

DESAIN SERVER-GATEWAY JARINGAN WI-FI 802.11n UNTUK LAYANAN KOMUNIKASI LTE DI KERETA CEPAT JAKARTA–SURABAYA

DESIGN OF SERVER-GATEWAY WI-FI 802.11n NETWORK FOR LTE COUMMUNICATION SERVICE ON HIGH SPEED TRAIN JAKARTA–SURABAYA

Yoslie¹, Dr. Erna Sri Sugesti, Ir., M.Sc.², Dr. Doan Perdana, S.T., M.T.³

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

¹yoslie.tan@gmail.com, ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id, ³doan.perdana2010@gmail.com

Abstrak

BPS Indonesia menyatakan pertumbuhan transportasi darat tertinggi wilayah pulau Jawa 2012-2016 adalah kereta api. PT Kereta Api Indonesia belum menyediakan layanan Internet di dalam kereta. Penelitian ini merancang jaringan Wi-Fi pada kereta cepat Jakarta-Surabaya menggunakan standar IEEE 802.11n. Pada jaringan tersebut terdapat *server* yang berfungsi menampung trafik *user*, serta menghubungkan jaringan internal (di dalam kereta) dan jaringan eksternal (di luar kereta). Pada jaringan *server-gateway* diperlukan *scheduling* untuk mengatur lalu lintas trafik *user*.

Simulasi jaringan dilakukan menggunakan *software NS-3*. Parameter QoS yang digunakan adalah *throughput*, *delay*, dan *packet loss*, untuk layanan *video streaming*. Pengujian jaringan internal dilakukan bertahap 1-5 gerbong penumpang, menggunakan *scheduling* 10 ms, 100 ms, 250 ms, dan 500 ms. Pengujian jaringan eksternal dilakukan dengan membandingkan data simulasi dengan perhitungan menggunakan metode *capacity planning*.

Pengujian 1 gerbong penumpang memperoleh *throughput* rata-rata *user* 0,426 Mbps, mendekati hasil perhitungan *bandwidth* yaitu 0,487 Mbps. Semakin banyak jumlah *user* maka *throughput* jaringan akan berkurang, dan semakin lama *scheduling* yang digunakan, *delay*-nya akan semakin tinggi. Pengujian *scheduling* 100 ms memiliki *throughput* yang relatif lebih stabil dan *packet loss* yang lebih rendah dibandingkan *scheduling* 10 ms, tetapi memiliki *delay* yang lebih tinggi. Pada simulasi jaringan eksternal kondisi terpadat, *throughput* pada sisi *downlink* 34,24036 Mbps, mendekati hasil perhitungan yaitu 36,39212 Mbps, kemudian *delay* yang diperoleh memenuhi standar yang digunakan yaitu 40 ms.

Kata kunci: Wi-Fi, *server*, *scheduling*, kereta cepat

Abstract

BPS Indonesia states that the highest growth of land transportation in the Java region 2012-2016 is trains. PT Kereta Api Indonesia has not provided Internet services on the train. This Final Project designed a Wi-Fi network on the Jakarta-Surabaya fast train using the IEEE 802.11n standard. On the network there is a server that functions to accommodate user traffic, and connects internal networks (on the train) and external networks (outside the train). In the network servers, scheduling is needed to regulate user traffic.

Network simulation is done using NS-3 software. The QoS parameters used are throughput, delay, and packet loss, for video streaming services. Internal network testing is done in phases of 1-5 carriage, using scheduling 10 ms, 100 ms, 250 ms, and 500 ms. External network testing is done by comparing simulation data with calculations using the capacity planning method.

Testing of 1 carriage has a user average throughput of 0.426 Mbps, approaching the result of bandwidth calculation which is 0.487 Mbps. The more number of users, the network throughput will decrease, and the longer the scheduling is used, the delay will be higher. Testing scheduling 100 ms has relatively more stable throughput and low packet loss compared to scheduling 10 ms, but has a higher delay. In the simulation of the worst case on external network, the throughput on the downlink side is 34.24036 Mbps, meets the calculation result of 36.39212 Mbps, then the delay obtained meets the standard used which is 40 ms.

Keywords: Wi-Fi, *server*, *scheduling*, high speed train

1. Pendahuluan

Transportasi menjadi hal yang dibutuhkan untuk menjamin terselenggaranya mobilitas orang maupun barang. Moda transportasi kereta api merupakan salah satu sarana transportasi darat dengan jumlah penumpang terbanyak. Kereta api mampu mengangkut dalam jumlah besar dan tanpa ada hambatan, karena kereta memiliki jalur tersendiri. Hal tersebut didukung oleh data Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia [1], bahwa pertumbuhan per tahun (*annually increased*) transportasi darat tahun 2012-2016 wilayah pulau Jawa untuk kereta api adalah 14,99%, sedangkan untuk kendaraan bermotor (mobil, bus, motor) adalah 9,28%. Jadi, kereta api memiliki jumlah peningkatan penumpang transportasi darat terbanyak.

Kereta api lebih dipilih oleh penumpang karena harga tiket yang terjangkau, kenyamanan saat perjalanan, dan perjalanan tanpa hambatan. Saat berada di kereta, penumpang sering melakukan aktifitas, salah satunya adalah memakai layanan Internet untuk melakukan *browsing*, *streaming*, *chatting* dan lain-lain sesuai dengan gaya hidup / *lifestyle* masyarakat masa kini. Saat ini, PT Kereta Api Indonesia (Persero) sebagai perusahaan jasa kereta api belum menyediakan layanan Internet di dalam kereta. Di negara wilayah Eropa, perusahaan kereta sudah menyediakan layanan internet di dalam kereta [2].

