

## **Analisis Performansi Jaringan 4G LTE Frekuensi 1800 Mhz dan 2300 Mhz Terhadap Pengunduhan File Video**

Dandun Widhiantoro<sup>1</sup>, Alifah Khairunisa<sup>2</sup>

Program Studi Broadband Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, , Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424, Depok, 16424, Indonesia

Email : [dandun@elektro.pnj.ac.id](mailto:dandun@elektro.pnj.ac.id)<sup>1</sup>, [alifakhairunisa9@gmail.com](mailto:alifakhairunisa9@gmail.com)<sup>2</sup>

### **Abstrak**

Teknologi seluler yang saat ini sedang berkembang yaitu 4G Long Term Evolution (LTE). 4G LTE bekerja dalam frekuensi yang berbeda-beda, dua diantaranya adalah frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz. Kemunculan 4G LTE ini berdampak pada bertambahnya jumlah user yang menggunakan fasilitas internet. Salah satu aktivitas yang banyak dilakukan yaitu pengunduhan file video. Untuk mendapatkan proses pengunduhan file video yang cepat, dibutuhkan performansi jaringan yang baik. Oleh karena itu, dibutuhkan pengujian performansi 4G LTE frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz terhadap pengunduhan file video. Parameter performansi yang diuji berupa throughput, round trip time (RTT), serta packet loss. Pengujian performansi dilakukan dengan menggunakan perangkat keras modem 4G LTE yang bekerja pada frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz, dan perangkat lunak yang digunakan yaitu Axence netTools. Aspek pengujian dilakukan pada waktu, tempat, serta halaman website yang berbeda. Waktu pengujian performansi yaitu pagi, siang, serta malam hari, dan tempat pengujian yaitu di perumahan Cibinong serta perumahan Beji. Dari hasil pengujian performansi yang telah dilakukan, nilai throughput yang dihasilkan dari jaringan 4G frekuensi 2300 MHz lebih besar dibandingkan 4G frekuensi 1800 MHz. Sedangkan untuk nilai RTT serta packet loss, 4G frekuensi 2300 MHz memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan 4G frekuensi 1800 MHz. Hal tersebut menandakan bahwa performansi 4G frekuensi 2300 Mhz lebih baik dibandingkan 4G frekuensi 1800 MHz. Sejauh ini, menurut indeks performansi yang direkomendasikan oleh TIPHON, performansi dari jaringan 4G frekuensi 2300 MHz dan 1800 MHz masih berada dalam kategori optimal.

**Keywords :** *4G Long Term Evolution, network performance, Software Axence netTools*

### **Abstract**

The currently developing mobile technology is 4G Long Term Evolution (LTE). 4G LTE works in different frequencies, two of all are 1800 MHz and 2300 MHz. The emergence of 4G LTE has an impact on the increasing number of users who use internet facilities. One of the many activities are downloading video files. For fast downloading of video files, good network performance is required. Therefore, performance testing of 4G LTE of 1800 MHz and 2300 MHz frequency is required. Performance parameters that will be tested are throughput, round trip time (RTT), and packet loss. Performance testing is performed using hardware 4G LTE modem that working at 1800 MHz and 2300 MHz frequencies, and using software Axence netTools. The aspects of testing are performed at different times, places, and website pages. The times of performance testing are morning, noon, night, and the place of performance testing in Cibinong and Beji. From the results of performance testing that has been done, the throughput from the 4G network frequency 2300 MHz greater than 4G frequency 1800 MHz. For the value of RTT and packet loss, 4G frequency 2300 MHz has a lower value than 4G frequency 1800 MHz. It indicates that performance of 4G frequency 2300 Mhz better than performance of 4G frequency 1800 MHz. So far, according to the performance index reinforced by TIPHON, the performance of the 4G network 2300 MHz and 1800 MHz frequencies remains in the optimal category.

