

<http://www.ftsm.ukm.my/apjitm>

Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia

Jurnal Teknologi Maklumat dan Multimedia Asia-Pasifik

Vol. 7 No. 1, June 2018: 29 - 44

e-ISSN: 2289-2192

## AN IMPLEMENTATION STUDY OF DMM PMIPv6 PROTOCOL ON DUAL-STACK NETWORK ENVIRONMENT

FAROUK ABD. JALIN  
NOR EFFENDY OTHMAN  
ROSILAH HASSAN  
ABDUL HADI ABD RAHMAN  
DAHLILA PUTRI DAHNIL SIKUMBANG  
KHAIRUL AZMI ABU BAKAR

### ABSTRACT

Mobility management nowadays plays a critical role in delivering a seamless and quality service to millions of users worldwide and it is transparent from the user's involvement. The current state of implementation and the introduction of transition is not focused on the implementation of mobility scenario communications protocol IPv4 over IPv6 protocol-based networks. The growing trend toward mobile access drives the development of mobility management in a dual-stack network environment. Implementation of IP mobility allows mobile users to roam from one network to another without causing significant network interruption. However, the existing implementation of dual-stack mobility does not provide an efficient platform for handling handover scenarios that leads to sub-optimal mobility experience. This study presents the implementation of the Distributed Mobility Management Proxy Mobile IPv6 (DMM PMIPv6) protocol on a dual-stack platform. This protocol was developed based on the concept of network in which the pointer is placed near the user's mobility or mobile node. The distributed control plane and the data infrastructure between entities are located on the edge of the access network which basically reduce the burden on the signalling process thus improving the handover performance. Therefore this study was initiated on existing protocol architecture for the implementation of mobility in the dual-stack scenario. This study proposes a dual-stack implementation of mobility based on DMM PMIPv6 protocol through IPv4 Home Address Mobility Support scenario that allows the mobile node capable of dual-stack and IPv4-based to communicate in IPv6-based network, in order to provide a better performance in terms of handover compared to the previous research implementations. DMM PMIPv6 Dual-Stack protocol testbed was implemented to investigate the handover performance. The results show that the mechanism provides better handover performance compared to the previous studies using PMIPv6 Dual-Stack implementation, thus able to provide a seamless connection to the user.

Keywords: Distributed Mobility Management; Proxy Mobile IPv6; Dual-stack; Testbed.

## KAJIAN PELAKSANAAN PROTOKOL DMM PMIPv6 DI DALAM PERSEKITARAN RANGKAIAN DWI-TINDANAN

### ABSTRAK

Pengurusan mobiliti pada masa kini memainkan peranan yang kritikal terhadap penyampaian perkhidmatan yang lancar dan berkualiti kepada jutaan pengguna di seluruh dunia dan bersifat telus daripada penglibatan pengguna. Keadaan pelaksanaan dan pengenalan transisi semasa tidak begitu memfokuskan pelaksanaan senario mobiliti komunikasi protokol IPv4 ke atas rangkaian berasaskan protokol IPv6. Peningkatan trend terhadap akses secara

mudah alih memacu pembangunan pengurusan mobiliti di dalam persekitaran rangkaian dwi-tindanan. Pelaksanaan mobiliti IP membolehkan pengguna akses mudah alih berupaya bergerak dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain tanpa menyebabkan gangguan rangkaian yang signifikan. Walau bagaimanapun, pelaksanaan mobiliti dwi-tindanan sedia ada tidak menyediakan platform yang efisien bagi mengendalikan senario penyerahan yang menyebabkan kualiti akses tidak berada pada tahap optimum. Kajian ini membentangkan pelaksanaan protokol Pengurusan Mobiliti Teragih IPv6 Mobil Proksi (DMM PMIPv6) pada persekitaran rangkaian dwi-tindanan. Protokol ini dibangunkan berdasarkan konsep rangkaian rata di mana penunjuk mobiliti diletakkan berdekatan pengguna atau nod mobil. Agihan satah kawalan dan data infrastruktur di antara entiti yang terletak di pinggir rangkaian akses secara asasnya mengurangkan bebanan pada proses pengisytaratan. Ini seterusnya berupaya meningkatkan prestasi penyerahan. Sehubungan itu kajian ini mengambil inisiatif terhadap seni bina protokol sedia ada bagi pelaksanaan di dalam senario mobiliti dwi-tindanan. Kajian ini mencadangkan pelaksanaan mobiliti dwi-tindanan berasaskan protokol DMM PMIPv6 melalui senario Sokongan Mobiliti Alamat Perumah IPv4 yang membenarkan nod mobil yang berkeupayaan IPv4 dan dwi-tindanan berkomunikasi di dalam rangkaian yang berasaskan IPv6, bagi menyediakan platform pelaksanaan penyerahan yang lebih baik berbanding pelaksanaan kajian sebelum ini. Pengujian protokol DMM PMIPv6 Dwi-Tindanan dilaksanakan menggunakan mekanisme pengujian tapak uji bagi menyiasat kadar prestasi penyerahan. Hasil kajian menunjukkan mekanisme tersebut memberi keputusan prestasi penyerahan yang lebih baik berbanding pelaksanaan kaedah berasaskan PMIPv6 Dwi-Tindanan yang telah dilaksanakan pada kajian yang lalu seterusnya menyediakan platform komunikasi yang lancar kepada pengguna.

Kata Kunci: Pengurusan Mobiliti Teragih; IPv6 Mobil Proksi; Dwi-tindanan; Tapak Uji.

## PENGENALAN

Internet pada masa kini mula berkembang menjadi mobil atau mudah alih. Statistik terkini *International Telecommunication Union* (ITU) menunjukkan populasi pengguna Internet telah meningkat sehingga hampir tiga bilion pengguna. Antara faktor utama peningkatan jumlah pengguna adalah disebabkan bertambahnya jumlah penggunaan peranti mudah alih yang mampu menyediakan kemudahan akses Internet di mana-mana sahaja tanpa sebarang sempadan. Trend terkini menunjukkan pelbagai jenis alat peranti mudah alih akan dan telah bersambung di dalam talian antaranya seperti telefon bimbit pintar, komputer riba, peranti mudah alih, pengesan, bahkan penggunaan kenderaan harian. Perayauan global oleh pengguna-pengguna Internet telah menyebabkan pengurangan secara drastik alamat Internet protokol versi 4 (IPv4) dan menjadi pemangkin kepada pembinaan, pembangunan dan pelaksanaan protokol Internet versi 6 (IPv6). IPv6 menyediakan sejumlah ruang alamat yang mencukupi dan mampu untuk menampung populasi penduduk dunia pada masa kini dan masa hadapan (Mohamed et al. 2017).

Menyedari senario semasa alamat IPv4 sudah hampir kehabisan, pihak *Internet Engineering Task Force* (IETF) telah membangunkan IPv6 sebagai pengganti kepada pelbagai kekangan yang terdapat pada IPv4. Walau bagaimanapun, rangkaian IPv4 yang telah digunakan secara meluas sejak tahun 80-an dijangka tetap akan terus beroperasi sebagai salah satu tulang belakang protokol Internet sehingga jangka masa yang masih belum dapat dikenal pasti. Transisi IPv4 kepada IPv6 merupakan satu proses yang panjang dan pelbagai mekanisme telah diperkenalkan bagi membolehkan rangkaian berasaskan IPv6 beroperasi selari bersama rangkaian yang berasaskan IPv4.

Perbezaan protokol pengepala datagram di antara IPv6 dan IPv4 menyebabkan paket yang dihantar oleh nod yang menggunakan IPv4 tidak dapat diterjemahkan oleh nod yang menggunakan pengepala IPv6 dan begitu juga sebaliknya. Kegagalan komunikasi rangkaian akan berlaku sekiranya kedua-dua protokol Internet tidak dapat berkomunikasi dengan sempurna dan cekap. Oleh itu, beberapa mekanisme bagi menyokong komunikasi di antara kedua-dua protokol ini telah dikenal pasti oleh pihak IETF bagi merealisasikan pelaksanaan

migrasi ke IPv6. Antara kaedah yang telah dikenal pasti ialah mekanisme dwi-tindanan di mana suatu nod dilengkapi dengan kedua-dua protokol versi 4 dan versi 6. Melalui kaedah ini, nod mampu berkomunikasi (melalui IP pengepala atau resolusi Sistem Nama Domain) pada situasi kepelbagaian protokol Internet. Mekanisme seterusnya adalah menggunakan komunikasi penerowongan melalui pelbagai kaedah penerowongan yang telah diperkenalkan antaranya penerowongan *6to4*, penerowongan *6over4*, penerowongan *4over6*, Teredo dan *Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol* (ISATAP). Kaedah-kaedah penerowongan ini menggunakan teknik memuat beban terkapsul paket datagram kedua-dua protokol alamat Internet. Mekanisme seterusnya adalah kaedah terjemahan alamat di mana pengepala IPv4 diterjemahkan kepada pengepala IPv6 dan begitu juga sebaliknya bagi komunikasi akses di antara rangkaian.