Teknologi *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) menawarkan kemudahan mengakses Internet dibandingkan dengan media kabel. Dengan menggunakan Wi-Fi, pengguna dapat mengakses jaringan Internet lebih *mobile* dan efisien. Teknologi Wi-Fi standar IEEE yang berkembang saat ini adalah 802.11n, yang merupakan gabungan dari teknologi 802.11b dan 802.11g. Teknologi ini memiliki nilai *throughput* umum senilai 74 Mbps, *data rate* maksimal 248 Mbps, jangkauan *indoor* ~70 m, dan jangkauan *outdoor* ~250 m [3].

Penerapan jaringan Wi-Fi 802.11n di dalam kereta sudah pernah dilakukan oleh Luh Putu Ayu Sri Aryaningrum [4] dan Prastise Titahningsih [5], penelitian tersebut menggunakan perhitungan *link budget* untuk menentukan jumlah *access point* yang akan diletakkan pada kereta. Penelitian tersebut dilanjutkan pada penelitian ini dengan membuat jaringan Wi-Fi pada rangkaian kereta, kemudian dihubungkan dengan jaringan LTE di luar kereta. Pada jaringan tersebut terdapat *server* yang berfungsi menampung trafik *user*, serta menghubungkan jaringan internal (di dalam kereta) dan jaringan eksternal (di luar kereta). Pada jaringan *server-gateway* yang dibuat dilakukan *scheduling* untuk mengatur lalu lintas trafik *user*. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh trafik *user* terhadap parameter QoS (*Quality of Service*) jaringan sehingga diperoleh karakteristik dari desain jaringan yang dibuat dan membandingkannya dengan hasil perhitungan atau hasil penelitian yang sesuai.

2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

2.1 Server

Server merupakan sebuah perangkat jaringan yang berfungsi menyediakan *file*, sumber daya, atau layanan lain yang diperlukan dalam sebuah jaringan. Pada umumnya komputer yang dipakai sebagai *server* memiliki spesifikasi perangkat keras khusus yang lebih tinggi dibandingkan dengan komputer lainnya. Pada jaringan skala kecil umumnya memiliki satu *server*, sedangkan jaringan skala besar dapat memiliki dua atau lebih *server* [7].

2.2 Parameter QoS (Quality of Service)

Parameter QoS merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari suatu layanan. Parameter yang dijadikan indikator pengujian adalah sebagai berikut.

a) *Throughput*

Throughput adalah kecepatan rata-rata data yang diterima oleh suatu *node* dalam selang waktu pengamatan tertentu. *Throughput* merupakan *bandwidth* aktual saat dilakukan proses koneksi. Satuan yang dimilikinya adalah bps (*bit per second*) [8]. Rumus menghitung *throughput* yang dipakai adalah rumus menghitung *throughput* hasil dari proses simulasi menggunakan NS-3 yaitu sebagai berikut [9].

$$Th = \left[\left(\frac{rxB \times 8}{(tLRx - tFRx) / 1000000} \right) \div 1024 \right] \div 1024 \quad (1)$$

Keterangan:

Th = *Throughput* (Mbps).

rxB = Jumlah data yang diterima dalam Bytes (*bit*).

tLRx = Waktu absolut ketika paket terakhir dalam aliran diterima, yaitu saat penerimaan aliran berakhir (ns).

tFRx = Waktu absolut ketika paket pertama dalam aliran diterima oleh *node* akhir (ns).

b) *Delay*

Delay merupakan waktu tunda paket yang disebabkan oleh proses tranmisi dari satu titik menuju titik lain yang menjadi tujuannya. Nilai *delay* didapatkan dari selisih waktu kirim antara satu paket TCP dengan paket lainnya yang direpresentasikan dalam satuan detik [8]. Rumus untuk menghitung nilai *delay* hasil dari simulasi menggunakan NS-3 adalah sebagai berikut [9].

$$D = \frac{dS}{rxP} \quad (2)$$

Keterangan:

D = rata-rata delay (s).

dS = Jumlah dari end-to-end delays untuk semua paket aliran yang diterima.

rxP = Jumlah paket yang diterima.

c) *Packet Loss*

Packet loss adalah banyaknya paket yang hilang pada suatu jaringan paket yang disebabkan oleh tabrakan data (*collision*), penuhnya kapasitas jaringan, dan penurunan paket yang disebabkan oleh habisnya TTL (*Time To Leave*) pada saat koneksi. *Packet loss* dihitung dengan membandingkan jumlah data yang dikirim dengan jumlah data yang diterima [8]. Berikut adalah rumus menghitung *packet loss ratio* dari simulasi NS-3 [9].

$$PLR = \frac{IP}{rxP + IP} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

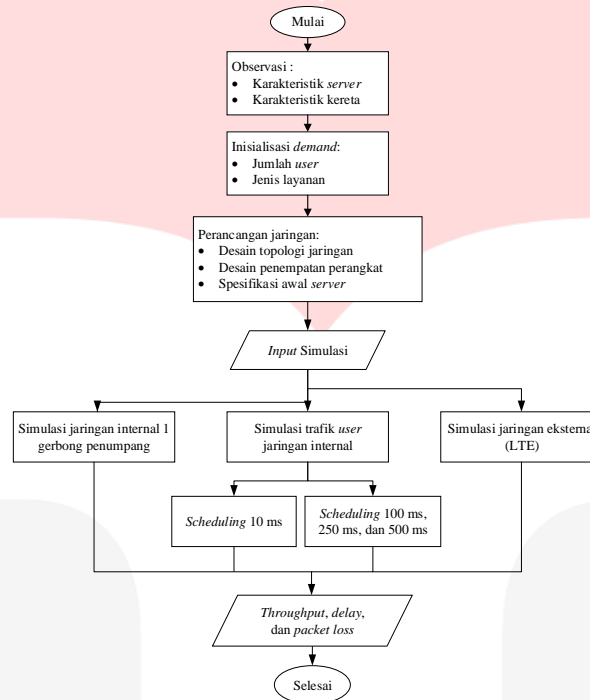
PLR = *Packet loss ratio* (%).

