi karena *ethernet frame* tidak memiliki atribut *time to live* (TTL) yg mengakibatkan penyebaran *frame* ini terus berlangsung pada jaringan *switch* sampai sebuah *link* terganggu dan memutuskan perputaran *frame* tersebut.
- 2) *Broadcast Storm* : terjadi ketika terdapat banyak *broadcast frame* yang ada pada layer 2 loop sehingga semua *bandwidth* habis.
- 3) *Multiple frame Tranmission* : akibat pengiriman *unicast frame* ke jaringan yang memiliki *loop* yg mengakibatkan duplikasi *frame* yang pada perangkat tujuan. Kebanyakan protokol lapisan atas tidak di desain untuk mengenali atau mengatasi duplikasi transmisi.

e. Rapid Spanning Tree Protocol IEEE 802.1W

Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) merupakan perkembangan dari *Spanning Tree Protocol* (STP) dengan waktu konvergensi yang lebih cepat di saat suatu jaringan mulai dioperasikan atau ketika terjadi kerusakan *link* antar *switch* dalam suatu jaringan. RSTP merupakan pengembangan dari original STP IEEE 802.1D protocol membutuhkan waktu konvergensi *spanningtree* yang lebih cepat.

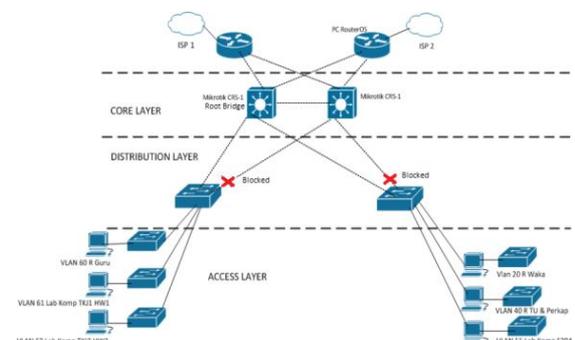
Dimana STP standard membutuhkan waktu up to 50 detik untuk merespon perubahan topologi, RSTP merespon menggunakan time frame dengan 3 *hello BPDUs* atau sekitar 6 detik. Penerapan RSTP pada jaringan VLAN memberikan dukungan yang cukup besar bagi *availability* jaringan dengan memberikan redundansi yang terbebas dari *loop* sehingga jika terjadi kerusakan pada kabel atau *switch*, *Spanning Tree Algorithm* akan berusaha untuk menemukan jalur penggantinya. RSTP memilih satu *switch* sebagai *root* topologi *spanning-tree* aktif dan menentukan peran untuk masing masing individual *port* pada *switch* berdasarkan pada

apakah port tersebut merupakan bagian dari topologi aktif.

RSTP bekerja dengan menambahkan *port* alternatif dan *port* cadangan dibandingkan dengan STP. Port segera berkeadaban *forward* secara pasif menunggu agar jaringan berkumpul kembali. *RSTP bridge port roles*:

- 1) *Root port* : *port forward* yang paling dekat dengan *Root Bridge* dalam hal *path cost*
- 2) *Designated port* : *port forward* untuk setiap segmen LAN
- 3) *Alternate Port* : *port* alternatif terbaik *root bridge*. *port* ini berbeda dengan menggunakan *root port*, *Port* alternatif bergerak ke *forwarding state* jika terjadi kegagalan pada *port* yang ditunjuk untuk melakukan registrasi.
- 4) *Backup Port*: jalur backup / *redundant* ke segmen tempat *port bridge* lain terhubung, *Port backup* hanya berlaku bila satu *switch* memiliki dua *link* ke segmen yang sama (*collision domain*). Untuk memiliki *link* ke domain *collision* yang sama, peralihan harus *diattached* ke *hub*.
- 5) *Disabled port*: tidak sepenuhnya bagian dari STP, administrator jaringan dapat secara manual menonaktifkan *port*.

Diagram konfigurasi *Rapid Spanning tree Protocol* ditunjukkan Gambar 3 RSTP beroperasi sebagai *switch* yang berkomunikasi satu sama lain dengan *switch* lain. Data pesan saling bertukar dalam bentuk yang disebut *bridge protocol data units (BPDU)*. Sebuah *switch* mengirimkan sebuah *BPDU frame* melalui sebuah *port*, menggunakan alamat unik MAC address dari port tersebut sebagai *source address*.



Gambar 3. Rapid Spanning Tree Protocol

Masing-masing switch masih tidak menyadari bahwa terdapat switch lain disekitarnya, sehingga frame BPDU dikirim dengan *destination address* dari *well-known STP multicast address* 01-80-c2-00-00-00. Terdapat dua tipe BPDU yaitu *Configuration BPDU* dan *Topology Change Notification (TCN) BPDU*. *Configuration BPDU* digunakan pada saat proses komputasi *spanning-tree*. *Topology Change Notification (TCN) BPDU* digunakan untuk mengirimkan pengumuman adanya perubahan topology jaringan.

