

ANALISA KINERJA HANDOVER VOIP PADA SISTEM WLAN BERBASIS IEEE.802.21 MIH

Oleh : **Cyntia Widiyanti¹, Dwi Harinitha²**

¹Program Studi Teknik Elektronika Telekomunikasi Politeknik Caltex Riau

²Program Studi Teknik Telekomunikasi Politeknik Caltex Riau

Abstrak

VOIP merupakan layanan yang memiliki persyaratan QoS yang ketat dalam hal ketepatan waktu dan kualitas suara yang dibutuhkan user pada jaringan WLAN. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa mobilitas handover dapat berdampak pada kualitas suara karena keterlambatan proses penyerahan. Agar komunikasi tidak terputus diperlukan fasilitas Soft Handover, sehingga komunikasi dijamin terus tersambung tanpa perlu melakukan pemanggilan ulang kembali atau inisialisasi ulang. Media Independent Handover merupakan standar IEEE 802.21 MIH yang dikembangkan untuk mendukung handover antar teknologi wireless yang berbeda. Pada penelitian ini dilakukan implementasi dan analisa kinerja handover VOIP pada sistem WLAN. Dengan menggunakan metode Media Independent Handover (MIH) yang dibangun menggunakan Operasi System Linux (ubuntu 12.04) dengan software ODTONE dan server VOIP menggunakan Asterisk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas komunikasi VOIP pada jaringan WLAN pada saat terjadi handover berdasarkan hasil pengukuran parameter QoS berupa delay, jitter dan throughput. Dimana rata-rata nilai delay saat handover sebesar 17,759 ms dengan rata-rata jitter 5,971 ms. Nilai throughput yang dihasilkan berbeda-beda, rata-rata sebesar 31.55 kbps tergantung jumlah data yang dikirim dari setiap pengujian. Semakin banyak paket yang dikirim, nilai throughput yang dihasilkan semakin besar. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian pada jaringan tanpa MIH, terlihat bahwa standar IEEE 802.21MIH dapat mengoptimasi layanan QoS VOIP.

Kata Kunci: VOIP, WLAN, Handover, Media Independent Handover (MIH), QoS

1. Pendahuluan

Dengan perkembangan teknologi sekarang, percakapan manusia dapat dilakukan melalui jaringan IP, sehingga penggunaan VOIP (*Voice Over Internet Protocol*) dapat memanfaatkan infrastruktur jaringan yang sudah ada. *Voice over Internet Protocol* (VOIP) adalah sebuah teknologi yang mendigitalisasi data suara ke dalam paket-paket data untuk ditransmisikan melalui jaringan komputer dengan memanfaatkan *Internet Protocol* (IP). VOIP layak menjadi alternatif bagi masyarakat untuk beralih dari jaringan telepon (PSTN).

Teknologi WLAN didasarkan pada standar akses jaringan IEEE802.11b. Penggunaan WLAN memungkinkan *user* untuk memiliki akses layanan internet terlepas dari lokasi mereka dalam jaringan. Selain itu, konektivitas terus ditawarkan kepada *users* saat *roaming* dari satu tempat ke tempat lain. Sebagai *user* yang bergerak dari satu *coverage* radio ke *coverage* yang lain, perangkat *mobile* mentransfer sistem kontrolnya diantara *Access Point* (AP).

Proses transfer ini disebut *handover* atau *handoff*. Kinerja aplikasi tertentu dapat terkena dampak selama *handover*. VOIP adalah layanan yang memiliki persyaratan QoS yang ketat dalam ketepatan waktu dan kualitas suara yang dibutuhkan *user* pada jaringan WLAN. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa mobilitas *handover* dapat berdampak pada kualitas suara karena keterlambatan proses penyerahan. Agar komunikasi tidak terputus, diperlukan fasilitas *SoftHandover*, sehingga komunikasi dijamin akan terus tersambung tanpa perlu melakukan pemanggilan ulang kembali atau inisialisasi ulang. *Handover* merupakan suatu karakteristik dari *mobile networks* yang sangat berpengaruh pada *throughput* yang sampai pada *receiver*. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya jarak antara AP (*Access Point*) dengan MN (*Mobile Node*) dan *Receive Signal Strength Indicator* (RSSI).