**Keywords :** *4G Long Term Evolution, Network Performance, Axence netTools Software*

### **I. Pendahuluan**

Menurut Dermawan (2016), teknologi *Long Term Evolution* (LTE) merupakan standar baru teknologi

jaringan bergerak, sebagai perkembangan dari *Global System Communication* (GSM) / *Enhanced Data Rate for GSM Evolution* (EDGE) dan *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) / *High Speed*

*Downlink Packet Access* (HSDPA). Teknologi 4G LTE memiliki kecepatan dalam hal transfer data disisi *downlink* mencapai 100 Mbps, dan disisi *uplink* 50 Mbps. Frekuensi kerja dari 4G LTE yang berkembang di Indonesia, terdiri atas beberapa frekuensi kerja, dua diantaranya yaitu frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz. Suatu hal yang menjadi pembeda antara kedua frekuensi kerja tersebut yaitu metode *duplexing* yang digunakan. Jaringan 4G LTE 1800 MHz menggunakan *Frequency Division Duplex* (FDD), sedangkan jaringan 4G LTE 2300 MHz menggunakan *Time Division Duplex* (TDD). Operator 4G LTE yang bekerja pada frekuensi 1800 MHz yaitu Telkomsel, XL, Indosat Ooredoo, dan Hutchinson 3 Indonesia. Sedangkan operator 4G LTE yang bekerja pada frekuensi 2300 MHz yaitu PT Smartfren Telecom Tbk. Dengan semakin berkembangnya teknologi seluler, maka berbagai macam aktivitas internet saat ini semakin mudah dilakukan oleh para *user*. Salah satu aktivitas tersebut yaitu pengunduhan *file* video. Proses pengunduhan *file* video yang cepat membutuhkan performansi jaringan 4G LTE yang baik. Penggunaan modem 4G LTE dalam penelitian ini memiliki *bandwidth* 150 Mbps, dan dapat bekerja pada frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz. Penelitian ini dilakukan untuk menguji serta menganalisis data nilai *bandwidthdownload* dan *upload* serta data performansi yaitu :

### 1. *Throughput*

*Throughput* adalah kecepatan (*rate*) transfer data efektif yang diukur dalam bps (Altoberi, 2014).

### 2. *Round Trip Time* (RTT)

Menurut Pinem(2014), *round trip time* (RTT) adalah banyaknya waktu yang dibutuhkan oleh suatu paket untuk melakukan perjalanan dari suatu *host* pengirim ke *host* tujuan kemudian kembali lagi ke pengirimnya. Menurut versi TIPHON, nilai RTT dapat diklasifikasikan seperti pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1. Standar Nilai Round Trip Time**

Kategori	Nilai RTT
Sangat Baik	< 150 ms
Baik	150ms s/d 300 ms
Jelek	300ms s/d 450 ms
Sangat Jelek	> 450 ms

(Sumber : TIPHON TR 101.329 V2.1.1,1999-2006)

### 3. *Packet Loss*

Menurut Altoberi (2014), *packet loss* merupakan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang. Salah satu penyebab *packet loss* adalah antrian yang melebihi kapasitas *buffer* pada setiap *node*. Secara umum, terdapat empat kategori penilaian performansi jaringan berdasarkan nilai *packet loss* sesuai dengan versi TIPHON yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2. Standar Packet Loss**

Kategori	<i>Packet Loss</i> (%)
Sangat Bagus	0
Bagus	3
Cukup	15
Kurang	25

(Sumber : TIPHON TR 101.329 V2.1.1,1999-2006)

## 2. Metode Penelitian

Pengambilan data *speedtest* dilakukan dengan menggunakan aplikasi Browser, Speedtest, and Downloader (BSD) yang telah dirancang untuk memperoleh nilai *bandwidth download* dan *upload*. Pengambilan data performansi dilakukan dengan melakukan pengunduhan *file* video yang berasal dari alamat *website* yang berbeda menggunakan *fitur browser* pada aplikasi BSD. Selama proses pengunduhan *file* video, alamat *website* tersebut dilakukan pengujian parameter performansi. Parameter performansi yang dicatat dalam pengujian ini dilihat dari sisi *throughput*, *round trip time* (RTT), serta *packet loss*. Ketiga nilai parameter performansi tersebut dapat diamati dengan bantuan *software monitoring network* Axence netTools yang terdapat disisi *user*. Pada penelitian ini, pengamatan dan analisis dilakukan dalam beberapa skenario, yaitu :

Analisis *bandwidth download* serta *upload* dengan waktu pengujian di pagi, siang, serta malam hari yang dilakukan di perumahan wilayah Cibinong dan Beji.

