

Analisis Performansi FHMIPv6 (Fast Handover for Hierarchical Mobile IPv6) pada Jaringan WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) 802.11p

Analysis of FHMIPv6 (Fast Handover for Hierarchical Mobile IPv6) Performance in WAVE (Wireless Access In Vehicular Environment) 802.11p Network

Wilis Tirta N¹, Fazmah Arif Yulianto², Anton Herutomo³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

¹wilistirta@gmail.com, ²faz@telkomuniversity.ac.id, ³anton.herutomo@gmail.com

Abstrak

Mobile IPv6 (MIPv6) adalah protokol internet pada jaringan IPv6 yang mendukung mobilitas *user* sehingga *user* tetap dapat terkoneksi dengan internet meskipun harus berpindah dari satu jaringan ke jaringan lain. Proses perpindahan jaringan dalam MIPv6 dilakukan secara otomatis sehingga koneksi *user* dengan internet tetap berjalan dengan baik tanpa terputus meskipun *user* berpindah dari jangkauan suatu jaringan ke jangkauan jaringan lainnya atau yang biasa disebut dengan *handover*. Proses *handover* yang banyak memakan waktu menjadi salah satu hal penyebab terganggunya konektivitas dan bahkan dapat mengakibatkan terputusnya jaringan pada *mobile user*. Pada *Mobile IPv6* terdapat beberapa metode dalam proses *handover*, salah satunya adalah *Fasthandover for Hierarchical MIPv6* atau FHMIPv6.

Tugas akhir ini membandingkan performa FHMIPv6 dengan MIPv6 dalam menangani *handover* pada jaringan *Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)* berdasarkan karakteristik perubahan kelajuan dan jumlah *mobile node* pada lingkungan urban dan *highway* melalui simulasi yang dilakukan dengan NS2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa dari FHMIPv6 lebih unggul dibandingkan dengan MIPv6. Kedua protokol tersebut mengalami peningkatan *handoff latency* dan *delay* serta penurunan *throughput* dan PDR pada kondisi mobilitas *node* yang padat. Penurunan performa tersebut terjadi pula pada lingkungan dengan kelajuan *mobile node* yang tinggi, namun hasil pengujian pada skenario perubahan kelajuan *mobile node* menunjukkan besar *delay* yang stabil.

Kata Kunci: *Mobile IP, MIPv6, FHMIPv6.*

Abstract

Mobile IPv6 (MIPv6) is an internet protocol on IPv6 network that supports user mobility, so that the user stay connected to the Internet even though the user should move from one network to others. The process of network moving on MIPv6 is performed automatically so that the connection of user to the Internet continues to run well without interruption even if the user moves from the range of a network to the range of other networks or commonly called as *handover*. When the *handover* process takes a long time, it will be one that causes disruption of connectivity and can even lead to the lost connection of mobile user. In the *Mobile IPv6*, there are several methods in the *handover* process, one of them is *Fasthandover for Hierarchical MIPv6* or FHMIPv6.

The Final project is to compare the performance of FHMIPv6 and MIPv6 on the network *Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)* based on the change of velocity and the number of mobile nodes in the urban environment and the highway through simulations conducted with NS2. The test results show that the performance of FHMIPv6 is better than MIPv6. The increase of the *handoff latency* and *delay* as well as the decrease in *throughput* and PDR in the crowded environments occur in both of these protocol. The decrease performance also happens in high velocity of mobile node environment, but the result of testing on these change of velocity of mobile nodes scenarios show the value of a stable delay.

Keywords: *Mobile IP, MIPv6, FHMIPv6.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telah membawa berbagai perubahan terhadap pola hidup manusia, salah satunya adalah kecenderungan untuk selalu ingin terhubung dengan internet kapanpun dan di manapun. Riset yang diadakan pada 2012 menunjukkan bahwa sebanyak 65% pengguna internet Indonesia lebih sering terkoneksi melalui ponsel [11] yang dapat mendukung mobilitas pengguna internet tersebut dan nilai tersebut akan terus meningkat. Tidak sedikit pula para pengguna internet menggunakan berbagai layanan internet ketika

sedang berkendara bahkan berbagai macam kendaraan saat ini secara otomatis sudah terhubung dengan internet untuk berbagai macam keperluan. Salah satu teknologi pada jaringan IPv6 yang mendukung akses data dari user yang bergerak adalah protokol Mobile IPv6 (MIPv6). Dalam mobilitasnya, user yang berada pada suatu jangkauan sebuah jaringan dapat berpindah jangkauan jaringan lain. Proses tersebut secara otomatis dapat ditangani dengan suatu mekanisme yang disebut dengan *handover* sehingga memungkinkan konektivitas *mobile user* tersebut tetap terjaga.

