

CELAH IPV6 ROUTER ADVERTISEMENT PADA SISTEM OPERASI WINDOWS

Ilman Zuhri Yadi¹, Suzi Oktavia Kunang²
Universitas Bina Darma

Jalan Jenderal Ahmad Yani No.3 Palembang

Sur-el: ilmanzuhriyadi@binadarma.ac.id¹, suzi_oktavia@binadarma.ac.id²

Abstract: *With the decrease in the number of IPv4 available it is necessary to consider IPv6 usage. However, IPv6 itself still has security holes such as security flood hole Router Advertisement false. Router Advertisement flood itself is an IPv6 DoS attack on the local network. This attack floods the local network segment with malicious Router Advertisement to replace the legitimate routing entry on the host interface. The purpose of this research is to study the response of Operating System with Windows platform against IPv6 Router Advertisement attack on the network, and to recommend solution to close the security hole. Attack testing is done with two stages of RA flood packet delivery with single prefix and multi prefix.*

Keywords: *Router Advertisement, IPv6, Sistem Operasi*

Abstrak: *Dengan makin berkurangnya jumlah IPv4 yang tersedia maka perlu dipertimbangkan penggunaan IPv6. Akan tetapi IPv6 sendiri masih memiliki celah keamanan antara lain celah keamanan serangan flooding Router Advertisement palsu. Router Advertisement flood sendiri adalah merupakan serangan IPv6 DoS di jaringan lokal. Serangan ini membanjiri segmen jaringan lokal dengan malicious Router Advertisement untuk menggantikan entri routing yang sah pada antarmuka suatu host. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari respon Sistem Operasi dengan platform Windows terhadap serangan IPv6 Router Advertisement di jaringan, serta memberikan rekomendasi solusi untuk menutup celah keamanan tersebut. Pengujian serangan dilakukan dengan dua tahapan yaitu pengiriman paket flood RA dengan single prefix dan multi prefix.*

Kata Kunci: *Router Advertisement, IPv6, Sistem Operasi*

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan RFC 791, “protokol internet didesain penggunaannya untuk menginterkoneksi sistem *host* jaringan komunikasi komputer. Internet Protokol digunakan untuk mentransmisikan blok data yang disebut datagram dari sumber ke tujuan, di mana sumber dan tujuan berupa *host* yang diidentifikasi menggunakan panjang alamat tetap “(University of Southern California, 1981). Ada dua *Protokol Internet* yang digunakan secara umum, yaitu Internet Protokol versi 4 (*IPv4*) dan *Internet Protokol* versi 6 (*IPv6*).

Standar *Protokol Internet IPv4* sudah digunakan sejak tahun 1970-an. Beberapa keterbatasan dari protokol *IPv4* antara lain keterbatasan jumlah alamat IP karena hanya menggunakan alamat IP 32 bit. Dengan jumlah bit yang terbatas tersebut maka jumlah maksimal *IPv4* yang dapat ditampung hanya 4.294 juta alamat *host* untuk seluruh dunia. Dengan makin berkembangnya penggunaan jaringan internet di seluruh dunia maka *IPv4* yang tersedia cepat habis.

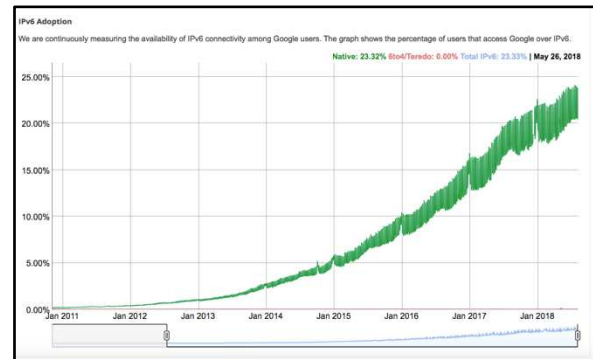
Di Indonesia sendiri *Internet Protokol* versi 4 (*IPv4*) sampai saat ini masih banyak digunakan sebagai *Protokol Internet* utama. Berdasarkan *Report Geoff Houston IPv4 Address Report*, *IPv4* mulai mengalami fase jenuh pada

awal tahun 2011 (Houston, 2018). Pada 3 Februari 2011 *Internet Assigned Numbers Authority (IANA)* kehabisan alamat *IPv4* yang belum dialokasikan mereka. Dalam beberapa tahun, setiap *Regional Internet Registry (RIR)* akan kehabisan *IPv4* yang belum dialokasikan. Kejenuhan yang terjadi ini karena pesatnya perkembangan pengguna Internet. Dampaknya, dalam beberapa tahun ke depan pengguna internet baru tidak akan bisa mendapatkan alamat *IPv4*, yang berarti mereka akan sulit terkoneksi ke Internet.

