

OPTIMASI RUTE UNTUK SOFTWARE DEFINED NETWORKING- WIDE AREA NETWORK (SDN-WAN) DENGAN OPENFLOW PROTOCOL

Estu Rizky Huddinia¹⁾, Eristya Maya Safitri²⁾, Satrio Adi Priyambada³⁾,
Muhammad Nasrullah⁴⁾, Nisa Dwi Angresti⁵⁾

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 60111, Indonesia

E-Mail : esturizky@gmail.com¹⁾, eristyamaya@gmail.com²⁾, satrio.priyambada@gmail.com³⁾,
em.nashrul@gmail.com⁴⁾, nisa.dwi.angresti@gmail.com⁵⁾

ABSTRAK

Semakin berkembangnya teknologi saat ini berbanding lurus dengan kebutuhan akan proses mengelola dan *monitoring* jaringan yang lebih efektif dan efisien. TE (*Traffic Engineering*) dikembangkan untuk mengoptimalkan arus data dalam jaringan untuk memenuhi tingkat QoS (*Quality of Services*) dalam penggunaan jaringan. Namun, TE memiliki tantangan dalam hal kompleksitas komunikasi dan algoritma yang dapat meningkatkan kebutuhan akan sumber daya jaringan. SDN (*Software Defined Networking*) merupakan suatu teknologi jaringan terbaru untuk mengatasi tantangan yang ada pada TE. Dengan pengaturan secara terpusat (*centralized control*) dan lebih fleksible, SDN secara signifikan dapat memangkas penggunaan sumber daya jaringan komunikasi yang dibutuhkan untuk kebermanfaatan sumber daya jaringan secara keseluruhan. Makalah ini akan mengulas beberapa literatur terkait metode optimasi routing pada jaringan dengan menggunakan teknologi SDN yang berfokus pada SDN-WAN (*Software Defined Networking – Wide Area Network*).

Kata Kunci : *Optimasi Rute, Wide Area Network (WAN), Software Defined Networking (SDN)*

1. PENDAHULUAN

Jaringan Konvensional memiliki mekanisme control pendistribusian yang sangat rumit, dimana setiap protokol dan algoritma routing perlu dieksekusi pada masing-masing node. Hal tersebut dilakukan untuk mencari rute terbaik dari hulu ke hilir dan menyeimbangkan dari penggunaan sumber daya jaringan [1].

Perkembangan teknologi jaringan yang pesat membuat proses mengelola dan monitoring jaringan menjadi semakin kompleks. TE (*Traffic Engineering*) dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut, dimana TE bertugas untuk mengoptimalkan dan monitoring arus data dalam jaringan. TE berfungsi untuk memenuhi tingkat QoS (*Quality of Services*) dan menyediakan sumber daya yang lebih efisien dalam penggunaan jaringan [2]. Namun, dalam pelaksanaannya TE menghadapi dua tantangan utama dalam hal komunikasi dan sumber daya jaringan.

Pada TE teknik flow-base yang digunakan menyebabkan adanya penambahan komunikasi untuk dijadikan mereservasi jalur (path) resource. Selain itu, algoritma routing yang diterapkan membuat proses mengelola sumber daya yang tersedia dan pemanfaatannya menjadi lebih berat [3]. Hal tersebut mengakibatkan adanya peningkatan kebutuhan untuk membangun komunikasi dan memperbarui database yang mana juga akan mengakibatkan peningkatan jumlah penggunaan sumber daya dalam komunikasi pada jaringan.

TE menggunakan algoritma yang memiliki kompleksitas komputasi yang cukup tinggi baik diukur dari segi ruang dan waktu. Tingkat kompleksitas komputasi tersebut mengonsumsi sumber daya jaringan cukup besar pada jaringan yang mengakibatkan sulitnya memenuhi kebutuhan untuk tiap-tiap node dalam jaringan [2].

SDN (*Software Defined Networking*) merupakan suatu paradigma pembangunan jaringan teknologi terbaru untuk mengatasi tantangan yang ada pada mekanisme jaringan pada TE. SDN memisahkan unsur-unsur abstrak pada telekomunikasi dalam sebuah infrastruktur yang terukur dan terpusat, dimana kontrol jaringan (control-plane) berfungsi untuk menangani penentuan forwarding traffic terpisah dari data-plane sehingga memudahkan dalam proses mengatur, mengelola dan memonitoring jaringan [4].