Proses *handover* yang banyak memakan waktu menjadi salah satu hal penyebab terganggunya konektivitas dan bahkan dapat mengakibatkan terputusnya jaringan pada *mobile user*. Dalam perkembangan MIPv6 dilahirkan beberapa protokol-protokol baru dengan tujuan untuk meningkatkan konektivitas *mobile user* tersebut, salah satunya adalah Fast handover for Hierarchical Mobile IPv6 (FHMIPv6) yang merupakan penggabungan mekanisme Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) dengan teknologi Fast handover for Mobile IPv6 (FMIPv6). [6]

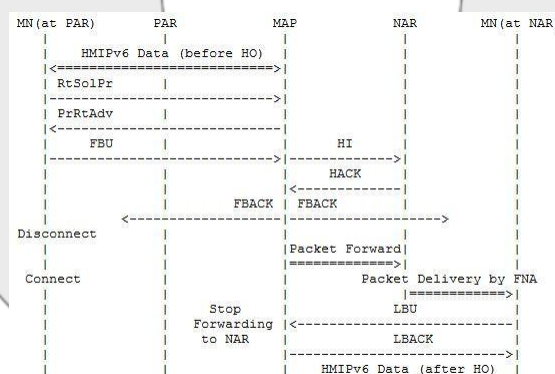
Pada tugas akhir ini diujikan protokol *handover* FHMIPv6 dengan menggunakan NS2 pada jaringan *Wireless Access for Vehicular Environments* (WAVE) yang juga dikenal dengan IEEE 802.11p. WAVE merupakan amandemen dari IEEE 802.11 atau yang lebih dikenal dengan *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). [13] WAVE diperlukan untuk mendukung *Intelligent Transportation System* (ITS) pada komunikasi jarak dekat yang dapat dikombinasikan dengan berbagai fasilitas multimedia untuk meningkatkan layanan terhadap *user* dan memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan efisien.

Performa FHMIPv6 pada jaringan WAVE diuji melalui simulasi pada lingkungan urban dan lingkungan *highway* dengan karakteristik mobilitas masing-masing. Pada setiap lingkungan simulasi tersebut terdapat masing-masing skenario perubahan kelajuan dan perubahan jumlah *mobile user*. Performansi FHMIPv6 dapat dilihat dengan membandingkan hasil simulasi protokol FHMIPv6 dengan mekanisme standar MIPv6 berdasarkan parameter *delay*, *throughput*, *packet delivery ratio* (PDR), dan *handoff latency*. Hasil analisis yang diperoleh dapat menggambarkan performansi FHMIPv6 terhadap pengaruh jumlah dan kelajuan *mobile user* yang berada pada lingkungan urban maupun *highway*.

2. Dasar Teori

2.1 FHMIPv6

Prosedur Fast handover for Hierarchical MIPv6 atau FHMIPv6 digunakan agar dapat menggabungkan mekanisme Hierarchical MIPv6 (HMIPv6) dan Fast handover for MIPv6 (FMIPv6). Apabila pada mekanisme FMIPv6 terdapat oAR sebagai penanggung jawab dalam mem-forward-kan paket setelah MN melakukan *handover*, maka dalam FHMIPv6 yang bertanggung jawab menangani tugas tersebut adalah MAP. Hal ini dapat mengurangi *handoff latency* yang dikarenakan paket yang di-forward-kan tidak perlu menempuh jalur yang panjang akibat adanya penambahan MAP diantara oAR dengan MN yang sudah berada pada *foreign network*.



