

INFORMASI INTERAKTIF

JURNAL INFORMATIKA DAN TEKNOLOGI INFORMASI

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA – FAKULTAS TEKNIK -UNIVERSITAS JANABADRA

MODIFIKASI KRIPTOGRAFI KLASIK VIGENERE CIPHER MENGGUNAKAN ONE TIME PAD DENGAN ENKRIPSI BERLANJUT

M. Ziaurrahman, Ema Utami, Ferry Wahyu Wibowo

PERBANDINGAN METODE WEIGHTED PRODUCT DAN SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING DALAM SELEKSI PENGURUS FORUM ASISTEN (STUDI KASUS : UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA)

Musthofa Galih Pradana, Kusri, Emha Taufiq Luthfi

APLIKASI SECURE-MESSAGE DENGAN ALGORITMA RC6 (RIVEST CODE 6) BERBASIS ANDROID

Arif Susanto Adhy, Fatsyahrina Fitriastuti, Jemmy Edwin Bororing

ANALISIS PERBANDINGAN SIMULASI LOAD BALANCE MENGGUNAKAN METODE ECMC DAN PCC PADA PENERAPAN KONGESTI MANAJEMEN BANDWIDTH HTB (STUDI KASUS: UNIVERSITAS KRISTEN IMMANUEL, YOGYAKARTA)

Azriel Christian Nurcahyo, Ema Utami, Suwanto Raharjo

EVALUASI INVESTASI TEKNOLOGI INFORMASI DENGAN MENGGUNAKAN DOMAIN VALUE GOVERNANCE VAL IT FRAMEWORK 2.0 (STUDI KASUS: CV.BERKA)

Ferdy Firmansyah, Wing Wahyu Winarno, Asro Nasiri

PREDIKSI PENJUALAN KOSMETIK DENGAN SUPPORT VECTOR MACHINE

Aflahah Apriliyani, Ema Utami, Suwanto Raharjo

ANALISIS PENERIMAAN APLIKASI GABLIND MENGGUNAKAN METODE UNIFIED THEORY OF ACCEPTANCE AND USE OF TECHNOLOGY TERHADAP PERILAKU PENGGUNA

Monalisa Fatmawati Sarifah, Ema Utami, Asro Nasiri

PERANCANGAN SISTEM PAKAR FINAL CHECK MOTOR MATIC MENGGUNAKAN METODE FORWARD CHAINING STUDI KASUS AHASS 9677

Wahit Desta Prastowo, Kusri, Ferry Wahyu Wibowo

KLASIFIKASI AUDIO MENGGUNAKAN WAVELET TRANSFORM DAN NEURAL NETWORK

Yulianto Mustaqim, Ema Utami, Suwanto Raharjo



DEWAN EDITORIAL

- Penerbit** : Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Janabadra
- Ketua Penyunting
(Editor in Chief)** : Fatsyahrina Fitriastuti, S.Si., M.T. (Universitas Janabadra)
- Penyunting (Editor)** : 1. Selo, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D. (Universitas Gajah Mada)
2. Dr. Kusriani, S.Kom., M.Kom. (Universitas Amikom Yogyakarta)
3. Jemmy Edwin B, S.Kom., M.Eng. (Universitas Janabadra)
4. Ryan Ari Setyawan, S.Kom., M.Eng. (Universitas Janabadra)
5. Yumarlin MZ, S.Kom., M.Pd., M.Kom. (Universitas Janabadra)
- Alamat Redaksi** : Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik
Universitas Janabadra
Jl. Tentara Rakyat Mataram No. 55-57
Yogyakarta 55231
Telp./Fax : (0274) 543676
E-mail: informasi.interaktif@janabadra.ac.id
Website : <http://e-journal.janabadra.ac.id/>
- Frekuensi Terbit** : 3 kali setahun

JURNAL INFORMASI INTERAKTIF merupakan media komunikasi hasil penelitian, studi kasus, dan ulasan ilmiah bagi ilmuwan dan praktisi dibidang Teknik Informatika. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Janabadra di Yogyakarta, tiga kali setahun pada bulan Januari, Mei dan September.

DAFTAR ISI

	<i>halaman</i>
Modifikasi Kriptografi Klasik <i>Vigenere Cipher</i> Menggunakan <i>One Time Pad</i> Dengan Enkripsi Berlanjut M. Ziaurrahman, Ema Utami, Ferry Wahyu Wibowo	63 - 68
Perbandingan Metode <i>Weighted Product</i> dan <i>Simple Additive Weighting</i> dalam Seleksi Pengurus Forum Asisten (Studi Kasus : Universitas Amikom Yogyakarta) Musthofa Galih Pradana, Kusrini, Emha Taufiq Luthfi	69 - 77
Aplikasi <i>Secure-Message</i> dengan Algoritma RC6 (<i>Rivest Code 6</i>) Berbasis Android Arif Susanto Adhy, Fatsyahrina Fitriastuti, Jemmy Edwin Bororing	78 - 83
Analisis Perbandingan Simulasi <i>Load Balance</i> Menggunakan Metode ECMC dan PCC pada Penerapan Kongesti Manajemen Bandwidth HTB (Studi Kasus: Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta) Azriel Christian Nurcahyo, Ema Utami, Suwanto Raharjo	84 - 93
Evaluasi Investasi Teknologi Informasi dengan Menggunakan Domain <i>Value Governance</i> Val IT Framework 2.0 (STUDI KASUS: CV.BERKA) Ferdy Firmansyah, Wing Wahyu Winarno, Asro Nasiri	94 - 100
Prediksi Penjualan Kosmetik dengan Support <i>Vector Machine</i> Aflahah Apriliyani, Ema Utami, Suwanto Raharjo	101 - 106
Analisis Penerimaan Aplikasi Gablind Menggunakan Metode <i>Unified Theory Of Acceptance and Use Of Technology</i> terhadap Perilaku Pengguna Monalisa Fatmawati Sarifah, Ema Utami, Asro Nasiri	107 - 113
Perancangan Sistem Pakar <i>Final Check Motor Matic</i> Menggunakan Metode <i>Forward Chaining</i> Studi Kasus Ahas 9677 Wahit Desta Prastowo, Kusrini, Ferry Wahyu Wibowo	114 - 121
Klasifikasi Audio Menggunakan <i>Wavelet Transform</i> dan Neural Network Yulianto Mustaqim, Ema Utami, Suwanto Raharjo	122 - 130

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah Tuhan Yang Maha Kuasa atas terbitnya JURNAL INFORMASI INTERAKTIF Volume 4, Nomor 2, Edisi Mei 2019. Pada edisi kali ini memuat 9 (sembilan) tulisan hasil penelitian dalam bidang teknik informatika.

Harapan kami semoga naskah yang tersaji dalam JURNAL INFORMASI INTERAKTIF edisi Januari tahun 2019 dapat menambah pengetahuan dan wawasan di bidangnya masing-masing dan bagi penulis, jurnal ini diharapkan menjadi salah satu wadah untuk berbagi hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan kepada seluruh akademisi maupun masyarakat pada umumnya.