IP = Total jumlah paket yang dianggap hilang.

rxP = Jumlah paket yang diterima.

2.3 Perancangan Sistem

2.3.1 Diagram Alir Sistem



Gambar 1. Diagram alir perancangan jaringan Wi-Fi 802.11.n pada kereta cepat Jakarta-surabaya.

Gambar 1 menunjukkan diagram alir untuk perancangan *server-gateway* jaringan Wi-Fi 802.11n pada kereta cepat Jakarta-Surabaya. Perancangan dimulai dengan mempelajari dan mencari karakteristik *server* dan karakteristik kereta. Dari karakteristik tersebut diperoleh data penempatan setiap *node* sehingga membentuk topologi jaringan Wi-Fi pada rangkaian kereta. Proses berikutnya adalah inisialisasi jumlah *user* dan layanan yang digunakan. Jumlah *user* setiap gerbong penumpang adalah 50 *user*, karena pada 1 gerbong penumpang terdapat 2 *access point* maka masing-masing *access point* menampung 25 *user*. Penelitian ini menggunakan jenis protokol UDP dan jenis layanan yang disimulasikan adalah layanan *video streaming*. Proses dilanjutkan dengan membuat topologi jaringan Wi-Fi pada rangkaian kereta. Setelah topologi jaringan selesai dibuat, maka dilakukan simulasi menggunakan *Network Simulator*. Dari hasil simulasi didapatkan karakteristik parameter QoS seperti *throughput*, *delay*, dan *packet loss*.

2.3.2 Skenario Perancangan

1. Skenario 1: Simulasi Jaringan Internal untuk 1 gerbong penumpang

Skenario pertama bertujuan untuk menghasilkan karakteristik QoS pada satu gerbong penumpang. Pada satu gerbong penumpang terdapat 2 buah AP (*Access Point*) dan jumlah 50 *user*. Oleh karena itu, 25 *user* dilayani oleh AP1 dan 25 *user* lainnya dilayani oleh AP2. Simulasi dilakukan dengan menambahkan 1 *user* untuk satu AP secara bertahap dari 1 sampai 25 *user*. Dari hasil simulasi tersebut dianalisis parameter QoS berupa *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Setiap melakukan penambahan jumlah *user*, dilakukan kembali pengukuran parameter QoS.

2. Skenario 2: Pengujian Trafik Pengguna

Pada skenario 2 dilakukan penambahan *user* pada gerbong penumpang lainnya. Pada satu gerbong penumpang terdapat 50 *user*, sehingga pada 10 gerbong penumpang terdapat 500 *user*. Pada desain jaringan yang dibuat terdapat 2 buah *server*, dimana *server* 1 diasumsikan sama dengan *server* 2. Oleh karena itu, simulasi ini dilakukan pada menggunakan satu *server* dengan jumlah *user* maksimum 250 *user*. Tujuan dari skenario ini adalah untuk membangkitkan trafik pengguna yang beragam, sehingga dapat diketahui karakteristik layanan *user* pada rangkaian kereta. Pada skenario ini dilakukan pengujian simulasi dengan menggunakan *scheduling* 10 ms, 100 ms, 250 ms, dan 500 ms.

3. Skenario 3: Jaringan Eksternal (LTE)

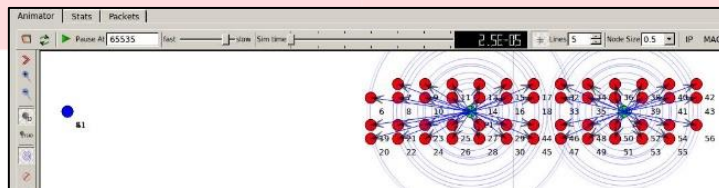
Skenario 3 adalah pengujian untuk proses pengiriman dan penerimaan data dari *server* ke RRU, dan sebaliknya. *Output* dari pengujian ini adalah data pengiriman (*uplink*) dan penerimaan (*downlink*). Proses pengiriman dan penerimaan data tersebut diasumsikan sudah berada dalam jangkauan sebuah RRU. Kemudian setelah diperoleh data hasil simulasi, dilakukan analisis data menggunakan penelitian [6] untuk simulasi jaringan LTE daerah urban dan kecepatan 160 km/jam.

2.3.3 Perhitungan Bandwidth

Kebutuhan *bandwidth* untuk layanan *video streaming* per *user* dapat dilakukan secara perhitungan. Apabila digunakan *codec* H.264 dengan *payload* 200 bytes dan *bitrate* 384 kbps, maka *bandwidth* kanal video yang dibutuhkan untuk setiap *user* adalah 0,487 Mbps [10]. Jumlah keseluruhan penumpang kereta adalah 500, maka *bandwidth* untuk 500 penumpang yang perlu disediakan oleh *server* berdasarkan perhitungan adalah 243,5 Mbps. Apabila menggunakan dua buah *server*, maka *bandwidth* setiap *server* adalah 121,75 Mbps.