Keunggulan utama dalam penerapan SDN pada jaringan adalah SDN dapat secara signifikan meminimalisasi sumber daya jaringan komunikasi yang dibutuhkan untuk kebermanfaatan sumber daya jaringan secara keseluruhan [3]. SDN memiliki kemampuan untuk melakukan pengaturan secara terpusat (*centralized control*) untuk mengurangi jumlah permintaan otoritas akses informasi pada jaringan. SDN mengurangi biaya yang dibutuhkan dalam komunikasi pada jaringan dengan menggunakan interface antara node jaringan dan protokol yang berfungsi untuk memungkinkan adanya komunikasi antara control-plane dengan data-plane [3] [5]. Protokol yang paling sering

digunakan adalah OpenFlow. OpenFlow terdiri atas counter yang menunjukkan keadaan lintasan, konektivitas, dan arus yang ada pada jaringan dari hulu ke hilir [3].

SDN juga dapat meningkatkan fleksibilitas dalam penggunaan algoritma routing pada jaringan dengan mengubah mekanisme, lokasi ataupun frekuensi dari algoritma routing yang diimplementasikan [6]. Secara logis, fungsi centralized control yaitu mulai dari melakukan reservasi jalur (path) dari titik awal hingga titik tujuan untuk masing-masing arus data dapat tercapai tanpa menggunakan mekanisme flow-base. Namun, mekanisme flow-base pada SDN hanya tersedia ketika benar-benar dibutuhkan. Selain itu, algoritma routing hanya dapat beroperasi pada controller dan hanya satu arus data per setiap waktu pada skenario normal. Oleh karena itu, dengan adanya penerapan SDN dapat meningkatkan ketersediaan jalur yang lebih tepat dengan delay waktu yang rendah.

Pada makalah ini, penulis akan berfokus pada literatur review yang mengulas terkait teknologi SDN-WAN dengan menggunakan protokol OpenFlow untuk mengoptimalkan routing pada jaringan. Pada makalah ini juga akan dijelaskan beberapa metode optimasi yang dapat digunakan sebagai alternatif optimasi routing pada jaringan WAN.

Makalah ini terbagi atas Pedahuluan pada bagian 1. Bagian 2 berisikan Tinjauan Pustaka dan penelitian terkait optimasi routing pada SDN-WAN dengan protokol OpenFlow. Bagian 3 menjelaskan hasil dan pembahasan dalam pengerjaan makalah ini. Kesimpulan dari penulisan makalah ini terdapat pada bagian 4 dan daftar pustaka pada bagian 5.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. SDN-WAN

Software Defined Networking – Wide Area Network (SDN-WAN) adalah aplikasi spesifikasi teknologi yang diterapkan pada jaringan WAN. Jaringan WAN digunakan untuk menghubungkan jaringan antar cabang kantor dengan jarak geografis yang luas. WAN juga berperan menghubungkan pusat data dengan jarak yang terpisah. Implementasi SDN-WAN membantu melakukan kontrol perpindahan jalur jaringan pada pengiriman paket data dengan pendekatan berbasis software [7].

Kebutuhan pengguna dalam implementasi WAN adalah implementasi yang bersifat fleksibel, terbuka dan berbasis cloud-technology [8]. Hal ini dikarenakan dibandingkan dengan menginstal teknologi baru eksklusif WAN, aplikasi yang berbasis cloud-technology mengeluarkan biaya yang relatif efisien. Oleh karenanya pengembangan SDN-WAN diterapkan karena memberikan nilai peningkatan konektivitas dan keamanan jaringan.