Redaksi

ANALISIS PERBANDINGAN SIMULASI *LOAD BALANCE* MENGGUNAKAN METODE ECMP DAN PCC PADA PENERAPAN KONGESTI MANAJEMEN BANDWIDTH HTB (Studi Kasus: Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta)

Azriel Christian Nurchahyo¹, Ema Utami², Suwanto Raharjo³

^{1,2} Magister Teknik Informatika, Universitas AMIKOM Yogyakarta
Jl. Ring Road Utara, Condongcatu, Depok, Ngringin, Condongcatu, Kec. Depok, Kabupaten Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

³ Program Studi Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak 28, Komplek Balapan Yogyakarta 55222

Email : ¹azrielchristian@gmail.com, ²emma@nrar.net, ³wa2n@nrar.net

ABSTRACT

Infrastructure and network service is the important things that need to be developed in the campus UKRIM. This is in harmony with the values of both institutions as well as accreditation B overall optimization requires the status of network services to support the learning and performance of the entire civitas academic. During this UKRIM campus networks implementing load balance ECMP and managerial mechanism with a bandwidth of simple queue service of 20 Mbps dedicated and 10 GGC. As a result of congestion often occurs down connection status was at the time interval 1-3 times a month for approximately 5-10 minutes.

Responding to this research needed to provide suggestions for the campus network admin UKRIM in providing service load balance as well as managerial bandwidth. This research was conducted on simulation using GNS3 to compare load balance method ECMP and PCC or Per Connection Classifier. As for the HTB used to replace simple queue to minimise wasted bandwidth. Testing on this research using Wireshark on a simulated network being built based GNS3. From the test results the comparison using standardization TIPHON obtained that the PCC has advantages compared to the ECMP on condition when a dense network experienced congestion. This is proven by the same throughput rating 100% but the jitter and packet loss is different at PCC have packet loss 15% category medium, the value of jitter 15.69 ms nice category whereas in packet loss value ECMP 58% bad and categories jitter 98.2 ms categories.

Keywords: ECMP, GNS3, Per Connection Classifier, Hierarchical Token Bucket.

1. PENDAHULUAN

Universitas Kristen Immanuel (UKRIM), Yogyakarta didirikan tahun 1982 dibawah naungan Yayasan Iman Indonesia dengan total keseluruhan empat fakultas dan memiliki delapan program studi yang semuanya terakreditasi “B” [1]. Selain akreditasi prodi, terdapat predikat akreditasi “B” jenjang institusi yang telah diperoleh kampus UKRIM sehingga mengharuskan peningkatan layanan di bidang infrastruktur layanan jaringan internet serta layanan sistem informasi akademik.

Adapun salah satu kebutuhan akan peningkatan layanan teknologi informasi kampus UKRIM terletak pada optimalisasi sektor layanan dan infrastruktur jaringan. Tercatat hingga periode Desember 2018, layanan jaringan sering mengalami *down link* pada hari tertentu. Berdasarkan hasil pengamatan pada *router* distribusi yang terbagi

melalui jalur *vlan*, tercatat status koneksi *down* berada pada interval waktu 1-3 kali dalam sebulan selama kurang lebih 5-10 menit. Distribusi internet mengalami gangguan terbanyak pada siang hari ketika penggunaan *bandwidth* mencapai batas kongesti sekitar 150-250 *user* meskipun pihak puskom selaku pengelola telah menerapkan manajerial *bandwidth simple queue* dan *load balance ECMP*.

Manajerial *bandwidth* pada jaringan kampus UKRIM periode Desember 2018, menggunakan *simple queue* dimana *hotspot login* dibagi ke dalam *shapping bandwidth* sesuai kapasitas per user sebesar 1-3 *Mbps*. Akibatnya banyak *bandwidth* terbuang dikarenakan pembagian *simple queue* tanpa membagi *CIR* dan *MIR* hanya berdasarkan *user login* di *hotspot server* dengan kapasitas maksimal 1 *Mbps* khusus mahasiswa dan 3 *Mbps* khusus dosen dan staff. Adapun alasan penerapan *simple queue* karena

mudah dikonfigurasi serta menghindari sulitnya distribusi *bandwidth* pada jalur *vlan* dan *hostpot login* untuk diterapkan *CIR* dan *MIR*. Selain sektor manajerial *bandwidth*, sektor *load balance* kampus UKRIM menerapkan teknik *ecmp* (*equal cost multi path*) yang mana dalam implementasinya jaringan tidak terdistribusi secara keseluruhan melainkan penggunaan *bandwidth* secara bergantian tanpa diketahui jalur *ip route* mana yang aktif terhubung sehingga kinerjanya tidak jauh berbeda dengan mekanisme *failover*.

Dari hasil informasi yang terdapat pada *router gateway* dan distribusi mengenai kondisi jalur internet yang menerapkan *load balance ECMP* yang memberi dampak terjadinya kongesti meskipun sudah diterapkan manajerial *bandwidth simple queue*. Maka timbul suatu bentuk pemikiran untuk melakukan uji simulasi penggunaan metode *load balance* selain *ECMP* dan metode manajemen *bandwidth* selain *simple queue*. Metode *load balance* selain dibandingkan juga dilakukan pengujian kongesti untuk mengukur seberapa kuat dan stabil simulasi jaringan yang dihasilkan mampu terdistribusi ketika jalur lalu lintas *bandwidth* sangat padat menggunakan standarisasi pengukuran *Quality of Service* [2]. Adapun simulasi pada manajerial *bandwidth* dibandingkan dengan *heirarchical token bucket* untuk penerapan *CIR* dan *MIR* pada *vlan* ketika terjadi kongesti.

Sebagai pembanding *load balance* maka digunakan metode lainnya yaitu *PCC* atau *per connection classifier*. *Pcc* dipilih karena kegunaannya mampu membagi *rate* sesuai dengan kebutuhan *user* namun *gateway* menggunakan jalur koneksi tetap secara acak. Hal ini didasari pada dalam sebuah jaringan yang kompleks pemilihan metode bergantung dari spesifikasi *router*, ukuran jaringan, topologi jaringan, kemampuan *administrator* jaringan hingga seberapa efisien teknik *routing* yang dipilih [3].

Tujuan dari penelitian ini membandingkan hasil uji simulasi metode *load balance* antara *ecmp* (saat ini) dan *pcc* ketika terjadi kongesti *bandwidth* dengan manajerial secara *hierarchical token bucket* sebagai solusi dan saran agar dapat diterapkan pada layanan jaringan Universitas Kristen Immanuel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian terdahulu mengenai *load balance*, manajerial *bandwidth* maupun simulasi jaringan berbasis studi kasus sudah pernah dilakukan sebelumnya. Pertama tesis mengenai metode *ECMP* oleh Ari Lappettelainen pada tahun 2011 dengan judul “*Equal Cost Multipath Routing in IP Networks*”. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa *ECMP* tidak memerlukan konfigurasi tambahan dalam implementasinya dan satu-satunya hal yang menjadi pokok penelitian adalah penyesuaian matriks untuk membuat jumlah jalur *load balance* memadai ketika diterapkan [4]. Perbedaan dengan penelitian ini adalah penggunaan studi kasus yang belum dilakukan pada penelitian sebelumnya serta perbandingan metode dimana pada penelitian ini menggunakan tambahan metode *PCC*.