Analisis *throughput*, *round trip time* (RTT), serta *packet loss* terhadap pengunduhan *file* video dengan waktu pengujian di pagi, siang, serta malam hari yang dilakukan di perumahan wilayah Cibinong dan Beji. Alamat *website* pengunduhan *file* video menggunakan dua alamat *website* dengan *server* yang berada pada beda wilayah.

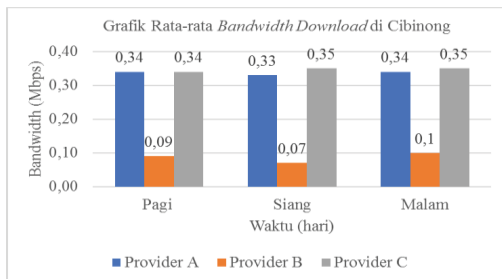
## 3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian yang berupa nilai *bandwidth download* serta *upload*, dan performansi jaringan yang terdiri dari *throughput*, *round trip time*, serta *packet loss*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat modem 4G LTE yang bekerja pada frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz. Untuk 4G frekuensi 1800 MHz, pengujian menggunakan dua *provider* yang berbeda yaitu Provider A dan B. Sedangkan untuk 4G frekuensi 2300 MHz, pengujian hanya menggunakan satu buah *provider* yaitu *provider* C. Pengujian dilakukan sebanyak tujuh kali untuk setiap tempat pengujian.

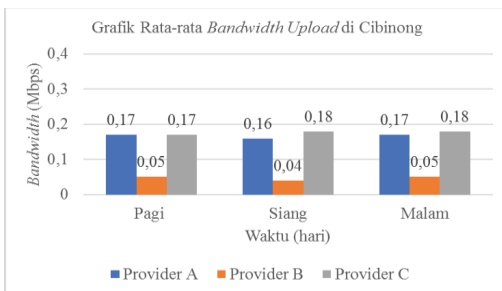
### 3.1. Analisis *Speedtest*

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada saat pengujian *speedtest* di Cibinong dari seluruh waktu pengujian, hasil *bandwidth download* terbesar dari jaringan 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,34 Mbps. Sedangkan untuk jaringan 4G frekuensi 2300 MHz yaitu sebesar 0,35 Mbps.

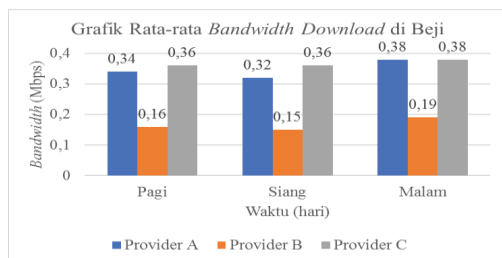
Meninjau pada Gambar 2, hasil *bandwidth upload* terbesar dari jaringan 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,17 Mbps. Sedangkan untuk jaringan 4G 2300 MHz yaitu sebesar 0,18 Mbps.



Gambar 1. Grafik Rata-rata Bandwidth Download di Cibinong



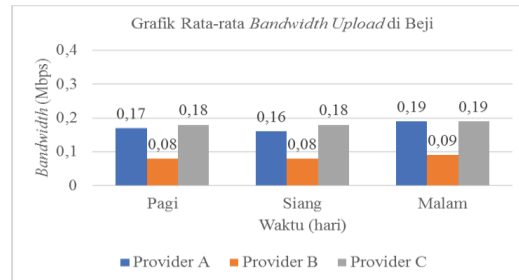
Gambar 2. Grafik Rata-rata Bandwidth Upload di Cibinong



Gambar 3. Grafik Rata-rata Bandwidth Download di Beji

Pada Gambar 3, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *bandwidth download* terbesar 4G frekuensi 1800

MHz yaitu sebesar 0,38 Mbps. Pada saat pengujian 4G frekuensi 2300 MHz, nilai *bandwidth download* terbesar pun sama yaitu sebesar 0,38 Mbps.

