

Analisis Perbandingan Quality of Service (QoS) Firmware Original TL-WR 840N Dengan Firmware Openwrt Berbasis Open Source di Kos Larissa

Dikky Rizal Alfianto¹, Yudi Sutanto^{2*})

^{1,2}Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas AMIKOM Yogyakarta

Jl. Ringroad Utara, Condongcatur, Depok, Sleman, Yogyakarta 55283 INDONESIA

dikky.0716@students.amikom.ac.id, yudisuta@amikom.ac.id

INTISARI

Access point berfungsi sebagai pusat pengiriman dan penerimaan sinyal pada jaringan nirkabel. Performa access point dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu spesifikasi hardware dan firmware. Firmware bawaan atau firmware bawaan dari TP-LINK TL- WR840N memiliki kekurangan. Salah satu kekurangan untuk mengatasi firmware bawaan adalah dengan mengupgrade firmware bawaan dengan firmware OpenWRT.

Dalam penelitian ini menggunakan parameter Quality of Service (QoS) dan metode perbandingan kuantitatif. Parameter Quality of Service (QoS), yaitu kemampuan suatu jaringan untuk memberikan pelayanan yang baik dengan menyediakan bandwidth, mengatasi jitter dan delay. Parameter Quality of Service (QoS) adalah delay, jitter, packet loss, throughput. Quality of Service (QoS) sangat ditentukan oleh kualitas jaringan yang digunakan.

Hasil pengujian parameter bandwidth, firmware default lebih unggul dari firmware OpenWRT, sedangkan parameter throughput diketahui memiliki throughput yang lebih besar dibandingkan firmware OpenWRT daripada firmware default. Pada parameter delay diketahui bahwa delay yang dimiliki oleh firmware OpenWRT lebih unggul dari firmware bawaan, untuk parameter packet loss diketahui bahwa packet loss yang dimiliki oleh firmware OpenWRT lebih sedikit dibandingkan dengan firmware bawaan. Dan parameter jitter diketahui memiliki jitter default yang lebih sedikit daripada firmware openwrt. Dari hasil penelitian menggunakan metode perbandingan kuantitatif dengan parameter bandwidth, throughput, delay, packet loss, dan jitter menghasilkan kesimpulan bahwa firmware OpenWrt lebih unggul dari firmware bawaan.

Kata kunci — Wireless, QoS, Firmware, Openwrt, Default, TL-WR840ND.

ABSTRACT

Access point functions as a center for transmitting and receiving signals on a wireless network. Access point performance is influenced by several factors, namely hardware and firmware specifications. Default firmware or default firmware from TP-LINK TL- WR840N has disadvantages. One of the shortcomings to overcome the default firmware is to upgrade the default firmware with OpenWRT firmware.

In making this study using the Quality of Service (QoS) parameters and quantitative comparison methods. Quality of Service (QoS) parameters, namely the ability of a network to provide good service by providing bandwidth, overcoming jitter and delay. Quality of Service (QoS) parameters are delay, jitter, packet loss, throughput. Quality of Service (QoS) is largely determined by the quality of the network used.

The results of testing the bandwidth parameters, the default firmware is superior to the OpenWRT firmware, while the throughput parameters are known to have a greater throughput than the OpenWRT firmware than the default firmware. In the delay parameter it is known that the delay that is owned by the OpenWRT firmware is superior to the default firmware, for the packet loss parameter it is known that packet loss that is owned by the OpenWRT firmware is less than the default firmware. And the jitter parameters are known to have fewer default jitter than openwrt firmware. From the results of the study using quantitative comparison methods with parameters of bandwidth, throughput, delay, packet loss, and jitter produce the conclusion that OpenWrt firmware is superior to default firmware.