Proses pertukaran BPDU bertujuan untuk memilih sebuah *switch* yang nantinya akan menjadi titik referensi menjadi dasar dari topology *spanning tree* yang stabil. Secara default, BPDU dikirimkan melalui seluruh switch port setiap 2 detik sehingga informasi topology saat ini dapat dikabarkan dan *loop* dapat teridentifikasi secara cepat.

f. Throughput

Throughput adalah kemampuan sebenarnya suatu jaringan dalam melakukan pengiriman data, bersifat dinamis tergantung trafik yang sedang terjadi. Nilai *throughput* sesuai dengan telkom *polytechnic quality standard throughput*(Sugeng dkk, 2015) ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Standard Kualitas *Throughput*

Standar <i>Throughput</i>	Kategori	<i>Throughput</i>
	Sangat bagus	100%
Bagus	75%	
Sedang	50%	
Jelek	<25%	

Beberapa faktor yang menentukan *throughput* adalah (1) Piranti jaringan. (2)Tipe data yang di-transfer(3) Topologi jaringan(4) Banyaknya pengguna jaringan (5) Spesifikasi komputer client/user (6) Spesifikasi komputer server (7) Induksi listrik dan cuaca.

g. Delay

Delay atau *latency* adalah berapa lama waktu yang dibutuhkan seluruh pesan untuk benar-benar tiba di tujuan dari waktu bit pertama dikirim keluar dari sumbernya (Forouzan, 2007). Untuk dapat mengetahui kualitas dari *delay* dapat digunakan standar ITU-T G.114 seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar ITU-T G.114

Standar <i>Delay</i>	Kategori	Delay
	Bagus	< 150 ms
Sedang	150- 400 ms	
Jelek	> 400 ms	

Beberapa faktor yang menentukan *delay* adalah (1) Redaman yaitu turun-naiknya kuat sinyal karena penambahan jarak pada media transmisi, tergantung dari bahan yang digunakan. (2) Distorsi dan Noise yaitu fenomena yang disebabkan bervariasinya *bandwidth* yang diterima client dari waktu kedatangan paket yang menyebabkan penyempitan *bandwidth* dan antrian, penyebabnya induksi listrik dan cuaca.

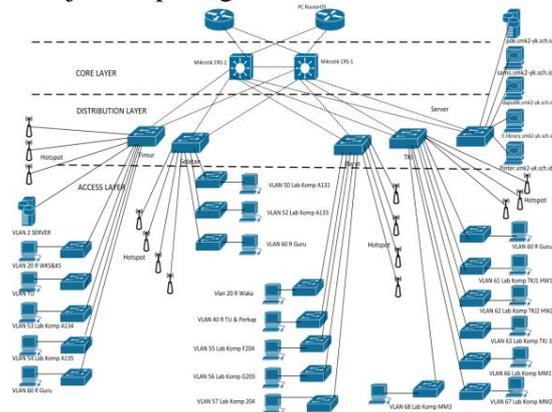
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis dan Rancangan Sistem

Jaringan komputer di SMK N 2 Yogyakarta sudah cukup baik, topologi yang diterapkan yaitu topologi *Tree* yang bercabang karena perkembangan bertambahnya jumlah host. Jaringan komputer sudah menggunakan router untuk membagi jaringan menjadi 3 sektor yakni sektor barat, sektor timur dan sektor selatan. Sektor selatan dengan IP 192.168.20.0/24, sektor barat dengan IP address 192.168.40.0/24 dan sektor timur dengan IP address 192.168.60.0/24. Pada setiap sektor terhubung ke *gateway* router yang sudah mengimplementasikan DHCP server, menggunakan switch berkecepatan 1000 Mbps dengan menggunakan kabel koneksi RJ 45 Cat 6 untuk jalur utamanya. Untuk switch sudah menggunakan *wall mount cabinet* 19 inch 16U. Sudah menggunakan switch layer 2 (*manageble*) untuk mengelompokan setiap sektor yang didistribusikan tetapi belum menerapkan VLAN, dan belum ada redundant link.

Untuk mengimplementasikan jaringan *enterprise* yang sebelumnya menerapkan jaringan topologi *tree*, desainnya dengan menambahkan *core layer* dan *distribution layer*. *Core layer* menggunakan perangkat yang mendukung VLAN dan RSTP. Pada *core layer* menggunakan perangkat Mikrotik Cloud Router Switch CRS125-24G RM yang merupakan switch layer 3. Sedangkan pada *distribution layer* menggunakan switch *enterprise* TP-LINK JetStream gigabit L2 *managed* switch TL-SG3216 dan Allied Telesis AT GS950 yang sudah ada, *Layer access* tetap tidak mengalami perubahan.