Gambar 1. Prosedur pengiriman pesan pada FHMIPv6 [6]

Selain itu, trafik pada FMIPv6 pada jaringan *hierarchy* yang akan dialihkan pada saat oAR menerima F-BU akan mengakibatkan hilangnya paket-paket dari oAR yang ditujukan ke oCoA pada saat MN melakukan *handoff* sesaat setelah mengirimkan pesan F-BU namun pesan F-BU tersebut belum diterima oleh oAR. Hal tersebut akan mengakibatkan meningkatnya *handoff latency* dan *packet loss*. Sehingga pada FHMIPv6 dilakukan

penungguan sampai koneksi terputus dengan menunggu F-Back pada *link* yang lama untuk memulai *handover*, sehingga ketika F-Back diterima, tidak terjadi hilangnya paket yang dikirim ke oCoA dan paket yang dialihkan ke nCoA akan ditampung dalam *buffer* sehingga tidak ada *packet loss*. F-Back akan berperan sebagai semacam sinkronisasi paket yang memberikan informasi bahwa paket yang dikirim ke nCoA sudah menunggu atau sudah sampai di nAR sehingga *handover latency* pada jaringan *wired* dapat dikurangi.

FHMIPv6 menggunakan mekanisme *recovery* yang sama dengan mekanisme pada FMIPv6 dimana MN harus melakukan prosedur-prosedur dalam jangka waktu yang dimulai ketika MN akan melakukan *handover* sampai MN benar-benar harus melakukan *handover* karena terputusnya koneksi dengan oAR. [6]

2.2 WAVE

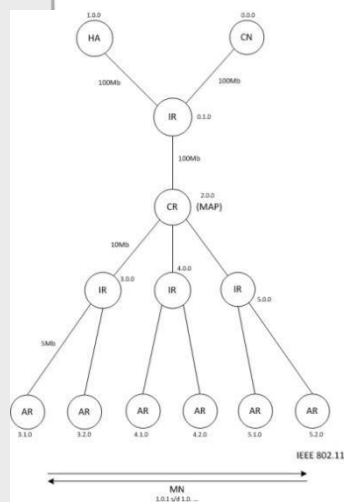
Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) merupakan standar yang digunakan untuk komunikasi antarkendaraan atau *vehicle-to-vehicle* (V2V) yang merupakan standar 802.11p. Selain itu WAVE juga menyediakan layanan pertukaran data antara kendaraan dan infrastruktur jaringan yang berada di jalanan atau *vehicle-to-infrastructure* (V2I). Jaringan WAVE mendefinisikan perangkat tambahan untuk 802.11, yang biasa dikenal dengan Wi-Fi, yang diperlukan untuk mendukung aplikasi *Intelligent Transportation Systems* (ITS), yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan efisien.

The Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) 1609 merupakan standar pada layer yang lebih tinggi dalam jaringan WAVE yang mendefinisikan arsitektur dan standarisasi layanan dan antarmuka yang memungkinkan berlangsungnya komunikasi nirkabel dan akses fisik untuk kecepatan tinggi hingga 27 MB/s pada jarak dekat (hingga 1000m) dengan latency rendah. Standar IEEE 1609 terdiri dari tiga standar, empat standar lain tidak dipublikasikan, seperti yang digambarkan pada tabel 2.1 berikut.

Standar IEEE 802.11p yang merupakan amandemen dari standar IEEE 802.11, yang dikenal dengan Wifi, mendukung *Intelligence Transportation System* (ITS) yang memberikan fasilitas komunikasi pada kendaraan atau node yang bergerak dengan kecepatan tinggi pada frekuensi 5,9 GHz (5,85 s/d 5,925 GHz). Secara umum, IEEE 802.11p dan IEEE 1609.4 masing-masing digunakan untuk menggambarkan layer fisik dan *Media Access Control* (MAC). Sementara IEEE 1609.3 digunakan untuk menggambarkan layer *network* dan *transport*, dan IEEE 1609.2 menggambarkan fungsi dan layanan keamanan.

3. Proses Simulasi

3.1. Perancangan Sistem



Gambar 2. Topologi jaringan

Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi untuk menguji performansi FHMIPv6 pada jaringan WAVE dengan menggunakan simulator NS2. Performansi dievaluasi dengan pengujian melalui skenario perubahan jumlah node dan perubahan kelajuan node masing-masing pada lingkungan perkotaan (*urban*) dan jalan tol (*highway*). Gambar 2 di atas merupakan topologi jaringan yang akan digunakan dalam sistem, terdiri dari Home Agent (HA) dan Correspondent Node (CN) yang terhubung ke Central Router (CR) melalui Intermediate Router

(IR) dengan *bandwidth* masing-masing sebesar 100Mb. Pada FHMPv6, fungsionalitas dari Mobility Anchor Point (MAP) ditambahkan pada CR, dan domain *micro-mobility* dibentuk oleh CR, IR dan AR. Kemudian terdapat enam buah Access Router (AR) yang disusun pada tepi jalan dan terhubung dengan CR melalui IR dan setiap IR tersebut menangani dua buah AR.