Penelitian kedua yaitu disertasi mengenai *load balance* pada jaringan *manet* oleh Vinh Pham pada tahun 2012 dengan judul “*Performing Gateway Load Balancing in Manets*”. Penelitian ini menyimpulkan waktu *rerouting* merupakan pengukuran kinerja jaringan paling penting dalam *manet* di mana mobilitas simpul yang tinggi dapat menyebabkan konektivitas antar *node* sering terganggu. Maka solusinya adalah meningkatkan mengubah rute waktu antrian. Pada penelitian tersebut mengusulkan solusi sederhana namun efektif yaitu berdasarkan batas pengujian *wireless* berbasis protokol 802.11 *DCF MAC* [5]. Penelitian ini memiliki tingkat nilai kesamaan pada bagian implementasi pengguna *wireless* untuk *load balance* namun perbedaan pada penelitian yang hendak dilakukan dengan penelitian tersebut adalah pada penelitian tersebut ditemukan rumus formula yang tepat pada manajerial *load balance* pada jaringan *manet*. Sedangkan pada penelitian ini *load balance* disimulasikan pada jalur *gateway* terdistribusi. Sehingga pada penelitian ini jaringan *manet* tidak diterapkan namun hanya disimulasikan pada sisi jalur distribusi *routing*.

Penelitian ketiga oleh Ivan Paulov pada tahun 2015 dengan judul “*Routing in a Virtualised Environment with RouterOS*”. Pada penelitian ini telah diimplementasikan dan diuji simulasi jaringan komputer menggunakan mikrotik *routeros* dan *vmware fusion*. *Routeros* terbukti mudah digunakan meskipun *syntax*

berbeda dari cisco ios yang paling banyak digunakan serta semua teknik jaringan, protokol, dan teknologi yang dipilih untuk digunakan dalam latihan laboratorium berhasil dilaksanakan. Penelitian ini memiliki kelemahan dimana jika batasan penelitian yang diuraikan tidak dapat diterima, dapat menggunakan simulasi jaringan berbasis perangkat lunak virtualisasi seperti *open source Graphical Network Simulator-3* [6]. Pada penelitian ini simulasi dikembangkan menggunakan *gns3* seperti saran pada penelitian ketiga oleh Ivan Paulov. Penerapan jalur *routing* menggunakan *ip* lokal tanpa publik, namun *bandwidth* yang digunakan *dynamic up to 20 Mbps*.

2.1 Load Balance

Load Balance merupakan pembagian beban yang bekerja untuk menghasilkan output yang seimbang. Pada jaringan komputer *load balance* merupakan teknik membagi beban jaringan atau *traffic* melalui beberapa link network yang tersedia untuk menghasilkan output antara lain

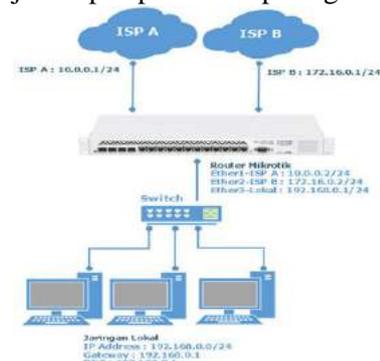
1. Peningkatan *throughput*
2. Mempercepat *respon time*
3. Menghindari tumpukan paket yang berlebihan atau kongesti pada jaringan.

Dengan adanya *load balance* maka beban *traffic* yang ada pada jaringan dapat disebar melalui beberapa path atau link sekaligus sehingga setiap path/link akan mendapatkan beban *traffic* yang seimbang [2]. *Load balance* tidak menggabungkan koneksi pada router sehingga menjadi *bandwidth* berlebih melainkan menggunakan router untuk mendistribusikan permintaan klien di sejumlah server dalam cluster untuk mencapai alamat tujuan [7].

2.2 ECMP

Metode *ecmp* atau *equal cost multi path* adalah salah satu metode dari *load balancing* yang membagi jalur *routing* lebih dari 1 gateway dengan cara acak. *Ecmp* bekerja melalui pemilihan jalur paket yang keluar secara bergantian pada *gateway*. *Ecmp* diimplementasikan pada saat paket hendak menuju internet melalui dua atau lebih *ISP* yang terhubung dalam sebuah router *gateway*. Konfigurasi pada *ecmp* cukup mendeklarasikan *default route* menggunakan beberapa *ISP* yang terhubung pada *gateway*. Hasil dari *ecmp* membuat router *gateway* memiliki beberapa

koneksi aktif secara bersamaan namun nilai *administrative distance* atau yang dikenal dengan prioritas dari masing-masing *gateway* adalah sama [8]. Metode *ecmp* memiliki kelemahan dalam penerapannya yaitu tidak dapat memprediksi *link ISP* yang akan digunakan oleh router *gateway* apabila salah satu atau *gateway ISP* utama ketika digunakan mengalami *down link*, karena router *gateway* akan selalu menentukan secara acak [8]. Contoh cara kerja *ecmp* dapat dilihat pada gambar 1 [8].



Gambar 1. Skema ECMP

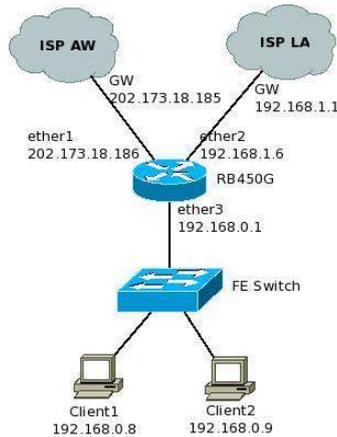
2.3 PCC

Per Connection Classifier atau *PCC* merupakan metode *load balance* yang membagi suatu paket menuju *gateway* dengan perhitungan koneksi tertentu. *PCC* mengelompokkan *traffic* koneksi yang melalui atau keluar masuk *router* menjadi beberapa kelompok. Pengelompokkan ini bisa dibedakan berdasarkan *src-address*, *src-address-and-port*, dan *both-address* [2]. *PCC* (*Per Connection Classifier*) membagi 2 atau lebih jalur *ISP* dengan cara melakukan *per address pair load balance*.