IETF RFC 791, 1981 sudah membahas keterbatasan infrastruktur Internet yang didasarkan pada Internet Protokol 4 (*IPv4*). *Network Working Group* dari *Internet Engineering Task Force (IETF)* mengusulkan sebuah Paket protokol baru disebut *Internet Protocol versi 6 (IPv6)*. Sebagai hasilnya, IETF telah mengatur spesifikasi *IPv6*, bersama dengan sejumlah kinerja, kemudahan konfigurasi, dan masalah manajemen jaringan. Spesifikasi *IPv6* telah diatur dalam berbagai *Request for Comments (RFC)* seperti RFC 2460 (tentang *IPv6 Protocol*), RFC4861 (mengenai *IPv6 Neighbor Discovery*), RFC 4862 (mengatur *IPv6 Stateless Address Auto-Configuration*), RFC 4443 (mengenai *Internet Control Message Protocol untuk IPv6 (ICMPv6)*), RFC 4291 (mengatur *IPv6 Addressing Architecture*), dan RFC 4301 (tentang *Security Architecture for IP or IPsec*). (Durdagi, 2010)

Dalam dokumen RFC Internet Protokol versi 6 (*IPv6*) adalah versi terbaru dari Internet Protokol, yang dirancang sebagai pengganti *Internet Protokol* versi 4 (*Network Working Group*, 1998). *IPv6* dirancang untuk memenuhi

pertumbuhan pengguna internet yang makin pesat. *IPv6* memiliki panjang alamat 128-bit, sehingga dapat mendukung 2^{128} alamat atau sekitar 3.4×10^{38} alamat. Selain jumlah alamat yang lebih banyak *IPv6* juga memiliki beberapa perubahan lain.



(Sumber: <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>)

Gambar 1. Penggunaan IPv6 berdasarkan Google Statistik

Dalam penggunaan *IPv6* ada beberapa masalah yang ditemui terkait dengan keamanannya. Misalnya untuk dukungan penggunaan *IPv6* yang belum didukung oleh beberapa perangkat pengamanan di jaringan. Sedangkan pada beberapa perangkat pengamanan yang mendukung *IPv6* masalah konfigurasi yang tidak dikonfigurasi secara benar mengakibatkan celah keamanan. Contohnya pada beberapa *firewall*, dan *IDS* yang bisa mendeteksi serangan berbahaya pada trafik data protokol *IPv4*, pada saat penyerang mengirimkan trafik data berbahaya pada protokol *IPv6* mekanisme kontrol dan deteksi perangkat bisa dilewati. Masalah lain pada kelemahan *IPv6* bisa dimanfaatkan penyerang untuk melakukan serangan jaringan ke *IPv6*. Beberapa penelitian yang membahas pengujian keamanan jaringan, antara lain dilakukan oleh A. Pilihanto dalam SANS Institute yang membahas mengenai

serangan ke IPv6 dan mekanisme pertahanannya (Pilihanto, 2011). Penelitian lain yang membahas berbagai serangan pada IPv6 dilakukan oleh (Vikram, 2014).

Salah satu celah keamanan IPv6 adalah celah *Router Advertisement (RA) flood attack*. Celah ini dikarenakan adanya *Router Discovery (RD)* dan *Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)* pada protokol *Neighbor Discovery Protocol (NDP)* IPv6. RD memungkinkan *host* menemukan router terdekat di jaringan dan SLAAC memungkinkan *host* meng-generate alamat IPv6. Dengan kedua fungsi tersebut, paket *Router Advertisement broadcast* tidak memerlukan konfirmasi dari *host* penerima. Sehingga dengan membanjiri jaringan dengan *broadcast* paket *Router Advertisement (RA)* mengakibatkan serangan *DoS* pada seluruh *host* di jaringan lokal.