Pada beberapa kasus, teknologi SDN-WAN menggunakan koneksi broadband-internet untuk memberikan solusi alternatif efisiensi biaya dan

meningkatkan keamanan jaringan dengan jalur optimal yang dipilih [9]. SDN-WAN juga mampu menghapus jalur routing yang berpotensi menyediakan konektivitas yang mahal melalui cloud [9]. Teknologi SDN-WAN juga memiliki nilai fleksibilitas [10]. Hal ini dikarenakan SDN-WAN berbasis software, maka pengguna dapat melakukan kontrol dengan mudah sesuai kebutuhan. Salah satu kasus yang sering terjadi adalah peningkatan permintaan pada suatu event tertentu. Dengan adanya sistem kontrol berbasis software maka dapat memungkinkan pengguna untuk melakukan pengaturan sesuai kebutuhan jaringan secara fleksibel. Dari studi kasus penggunaan SDN-WAN tersebut, keunggulan SDN-WAN adalah [11]:

- Virtualisasi dan Cloud**, komponen dan entitas jaringan *hybrid* - antara fisik *bare metal* dengan virtual
- Orchestration dan Scalability**, kemampuan untuk mengatur dan mengelola ribuan perangkat melalui sebuah *point of management*
- Programmability dan Automation**, kemampuan untuk mengubah behaviour (perilaku) jaringan serta dapat melakukan perubahan tersebut secara otomatis (sebagai contoh adalah kemampuan *troubleshooting*, perubahan *policy* dan lain-lain)
- Visibility**, kemampuan untuk dapat memonitor jaringan, baik dari sisi sumber daya, konektivitas dan lain-lain.
- Kinerja**, kemampuan untuk memaksimalkan penggunaan perangkat jaringan, misalnya optimasi *bandwidth*, *load balancing*, *traffic engineering* dan lain-lain (berhubungan dengan *Programmability* dan *Scalability*)

B. Routing

Routing adalah proses pada pemilihan jalur yang dilalui oleh paket data [12]. Jalur terbaik sesuai dengan beban jaringan, panjang datagram, tipe layanan yang diminta dan pola lintasan. Pada umumnya skema routing hanya mempertimbangkan jalur terpendek untuk meminimalisir biaya. Terdapat 2 bentuk routing, yaitu [13]:

- Direct Routing (direct delivery)**, paket dikirimkan dari satu mesin ke mesin lain secara langsung (*host* berada pada jaringan fisik yang sama) sehingga tidak perlu melalui mesin lain atau *gateway*.
- Indirect Routing (indirect delivery)**, paket dikirimkan dari suatu mesin ke mesin yang lain yang tidak terhubung langsung (berbeda jaringan) sehingga paket akan melewati satu atau lebih *gateway* atau *network* yang lain sebelum sampai ke mesin yang dituju.

Terdapat beberapa jenis routing yaitu minimal-routing, static-routing dan dynamic routing [12]. Minimal-routing adalah informasi minimum yang harus ada untuk host yang tersambung pada suatu network [12]. Minimal-

routing terbentuk pada saat konfigurasi interface. Pada Static-routing, router meneruskan paket dari sebuah network ke network yang lainnya berdasarkan yang sudah ditentukan oleh administrator. Rute pada static-routing tidak berubah kecuali jika diubah secara manual oleh administrator. Berikut ini adalah karakteristik dari static-routing [14]:

- Tidak akan mentolerir jika terjadi kesalahan pada konfigurasi yang ada. Jika terjadi perubahan pada jaringan atau terjadi kegagalan sambungan antara dua atau lebih titik yang terhubung secara langsung, arus lalu lintas tidak akan disambungkan oleh router.
- Konfigurasi *routing* jenis ini biasanya dibangun dalam jaringan yang hanya mempunyai beberapa router, umumnya tidak lebih dari 2 atau 3.
- Informasi *routing* diberikan oleh administrator jaringan) secara manual.
- satu router memiliki satu table *routing*
- Jenis ini biasanya digunakan untuk jaringan kecil dan stabil

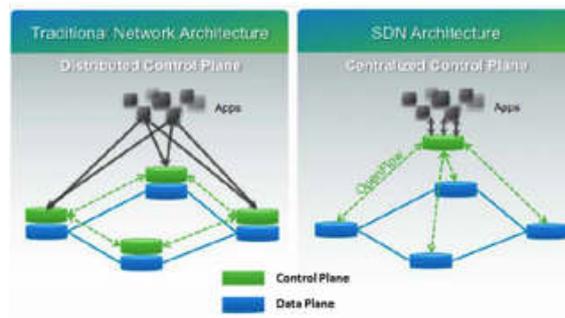
Pada dynamic-routing, router mempelajari sendiri rute terbaik yang akan ditempuh untuk meneruskan paket dari sebuah network ke network lainnya [15]. Administrator tidak menentukan rute yang harus ditempuh oleh paket-paket tersebut. Administrator hanya menentukan bagaimana cara router mempelajari paket. Rute pada dynamic-routing berubah sesuai dengan pelajaran yang didapatkan oleh router. Karakteristik dynamic-routing adalah sebagai berikut [16]:

- Informasi *routing* tidak lagi diberikan oleh administrator jaringan, melainkan diberikan oleh *software*.
- Apabila salah satu jalur mengalami gangguan atau kerusakan peralatan, maka router akan secara otomatis mencari jalur lain sebagai pengganti jalur yang tidak bisa dipakai lagi.
- Menangani jaringan yang lebih kompleks dan luas, atau jaringan yang konfigurasi sering berubah ubah (koneksi putus-nyambung)
- Memerlukan *routing* protokol untuk membuat *table-routing* dan *routing* protokol ini dapat memakan sumber daya komputer.

C. OpenFlow

OpenFlow merupakan protokol yang digunakan oleh SDN untuk berkomunikasi dengan infrastruktur jaringannya [10]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, sebuah controller melakukan komunikasi dengan perangkat-perangkat jaringan yang ada dibawahnya dengan menggunakan protokol OpenFlow [17]. OpenFlow merupakan protokol standar terbuka yang menggunakan port 6633. Versi terakhir OpenFlow saat ini adalah 1.3.

OpenFlow memungkinkan server untuk memberitahu jaringan ke switch mana paket di kirimkan. Dalam jaringan konvensional setiap switch memiliki software yang memberitahu apa yang harus dilakukan [18]. Dengan OpenFlow, paket bergerak secara terpusat, sehingga jaringan dapat diprogram secara independen dari switch individu dan data center [8].



Gambar 1. Traditional Network vs SDN Architecture

Controller merupakan bagian yang sangat vital pada arsitektur SDN [10]. Hal ini dikarenakan kontroler berperan mendefinisikan jaringan, mengatur masalah availability, laju traffic data, routing & forwarding dan lain-lain [5]. Controller berperan menangani seluruh infrastruktur jaringan yang ada dibawahnya. Controller merupakan sebuah perangkat lunak yang dapat dikembangkan sesuai kebutuhan jaringan. Banyak vendor-vendor yang telah menciptakan controller antara lain yaitu sebagai berikut [18]:

1. POX
2. NOX
3. Floodlight
4. Pyretic
5. Beacon
6. Ryu
7. OpenDay Light, dan lain-lain

D. Penelitian Sebelumnya

Penggunaan teknologi SDN pada WAN hingga saat ini terus berkembang dan menjadi salah satu bidang yang menarik bagi para peneliti. Terdapat berbagai pendekatan penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti untuk lebih mendalami terkait penggunaan teknologi SDN pada WAN dengan menggunakan berbagai protokol salah satunya adalah OpenFlow [7]. Penelitian-penelitian tersebut meliputi berbagai topik permasalahan, salah satunya yang dibahas dalam makalah ini yaitu penggunaan teknologi SDN dengan menggunakan protokol OpenFlow untuk mengoptimasikan routing pada jaringan WAN.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Weidong Lin dkk. [19], mengusulkan pendekatan path label routing dalam WAN berbasis SDN dan menggabungkannya dengan routing konvensional

menggunakan OpenFlow. Peneliti membuat suatu desain arsitektur jaringan dengan menggabungkan conventional routing dengan path label routing menggunakan OpenFlow. Desain arsitektur jaringan tersebut diukur sesuai dengan performa jaringan dalam menggunakan state distribution, sensitifitas peletakan controller dan kualitas layanan. Lalu mensimulasikannya dengan memasukkan variabel-variabel berpengaruh seperti jumlah aliran keseluruhan, time-out interval dan controller placement. Dari hasil analisis dan eksperimen tersebut adalah dengan kondisi memiliki label resource yang cukup didapatkan bahwa rata-rata network latency (jumlah waktu yang diperlukan oleh paket untuk berpindah antar koneksi jaringan) dan state distribution berkurang secara signifikan. Dengan kata lain semakin besar persentase dari path label routing maka semakin baik performa dari jaringan.