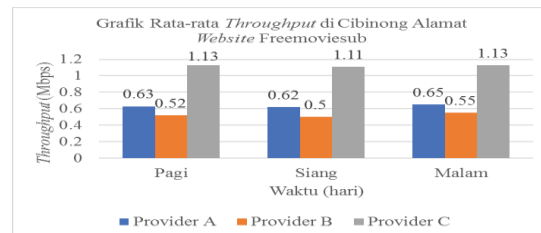


Gambar 4. Grafik Rata-rata Bandwidth Upload di Beji

Pada Gambar 4, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *bandwidth download* terbesar 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,19 Mbps. Pada saat pengujian 4G frekuensi 2300 MHz, nilai *bandwidth download* terbesar pun sama yaitu sebesar 0,19 Mbps.

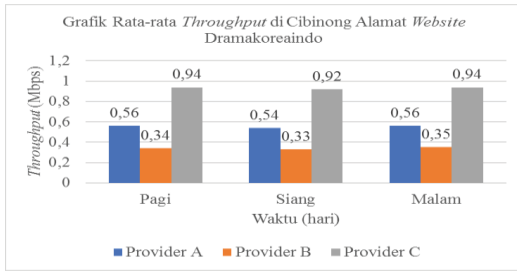
Dari hasil pengujian *speedtest bandwidth download* beserta *upload* yang telah dilakukan, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *speedtest* yang diperoleh dari jaringan 4G LTE frekuensi 2300 MHz lebih besar dibandingkan jaringan 4G LTE frekuensi 1800 MHz. Perbandingan untuk nilai *bandwidth download* beserta *upload* yaitu nilai yang dihasilkan oleh jaringan 4G LTE frekuensi 2300 MHz lebih besar 26,32 % dibandingkan jaringan 4G LTE frekuensi 1800 MHz.

### 3.2. Analisis Throughput



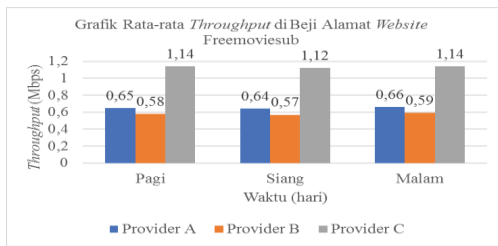
Gambar 5. Grafik Rata-Rata Throughput di Cibinong Alamat Website Freemoviesub

Meninjau pada Gambar 5, hasil *throughput* terbesar dari jaringan 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,65 Mbps. Sedangkan untuk jaringan 4G 2300 MHz yaitu sebesar 1,13 Mbps.



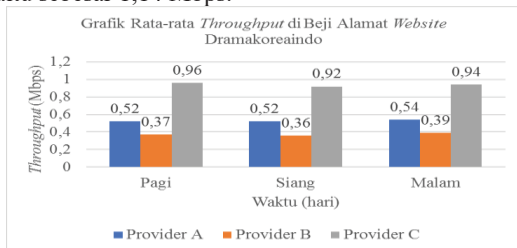
Gambar 6. Grafik Rata-Rata Throughput di Cibinong Alamat Website Dramakoreaindo

Dari Gambar 6 di atas, hasil *throughput* terbesar dari jaringan 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,56 Mbps. Sedangkan untuk jaringan 4G 2300 MHz yaitu sebesar 0,94 Mbps.



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Throughput di Beji Alamat Website Freemoviesub

Pada Gambar 7, hasil *throughput* terbesar dari jaringan 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,66 Mbps. Sedangkan untuk jaringan 4G frekuensi 2300 MHz yaitu sebesar 1,14 Mbps.



