

SIMULASI QOS LAYANAN KOMUNIKASI PENUMPANG MENGGUNAKAN WLAN 802.11N PADA KERETA CEPAT JAKARTA-SURABAYA

SIMULATION OF QOS FOR PASSENGER COMMUNICATION SERVICE USING WLAN 802.11N ON HIGHSPEED TRAIN JAKARTA-SURABAYA

Lisnawati S. Bangun¹, Dr. Ir. Erna Sri Sugesti, M.Sc², Dr. Doan Perdana, S.T.,M.T³

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

¹lisnawatisilvia@student.telkomuniversity.ac.id, ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id,

³doanperdana@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kereta Cepat merupakan sarana transportasi yang memiliki dampak positif dibandingkan Pesawat Terbang. Hal ini disebabkan efisiensi waktu diperjalanan dapat digunakan secara produktif, khususnya bagi yang membutuhkan layanan internet. Kereta Cepat Jakarta-Surabaya mengimplementasikan penggunaan Wi-Fi standar IEEE 802.11n karena fleksibilitasnya dalam mengakses layanan internet. Pengukuran ini menggunakan simulasi Network Simulator 3.26 (NS 3.26).

Penelitian ini mengevaluasi komposisi trafik yang memiliki QoS terbaik pada Wi-Fi 802.11n. Parameter yang digunakan adalah *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss*. Simulasi dirancang menggunakan lima skenario yang terdiri dari metode A, metode B, metode C, metode D dan metode E. Perbedaan dalam setiap skenario terletak pada *data rate* dan *packet size* yang digunakan.

Berdasarkan lima metode tersebut, dapat disimpulkan *delay* dan *throughput* pada setiap layanan berbanding terbalik. Hal ini disebabkan *delay* yang besar menyebabkan *throughput* yang kecil. Berdasarkan metode A, metode B, metode C, layanan terbaik yang dapat digunakan adalah layanan VoIP dengan nilai sebesar 2,617 ms dan *throughput* sebesar 0,0075 Mbps. Hal ini disebabkan layanan VoIP memiliki tingkat *priority* layanan tertinggi dibandingkan layanan lainnya. Pada mix layanan metode D, layanan terbaik yang dapat digunakan adalah layanan VoIP vs Data (web browsing) dengan *delay* sebesar 2,644 ms dan *throughput* sebesar 0,0098 Mbps. Mix layanan tersebut memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan layanan lainnya. Pada metode E, *delay* yang dihasilkan saat menggunakan kanal sebesar 6,933 ms dan *throughput* sebesar 0,0412 Mbps. Hal ini disebabkan terdapat pantulan sinyal yang dihasilkan dari AP ke *user* yang menyebabkan *delay* yang besar.

Kata kunci : WLAN, Access Point, Delay, Jitter, Throughput, Packet Loss

Abstract

Highspeed train is a means of transportation that has a positive impact compared to airplane. This is due to the efficiency of travel time that can be used productively, especially for workers who need internet service. Jakarta-Surabaya highspeed train implements the use of the IEEE 802.11n Wi-Fi standard because of its flexibility in accessing internet services. This measurement uses a Network Simulator 3.26 simulation (NS 3.26).

This study evaluates the composition of traffic that has the best QoS on Wi-Fi 802.11n. The parameters used are delay, jitter, throughput, and packet loss. The simulation is designed using five scenarios consisting of method A, method B, method C, method D and method E. The difference in each scenario lies in the size of the *data rate* and *packet size* used.

Based on the five methods produced, it can be concluded that the delay and throughput for each service are inversely proportional. This is because a large delay causes a small throughput. Based on method A, method B, method C, the best service that can be used is VoIP service with a value of 2,617 ms and throughput of 0,0075 Mbps. This is because VoIP services have the highest priority service level compared to other services. In the D mix service method, the best service that can be used is VoIP vs Data (web browsing) services with a delay of 2,644 ms and throughput of 0,0098 Mbps. Mix of services has a better performance than other services. In method E, the delay generated when using a channel is 6,933 ms and throughput is 0,0412 Mbps. This is because there is a reflection of the signal generated from the AP to the user which causes a large delay.