Penelitian selanjutnya oleh Niels L. M dkk. [16] menggunakan software opensource OpenNetMon untuk monitoring penggunaan aktual dari bandwidth, delay dan packet loss pada jaringan SDN-WAN OpenFlow [20]. Pada penelitian ini OpenFlow menyediakan interface untuk pengimplementasian Traffic Engineering (TE) yang lebih terkontrol, dan OpenNetMon bertugas melakukan monitoring untuk menentukan parameter dari Quality of Service (QoS) sehingga dapat mengoptimalkan jalur yang tepat pada jaringan. Dengan penggunaan OpenNetMon dapat mengurangi penggunaan jaringan dan CPU yang mana hal tersebut dapat mengoptimalkan keakuratan dari pengukuran.

Ameer Mosa, dkk. [15], mengemukakan sebuah pendekatan baru optimasi routing jaringan WAN melalui algoritma yang diberi nama Shortest-Feasible OpenFlow Path (SFOP). Algoritma ini dirancang untuk mengidentifikasi rute optimal dari sumber ke tujuan suatu jaringan, memberikan pemanfaatan yang efisien dari sumber daya Software Defined Network pada Wide Area Network (SDN-WAN). Penelitian ini membandingkan 3 algoritma lain selain SFOP, diantaranya: QoS routing algorithm [21] [22], Traffic Engineering (TE) [23] dan Multi-Constrained Multipath (MCMP) [24]. Untuk mendapatkan data statistik jaringan dari obyek penelitian digunakan OpenFlow interface serta software open source yang efisien untuk mengolah data jaringan, misalnya: software Open Traffic matrix (Open TM) [25] dan Open Network Monitoring (OpenNetMon) [10].

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan implementasi simulasi dari hasil algoritma [15]. Dua tes yang berbeda diimplementasi untuk membandingkan latency algoritma SFOP dengan jalur terpendek (shortest), terluas (widest) serta terpendek-terluas (shortest-widest) untuk menentukan algoritma yang memiliki kinerja terbaik. Perbandingan yang kedua adalah

algoritma SFOP diterapkan di beberapa negara untuk mengevaluasi kinerja algoritma dengan perubahan yang dinamis. Kedua tes berlaku untuk 3 ukuran paket, yaitu: 1 KB, 10 KB dan 64 KB untuk mengevaluasi kinerja dari algoritma routing dengan beban yang berbeda. Selain itu, keduanya menggunakan simpul masuk tunggal dan simpul jalan keluar [15]

Uji pertama menunjukkan jalan yang berbeda dari algoritma routing. Hasil ini menunjukkan bahwa jalur terpendek dan algoritma SFOP memiliki rata-rata terbaik dari latency untuk paket-paket kecil. Untuk paket besar algoritma jalur terpendek, sangat buruk, dan tiga lainnya memiliki hasil yang sama yang berarti bandwidth shortest-feasible lebih baik daripada yang lain di semua beban. Uji kedua menunjukkan jalan yang berbeda dari algoritma SFOP ketika link jaringan memiliki bandwidth residual yang berbeda (IncBW) dan bandwidth yang layak (FBW) adalah tetap lebih besar dari 100 Mbit/s [19].

Algoritma SFOP menunjukkan latency yang sama untuk semua kasus jika jalur alternatif bandwidth yang sama tersedia. Maka dapat disimpulkan algoritma memberikan stabilitas yang baik untuk jalur aliran di SDN-WAN [6]. Algoritma SFOP bekerja lebih baik daripada yang lain dalam hal latency dan sumber daya pemanfaatan SDN-WAN tanpa peningkatan kompleksitas perhitungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada implementasi SDN-WAN berbasis OpenFlow, terdapat pendekatan path label routing untuk mengoptimalkan proses routing. Pendekatan tersebut merupakan penggabungan path label routing pada WAN berbasis SDN-WAN dengan routing konvensional menggunakan interface dari OpenFlow. Penggabungan kedua proses routing ini adalah untuk menghindari perubahan pada protokol OpenFlow yang sudah ada dan alokasi path label ke setiap path dalam jaringan berskala besar yang tidak mungkin dilakukan jika murni menggunakan path label routing.