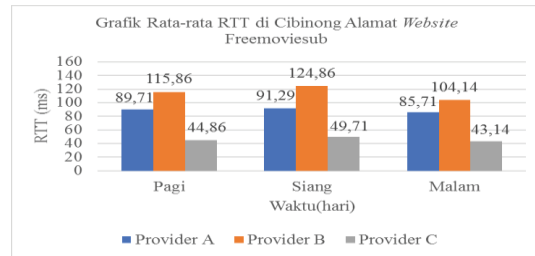
Gambar 8. Grafik Rata-Rata Throughput di Beji Alamat Website Dramakoreaindo

Ditinjau dari Gambar 8, hasil *throughput* terbesar dari jaringan 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,54 Mbps. Sedangkan untuk jaringan 4G frekuensi 2300 MHz yaitu sebesar 0,96 Mbps.

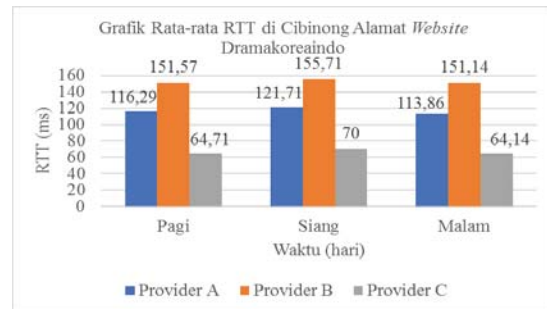
Perbandingan nilai *throughput* yang dihasilkan oleh jaringan 4G LTE frekuensi 2300 MHz adalah lebih besar 44,74% dibandingkan dengan 4G LTE frekuensi 1800 MHz.

1. Analisis Round Trip Time (RTT)

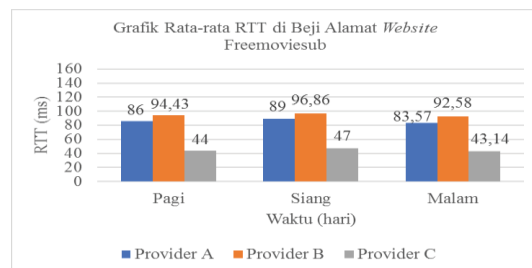
Berdasarkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12, nilai *round trip time* terkecil dari 4G frekuensi 1800 MHz ditinjau dari seluruh aspek pengujian, baik waktu, tempat, serta alamat *website* yaitu sebesar 83,57 ms. Sedangkan untuk 4G frekuensi 2300 MHz, nilai *round trip time* terkecil yaitu sebesar 43,14 ms. Nilai RTT berbanding lurus dengan nilai *throughput* yang diperoleh. Semakin besar nilai *throughput*, maka idealnya nilai RTT yang diperoleh semakin kecil. Jaringan akan memiliki performansi yang bagus apabila nilai RTT yang dihasilkan kecil.



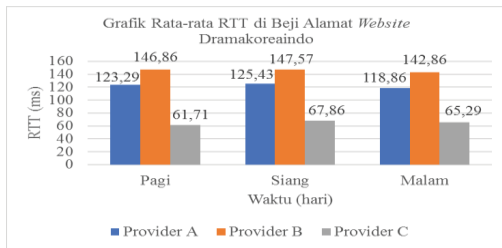
Gambar 9. Grafik Rata-rata RTT di Cibinong Alamat Website Freemoviesub