Hampir seluruh platform Sistem Operasi modern mendukung penggunaan IPv6, khususnya system operasi *Windows*. Sistem Operasi *Windows* sendiri merupakan yang merupakan Sistem Operasi yang paling banyak penggunaannya, dan semenjak penggunaan *Windows 7* secara default sudah mendukung implementasi (penggunaan) IPv6. Untuk itu pada penelitian ini berfokus pada analisis celah keamanan IPv6 terhadap serangan *Router Advertisement flooding* khususnya di jaringan yang clientnya menggunakan platform Sistem Operasi *Windows* mulai dari *Windows XP*, *Windows 7*, *Windows 8*, *Windows 10*, *Windows Server 2008*, *Windows Server 2012* dan *Windows Server 2016*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan jenis penelitian, maka penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimen. Langkah-langkah dalam penelitian eksperimen pada dasarnya hampir sama dengan penelitian lainnya. Berdasarkan Marguerite (2010) maka 10 tahapan dalam penelitian eksperimen ini yaitu: (1) Penentuan topik yang tentang serangan IPv6 *Router Advertisement* pada platform Sistem Operasi *Windows*; (2) meninjau referensi yang relevan terkait dengan IPv6 dan serangan *Router Advertisement*; (3) menyusun hipotesis, yaitu: “tidak semua dari platform Sistem Operasi *Windows* siap dengan implementasi IPv6 khususnya dampak dari serangan IPv6 *RA flood*.”; (4) memilih platform Sistem operasi yang akan diuji yaitu *Windows XP*, *Windows 7*, *Windows 8*, *Windows 10*, *Windows Server 2008*, *Windows Server 2012* dan *Windows Server 2016*; (5) menentukan instrumen pengukuran, instrumen yang diukur antara lain beban kerja processor dan *memory* dari berbagai platform tersebut; (6) menentukan kelompok variabel eksperimen dan kontrol, yang menjadi variabel eksperimen disini adalah paket data *RA flood* yang dikirim, sedangkan variabel kontrol berupa pemakaian *processor* dan *memory*; (7) menyusun *treatment/tindakan*, berdasarkan fase *methodology testing*; (8) mengumpulkan dan menganalisa data; (9) membuat keputusan tentang hipotesis (sesuai atau tidak sesuai); (10) menyusun simpulan.

2.1 Prosedur Penelitian

Untuk tahapan tindakan pada prosedur eksperimen ini mengacu pada dokumen *United States National Institute of Standards and Technology (NIST)* mengenai pengujian *Information Security* (K. Scarfone, dkk., 2008). Fase *Penetrasi Testing* pada dokumen NIST terdiri dari empat fase yang mencakup *Planning, Discovery, Attack dan Reporting*.

2.2 Serangan Denial of Services

Internet Engineering Task Force (IETF) mengembangkan *IPv6* untuk mengatasi keterbatasan *IPv4* (Kaur & Sharma, 2014). Namun, beberapa kerentanan keamanan *IPv4* masih ada di *IPv6*. Sebagai contoh, Kedua jaringan *IPv4* dan *IPv6* rentan terhadap serangan *Denial of Service (DoS)*.

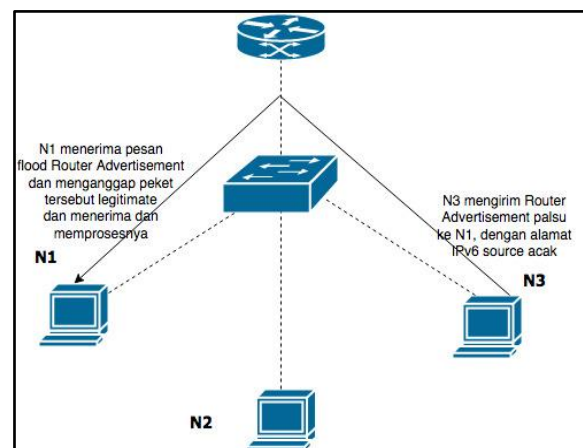
Serangan DoS merupakan upaya menghentikan *node* yang sah untuk mendapatkan akses ke sumber daya jaringan. Selama serangan DoS berlangsung, *node* penyerang menyebabkan *node* korban berhenti berkomunikasi dengan semua *node* atau *node* tertentu pada di jaringan (Beck dkk., 2007). Meskipun serangan DoS mengganggu keamanan jaringan, serangan tersebut tidak melakukan pencurian informasi. Melainkan, serangan DOS mencoba untuk memutuskan koneksi jaringan (Shrivastava, Sharma, & Rai, 2010).

Setiap sistem operasi dapat menjadi target serangan DoS karena serangan tersebut ditujukan pada *Internet Protocol (IP)*. Dengan demikian, setiap sistem operasi yang menggunakan *IPv4* atau *IPv6* bisa diserang (Bosworth dkk., 2012).

Meskipun serangan DoS sering hanya mempengaruhi layanan jaringan IP, mereka juga dapat mempengaruhi *VoIP* dan layanan *real-time* lainnya (Brashars, 2007). Penyerang sering menggunakan *spoofing* untuk menyembunyikan sumber serangan DoS. Misalnya, *IP address spoofing* atau *MAC address spoofing* (Tripathi & Mehtre, 2013).

