

Analisis Konsumsi *Bandwidth* pada Komunikasi *Address Resolution Protocol* dalam Jaringan

I Gede Agus Surya Negara¹, Arifiana Satya Nastiti², Ridha Muldina Negara³, Rohmat Tulloh⁴

Abstract—Telecommunication grows rapidly as the need of good quality network service increases. This is also followed by the increasing number of customers, and consequently the increasing number of connected devices in the communication and data networks. Each device in a network can recognize and communicate with each other using ARP MAC address translation mechanism which will consume a certain amount of network bandwidth, thus, will affect the quality of network services. This research analyze the consumption of network bandwidth due to MAC address translation mechanism against the number of devices connected to the network, using Spirent Test Center as the ARP traffic generator in the network. The result shows that bandwidth consumption increases as the number of connected devices increases. When the number reaches 20000 or more, bandwidth consumption increases significantly.

Intisari—Dunia telekomunikasi berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan pengguna terhadap jaringan dengan kualitas layanan yang baik. Hal ini juga diikuti dengan melesatnya jumlah pengguna yang berdampak pada semakin banyaknya perangkat yang terhubung dalam suatu jaringan komunikasi dan data. Tiap-tiap perangkat dalam jaringan dapat saling mengenal dan berkomunikasi satu sama lain melalui mekanisme MAC Address translation oleh ARP, yang akan mengonsumsi sejumlah tertentu *bandwidth* pada jaringan dan berdampak terhadap kualitas layanan pada jaringan. Dalam makalah ini, ditunjukkan analisis terhadap konsumsi *bandwidth* dalam jaringan akibat mekanisme MAC Address translation terhadap peningkatan jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan, menggunakan perangkat keras Spirent Test Center sebagai pembangkit trafik ARP pada jaringan. Hasilnya, dengan semakin meningkatnya jumlah perangkat, konsumsi *bandwidth* mengalami peningkatan. Pada angka 20000 perangkat atau lebih, konsumsi *bandwidth* mengalami peningkatan yang sangat signifikan.

Kata Kunci— *Bandwidth*, *address resolution protocol*, *MAC address*, *multicast*, *unicast*, komunikasi data.

I. PENDAHULUAN

Dengan perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini, komunikasi tidak hanya berupa kegiatan penyampaian informasi dengan melibatkan dua pihak saja atau bersifat

unicast, tetapi juga melibatkan banyak pihak atau bersifat *multicast*. Contohnya adalah layanan IPTV dan *video conference*. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu jaringan yang mampu melayani banyak pengguna, dengan kualitas layanan yang tetap terjamin.

Jaringan komputer telah mengalami perkembangan yang pesat seiring dengan peningkatan kebutuhan pengguna komputer yang terkoneksi ke dalam sebuah jaringan komputer. Dibutuhkan juga infrastruktur yang dapat mengakomodasi permintaan pengguna dan pemberdayaan sumber daya yang tersedia. Perencanaan, perancangan, dan implementasi suatu topologi jaringan diperlukan untuk melakukan suatu penetrasi terhadap kemampuan jaringan tersebut agar tetap sesuai dengan tujuan perancang dan kebutuhan konsumen [1].

Kecepatan transmisi yang tinggi menjadi daya tarik tersendiri bagi para pengguna dalam memilih layanan telekomunikasi yang akan digunakan, dan hal ini mendorong para pelaku industri dan peneliti untuk senantiasa meningkatkan kemampuan dari teknologi yang sudah ada [2]. Dalam komunikasi data, *bandwidth* merupakan *data rate* yang bisa dicapai oleh sebuah *link* jaringan. *Bandwidth* merupakan parameter penting dalam jaringan yang berhubungan dengan jumlah data yang dapat dilewatkan oleh sebuah *link*. Pada beberapa aplikasi jaringan, seperti *file transfer* atau *multimedia streaming*, *bandwidth* secara langsung berdampak pada unjuk kerja aplikasi. *Bandwidth* juga merupakan faktor kunci pada beberapa teknologi jaringan yang memanfaatkan karakteristik *bandwidth* untuk pemilihan jalur dalam jaringan. Jaringan melakukan pengaturan tabel *routing* berdasarkan *bandwidth* dari *link*-nya. Penyedia jaringan menyediakan dan menyewakan *link* kepada pelanggan, yang dihargai berdasarkan *bandwidth* yang dipesan oleh pelanggan tersebut. Semakin besar *bandwidth* yang dapat digunakan untuk mengakses layanan aplikasi, maka semakin baik kualitas layanan yang dapat dinikmati oleh pelanggan [3].