Gambar 10. Grafik Rata-rata RTT di Cibinong Alamat Website Dramakoreaindo



Gambar 11. Grafik Rata-rata RTT di Beji Alamat Website Freemoviesub

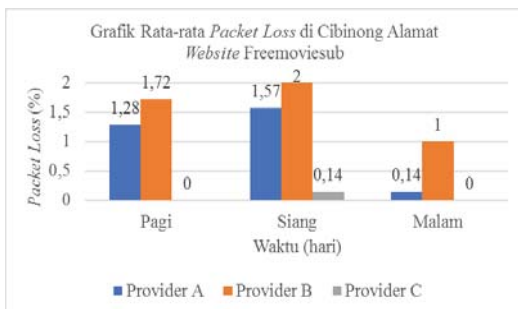


Gambar 12. Grafik Rata-rata RTT di Beji Alamat Website Dramakoreaindo

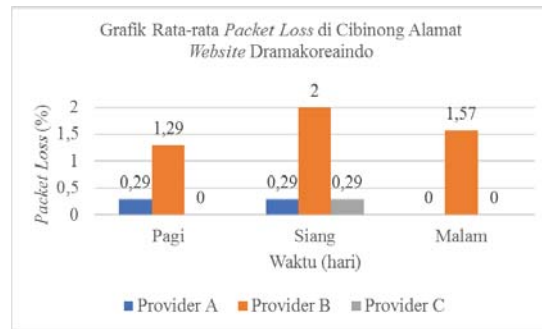
Dari hasil pengujian, nilai RTT yang dihasilkan dari jaringan 4G frekuensi 2300 MHz lebih rendah dibandingkan 4G frekuensi 1800 MHz. Perbandingan nilai RTT tersebut yaitu 51,03%. Nilai RTT yang diperoleh dari alamat website [www.freemoviesub.com](http://www.freemoviesub.com) lebih rendah dibandingkan alamat website [www.dramakoreaindo.com](http://www.dramakoreaindo.com). Hal tersebut karena server Freemoviesub letaknya berada di Indonesia sedangkan server Dramakoreaindo berada di United States. Sehingga, besar kecilnya nilai RTT bukan hanya dipengaruhi oleh besarnya throughput, tetapi juga dipengaruhi oleh jarak server.

2. Analisis Packet Loss

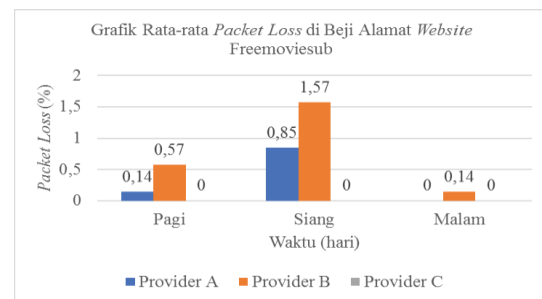
Berdasarkan Gambar 13 sampai dengan Gambar 16, hasil packet loss terendah dimiliki oleh provider C. Sedangkan nilai packet loss tertinggi yaitu dimiliki oleh provider B. Dari seluruh aspek pengujian, nilai packet loss terendah untuk 4G frekuensi 1800 MHz yaitu sebesar 0,14%. Sedangkan nilai packet loss terendah untuk 4G frekuensi 2300 MHz yaitu sebesar 0%.



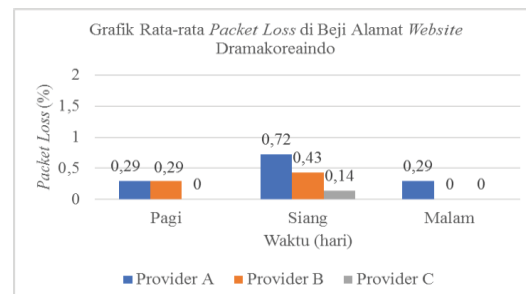
Gambar 13. Grafik Rata-rata Packet Loss di Cibionng Alamat Website Freemoviesub



Gambar 14. Grafik Rata-rata Packet Loss di Cibionng Alamat Website Dramakoreaindo



Gambar 15. Grafik Rata-rata Packet Loss di Beji Alamat Website Freemoviesub



Gambar 16. Grafik Rata-rata Packet Loss di Beji Alamat Website Dramakoreaindo

Packet loss merupakan kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang. Nilai packet loss dipengaruhi oleh besarnya nilai RTT yang dihasilkan. Semakin besar nilai RTT yang dihasilkan, maka nilai packet loss akan semakin tinggi. Packet loss dinyatakan dalam bentuk persentase. Penyebab packet loss adalah adanya antrian yang melebihi kapasitas buffer pada setiap node. Sama halnya dengan RTT, packet loss pun berbanding lurus dengan trafik data. Apabila trafik data tinggi, maka RTT akan semakin besar dan hal tersebut juga berdampak kepada nilai packet loss yang dihasilkan.