Design jaringan yang diimplementasikan ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Design Jaringan *enterprise* SMK N 2 Yogyakarta

Pada gambar 4 design jaringan yang diusulkan di SMK N 2 Yogyakarta yang mempunyai koneksi 2 Internet Service Provider. Masuk ke RouterOS. RouterOS mempunyai 13 ethernet berkecepatan 1000 Mbps. Switch Core layer masing-masing mendapatkan 1 ethernet dari PC Core Layer menggunakan 2 unit Switch layer 3, Mikrotik CRS125-24G RM dengan mode *redundant* hal ini untuk meningkatkan *availability* jaringan, pada kondisi normal Switch core utama yang menangani core layer tetapi ketika terjadi masalah yang menyebabkan gagalnya koneksi maka akan berpindah port dari switch core cadangan.

Waktu perpindahan dari switch core utama ke switchcore cadangan membutuhkan waktu konvergensi dalam orde detik. Core layer memiliki kecepatan yang tinggi sehingga tanpa danya *filtering*. Core layer mengimplementasikan VLAN dengan Trunk VLAN yang di distribusikan ke switch distribution. Distribution layer menggunakan switchenterprise Gigabit dengan mengkonfigurasi STP dan VLAN masing-masing terhubung ke switch core layer menggunakan kabel UTP Category 6.

Distribution layer menerima data jaringan dari Trunk VLAN yang berisi banyak VLAN jaringan dan akan didistribusikan ke port tunggal ke masing-masing divisi (bagian) pada access layer. Pada setiap domain VLAN mempunyai gateway untuk interkoneksi ke VLAN yang lain dan juga ke internet. Pada implementasi ini di design ada 22 VLAN domain, dan dua VTP untuk trunk VLAN yang di hubungkan ke switch core layer utama dan satunya ke switchcore layer

cadangan yang ditunjukkan pada pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi VLAN

No	VLAN	IP Gateway	DHCP Range	Ruang
1	2	192.168.5.1/24	-	Server
2	10	172.16.10.1/16	172.16.10.1-172.16.100.200	Hotspot, Rapat
3	20	192.168.20.1/24	192.168.20.20-192.168.20.200	R KS & WAKA
4	30	192.168.30.1/24	192.168.30.20-192.168.30.200	Perpustakaan
5	40	192.168.40.1/24	192.168.40.20-192.168.40.200	R TU & Perkap
6	50	192.168.50.1/24	192.168.50.20-192.168.50.200	Lab Komp SAS A131
7	51	192.168.51.1/24	192.168.51.20-192.168.51.200	Lab Komp TP A133
8	52	192.168.52.1/24	192.168.52.20-192.168.52.200	Lab Komp TP A134
9	53	192.168.53.1/24	192.168.53.20-192.168.53.200	Lab Komp A135
10	54	192.168.54.1/24	192.168.54.20-192.168.54.200	Lab Komp TAV B202
11	55	192.168.55.1/24	192.168.55.20-192.168.55.200	Lab Komp TITL F204
12	56	192.168.56.1/24	192.168.56.20-192.168.56.200	Lab Komp TGB G203
13	57	192.168.57.1/24	192.168.57.20-192.168.57.200	Lab Komp TGB G204
14	60	192.168.60.1/24	192.168.60.20-192.168.60.200	R Guru
15	61	192.168.61.1/24	192.168.61.20-192.168.61.200	Lab Komp TKI D102
16	62	192.168.62.1/24	192.168.62.20-192.168.62.200	Lab Komp TKI D104
17	63	192.168.63.1/24	192.168.63.20-192.168.63.200	Lab Komp TKI D201
18	66	192.168.66.1/24	192.168.66.20-192.168.66.200	Lab Komp TKI D202
19	67	192.168.67.1/24	192.168.67.20-192.168.67.200	Lab Komp TKI D204
20	68	192.168.68.1/24	192.168.68.20-192.168.68.200	Lab Komp TKI D205
21	70	192.168.70.1/24	192.168.70.20-192.168.70.200	VOIP
22	88	192.168.88.1/24	192.168.88.20-192.168.88.100	CCTV
23	Trunk			
24	Trunk			

DHCP server diimplementasikan pada semua domain VLAN, kecuali pada VLAN server tidak menggunakan DHCP server melainkan menggunakan pengalamatan statis. Pengalamatan menggunakan kelas C kecuali pada VLAN hotspot menggunakan pengalamatan kelas B, sehingga hotspot bisa mengalami minimal 2500 host yaitu setara dengan total jumlah siswa, guru dan tenaga kependidikan.