Pada pendekatan ini, untuk menghindari modifikasi yang terjadi pada OpenFlow, maka dilakukan penyimpanan panjang label yang tepat pada OpenFlow di dalam header fields. VLAN adalah alternatif header fields yang merupakan tempat penyimpanan paling sederhana dibandingkan dengan MPLS dan PBB. Controller dapat menentukan interval idle timeout dari path label. Untuk optimisasi atau alasan lain, controller dapat menghilangkan path label dengan menghapus flow table entries yang berhubungan, namun controller harus terlebih dahulu membuat path alternative sebagai path pengganti. Jika terdapat dua path yang memiliki sumber dan tujuan yang sama, paket dapat dipindahkan pada traffic satu ke yang lain dengan lancar. Untuk melakukan hal tersebut, controller melakukan push label entry dalam switch untuk menggantikan label yang di-push tadi dengan

label lain. Fitur ini dapat mengatasi traffic load dan failure recovery. Failure Recovery merupakan metode cara mengganti jalur traffic pada path yang gagal ke path alternative. Teknik yang digunakan adalah fast-failure type of the group entry.

Untuk mengoptimalkan proses routing, penggunaan path label routing pada state information yang baru akan di-push ke switch satu-satunya. Jika diasumsikan terdapat 5 switch, maka controller hanya mendistribusikan 1/5 dari jumlah state yang terdistribusi. Dari pengurangan state yang signifikan ini secara langsung akan mengimprovisasi rata-rata network latency dan mengurangi sensitifitas peletakan controller. Sedangkan untuk mengoptimasi peletakan controller pada jaringan WAN pada path label routing adalah dengan mengurangi sensitifitas dari peletakan controller. Jika persentase dari penerapan path label routing cukup besar, maka pengurangan state yang signifikan akan mengatur sensitifitas peletakan controller. Hybrid routing berperan mengoptimalkan QoS menjadi lebih praktis dan mudah dengan membangun path label yang dibutuhkan dan alternative path untuk memudahkan menemukan permintaan QoS.

Optimalisasi proses routing dapat dilihat dari indikator performa pada pencampuran rasio yang berbeda, dampak perbedaan interval dari batas waktu flow table dan performa ketika terjadi penempatan controller yang berbeda. Pendekatan dengan penggabungan path label routing pada WAN berbasis SDN-WAN dengan routing konvensional menggunakan interface dari OpenFlow telah disimulasikan menggunakan aplikasi bernama OPNET simulator v.14.5. Hasil simulasi menggunakan pendekatan ini adalah dengan kondisi memiliki label resource yang cukup didapatkan bahwa rata-rata network latency dan state yang di distribusikan berkurang secara signifikan. Dengan kata lain semakin besar persentase dari path label routing maka semakin baik performa dari jaringan. Semakin besar persentase path label routing dalam hybrid routing ini akan membuat performa jaringan akan menjadi lebih baik.

Metode optimasi routing SDN-WAN - OpenFlow juga dapat menggunakan pendekatan algoritma Shortest-Feasible OpenFlow Path (SFOP). Algoritma ini dirancang untuk mengidentifikasi rute optimal dari hulu ke hilir dan memberikan efisiensi penggunaan sumber daya SDN-WAN. Algoritma SFOP bekerja lebih baik daripada beberapa algoritma lainnya dalam hal latency dan efisiensi penggunaan SDN-WAN tanpa peningkatan kompleksitas perhitungan. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil simulasi perbandingan tiga jenis algoritma yaitu QoS routing algorithm, Traffic Engineering (TE) dan Multi-Constrained Multipath (MCMP) dengan tiga jenis ukuran paket data yaitu 1KB, 10 KB dan 64 KB. Simulasi tersebut menguji path yang berbeda dari

setiap algoritma routing dan bandwidth residual serta bandwidth yang layak untuk pengiriman paket pada setiap algoritma routing. Hasil pengujian menyatakan bahwa algoritma SFOP menunjukkan latency yang sama untuk semua kasus jika jalur alternatif bandwidth yang sama tersedia. Maka dapat disimpulkan bahwa algoritma SFOP memberikan stabilitas yang baik untuk jalur aliran di SDN-WAN.