Kata kunci — Quality of Service, OpenWRT, Firmware, TL-WR840N.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Wireless router yang dikeluarkan oleh *TP-Link* sangat beragam, dari yang memiliki fitur standar sampai yang memiliki fitur yang sangat kompleks. Salah satu versi *wireless router* yang memiliki fitur lengkap yaitu *TP-Link TL-WR840N*, memiliki *firmware* standar bawaan pabrik yang memiliki beberapa fitur, seperti *IP QoS* atau *bandwidth control*, *easy setup*, *parental control* dan kecepatan koneksi hingga *450 Mbps*. Pada saat ini pihak *TP-Link* sendiri telah mengeluarkan sebanyak enam pembaharuan *firmware* untuk seri *TL-WR840N*, dan tentunya dengan adanya pembaharuan *firmware*, maka masalah-masalah yang ada sebelumnya bisa diatasi.

Dengan adanya pembaharuan *firmware* yang dikeluarkan oleh pihak *TP-Link* tentunya masih memiliki kekurangan dan keterbatasan fasilitas yang dapat menghambat *device* berjalan secara maksimal. Untuk itu salah satu cara mengatasi keterbatasan tersebut yaitu dengan cara *upgrade firmware default* menjadi *firmware* yang bersifat *open source* yaitu dengan menggunakan *firmware Openwrt*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah “Bagaimana perbandingan *QoS (Quality of Service)* pada *TP-Link TL-WR840N* antara *default firmware* dan *firmware openwrt* ?”

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari aplikasi ini yaitu meliputi:

1. Untuk mengetahui perbedaan penggunaan *firmware* antara *default firmware* dan *openwrt firmware*.
2. Memaksimalkan kinerja dari *router TL-WR840N* agar dapat memberikan hasil yang memuaskan.
3. Menambah wawasan penulis dalam penggunaan *firmware default* atau *openwrt firmware* agar nantinya dapat memaksimalkan kinerja *router*.

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penulis dalam melakukan penelitian serta menyusun skripsi ini adalah mengetahui perbedaan yang lebih rinci tentang kinerja antara kedua *firmware* tersebut di atas.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu pengguna dapat mengetahui perbedaan antara *default firmware* dan *openwrt firmware*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data studi pustaka.

1. Studi Pustaka
Mencari sumber referensi yang jelas tentang *openwrt* melalui *website* dan forum resmi, serta mempelajari dasar instalasi paket dan konfigurasi *router*.
2. Observasi
Melakukan pengamatan langsung pada *wireless router TL-WR840N* dengan cara mengukur parameter *bandwidth*, *throughput*, *delay*, *packet loss*, dan *jitter*.

2.2 Metode Analisis

Pada tahap ini digunakan untuk menganalisis, mengumpulkan data mempersiapkan kebutuhan alat dengan menggunakan metode *NDCL (Network Development Life Cycle)*.

2.3 Metode Pengembangan

Langkah-langkah yang diambil dalam metode pengembangan *router TL WR840N* adalah:

1. Melakukan *update default firmware* ke versi terbaru.
2. *Upgrade firmware* dari *default firmware* menjadi *openwrt firmware*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

3.1.1 Tinjauan Pustaka

Pearl Pratama Romadhon pada tahun 2014 yang berjudul “Analisis Kinerja Jaringan *Wireless LAN* menggunakan Metode *QoS* Dan *RMA* Pada PT Pertamina EP Ubeq Ramba (PERSERO)”. Dalam penelitiannya menjelaskan bahwa parameter *QoS* sangat berpengaruh terhadap kapasitas *bandwidth*. [1].

Dedi Setiawan, Joko Triyono dan Catur Iswahyudi pada tahun 2017 yang berjudul “Analisis Perbandingan *Quality Of Service (QoS)* *Firmware Default* Dan *Firmware Openwrt* Pada *Access Point TP-Link MR3020*”, dalam penelitiannya Dedi, Joko, dan Iswahyudi menjelaskan bahwa terdapat perbedaan terhadap *access point* yang menggunakan *default firmware* dan *firmware openwrt* hasil pengujian yang meliputi parameter *Quality Of Service (QoS)* yaitu *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* [2].