Secara konsep *PCC* melakukan pengaturan *ip firewall mangle* dengan cara mengambil *field* dari setiap *ip header packet* yang diterima oleh router *gateway*. Kemudian *field* yang dipilih ini dapat berupa *ip address* pengirim (*src-address*), *ip address* tujuan (*dst-address*), *port* pengirim (*src-port*), *port* tujuan (*dst-port*) ataupun keduanya dari *src-address* dan *dst-address* [10]. Setelah ditentukan *field* dari *ip header* tersebut maka dirubah menjadi bilangan 32 bit. Perubahan ini menggunakan algoritma "hashing". Bilangan 32 bit kemudian dibagi oleh parameter *denominator* dan *remainder*. Jika ternyata hasilnya sama maka paket tersebut akan dilakukan marking berupa *marking connection* ataupun *marking routing* [10].

PCC hanya melihat *field ip address* pengirim dari setiap packet yang diterimanya.

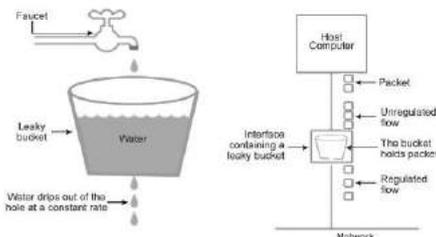
Dengan menggunakan *src-address* sebagai *classifier*, maka *PCC* hanya akan mengambil ip address dari setiap client untuk dimasukkan ke dalam hitungan matematisnya, mulai dari *hash algorithm* sampai dengan *denominator* maupun *remainder*. Sebagai contoh jika menggunakan 3 koneksi ISP sebagai load balance maka paket dialirkan bergantian antar ISP 1 hingga ISP 3 dengan nilai 3/0, 3/1, dan 3/2. Contoh topologi penerapan *PCC* dapat dilihat seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Skema PCC

2.4 HTB

Hierarchical Token Bucket merupakan metode yang berasal dari penggunaan prinsip *leaky bucket*. *Leaky Bucket* merupakan ilustrasi manajerial antrian dengan menggunakan obyek ember yang mengalami kebocoran. Ember bocor inilah yang digunakan untuk menangani packet maupun burst yang telah dikonfigurasi dalam sebuah susunan jaringan [11]. Ilustrasi penggunaan *leaky bucket* dapat dilihat pada gambar 3.

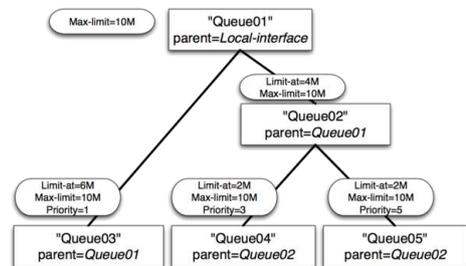


Gambar 3. Skema Leaky Bucket

Dari gambar diatas didapatkan bahwa ember yang digunakan untuk menampung packet. Ember tersebut adalah ember bocor yang mana setiap detiknya sejumlah packet maupun burst keluar melewati lubang dibawah permukaan ember. Dengan ukuran lubang

ember yang tetap, maka jumlah packet maupun burst (lonjakan packet) dapat dikendalikan. *Leaky Bucket* menerapkan konsep dimana burst dalam sebuah jaringan dapat diatur dan dikendalikan, sehingga traffic tetap dikirimkan dalam kondisi konstan .

Perbedaan *leaky bucket* dengan *htb* adalah jika *leaky bucket* menggunakan burst dalam penerapan lonjakan *bandwidth*, maka *htb* menggunakan token generator. Token generator bertugas menghasilkan token dengan interval waktu secara konstan. Susunan hirarki pada *htb* juga lebih diutamakan sehingga proses manajerial token sebagai *bandwidth* ekstra berjalan sesuai dengan urutan hirarki yang berlaku [12]. Konsep *htb* pada jaringan dapat dilihat pada gambar 4.



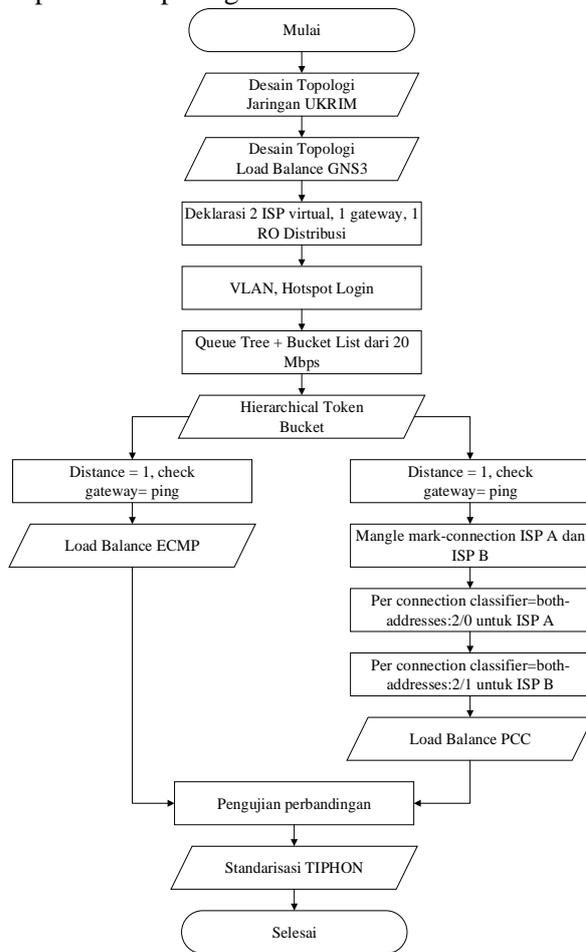
Gambar 4. Skema HTB

3. ALUR PENELITIAN

Alur penelitian dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pengamatan jaringan yang sesungguhnya, pembuatan simulasi *prototipe load balance* dan *htb* pada jaringan kampus UKRIM, dan ketiga pengujian *load balance* dengan manajerial *bandwidth* secara simulasi menggunakan standarisasi TIPHON. Pengamatan jaringan melibatkan keseluruhan jaringan yang ada pada kampus UKRIM dari titik gateway ISP, router distribusi, jalur *vlan* melalui *switch core*, hingga tiap tiap *access point* dan *switch* setelah dilakukan manajerial *bandwidth htb*.

Pada tahapan kedua dirancang proses desain prototipe yang merupakan inti dari penelitian ini selain pengujian. Dimana pada tahapan prototipe diimplementasikan simulasi menggunakan *software GNS3*. Sistem operasi yang digunakan menggunakan MikroTik RouterOS versi 6.42.9. Pada tahapan simulasi dilakukan pembuatan sistem jaringan meliputi *load balance*, *routing*, *hotspot login*, *vlan*, hingga *hierarchical token bucket*. Setelah tahapan *htb* diimplementasikan, dideklarasikan *load balance* dengan dua metode yaitu metode

ecmp, dan metode *pcc*. Setiap metode diuji meliputi *bandwidth* yang diterima, *throughput*, waktu akses ketika koneksi mati (*failover*), *jitter*, hingga *delay* ketika jaringan dalam kondisi kongesti. Hasil dari pengujian merupakan tahapan ketiga dimana perbandingan metode *ECMP* dan metode *PCC* dibandingkan menggunakan aturan baku standarisasi *TIPHON* pada *Quality of Service* ketika terjadi kongesti. Syarat kongesti pada penelitian ini menggunakan tiga client aktif bersamaan dengan koneksi streaming youtube, dan download file sebesar 5 GiB sebagai parameter pengujian. Adapun alur penelitian dapat dilihat pada gambar 5.