Selain dengan menggunakan berbagai pilihan algoritma optimasi, terdapat berbagai alternatif pilihan software open source yang dapat digunakan untuk melakukan monitoring pada jaringan yaitu antara lain Open Traffic matrix (Open TM) dan Open Network Monitoring (OpenNetMon). Kombinasi penggunaan antara software monitoring tersebut dengan protokol OpenFlow pada SDN-WAN dapat memberikan hasil perhitungan flow pada jaringan secara lebih akurat sehingga dapat meminimalisasi penggunaan jaringan secara berlebih.

4. KESIMPULAN

Seiring dengan perkembangan teknologi jaringan yang semakin kompleks dan peningkatan kebutuhan pasar akan jaringan. Software Defined Networking – Wide Area Network (SDN-WAN) diperkenalkan untuk mengatasi kompleksitas pada jaringan dengan biaya lebih rendah dan fleksibilitas yang lebih tinggi. Terdapat berbagai metode untuk lebih mengoptimalkan penggunaan SDN pada WAN, salah satunya adalah dengan melakukan optimasi pada jalur routing jaringan.

Pada makalah ini telah dilakukan studi literatur beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan fokus optimasi routing SDN-WAN dengan menggunakan protokol OpenFlow. Pada penelitian pertama, berfokus pada penggunaan path label routing untuk mengurangi latency (jumlah waktu yang diperlukan oleh paket untuk berpindah antar koneksi jaringan) dan state distribution. Dengan menggunakan pendekatan path label routing diperoleh hasil yang cukup signifikan, dan menunjukkan bahwa semakin besar persentase dari path label routing maka semakin baik performa dari jaringan.

Metode optimasi pada penelitian selanjutnya berfokus pada perbandingan penggunaan berbagai algoritma dalam optimasi routing. Pada penelitian ini membandingkan algoritma Shortest-Feasible OpenFlow Path (SFOP) dengan tiga algoritma optimasi yaitu QoS routing algorithm, Traffic Engineering (TE) dan Multi-Constrained Multipath (MCMP). Proses perbandingan tersebut dilakukan dengan melakukan simulasi dengan jalur terpendek (shortest), terluas (widest) serta terpendek-terluas (shortest-widest). Dalam uji coba tersebut diperoleh bahwa algoritma SFOP memiliki kinerja terbaik dengan memberikan tingkat stabilitas pada jaringan tanpa adanya kompleksitas dalam perhitungan.