Distribusi VLAN sektor Teknik Komputer dan Informatika ditunjukkan pada tabel 4. VLAN sektor Teknik Komputer dan Informatika diimplementasikan switchenterprise TP-LINKJetStream gigabit TL-SG3216. Untuk mendistribusikan ke Ruang Guru D104, Lab Komputer TKI D104, Lab Komputer TKI D104, Lab Komputer TKI D201, Lab Komputer TKI D202, Lab Komputer TKI D204, Lab Komputer TKI D205 dan Area Hotspot. Untuk manajemen

switch VLAN dengan menkonfigurasi switch pada VLAN ID 62 dengan IP address 192.168.62.2/24 dengan gateway 192.168.62.1.

Tabel 4. Distribusi VLAN Teknik Komputer dan Informatika

Port	VLAN	IP Gateway	DHCP Range	Ruang
1	2	192.168.5.1/24	-	Server
2	10	172.16.10.1/16	172.16.10.1 - 172.16.100.200	Hotspot
3	10	172.16.10.1/16	172.16.10.1 - 172.16.100.200	Hotspot
4	10	172.16.10.1/16	172.16.10.1 - 172.16.100.200	Hotspot
5	10	172.16.10.1/16	172.16.10.1 - 172.16.100.200	Hotspot
6	60	192.168.60.1/24	192.168.60.20-192.168.60.200	R Guru
7	61	192.168.61.1/24	192.168.61.20-192.168.61.200	Lab Komp TKI D102
8	62	192.168.62.1/24	192.168.62.20-192.168.62.200	Lab Komp TKI D104
9	63	192.168.63.1/24	192.168.63.20-192.168.63.200	Lab Komp TKI D201
10	66	192.168.66.1/24	192.168.66.20-192.168.66.200	Lab Komp TKI D202
11	67	192.168.67.1/24	192.168.67.20-192.168.67.200	Lab Komp TKI D204
12	68	192.168.68.1/24	192.168.68.20-192.168.68.200	Lab Komp TKI D205
13	70	192.168.70.1/24	192.168.70.20-192.168.70.200	VOIP
14	88	192.168.88.1/24	192.168.88.20-192.168.88.100	CCTV
15	Trunk			
16	Trunk			

Untuk mendistribusikan ke Ruang Guru D104, Lab Komputer TKI D104, Lab Komputer TKI D104, Lab Komputer TKI D201, Lab Komputer TKI D202, Lab Komputer TKI D204, Lab Komputer TKI D205 dan Area Hotspot. Untuk manajemen switch VLAN dengan menkonfigurasi switch pada VLAN ID 62 dengan IP address 192.168.62.2/24 dengan gateway 192.168.62.1.

b. Pembahasan

Implementasi jaringan enterprise dengan menerapkan jaringan hierarchical. Core layer dengan Mikrotik CRS125-24G RM yang merupakan switch layer 3, feature yang diterapkan VLAN dan RSTP. Layer dirtribution dengan menggunakan switch enterprise TP-LINK JetStream gigabit L2 managed switch TL-SG321 dan switch manageble 24 port Aliied Telesis AT-GS 950/24 dengan mengaktifkan feature Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP).

Konfigurasi untuk masing-masing peralatan adalah sebagai berikut:

- 1) Router menggunakan mikrotik RB1100AHx2 dikonfigurasi untuk VLAN serta routing interVLAN, router ini mempunyai 13 port gigabit dan sudah menggunakan sistem operasi mikrotik routerOS level 6, alat sudah ada dan diterapkan untuk routing.
- 2) Mikrotik Cloud Router Switch CRS125-24G RM dikonfigurasi Switch Core Layer VLAN, Switch ini bisa bekerja pada layer 3, mempunyai 24 port ethernet berkecepatan gigabit dan 1 port SFT gigabit dengan harga yang kompetitif.
- 3) Distribution Layer dikonfigurasi switch enterprise TP-LINK JetStream gigabit L2 managed switch TL-SG321 dan Allied Telesis AT 950 AT di konfigurasi untuk VLAN dan Rapid Spanning Tree Protocol, switch ini bekerja pada layer 2 berkecepatan gigabit, alat ini sudah ada dan pada awalnya untuk mengelompokkan port.

c. Implementasi Core Layer

Core layer diimplementasikan dengan menggunakan switch layer 3 yaitu router dengan kemampuan *fastforwarding* melalui hardware. Ip forwarding biasanya melibatkan *routelookup*, pengurangan (*decrement*) perhitungan TTL, dan menghitung ulang *checksum*, dan *memforward* frame dengan MAC header yang sesuai ke output port yang benar. Lookup dapat dilakukan di hardware, seperti halnya *decrementing* TTL dan perhitungan ulang *checksum*. Switch layer 3 menjalankan routing protokol seperti OSPF atau RIP untuk berkomunikasi dengan switch layer 3 lainnya atau router dan membangun *routing table* mereka. Routing table ini dilihat untuk menentukan rute dari paket yang datang. Core layer menggunakan switch layer 3 Mikrotik CRS125-24G RM dengan spesifikasi:

CPU: Qualcomm Atheros AR9344 600 MHz
 Memory: 128MB, Ethernet: 24x 10/100/1000 Mbit/s Gigabit Ethernet with Auto-MDI/X, Storage: 128MB Onboard NAND
 OS: Mikrotik RouterOS v6, Level 5 license

Fully manageable L3 switch, full wire speed switching

Konfigurasi pada Switch CRS utama dan Switch CRS cadangan sebagai berikut :

```

/interface ethernet
set [ find default-name=ether23 ]
    name=23. Jalur-Utama
set [ find default-name=ether24 ]
    name=24. Ether24
set [ find default-name=ether1 ]
    master-port=23. Jalur-Utama
    1-Distribusi-Utara
set [ find default-name=ether2 ]
    master-port=23. Jalur-Utama
    2-Distribusi-Timur
set [ find default-name=ether3 ]
    master-port=23. Jalur-Utama
    3-Distribusi-Selatan
set [ find default-name=ether4 ]
    master-port=23. Jalur-Utama
    4-Distribusi-Barat
set [ find default-name=ether9 ]
    master-port=23. Jalur-Utama
    9-Distribusi-Server
/interface bridge port
add bridge=bridge1
    interface=23. Jalur-Cadangan path-
    cost=40
add bridge=bridge1
    interface=24. Ether24 path-cost=10
    
```

Perbedaan konfigurasi switch core utama dan cadangan terletak pada *pathcost* untuk switch utama *pathcost*=10, sedangkan pada switch cadangan *pathcost*=20.

d. Implementasi Layer Distribution

Layer distribution menggunakan *switch layer 2* bekerja sebagai *node IP* terakhir dalam SNMP, *telnet*, dan *web management*. Fungsi *management* tersebut melibatkan keberadaan IP *stack* pada router bersamaan dengan UDP, TCP, *telnet* dan fungsi SNMP. Pada umumnya *switch layer 2* bersifat *MAC Frame based*, tidak melibatkan perubahan *MAC Frame* dan menyediakan *switching transprent* secara paralel dengan *MAC Frames*. karena bekerja pada *layer 2*, *switch layer 2* bersifat *protocol independent* (tidak bergantung pada protokol

apapun). *Switch* itu sendiri memiliki sebuah *MAC Address* sehingga mereka dapat dialamatkan sebagai *end node layer 2* yang mana juga menyediakan fungsi *transparent switch*. Pada *distribution layer* menggunakan *Switch enterprise TP-LINK Jetstream* gigabit L2 TL-SG321 dengan konfigurasi. Konfigurasi switch *distribution layer* sektor TKJ ditunjukkan pada gambar 5.

```

!TL-SG3216
vlan 2,10,60-63,66-68,70
vlan 2 name "2-Server"
vlan 10 name "10-Hotspot"
vlan 60 name "60-R Guru "
vlan 61 name "61-HW1"
vlan 62 name "62-HW2"
vlan 63 name "63-Lab Kom TKJ 3"
vlan 66 name "66-Lab Kom D102"
vlan 67 name "67-Lab Kom D204"
vlan 68 name "68-Lab Kom D205"
vlan 70 name "70 VOIP"
mac address-table aging-time 300
spanning-tree spanning-tree mode
rstp
ip ssh server
interface gigabitEthernet 1/0/1
switchport access vlan 2
interface gigabitEthernet 1/0/2
switchport access vlan 10
interface gigabitEthernet 1/0/3
switchport access vlan 10
interface gigabitEthernet 1/0/4
switchport access vlan 60
interface gigabitEthernet 1/0/5
switchport access vlan 60
interface gigabitEthernet 1/0/6
switchport access vlan 60
interface gigabitEthernet 1/0/7
switchport access vlan 61
interface gigabitEthernet 1/0/8
switchport access vlan 60
interface gigabitEthernet 1/0/9
switchport access vlan 63
interface gigabitEthernet 1/0/10
switchport access vlan 66
interface gigabitEthernet 1/0/11
switchport access vlan 67
interface gigabitEthernet 1/0/12
switchport access vlan 68
    
```

```

interface gigabitEthernet 1/0/13
switchport access vlan 70
interface gigabitEthernet 1/0/14
interface gigabitEthernet 1/0/15
switchport mode trunk
switchport trunk allowed vlan
2, 10, 60-63, 66-68, 70
switchport pvid 10
spanning-tree
interface gigabitEthernet 1/0/16
switchport mode trunk
switchport trunk allowed vlan
2, 10, 60-63, 66-68, 70
switchport pvid 10
spanning-tree
ip management-vlan 62 interface
vlan 62
ip address 192.168.62.2
255.255.255.0 192.168.62.1
end
    
```

Gambar 5. Konfigurasi switch distribution sektor TKJ

e. Pengolahan Data

Parameter yang di ukur yakni waktu konvergensi RSTP, *throughput*, dan *delay*. *Software tools* yang digunakan untuk mengambil data dan mengolah data yaitu menggunakan *wireshark* dan *iperf*. Pengukuran dilakukan pada jaringan media transmisi fisik kabel UTP *category* 6 sesuai spesifikasi peralatan yang digunakan yakni 1000 Mbps. Pada pengukuran ini kita batasi pada jaringan yang telah diimplementasikan yakni pada jurusan Teknik Komputer Jaringan dan Multimedia.