Simulasi pada domain *wireless* dilakukan pada jaringan WAVE 802.11p dimana setiap AR memiliki jangkauan area dengan radius sebesar 1 km [13]. Agar mendekati kenyataan, secara teori setidaknya terdapat 20% dari area jangkauan AR tersebut saling tumpang tindih (overlap) dengan AR yang berada di dekatnya sehingga antar AR yang satu dengan yang lain pada sistem disusun dengan jarak sebesar 1,6 km, dengan kata lain terdapat area sebesar 400 m yang merupakan daerah overlap antara dua buah AR yang saling berdekatan. [3]

3.2. Parameter Pengukuran Performansi Jaringan

- **Delay**

Delay adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah paket data terhitung ketika paket data dikirimkan hingga data diterima oleh *receiver*. Standarisasi nilai *delay* menurut versi ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication) G.144 adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Standarisasi Delay [6]

Kategori Latency	Besar Delay
Baik	< 150 ms
Cukup	150 s/d 400 ms
Buruk	> 400 ms

- **Throughput**

Throughput adalah kecepatan rata-rata data yang diterima oleh suatu node dalam selang waktu tertentu yang dinyatakan dalam Kbps. *Throughput* merupakan *bandwidth* aktual yang diterima oleh *user*.

- **Packet Delivery Ratio (PDR)**

PDR atau perbandingan paket terkirim adalah perbandingan jumlah paket data yang berhasil diterima dengan jumlah paket data yang dibangkitkan yang dinyatakan dalam persen. Sedangkan untuk jumlah paket yang gagal diterima atau *packet loss*, secara umum terdapat tiga kategori penurunan kualitas jaringan sesuai dengan versi ITU-T G.144 yaitu *packet loss* dengan nilai dibawah 3% termasuk dalam kategori baik, 15% masuk dalam kategori cukup, dan lebih dari 25% menunjukkan kualitas jaringan yang buruk. [6]

- **Handoff latency**

Handoff latency merupakan waktu yang terhitung sejak paket terakhir dari rute pengiriman paket lama hingga paket pertama diterima oleh *mobile node* dari rute pengiriman paket baru setelah terjadinya *handover*.

4. Pengujian dan Analisis

4.1. Skenario Pengujian

Mobilitas node pada simulasi dibagi ke dalam lingkungan urban dan lingkungan *highway*. Karakteristik mobilitas pada lingkungan urban adalah kelajuan kendaraan-kendaraan yang melewatinya cenderung rendah sedangkan pada lingkungan *highway* kelajuan kendaraan cenderung jauh lebih tinggi. Hal ini diatur dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 ayat 5 tentang Batas Kecepatan Kendaraan yang menyatakan bahwa batas kecepatan maksimum dalam kota adalah 50 km/jam, pemukiman (keramaian) 25 km/jam, dan jalan bebas hambatan 100 km/jam. Pengujian dilakukan dengan skenario perubahan kelajuan node dan perubahan jumlah node pada masing-masing lingkungan urban dan *highway* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Skenario perubahan kelajuan node lingkungan urban