1.1. VOIP

VOIP adalah teknologi yang mampu melewati *traffic* suara, video dan juga

data yang berbentuk paket melalui jaringan IP (Internet Protokol). Inti dari teknologi VOIP adalah data suara diubah menjadi kode digital dan kemudian diberi nomor dan *header* yang dialirkan melalui jaringan dalam bentuk paket-paket. Saat paket sudah sampai pada penerima kemudian paket-paket dibongkar dan diurutkan kembali sesuai dengan urutan semula, sehingga data suara tersebut kembali ke sinyal digital.

Peralatan yang dibutuhkan untuk membuat layanan VOIP sudah beragam. Untuk *user* yang telah profesional, dapat menggunakan peralatan VOIP *dedicated*, IP Phone, IP PBX, maupun WiFi Phone dari berbagai *vendor* seperti LevelOne, LinkSys, Cisco, Dlink, Grandstream, 3COM, dll. Untuk *user* yang masih pemula dan memiliki akses internet, *user* hanya membutuhkan seperangkat komputer dengan mikropon/*speaker* atau PDA yang memiliki fitur WiFi. Lalu, *software* telepon internet (*softphone*) yang sering digunakan adalah SJPhone atau Xlite. Setelah itu, *user* membutuhkan nomor telepon VOIP salah satu sentral telepon VOIP agar bisa bergabung ke jaringan VOIP tersebut. Prinsip kerja dari sistem layanan VOIP adalah sebagai berikut: *Client-client* yang terhubung dalam sistem tersebut mempunyai nomor IP *Address* sendiri. Untuk bisa berkomunikasi antar *client*, maka masing-masing *client* harus *register* di IPPBX *Server* yaitu sebuah sistem yang mempunyai fungsi utama menyediakan layanan VOIP mulai dari *registrasi user, call routing, call conference, interactive voice response, call forwarding, caller id, voice mail* dan sebagainya. Dalam sebuah jaringan VOIP, selain terdapat IPPBX *server*, juga terdapat beberapa *client* yang dapat saling berkomunikasi dengan baik melalui perantaraan IPPBX.

1.2. Handover

Handover adalah suatu cara dimana memungkinkan *user* pindah pelayanan dari suatu sektor ke sektor lain baik dalam satu

BTS maupun antar BTS tanpa adanya pemutusan hubungan dan terjadi pemindahan frekuensi/kanal secara otomatis yang dilakukan oleh sistem.

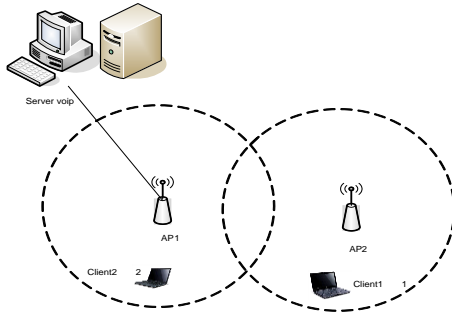
Proses *handover* dipengaruhi oleh faktor level daya sinyal terima (Rx Level), kualitas sinyal terima (RxQual), *power budget* sel tetangga dan jarak antara MS dan BTS (*Timing Advanced*) yang masing-masing mempunyai nilai ambang batas sehingga ketika nilai ambang batas tersebut sudah dilewati, *handover* harus dilakukan untuk menjaga suatu panggilan agar tidak terputus. Proses *handover* tidak selalu berjalan lancar, walaupun nilai ambang batas sudah dilewati namun tetap tidak mau melakukan *handover*. Hal tersebut dikarenakan beberapa faktor sehingga menyebabkan kegagalan *handover* (*failure*). Kegagalan *handover* belum tentu menyebabkan suatu panggilan terputus, bisa juga mengakibatkan kualitas suara yang diterima menjadi jelek. Panggilan terputus merupakan akibat yang paling buruk jika *handover* tidak dapat dilakukan.