2.3 Serangan Router Advertisement Flood

Serangan *Router Advertisement flood* di jaringan merupakan serangan Dos pada *IPv6*. Serangan ini bekerja dengan membanjiri jaringan lokal dengan malicious *Router Advertisement*. *Router advertisement* ini pada *host* yang menerima pesan akan menggantikan entri routing yang sah pada antarmuka jaringan (Shrivastava, Sharma, & Rai, 2010).



Gambar 2. Proses Serangan Router Advertisement

Pada gambar 2 R1 tidak harus mendukung *IPv6*, karena messages akan dikirim langsung melalui LAN. Sebagai dampaknya N3 akan mengirim *source address random* dari RA packets sent ke N1, N1. Host yang

menerimaakan memproses setiap single paket yang di *broadcast*. Sebagai dampaknya setiap proses akan direspon. Hal ini berarti setiap *Router Advertisement* yang diterima, N1 akan meng-assign dirinya sendiri baik untuk alamat *temporary* dan *public link local address*.

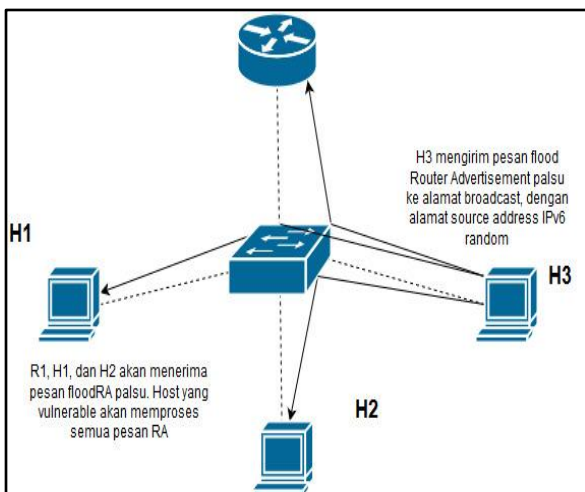
Selama banjir paket RA ke *host* IPv6 yang rawan, maka pemakaian CPU akan meningkat hingga 90 – 100%, dan sistem operasi di dalam *host* menjadi tidak bisa digunakan, menjadi sangat lambat untuk memproses semua trafik yang dikirim.

Selain itu, *NDP RFC* ini memungkinkan pengiriman *RA messages* ke alamat *broadcast address*, yang berarti satu *host* yang mengirim pesan RA palsu bisa melumpuhkan semua perangkat di dalam jaringan sekaligus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Planning

Pada tahapan *Planning* ini desain simulasi pengujian bisa dilihat seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Desain Simulasi Pengujian

Untuk *Attacker* (H3) menggunakan *host* Kali Linux Rolling (kernel Linux kali 4.3.0-kali1-686-pae) seperti pada gambar yang akan mengirim paket broadcast RA ke H1 dan H2. Sistem operasi Kali Linux ini diinstal pada Komputer *Virtual Box*. Sedangkan yang menjadi target serangan adalah Sistem Operasi *Windows XP, 7, 8.1, 10, Windows Server 2008, Windows Server 2012* dan *Windows Server 2016*.

3.2 Proses Discovery dan Penyerangan

Pada tahapan *discovery* dan penyerangan dilakukan dengan dua skenario. Skenario pertama dilakukan serangan dengan *Single Router Advertisement Attack*, skenario kedua melakukan serangan dengan *Multi Router Advertisement Attack*.

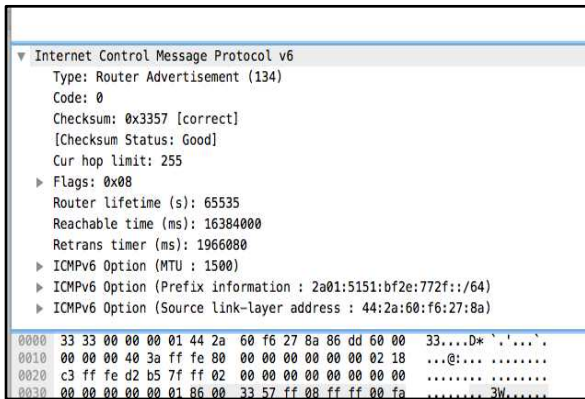
3.2.1 Single Prefix Router Advertisement Attack

Pada komputer penyerang dibuat *script* sederhana menggunakan perintah *atk-fake_router26* yang dibuat untuk meng-generate paket *Router Advertisement* palsu dengan *script* pada gambar 4.

```
#!/bin/bash
for i in {1..1000}
do
atk6-fake_router26 -A 1:$i::/64 -n 1 eth0
done
```

Gambar 4. Contoh Script untuk Router Advertisement Palsu

Paket *Router advertisement* yang dikirim ke *host* di jaringan yang hanya terdiri dari satu *prefix* dan satu *Source link layer address*. *Script* ini dites dengan mengirim 1000 dan 10.000 paket ke jaringan untuk melihat pengaruh paket *Router Advertisement Broadcast* ke *host* target.