## LATAR BELAKANG

Pada era Internet Benda atau lebih dikenali Internet of Thing (IoT) yang mula bergerak pantas melalui akses mobiliti, ketersediaan infrastruktur yang menyokong fungsi mobiliti menjadi keperluan (Ha et al. 2017). Pihak IETF telah menetapkan standard baru pelaksanaan mobiliti protokol Internet (IP) bagi membolehkan pengguna akses mudah alih berupaya bergerak dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain dengan mengekalkan alamat IP kekal sedia ada.

IP merupakan protokol yang berasaskan paket dan tanpa sambungan, tidak seperti rangkaian telefoni bersuis litar (Circuit-Switching Telephony), yang berasaskan sambungan. Masalah ini boleh digambarkan sebagai berikut; IP beroperasi pada lapisan rangkaian (Network Layer) dan merupakan protokol tanpa sambungan, yang berupaya mengelakkan kegagalan dalam sambungan rangkaian dengan menghala semula (rerouting) paket. Secara ringkasnya, melalui pelaksanaan komunikasi tradisional penghalaan IP, alamat IP mewakili akses sesebuah topologi. Mekanisme penghalaan bergantung kepada andaian bahawa setiap nod rangkaian akan sentiasa mempunyai titik pertautan yang sama kepada Internet, dan alamat IP setiap nod ini menjadi pengecam kepada akses rangkaian yang disambungkan. Melalui skema penghalaan ini, jika sambungan nod mudah alih tersebut memutuskan komunikasi Internet semasa dan mahu membuat penyambungan semula melalui rangkaian yang berbeza, konfigurasi alamat IP yang berkaitan dengan rangkaian semasa perlu dilaksanakan semula. Jika tidak, protokol penghalaan tidak berupaya untuk menghantar paket ke destinasi, kerana alamat rangkaian nod terlibat tidak mengandungi maklumat yang diperlukan mengenai titik pertautan semasa ke Internet (Ambrosin et al. 2018).

Walau bagaimanapun, lapisan pengangkutan (Transport Layer) yang menyokong majoriti aplikasi termasuk *World Wide Web* (WWW), menggunakan Protokol Kawalan Penghantaran (TCP), yang merupakan protokol berorientasikan sambungan akses. Namun begitu, komunikasi lapisan pengangkutan juga melibatkan komunikasi Protokol Datagram Universal (UDP), yang merupakan protokol berasaskan tanpa sambungan akses, dan Protokol Kawalan Strim Penghantaran, yang merupakan protokol berasaskan sambungan. Meskipun begitu, TCP masih merupakan medium utama komunikasi Internet.

Di dalam senario di mana dua nod sesi atau aplikasi berkomunikasi menggunakan alamat IP bagi setiap nod membentuk sambungan akses. Sebarang perubahan terhadap pengenal yang dinyatakan akan menyebabkan keputusan dan gangguan akses dan kesinambungan sesi. Sebagai contoh, apabila nod mudah alih seperti komputer riba atau telefon bimbit bergerak dari satu titik pertautan (wayar atau tanpa wayar) ke titik yang lain, nod akan diperuntukkan alamat IP baru. Perubahan pada alamat IP menyebabkan kesinambungan sesi tidak dapat diteruskan. Senario di mana nod berpindah (roaming) ke titik pertautan yang berbeza amat tinggi dalam rangkaian tanpa wayar disebabkan faktor mobiliti. Oleh itu, timbul keperluan bagi mobiliti IP untuk menyokong fungsi kesinambungan sesi meskipun alamat nod berubah semasa perayauan.

Sehubungan itu, mobiliti IP membolehkan nod mudah alih mengekalkan sambungan semasa sementara bergerak dari satu subnet ke subnet (perayauan) yang lain. Setiap nod mudah alih dikenal pasti melalui alamat perumah walaupun nod tersebut mungkin membuat sambungan melalui titik pertautan rangkaian yang lain. Apabila nod mudah alih disambungkan kepada rangkaian asing, nod mudah alih menghantar maklumat lokasi kepada ejen perumah, yang akan menghalakan paket ke destinasi melalui penerowongan.

MIPv6 merupakan pemangkin dan penggerak kepada pelaksanaan mobiliti IP serta merupakan penambahbaikan daripada protokol Mobiliti IPv4 (MIPv4). Walaupun MIPv6 merupakan versi yang telah ditambah baik daripada protokol terdahulunya, pelbagai kekangan masih lagi dihadapi dan tidak dapat diatasi secara keseluruhan antaranya seperti kependaman penyerahan, kehilangan paket, dan overhead pengisytaratan. Dengan itu, pihak IETF telah memperkenalkan pelbagai standard mobiliti IP yang telah ditambah baik yang mampu menjadi pemangkin kepada pelaksanaan pengurusan IP Mobiliti dan seterusnya berupaya mengenal pasti mekanisme terbaik bagi pelaksanaan mobiliti dwi-tindakan protokol IPv6 dan IPv4 (Soliman 2009). Menyedari keadaan di mana IPv6 akan menjadi protokol Internet tunggal pada masa hadapan, kelihatan lebih wajar dan tepat dari sudut pandangan pelaksanaan dan pembangunan bagi mengembangkan dan memperluaskan protokol sokongan pengurusan mobiliti IPv6 bagi mengendalikan rangkaian protokol dwi-tindakan. Pendekatan ini membolehkan penyelesaian mobiliti bertahan lama, dan mengelakkan keperluan untuk menukar penyelesaian mobiliti dalam IPv6 Internet pada masa hadapan.

Senario mobiliti dwi-tindakan ini melibatkan perayauan global di antara rangkaian berasaskan IPv4-IPv6, IPv6, IPv4 serta komunikasi di antara nod IPv4 dan IPv6. Walau bagaimanapun, mekanisme transisi seperti yang telah dinyatakan sebelum ini tidak berkeupayaan untuk saling kendali secara sendiri di dalam situasi transisi mobiliti protokol Internet pada masa kini. Pelaksanaan migrasi kepada infrastruktur berasaskan IPv6 sahaja tidak dapat dilakukan oleh penyedia rangkaian disebabkan masalah gangguan akses, risiko kerugian, dan keserasian persekitaran protokol berasaskan IPv4. Justeru, kaedah Mobiliti IPv6 Dwi-Tindakan (DSMIPv6) telah diperkenalkan bagi membenarkan perayauan komunikasi rangkaian IPv4 dan IPv6 menggunakan ciri Mobiliti IPv6 (MIPv6) (Soliman 2009).

DSMIPv6 merupakan protokol yang dibina bertujuan menggiatkan pelaksanaan fungsi perayauan di dalam kepelbagaian senario hibrid versi protokol Internet. Walau bagaimanapun, penambahbaikan fungsi ini membuka lembaran cabaran baru yang perlu di analisa dan diatasi. Antara kelemahan yang didapati pada pelaksanaan protokol tersebut adalah overhead paket, kependaman penyerahan dan ketiadaan sokongan mengoptimumkan laluan data (De La Oliva, Calderon dan Bernados 2012). Selain itu, analisis kajian sebelum ini juga mendapati pelaksanaan mobiliti dwi-tindakan melalui pelaksanaan DSMIPv6 menyebabkan kos pengisytaratan yang tinggi, penyerahan lengah, dan kebarangkalian kegagalan penyerahan (Xie dan Narayanan 2010).