Keywords: WLAN, Access Point, Delay, Jitter, Throughput, Packet Loss

1. Pendahuluan

Total kenaikan pertumbuhan pengguna Kereta per tahun saat ini meningkat pesat. Kenaikan tersebut menunjukkan hampir 9,83% orang memanfaatkan transportasi Kereta Jakarta-Surabaya dan 16,18% orang memanfaatkan transportasi Pesawat Terbang Jakarta-Surabaya. Persentase tersebut menunjukkan Pesawat Terbang menjadi salah satu alat transportasi yang paling banyak diminati masyarakat. Namun, dari segi alokasi waktu, biaya, dan kegiatan selama diperjalanan menyebabkan penggunaan Kereta Cepat jauh lebih efektif dan efisien. Waktu selama di perjalanan dapat digunakan lebih produktif khususnya bagi yang membutuhkan layanan internet, Kereta Cepat sangat mendukung penggunaan tersebut. Kereta Cepat Jakarta-Surabaya mengimplementasikan penggunaan Wi-Fi standar IEEE 802.11n dengan perangkat *Access Point (AP) Cisco WAP 321 Wireless-N* [1]. Standar Wi-Fi tersebut menawarkan kemudahan dalam mengakses layanan internet seperti layanan VoIP, *video streaming*, dan data (*web browsing*). Trafik pada jaringan komunikasi menjadi permasalahan utama dalam lalu lintas layanan. QoS akan menjadi jaminan *user* untuk mendapatkan layanan yang dibutuhkan. Parameter QoS yang digunakan adalah *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss*. Hasil dari parameter tersebut akan menghasilkan jenis trafik yang memiliki QoS tinggi pada Wi-Fi 802.11n di gerbong Kereta Cepat Jakarta-Surabaya. Pengukuran dan analisis QoS disimulasikan pada *Network Simulator 3.26 (NS 3.26)*.

2. Dasar Teori

2.1 IEEE 802.11n

IEEE 802.11n adalah salah satu standar yang dipublikasikan pada Oktober 2009 menggunakan skema teknik modulasi *Orthogonal Frequency Divison Multiplexing (OFDM)*. Keunggulannya yaitu dapat memanfaatkan beberapa antena *wireless* untuk mengirimkan dan menerima data melalui antena *multiple input multiple output (MIMO)*, implementasi modulasi OFDM, teknik mendukung *Beaforming* dan *Diversity* [1]. Standar ini menggunakan *bandwidth* sebesar 20 MHz dengan *data rate* 300 Mbps. Teknik MIMO menyebabkan 802.11n dapat menggunakan 2 frekuensi radio yang beroperasi pada 2,4 GHz dan 5 GHz [2].

2.2 Access Point

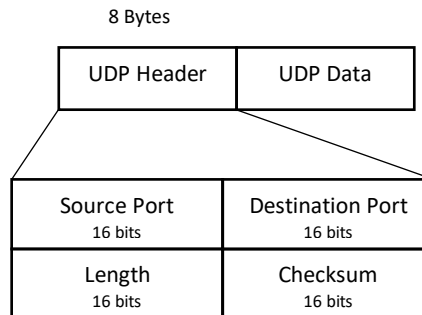


Gambar 1 Access Point.

Access point (AP) adalah sebuah perangkat dalam jaringan komputer yang dapat menciptakan jaringan lokal nirkabel atau *Wireless Local Area Network (WLAN)*. Fungsinya yaitu mengirim dan menerima data sebagai *buffer* data antara *wireless LAN* dan *wired LAN*. Suatu AP dapat terdiri dari satu atau beberapa antena, hal ini bergantung pada spesifikasi dan versi teknologi Wi-Fi yang digunakan. Antena pada AP memiliki pola radiasi memancar atau *omnidirectional/directional*. Pola pancar seperti ini sesuai untuk komunikasi *point to multipoint*. Biasanya AP hanya menyediakan konektivitas nirkabel saja dan menyediakan *link* koneksi kepada perangkat *user* yang bersifat *end devices* [3]. Jangkauan dan level daya sinyal yang diterima *user* dari suatu AP dipengaruhi oleh penempatan AP, struktur atau desain bangunan dimana AP tersebut berada, adanya perangkat lain yang berinterferensi dengan sinyal AP, cuaca, jenis antena yang digunakan dan *output* daya AP tersebut[4].