Handover terbagi atas dua yakni:

- Hard handover* adalah *Handover* yang bisa dirasakan oleh *user* (adanya *delay* yang lama dalam pergantian kanal)
- Soft handover* adalah *Handover* yang tidak dirasakan oleh *user* (tidak adanya *delay* dalam pergantian kanal).

2. Metode Penelitian

Desain sistem pada penelitian ini meliputi desain topologi jaringan, instalasi dan konfigurasi. Gambar 1 merupakan topologi jaringan VOIP yang dibuat, dimana jaringan terdiri dari 1 PC *server*, 2 *Access Point* dan 2 klien. Salah satu *Access Point* (AP 1) diletakkan dekat dengan PC *server* sedangkan *Access Point* yang lain diletakkan cukup jauh, kira-kira pada posisi dimana jangkauan AP 1 mulai melemah.



Gambar 1. Topologi jaringan

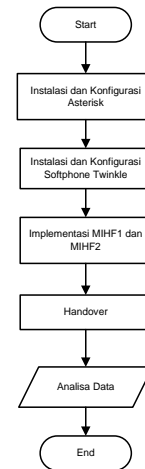
Klien 1 akan melakukan komunikasi VOIP dengan klien 2 dimana awalnya kedua klien berada di area *coverage Access Point* yang berbeda, kemudian klien 1 akan bergerak mendekati klien 2 sehingga akan terjadi *handover* yaitu perpindahan posisi klien 1 dari *coverage area Access point 2* ke *Access point 1*. Dengan melakukan implementasi standar IEEE 802.21 MIH, maka proses *handover*-nya diharapkan menjadi mulus.

Langkah-langkah untuk membangun sistem ini secara keseluruhan bisa dilihat pada *flowchart* sistem gambar 2. Pertama dilakukan instalasi dan konfigurasi *software Asterisk* untuk membangun VOIP *server*-nya. Kemudian dilanjutkan dengan meng-*instal* dan mengkonfigurasi *softphone Twinkle* sebagai media komunikasi VOIP antar klien.

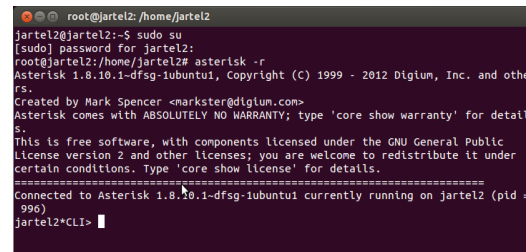
Jika *Server Asterisk SIP* dapat masuk ke CLI (*Command Line Interface*), muncul pesan *copy right* yang menandakan bahwa *Asterisk* sudah *running*. Tampilan hasil *running Asterisk* dapat dilihat pada gambar 3. Setelah selesai melakukan konfigurasi *softphone Twinkle*, saat pertama kali dijalankan tampak pada kolom *Display* kata-kata “*registration succeeded*” seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Selanjutnya dibangun MIHF1 (*server*) dan MIHF2 (klien) untuk implementasi *Mobile Independent Handover (MIH)*. Sebelum melakukan konfigurasi ODTONE, wajib menginstal *boost V.1.46.0* yang dapat diperoleh di <http://www.boost.org>. Jika *boost* berhasil diinstal, langkah selanjutnya adalah

menginstal beberapa *library* agar ODTONE dapat bekerja.