Pelaksanaan kaedah mobiliti dwi-tindakan pada platform IP Mobiliti yang berupaya meningkatkan kadar prestasi penyerahan perlu dikenal pasti. Analisis terhadap mekanisme terbaik bagi meningkatkan tahap keupayaan penyerahan telah dilaksanakan pada platform mobiliti melalui beberapa kajian yang telah dilaksanakan sebelum ini. Ciri dan penunjuk kaedah pengurusan mobiliti daripada kajian-kajian sebelum ini akan dijadikan asas bagi melaksanakan cadangan pelaksanaan protokol pengurusan mobiliti dwi-tindakan yang lebih efisien. Pelaksanaan mobiliti dwi-tindakan pada platform IPv6 Mobil Proksi (PMIPv6) telah dijalankan oleh Ren dan Zhou (2012) yang mendapati terdapat pelengahan dan kependaman semasa penyerahan meskipun tahap kependaman tersebut dinyatakan masih boleh diterima.

Sehubungan itu, objektif utama kajian ini dijalankan bertujuan mengkaji tahap prestasi penyerahan mobiliti dwi-tindakan melalui pelaksanaan protokol mobiliti IP yang lebih efektif dan efisien. Bagi melaksanakan penambahbaikan persekitaran yang dinyatakan, kajian terhadap

spesifikasi protokol sokongan mobiliti sedia ada dan tapak pengujian perlu dibangunkan bagi menguji dan menilai mekanisme yang mobiliti yang dicadangkan.

## TINJAUAN KAJIAN MOBILITI DWI-TINDANAN

Bagi menguji dan menambah baik pelaksanaan mekanisme protokol sokongan mobiliti IP dwi-tindakan, beberapa penyelidik telah menjalankan dan mencadangkan kaedah pelaksanaan mobiliti IP di dalam persekitaran dwi-tindakan bagi mendapatkan hasil yang efisien (Jalin dan Othman 2016). Parameter rangkaian yang digunakan bagi mengukur prestasi pengujian yang dijalankan adalah bergantung pada skop pengujian mobiliti yang dijalankan oleh penyelidik yang terlibat. Berikut merupakan ringkasan kajian terdahulu yang dijalankan dari tahun 2008 sehingga 2015 yang memfokuskan kepada pelaksanaan berasaskan mobiliti dwi-tindakan.

Kuntz dan Lorchat (2008) juga melaksanakan pengujian protokol DSMIPv6. Pengujian ini dilaksanakan di dalam persekitaran tapak uji. Metrik pengukuran prestasi yang digunakan adalah kependaman penyerahan menegak dan mendatar. Kajian mereka mendapati terdapat isu prestasi semasa pelaksanaan penyerahan di dalam senario komunikasi penerowongan IPv4-dalam-IPv6. Seterusnya, Xie dan Narayanan (2010) melaksanakan pengujian mengkaji pelbagai senario penyerahan apabila nod mobil (MN) melaksanakan perayauan di dalam rangkaian IP hibrid (IPv4 dan IPv6). Protokol asas yang digunakan di dalam kajian ini adalah DSMIPv6. Analisa parameter rangkaian yang dijalankan adalah berdasarkan prestasi kos pengisyaratan, kebarangkalian kegagalan penyerahan, dan kependaman penyerahan. Selain itu, jenis analisa pengujian yang dijalankan adalah berdasarkan analisa model matematik. Keputusan analisa pengujian menunjukkan bahawa pelaksanaan mobiliti dwi-tindakan melalui protokol sokongan mobiliti IP DSMIPv6 mengakibatkan kos yang paling tinggi isyarat, kependaman penyerahan, dan kebarangkalian kegagalan penyerahan yang tinggi. Park et al. (2015) turut melaksanakan analisis dan pengujian berkaitan mobiliti dwi-tindakan bagi menyediakan rangkaian mobiliti Internet pada masa hadapan bagi integrasi bersama rangkaian selular. Kajian mereka menjalankan pengujian dan analisis terhadap tiga jenis protokol sokongan pengurusan mobiliti IP iaitu Mobiliti IPv4 Dwi-Tindakan (DSMIPv4), DSMIPv6, dan PMIPv6 Dwi-Tindakan. Parameter rangkaian bagi tujuan pengukuran prestasi yang digunakan adalah kos pengemaskinian lokasi, kos penghantaran paket, dan jumlah keseluruhan kos protokol. Kajian mereka menyimpulkan analisa dan pengujian yang dijalankan protokol sokongan pengurusan mobiliti IP DSMIPv4 dan PMIPv6 Dwi-Tindakan sebagai protokol terbaik bagi penggunaan di dalam persekitaran rangkaian hibrid. Walau bagaimanapun, DSMIPv4 sebagai pilihan terbaik hanya apabila persekitaran rangkaian di dominasi oleh komunikasi rangkaian yang berasaskan IPv4. Kajian mereka juga mendapati walaupun mobiliti berasaskan pendekatan rangkaian lebih efisien berbanding pendekatan hos, struktur mobiliti terpusat yang terdapat di dalam topologi mobiliti tersebut akan menyebabkan kesesakan trafik. Mereka turut mencadangkan dan menyarankan pelaksanaan dan peluasan mobiliti dwi-tindakan terhadap pengurusan mobiliti teragih sebagai salah satu teknologi utama untuk menjamin pelaksanaan skala besar mobiliti dalam masa terdekat.

Hasil kajian dan analisa yang dibentangkan oleh Ren dan Zhou (2012) menjelaskan bagaimana MIPv4 dan MIPv6 mampu beroperasi pada masa yang sama melalui pelaksanaan protokol PMIPv6 dengan kaedah dwi-tindakan. Pengujian yang dilaksanakan adalah melalui senario Sokongan Mobiliti Alamat Perumah IPv4 dan Sokongan Rangkaian Pengangkutan IPv4 melalui pelaksanaan penghantaran paket pada kadar 10ms bagi setiap paket oleh MN kepada nod koresponden (CN) dan melaksanakan proses penyerahan kepada Get Laluan Akses Mobil atau *Mobile Access Gateway* (MAG) baru pada setiap 10 saat sebanyak 100 kali. Pengujian tersebut mendapati terdapat kependaman penyerahan yang berlaku semasa operasi tersebut

dilaksanakan iaitu 0.4339 saat bagi pengujian melalui IPv4 dan 0.0526 saat bagi pengujian melalui IPv6 pada pelaksanaan pengujian sokongan mobiliti alamat perumah IPv4. Manakala melalui pengujian sokongan rangkaian pengangkutan IPv4, mereka mendapati purata kependaman penyerahan selama 0.4523 saat bagi pengujian melalui IPv4 dan 0.0541 saat bagi pengujian melalui IPv6. Meskipun terdapat sela kependaman yang berlaku, mereka menegaskan jumlah masa kependaman yang berlaku adalah pada tahap boleh diterima berlandaskan premis pengguna mengetahui keadaan semasa terlebih dahulu (Ren dan Zhou 2012).

Kajian yang berikutnya dilaksanakan oleh Lee et al. (2014). Penyelidik telah mencadangkan mekanisme baru bagi mengendalikan komunikasi rangkaian yang melibatkan senario dwi-tindakan. Mekanisme yang dicadangkan adalah Perkhidmatan Mobil Bebas Akses dengan sokongan mobiliti dwi-tindakan IPv4/IPv6 (AIMS-DS). Protokol sokongan yang dicadangkan dibangunkan berdasarkan mobiliti berasaskan rangkaian. Mekanisme yang dicadangkan menggunakan konsep penerowongan IPv6-dalam-IPv6. Pengujian yang dijalankan adalah melalui pelaksanaan simulasi komputer dan metrik prestasi yang diukur adalah kependaman penghantaran paket, kependaman penyerahan, dan kehilangan paket. Hasil pengujian yang dijalankan membandingkan pelaksanaan mekanisme yang dicadangkan dan pelaksanaan PMIPv6 di dalam persekitaran dwi-tindakan mendapati mekanisme yang dicadangkan mengatasi prestasi pelaksanaan melalui PMIPv6.

Secara keseluruhannya penyelidikan dijalankan dari tahun 2008 hingga 2015 mengkaji terhadap keberkesanan protokol sokongan pengurusan mobiliti IP beroperasi di dalam persekitaran dwi-tindakan. Di dapati, faktor penyerahan memainkan peranan utama terhadap prestasi keseluruhan sesuatu protokol mobiliti. Selain itu, di dapati juga pendekatan mobiliti berasaskan rangkaian memberi hasil prestasi yang lebih memuaskan berbanding pelaksanaan protokol mobiliti yang berasaskan hos. Jadual 1 menunjukkan ringkasan tinjauan kajian yang telah dibuat.