Menpo Vascodegama Panjaitan, Sukiswo dan Ajub Ajulian Zahra pada tahun 2018 yang berjudul “Analisis *Quality of Service (QoS)* Jaringan 4G Dengan Metode *Drive Test* Pada Kondisi *Outdoor* Menggunakan Aplikasi *G-Nettrack Pro*” dalam penelitiannya Menpo,

Sukiswo, dan Zahra menjelaskan bahwa rata-rata nilai *latency* pada semua hari berada pada kondisi yang sangat bagus yaitu 48,04 *ms*, sedangkan besar rata – rata nilai *jitter* pada semua hari berada pada kondisi yang normal yaitu 46,64 *ms*. Hal ini dapat disebabkan kepadatan trafik yang tinggi karena standar deviasi masing-masing memiliki rentang yang kecil sehingga memiliki variasi data yang rendah [3].

3.1.2 Dasar Teori

3.1.2.1 Firmware openwrt

Menurut Russel (2012:13), *Openwrt* adalah sebuah proyek *opensource* untuk menciptakan sebuah sistem operasi gratis yang bisa di *install (embedded)* pada perangkat radio *wireless*. Karena dibuat dengan menggunakan kernel *Linux* maka *Openwrt* bisa disebut sebagai salah satu distro *Linux* untuk perangkat *embedded (embedded devices)*. [4]

3.1.2.2 TP Link TL-WR840N

TP Link TL-WR840N merupakan sebuah *device* yang dikeluarkan oleh pihak *TP-Link*, yang mana *device* ini memiliki fitur yang cukup lengkap dan memiliki fitur *easy setup* sehingga pengguna *device* ini dapat melakukan konfigurasi dengan mudah. *TL-WR840N* dilengkapi dengan 2 antena *5dBi*, yang dapat meningkatkan sinyal pada perangkat ini. *TL-WR840N* kompatibel dengan *IEEE 802.11b/g/n* dan menyediakan solusi kecepatan tinggi, *TL-WR840N* dapat memberikan kecepatan hingga 300 *Mbps*.

3.1.2.3 Firmware Default TL-WR-840N

Firmware yang terdapat pada pada *TL-WR840N* adalah merupakan sebuah *firmware* yang dikeluarkan oleh pihak *TP-LINK* untuk mengoperasikan sebuah *wireless router* yang dijual bebas pada pasar dan dengan fitur yang menyesuaikan dari spesifikasi yang dibuat. Pada umumnya *firmware* pabrikan tidak dapat untuk melakukan penambahan paket-paket yang diperlukan oleh *user* untuk mengoptimalkan *wireless router* dengan *default firmware* sehingga memerlukan konfigurasi ulang menggunakan *custom firmware*.

3.1.2.4 Quality of Service (QoS)

3.1.2.4.1 Bandwidth

Bandwidth adalah banyaknya ukuran suatu data atau informasi yang dapat mengalir dari suatu tempat ke tempat lain dalam sebuah network diwaktu tertentu. *Bandwidth* dapat dipakai untuk mengukur baik aliran data analog maupun data *digital*. Sekarang sudah menjadi

umum jika kata *bandwidth* lebih banyak dipakai untuk mengukur aliran data *digital*. [5]

Satuan yang dipakai untuk *bandwidth* adalah *Bits PerSecond* data sering disingkat *Bps*. Seperti diketahui bahwa *bit* atau *binary digital* adalah basis angka yang terdiri dari 0 dan 1. Satuan ini menggambarkan berapa banyak *bit* (angka 0 dan 1) yang dapat mengalir dari satu tempat ketempat yang lainnya dalam setiap detiknya melalui suatu media. [5]