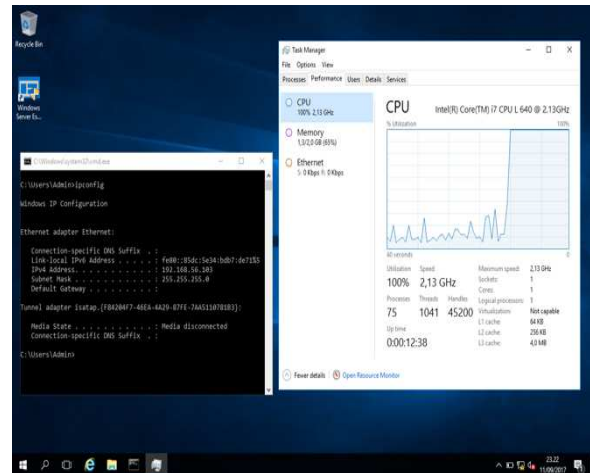


Gambar 5. Paket Single Prefix Router Advertisement Palsu

Pengujian serangan dilakukan pada seluruh Platform sistema operasi *Windows* yang diuji dengan pengujian 1000 paket flood dan 10.000 paket *flood*. Kemudian diamati Utilisasi CPU dan Penggunaan Memori pada masing-masing platform *Windows*.

Pada pengujian serangan dengan single prefix (satu *host* yang mem-broadcast *RA flood*), sbagian besar platform yang diuji mengalami *crash* (tidak merespon). Hasil lebih detail bisa dilihat di tabel 1. Pada saat dilakukan serangan, hampir seluruh platform Sistem Operasi *Windows* terganggu terlihat dari Utilisasi CPU mencapai 100% termasuk pada Platform sistem Operasi *Windows Server 2016* (pada gambar 6).

Kecuali pada sistema dengan platform Sistem Operasi *Windows 10* dan *Windows Server 2012*.



Gambar 6. Dampak Serangan pada Windows Server 2016 dengan 1000 Paket Flood

3.2.2 Multi Prefix Router Advertisement Attack

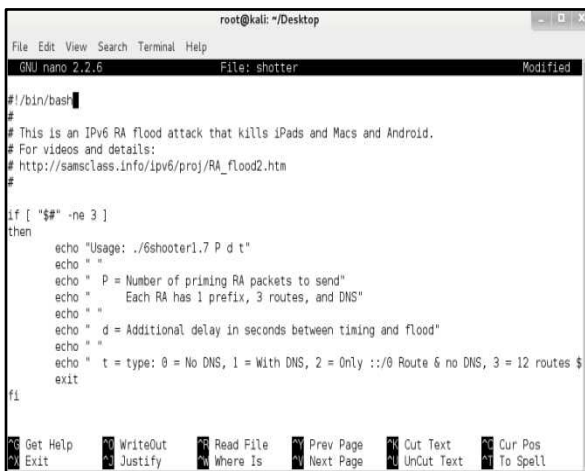
Pada pengujian selanjutnya dilakukan dengan penambahan *multi prefix Router Advertisement* yang menyerang yang melakukan *RA flood*. Untuk melakukan serangan dengan *multi route* ini digunakan *tools thc-ipv6-3.2*. Setelah diinstal pada komputer maka dibuat *script* yang dikembangkan oleh (Bowne, 2012) untuk menjalankan *fake router* secara simultan. Untuk *script* yang dibuat bisa dilihat pada gambar 7.

Tabel 1. Hasil Pengujian Serangan Paket RA Flood Single Prefix

Platform OS Target	1000 paket flood		10.000 paket flood		Keterangan
	% memori	% CPU	%memori	%CPU	
Windows XP Service Pack 1	30%	Menyentuh 90% tapi langsung turun	30%	hingga 100% stagnan	Terganggu dengan serangan <i>RA flood</i>
Windows 7	22%	hingga 100% stagnan	33%	hingga 100% stagnan	Terganggu dengan serangan <i>RA flood</i>
Windows 8.1	45%	Menyentuh 97% kemudian menurun	50%	Stagnan di 100%	Terganggu dengan serangan <i>RA flood</i>
Windows 10 Pro	50%	Normal	50%	Normal	Tidak terganggu dengan serangan <i>RA flood</i>
Windows Server 2008	20%	Stagnan 100%	37%	Stagnan 100%	Sistem <i>Crash</i> dengan serangan <i>RA flood</i>
Windows Server 2012	20%	Normal	20%	Normal	Tidak terganggu dengan serangan <i>RA flood</i>
Windows Server 2016	60%	stagnan hingga 100%	60%	stagnan hingga 100%	Terganggu dengan serangan <i>RA flood</i>