JADUAL 1. Ringkasan Tinjauan Kajian Penyelidikan Mobiliti Dwi-Tindakan

Rujukan	Jenis Protokol	Parameter	Jenis Pengujian
Kuntz dan Lorchat (2008)	DSMIPv6	<i>Kependaman Penyerahan Menegak Dan Mendatar</i>	Tapak Uji
Xie dan Narayanan (2010)	DSMIPv6	<i>Kos Pengisyaratan, Kebarangkalian Kegagalan Penyerahan, Dan Kependaman Penyerahan</i>	Analisa Model Matematik
Ren dan Zhou (2012)	PMIPv6 Dwi-Tindakan	<i>Kependaman Penyerahan Mengikut Senario</i>	Tapak Uji
Lee dan Han (2014)	AIMS-DS	<i>Kependaman Penghantaran Paket, Kependaman Penyerahan, Dan Kehilangan Paket</i>	Simulasi Komputer
Park et al. (2015)	DSMIPv4, DSMIPv6, PMIPv6 Dwi-Tindakan	<i>Kos Pengemaskinian Lokasi, Kos Penghantaran Paket, Dan Jumlah Keseluruhan Kos Protokol</i>	Analisa Model Matematik Dan Simulasi Komputer

Selain itu, penilaian terhadap aspek kependaman pengesahan juga menunjukkan pelaksanaan mobiliti dwi-tindakan melalui protokol PMIPv6 memberikan hasil analisa prestasi yang lebih baik berbanding DSMIPv6 yang berpunca daripada jumlah pengisyaratan yang lebih banyak (Gondim dan Trineto 2012). Seperti yang telah dinyatakan sebelum ini, mobiliti dwi-tindakan juga menimbulkan masalah kependaman yang tinggi disebabkan oleh proses

pengisyaratan yang berlaku semasa operasi penyerahan. Oleh itu, penyesuaian protokol yang lebih efisien perlu dikenal pasti dan dilaksanakan bagi meminimumkan kadar bebanan yang berlaku. Sehubungan itu, kajian ini akan memfokuskan pendekatan mobiliti berasaskan rangkaian serta pembangunan dan peluasan protokol sokongan pengurusan mobiliti IP yang berasaskan mobiliti teragih melalui DMM PMIPv6.

## KAEDAH KAJIAN

Kajian ini menggunakan teknik tapak uji bagi pelaksanaan pengukuran prestasi rangkaian mobiliti tanpa wayar. Tapak pengujian ini melibatkan jumlah entiti rangkaian seperti berikut: satu unit Pangkalan Mobiliti Terpusat (CMD), dua unit Penambat Mobiliti dan Penghala Akses (MAAR), satu unit MN, dan satu unit CN.

## PLATFORM TAPAK UJI

Platform tapak uji dibangunkan menggunakan lima (5) unit komputer riba yang dilengkapi dengan sistem pengendalian Ubuntu 15.04 menggunakan Linux Kernel 3.19 bagi kegunaan satu (1) unit bagi Pangkalan Mobiliti Terpusat (CMD), 2 unit bagi Penambat Mobiliti dan Penghala Akses (MAAR) dan 1 unit bagi MN dan CN. Nod MN dan CN masing-masing dilengkapi dengan 2 unit kad akses rangkaian, WiFi dan LAN. Jadual 2 menyenaraikan tetapan dan konfigurasi bagi perkakasan dan peralatan komputer yang berkaitan bagi pelaksanaan pengujian. MAD PMIPv6 ialah perisian Pengagihan Penambat Mobiliti PMIPv6 yang telah dibangunkan oleh pasukan NETCOM melalui Jabatan Telematics di Universiti Carlos III Madrid berdasarkan rujukan terhadap standard yang telah disahkan oleh IETF melalui rujukan RFC 7333 (Chan 2014) dan RFC 7429 (Liu et al. 2015.)

JADUAL 2. Perincian Konfigurasi Perkakasan dan Perisian Tapak Uji

Komponen	Unit Pemprosesan	RAM	OS	Perisian	Catatan
CMD	Intel Core i7 2.8GHz	4GB	Linux Kernel 3.19	Konfigurasi MAD PMIPv6	-
MAAR1	Intel Core i5 2.8GHz	6GB	Linux Kernel 3.19	Konfigurasi MAD PMIPv6	-
MAAR2	Intel Core i5 2.8GHz	6GB	Linux Kernel 3.19	Konfigurasi MAD PMIPv6	-
MN	Intel Pentium Quad Core	4GB	Linux Kernel 3.19	-	-
CN	Intel Core i3 2.8GHz	4GB	Linux Kernel 3.19	-	-
Penghala	3COM Router	-	-	-	1 Unit
Suis	3COM Layer 3 Switch	-	-	-	1 Unit
Perisian	Wireshark Packet Analyser	-	-	-	Perisian dipasang pada MN
Kabel	-	-	-	-	5 Unit

Pemilihan dan pelaksanaan DMM PMIPv6 di dalam persekitaran dwi-tindanan bertujuan mengatasi kekangan yang berlaku pada pelaksanaan mobiliti dwi-tindanan pengurusan mobiliti terpusat di dalam persekitaran dwi-tindanan melalui pengenalan terhadap struktur seni bina rangkaian yang rata. Sehubungan itu, berdasarkan seni bina DMM PMIPv6,

seterusnya fasa ini menerangkan skema penyediaan sokongan mobiliti di dalam persekitaran dwi-tindakan MN seperti berikut:

1. Konfigurasi alamat IPv4/IPv6: Apabila MN memulakan sambungan terhadap rangkaian mobiliti, MAAR akan memperuntukkan alamat IPv4/IPv6 berdasarkan keupayaan sokongan protokol IPv4 atau IPv6 MN.
2. Pengangkutan mesej Pengumuman Penghala (RA): MAAR menguruskan mobiliti dwi-tindakan MN berdasarkan prosedur mobiliti rangkaian DMM PMIPv6.
3. Sokongan mobiliti dwi-tindakan MN dapat dilaksanakan bagi keseluruhan prosedur mobiliti (prosedur pendaftaran awal dan penyerahan) dan proses komunikasi pengisyaratan mobiliti dan penghantaran paket berjaya dilaksanakan.

Pelaksanaan konfigurasi terowong berasaskan IPv4-dalam-IPv6 dibangunkan di antara dua MAAR bagi menyokong perilaku MN ketika melaksanakan perayauan di antara kedua-dua MAAR.

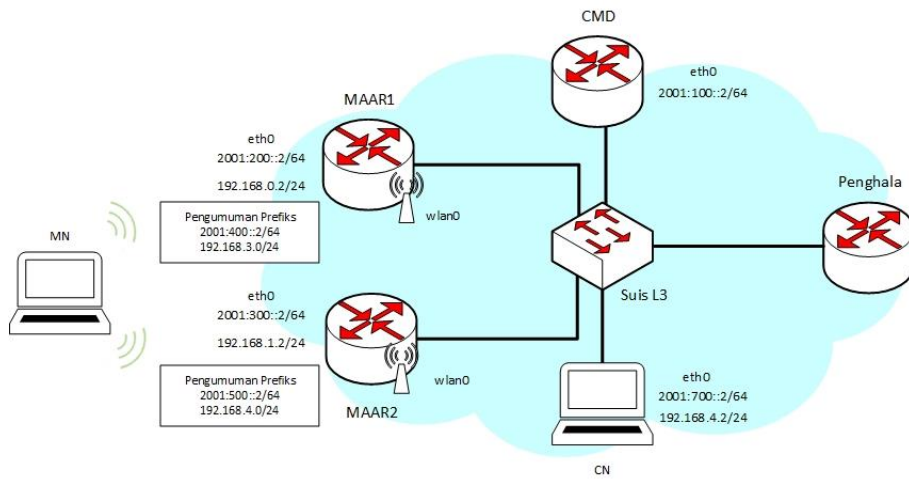
Jadual 3 yang berikut merupakan konfigurasi entiti rangkaian protokol DMM PMIPv6 di dalam persekitaran dwi-tindakan pelaksanaan. MN walau bagaimanapun tidak memerlukan sebarang konfigurasi protokol DMM PMIPv6 dilaksanakan ke atasnya.