Address Resolution Protocol (ARP) adalah protokol yang berfungsi untuk memetakan alamat IP ke alamat MAC. ARP merupakan protokol yang penting pada komunikasi jaringan LAN terutama yang menggunakan *ethernet* [4]. Alamat MAC merupakan alamat unik yang terdiri atas 48 bit yang umumnya digunakan oleh *ethernet* sebagai *identifier*. Alamat MAC bersifat unik dan tersusun atas tiga oktet *Organizationally Unique Identifier* (OUI) yang menandakan produsen suatu perangkat dan tiga oktet lain yang diberikan oleh produsen perangkat tersebut [5].

Pada makalah ini, dilakukan pengamatan dan analisis jumlah konsumsi *bandwidth* terhadap peningkatan jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan pada komunikasi protokol ARP. Penelitian dilakukan di Laboratorium

^{1,2}Mahasiswa, Program Studi Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Jln. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40287 INDONESIA (telp: 022-7564108; e-mail: ¹igedeagussuryan@students.telkomuniversity.ac.id, ²arifianasatya@students.telkomuniversity.ac.id)

^{3,4}Dosen, Universitas Telkom, Jln. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40287 INDONESIA (telp: 022-7564108; e-mail:

³ridhanegara@telkomuniversity.ac.id,⁴rohmatth@telkomuniversity.ac.id)

Broadband Core Network milik PT. Telkom Indonesia, divisi *Digital Service*.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang keamanan dalam ARP, yang dilatarbelakangi oleh serangan dari kelompok *hacker* asal Cina [6]. Penelitian tersebut mengupas tentang serangan-serangan mendasar yang dapat mengganggu ARP dan serangan *ARP Poisoning* pada suatu *web hosting*. Telah ditulis juga jenis-jenis serangan dan gangguan pada komunikasi protokol ARP yang bekerja pada *layer 2* yang memanfaatkan kelemahan protokol tersebut, seperti *Man in the Middle* dan *Denial of Service (DoS)* [7]. Dijelaskan pula solusi-solusi yang dapat digunakan untuk memitigasi terjadinya serangan-serangan yang dapat mengganggu kualitas layanan tersebut. Pada penelitian lain, disebutkan bahwa *Wireless Mesh Networks (WMN)* merupakan infrastruktur komunikasi yang tepat bagi aplikasi *Smart Grid Advanced Metering Infrastructure* karena kemudahan dalam implementasi dan biaya yang tidak mahal [8]. WMN berbasis pada teknologi IEEE 802.11s, yang memiliki kelemahan dari segi skalabilitas terkait dengan protokol ARP dalam menjaga tabel ARP dan pencarian jalur pada jaringan berskala besar. Telah diajukan solusi berupa *proactive Path Request (PREQ)* untuk efisiensi mekanisme ARP, namun tidak dilakukan penyelidikan terkait unjuk kerja jaringan seiring dengan penambahan jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan yang melatarbelakangi penelitian tersebut.

Pada makalah ini, akan ditunjukkan dan dianalisis pengaruh jumlah perangkat yang terhubung dalam suatu jaringan terhadap unjuk kerja jaringan yang akan berdampak pada kualitas layanan dari sisi konsumsi *bandwidth*, waktu yang dibutuhkan untuk *MAC Address Translation* dan jumlah paket ARP yang mengalir dalam jaringan.

Makalah ini tersusun atas bagian pendahuluan, bagian paparan tentang ARP dan mekanisme *MAC address translation*, bagian metodologi, bagian data dan analisis hasil penelitian, serta bagian kesimpulan.

II. ADDRESS RESOLUTION PROTOCOL DAN MAC ADDRESS TRANSLATION

A. Address Resolution Protocol (ARP)

ARP adalah protokol yang digunakan oleh IPv4 untuk memetakan alamat IP ke alamat MAC yang digunakan pada komunikasi protokol *data link*. ARP bekerja di antara layer 2 OSI (*data link*) dan layer 3 OSI (*network*). ARP dipakai ketika IPv4 digunakan melalui *ethernet*.