2.3 User Datagram Protocol (UDP)

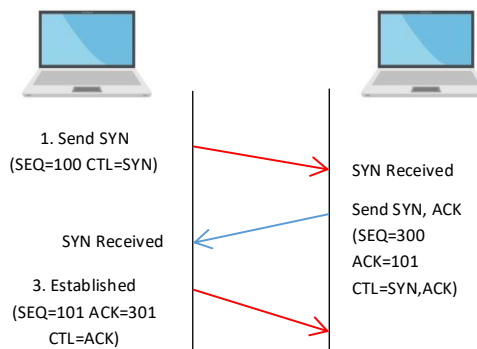
UDP adalah salah satu protokol dari 7 *layer* TCP/IP yang mendukung komunikasi *unreliable* atau jaminan data sampai kepada tujuan. Protokol ini dikenal dengan protokol *connectionless* dimana protokol ini tidak membutuhkan proses negoisasi atau mengetahui secara pasti antar node untuk bertukar informasi. Protokol ini dikenal juga *unreliable* atau dengan kata lain jaringan yang tidak menjamin data yang dikirimkan dari pengirim ke penerima [5]. Protokol UDP dapat melakukan transmisi *broadcast* karena protokol ini tidak membutuhkan koneksi terlebih dahulu dengan sebuah host tertentu dimana protokol yang ada pada *layer* aplikasi dapat mengirimkan paket data ke beberapa tujuan dengan menggunakan alamat *multicast* atau *broadcast*. Header UDP adalah 8 *byte* header yang tetap dan sederhana. 8 *bytes* pertama berisi semua informasi header yang diperlukan dan bagian yang tersisa terdiri dari data. Bidang nomor port UDP masing-masing panjangnya 16 bit, oleh karena itu rentang untuk nomor port ditentukan dari 0 hingga 65535, nomor port 0 dicadangkan. Nomor port membantu membedakan berbagai permintaan atau proses pengguna [6]. Gambar 2 menunjukkan *header* UDP.



Gambar 2 Header UDP.

2.4 Transmission Control Protocol

TCP merupakan protokol *connection oriented* yang berarti bahwa kedua komputer yang ikut serta dalam pertukaran data harus melakukan hubungan terlebih dahulu sebelum pertukaran data berlangsung [7]. TCP bekerja diatas IP yang tidak mempunyai layanan data terkirim. TCP menggunakan *header* sepanjang (20-60) *byte*, jika ditambah dengan *variable option*. Gambar 3 menunjukkan langkah *three way handshaking* pada protokol TCP.



Gambar 3 Three Way Handshaking [8].