3. Hasil dan Pembahasan

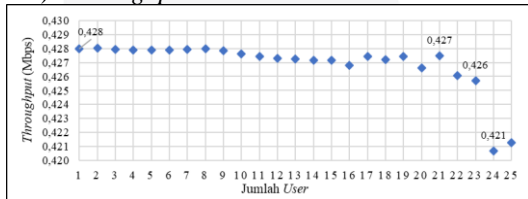
3.1 Skenario Pengujian Jaringan Internal Untuk 1 Gerbong Penumpang



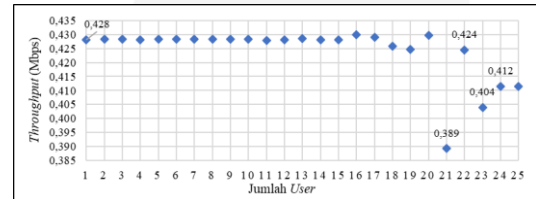
Gambar 2. Hasil animasi skenario pengujian 1 gerbong penumpang.

Gambar 2. memperlihatkan hasil simulasi topologi jaringan menggunakan aplikasi Netanim. *Node* berwarna biru merepresentasikan perangkat *server*, jumlah *server* yang dipakai adalah 1. Warna hijau adalah *access point*, dimana dalam 1 gerbong penumpang terdapat 2 *access point*. Warna merah adalah *user*, pengujian diawali dengan 1 *user* untuk setiap AP. Kemudian jumlah *user* ditambah 1 secara berkala hingga 50 *user*. Hasil pengujian parameter QoS pengujian jaringan internal untuk 1 gerbong penumpang adalah sebagai berikut.

a) Throughput



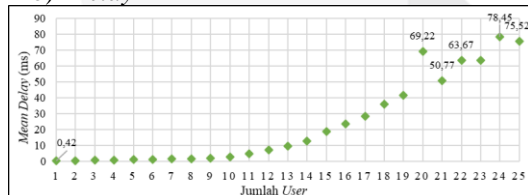
Gambar 3(a). Grafik hasil pengukuran *throughput* skenario 1 pada API1.



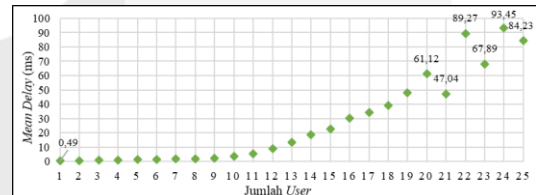
Gambar 3(b). Grafik hasil pengukuran *throughput* skenario 1 pada AP2.

Gambar 3(a). dan Gambar 3(b). merupakan grafik hasil pengujian parameter *throughput* terhadap layanan *video streaming* dengan protokol UDP pada gerbong penumpang 1. Grafik tersebut menampilkan perbandingan antara jumlah *user* dengan nilai *throughput* yang diperoleh. Untuk mendapatkan nilai *throughput* digunakan Persamaan (2.1). Berdasarkan grafik diperoleh hasil *throughput* pada API1 dan AP2 yang relatif stabil untuk jumlah *user* 1 sampai 20, yaitu berada pada rentang nilai 0,427 sampai 0,430 Mbps. Apabila jumlah *user* diatas 20 maka *throughput* semakin menurun. Nilai *throughput* rata-rata *user* untuk 1 gerbong penumpang 0,426 Mbps, mendekati hasil perhitungan *bandwidth* per *user* pada bab sebelumnya dengan nilai 0,487 Mbps.

b) Delay



Gambar 4(a). Grafik hasil pengukuran *delay* skenario 1 pada API1.

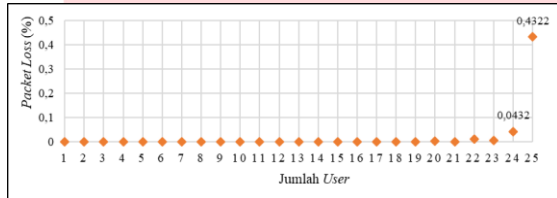


Gambar 4(b). Grafik hasil pengukuran *delay* skenario 1 pada AP2.

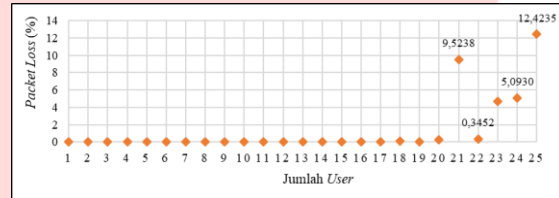
Gambar 4(a) dan Gambar 4(b) merupakan grafik hasil pengujian parameter *delay* terhadap layanan *video streaming* dengan protokol UDP. Berbeda dengan grafik pengukuran *throughput*, pada pengukuran *delay* diperoleh hasil bahwa semakin banyak *user* yang ditambahkan, maka *delay* yang diperoleh akan semakin naik juga. Nilai *delay* tertinggi pada API1 diperoleh sebesar 78,45 ms dan pada AP2 diperoleh sebesar 93,45 ms. *Delay* pada pengukuran melalui API1 dan AP2 masih memenuhi standar *preffered* ITU-T G1010 dimana nilai *delay* untuk untuk *video streaming* (*two-way*) adalah dibawah 150 ms [11]. Dari grafik pengukuran *throughput* dan grafik pengukuran *delay* dapat dilihat bahwa keduanya berbanding terbalik, semakin tinggi *delay* maka nilai *throughput* semakin rendah.