JADUAL 3. Konfigurasi Entiti Rangkaian

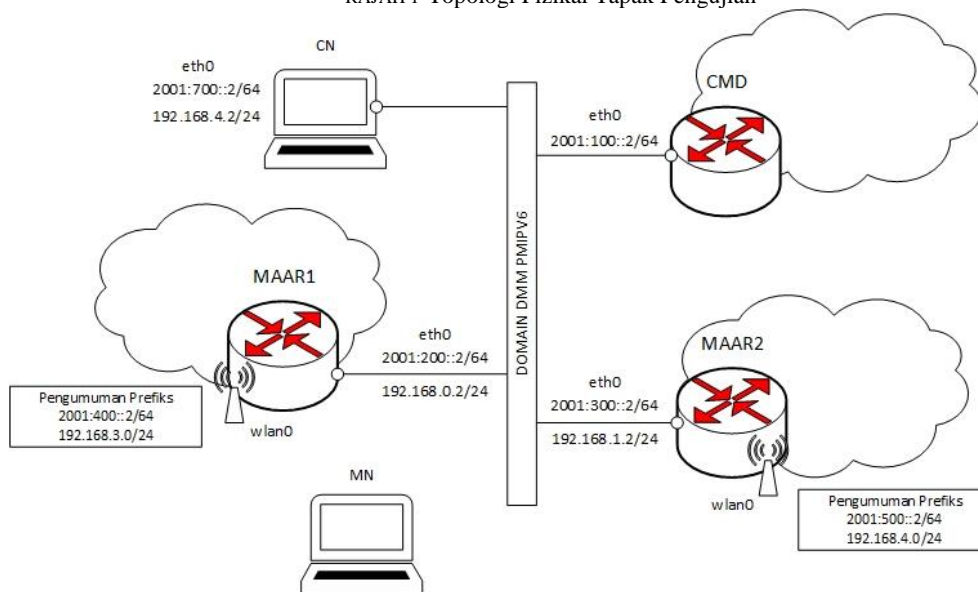
Entiti Protokol	Antara muka Rangkaian	Alamat IP	Catatan
CMD	eth0	2001:100::2/64	
	eth0	2001:200::2/64	
MAAR1	eth0	192.168.0.2/24	
	wlan0	2001:400::2/64	Pengumuman Prefiks
MAAR2	eth0	2001:300::2/64 192.168.1.2/24	
	wlan0	2001:500::2/64	Pengumuman Prefiks
CN	wlan0	2001:700::2/64	
		192.168.2.2/64	

Rajah 1 dan 2 menunjukkan topologi fizikal dan logikal keseluruhan pelaksanaan tapak uji kajian ini. Rajah 1 memaparkan senario di mana MN dan CN menyokong IPv4 dalam domain DMM PMIPv6 DwiTindakan. Manakala Rajah 2 memaparkan senario di mana MN dan CN menyokong IPv4 dan IPv6 dalam domain DMM PMIPv6 Dwi-Tindakan. Sambungan di antara perkakasan entiti CMD dan MAAR dibuat secara berwayar kecuali sambungan MN yang melaksanakan sambungan akses tanpa wayar. Pelaksanaan pengujian tapak uji ini dilaksanakan secara setempat tanpa melibatkan akses ke Internet.





RAJAH 1 Topologi Fizikal Tapak Pengujian



RAJAH 2. Topologi Logikal Tapak Pengujian

## PENGUJIAN

Berdasarkan pelaksanaan kajian lalu yang diambil sebagai rujukan (Ren dan Zhou 2012; Giust et al. 2014), pengujian yang dijalankan membuat tetapan MN melaksanakan penghantaran paket kepada CN pada kadar 10 milisaat (ms) bagi setiap paket dan melaksanakan penyerahan di antara MAAR1 dan MAAR2 bagi setiap 10 saat. Analisa pengujian ini mengambil output pelaksanaan penyerahan sebanyak 100 kali. Pada masa di mana MN membuat penyambungan pada titik pertautan MAAR1, MN akan melaksanakan penghantaran paket berasaskan strim paket UDP dihantar kepada CN dan pada masa yang sama MN melaksanakan perayauan di antara MAAR1 dan MAAR 2. Pengujian ini menggunakan perisian Wireshark yang dipasang pada MN bagi mendapatkan peristiwa senario yang telah ditetapkan bagi memudahkan proses analisis data.

Metrik prestasi yang digunakan bagi pengujian kajian ini adalah seperti berikut:

1. Kependaman Penyerahan – Tempoh MN tidak berupaya menerima atau menghantar sebarang paket semasa pelaksanaan perayauan di antara MAAR. Menurut Gang dan Xiu Hua (2013), terma penyerahan merujuk kepada proses MN bergerak dari satu titik pertautan ke titik pertautan yang lain. Kependaman penyerahan, di definisikan sebagai sela masa di mana, MN tidak mempunyai sambungan dan akses kepada IP global akibat

daripada penyerahan yang berlaku semasa perayauan. Pelaksanaan pengujian ini akan menilai prestasi DMM PMIPv6 dwi-tindakan memandangkan metrik ini berkait rapat dengan operasi dan pengisyaratan protokol mobiliti serta mengukur komponen yang berbeza bagi mendapatkan kependaman penyerahan semasa MN melaksanakan perayauan di antara dua MAAR. Bagi pengujian ini parameter kependaman penyerahan yang diuji adalah perayauan MN dari MAAR1 kepada MAAR2 sebanyak 100 kali. Fokus pengujian ini adalah bagi mengetahui kadar kependaman penyerahan yang berlaku di dalam protokol mobiliti ini. Simulasi trafik UDP dijana melalui perisian penjana trafik rangkaian *Packet Sender*. Saiz paket data ditetapkan kepada 1000 bait.

2. Kehilangan paket – Jumlah paket yang hilang yang ditujukan kepada CN semasa setiap perayauan MN. Kehilangan paket berlaku apabila penghantaran paket data ke nod rangkaian komputer yang terlibat gagal sampai ke destinasi. Menurut Kurose dan Ross (2010), kehilangan paket disebabkan oleh kesesakan atau kehilangan akses kepada rangkaian. Apabila paket tiba untuk jangka masa yang panjang pada sesuatu nod atau segmen rangkaian pada kadar yang lebih besar daripada kadar keupayaan dan ketersediaan akses, maka paket akan digugurkan. Selain itu, antara punca yang menyebabkan berlakunya kehilangan paket disebabkan oleh kesesakan rangkaian, peralihan titik pertautan rangkaian, dan prestasi peranti atau perkakasan yang terlibat. Kehilangan paket diukur sebagai peratusan daripada kehilangan paket berbanding dengan paket yang dihantar.
3. Kos Pengisyaratan MAAR-CMD – Tempoh kependaman pengisyaratan yang berlaku di antara MAAR dan CMD semasa pelaksanaan perayauan MN. Analisa melibatkan perbandingan di antara masa pelengahan komunikasi pengisyaratan MAAR-CMD dan jumlah masa gangguan akses perkhidmatan iaitu tempoh di mana pelaksanaan operasi pengisyaratan apabila MN membuat sambungan pada titik pertautan MAAR sehingga CN menerima paket pertama semula. Pelaksanaan analisa ini bertujuan mendapatkan impak pelengahan komunikasi pengisyaratan (Kos Pengisyaratan) MAAR dan CMD ke atas kelancaran akses.

Perisian *Packet Sender* (Nagle 2014) digunakan bagi pelaksanaan penjanaan paket. Pelaksanaan pengujian ini menggunakan penghantaran aliran paket berasaskan Protokol Datagram Pengguna (UDP). UDP adalah protokol komunikasi alternatif kepada Protokol Kawalan Penghantaran (TCP) yang digunakan terutamanya untuk mewujudkan kadar kependaman rendah dan kehilangan sambungan antara aplikasi di Internet (Postel 1980). Protokol ini melaksanakan prosedur komunikasi di antara rangkaian dengan menggunakan mekanisme pengisyaratan yang minimum. Dalam erti kata lain, paket berasaskan UDP yang dihantar mempunyai kadar komunikasi overhead dan kependaman yang lebih rendah berbanding TCP. Seterusnya, jadual 4 merupakan ringkasan parameter yang digunakan dalam kajian ini.