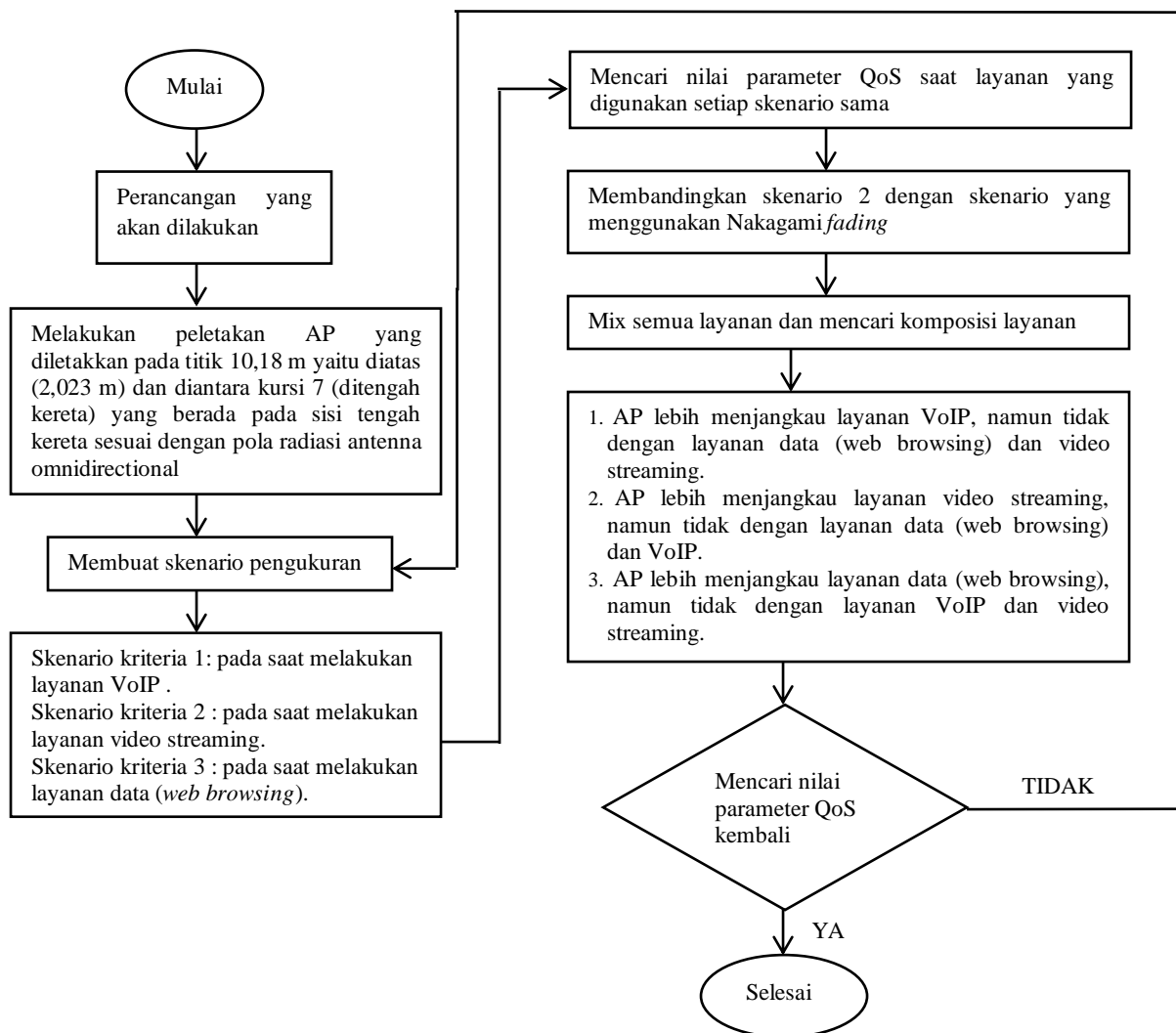
Pada TCP, komunikasi data antar host terjadi melalui proses sinkronisasi untuk membentuk *virtual connection* setiap *session* antar host. Proses sinkronisasi ini meyakinkan kedua sisi apakah sudah siap untuk mentransmisikan data atau tidak dan memberikan izin kepada *device* untuk menentukan inisial *sequence number*. Proses ini disebut *three way handshaking*. Untuk membentuk koneksi TCP, *client* harus menggunakan nomor port tertentu dari layanan yang ada pada server [9]. Langkah pada *three way handshaking* yaitu client mengirimkan paket sinkronisasi untuk inisialisasi koneksi. Paket dianggap valid jika nilai *sequence number* yang panjangnya 32 bit. Kemudian host lain yang menerima paket akan mencatat nilai *sequence number* dari *client* dan membalas dengan *acknowledgment (ACK flag set)*, setelah koneksi terbentuk, *ACK flag* diset untuk semua *segment*. Pada saat itu *client* akan meresponnya dengan *ACK number y+1* yang berarti menerima ACK sebelumnya dan mengakhiri proses koneksi untuk *session* ini [8].

2.4 Quality of Services

QoS adalah kinerja keseluruhan dari jaringan telepon atau komputer terutama kinerja dari pengguna jaringan. Mekanisme dari QoS ini memungkinkan perbedaan antara jenis trafik dengan alokasi sumber daya untuk *application traffic* yang harus dikirimkan dengan jaminan kinerja dari *loss* dan *delay*. Beberapa menggunakan QoS untuk menunjukkan mekanisme jaringan seperti manajemen *buffer* dan penjadwalan yang diperlukan untuk diferensiasi trafik. Penggunaan QoS untuk menunjukkan semua aspek layanan yang diobservasi pada *user* [9]. QoS pada *wireless* mempunyai 2 tujuan utama yaitu memaksimalkan pemakaian dari sumber *wireless* dan meminimalisir penggunaan energi [10]. Parameter QoS terdiri dari *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss*.