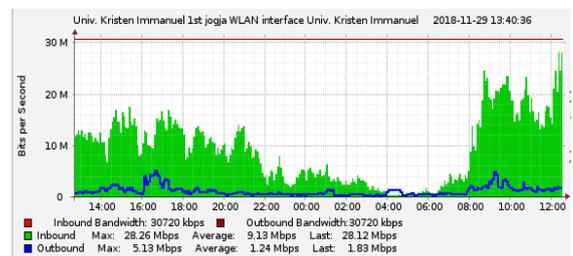
Gambar 5. Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Jaringan Kampus UKRIM

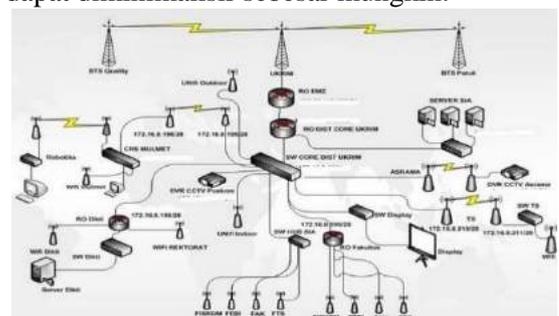
Jaringan Universitas Kristen Immanuel terbagi menjadi 3 bagian utama dimana jalur *load balance* menerapkan *ecmp*, yang diteruskan kepada *gateway* utama sebagai jalur pemantauan milik *provider*. Dari jalur *gateway* utama jaringan dihubungkan kepada *router* distribusi UKRIM, pada jalur distribusi

menggunakan RB 1100 AHX. Dari jalur *router* distribusi jaringan terpisah menuju jalur web server sebagai server aplikasi maupun website akademik. Kemudian jalur distribusi terhubung kepada setiap *host* dengan sistem *virtual lan*. Jalur *vlan* menggunakan *switch core* dengan tipe *CRS125-24G-1S-IN*. Dari jalur *vlan* masing-masing *host* dapat terhubung satu sama lain kecuali jalur privat seperti web server utama, web server database, hingga server *voip* dan *cctv*. Pengguna aktif pada jaringan ukrim meliputi 150-250 *user* setiap harinya dengan *bandwidth* total 30 *Mbps* yang terdiri dari 20 *Mbps dedicated IX* dan *IIX* serta 10 *Mbps GGC* (*Google Global Cache*) yang terpantau pada network monitoring seperti pada gambar 6 dimana akses paling padat yang menyebabkan kongesti terjadi pada pukul 12.00-14.30 *WIB*.



Gambar 6. Monitoring jaringan kampus UKRIM

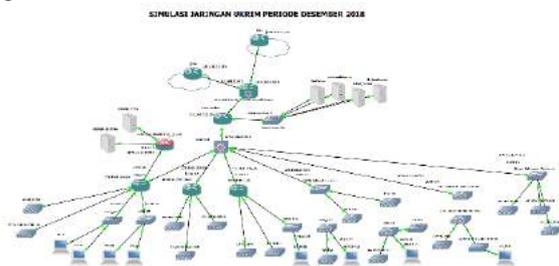
Load balance pada jaringan kampus UKRIM menggunakan dua jalur dimana jalur utama terhubung dengan ISP yang berlokasi pada BTS Hotel Quality Yogyakarta, dan jalur lainnya terhubung dengan BTS ISP yang berada di Patuk, Gunung Kidul. Penyebaran jalur internet melalui transmisi *wireless point to point* yang dapat dilihat seperti topologi jaringan pada gambar 7. Pada jalur distribusi antar *host* dipecah melalui *vlan* yang disebarkan menggunakan *switch core* dan diterapkan manajerial *bandwidth htb*. Pembagian *bandwidth* sesuai dengan urutan hierarki, sehingga pembagian *bandwidth* mampu terstruktur dan paket internet yang terbuang dapat diminimalisir sebesar mungkin.



Gambar 7. Topologi Load Balance Kampus UKRIM

4.2 Desain Simulasi

Pada simulasi *load balance* jaringan kampus UKRIM digunakan *software GNS3* sebagai pendukung, mengingat sistem operasi pada lapangan disimulasikan dengan konsep yang sama menggunakan mikrotik. Pembuatan desain topologi simulasi terdiri dari *ISP A* dan *ISP B* pada *gateway* sebagai objek *load balance* dan *gateway* ISP sebagai objek utama kampus dalam hal ini untuk dilakukan simulasi. *Router* distribusi terbagi menjadi jalur *web server* dan jalur *vlan*, menyerupai kondisi di lapangan. Perbedaan pada jenis simulasi dengan kondisi nyata di lapangan terletak pada alokasi *ip address*, dimana pada simulasi ini *ip address* menggunakan *ip* lokal, berbeda dengan penerapan lapangan yang menggunakan *ip* publik. Manajerial *heirarchical token bucket* diterapkan pada router distribusi, sementara *load balance* tidak berada pada jalur *router* distribusi melainkan jalur *gateway* utama. Adapun hasil desain simulasi *load balance* pada jaringan kampus UKRIM dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Simulasi jaringan UKRIM dengan GNS3

Simulasi yang diterapkan pada jaringan ini mendekati kondisi nyata dimana titik berat terdapat pada router *gateway* untuk penerapan *load balance*, router distribusi untuk *network monitoring*, dan jalur *switch core* yang diterapkan skema *vlan*. Kondisi *real router gateway*, distribusi, dan *switch core* dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Kondisi *router gateway* (atas), distribusi (tengah) dan *switch core* (bawah) jaringan UKRIM

4.3 Implementasi Simulasi Router ISP

Load balance pada penelitian ini menggunakan 2 jalur *ISP* yang disimulasikan *ISP A* dan *ISP B*. Contoh sebagian konfigurasi dapat dilihat pada listing 1.

```
/ip address
add address=192.168.2.2/30 interface=ether1
network=192.168.2.1
add address=192.168.3.2/30 interface=ether2
network=192.168.3.1
```

Listing 1. Konfigurasi *ip* pada *gateway*

4.4 Implementasi VLAN

Pada bagian utama sebelum diterapkan *load balance*, *router* distribusi dilakukan konfigurasi penerapan *virtual lan* pada *ether 2* untuk dihubungkan pada *switch core* agar *ip address* semua dapat terhubung dan terdistribusi. Contoh sebagian konfigurasi *vlan* dan *hotspot login* dapat dilihat pada listing 2.

```
/interface vlan
add interface=ether2-to-SW-Core
name=vlan10-WIFI vlan-id=10
add interface=ether2-to-SW-Core
name=vlan11-LAB-COM-A-B vlan-id=11
add interface=ether2-to-SW-Core
name=vlan12-LAB-COM-C-D vlan-id=12
/ip hotspot
add address-pool=dhcp_pool1 disabled=no
idle-timeout=15m interface=\
vlan10-WIFI name=hotspot1 profile=hsprofil
```