JADUAL 4. Parameter Pengujian

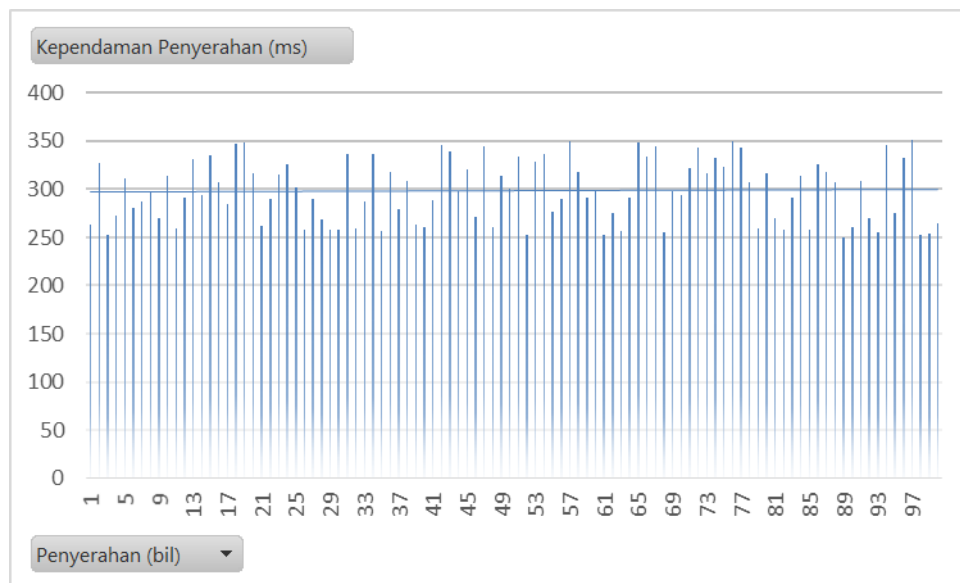
Parameter	Nilai
Saiz Paket	1000 bait
Sela Penghantaran	10 ms
Bilangan Penyerahan	100 kali
Matrik Prestasi	Kependaman Penyerahan
	Kehilangan Paket
	Kos Pengisyaratan
Trafik	UDP

## HASIL KAJIAN

Hasil kajian terbahagi kepada tiga bahagian iaitu keputusan kependaman penyerahan, keputusan kehilangan paket dan keputusan kos pengisyaratan.

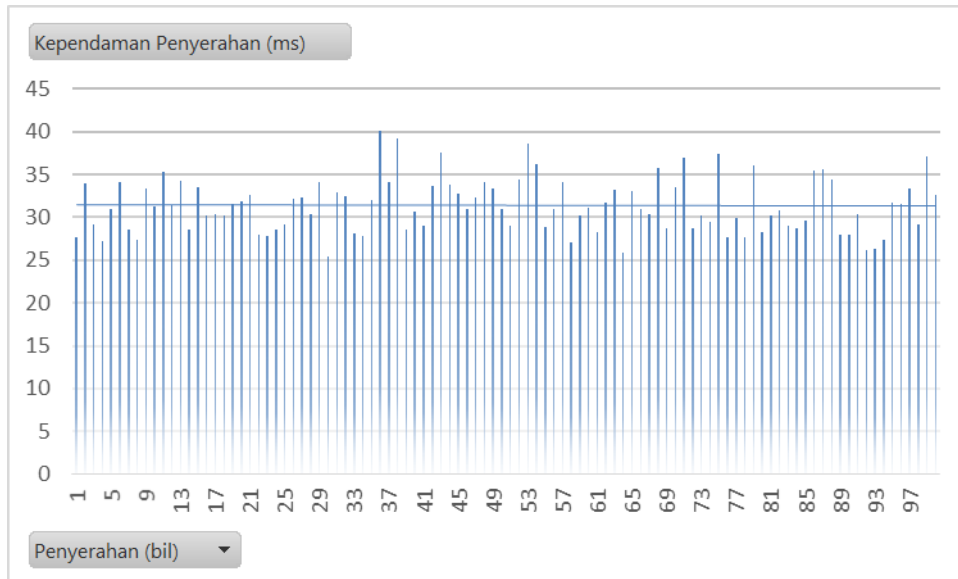
#### KEPUTUSAN KEPENDAMAN PENYERAHAN

Rajah 3 menunjukkan keputusan kependaman penyerahan bagi MN yang menyokong alamat berasaskan IPv4 di dalam domain DMM PMIPv6 Dwi-Tindanan yang perlu menghantar paket kepada CN yang menyokong alamat IPv4. Purata kependaman penyerahan berdasarkan keputusan tersebut adalah 298.04 ms. Dapat dilihat dan dibandingkan melalui pelaksanaan PMIPv6 Dwi-Tindanan yang dijalankan oleh Ren dan Zhou (2012) di mana kadar purata kependaman penyerahan yang berlaku di dalam pengujian ini lebih rendah.



RAJAH 3. Keputusan Kependaman Penyerahan (IPv4 atau Dwi-Tindanan)

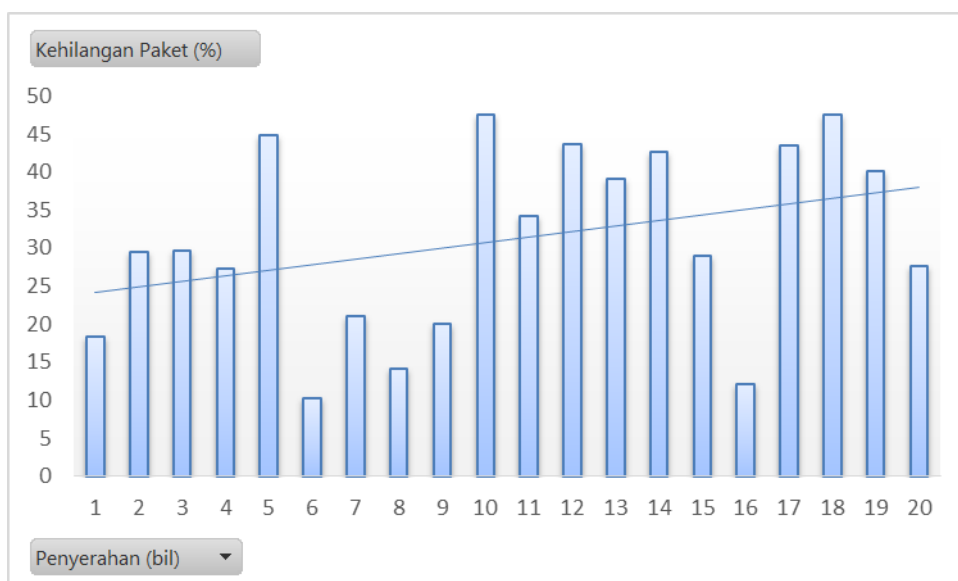
Rajah 4 menunjukkan keputusan kependaman penyerahan bagi MN yang menyokong alamat berasaskan dwi-tindanan atau IPv6 di dalam domain DMM PMIPv6 Dwi-Tindanan. Pengujian yang dilaksanakan dalam kajian Ren dan Zhou (2012) melalui pelaksanaan PMIPv6 Dwi-Tindanan mendapati purata kependaman penyerahan pada kadar 52.6 ms berbanding pelaksanaan protokol DMM PMIPv6 Dwi-Tindanan dalam kajian ini, yang memperoleh purata kependaman penyerahan pada kadar yang lebih baik iaitu 31.4 ms.



RAJAH 4. Keputusan Kependaman Penyerahan (IPv6)