Jumlah Node	Kelajuan Node (km/j)
150	30
150	40
150	50

Tabel 3. Skenario perubahan jumlah node lingkungan urban

Jumlah Node	Kelajuan Node (km/j)
90	40
150	40
210	40

Tabel 4. Skenario perubahan kelajuan node lingkungan *highway*

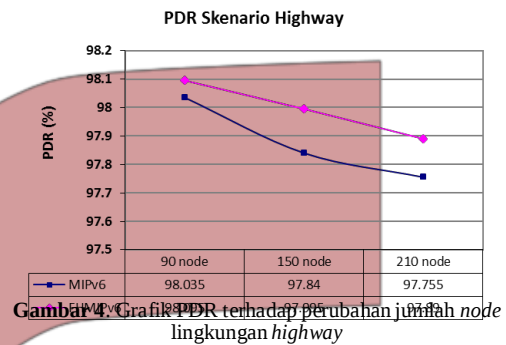
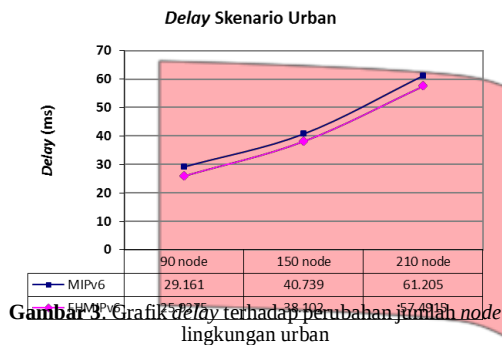
Jumlah Node	Kelajuan Node (km/j)
150	80
150	100
150	120

Tabel 5. Skenario perubahan jumlah node lingkungan *highway*

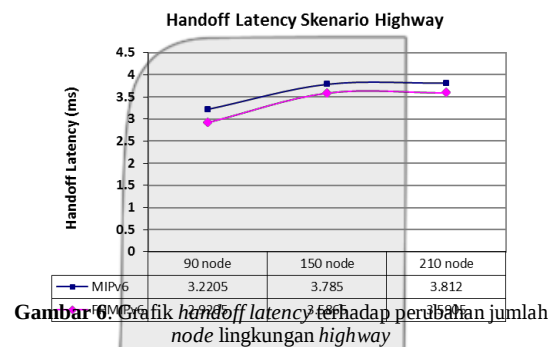
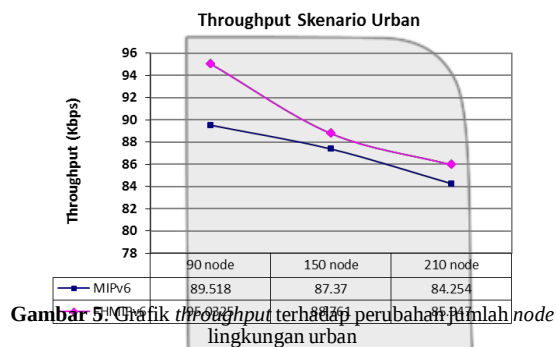
Jumlah Node	Kelajuan Node (km/j)
90	100
150	100
210	100

4.2. Analisis Hasil Pengujian Perubahan Jumlah Node

Hasil pengujian pada skenario perubahan jumlah node dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah node mengakibatkan *delay* antar hop semakin besar, sedangkan Gambar 4 menunjukkan pada skenario bertambahnya jumlah node mengakibatkan paket yang diterima menurun, baik pada MIPv6 maupun FHMIPv6.

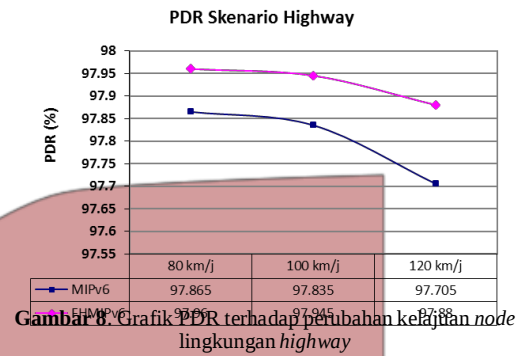
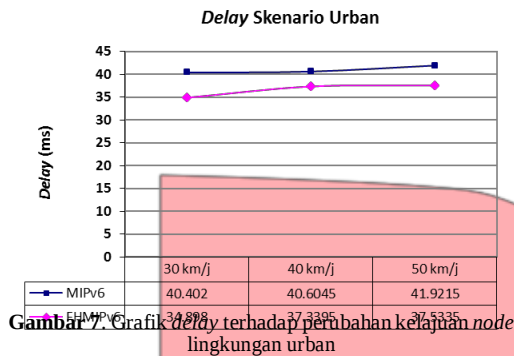


Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa performansi baik MIPv6 maupun FHMIPv6 menurun yang ditunjukkan dengan meningkatnya *handoff latency* dan turunnya *throughput* ketika jumlah node bertambah.