Pengalamatan pada *ethernet* adalah pengalamatan pada layer *data link* dan bergantung pada kartu antarmuka jaringan yang digunakan oleh perangkat. Pengalamatan IP hanya bekerja pada *layer network* dan tidak memerhatikan pengalamatan MAC tiap perangkat dalam jaringan. Oleh karena itu, ARP digunakan untuk mentraslasikan kedua tipe pengalamatan tersebut. Proses ini secara umum dilakukan pada *software driver* di kartu antarmuka jaringan. Ketika sebuah perangkat dalam jaringan ingin mengirim data, perangkat tersebut akan melihat *ARP cache* untuk mencari tahu alamat MAC dari perangkat yang hendak dikirimkan data tersebut, dengan cara mencocokkan alamat IP-nya. Alamat

MAC tersusun atas 48 bit (6 oktet), sementara alamat IP tersusun atas 32 bit (4 oktet) [9], [10].

B. MAC Address Translation

MAC address translation adalah proses pemetaan alamat IP ke alamat MAC. Proses ini dilakukan oleh protokol ARP. Setiap *host* pada jaringan LAN menyimpan *cache* yang terdiri atas alamat IP yang sudah ditranslasikan menjadi alamat MAC. Proses tanslasi terjadi ketika terdapat perangkat dengan alamat IP yang baru dalam jaringan atau ketika alamat-alamat pada *cache* telah melewati batas waktu tertentu sehingga harus dihapus dari daftar [11].

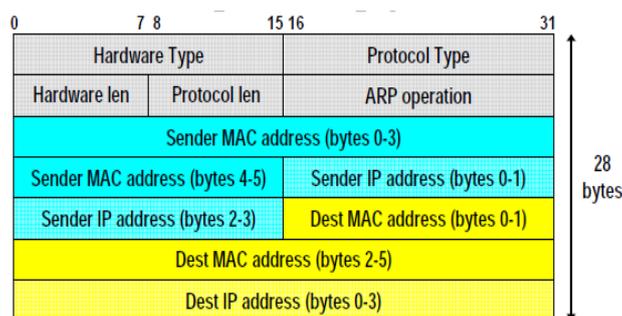
Terdapat empat jenis pesan ARP dalam jaringan yang dikirim oleh protokol ARP. Keempat pesan ini dapat dibedakan berdasarkan keempat nilai pada *operation field* dari sebuah pesan ARP [9]. Pesan-pesan tersebut adalah sebagai berikut.

1) *ARP Request*, yaitu pesan ARP yang dikirimkan oleh *host* yang bertindak sebagai pengirim kepada seluruh *host* dalam jaringan secara *broadcast*. Pesan ini dikirim hanya ketika *host* pengirim tidak memiliki alamat MAC tujuan pada *cache*-nya. Gbr. 1 menunjukkan format pesan *ARP Request*.

2) *ARP Reply*, yaitu pesan ARP yang dikirimkan oleh *host* penerima yang berisi alamat MAC dan alamat IP dari *host* yang hendak dikirimkan pesan. Pesan ini dikirimkan secara *unicast* ke *host* pengirim. Gbr. 1 menunjukkan format pesan *ARP Reply*.

3) *Reverse ARP (RARP) Request*, adalah pesan ARP yang memiliki fungsi berkebalikan dengan *ARP Request*, yaitu jika *host* pengirim hendak mengetahui alamat IP dari suatu *host* yang telah diketahui alamat MAC-nya.

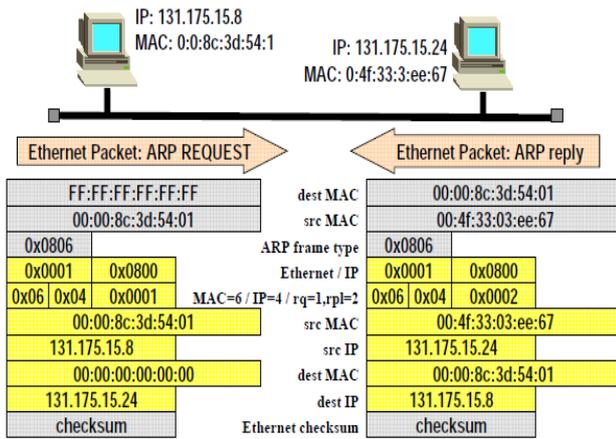
4) *Reverse ARP (RARP) Reply*, adalah pesan ARP yang memiliki fungsi berkebalikan dengan *ARP Reply*, yaitu pesan yang dikirimkan oleh *host* penerima untuk membalas permintaan terhadap alamat IP miliknya yang dikirimkan secara *unicast*.