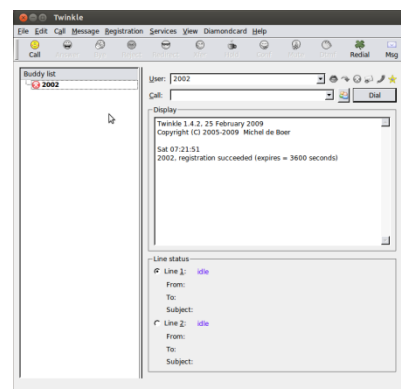


Gambar 2. Flowchart system



Gambar 3. Monitoring server VOIP

File konfigurasi *mihf1* dan *mihf2* seperti gambar 5 dan 6. Setelah semua komponen terkonfigurasi dan *running* tanpa *error*, maka dilakukan pengujian *handover* dan pengukuran parameter QoS-nya meliputi nilai *delay*, *jitter* dan *throughput*.



Gambar 4. Twinkle client VOIP

```
[Mihf]
id = mihf1
local_port = 1025
REMOTE_PORT = 4551
peers= mihf2 192.168.40.100 4551 udp,
mihf2 192.168.40.255 4551 udp
transport = udp
```

Gambar 5. File konfigurasi MIHF1

```
[Mihf]
id = mihf2
local_port = 1025
REMOTE_PORT = 4551
peers = mihf1 192.168.40.100 4551 udp,
mihf1 192.168.40.255 4551 udp
transport = udp
```

Gambar 6. File konfigurasi MIHF2

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sistem

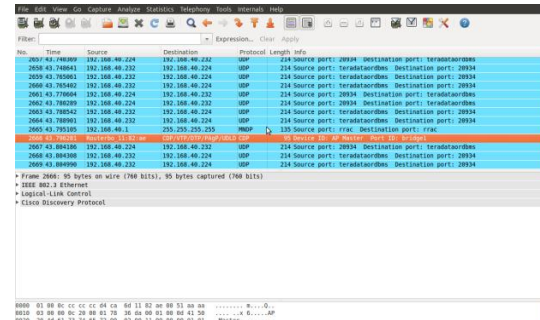
Pengujian sistem meliputi pengujian *Server* VOIP, pengujian *handover* dan pengukuran parameter QoS pada jaringan VOIP untuk mendapatkan performansi dan kualitas kanal.

Pengujian proses *handover* dimana klien 1 berpindah dari *coverage area* Access Point 2 (AP Asal) ke Access Point 1 (AP Tujuan). Ketika klien 1 mendeteksi sinyal yang diterima dari Access Point 2 melemah, maka klien 1 melakukan *scanning* terhadap Access Point tetangga terdekat berdasarkan informasi MAC address Access Point yang terdaftar pada SAP LINK. Saat terjadi *handover*, komunikasi antara klien 1 dan klien 2 masih berjalan.

Proses pengambilan data menggunakan *wireshark*. Hasil *capture* menggunakan *wireshark* saat terjadi *handover* dapat dilihat pada gambar 7 dimana proses *handover* telah sukses dilakukan. Hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya putus komunikasi antara klien 1 dengan klien 2 saat klien 1 berpindah dari *coverage area* AP 2 ke AP 1. Inisialisasi juga tidak diperlukan kembali saat proses *handover* terjadi. Karena klien 1

secara otomatis langsung terhubung dengan AP 1 begitu lepas koneksi dengan AP 2.

Dari data pada tabel 1 dapat diketahui rata-rata *delay* saat terjadi *handover* adalah 17,759 ms. Berdasarkan standar ITU bahwa *delay* untuk VOIP sebesar 150 ms (komunikasi satu arah), maka hasil pengujian *delay* pada penelitian ini masih memenuhi standar.



Gambar 7. Hasil *capture* wireshark ketika terjadi *handover*

Dari data pengukuran *jitter* yang didapat, jika dirata-ratakan nilai *jitter* untuk 10 kali pengujian yaitu sebesar 5,971ms. Nilai *jitter* yang tinggi disebabkan banyaknya paket yang dikirim saat komunikasi VOIP berlangsung sehingga menyebabkan trafik menjadi lebih sibuk dari sebelumnya.