Pengukuran dilakukan pada proses transmisi data dari suatu titik pusat layanan jaringan sekolah. Semua pengukuran dilakukan tanpa adanya filtering di router dan juga limitasi bandwidth pada router. Perangkat yang digunakan pada pengukuran *throughput* menggunakan *software tool* iperf dengan sistem operasi debian 8.6 dengan spesifikasi Intel core i3, RAM 4GB dan NIC 1000 Mbps untuk server iperf sedangkan untuk client menggunakan sistem operasi windows 7 spesifikasi notebook Intel core i3, RAM 4 GB dengan NIC 1000 Mbps. Untuk pengukuran *delay* menggunakan *software tool* *wireshark* dengan sistem operasi windows 7

spesifikasi notebook Intel core i3, RAM 4 GB dengan NIC 1000 Mbps.

f. Pengolahan data waktu konvergensi *Spanning Tree Protocol*

Waktu konvergensi adalah waktu yang dibutuhkan pada sebuah jaringan untuk menentukan *switch* mana yang menjadi *root bridge*, melalui seluruh *portstate*, dan melakukan set seluruh *port* menjadi *port finalspanning tree* dimana seluruh potential *loop* telah dieliminasi.

g. Pengolahan data konvergensi *Failover*

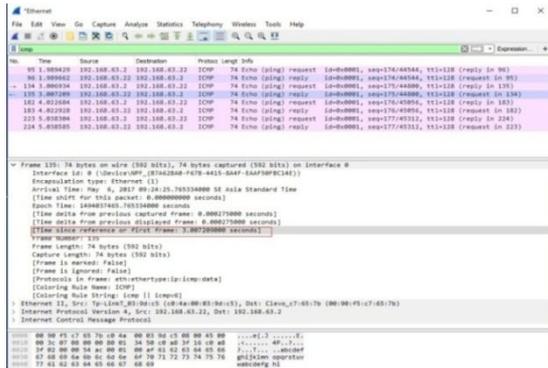
Konvergensi *failover* adalah waktu yang dibutuhkan oleh *switch* untuk kembali konvergen setelah mengalami kegagalan (perubahan) topologi.

Index	Time	Module	Severity	Content
1	2017-04-30 22:22:40	MSTP	level_6	Received topology change on port 16 CIST.
2	2017-04-30 22:22:38	MSTP	level_6	Received topology change on port 16 CIST.
3	2017-04-30 22:22:38	MSTP	level_6	Sent topology change on CIST port 15.
4	2017-04-30 22:22:36	MSTP	level_6	Sent topology change on CIST port 15.
5	2017-04-30 22:22:36	MSTP	level_6	Received topology change on port 16 CIST.
6	2017-04-30 22:22:35	MSTP	level_6	Received topology change on port 16 CIST.
7	2017-04-30 22:22:34	MSTP	level_6	Sent topology change on CIST port 15.
8	2017-04-30 22:22:34	Link	level_3	port 15, changed state to up.
9	2017-04-30 22:22:34	MSTP	level_6	MSTP port config changed on port 15. Recovery
10	2017-04-30 22:22:31	Port	level_5	Enable port 15 by admin on web (192.168.63.163).
11	2017-04-30 22:18:45	MSTP	level_6	Sent topology change on CIST port 16. Failover
12	2017-04-30 22:18:43	MSTP	level_6	Sent topology change on CIST port 16.
13	2017-04-30 22:18:41	Link	level_3	port 15, changed state to down.

Gambar 6. Log List pada Switch

Pengolahan data dilakukan dengan mengamati perubahan *port* status. Pengukuran dilakukan dengan cara menonaktifkan *port* utama kemudian mengamati waktu perpindahan *port* utama yakni *port* 15 ke *port* 16 sebagai *port* alternatif pada *switch layer* 2 TP-Link TL-SG321. Pengukuran dengan mengamati pada *log list*, hasilnya seperti gambar 6.