Selain menggunakan metode path label distribution dan algoritma routing dalam optimasi rute pada jaringan WAN, salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan software open source. Software tersebut akan membantu dalam proses monitoring jaringan, yang mana apabila tools tersebut dikombinasikan dengan teknologi SDN OpenFlow dapat memberikan hasil perhitungan yang lebih akurat dalam pengukuran penggunaan jaringan. Hal tersebut dapat dijadikan dasar dalam proses optimalisasi jaringan pada WAN. Software tersebut antara lain adalah Open Traffic matrix (Open TM) dan Open Network Monitoring (OpenNetMon), dll.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. E. Egilmez, B. Gorkemli, A. M. Tekalp and S. Civanlar, "Scalable video streaming over OpenFlow networks: An optimization framework for QoS routing,," *IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 18, p. 2241–2244, 2011.
- [2] P. Trimintzios, G. Pavlou and I. Andrikopoulos, "Providing Traffic Engineering Capabilities in IP Networks Using Logical Paths," in *Eighth IFIP Work. Perform. Model. Eval. ATM IP Networks*, UK, 2000.
- [3] V. Adrichem, N. L. M., C. Doerr and F. A. Kuipers, "OpenNetMon: Network monitoring in OpenFlow Software-Defined Networks,," *IEEE Network Operations and Management Symposium*, p. 1–8, 2014.
- [4] S. Sharma, D. Staessens, D. Colle, M. Pickavet and P. Demeester, "Enabling Fast Failure Recovery in OpenFlow Networks," in *8th International Workshop on the DRCN*, 2011.
- [5] H. Jin, D. Pan, J. Liu and N. Pissinou, "OpenFlow-Based Flow-Level Bandwidth Provisioning for CICQ Switches," *IEEE Trans. Comput*, vol. 62, p. 1799–1812, 2013.
- [6] K. G. Yalda, D. J. Hamad and I. T. Okumus, "Design and Implementation of an Intra-domain routing module for an SDN controller for Traffic Engineering in SDN environment," in *2015 International Conference on Advances in Software, Control and Mechanical Engineering (ICSCME-2015)*, Antalya (Turkey), 2015.
- [7] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker and J. Turner, "OpenFlow White Paper: Enabling Innovation in Campus Networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 38, pp. 69-74, 2008.
- [8] U. Izzatul, "Perancangan simulasi jaringan virtual berbasis software-define networking," *Indonesian Journal of Computing*, vol. 1, p. 10, 2016.
- [9] N. Feamster, J. Rexford and E. Zegura, "The road to SDN: an intellectual history of programmable networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 44, pp. 87-98, 2014.
- [10] V. Adrichem, N. L. M., C. Doerr and F. A. Kuipers, "OpenNetMon: Network monitoring in OpenFlow Software-Defined Networks," in *IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, 2014.
- [11] W. H. Dutton, "The Internet Of Things," SSRN, 20 June 2013. [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=2324902> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2324902>.
- [12] E. Alba, G. Luque and J. M. Troya, "Parallel LAN/WAN heuristics for optimization," *Parallel Computing*, vol. 30, p. 611–628, 2004.
- [13] S. R. Smoot and N. K. Tan, "Chapter 4 – Branch Consolidation and WAN Optimization," in *Private Cloud Computing: Consolidation, Virtualization, and Service-Oriented Infrastructure*, USA, Elsevier, Inc., 2012, p. 99–125.
- [14] S. R. Smoot and N. K. Tan, "Chapter 6 – WAN Optimization in the Private Cloud," in *Private Cloud Computing: Consolidation, Virtualization, and Service-Oriented Infrastructure*, USA, Elsevier, Inc., 2012, p. 167–217.
- [15] A. Ameer Mosa, A. Ali, J. Xue and S. Turner, "Routing Algorithm Optimization for Software Defined Network WAN," in *Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications*, Iraq, 2016.
- [16] N. L. M., D. Christian and K. Fernando A, "OpenNetMon: Network Monitoring in OpenFlow Software-Defined Networks," in *Network Operations and Management Symposium*, 2014.
- [17] R. B. Prayudha, "Desain dan implementasi scada (supervisory control and data acquisition) pada sistem boiler drum menggunakan PLC omron," *Indonesian Journal of Computing*, vol. 2, p. 2, 2013.
- [18] K. Kaur, J. Singh and N. S. Ghuman, "Mininet as software defined networking testing platform," in *International Conference on Communication, Computing & Systems (ICCCS)*, 2014.
- [19] L. Weidong, N. Yukun, Z. Xia, W. Lingbo and Z. Chi, "Using Path Label Routing in Wide Area Software-Defined Networks with OpenFlow," in *International Conference on Networking and Network Applications*, 2016.
- [20] M. McCauley, "About pox,," Aug 2013. [Online]. Available:

<http://www.noxrepo.org/pox/about-pox/>.

- [21] S. K. Sheshadri, "Multi-constrained node-disjoint multipath QoS routing algorithms for status dissemination networks," Washington State University, US, 2004.
- [22] T. Korkmaz and M. Krunz, "Bandwidth-delay constrained path selection under inaccurate state information," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 11, p. 384–398, 2003.
- [23] Q. Ma and P. Steenkiste, "Routing Traffic with Quality-of-Service Guarantees in Integrated Services Networks," in *Proc. NOSSDAV '98*, Cambridge, UK, 1998.
- [24] P. Steenkiste and Q. Ma, "On path selection for traffic with bandwidth guarantees," in *Proceedings 1997 International Conference on Network Protocols*, 1997.
- [25] A. Tootoonchian, M. Ghobadi and Y. Ganjali, "OpenTM: Traffic Matrix Estimator for OpenFlow Networks," in *11th Int. Conf. Passive Active Meas*, 2010.