Tabel 1 Pengujian Delay

| Pengujian ke- | Delay (ms) |
|---------------|------------|
| 1 | 12,901 |
| 2 | 13,713 |
| 3 | 25,74 |
| 4 | 18,547 |
| 5 | 10,027 |
| 6 | 15,622 |
| 7 | 20,3 |
| 8 | 20,23 |
| 9 | 20,27 |
| 10 | 20,24 |

Tabel 2 Pengujian Jitter

| Pengujian ke- | Jitter (ms) |
|---------------|-------------|
| 1 | 5.39 |
| 2 | 7.47 |
| 3 | 5.67 |
| 4 | 7.34 |
| 5 | 7.00 |
| 6 | 5.80 |
| 7 | 5.3 |
| 8 | 4.94 |
| 9 | 5.29 |
| 10 | 5.51 |

Saat melakukan perpindahan jaringan dari jaringan AP 2 (*Client*) ke jaringan AP 1 (*Master*) dibutuhkan selang waktu tertentu dan menyebabkan paket VOIP yang dikirim akan terhenti untuk beberapa saat sehingga paket tersebut akan terlambat datang. Kondisi ini menyebabkan variasi *delay* kedatangan antar paket semakin besar. Contohnya variasi *delay* kedatangan antar paket yang terjadi sebelum dan selama *handover*. Komunikasi berlanjut lagi setelah klien terhubung pada link barunya (AP Master). Semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *handover* maka semakin besar pula nilai *jitter* yang dihasilkan. Merujuk pada rekomendasi yang dikeluarkan oleh ITU-T Y.1541, bahwa *jitter* untuk komunikasi *real time* seperti VOIP tidak boleh lebih dari 30 ms. Sedangkan hasil pengujian *jitter* pada penelitian ini nilainya cukup kecil (rata-rata dari 10 kali pengujian sebesar 5,971 ms), maka bisa disimpulkan nilai *jitter* dari VOIP masih memenuhi standar layanan.

Tabel 3 Pengujian Throughput

| Pengujian ke- | Throughput (kbps) |
|---------------|-------------------|
| 1 | 30.4 |
| 2 | 30.7 |
| 3 | 30.1 |
| 4 | 29.9 |
| 5 | 31.3 |
| 6 | 31.6 |
| 7 | 32.4 |
| 8 | 30.5 |
| 9 | 30.4 |
| 10 | 38.2 |

Dari data pada tabel 3 dapat dilihat besarnya *throughput* yang didapat berbeda-beda, dimana rata-rata *throughput* yang dihasilkan sebesar 31,55 kbps. Nilai *throughput* yang didapat bervariasi disebabkan oleh jumlah data yang dikirim dari setiap pengujian berbeda-beda. Semakin banyak paket yang dikirim maka nilai *throughput* yang dihasilkan semakin besar.

3.2. Membandingkan Data Pengujian

Untuk melihat kinerja *handover* menggunakan standar IEEE.802.21MIH, maka dibandingkan hasil pengujian kualitas layanan (QoS) komunikasi VOIP dengan dan tanpa menggunakan standar IEEE.802.21MIH. Pengujian dilakukan kembali untuk pengambilan data pada kondisi jaringan tanpa implementasi standar IEEE.802.21MIH. Kemudian dilakukan analisa sejauh mana pengaruh implementasi standar IEEE.802.21MIH terhadap proses *softhandover* maupun kualitas layanan aplikasi yang digunakan (VOIP). Dari hasil pengukuran QoS pada jaringan tanpa MIH didapatkan data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Saat terjadi perpindahan klien 1 dari *coverage area* AP 2 ke AP 1, rata-rata *delay* yang diperoleh sebesar 26.623 ms dan komunikasi terputus saat keluar dari *coverage area* AP 2 serta tidak dapat terhubung kembali dengan klien 2 (tidak

dapat terhubung secara otomatis dengan AP 1). Berbeda dengan kondisi ketika jaringan menggunakan MIH, dimana saat sinyal dari AP 2 melemah klien 1 langsung melakukan *scanning* AP terdekat sehingga secara otomatis dapat terhubung dengan AP 1.