Gbr. 1 Format pesan *ARP Request* dan *ARP Reply* [12].

Ketika *host* pengirim ingin mengetahui alamat MAC tujuannya berdasarkan IP, *host* pengirim akan melakukan *broadcast* pesan *ARP Request* ke setiap *host* yang ada dalam jaringan. *Host* tujuan akan membalas pesan tersebut dengan pesan *ARP Reply* yang bersifat *unicast*. Setelah menerima balasan tersebut, *host* pengirim akan menyimpan alamat MAC dari *host* tujuan berdasarkan IP-nya untuk bisa digunakan

pada komunikasi antara kedua *host* di masa mendatang[10]. Mekanisme pengiriman *ARP Request* dan *ARP Reply* dapat dilihat pada Gbr. 2.



Gbr. 2 Mekanisme pengiriman *ARP Request* dan *ARP Reply* [12].

Pada umumnya, *ARP cache* diperbarui setiap 20 menit, sehingga alamat-alamat yang sebelumnya tersimpan akan dihapus jika tidak digunakan dalam rentang waktu tersebut [12].

III. METODOLOGI

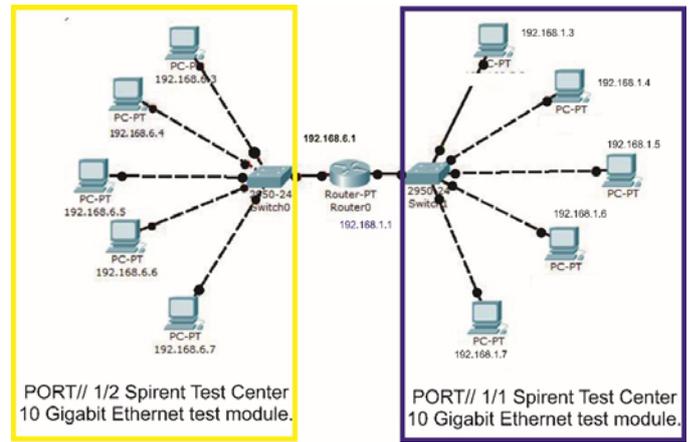
A. Perancangan Sistem

Perangkat keras yang digunakan adalah *Spirent Test Center* (STC) yang mampu melakukan emulasi pada jaringan dengan topologi yang kompleks dan dalam berbagai jenis kondisi trafik [13]. Perangkat STC dapat dilihat pada Gbr. 3.



Gbr. 3 Perangkat *Spirent Test Center*.

STC digunakan sebagai pembangkit trafik *ARP* pada jaringan yang dihubungkan dengan satu unit PC menggunakan kabel *ethernet*. Digunakan dua *port 10 Gigabit ethernet test module* yang saling terhubung dengan sebuah *patch cord* optik. Masing-masing *port* mewakili sebuah *subnet*. Pengaturan topologi jaringan dan jenis trafik dilakukan melalui *STC Packet Generator and Analyzer*. Topologi jaringan yang digunakan dalam dapat dilihat pada Gbr. 4. Seluruh paket *ARP* akan dianalisis dengan bantuan *Wireshark*.



Gbr. 4 Topologi jaringan.