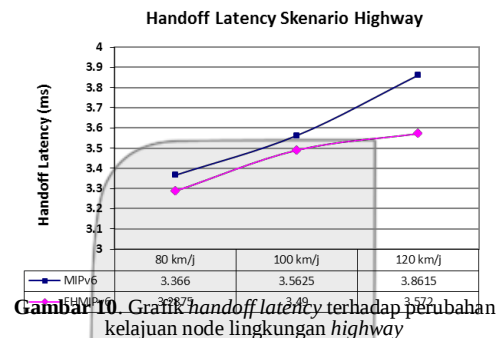
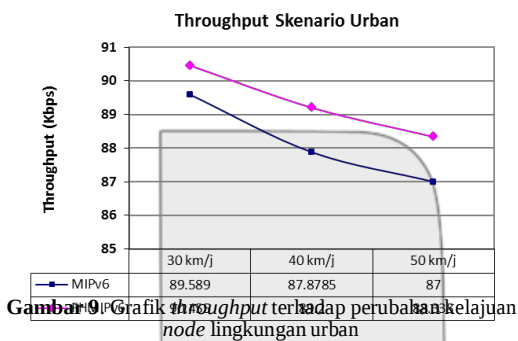
Jumlah node yang semakin besar menghasilkan *signaling load* yang besar pula sehingga akan menyebabkan trafik jaringan semakin tinggi. *Packet loss* yang terjadi bisa berasal dari Neighbor Discovery (ND) atau bisa juga berasal dari HA. Besarnya trafik jaringan dan waktu akses yang besar tidak didukung oleh kemampuan *buffer* ND untuk menampung paket dengan alamat tujuan sama yang terbatas. Hal ini menyebabkan banyaknya paket yang didrop dari *buffer* ND tersebut sehingga paket-paket tersebut tidak akan dikirim melalui *wireless channel* dan menyebabkan *throughput* jaringan menurun. *Packet loss* juga dapat terjadi pada HA apabila *lifetime* BU untuk CN dan HA *expired*. Semakin banyak jumlah *node* menyebabkan *packet loss* pada HA juga semakin besar. Hal tersebut dikarenakan MN harus menunggu BACK dari MAP untuk mengirim BU ke CN dan HA yang dapat memakan banyak waktu dan menyebabkan *throughput* jaringan menurun ketika terjadi *high congestion* pada *wireless channel*.

4.3. Analisis Hasil Pengujian Perubahan Kelajuan Node

Hasil pengujian pada skenario perubahan kelajuan node dapat dilihat pada gambar berikut.



Pada gambar 7 dan 8 di atas menunjukkan bahwa perubahan kelajuan node tidak mempengaruhi delay. Namun kelajuan node yang semakin besar akan mengakibatkan jumlah paket yang diterima menurun atau dengan kata lain jumlah paket yang hilang (*packet loss*) semakin besar.



Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah *node* mengakibatkan *throughput* MIPv6 maupun FHMIPv6 menurun dan *handoff latency* keduanya meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah *node* mengakibatkan *traffic* yang berupa data maupun *signaling load* membebani jaringan meningkat sehingga mengakibatkan menurunnya performa jaringan tersebut.

4. 4. Analisis Keseluruhan Hasil Pengujian

Pada dasarnya, jarak di mana MN dapat memperbarui entitas untuk mem-forward-kan pesan pada domain *wired* pada FHMIPv6 lebih dekat apabila dibandingkan dengan yang terdapat pada MIPv6. MN yang melakukan *handoff* pada dua buah AR hanya perlu mengirimkan informasi *handoff* tersebut kepada MAP saja sehingga dapat mengurangi *handoff latency* dan *delay* pada mekanisme FHMIPv6. Selain itu MAP yang bertanggung jawab dalam pengalihan paket dapat memberikan keuntungan berupa waktu paket-paket untuk dapat sampai ke tujuan menjadi lebih singkat. Hal ini berbeda dengan mekanisme pada MIPv6 yang mengharuskan MN menginformasikan terjadinya *handoff* pada HA dan CN yang berada jauh dari MN sehingga mempengaruhi *delay* pengiriman paket data. Namun meskipun *end to end delay* meningkat, nilai *delay* tersebut tidak melebihi 150 ms, di mana nilai tersebut menunjukkan kondisi jaringan MIPv6 maupun FHMIPv6 tetap berada dalam kategori baik, meskipun dilakukan penambahan jumlah *node*, berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114.