Listing 2. Konfigurasi *VLAN* dan *hotspotlogin*

4.5 Implementasi HTB

Hierarchical Token Bucket pada penelitian ini disimulasikan pada user pengguna jalur *vlan*, dimana pada penerapannya digunakan pembagian *upload* dan *download* secara *queue tree*. *HTB* membagi jalur antara mahasiswa dan dosen, serta tiap instansi seperti pembagian jalur fakultas tentu berbeda dengan laboratorium maupun jalur biro akademik dan sebagainya serta menggabungkan dengan jalur distribusi *hotspot login*. *Bucket* yang digunakan sebanyak 2.0 pada alokasi *bandwidth 20 Mbps* khusus pengguna *wifi* yang melakukan login autentikasi via *hotspot login*. Adapun sebagian *listing HTB* pada *queue tree* dapat dilihat pada listing 3.

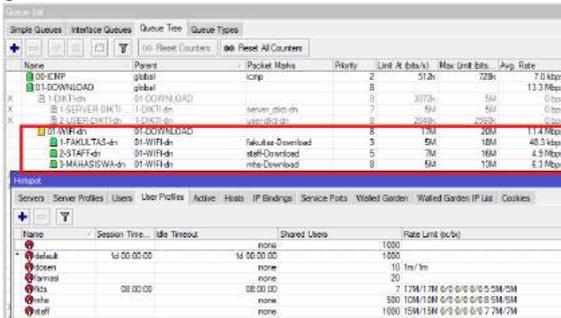
```
/queue tree
add bucket-size=2 limit-at=17M max-
limit=20M name=01-WIFI-dn parent=\
01-DOWNLOAD queue=default
add limit-at=5M max-limit=18M name=1-
FAKULTAS-dn packet-mark=\
fakultas-Download parent=01-WIFI-dn
priority=3 queue=pcq-download-default
add limit-at=7M max-limit=16M name=2-
```

```
STAFF-dn packet-mark=staff-Download \
parent=01-WIFI-dn priority=5 queue=pcq-
download-defaultadd limit-at=5M max
limit=13M name=3-MAHASISWA-dn packet-
mark=mhs-Download \
parent=01-WIFI-dn queue=pcq-download-
default add bucket-size=2 limit-at=17M
```

```
max-limit=20M name=01-WIFI-up parent=02
UPLOAD \queue=default
```

Listing 3. Konfigurasi simulasi HTB

Hasil dari konfigurasi *HTB queue tree* menggunakan GNS3 dapat terintegrasi dengan hotspot login sehingga parent CIR dan MIR dapat diterapkan sebesar 20 Mbps seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil simulasi penerapan *HTB* dengan intergrasi *hotspot login* dan *VLAN*.

4.6 Implementasi ECMP

Penerapan *ECMP* menggunakan 2 *ISP* diterapkan secara *default route* menggunakan *distance 1*, sehingga ketika *ISP* aktif yang digunakan saat itu merupakan *ISP A*, otomatis *ISP B* tidak terpakai dan sebaliknya. Namun ketika *ISP A* sedang digunakan dan jalur mengalami *downlink*, otomatis jalur berpindah menuju ke *ISP B* dan sebaliknya. Adapun sebagian perintah yang digunakan pada terminal dapat dilihat pada listing 4.

```
/ip firewall nat
add action=masquerade chain=srnat out-
interface=ether1
add action=masquerade chain=srnat out-
interface=ether2
/ip route add check-gateway=ping
distance=1 gateway=192.168.2.1,192.168.3.1
```

Listing 4. Konfigruasi *ECMP*

4.7 Implementasi PCC

Pembagian jalur *load balance PCC* pada simulasi ini menggunakan 2 jalur *ISP* sehingga kedua *ISP* digunakan secara bersamaan. Dilakukan perhitungan 2/0 dan 2/1 dimana setiap 2 paket yang masuk dialirkan ke *ISP A*, dan 2 paket berikutnya dialirkan menuju ke *ISP B*. Adapun sebagian perintah konfigurasi *PCC*

pada new terminal yang digunakan terdapat pada listing 5.

```
/ip route
add check-gateway=ping distance=1
gateway=192.168.2.1 routing-mark=via-ISP
add check-gateway=ping distance=1
gateway=192.168.3.1 routing-mark=via-ISP-B
add distance=1
gateway=192.168.2.1,192.168.3.1
/ip firewall mangle
add action=mark-connection chain=prerouting
connection-mark=no
mark in-interface=ether1 new-connection-
mark=ISP-A_PERTAMA
add action=mark-routing chain=output
connection-mark=ISP-A_PERTAMA new-routing-
mark=via-ISP-A
add action=mark-connection chain=prerouting
connection-mark=no-mark in-interface=ether2
new-connection-mark=ISP-B_KEDUA
add action=mark-routing chain=output
connection-mark=ISP-B_KEDUA new-routing-
mark=via-ISP-B
add action=mark-connection chain=prerouting
new-connection
mark=ISP-A_PERTAMA passthrough=yes per-
connection-classifier=both addresses:2/0
src-address= 172.16.8.100/29
add action=mark-connection chain=prerouting
new-connection-mark=ISP-A_PERTAMA
passthrough=yes per-connection-
classifier=both addresses:2/0 src-address=
172.16.8.110/29
add action=mark-routing chain=prerouting
connection-mark=ISP-A_PERTAMA new-routing-
mark=via-ISP-A passthrough=yes src-
address=172.16.8.100/29 add action=mark-
routing chain=prerouting connection-
mark=ISP-A_PERTAMA new-routing-mark=via-
ISP-PERTAMA passthrough=yes src-
address=172.16.8.110/29
add action=mark-connection chain=prerouting
new-connection-mark=ISP-B-KEDUA
passthrough=yes per-connection-
classifier=both addresses:2/1 src-address=
172.16.8.100/29
```

Listing 5. Konfigruasi *PCC*

4.8 Pengujian

Pengujian pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter ukur antara lain *bandwidth upload download* yang digunakan, *throughput*, *delay*, *packet loss*, dan waktu *up link* ketika *down link* terjadi saat kondisi kongesti maupun jalur salah satu *ISP* mati ketika diterapkan *failover*. Pengujian pada penelitian ini menggunakan software *wireshark* dan *bandwidth monitoring mikrotik*. Waktu pada pengujian dibatasi selama 3 menit setiap parameter. Adapun hasil pengujian *ECMP* dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2. Sedangkan pengujian *PCC* pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 1. Pengujian *Load Balance ECMP* dan *HTB (1)*