Tabel 4 Pengukuran QoS Jaringan Tanpa MIH

| Pengujian ke- | Delay (ms) | Jitter (ms) | Throughput (kbps) |
|---------------|------------|-------------|-------------------|
| 1 | 25.5 | 22.51 | 61.67 |
| 2 | 25.63 | 21.09 | 62.75 |
| 3 | 25.7 | 21.95 | 69.91 |
| 4 | 25.98 | 23.18 | 59.62 |
| 5 | 28.01 | 28.75 | 60.34 |
| 6 | 28.5 | 30.44 | 58.97 |
| 7 | 25.91 | 24.44 | 68.89 |
| 8 | 26.07 | 22.34 | 71.19 |
| 9 | 27.32 | 28.52 | 65.16 |
| 10 | 27.61 | 25.39 | 67.38 |

Nilai *jitter* hasil pengujian pada jaringan tanpa MIH lebih besar dibandingkan dengan jaringan yang menggunakan MIH. Meningkatnya nilai *jitter* dipengaruhi adanya *delay* proses perpindahan yang dilakukan saat komunikasi. Hal ini terlihat saat komunikasi sedang berlangsung nilai *jitter* mengalami peningkatan. Nilai *jitter* juga dipengaruhi besarnya paket data yang dikirim.

Throughput pada jaringan tanpa MIH nilainya lebih besar dan hampir dua kali lipat daripada besarnya *throughput* pada jaringan yang menggunakan standar IEEE 802.21MIH. Semakin banyak paket yang dikirim menyebabkan nilai *throughput* yang dihasilkan semakin besar. Meningkatnya nilai *throughput* juga disebabkan karena semakin banyak *bandwidth* yang digunakan saat komunikasi berlangsung. Terbukti dengan standar IEEE 802.21MIH, saat terjadi perpindahan nilai *throughput* yang didapatkan lebih kecil. Hal ini dapat disimpulkan metode dengan menggunakan standar IEEE 802.21MIH dapat

mengoptimasi jaringan sehingga kualitas layanan (QoS) menjadi lebih baik.

3.3 Analisis Kinerja Handover VOIP pada Jaringan WLAN berdasarkan standar IEEE 802.21MIH

Untuk melihat efektivitas *soft handover* pada komunikasi VOIP di jaringan WLAN menggunakan standar IEEE.802.21MIH, maka dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *softhandover* yang lain, yaitu *Mobile Ipv6* (MIPv6) dan *FastMobile IPv6* (FMIPv6).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fikri Ahmad Setiawan F.A tentang Analisa Perbandingan Kualitas VOIP menggunakan CODEC G711 dan GSM dengan Menggunakan Metode *FastHandover* pada *Mobile IPv6* (FMIPv6), didapatkan *delayhandover* berkisar 26.738 ms. Penelitian tentang Implementasi Metode *FastHandoverMobile IPv6* (FMIPv6) pada Jaringan *Mobile IPv6* untuk Mendukung Layanan VOIP yang dilakukan H. Purwantoro didapatkan hasil bahwa *delayhandover* pada MIPv6 berkisar 1,9 detik - 2,5 detik sedangkan *delayhandover* pada FMIPv6 berkisar 90,6 ms – 147,1 ms.

Jika data hasil pengujian pada penelitian-penelitian diatas dibandingkan dengan hasil pengujian yang telah dilakukan menggunakan standar IEEE.802.21MIH, maka akan terlihat bahwa *handover* VOIP menggunakan MIH nilai *delay* nya lebih kecil daripada metode MiIPv6 dan FMIPv6. Hal ini disebabkan karena proses *routing* data dengan *Mobile IP* berbeda dengan ketika menggunakan MIH. Pada jaringan *Mobile IP* ketika ada paket data yang dikirim dari klien 2 ke klien 1 saat klien 1 berpindah dari *coverage area* AP 2 ke AP 1, maka paket data VOIP akan dikirimkan ke *home network* (jaringan awal yaitu AP 2) selanjutnya baru dikirimkan ke *foreign network* (jaringan dimana klien 1 berada yaitu AP 1) sehingga *delay* prosesnya akan lebih lama.