c) *Packet Loss*

Gambar 5(a) dan Gambar 5(b) merupakan grafik hasil pengujian parameter *packet loss* terhadap layanan *video streaming* dengan protokol UDP pada gerbong penumpang 1. Berdasarkan kedua grafik tersebut, diperoleh hasil bahwa nilai *packet loss* stabil di 0% saat jumlah *user* ≤ 20. Nilai *packet loss* tertinggi diperoleh saat jumlah *user* 25, yaitu untuk AP1 senilai 0,4322% dan AP2 senilai 12,4235%. Nilai *packet loss* pada AP1 masih memenuhi nilai standar ITU-T G1010, dimana standar nilai *packet loss* untuk layanan *video streaming* adalah kurang dari 1% [11]. Pada AP2, saat jumlah user diatas 20 terdapat beberapa *user* yang memiliki *packet loss* sehingga menyebabkan nilai *packet loss* yang tinggi dan tidak memenuhi standar.



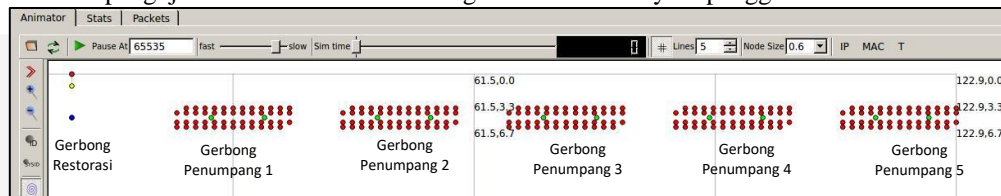
Gambar 5(a). Grafik hasil pengukuran *packet loss* skenario 1 pada API.



Gambar 5(b). Grafik hasil pengukuran *packet loss* skenario 1 pada AP2.

3.2 Skenario Pengujian Trafik User pada Jaringan Internal

Simulasi skenario ini bertujuan untuk melihat pengaruh dari trafik pengguna pada setiap gerbong. Pada simulasi ini, dilakukan penambahan *user* secara bertahap sejumlah 50 *user* (1 gerbong penumpang). Gambar 6. menampilkan hasil simulasi skenario 2 untuk 5 gerbong penumpang. Pada desain jaringan yang telah dibuat, terdapat 2 buah *server* dimana satu *server* menangani 5 buah gerbong penumpang. Gerbong penumpang 1-5 dilayani oleh *server* 1 dan gerbong penumpang 6-10 dilayani oleh *server* 2. Karakteristik dari trafik untuk penumpang yang dilayani oleh *server* 1 diasumsikan sama dengan trafik penumpang yang dilayani oleh *server* 2. Oleh karena itu pengujian dilakukan satu kali dengan 1 *server* melayani pengguna maksimum 250 *user*.



Gambar 6. Hasil animasi simulasi skenario pengujian trafik *user*.

3.2.1 Hasil Pengujian Trafik User Scheduling 10 ms

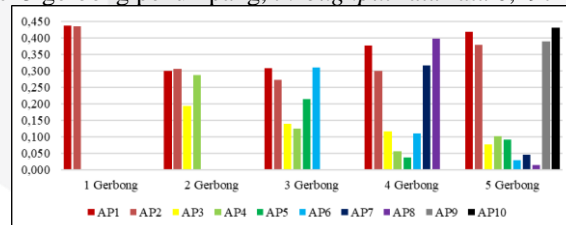
Nilai *scheduling* dapat dihitung terlebih dahulu dengan cara sebagai membagi *payload* dengan *data rate*. Nilai *payload* yang digunakan adalah 200 Bytes, dan *data rate* sebesar 384 kbps. Maka perhitungannya adalah sebagai berikut [12].

$$\text{Waktu scheduling} = (200 \text{ Bytes} * 8) / 384 \text{ kbps} = 4,167 \text{ ms} \approx 5 \text{ ms.}$$

Selanjutnya diperlukan jarak antara *scheduling* satu dengan lainnya, maka waktu *scheduling* menjadi 2 × 5 ms = 10 ms. Berikut adalah hasil pengukuran menggunakan *scheduling* 10 ms.

a) *Throughput*

Gambar 7. menunjukan perbandingan nilai *throughput* untuk simulasi saat keadaan 1 sampai 5 gerbong penumpang. Diperoleh nilai *throughput* pada gerbong 1 mengalami penurunan saat dilakukan penambahan kapasitas *user* pada gerbong penumpang lainnya. Nilai *throughput* rata-rata user 0,436 Mbps. Pada simulasi 2 gerbong penumpang, nilai *throughput* rata-rata user 0,271 Mbps, atau berkurang 37,844% dari *throughput* rata-rata 1 gerbong penumpang. Simulasi 3 gerbong penumpang diperoleh *throughput* rata-rata 0,228 Mbps, berkurang 47,706%. Simulasi 4 gerbong penumpang memperoleh *throughput* rata-rata 0,214 Mbps, berkurang 50,917%. Sedangkan simulasi 5 gerbong penumpang, *throughput* rata-rata 0,197 Mbps, berkurang 54,816%.