No	Kondisi	Bandwidth up/down (router gateway) TCP	Throughput (router gateway) TCP	Delay (router gateway)
1.	1 pc virtual streaming youtube	2 Mbps / 10.7 Mbps	14 Mbps	0.031597 s
2.	3 pc virtual streaming youtube, download file masing-masing 1 GB	6.9 Mbps / 13.8 Mbps	17.8 Mbps	0.05456 s
3.	5 pc virtual streaming, download dan upload file masing-masing 10 GB ke google drive menggunakan IDM (kongesti)	3 Mbps / 20 Mbps	20 Mbps	0.28652 s
Rata-rata		3.97 Mbps / 14.83 Mbps	17.2 Mbps	0.12422 s

Tabel 2. Pengujian *Load Balance ECMP* dan *HTB (2)*

No	Kondisi	Packet loss (router gateway) UDP	Jitter	Waktu Menyala Kembali (failover)
1.	1 pc virtual streaming youtube	0.8 %	0.01178 s	10.75 s
2.	3 pc virtual streaming youtube, download file masing-masing 1 GB	40%	0.02451 s	15.43 s
3.	5 pc virtual streaming, download dan upload file masing-masing 10 GB ke google drive menggunakan IDM	58%	0.09821 s	45.89 s
Rata-rata		32.93 %	0.0448 s	24.023 s

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa bandwidth terbesar terjadi ketika jaringan mengalami kongesti dimana *download* terpakai hingga 20 Mbps. Pada bagian *throughput* nilai terbesar juga terjadi ketika jaringan mengalami kongesti antrian *bandwidth* yang sudah dimanajerial dengan *HTB* namun tetap habis terpakai. Hal ini dikarenakan *load balance ECMP* hanya menerapkan salah satu jalur gateway ISP saja.

Nilai waktu uplink ketika salah satu koneksi mengalami kegagalan (ISP A) pada *load balance ECMP* berdampak pada semakin besar *bandwidth* dan *host* yang aktif maka semakin besar waktu interval menyala kembali dengan hasil rata-rata sebesar 24.023 ms.

Pada pengujian *Load Balance Per Connection Classifier* dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Pengujian *Load Balance PCC* dan *HTB (1)*

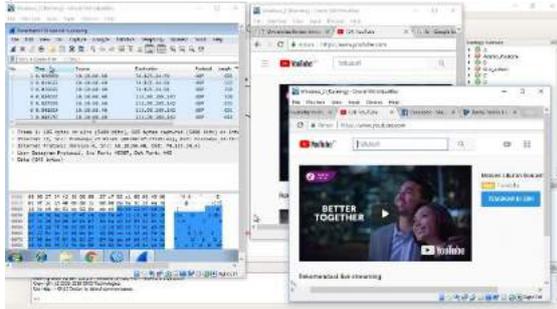
No	Kondisi	Bandwidth up/down (router gateway) TCP	Throughput (router gateway) TCP	Delay (router gateway)
1.	1 pc virtual streaming youtube	4 Mbps / 12.8 Mbps	18 Mbps	0.041597 s
2.	3 pc virtual streaming youtube, download file masing-masing 1 GB	3.78 Mbps / 13.75 Mbps	20 Mbps	0.15236 s
3.	5 pc virtual streaming, download dan upload file masing-masing 10 GB ke google drive menggunakan IDM (kongesti)	15 Mbps / 20 Mbps	20 Mbps	0.36579 s
Rata-rata		7.59 Mbps / 15.516 Mbps	19.3 Mbps	0.1865 s

Tabel 4. Pengujian *Load Balance PCC* dan *HTB (2)*

No	Kondisi	Packet loss (router gateway) UDP	Jitter	Waktu Menyala Kembali (failover)
1.	1 pc virtual streaming youtube	10%	0.020468 s	3.478 s
2.	3 pc virtual streaming youtube, download file masing-masing 1 GB	25%	0.07543 s	5.978 s
3.	5 pc virtual streaming, download dan upload file masing-masing 10 GB ke google drive menggunakan IDM	15%	0.156982 s	9.53 s
Rata-rata		32.93 %	0.08429 s	6.328 s

Hasil pengujian pada *load balance* dengan metode *PCC* jauh lebih efektif dibandingkan dengan metode *ECMP*, dimana nilai bandwidth

dan throughput lebih maksimal. Pada penerapan *delay* dan variasi *delay (jitter)* nilai *ECMP* jauh lebih baik dibandingkan *PCC* dikarenakan sistem *PCC* yang mengambil koneksi berdasarkan setiap 2 paket dalam ISP. Nilai *up link* ketika koneksi mengalami gangguan pada *PCC* sebesar 6.328 s jauh lebih baik dibandingkan *ECMP* yang sebesar 24.023 s. Pengujian pada penelitian ini menggunakan aplikasi *wireshark* yang diterapkan dalam aplikasi simulasi *GNS3* seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Pengujian *QoS* dengan *wireshark* pada *PC Virtual* dalam *GNS3*

4.9 Perbandingan Hasil

Pada tahapan perbandingan dilakukan uji pembanding menggunakan standarisasi *TIPHON* antara *load balance ECMP* dan *PCC* ketika diterapkan *HTB*. Uji perbandingan juga dihasilkan tabel pembanding antara sistem simulasi *load balance ECMP* dengan sistem simulasi *load balance PCC*. Adapun tabel perbandingan *ECMP, PCC* dengan standarisasi *TIPHON* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Perbandingan standarisasi *TIPHON*

Kriteria	ECMP	PCC	TIPHON untuk ECMP	TIPHON untuk PCC
Bandwidth Upload/Download (Rata-rata)	3.97 Mbps / 14.83 Mbps	7.59 Mbps / 15.516 Mbps	-	-
Throughput (Rata-rata)	17.2 Mbps	19.3 Mbps	86% indeks 3: Bagus	96.5% indeks 3: Bagus
Delay (Rata-rata)	0.12422 s	0.1865 s	124.22 ms Indeks 4: Sangat Bagus	186.5 ms Indeks 3: Bagus
Packet Loss (Rata-rata)	32.93 %	32.93 %	Indeks 1: Buruk	Indeks 1: Buruk
Jitter (Rata-rata)	0.0448 s	0.08429 s	44.8 ms Indeks 3: Bagus	Indeks 2: Sedang
Uplink ketika failover (Rata-rata)	24.023 s	6.328 s	-	-
Bandwidth Upload/Download kongesti	3 Mbps / 20 Mbps	15 Mbps / 20 Mbps	-	-

Throughput kongesti	20 Mbps	20 Mbps	100% Indeks 4 : Sangat Bagus	100% Indeks 4 : Sangat Bagus
Delay kongesti	0.28652 s	0.36579 s	28.6 ms Indeks 4 : Sangat Bagus	36.5 ms Indeks 4 : Sangat Bagus
Packet Loss kongesti	58%	15%	Indeks 1 : Buruk	Indeks 2 : Sedang
Jitter kongesti	0.09821 s	0.156982 s	98.2 ms Indeks 2 : Sedang	15.69 ms Indeks 3 : Bagus
Uplink ketika failover kongesti	45.89 s	9.53 s	-	-