3.1.2.4.2 Throughput

Yaitu kecepatan (*rate*) *transfer* data yang efektif yang diukur dalam *Bps*. *Throughput* merupakan jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada tujuan selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut. [5]

3.1.2.4.3 Delay

Adalah waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ketujuan. Delay dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kongesti atau juga waktu proses yang lama. [5]

3.1.2.4.4 Packet Loss

Packet Loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang, dapat terjadi karena *collision* dan *congestion* pada jaringan dan hal ini berpengaruh pada semua aplikasi karena retransmisi akan mengurangi efisiensi jaringan secara keseluruhan meskipun jumlah *bandwidth* cukup tersedia untuk aplikasi-aplikasi tersebut. Jika terjadi kongesti yang cukup lama, *buffer* akan penuh, dan data baru tidak akan diterima. [5]

3.1.2.4.5 Jitter

Hal ini diakibatkan oleh variasi-variasi dalam panjang antrian, dalam waktu pengolahan data, dan juga dalam waktu penghimpunan ulang paket-paket diakhir perjalanan *jitter*. *Jitter* lazimnya disebut variasi *delay*, berhubungan erat dengan *latency*, yang menunjukkan banyaknya variasi *delay* pada transmisi data di jaringan. *Delay* antrian pada *wireless router* dapat menyebabkan *jitter*. [5]

3.2 Analisis Kebutuhan

3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras

TABEL I.

KEBUTUHAN PERANGKAT KERAS		
No.	Perangkat Keras	Keterangan
1	Wireless Router (TP Link)	TL-WR940N
2	ISP (Indihome)	20 Mbps
3	Kabel UTP	

3.2.2 Analisis Perangkat Lunak

Wireless router TL-WR940N memiliki perangkat lunak (*software*) atau *firmware* bawaan (*default firmware*) yang dapat di perbaharui melalui *website* resmi TP-LINK yaitu www.tp-link.com dan disini peneliti melakukan proses *update firmware* ke *firmware* terbaru yaitu *TL-WR840N(EU)_V6_180119* yang nantinya akan dibandingkan dengan *custom firmware* yaitu *openwrt V6* yang bersifat *open source* atau *freeware* yang dapat didapatkan langsung dari *website* resmi *openwrt* yaitu www.openwrt.org.

3.2.3 Analisis Kebutuhan Sistem

Peneliti menggunakan 2 perangkat keras dalam penelitian, 1 buah *personal computer* sebagai alat untuk melakukan konfigurasi dan instalasi *firmware* pada *router* dan 1 buah laptop untuk melakukan analisis *parameter quality of service*.

3.2.3.1 Spesifikasi Perangkat Keras Untuk Konfigurasi

TABEL II.

SPESIFIKASI PERANGKAT KERAS UNTUK KONFIGURASI

No.	Perangkat Keras	Keterangan
1	Processor	AMD FX 6300
2	Memory	8 GB
3	Harddisk	1 TB HDD
	VGA	AMD Radeon HD 8330
4	Operating System	Windows 10 Pro

3.2.3.2 Spesifikasi Perangkat Keras Untuk Analisis

TABEL III.

SPESIFIKASI PERANGKAT UNTUK ANALISIS

No.	Perangkat Keras	Keterangan
1	Processor	AMD A4-500
2	Memory	2 GB
3	Harddisk	500 GB HDD
	VGA	AMD Radeon R7 200 Series
	Operating System	Windows 10 Pro

3.2.3.3 Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk melakukan instalasi *firmware* dan analisis *parameter quality of service* adalah sebagai berikut:

TABEL IV.