Pada gambar 6, pada waktu 22:18:41 dikondisikan port utama dari switch TP-Link TL-SG3216 dalam kondisi *down*, kemudian protocol STP mengirimkan paket data BPDU untuk perubahan topologi dengan waktu 22:18:43 untuk mengaktifkan port 16 yang pada awalnya sebagai alternate berubah menjadi *root bridge* pada waktu 22:18:45. Perubahan ini bisa ditunjukkan pada gambar 7. Waktu *failover* konvergensi yang dibutuhkan yaitu dari 22:18:41 sampai dengan 22:18:45 yakni selama 4 detik.



Gambar 10. Waktu penerimaan bit pertama.

Hasil pengukuran untuk *source IP Address* dan *destination IP address* yang lain, ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran *delay*

No	IP Source	IP Destination	Delay
1	192.168.5.2	192.168.10.22	0,397 ms
2	192.168.5.2	192.168.60.22	0,327 ms
3	192.168.5.2	192.168.61.22	0,373 ms
4	192.168.5.2	192.168.62.22	0,656 ms
5	192.168.5.2	192.168.63.22	0,380 ms
6	192.168.5.2	192.168.66.22	0,313 ms
7	192.168.5.2	192.168.67.22	0,643 ms
8	192.168.5.2	192.168.68.22	0,354 ms
9	192.168.60.2	192.168.67.22	0,418 ms
10	192.168.5.2	192.168.5.22	0,331 ms
11	192.168.63.2	192.168.63.22	0,275 ms

Beberapa faktor yang menentukan throughput adalah (1) Piranti jaringan. (2) Tipe data yang di-transfer. (3) Topologi jaringan. (4) Banyaknya pengguna jaringan. (5) Spesifikasinya komputer client/user. (6) Spesifikasinya komputer server. (7) Induksi listrik dan cuaca.

k. Analisis Hasil

1) Analisis

Analisis hasil meliputi uraian tentang model dan cara menganalisis hasil. Dalam bagian Dari hasil pengolahan data dapat di analisis pada masing-masing parameter yang yang menentukan *availability* yakni waktu konvergensi, *throughput*, dan *delay*. Pengukuran pengolahan data dilakukan pada jaringan *enterprise* yang telah diimplementasikan yaitu jaringan internal sekolah dari setiap *broadcast* domain VLAN dan antar *broadcast* VLAN.

2) Analisis waktu konvergensi.

Konvergensi failover terukur selama 4 detik untuk kembali konvergen setelah

mengalami kegagalan (perubahan) topologi. Sedangkan konvergensi *recovery* selama 6 detik untuk perubahan topologi ketika link yang putus (*blocking*) tersebut hidup (*forward*) kembali. Konvergensi *recovery* pada saat terdapat port pada switch yang mengalami *listeningstate*, hingga port tersebut menjadi *forwardingstate*.

Jaringan di SMK N 2 Yogyakarta yang lama dengan topologi *tree* tidak ada *redundant link*, sehingga jika terjadi masalah pada router utama maka semua jaringan SMK N 2 Yogyakarta akan down. Jika terjadi offline link ke salah satu sektor yakni barat, timur dan utara, maka satu sektor tersebut akan down semua, dengan diimplementasikan *redundant link* menggunakan *Rapid Spanning Tree Protocol* (RSTP) maka jika terjadi *error* pada switch utama, maka switching akan beralih ke switch core cadangan dengan waktu 6 detik yang tidak akan menyebabkan jaringan *down*. Jika terjadi *error* pada link utama switch *distribution layer* maka akan beralih ke link *distribution layer* dengan waktu 6 detik.

3) Analisis Throughput.

Jaringan *enterprise* yang diimplementasikan berkecepatan 1000 Mbps. Hasil pengukuran yang telah dilakukan rata-ratanya 856,27 Mbps atau sebesar 85,627% dari throughput maksimal. Nilai throughput sesuai dengan telkom polytechnic quality standar throughput di tunjukkan pada tabel 2. Data *throughput* pada jaringan *enterprise* yang diimplementasikan di SMKN 2 Yogyakarta yang terukur ditunjukkan pada tabel 5. Perbandingan standar *throughput* dengan pengukuran maka jaringan yang diimplementasikan pada range 75 %-100% dari throughput maksimal yakni 1000Mbps, sehingga *throughput* pada kategori bagus. *Throughput* yang terukur pada jaringan internal sekolah atau jaringan intranet sekolah menggunakan 1 *hope* router. Media transmisi yang pakai kabel UTP *Category* 6. Panjang kabel yang di pakai untuk *trunk* adalah 75 m.

4) Analisis Delay.

Pada pengukuran parameter *delay* dengan menggunakan software tool *wiresahark* yakni waktu yang dibutuhkan pada awal paket yang dikirim dari source IP host sampai destination IP host ditunjukkan pada tabel 3.8. *Delay* paling kecil pada tabel

3.8 terdapat pada no 11 yakni pada IP Source 192.168.63.2 dengan IP destination 192.168.63.22 delay sebesar 0,275ms, pengukuran ini dalam satu *broadcast domain* atau dalam satu *network ID* sehingga tidak terjadi proses routing. Delay paling besar pada tabel 3.8 no 4 yakni sebesar 0,656 ms dengan IP source 192.168.5.2 dan IP destination 192.168.61.22 ini terjadi pada jaringan yang berbeda *broadcast domain* sehingga terjadi routing pada router. Tabel 3. 8. Hasil pengukuran *delay*.