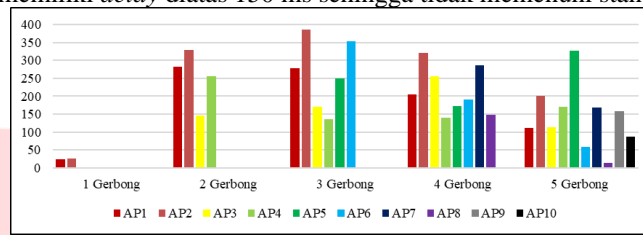


Gambar 7. Grafik hasil pengukuran *throughput* skenario pengujian trafik *user scheduling* 10 ms.

b) *Delay*

Karakteristik dari parameter *delay* untuk skenario 3 dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan data pada tersebut diperoleh *delay* rata-rata 1 gerbong penumpang 25,566 ms, sehingga memenuhi standar *preferred delay* ITU-T G1010, yaitu 150 ms [18]. Pada simulasi 2 gerbong penumpang diperoleh *delay* rata-rata 253,425 ms, simulasi 3 gerbong penumpang diperoleh 262,140 ms, dan pada simulasi 4 gerbong penumpang 215,256 ms,

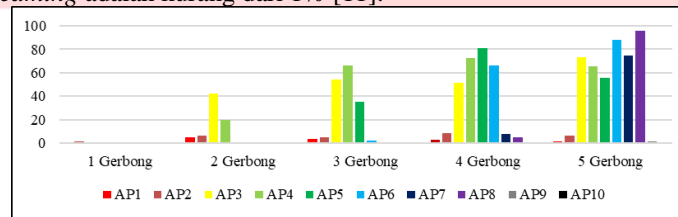
ketiganya tidak memenuhi standar. Pada simulasi 5 gerbong penumpang diperoleh *delay* rata-rata 141,100 ms, akan tetapi beberapa AP memiliki *delay* diatas 150 ms sehingga tidak memenuhi standar.



Gambar 8. Grafik hasil pengukuran *delay* skenario pengujian trafik user *scheduling* 10 ms.

c) *Packet Loss*

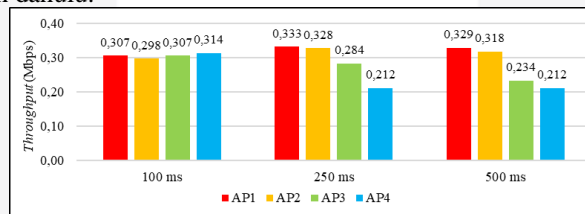
Hasil simulasi skenario 3 untuk pengukuran parameter *packet loss ratio* terdapat pada Gambar 9. Berdasarkan hasil pengukuran *packet loss ratio* untuk pengukuran lebih dari 1 gerbong penumpang, diperoleh *packet loss* setiap gerbong penumpang tidak memenuhi standar ITU-T G1010, dimana standar nilai *packet loss* untuk layanan *video streaming* adalah kurang dari 1% [11].



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran *packet loss* skenario pengujian trafik user *scheduling* 10 ms.

3.2.2 Hasil Pengujian Trafik User *Scheduling* 100 ms, 250 ms, dan 500 ms

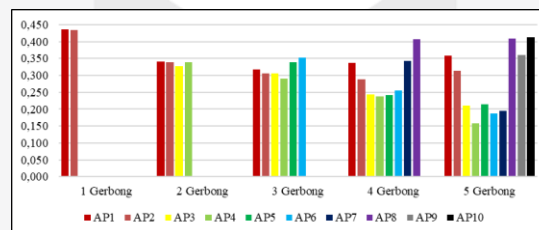
Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai parameter QoS mendekati nilai yang relatif stabil saat terdapat lebih lebih dari 1 gerbong penumpang. Pengujian yang dilakukan adalah dengan menambahkan jarak antar penjadwalan (*scheduling*) satu dengan penjadwalan lainnya. Pada simulasi sebelumnya, *scheduling* satu dengan yang lainnya adalah 10 ms. Pada pengujian ini dilakukan perbandingan antara *scheduling* 100 ms, 250 ms, dan 500 ms untuk mencari nilai parameter QoS yang lebih stabil. Pengujian ini dilakukan menggunakan 2 gerbong penumpang terlebih dahulu.



Gambar 10. Grafik perbandingan nilai *throughput* menggunakan *scheduling* 100 ms, 250 ms, dan 500 ms.

Berdasarkan grafik perbandingan *throughput* Gambar 10., pengujian *scheduling* 100 ms memiliki nilai yang relatif lebih stabil dibandingkan *scheduling* 250 ms dan 500 ms. Oleh karena itu, dilakukan kembali simulasi trafik user dengan *scheduling* 100 ms untuk 1 sampai 5 gerbong dengan hasil sebagai berikut.

a) *Throughput*

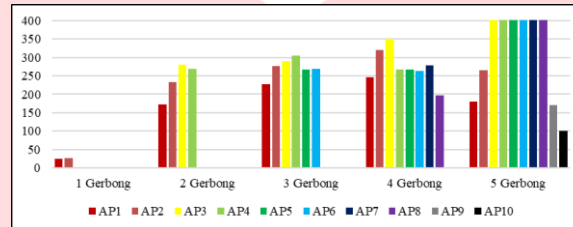


Gambar 11. Grafik hasil pengukuran *throughput* skenario pengujian trafik user *scheduling* 100 ms.