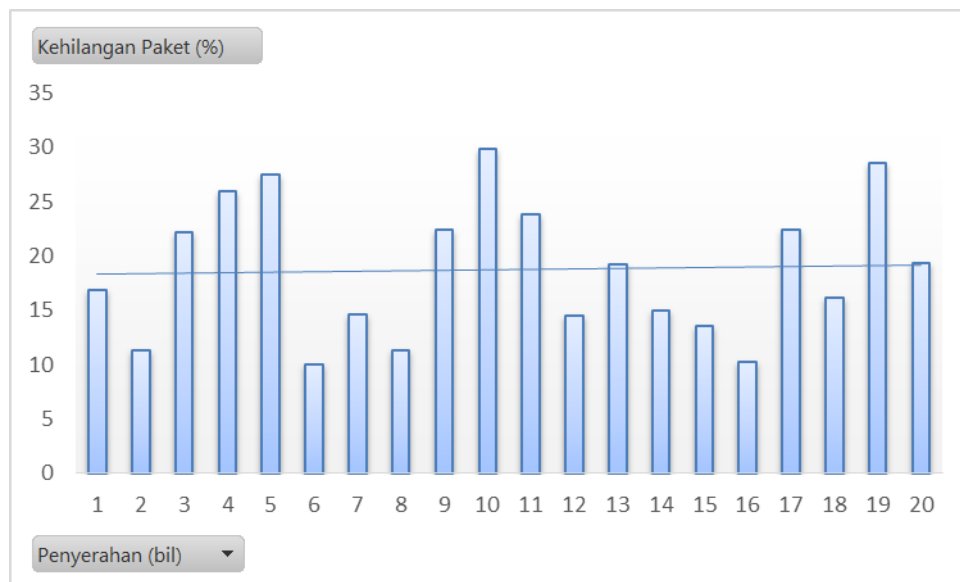
#### KEPUTUSAN KEHILANGAN PAKET

Rajah 5 memaparkan keputusan pengujian kehilangan paket berdasarkan 20 penyerahan bagi mengkaji kadar kehilangan data semasa pelaksanaan simulasi perayauan di dalam senario sokongan mobiliti alamat perumah IPv4 bagi akses yang berasaskan IPv4. Paksi Y mewakili peratusan kehilangan paket manakala paksi X mewakili bilangan pelaksanaan penyerahan. Analisa mendapati bahawa semasa proses perayauan dan penyerahan yang dilakukan MN, berlakunya kehilangan paket secara puratanya sebanyak 31.1%. Pelaksanaan penghantaran paket dilaksanakan pada sela masa 10 ms bagi setiap paket dilaksanakan semasa proses perayauan di antara titik pertautan (MAAR1 dan MAAR2) berlaku. Situasi di mana pemajuan paket perlu diterowongkan melalui MAAR2 bagi penghantaran paket melalui prefiks MAAR1 yang berlaku melalui pelaksanaan proses perayauan oleh MN dan ditambah pula dengan bebanan sedia ada pelaksanaan penerowongan dan pengkapsulan berasaskan IPv4-dlm-IPv6 menyumbang kepada situasi kehilangan paket yang dinyatakan.



RAJAH 5. Keputusan Kehilangan Paket (IPv4 atau Dwi-Tindanan)

Rajah 6 merupakan keputusan bagi kehilangan paket sokongan mobiliti alamat perumah IPv4 bagi MN yang menyokong alamat IPv6. Purata kehilangan paket di dalam senario ini adalah pada kadar 18.7%. Kadar peratusan yang lebih rendah berbanding pelaksanaan analisa senario sebelum ini disebabkan pelaksanaan penghantaran paket, dan perayauan yang tidak melibatkan alamat berasaskan IPv4. Walau bagaimanapun, prosedur pemprosesan protokol dan faktor yang mempengaruhi kadar kehilangan paket adalah seperti mana yang telah dihuraikan di dalam senario sebelum ini kecuali ketiadaan pelaksanaan penerowongan yang berasaskan IPv4-dalam-IPv6.

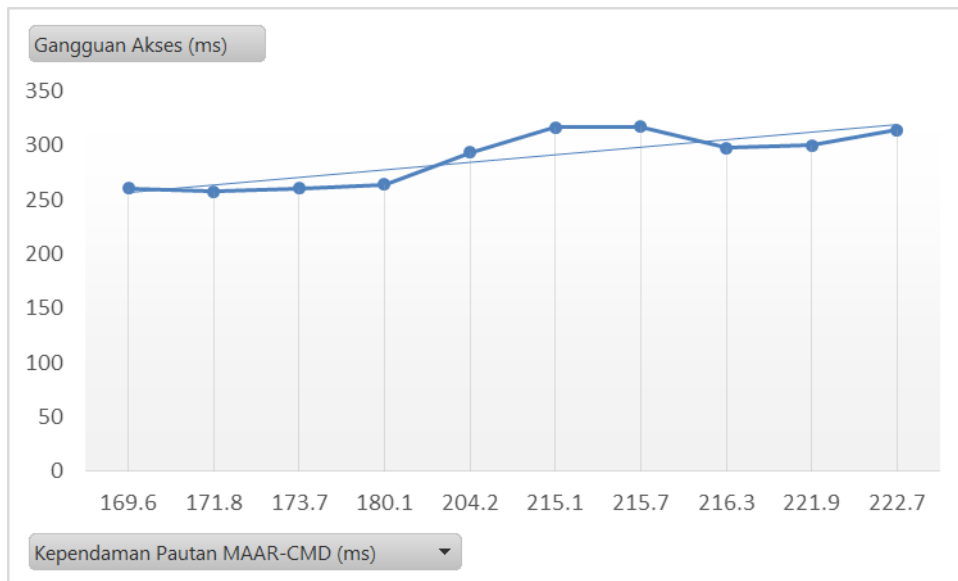


RAJAH 6. Keputusan Kehilangan Paket (IPv6)

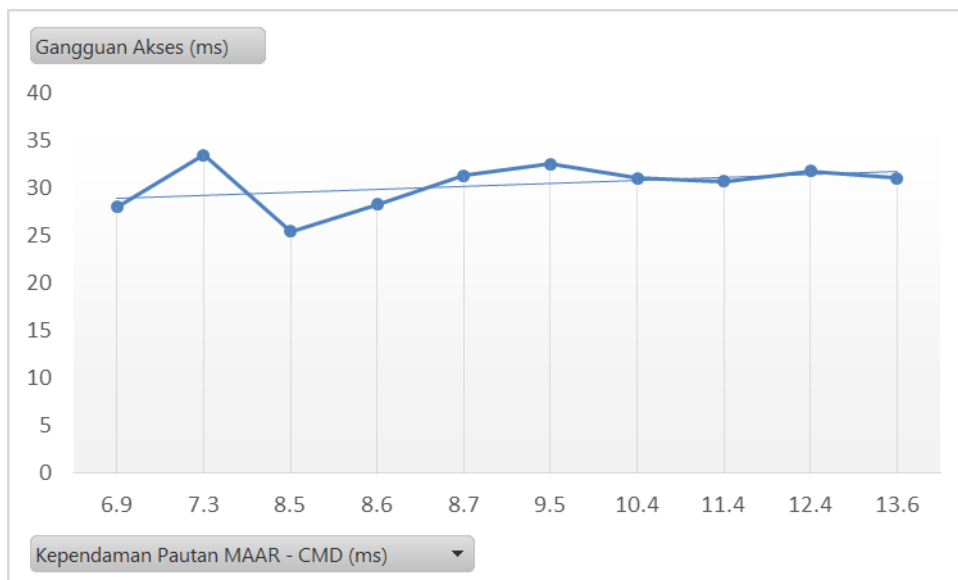
#### KEPUTUSAN KOS PENGISYARATAN

Seterusnya, analisa melibatkan perbandingan di antara masa pelenghahan komunikasi pengisyaratan MAAR-CMD dan jumlah masa gangguan akses perkhidmatan iaitu tempoh pelaksanaan operasi pengisyaratan apabila MN membuat sambungan pada titik pertautan MAAR sehingga CN menerima paket pertama semula. Pelaksanaan analisa ini bertujuan mendapatkan impak pelenghahan komunikasi pengisyaratan, atau kos pengisyaratan, MAAR dan CMD ke atas kelancaran akses.

Berdasarkan Rajah 7 dan 8, dapat dilihat taburan tempoh gangguan akses melawan kependaman pautan MAAR-CMD diplot secara tidak sekata. Hal ini berlaku disebabkan faktor tempoh pengisyaratan ketika penyambungan MN-MAAR, dan tempoh CN mula menerima paket pertama setelah selesai pemulihan sesi. Walau bagaimanapun, dapat dilihat pada Rajah 7 bahawa kadar pengisyaratan yang berlaku di antara MAAR-CMD agak tinggi disebabkan pelaksanaan pengujian melibatkan penerowongan IPv4-dalam-IPv6 berbanding pelaksanaan pengujian pada Rajah 8 yang hanya melibatkan alamat berasaskan IPv6.