Dari hasil pengujian perbandingan menggunakan standarisasi *TIPHON* didapatkan bahwa *PCC* memiliki keunggulan dibandingkan dengan *ECMP* pada kondisi ketika jaringan padat mengalami kongesti. Hal ini dibuktikan dengan nilai *throughput* yang sama 100% namun *jitter* dan *packet loss* berbeda dimana pada *PCC* memiliki nilai *packet loss* 15% kategori sedang, nilai *jitter* 15.69 ms kategori bagus sedangkan pada *ECMP* memiliki nilai *packet loss* 58% kategori buruk dan *jitter* 98.2 ms kategori sedang. Pada hasil rata-rata pengukuran dengan standarisasi *TIPHON* pengujian *ECMP* jauh lebih baik daripada *PCC* pada sisi *delay* sebesar 124.22 ms dengan kategori sangat bagus dan sisi *jitter* dengan nilai 44.8 dengan kategori bagus.

Hasil perbandingan lainnya adalah ketika diterapkan uji *upload download bandwidth* serta uji *failover* dengan mematikan salah satu koneksi, atau membiarkan hingga jaringan mengalami kongesti. Hasil yang didapatkan dimana *upload download PCC* jauh lebih baik dibandingkan *ECMP* dengan nilai rata-rata 7.59 Mbps / 15.516 Mbps pada *PCC* dan 3.97 Mbps / 14.83 Mbps pada *ECMP*. Hasil ini juga berbanding lurus ketika jaringan mengalami kongesti dengan nilai *PCC* 15 Mbps / 20 Mbps dan *ECMP* 3 Mbps / 20 Mbps. Perbedaan nilai *upload download* ketika diterapkan *load balance* pada simulasi jaringan kampus UKRIM disebabkan oleh karena *ECMP* hanya menerapkan 1 koneksi untuk bekerja dan *PCC* menggunakan 2 koneksi secara bersamaan sesuai perhitungan paket yang didistribusikan.

Hasil dari perbandingan ketika uji *failover* didapatkan bahwa *PCC* jauh lebih cepat dalam merespon waktu paket ketika mengalami gangguan rata-rata sebesar 6.328 s dan 9.53 s ketika mengalami kongesti dibandingkan dengan *ECMP* dengan rata-rata waktu respon sebesar 24.023 s dan ketika kongesti sebesar 45.89 s. Dari pengujian dan perbandingan

masih belum didapatkan nilai uji standarisasi *uplink* atau ketika *failover* terjadi, serta nilai standarisasi *upload download* untuk pembuktian *load balance* sesuai kaidah baku.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian meliputi analisis, simulasi, pengujian dan perbandingan pada *load balance* jaringan kampus UKRIM, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian perbandingan menggunakan standarisasi TIPHON didapatkan bahwa *PCC* memiliki keunggulan dibandingkan dengan *ECMP* pada kondisi ketika jaringan padat mengalami kongesti. Hal ini dibuktikan dengan nilai *throughput* yang sama 100% namun *jitter* dan *packet loss* berbeda dimana pada *PCC* memiliki nilai *packet loss* 15% kategori sedang, nilai *jitter* 15.69 ms kategori bagus sedangkan pada *ECMP* memiliki nilai *packet loss* 58% kategori buruk dan *jitter* 98.2 ms kategori sedang.
2. Hasil dari perbandingan ketika uji failover didapatkan bahwa *PCC* jauh lebih cepat dalam merespon waktu paket ketika mengalami gangguan rata-rata sebesar 6.328 s dan 9.53 s ketika mengalami kongesti dibandingkan dengan *ECMP* dengan rata-rata waktu respon sebesar 24.023 s dan ketika kongesti sebesar 45.89 s.
3. Metode *PCC* lebih unggul untuk diterapkan pada simulasi jaringan *load balance* daripada metode *ECMP* dikarenakan metode *PCC* menggunakan paket secara bergantian sebanyak jalur *ISP* yang hendak digunakan, sebagai contoh jika penggunaan 2 jalur *ISP* maka digunakan perhitungan 2/0 dan 2/1 dimana setiap 2 paket yang masuk dialirkan ke *ISP A*, dan 2 paket berikutnya dialirkan menuju ke *ISP B*. Sedangkan pada *ECMP* jalur koneksi yang digunakan secara acak, dan tidak menggunakan keduanya secara bersamaan namun hanya melibatkan salah satu link yang aktif.

Dari pengujian dan perbandingan yang telah dilakukan belum didapatkan nilai uji standarisasi *uplink* atau ketika *failover* terjadi, serta nilai standarisasi *upload download* untuk pembuktian *load balance* sesuai kaidah baku. Diharapkan para peneliti yang hendak melakukan pengujian berikutnya mampu merancang dan mengimplementasikan dengan pengujian yang lebih kompleks meliputi

resource *router, server* hingga menggunakan metode lainnya pada *load balance*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Humas Ukrim. (2015). Sejarah UKRIM University. Retrieved December 24, 2018, from <https://www.ukrimuniversity.ac.id/detail.php?kt=6&kn=15-UniversitasKristenImmanuel>
- [2] Towidjojo, R. (2015). *Mikrotik Kungfu Kitab 4*. Palu: Jasakom.
- [3] Towidjojo, R. (2012). *Konsep dan Implementasi Routing dengan Router Mikrotik 100% Connected*. Palu: Jasakom.
- [4] Neeraj, V., Nigam, H., Nigam, G., Yadav, A., Kumar, M., & Srivastava, S. K. (2014). *Equal Cost Multipath Routing in IP Networks*. Faculty of Electronics, Communications and Automation. Aalto University School of Science and Technology.
- [5] Pham, V. (2012). *Performing Gateway Load Balancing in MANETs*. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Information Technology.
- [6] Paulov, I. (2015). *Routing in a Virtualised Environment with RouterOS*. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.
- [7] Anupama. (2016). *Load Balancing The Network Traffic*. Punjab Agricultural University Ludhiana -141004.
- [8] Load Balance Metode ECMP. (2017). Retrieved December 24, 2018, from http://mikrotik.co.id/artikel_lihat.php?id=76
- [9] Indonesia, M. (2016). Pemilihan Jalur Routing. Retrieved December 24, 2018, from http://mikrotik.co.id/artikel_lihat.php?id=63
- [10] Rendra Towidjojo, H. (2016). *Mikrotik Metarouter 100% Illusion*. Palu: Jasakom.
- [11] Towidjojo, R. (2014). *Mikrotik Kungfu Kitab 3*. Palu: Jasakom.
- [12] Vestin, J. (2015). *Quality of Service Analysis for CloudMAC*. Karlstads Universitet. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2009.10.001>