Jumlah *node* yang semakin besar menghasilkan *signaling load* yang besar pula hingga mencapai lebih dari 20% dari total data yang dikirimkan oleh *node* sehingga akan menyebabkan trafik jaringan semakin tinggi. Trafik jaringan yang tinggi akan menyebabkan meningkatnya *packet loss* yang berasal dari proses *Neighbor*

Discovery (ND) pada AR atau dapat berasal dari HA. Besarnya trafik jaringan dan waktu akses yang besar tidak didukung oleh kemampuan *buffer* AR untuk menampung paket dengan alamat tujuan sama yang terbatas. Hal ini menyebabkan banyaknya paket yang didrop dari *buffer* ND tersebut sehingga paket-paket tersebut tidak akan dikirim melalui *wireless channel* dan menyebabkan *throughput* jaringan menurun. *Packet loss* juga dapat terjadi pada HA apabila *lifetime* BU untuk CN dan HA *expired*. Semakin banyak jumlah *node* menyebabkan *packet loss* pada HA juga semakin besar. Hal tersebut dikarenakan MN harus menunggu *Back* dari MAP untuk mengirim BU ke CN dan HA yang dapat memakan banyak waktu dan menyebabkan *throughput* jaringan menurun ketika terjadi *high congestion* pada *wireless channel*.

Sedangkan bertambahnya kelajuan *mobile node* tidak mempengaruhi *latency* atau *end to end delay* pengiriman data. Pada mekanisme FHMIPv6, MN dan MAP melakukan mekanisme bahkan sebelum MN melakukan *handoff* sehingga dapat memperkecil *latency* dan penundaan pengiriman data. Pengalihan trafik dari oAR ke nAR juga ditangani dengan baik sehingga mekanisme tersebut memberikan *throughput* jaringan yang lebih baik dan kemungkinan paket didrop akan lebih kecil apabila dibandingkan dengan MIPv6. Pesan *signaling* pertama dari *fast handover* (PrRtSol) ketika sampai di tujuan akan memicu adanya pengiriman pesan HI, kemudian AR akan menyiapkan untuk membentuk *link layer address* sebelum mem-forward-kan paket data ke MN. Prosedur ND dapat terjadi setelah paket pertama yang diterima nAR yang merupakan *Back* yang dikirim oleh MAP. Pada topologi *hierarchical*, *Back* tidak selalu diikuti dengan paket data karena HA dan CN belum ter-update dan paket didrop oleh HA, sehingga memberikan tambahan waktu kepada nAR untuk membentuk *link layer address*. Namun ketika MN bergerak dengan kelajuan yang lebih tinggi, prosedur-prosedur *handover* tersebut berkemungkinan kecil untuk dapat diselesaikan seluruhnya. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya *packet loss* dan menurunnya *throughput* jaringan. Tetapi meskipun demikian, FHMIPv6 tetap menunjukkan performa yang lebih baik apabila dibandingkan dengan MIPv6. Hal ini dikarenakan mekanisme *handover* pada MIPv6 ditangani oleh HA dan CN sehingga apabila MN bergerak dengan kelajuan yang tinggi, MN membutuhkan mekanisme penanganan *handover* yang lebih cepat sedangkan apabila kondisi trafik padat maka HA dan CN akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menangani proses *handover* dan menyebabkan *packet loss* yang besar.