RAJAH 7. Keputusan Kos Pengisyratan (IPv4)



RAJAH 8. Keputusan Kos Pengisyratan (IPv6)

## PERBINCANGAN

Graf keputusan kependaman penyerahan menunjukkan taburan masa kependaman penyerahan yang tidak seragam di antara setiap penyerahan yang dilaksanakan oleh MN. Hal ini disebabkan kebergantungan di antara kependaman penyerahan dan jarak antara MAAR1 dan MAAR2 disasarkan ketika pelaksanaan penyerahan. Apabila MN melaksanakan perayauan kembali kepada MAAR1, pemulihan sesi dan penyambungan semula akses berlaku lebih cepat berbanding apabila MN bergerak kepada MAAR2 yang lebih jauh dari MAAR1. Purata kependaman penyerahan bagi protokol DMM PMIPv6 yang lebih rendah berbanding protokol PMIPv6 Dwi-Tindakan menunjukkan pelaksanaan DMM PMIPv6 Dwi-Tindakan bagi senario Sokongan Mobiliti Alamat Perumah IPv4 dapat mengurangkan jumlah masa pelengahan penyerahan. Ini disebabkan oleh keupayaan MN menghalakan paket terus kepada CN dan juga pelaksanaan pengisyratan yang mengasingkan fungsi satah data dan satah kawalan di antara entiti MAAR dan CMD, tanpa perlu melibatkan entiti terpusat. Berbeza dengan protokol

PMIPv6 Dwi-Tindakan, di mana ia melibatkan entiti terpusat yang akan menyebabkan laluan yang lebih panjang bagi komunikasi di antara MN dan CN sekaligus meningkatkan masa aliran dan pemprosesan pengisyaratan.

Melalui analisa kehilangan paket, dapat difahami bahawa kadar kehilangan paket yang berlaku bukanlah disebabkan pelaksanaan protokol senario dwi-tindakan yang tidak efisien. Pelaksanaan senario penyerahan yang kerap menjadi faktor utama kadar kehilangan paket berada pada tahap 31.1% bagi senario pertama dan 18.7% bagi senario yang kedua. Walau bagaimanapun, dapat diperhatikan melalui pelaksanaan protokol DMM PMIPv6 Dwi-Tindakan, majoriti paket yang dihantar sampai ke destinasi sekaligus dapat membuktikan pelaksanaan perayauan protokol yang diuji tidak mempengaruhi kadar kehilangan paket secara signifikan. Ini kerana seperti mana yang dijelaskan oleh Giust et al. (2014), protokol sokongan pengurusan mobiliti IP berasaskan DMM PMIPv6 mempunyai kadar kebarangkalian kehilangan paket yang sedikit tinggi di dalam situasi perayauan ke titik pertautan baru disebabkan keperluan aliran paket melalui titik pertautan yang lama melalui terowong. Kadar yang diperoleh tersebut berada pada tahap boleh diterima dengan syarat situasi dan senario pelaksanaan diketahui terlebih dahulu.

Analisa kos pengisyaratan menunjukkan kadar tempoh masa pengisyaratan dan gangguan akses yang berlaku dipengaruhi senario perayauan dan penerowongan paket namun tidak menyebabkan impak yang signifikan terhadap pelaksanaan protokol ini di dalam senario dwi-tindakan. Sehubungan itu, dapat dilihat melalui pengujian yang dijalankan bahawa pelaksanaan mekanisme protokol DMM PMIPv6 Dwi-Tindakan tidak terkesan secara signifikan melalui peningkatan kos pengisyaratan pautan MAAR dan CMD. Oleh sebab itu ia mampu menghasilkan prestasi yang lebih baik berbanding pelaksanaan PMIPv6 Dwi-Tindakan.

## KESIMPULAN

Hasil keputusan akhir kajian menunjukkan mekanisme yang dicadangkan, DMM PMIPv6 Dwi-Tindakan, menghasilkan tahap prestasi penyerahan yang lebih baik berbanding dengan pelaksanaan protokol sokongan pengurusan mobiliti PMIPv6 pada persekitaran dwi-tindakan. Dengan hasil kependaman penyerahan yang lebih baik iaitu 298.04 milisaat berbanding 433.9 milisaat bagi pelaksanaan menggunakan IPv4. Manakala bagi pelaksanaan menggunakan IPv6, hasil kependaman mencatat hasil kependaman penyerahan 31.4 milisaat berbanding 52.6 milisaat. Sehubungan itu, melalui keputusan dan perbandingan yang telah dibuat dengan protokol PMIPv6 Dwi-Tindakan dalam kajian Ren dan Zhou (2012), protokol sokongan pengurusan mobiliti berasaskan DMM PMIPv6 Dwi-Tindakan menghasilkan prestasi penyerahan yang lebih baik melalui kadar kependaman yang lebih rendah bagi melaksanakan komunikasi mobiliti, seterusnya mampu menyediakan akses yang lebih lancar pada persekitaran dwi-tindakan.

## PENGHARGAAN

Kajian ini telah ditaja oleh Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) di bawah geran bernombor rujukan GGP-2017-024.

## RUJUKAN

- Ambrosin, M., Compagno, A., Conti, M., Ghali, C. & Tsudik, G. 2018. Security and Privacy Analysis of National Science Foundation Future Internet Architectures. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(2), 1418-1442.
- Chan, H. 2014. RFC 7333: Requirements for Distributed Mobility Management. *IETF Request for Comments*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc7333.txt> [21 Mac 2016].

- De La Oliva, A., Calderon, M. & Bernados, C. J. 2012. Client and Network-Based Dual Stack Mobility Management. *IEEE Wireless Communications*, (October), 74–82.
- Gang, N. & XiuHua, Q. 2013. Comparison and Handover Performance Evaluation of the Macro-mobility Protocol. *Journal of Networks*, 8(1), 100–107. doi:10.4304/jnw.8.1.100-107
- Giust, F., Bernados, C. & De La Oliva, A. 2014. Analytic Evaluation and Experimental Validation of a Network-based IPv6 Distributed Mobility Management Solution. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6(1), 2484-2497. doi:10.1109/TMC.2014.2307304
- Gondim, P. R. L. & Trineto, J. B. M. 2012. DSMIP and PMIP for mobility management of heterogeneous access networks: Evaluation of authentication delay. *IEEE Globecom Workshops*, hlm.308–313. IEEE.
- Ha, M., Kim, S. H. & Kim, D. 2017. Intra-MARIO: A Fast Mobility Management Protocol for 6LoWPAN. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(1), 172-184.
- Jalin, F. A., & Othman, N. E. 2016. A Review of Mobile IP Protocol for The Implementation on Dual Stack Mobility Management. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 87(3), 527-534.
- Kuntz, R. & Lorchat, J. 2008. Versatile IPv6 mobility deployment with dual stack mobile IPv6. *Proceedings of the 3rd international workshop on Mobility in the evolving internet architecture - MobiArch '08*, 49. doi:10.1145/1403007.1403019, 49-54.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. 2010. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. Fifth Edit. New York: Addison-Wesley.
- Lee, K. H., Lee, H. W. & Han, Y. H. 2014. An IPv4/IPv6 Traversal Scheme with Seamless Mobility Support over Heterogeneous Wireless Networks. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(1), 171–188.
- Liu, D., Zuniga, J., Seite, P., Chan, H. & Bernados, C. 2015. RFC 7429: Distributed Mobility Management: Current Practices and Gap Analysis. *IETF Request for Comments*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc7429.txt> [21 Mac 2016].
- Mohamed, A. S. A., Hassan, R. & Othman, N. E. 2017. IPv6 Neighbor Discovery Protocol Specifications, Threats and Countermeasures: A Survey. *IEEE Access*, 5, 18187-18210.
- Nagle, D. 2014. *Packet Sender*. <https://packetsender.com> [21 Mac 2016].
- Park, Y. J., Lee, X., Yan, Z. & Wang, H. C. 2015. Performance study of the dual-stack mobile IP protocols in the evolving mobile internet. *IET Networks*, 4(1), 74–81. doi:10.1049/iet-net.2013.0072
- Postel, J. 1980. RFC 768: User Datagram Protocol. *IETF Request for Comments*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc0768.txt> [21 Mac 2016].
- Ren, F. & Zhou, H. 2012. Implementation and Test of PMIPv6 Dual Stack Protocol. *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, hlm.305–310. IEEE.
- Soliman, H. 2009. RFC 5555: Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers. *IETF Request for Comments*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc5555.txt> [21 Mac 2016].
- Xie, J. & Narayanan, U. 2010. Performance Analysis of Mobility Support in IPv4/IPv6 Mixed Wireless Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(2), 962–973.

Farouk Abd. Jalin

Nor Effendy Othman

Rosilah Hassan

Abdul Hadi Abd Rahman

Dahlila Putri Dahnil Sikumbang

Khairul Azmi Abu Bakar

Faculty of Information Science and Technology,  
Universiti Kebangsaan Malaysia.

\*Corresponding author. Email: effendy@ukm.edu.my.

Received: 13 December 2017

Accepted: 7 February 2018

Published: 9 June 2018