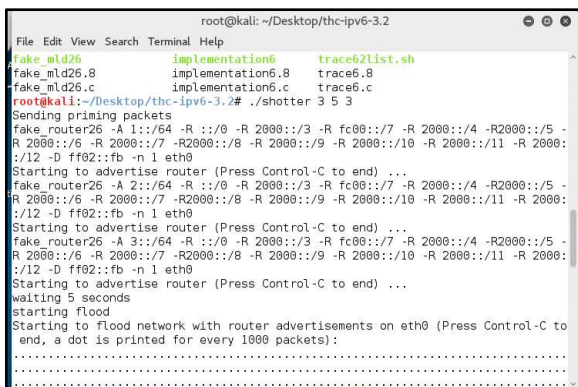
3.2.3 Multi Prefix Router Advertisement Attack

Pada pengujian selanjutnya dilakukan dengan penambahan *multi prefix Router Advertisement* yang menyerang yang melakukan *RA flood*. Untuk melakukan serangan dengan *multi route* ini digunakan *tools thc-ipv6-3.2*. Setelah diinstal pada komputer maka dibuat *script* yang dikembangkan oleh (Bowne, 2012) untuk menjalankan *fake router* secara simultan. Untuk *script* yang dibuat bisa dilihat pada gambar 7.



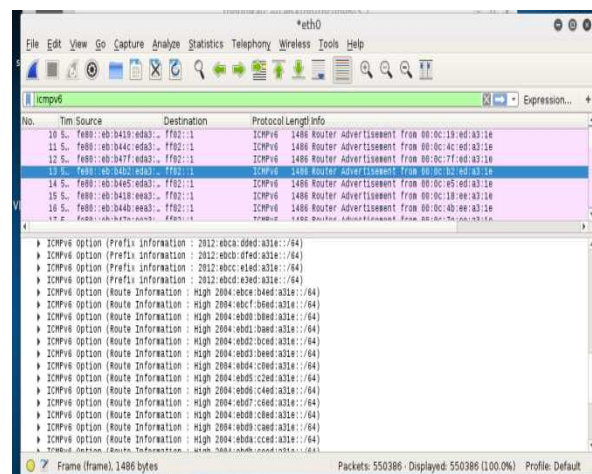
Gambar 7. Script Serangan dengan Multi Prefix Router Advertisement

Setelah *script* dibuat kemudian dijalankan seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Proses Pengiriman Paket Serangan dengan Multi Prefix Router Advertisement

Pada gambar 8 *script* router dijalankan dengan diikuti dengan angka 3 5 3. Angka 3 yang pertama berarti dikirim 3 paket RA (masing-masing terdiri dari 1 prefix, 3 route dan DNS). Angka 5 menunjukkan delay paket RA dalam detik antar *flood*. Opsi 3 menunjukkan jenis serangan untuk route dan DNS. Dan dampak dari proses serangan bisa dilihat detail paket yang dikirim dengan menggunakan *tools wireshark* seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Paket serangan Multi Prefix

Dari gambar 9 bisa dilihat normal paket RA yang dikirim yang terdiri dari 17 *Route Information Section*, 18 *Prefix Information Section* dan 1 *source link layer address*. Sehingga lebih banyak paket yang membanjiri jaringan. Dampaknya sangat berdampak besar pada jaringan yang dibanjiri terutama pada *host-host* yang terhubung ke jaringan.

3.3 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian pengiriman paket RA flood yang dilakukan bisa dilihat pada tabel 1. Dari tujuh platform Sistem Operasi Windows

yang diuji hampir semua platform secara default meng-*enable IPv6*. Kecuali untuk Sistem Operasi *Windows XP* *IPv6* harus diinstal. Sehingga hampir semua platform yang mengaktifkan *IPv6* akan meresponse pada saat dikirim paket *RA flood*. Dari seluruh platform Sistem Operasi *Windows* yang diuji hampir seluruh platform terganggu dengan pengiriman *Single Prefix router Advertisement* secara terus menerus kecuali pada Sistem operasi *Windows 10* dan *Windows Server 2012*.