#### 4. Kesimpulan

1. Hasil pengujian *speedtest* pada jaringan 4G frekuensi 1800 MHz diperoleh bahwa nilai *bandwidth download* yaitu 0,38 Mbps, dan nilai *bandwidth upload* yaitu 0,19 Mbps.
2. Hasil pengujian *speedtest* diperoleh bahwa nilai *bandwidth download* yaitu 0,38 Mbps dan nilai *bandwidth upload* yaitu 0,19 Mbps.
3. Hasil pengujian performansi jaringan 4G LTE frekuensi 1800 MHz, nilai *throughput* yaitu 0,63 Mbps. Apabila ditinjau dari parameter yang berupa *round trip time*, nilai RTT yaitu 83,57 ms, dan nilai *packet loss* yaitu 0,14%.
4. Hasil pengujian performansi jaringan 4G LTE frekuensi 2300, nilai *throughput* yaitu 1,14 Mbps. Apabila ditinjau dari parameter yang berupa *round trip time*, nilai RTT yaitu 43,14 ms, dan nilai *packet loss* yaitu 0%.
5. Hasil pengujian *speedtest* antara jaringan 4G frekuensi 1800 MHz dengan 4G frekuensi 2300 MHz ditinjau dari *bandwidth download* dan *upload* adalah nilai yang didapatkan lebih besar pada saat penggunaan jaringan 4G frekuensi 2300 MHz. Besarnya perbandingan untuk nilai *bandwidth download* serta *upload* yaitu 26,32%. Hasil pengujian performansi antara jaringan 4G frekuensi 1800 MHz dengan 4G frekuensi 2300 MHz adalah hasil yang didapatkan bahwa jaringan 4G frekuensi 2300 MHz memiliki performansi yang lebih baik. Perbandingan nilai *throughput* yaitu 44,74%, perbandingan nilai RTT yaitu 51,03%, dan untuk perbandingan nilai *packet loss* yaitu 100%.