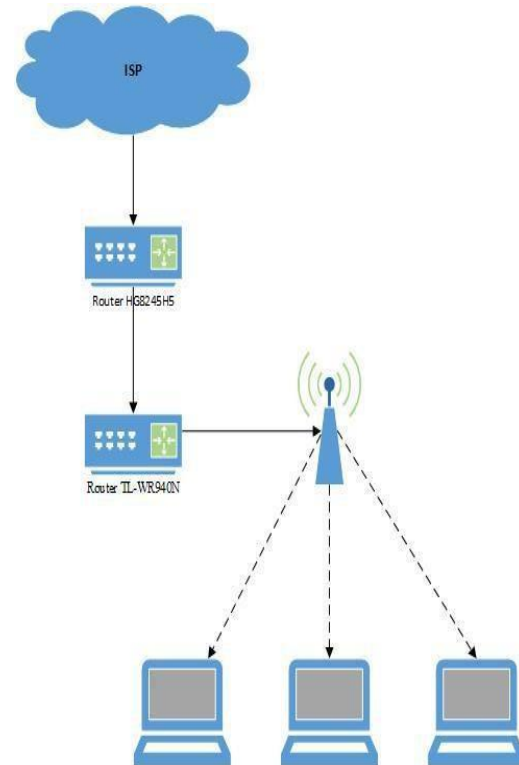
PERANGKAT LUNAK

No.	Perangkat Lunak	Keterangan
1	Firefox	Web browser
2	Wireshark	Analisis parameter Qos
3	Winscp	Instalasi firmware
4	Putty	Instalasi firmware

3.3 Pengumpulan Data

Pada bagian pengumpulan data, dilakukan dengan mengumpulkan hasil perbandingan dari dua buah *firmware* yang berbeda yaitu *default firmware* dan *custom firmware openwrt* setelah itu dilakukan analisis perbandingan menggunakan *parameter QoS (Quality of Service)* yang nantinya akan menghasilkan kesimpulan dari perbedaan dua buah *firmware* tersebut.

3.4 Topologi dan Skenario Pengujian

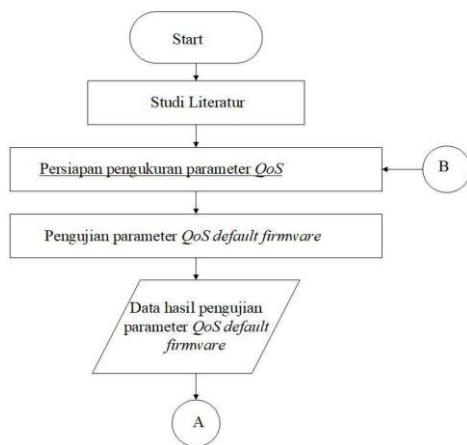


Gambar 1. Topologi Jaringan

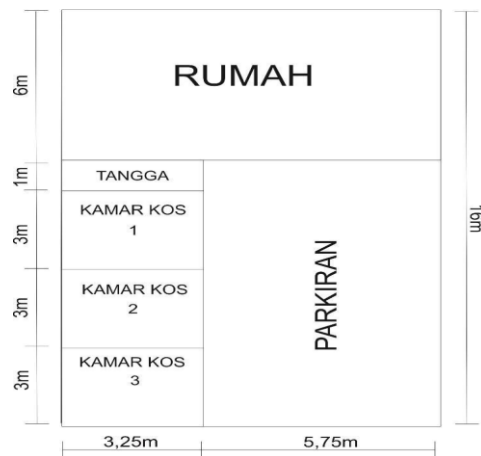
Skenario pengujian ini adalah *internet* pertama kali masuk ke *router huawei hg8245h5* (*router* bawaan dari *Internet Service Provider*), yang disini peneliti menggunakan *ISP* dari *Telkom Indihome* berkapasitas *bandwidth 20 Mbps*. Setelah itu *wifi* yang di *router huawei hg8245h5* *disable* hanya digunakan sebagai jalur *internet*, setelah itu di sambungkan ke *router TL-WR840N* di *router* ini *wifi* dipancarkan dan sebagai objek penelitian.