Dampak dari serangan *RA flood IPv6* sangat berpengaruh pada penggunaan prosesor pada *host* yang menerima paket. Untuk penggunaan *memory* tidak terlihat peningkatan penggunaan *memory* secara signifikan. Dengan meningkatnya penggunaan CPU yang mencapai 100% berdampak pada komputer menjadi *crash* dan hampir tidak bisa menjalankan aplikasi atau perintah lainnya.

Untuk pengujian dengan menggunakan *thc-ipv6* yang bisa menambah jumlah *route penyerang* yang mengirim paket *flood* yang lebih banyak secara serentak memperlihatkan utilisasi CPU yang cukup berat termasuk pada Sistem Operasi *Windows 10* yang terkoneksi di jaringan. Jika dilakukan pada jaringan system virtual yang memiliki resource yang terbatas, maka OS yang menerima paket dalam waktu hitungan menit langsung *crash* tidak bisa merespon untuk semua Platform. Sedangkan pada Sistem Operasi *Windows 10* dan *Windows Server 2012* diuji pada sistem yang tidak virtual, serangan tersebut mengakibatkan kenaikan utilisasi CPU secara signifikan meskipun dan respon dari sistem menjadi melambat. Respon dari sistem bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Serangan RA Floodmulti Prefix

OS Target	Respon
<i>Windows XP</i>	Sistem crash tidak merespon
<i>Windows 7</i>	Sistem crash tidak merespon
<i>Windows 8.1</i>	Sistem crash tidak merespon
<i>Windows 10 Pro</i>	Utilisasi CPU meningkat, tapi tidak crash
<i>Windows Server 2008</i>	Sistem crash tidak merespon
<i>Windows Server 2012</i>	Utilisasi CPU meningkat , tapi tidak crash
<i>Windows Server 2016</i>	Respon sistem menjadi lambat

3.4 Penanganan Serangan *IPv6 RA flood*

Untuk menangani serangan *IPv6 Router Advertisement*, ada beberapa mekanisme yang bisa dilakukan, yaitu antara lain:

- 1) *IPv6* sebaiknya di-*disable* jika memang tidak diperlukan. Kecuali jika kita harus terkoneksi pada jaringan *IPv6* maka perlu kita aktifkan.
- 2) Melakukan konfigurasi manual untuk *Router Discovery* dan firewall.
 - a. Menurut Bowne & Prince, 2013 proses menonaktifkan *Router Discovery* bisa mencegah *Router Advertisement* meng-generate *IPv6* untuk diri mereka sendiri. Cara ini bisa mencegah sistem menggunakan *Stateless Auto Configuration* (konfigurasi alamat *IPv6* secara otomatis). Sebaiknya sistem diseting menggunakan *IPv6* statis. Akan tetapi cara ini tidak memungkinkan digunakan pada client, untuk mengkonfigurasi sendiri alamat *IPv6* secara statis. Pilihan ini bisa kita lakukan pada sistem yang terbatas, misalnya *Server*.

- b. Alternatif kedua melakukan konfigurasi *firewall* di masing-masing perangkat untuk memblokir paket *Router Advertisement* palsu. Di *firewall* dibuat *Access Control List* yang akan mengizinkan *Router Advertisement* dari gateway yang sebenarnya. Meskipun dalam prakteknya *IP Gateway* bisa di-*defeated*. Kendala lain proses konfigurasi *firewall*.
- c. Alternatif lain untuk mengatasi *Router Advertisement Flood* ini dengan menggunakan *Smart Switch* yang memiliki fitur *RA Guard*, seperti dijelaskan oleh (Chown, T., & Venaas, S. 2011).

Untuk pengujian dilakukan konfigurasi pada setiap platform untuk menonaktifkan *Router Discovery*. Kemudian setelah menonaktifkan *Router Discovery* maka dilakukan pengujian dengan membanjiri paket *Router Advertisement*. Terlihat hasil dari masing-masing platform yang dicoba proses utilisasi CPU berjalan normal, tidak terganggu dengan paket *flooding Router Advertisement* yang dikirim.

Konfigurasi paket *Router Advertisement* dan *firewall* pada client bisa mengatasi paket *flooding Router Advertisement*. Akan tetapi bagi pengguna awam tentu saja solusi ini sangat menyulitkan. Sehingga solusi terbaik adalah sangat diperlukannya *update patching* dari pengembang Sistem Operasi khususnya Microsoft *Windows* untuk masing-masing platform. Solusi lain yang terbaik OS sehingga tidak menyulitkan penggunaannya. Dan untuk