Gambar 11. menunjukkan hasil pengukuran *throughput* setelah menggunakan *scheduling* 100 ms. Pada simulasi 1 gerbong penumpang, nilai *throughput* rata-rata user 0,436 Mbps. Pada simulasi 2 gerbong penumpang, nilai *throughput* rata-rata user 0,337 Mbps, atau berkurang 22,706% dari *throughput* rata-rata 1 gerbong penumpang. Untuk simulasi 3 gerbong penumpang diperoleh *throughput* rata-rata 0,319 Mbps, berkurang 26,8348%. Simulasi 4 gerbong penumpang memperoleh *throughput* rata-rata 0,294 Mbps, berkurang 32,5688%. Sedangkan simulasi 5 gerbong penumpang, *throughput* rata-rata 0,282 Mbps, berkurang 35,3211%. Berdasarkan perolehan data *throughput* tersebut, *scheduling* 100 ms relatif lebih stabil dibandingkan *scheduling* 10 ms. Persentase penurunan *throughput scheduling* 100 ms adalah 22,706-35,3211%, sedangkan *scheduling* 10 ms adalah 37,844-54,816%.

b) Delay

Pada pengukuran *delay* untuk simulasi dengan menggunakan *scheduling* 100 ms, diperoleh nilai *delay* yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan *scheduling* 10 ms. Grafik hasil pengukuran *delay* menggunakan *scheduling* 100 ms dapat terlihat pada Gambar 12. Berdasarkan hasil tersebut., diperoleh *delay* rata-rata 1 gerbong penumpang 25,566 ms, sehingga memenuhi standar *preffered delay* ITU-T G1010, yaitu 150 ms [11]. Pada simulasi 2 gerbong penumpang diperoleh *delay* rata-rata 238,488 ms, simulasi 3 gerbong penumpang diperoleh 272,625 ms, simulasi 4 gerbong penumpang 273,962 ms, dan pada simulasi 5 gerbong penumpang 419,520 ms, keempatnya tidak memenuhi standar.

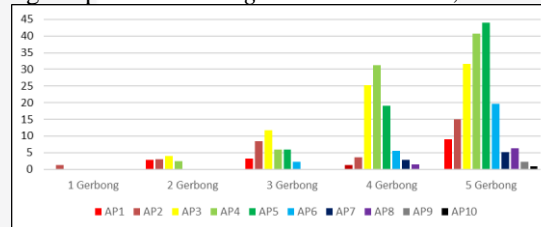


Gambar 12. Grafik hasil pengukuran *delay* skenario pengujian trafik *user scheduling* 100 ms.

Hasil simulasi menggunakan *delay* 100 ms memiliki *delay* rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan *scheduling* 10 ms. Oleh karena itu, penggunaan *scheduling* yang lebih tinggi akan mengakibatkan *delay* yang lebih tinggi, meskipun dapat memperoleh nilai *throughput* yang lebih stabil.

c) Packet Loss

Hasil pengukuran *packet loss* untuk simulasi pengujian trafik *user* dengan menggunakan *scheduling* 100 ms terdapat pada Gambar 13. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh nilai *packet loss* dengan *scheduling* 100 ms lebih rendah apabila dibandingkan dengan simulasi trafik *user* menggunakan *scheduling* 10 ms. Apabila nilai *packet loss* yang diperoleh lebih rendah maka nilai *throughput* relatif lebih tinggi. Pada simulasi ini, hasil pengukuran *packet loss* yang diperoleh masih belum memenuhi standar ITU-T G1010, dimana standar nilai *packet loss ratio* untuk layanan *video streaming* adalah kurang dari 1% [11]. Nilai *packet loss* juga dapat dipengaruhi oleh *delay* yang tinggi. Hal ini disebabkan perhitungan *packet loss* pada *software* NS-3 secara *default*, paket yang hilang selama periode lebih dari 10 detik akan diasumsikan sebagai *packet loss*. Hasil *packet loss ratio* menggunakan *scheduling* 100 ms lebih baik dibandingkan dengan *scheduling* 10 ms. Pada *scheduling* 10 ms, *packet loss ratio* tertinggi adalah 96,016%, sedangkan pada *scheduling* 100 ms adalah 44,073%.



Gambar 13. Grafik hasil pengukuran *packet loss* skenario pengujian trafik *user scheduling* 100 ms.

3.3 Skenario Jaringan Eksternal (LTE)

Tabel 1. Tabel hasil pengukuran skenario jaringan eksternal.

Parameter	Downlink	Uplink
Throughput (Mbps)	8,56009	8,55864
Delay (ms)	14,0167	21,9295
Packet Loss (%)	0%	0%