3.5 Proses Pengerjaan

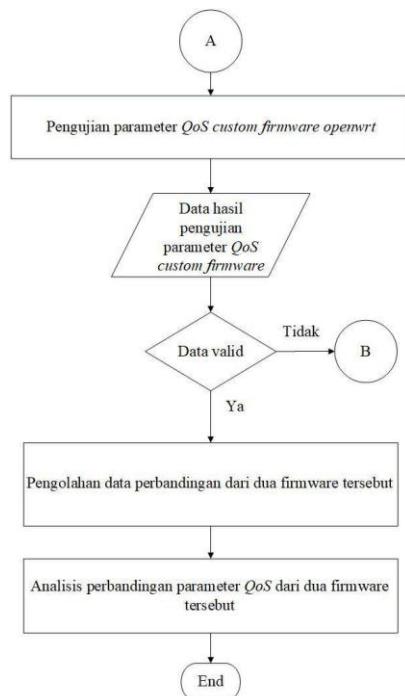
Proses pengerjaan dilakukan dengan mengimplementasikan sistem dengan bantuan data yang telah diperoleh pada tahap analisis. Berikut adalah diagram alur pengerjaan yang dilakukan penulis dalam proses penelitian ini.



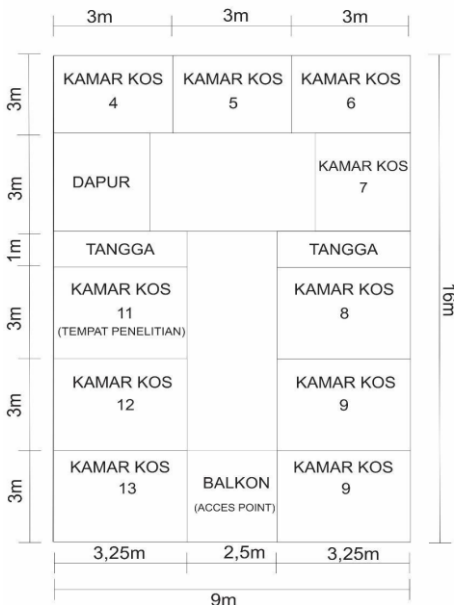
Gambar 2. Flowchart Penelitian



Gambar 4. Denah Tempat Penelitian Lantai 1



Gambar 3. Flowchart Penelitian Lanjutan



Gambar 5. Denah Tempat Penelitian Lantai 2

3.6 Waktu dan Tempat Penelitian

3.6.1 Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan peneliti untuk melakukan penelitian ini dilaksanakan sejak dikeluarkannya ijin penelitian dalam kurun waktu kurang lebih 2 bulan, 1 bulan pengumpulan data dan 1 bulan untuk pengolahan data.

3.6.2 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian ini adalah di Kos Larissa Kampung Karang Asem No 124B 04/12 Gempol, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

3.7 Gambaran Umum

Skema analisis dilakukan dengan mengumpulkan data melalui studi literatur dengan mempelajari dan memperbaiki kekurangan dari penelitian sebelumnya, selanjutnya melakukan persiapan pengukuran parameter QoS (Quality of Service) diantaranya parameter bandwidth, throughput, delay, packetloss dan jitter. Setelah melakukan persiapan selanjutnya melakukan proses pengujian parameter QoS (Quality of Service) selama satu minggu/tujuh hari dengan rentan waktu antara jam 12.00 WIB - 13.00 WIB dengan durasi pengumpulan data yaitu 60 menit atau 1 jam.

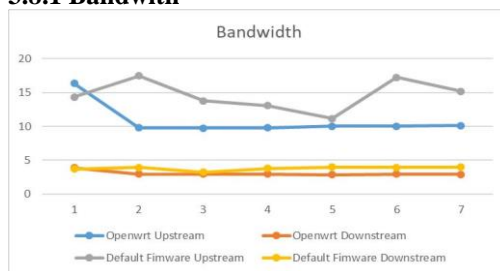
Selanjutnya masuk ke proses validitas data dimana setelah melakukan pengumpulan data yang valid atau tidak mengalami kendala dalam

proses pengumpulan data. Selanjutnya data diolah ke dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan proses analisis data dari parameter *QoS* (*Quality of Service*).