Sedangkan pada jaringan dengan menggunakan MIH (standar IEEE 802.21MIH), semua paket data yang dikirimkan dari klien 2 ke klien 1 saat klien 1 sudah berpindah *coverage area* akan langsung dikirimkan ke jaringan tujuan (AP 1) tanpa harus dikirimkan terlebih dahulu ke jaringan asal (AP 2). Sehingga dapat disimpulkan bahwa *softhandover* menggunakan standar IEEE 802.21MIH lebih efektif dibandingkan menggunakan metode pada jaringan MIPv6 dan FMIPv6, karena jaringan dengan MIH lebih cepat proses *handover*nya (elay lebih kecil) dibandingkan *handover* pada jaringan MIPv6 dan FMIPv6. Meski demikian sejalan perkembangan teknologi, penggunaan IP yang terbatas menyebabkan jaringan harus migrasi ke *Mobile IP*.

4 Kesimpulan

Dari analisa data hasil pengujian yang dijelaskan pada Bab IV, dapat disimpulkan:

- a. Dengan melakukan implementasi Standar IEEE 802.21 MIH, *Soft Handover* pada sistem WLAN (WiFi) bisa tercapai.
- b. Besarnya *delay* rata-rata ketika terjadi *handover* adalah 17,759 ms. Hal ini masih memenuhi standar ITU untuk komunikasi VOIP yaitu sebesar 150 ms (komunikasi satu arah).
- c. Rata-rata nilai *jitter* (variasi *delay*) yang didapat sebesar 5,971 ms. Berdasarkan standar *jitter* yang telah dikeluarkan oleh ITU, kanal VOIP yang telah dibangun kualitasnya BAGUS.
- d. Nilai *throughput* yang dihasilkan berbeda-beda, rata-rata sebesar 31.55 kbps tergantung jumlah data yang dikirim dari setiap pengujian. Semakin banyak paket yang dikirim, nilai *throughput* yang dihasilkan akan semakin besar.
- e. Penggunaan standar IEEE 802.21MIH pada jaringan WLAN dapat mengoptimasi kualitas layanan (QoS) VOIP.
- f. *Delay* proses *handover* pada jaringan yang mengimplementasikan standar IEEE 802.21MIH lebih kecil

dibandingkan *delayhandover* pada jaringan MIPv6 dan FMIPv6.

DAFTAR PUSTAKA

- Lakas, A., Boulmalf, M., "Study of Effect of Mobility Handover on VOIP over WLAN", *Innovations in Information Technology-IEEE*, 2006.
- Putra, Andika., "Interkoneksi Protokol SIP (Session Initiation Protocol) Dengan Protokol H.323 Pada Komunikasi VoIP (Voice Over Internet Protokol)", in *Tugas Akhir Teknik Telekomunikasi-PCR*, 2007.
- Syah, H. H., Setiawan, H., Firdaus, "Rancang Bangun Sistem Telekomunikasi VOIP (Voice Over Internet Protocol)", *Jurnal academia.edu*.
- Kashihara, S., Niswar, M., Taenaka, Y., Tsukamoto, K., Yamaguchi, S., Oie, Y., "End-to-End Handover Management for VOIP Communications in Ubiquitous Wireless Network", in *INTECH*, 2011.
- Ohleger, J. M. (2012-09): *Media Independent Handover for Wireless Full Motion Video Dissemination*, Monterey, California, Naval Postgraduate School.
- Oktaviani Zein (2013): *Analisis Handover VOIP pada Sistem Embedded Wireless*, Tugas Akhir Teknik Telekomunikasi-PCR.
- Twinkle - SIP Softphone for Linux. Available at <http://www.twinklephone.com/>.
- ODTONE Software, available at <http://atnog.av.it.pt/odtone/index.html>.