#### Daftar Acuan

- [1] Adam, Labeeb M.A. 2016. *CO-Existence And Interference Investigation Between LTE-TDD And LTE-FDD Under The Frequency Band Between 2500 To 2690 MHz For Malaysia*. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia. [http://eprints.uthm.edu.my/8771/1/Labeeb Mohamed Ahmed Adam.pdf](http://eprints.uthm.edu.my/8771/1/Labeeb%20Mohamed%20Ahmed%20Adam.pdf) [01 Juli 2017]
- [2] Altoberi, R., Mutiara Giva A., dan Rizal M. Fahru. 2014. *Implementasi IMS (IP Multimedia Subsystem) Menggunakan Protokol SIP (Session Initiation Protocol) Pada Jaringan Fakultas Ilmu Terapan*. Telkom University. <http://journals.telkomuniversity.ac.id/jti/article/download/708/553> [15 Mei 2017]
- [3] Ananda, Eva R. 2014. *Pembangunan Sistem Informasi Desa Binaan Universitas Atma Jaya Yogyakarta Berbasis Web*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. <http://ejournal.uajy.ac.id/6342/4/TF306225.pdf> [01 Mei 2017]
- [4] Bobanto, William S., Lumenta, Arie S.M., dan Najoan X. 2014. *Analisis Kualitas Layanan Jaringan Internet (Studi Kasus PT. Kawanua Internetindo Manado)*. UNSRAT. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/6782/6306> [01 Mei 2017]
- [5] Dermawan, Indra. 2016. *Perancangan dan Realisasi Dualband Bandpass Filter Jaringan 4G LTE Frekuensi Uplink dan Downlink 1800 MHz dan 2600 MHz dengan Metode Square Open Loop Resonator*. Universitas Mercu Buana. <http://repository.mercubuana.ac.id/3018/> [04 April 2017].
- [6] ETSI. 2006. *Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) General Aspects of Quality of Service*. <http://www.etsi.org> [10 April 2017]
- [7] Fatoni., Putra, Y. Grata., dan Rizal, Syahril. 2012. *Analisis Kualitas Jaringan VSAT Pusat Layanan Internet Kecamatan Kabupaten Lahat*. Universitas Bina Darma. <http://eprints.binadarma.ac.id/138/1/jurnal%20Yevi%20Grata%20Putra%20Syahril%20Rizal%20Fatoni.pdf> [05 Mei 2017]
- [8] Fuada, Syifaul. 2015. *Perancangan Broadband RF Power Amplifier 2,3 GHz pada 4G LTE Time Division Duplex*. Yogyakarta : Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Elektronik Vol.4 No.3. Universitas Gadjah Mada. <http://ejnteti.jteti.ugm.ac.id/index.php/JNTE/article/view/161/150> [08 Mei 2017]
- [9] Ikrammullah., Irwansyah., dan Purwanto, T. Dali. 2015. *Analisis Kualitas Jaringan Komputer Politeknik Darussalam*. Palembang : Jurnal Informatika. Universitas Bina Darma Palembang. <http://digilib.binadarma.ac.id/files/disk1/139/123-123-febriansya-6913-1-jurnal-f-h.pdf> [03 Juni 2017]
- [10] Indra, ER Ngurah., Wijaya, IGB Alit P., dan Wirastuti, NMAE Dewi. 2015. *Prediksi Penggunaan Teknologi LTE (Long Term Evolution) di Kota Denpasar*. Universitas Udayana. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/19545/12955> [04 April 2017]
- [11] Imbar, R. Victor., dan Septiano Kevin. 2013. *Sistem HRD Perekrutan, Penggajian, dan Penjadwalan Menggunakan Algoritma Genetika pada Hotel Nirwana*. Bandung : Jurnal Informatika Vol.9 No.1 Universitas Kristen Maranatha. <http://jutisi.maranatha.edu/index.php/jui/article/view/42/40> [08 Mei 2017]
- [12] Marleni, Indah. 2015. *Aplikasi Pengolahan Data Pensiun Pegawai Negeri Sipil (PNS) dan Militer TNI-AD pada Zidam II/SWJ Palembang*. Politeknik Negeri Sriwijaya. <http://eprints.polsri.ac.id/2197/3/BAB%20II%20TINJAUAN%20PUSTAKA.pdf> [06 Juni 2017]

- [13] Pinem, M., dan Susandi, Herman. 2014. *Analisis Kualitas Layanan Data pada Jaringan Telekomunikasi Berbasis CDMA EVDO Rev-A*. Medan : SINGUDA Ensikom Vol.6 No.2. Universitas Sumatra Utara. [https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda\\_ensikom/article/download/5086/2936](https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda_ensikom/article/download/5086/2936) [06 Mei 2017]
- [14] Pinem, M., dan Lubis, R. Saleh. 2014. *Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Internet di SMK Telkom Medan*. Medan : SINGUDA Ensikom Vol.7 No.3. Universitas Sumatra Utara. [https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda\\_ensikom/article/view/6328/296](https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda_ensikom/article/view/6328/296) [05 Juni 2017]
- [15] Rudyanto, Yusup. 2012. *Lapisan Fisik Pada Teknologi Long Term Evolution (LTE) di PT Telkom R&D Center Bandung*. Universitas Diponegoro. <http://www.elektro.undip.ac.id> [10 Mei 2017]
- [16] Siahaan, Aron O. 2016. *Perancangan dan Implementasi VPN untuk Akses Server Jarak Jauh pada Kantor MPC (Mail Processing Centre) PT. POS Indonesia*. Institut Bisnis dan Informatika STIKOM Surabaya. [http://sir.stikom.edu/1980/5/BAB\\_III.pdf](http://sir.stikom.edu/1980/5/BAB_III.pdf) [ 01 Juni 2017]