Tabel 1. berisikan data hasil pengukuran skenario jaringan eksternal untuk mengetahui tingkat keberhasilan pengiriman data (*uplink*) dan penerimaan data (*downlink*) dari *server* ke RRU. Data tersebut adalah untuk satu *server*. Hasil tersebut adalah untuk satu kondisi saja, pada realitanya nilai parameter QoS jaringan eksternal bersifat dinamis karena pengaruh faktor eksternal seperti kecepatan kereta, dan jarak RRU dengan antenna pemancar kereta. Performansi QoS jaringan eksternal dapat mempengaruhi performa QoS jaringan internal. Apabila pada suatu saat terdapat 2 kereta dalam satu *coverage* RRU. Dalam satu rangkaian kereta terdapat 2 *server*, maka *network throughput* untuk 2 rangkaian kereta adalah 4 kali dari hasil Tabel 1. Sehingga untuk kondisi tersebut diperoleh *network throughput* pada sisi *downlink* adalah 34,24036 Mbps dan pada sisi *uplink* 34,23456 Mbps. Nilai *throughput* tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai *throughput* pada penelitian [6] yang merupakan bagian dari pengerjaan skala besar penelitian ini. Pada penelitian tersebut diperoleh hasil *capacity planning* pada saat 2 buah kereta berada pada satu RRU. Perhitungan tersebut menghasilkan *network throughput* 36,39212 Mbps pada sisi *downlink* dan 9,508656 Mbps pada sisi *uplink*. Maka data hasil simulasi *network throughput* untuk sisi *downlink* mendekati data hasil perhitungan dengan menggunakan metode *capacity planning*. Nilai *delay* untuk *downlink* diperoleh 14,0167 ms sedangkan untuk *uplink* 21,9295 ms. Berdasarkan penelitian [13], *delay* jaringan LTE yang diperoleh 14,39 ms. Baik hasil simulasi maupun perhitungan *delay* yang diperoleh tersebut lebih kecil dari standar, yaitu 40 ms.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan data pengukuran hasil simulasi dan analisis maka diperoleh spesifikasi dan karakteristik jaringan server-gateway untuk menampung trafik Internet penumpang kereta cepat sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan *bandwidth* setiap *user* untuk layanan *video streaming* adalah 0,487 Mbps, apabila menggunakan satu *server* maka *bandwidth* yang perlu disediakan adalah 243,5 Mbps. Jenis *server* yang digunakan adalah *Enterprise Server IBM Power System S914*.
2. *Throughput* rata-rata *user* pengujian 1 gerbong penumpang adalah 0,426 Mbps. Hasil pengujian tersebut mendekati hasil perhitungan *bandwidth* per *user*.
3. *Delay* rata-rata pengujian 1 gerbong penumpang adalah 25,566 ms, sehingga memenuhi standar *preferred* ITU-T G1010 yaitu < 150 ms.
4. Nilai *packet loss ratio* rata-rata pada pengujian 1 gerbong penumpang adalah 0,659%, sehingga memenuhi standar yang digunakan, yaitu $< 1\%$.
5. Semakin banyak jumlah *user* maka nilai *throughput* jaringan akan berkurang.
6. Semakin besar nilai *scheduling* yang digunakan, maka *delay* pada jaringan akan semakin tinggi, sedangkan *throughput* dan *packet loss* menjadi relatif lebih stabil.
7. Pada pengukuran jaringan eksternal apabila terdapat 2 kereta dalam satu *coverage* RRU, maka *network throughput* pada sisi *downlink* adalah 34,24036 Mbps dan pada sisi *uplink* 34,23456 Mbps. Data pada sisi *downlink* mendekati data perhitungan menggunakan metode *capacity planning*, yaitu 36,39212 Mbps.
8. *Delay* pengujian jaringan eksternal pada sisi *downlink* diperoleh sebesar 14,0167 ms dan pada sisi *uplink* 21,9295 ms. Hasil simulasi maupun perhitungan *delay* yang diperoleh tersebut lebih kecil dari standar yang digunakan, yaitu 40 ms.

4.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, beberapa hal yang dapat dijadikan pengembangan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian pengaruh kecepatan kereta pada jaringan eksternal yang bersifat dinamis.
2. Menggunakan jenis *routing* lain untuk konfigurasi jaringan seperti AODV, DSR, OLSR, dan lain-lain.
3. Merubah topologi jaringan seperti merubah posisi penempatan *server*, atau menambah jumlah *server* dan atau *access point*.

Daftar Pustaka :

- [1] Badan Pusat Statistik, Statistik Transportasi Darat 2016, Badan Pusat Statistik, 2017.
- [2] G. M. Shafiullah, A. Gyasi-Agyei and P. Wolfs, "Survey of Wireless Communications Applications in the Railway Industry," in *The 2nd International Conference on Wireless*, 2007.
- [3] H. F. Assidiq, Kupas Tuntas Wi-Fi, Diklat Kuliah, Surya University, 2013.
- [4] L. P. Aryaningrum, Perancangan dan Analisis Coverage Area Jaringan Wi-Fi Pada Gerbong Kereta Api Penumpang Eksekutif Jakarta-Bandung, Tugas Akhir, Universitas Telkom, 2016.
- [5] T. Prastise, P. Rakhmadhany and R. Sabriansyah, Perancangan Penempatan Access Point Untuk Jaringan Wi-Fi Pada Kereta Api Penumpang, Tugas Akhir, Universitas Telkom, 2015.
- [6] J. Bernardini, Wireless Networking - WAN Design Module 06, Community College of Rhode Island, 2015.
- [7] O. W. Purbo, Jaringan Wireless di Dunia Berkembang Edisi 2, Wireless Network Developing World, 2007.
- [8] A.-F. Gunawan, "Menghitung Throughput, Delay Dan Packet Loss Menggunakan Wireshark dan Rumus," *blogspot.co.id*, 2013. [Online]. Available: <http://gunawan-alfarizi.blogspot.co.id/2013/11/menghitung-throughput-delay-dan-packet.html>. [Accessed 22 April 2018].
- [9] Z. He, "Flow-Monitor in NS3. (Throughput, Delay, Jitter, Packet Loss and Other Parameters in NS3)," 24 April 2016. [Online]. Available: <http://mighthelpyou.blogspot.com/2016/04/flow-monitor-in-ns3-perfect-tool-for.html>. [Accessed 9 June 2019].
- [10] S. Rizkiana, Implementasi dan Analisis Performasi Layanan VPN pada Jaringan MPLS-TE Menggunakan Protocol BGP(Border Gateway Protocol) Metode QOSINTSERV, Tugas Akhir, Universitas Telkom, 2017.
- [11] International Telecommunication Union, "Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks (Series G)," *Quality of Service and Performance*, 2001.
- [12] *groups.google.com*, "OnOffApplication," [Online]. Available: <https://groups.google.com/forum/#!topic/ns-3-users/YNlYo3iXKss>. [Accessed 27 June 2019].
- [13] R. L. Sina, Analisis Handover Dan Desain Coverage Komunikasi LTE Untuk Layanan Penumpang Kereta Cepat, Universitas Telkom, 2019.