perusahaan yang sudah siap menggunakan IPv6 sebaiknya menggunakan *smart switch* untuk mengatasi serangan *IPv6 Router Advertisement flood* di jaringan.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan antara lain: (1) Untuk Platform Sistem Operasi *Windows* hanya Sistem Operasi *Windows 10* dan *Windows Server 2012 R2* yang tidak terganggu dengan pengujian serangan paket *RA Ipv6 flood*, tetapi pada saat diuji dengan serangan multi *prefix Router Advertisement* utilisasi CPU cukup berat meskipun tidak mengakibatkan sistem menjadi crash.; (2) Pada jaringan IPv4 untuk mengatasi serangan *IPv6 RA flood* sebaiknya di masing-masing platform IPv6 di non aktifkan. Khusus untuk platform jaringan IPv6 sebaiknya *Router Advertisary* dinonaktifkan, kecuali jika *host* berfungsi sebagai *router*.; (3) instansi/kantor yang sudah menggunakan IPv6 sebaiknya menggunakan *smart switch* yang mendukung fitur *RA Guard* untuk melindungi *host client* dari serangan *Router Advertisement flood*.; (4) Untuk pengujian *RA flood Advertisement* perlu juga diuji pada *Router Managable* untuk melihat dampak dari serangan tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

Atik Pilihanto, Rick Wanner. 2012. *A Complete Guide on IPv6 Attack and Defense*, SANS Institute InfoSec Reading Room.

- Beck, F., Cholez, T., Festor, O., & Chrisment, I. 2007. *Monitoring the Neighbor Discovery Protocol*. International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, Guadeloupe City, France.
- Bosworth, S., Kabay, M. E., & Whyne, E. (Eds.). 2012. *Computer Security Handbook, Set* (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- Bowne, S., & Prince, M. 2013. *Evil DoS Attacks and Strong Defenses*. PowerPoint slides. [Online]. (Diakses <https://www.defcon.org/images/defcon-21/dc-21-presentations/Bowne-Prince/DEFCON-21-Bowne-Prince-Evil-DoS-Attacks-and-Strong-Defenses.pdf>, tanggal 23 Mei 2017).
- Bowne, S. 2012. *New RA Flood Attack*. [Online]. (Diakses https://www.researchgate.net/publication/266022049_ICMPv6_Router_Advertisement_Flooding, tanggal 7 Juli 2018).
- Brashars, J. 2007. *Asterisk Hacking*. Syngress Publishing, Inc. Burlington, MA.
- Chown, T., & Venaas, S. 2011. *Rogue IPv6 Router Advertisement Problem Statement*. RFC 6104, February 2011.
- Durdagi, E. dan Buldu, A. 2010. *IPv4/IPv6 Security And Threat Comparisons*. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2(2), pp.5285-5291.
- Google. 2018. [Online]. (Diakses <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>, tanggal 6 Agustus 2018).
- Houston, Geof. 2016. *IPv4 Address Report*. [Online]. (Diakses <http://www.potaroo.net/tools/IPv4/index.html>, tanggal 18 Mei 2018).
- Kaur, R., & Sharma, S. 2014. *The Security Issues of IPv6 Routing Protocol - A Study*. International Journal of Computer Applications & Information Technology, 5(2), 53-60. [Online]. (Diakses <http://www.ijcait.com/IJCAIT/52/523.pdf>, tanggal 18 Mei 2018).
- K. Scarfone, M. Souppaya, A. Cody, A. Angela Orebough. 2008. *Technical Guide to Information Security Testing and Assesment*. Recommendations of the National Standard and Technology. NIST Special Publicaton 800-115.
- Marguerite G. Lodico, Dean T. Spaulding, Katherine H. Voegtle. 2010. *Methods In Educational Research: From Theory To Practice, 2nd Edition* (United States of Jossey-Bass A Wiley imprint, h. 230. America.
- Network Working Group. 1998. *RFC 2460 Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification*. [Online]. (Diakses <https://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>, tanggal 20 Mei 2018).
- Shrivastava, G., Sharma, K., & Rai, S. 2010. *The Detection & Defence of DoS & DDoS Attack: A Technical Overview*. International Conference on Computer Engineering and Technology, New Delhi, [Online]. (Diakses <http://jietjodhpur.com>, tanggal 10 Mei 2018).
- Tripathi, N., & Mehtre, B. M. 2013. *DoS and DDoS Attacks: Impact, Analysis and Countermeasures*. National Conference on Advances in Computing, Networking and Security, Nanded, India.
- University of Southern California. 1981. *RFC 791 Internet Protocol*. [Online]. (Diakses <https://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt>, tanggal 20 Mei 2017)
- Vikram P. Solanki, Prof. Mitesh Thakkar. 2014. *A Comprehensive Study on Various Security Attacks against IPv6*. International Journal Of Engineering Development And Research - IJEDR Volume 1, Issue 3 Dec 2014, hal. 198-201.