Pada skenario penambahan jumlah *node* maupun perubahan kelajuan *node* lingkungan urban, nilai PDR pada MIPv6 berada di bawah 97% atau *packet loss* pada skenario tersebut lebih dari 3%. Hal tersebut menunjukkan bahwa MIPv6 tidak memenuhi kriteria kualitas jaringan yang baik berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114. Sedangkan nilai PDR FHMIPv6 selalu berada di atas 97% atau dengan kata lain *packet loss* FHMIPv6 pada setiap skenario kurang dari 3% sehingga menunjukkan kualitas jaringan yang baik berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa terhadap protokol FHMIPv6 maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- FHMIPv6 memiliki performa yang lebih baik dari MIPv6 apabila dilihat dari delay, *throughput*, PDR, maupun *handoff latency*.
- Kelajuan maupun jumlah *mobile node* yang semakin besar mengakibatkan performansi FHMIPv6 maupun MIPv6 menurun yang dapat dilihat dari nilai *handoff latency* yang semakin besar.
- Kelajuan *mobile node* tidak berdampak secara langsung pada delay karena mekanisme *handover* tetap dapat ditangani dengan baik meskipun *mobile node* bergerak dalam kelajuan yang tinggi. Sedangkan jumlah *mobile node* mempengaruhi besar delay, karena semakin besar jumlah *mobile node* mengakibatkan meningkatnya trafik jaringan sehingga membebani jaringan dan membuat delay semakin besar. Hasil pengujian MIPv6 maupun FHMIPv6 menunjukkan kualitas jaringan yang baik berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114 apabila dilihat dari nilai delay yang tidak melebihi 150 ms

- Nilai PDR dan *throughput* jaringan dipengaruhi oleh kelajuan dan jumlah *mobile node*. PDR maupun *throughput* akan menurun apabila kelajuan *mobile node* meningkat atau apabila jumlah *mobile node* bertambah sehingga mengakibatkan performa jaringan menurun. Hasil pengujian menunjukkan performansi FHMIPv6 yang lebih baik apabila dibandingkan dengan MIPv6 dan menunjukkan menunjukkan kualitas jaringan yang baik berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114 apabila dilihat dari nilai PDR FHMIPv6 yang lebih besar dari 97%, atau dengan kata lain nilai *packet loss* yang tidak melebihi 3%.

5. 2. Saran

Untuk pengembangan tugas akhir ini diharapkan dapat dilakukan pengujian pada jaringan selain 802.11p dan dengan trafik yang bervariasi. Penambahan background traffic juga perlu dilakukan agar simulasi mendekati kondisi riil. Selain itu diharapkan untuk dapat dilakukan pengujian dengan peta simulasi yang lebih luas dan dengan durasi pengujian yang lebih besar dengan tetap memperhatikan spesifikasi hardware dan software yang memadai.

Daftar Pustaka :

- [1] B. Li, M. S. Mirhashemi, X. Laurent and J. Gao, "Wireless Access for Vehicular Environments".
- [2] B. Wirawan, A. and I. , Mudah Membangun Simulasi dengan Network Simulator-2 (NS-2), Yogyakarta: ANDI, 2004.
- [3] C. G. Panayiotou and C. G. Cassandras, "Call Allocation in Cellular Communication Systems with Overlapping Coverage," Dept of Manufacturing Engineering, Boston, 2000.
- [4] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," Internet Society, 2004.
- [5] E. R. Koodli, "Mobile IPv6 Fast Handovers," IETF, 2009.
- [6] H. Jung, H. Soliman, S. J. Koh and J. Y. Lee, "Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6)," IETF, 2005.
- [7] H. Soliman, C. Castelluccia, K. ElMalki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management," IETF, 2008.
- [8] ITU-T, "ITU-T Recommendation G.114: "One-way transmission time"".
- [9] J. Febrian, Kamus Komputer & Teknologi Informasi, Bandung: Penerbit Informatika, 2007.
- [10] O. Z. Tamin, "Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Lalulintas di Ruas Jalan H.R. Rasuna Said (Jakarta)," Teknik Sipil ITB, Bandung.
- [11] P. Marius and F. Pinontoan, Penggunaan Internet Sektor Bisnis 2013, Jakarta: Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia, 2014.
- [12] PT Jasamarga, "Volume Lalu Lintas," PT Jasamarga, [Online]. Available: http://Simulator.jasamarga.com/id/_kinerja-perusahaan/volume-lalu-lintas.html.
- [13] R.a.I.T.A, "ITS Standards Fact Sheets," 2013.
- [14] S. Yankov and S. Wiethoelter, Handover Blackout Duration of Layer 3, Berlin: Telecommunication Networks Group, 2006.
- [15] "SUMO - Simulation of Urban MObility," [Online]. Available: <http://sumo.sourceforge.net>.
- [16] X. P'erez-Costa, M. Torrent-Moreno and H. Hartenstein, "A Performance Comparison of Mobile IPv6, Hierarchical Mobile," 2003.