3.8 Hasil Analisis Perbandingan Firmware

Dari penjelasan diatas didapatkan hasil analisis parameter *QoS* (*Quality of Service*) yang menggunakan aplikasi *freeware* yaitu *wireshark* dengan melihat hasil dari parameter *QoS* (*Quality of Service*) yaitu *bandwidth*, *throughput*, *delay*, *packetloss* dan *jitter*. Adapun hasil yang diperoleh dari analisis tersebut adalah sebagai berikut:

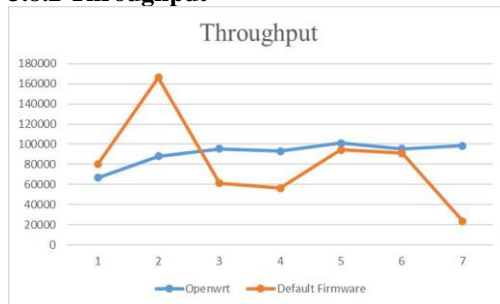
3.8.1 Bandwith



Gambar 6. Grafik Perbandingan Bandwith

Pada bagian parameter *bandwidth* yaitu *upstream* dan *downstream*, diketahui *default firmware* lebih unggul dari pada *firmware openwrt*. Pada bagian *upstream*, dapat dilihat dari hasil rata-rata analisis *default firmware* yaitu 14,6 Mbps dan *firmware openwrt* yaitu 10,84 Mbps sedangkan pada bagian *downstream*, dapat dilihat dari hasil analisis rata-rata *default firmware* yaitu 3,79 Mbps dan *firmware openwrt* dengan hasil 3,07 Mbps.

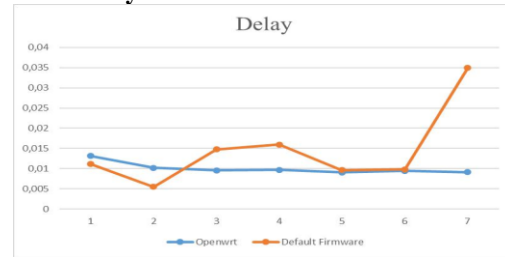
3.8.2 Throughput



Gambar 7. Grafik Perbandingan Throughput

Pada bagian parameter *throughput* diketahui *throughput* yang dimiliki oleh *firmware openwrt* lebih besar dibandingkan dengan *default firmware*. Dimana *throughput* yang besar lebih fokus ke pengiriman data yang besar, sedangkan *throughput* yang kecil lebih memfokuskan ke koneksi yang stabil.

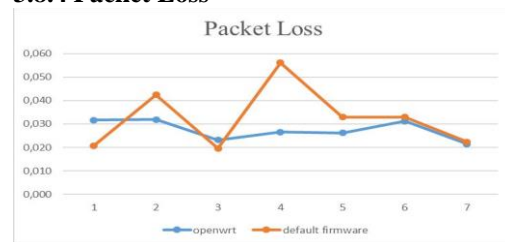
3.8.3 Delay



Gambar 8. Grafik Perbandingan Delay

Pada bagian parameter *delay* diketahui *delay* yang dimiliki oleh *firmware openwrt* lebih unggul dibandingkan dengan *default firmware*. Dapat dilihat dari rata-rata hasil analisis *firmware openwrt* yaitu 0,0100 ms dan *default firmware* yaitu 0,0145 ms. Yang mana dari hasil perbandingan diatas di ketahui bahwa kedua *firmware* berada pada kategori *latency* yang sangat bagus. Namun *firmware openwrt* lebih unggul dibandingkan *default firmware*.