B. Skenario Pengujian

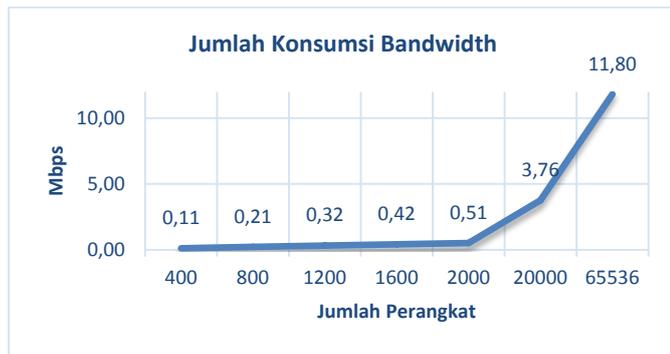
Untuk mengetahui seberapa besar konsumsi *bandwidth* akibat peningkatan jumlah perangkat yang terhubung pada jaringan, dilakukan variasi terhadap jumlah perangkat yakni 400, 800, 1200, 1600, 1000, dan 65536 perangkat yang dibagi kedalam dua *subnet* dengan jumlah yang sama rata. Masing-masing perangkat pada kedua *subnet* dapat saling berkomunikasi satu sama lain dengan topologi yang bertipe *mesh*. Selain konsumsi *bandwidth* yang ditimbulkan, parameter unjuk kerja lain yang akan dianalisis meliputi waktu untuk proses *MAC Address translation* dan ukuran total paket *ARP* dalam jaringan.

IV. DATA DAN ANALISIS

Pada bagian ini dijelaskan pengaruh jumlah perangkat yang terhubung pada jaringan terhadap beberapa parameter unjuk kerja yang diteliti, yaitu jumlah *bandwidth* yang dikonsumsi, waktu untuk proses *MAC Address translation*, dan ukuran total paket *ARP* yang dihasilkan dalam jaringan.

A. Jumlah Konsumsi Bandwidth

Pada Gbr. 5 ditunjukkan hubungan antara jumlah konsumsi *bandwidth* terhadap jumlah perangkat dalam jaringan. Diketahui pada saat terdapat 400 perangkat dalam jaringan, jumlah konsumsi *bandwidth* sebesar 0,11 Mbps. Pada saat jumlah perangkat meningkat menjadi 800 perangkat, terjadi kenaikan konsumsi *bandwidth* sebesar 1,91 kali lipat. Seiring meningkatnya jumlah perangkat, konsumsi *bandwidth* ikut mengalami peningkatan. Pada saat jumlah perangkat mencapai 65536, konsumsi *bandwidth* mengalami peningkatan sebesar 106,05 kali lipat dibanding konsumsi *bandwidth* saat terdapat 400 perangkat dalam jaringan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan, maka semakin banyak pesan *ARP* baik *ARP Request* maupun *ARP Reply* yang terdapat pada jaringan, sehingga jumlah konsumsi *bandwidth* untuk melakukan translasi alamat IP ke alamat MAC semakin besar. Akibatnya, *bandwidth* yang tersedia untuk layanan semakin kecil.



Gbr. 5 Jumlah konsumsi *bandwidth* terhadap jumlah perangkat.

Untuk menentukan seberapa besar konsumsi *bandwidth* tiap kenaikan jumlah perangkat, dilakukan pendekatan regresi linier dengan data pada Tabel I.

TABEL I
REGRESI LINIER

x	y	x ²	y ²	x.y
400	0,11	160000	0,01	44,50
800	0,21	640000	0,05	170,41
1200	0,31	1440000	0,10	378,46
1600	0,42	2560000	0,17	667,47
2000	0,51	4000000	0,26	1014,00
20000	3,76	400000000	14,12	75146,28
65536	11,80	4294967296	139,19	773197,87
Σ	91536	4703767296	153,90	850618,99

$$y = a + bx \tag{1}$$

dengan

y = konsumsi *bandwidth*

x = jumlah perangkat

a = konstanta

b = derajat kenaikan

$$a = \frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} = \frac{(17,11919243)(4703767296) - (91536)(850618,9861)}{7(4703767296) - (91536)^2} = 0.10834$$

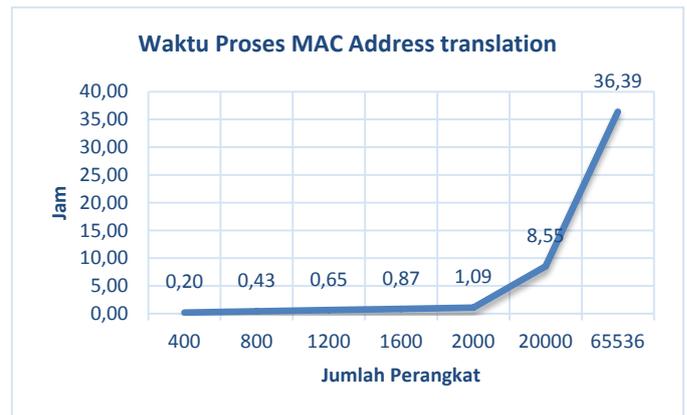
$$b = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} = \frac{7(850618,9861) - (91536)(17,11919243)}{7(4703767296) - (91536)^2} = 1,78727 \cdot 10^{-4}$$