Pada tabel 3.8 didapatkan bahwa delay didalam jaringan enterprise rata-ratanya 0,4061 ms hal ini dikarenakan redaman dan distorsi karena jatuhnya kuat sinyal yang disebabkan penambahan jarak pada media transmisi dan tergantung dari bahan media transmisi yang digunakan. Delay yang terukur pada jaringan internal sekolah atau jaringan intranet sekolah menggunakan 1 hope router dengan menggunakan media transmisi kabel UTP Category 6.

Delay yang terukur pada jaringan internal sekolah atau jaringan intranet sekolah menggunakan 1 hope router. Media transmisi yang pakai kabel UTP Category 6.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan implementasi jaringan dan hasil analisis setelah melakukan pengujian pada jaringan yang baru maka kesimpulan yang didapatkan adalah:

- 1) Implementasi jaringan *enterprise* di SMKN 2 Yogyakarta, terbukti bisa meningkatkan *availability* jaringan. Hal ini dicapai dengan menerapkan *redundant link* menggunakan *Rapid Spanning Tree Protocol* sesuai dengan Standar IEEE 802.1W. Waktu konvergensi yang dibutuhkan untuk konvergensi *failover* adalah 4 detik sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk konvergensi *recovery* selama 6 detik. Dibandingkan dengan topologi *tree* yang diterapkan sebelumnya tanpa adanya *redundant link* ketika terjadi error jaringan memerlukan waktu yang tidak pasti tergantung ketersediaan komponen pengganti dan teknisi yang melakukan perbaikan.
- 2) Jaringan hirarki dengan menerapkan VLAN terbukti bisa menjaga performa

jaringan berdasarkan parameter *throughput* rata-rata 856,27 Mbps dari *throughput* pada maksimal yaitu 1000 Mbps atau sebesar 85,627%, Sesuai dengan standar telkom *polytechnic quality* termasuk pada kategori bagus.

- 3) Jaringan hirarki dengan menerapkan VLAN terbukti bisa menjaga performa jaringan berdasarkan parameter *delay* yang telah terukur rerata 0,4061 ms, sesuai dengan standar ITU-T G.114 hasilnya pada range $0 < 150$ ms sehingga pada kategori bagus.

b. Saran

Berdasarkan implementasi jaringan dan hasil analisis setelah melakukan pengujian pada jaringan yang baru maka disarankan :

- 1) Untuk meningkatkan *throughput* pada jalur trunk perlu diimplementasikan bonding LACP IEEE 802.3ad. Karena dapat meningkatkan *throughput* sebesar 2 kali lipat tanpa mengganti perangkat keras maupun media transmisi.
- 2) Untuk meningkatkan performa dan efisiensi pada jaringan *enterprise* berkecepatan 1000 Mbps perlu implementasi dengan switch yang mendukung untuk standar IEEE 802.3af. Karena mendukung *Power Over Ethernet* (POE) berkecepatan 1000 Mbps.

6. REFERENSI

- Ahuja, Dewan, Gupta and Sood, (2014). Enhancing the competence of enterprise network using contemporary networking paradigms, Transactions on Networks and Communications, Volume 2 No 5, Oct (2014); pp: 201-213
- Bachry, (2013). Pengembangan sistem informasi jaringan berbasis Enterprise Resource Planning (ERP) PT. Sinar Antjol, Jurnal Informatika, pp. 1-9.
- Cisco Systems, Inc. (2010). Understanding Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w).
- Firmansyah, (2010). Perancangan Model Jaringan "Enterprise Network", jurnal DASI, pp. 72-84.
- Forouzan, B.A. (2010). TCP/IP Protocol Suite. Fourth edition, McGraw-Hill, New York

- István Mezgar, Ursula Rauschecker, (2014).
The challenge of networked enterprises
for cloud computing interoperability,
Jurnal COMIND-2557 pp. 1 – 18.
- Lapukhov, P. (2010). Understanding STP and
RSTP Convergence, Internetwork
Expert Inc.
- Mahendra, Utami &Pangera, (2013).
Perancangan dan Pengembangan
Keamanan Jaringan Enterprise dengan
VPN, Seminar Nasional Teknologi
Informasi dan Multimedia 2013,
STMIK AMIKOM Yogyakarta, pp. 21-
39 - 21-44.
- Yovita, Irawati & Wibowo. (2015), Jaringan
Komputer dan Data Lanjut, Deepublish,
Yogyakarta