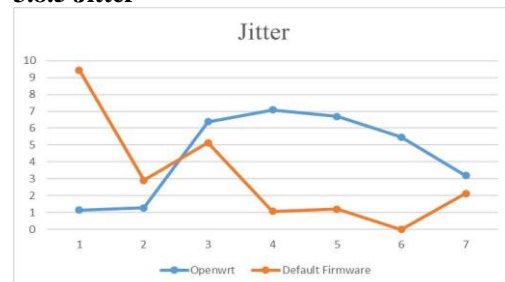
3.8.4 Packet Loss



Gambar 9. Grafik Perbandingan Packet Loss

Pada parameter *packet loss* diketahui *packet loss* yang dimiliki oleh *firmware openwrt* lebih sedikit dibandingkan dengan *default firmware*. Dapat dilihat dari rata-rata hasil analisis *firmware openwrt* yaitu 0,027 % dan *default firmware* yaitu 0,032 %. Yang mana dari hasil perbandingan diatas di ketahui bahwa kedua *firmware* berada pada kategori *degrasi* yang sangat bagus. Namun *firmware openwrt* lebih unggul dibandingkan *default firmware*.

3.8.5 Jitter



Gambar 10. Grafik Perbandingan Jitter

Pada parameter *jitter* diketahui *jitter* yang dimiliki oleh *default firmware* lebih sedikit

dibandingkan dengan *firmware openwrt*. Dapat dilihat dari rata-rata hasil analisis *default firmware* yaitu 3,1255 ms dan *firmware openwrt* yaitu 4,4633 ms. Yang mana dari hasil perbandingan diatas di ketahui bahwa kedua *firmware* berada pada kategori degradasi yang bagus. Namun *default firmware* lebih unggul dibandingkan dengan *firmware openwrt*.

IV. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian menggunakan metode perbandingan kuantitatif dengan parameter *bandwidth*, *throughput*, *delay*, *packet loss*, dan *jitter* menghasilkan kesimpulan bahwa *firmware openwrt* lebih unggul dari *default firmware*.

5.2 Saran

Saran yang diajukan sebagai berikut:

1. Pada *parameter bandwidth* dimana apabila pembaca lebih mefokuskan pada *bandwidth upstream* dan *downstream* maka pembaca disarankan menggunakan *default firmware*
2. Pada *parameter throughput* dimana apabila pembaca lebih memfokuskan koneksi yang stabil maka disarankan menggunakan default *firmware*, sedangkan apabila pembaca lebih memfokuskan pengiriman data yang besar, maka disarankan untuk menggunakan *firmware openwrt* karena memiliki *throughput yang besar*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada:

1. Rektor Universitas AMIKOM Yogyakarta
2. Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas AMIKOM Yogyakarta
3. Kepala Program Studi Informatika Universitas AMIKOM Yogyakarta
4. Pemilik Kos Larissa

REFERENSI

- [1] P. P. Romadhon, "Analisis Kinerja Jaringan Wireless LAN menggunakan metode QOS dan RMA pada PT Pertamina EP UBEP RAMBA," Fak. Ilmu Komputer, Univ. Bina Darma, 2014.
- [2] Dedi setiawan., & Joko Triyono., & Catur Iswahyudi. (2017). Analisis Perbandingan Quality of Service (Qos) Firmware Default Dan firmware Openwrt Pada Access Point TP-Link Mr3020.
- [3] Menpo Vascodegama Panjaitan., & Sukiswo., & Ajub Ajulian Zahra (2018). Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan 4g Dengan Metode

Drive Test Pada Kondisi Outdoor Menggunakan Aplikasi G-Nettrack Pro.

- [4] Russel, Jesse.Cohn, Ronald.2012. Openwrt Publish: Book on Demand
- [5] Muhammad Syarif Pagala. (2017). Optimalisasi Manajemen *Bandwidth* Jaringan Komputer Menggunakan Metode *Queue Tree Dan PCQ (Peer Connection Queue)*.