Mengacu pada (1), diperoleh hubungan antara jumlah perangkat dan konsumsi *bandwidth* pada jaringan memenuhi persamaan $y = 0.10834 + (1,78727 \cdot 10^{-4})x$.

B. Waktu untuk Proses MAC Address Translation

Pada Gbr. 6 ditunjukkan hubungan antara waktu untuk proses *MAC address translation* terhadap jumlah perangkat dalam jaringan. Pada saat jumlah perangkat sebesar 400, waktu yang dibutuhkan untuk proses translasi adalah 0,20 jam.

Waktu untuk proses ini menjadi semakin panjang seiring dengan peningkatan jumlah perangkat dalam jaringan. Terjadi peningkatan sebesar 2,09 kali lipat pada saat terdapat 800 perangkat dalam jaringan. Ketika jumlah perangkat mencapai 65536, waktu yang dibutuhkan untuk translasi menjadi semakin panjang, yakni 177,92 kali lipat dibanding saat terdapat 400 perangkat dalam jaringan. Semakin banyaknya jumlah perangkat menyebabkan semakin banyak pula alamat IP yang harus ditranslasikan menjadi alamat MAC agar dapat terjadi komunikasi antar perangkat. Oleh karena itu, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses ini menjadi semakin panjang.



Gbr. 6 Waktu proses *MAC Address Translation* terhadap jumlah perangkat.



Gbr. 7 Ukuran total paket ARP terhadap jumlah perangkat.

C. Ukuran Total Paket ARP

Pada Gbr. 7 dapat dilihat pengaruh jumlah perangkat terhadap ukuran total paket ARP dalam jaringan. Pada saat terdapat 400 perangkat yang saling terhubung, ukuran total paket ARP adalah 0,20 Mbit. Sedangkan ketika jumlah perangkat dinaikkan menjadi 800, ukuran total paket ARP ikut meningkat sebesar 2,00 kali lipat menjadi 0,41 Mbit. Semakin banyak jumlah perangkat, maka ukuran total paket ARP dalam jaringan semakin besar. Pada saat terdapat 65536 perangkat, ukuran total paket ARP dalam jaringan mencapai 115,19 kali lipat dibanding jika terdapat 400 perangkat dalam jaringan, yaitu 23,59 Mbit.

Kenaikan ukuran total paket ARP dalam jaringan ini terjadi akibat semakin banyaknya pesan-pesan ARP *Request* dan ARP *Reply* yang dikirimkan. Oleh karena itu, ukuran total paket ARP yang dibutuhkan selama proses translasi semakin besar seiring dengan penambahan jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan.

V. KESIMPULAN

ARP merupakan protokol yang digunakan oleh IP, khususnya IPv4 untuk memetakan alamat IP terhadap alamat fisik yang digunakan pada protokol *datalink*. ARP bekerja dengan menemukan alamat komputer pada jaringan. Ketika sebuah aplikasi mencoba untuk mengakses sebuah *host* dengan menggunakan alamat IP, maka alamat IP yang dimiliki oleh *host* tersebut harus diterjemahkan ke dalam alamat MAC agar *frame-frame* data dapat diteruskan ke tujuan dan diletakkan di atas media transmisi (kabel, radio, atau cahaya). Jika memang alamat yang dituju berada di luar jaringan lokal, maka ARP akan mencoba mendapatkan alamat MAC dari *gateway* yang menghubungkan jaringan lokal ke luar jaringan tempat komputer yang dituju berada.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah perangkat dalam jaringan menyebabkan konsumsi *bandwidth* pada jaringan semakin besar. Pada jumlah 20000 perangkat, penambahan *bandwidth* meningkat sangat signifikan. Hal ini dikarenakan dengan semakin banyak jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan, semakin banyak pula pesan ARP baik ARP *Request* maupun ARP *Reply* yang memenuhi jaringan tersebut. Akibatnya, jumlah konsumsi *bandwidth* untuk melakukan translasi alamat IP ke alamat MAC menjadi semakin besar dan *bandwidth* yang tersedia untuk layanan menjadi semakin kecil. Semakin banyak jumlah perangkat dalam jaringan juga menyebabkan waktu untuk proses *MAC Address translation* menjadi semakin panjang, sebab terdapat semakin banyak jumlah perangkat yang harus ditranslasikan alamat IP-nya ke alamat MAC. Selain itu, ukuran total paket ARP juga bertambah besar seiring dengan kenaikan jumlah perangkat dalam jaringan sebagai akibat dari semakin banyaknya pesan-pesan ARP *Request* dan ARP *Reply* yang dikirimkan. Oleh karena itu, ukuran total paket ARP yang dibutuhkan selama proses translasi semakin besar seiring dengan penambahan jumlah perangkat yang terhubung dalam jaringan.

Pada langkah selanjutnya, akan dilakukan penambahan *background traffic* pada jaringan seperti trafik video, suara, dan data sehingga dapat dilakukan analisis unjuk kerja

pengaruh jumlah perangkat pada komunikasi protokol ARP terhadap kualitas layanan yang disediakan, agar pengujian dapat mendekati dengan kondisi nyata di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada PT. Telekomunikasi Indonesia Divisi *Digital Service*, khususnya Laboratorium *Broadband Core Network* dalam penyediaan perangkat keras Spirent Test Center yang digunakan dalam pengujian.

REFERENSI

- [1] I. B. V. H. Manuaba, R. Hidayat, dan S. S. Kusumawardani, "Evaluasi Keamanan Akses Jaringan Komputer Nirkabel," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 1, nr 1, pp. 13-16, 2012.
- [2] P. H. Mukti, A. E. Prabowo, dan G. Kusrahardjo, "Evaluasi VoIP Menggunakan Mean Opinion Score pada Jaringan Testbed-WiMAX Berbasis IEEE 802.16-2004," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 4, nr 4, 2015.
- [3] R. Prasad, C. Dovrolis, M. Murray, dan K. Claffy, "Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools," *IEEE Network*, vol. 17, nr 6, pp. 27-35, 2003.
- [4] D. C. Plummer, "An Ethernet Address Resolution Protocol or Converting Network Protocol Addresses," *IETF*, 1982.
- [5] D. Eastlake, "IANA Considerations and IETF Protocol Usage for IEEE 802 Parameters," *IETF*, 2008.
- [6] B. Zdrnja, "Malicious JavaScript Insertion through ARP Poisoning Attacks," *IEEE Security & Privacy*, vol. 7, nr 3, 2009.
- [7] H. A. Mangut, A. Al-Nemrat, Benzaïd, dan A.-R. H. Tawil, "ARP Cache Poisoning Mitigation and Forensics Investigation," i *Trustcom/BigDataSE/ISPA, 2015 IEEE*, 2015.
- [8] N. Saputro dan K. Akkaya, "An efficient ARP for large-scale IEEE 802.11s-based Smart Grid networks," i *Local Computer Networks (LCN), 2013 IEEE 38th Conference on*, 2013.
- [9] G. Fairhurst, "Address Resolution Protocol (ARP)," Electronics Research Group, University of Aberdeen, Aberdeen, 2005.
- [10] R. Bhaskaran dan S. Vidya, "ARP Storm Detection and Prevention Measures," *IJCSI International Journal of Computer Science*, vol. 8, nr 2, pp. 456-460, 2011.
- [11] D. Bruschi, A. Ornaghi, dan E. Rosti, "S-ARP: a Secure Address Resolution Protocol," i *Computer Security Applications Conference, 2003. Proceedings. 19th Annual*, Los Alamitos, 2004.
- [12] G. Bianchi, G. Neglia, dan V. Mancuso, "Direct Datagram Forwarding: Address Resolution Protocol," Università degli Studi di Palermo, Palermo.
- [13] *SPIRENT TEST CENTER PACKET GENERATOR AND ANALYZER BASE PACKAGE*, Spirent Communications, Ismaning, 2010.