2.5 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara bertahap sesuai skenario yang telah dirancang agar memperoleh hasil analisis yang diinginkan. Tahapan pengerjaan penelitian digambarkan sesuai diagram alir pada Gambar 4 dan hasil yang diperoleh yaitu pengukuran QoS pada layanan VoIP, video streaming dan data (*web browsing*).



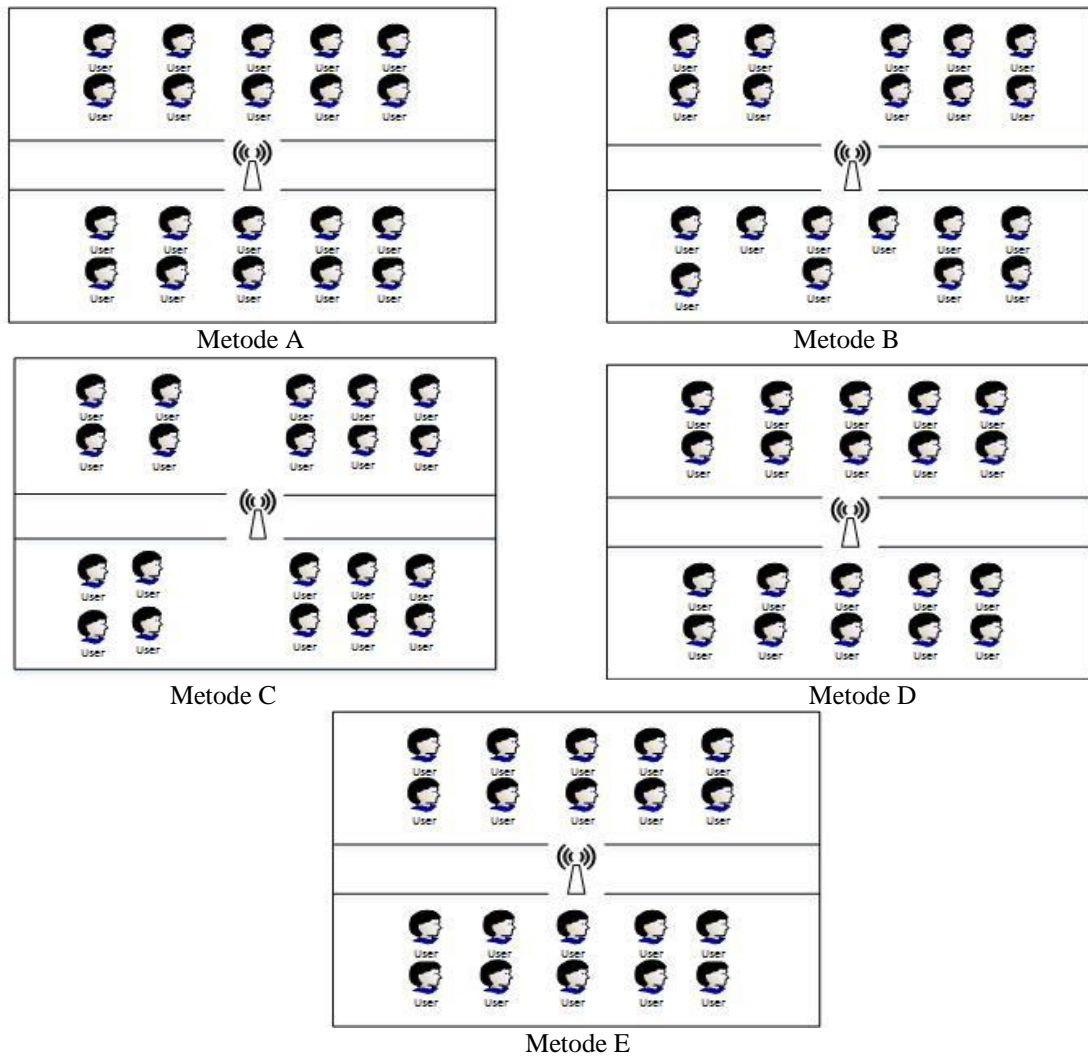
Gambar 4 Diagram Alir Penelitian Sistem.

2.5 Skenario Penelitian

Eksperimen yang dirancang dari penelitian ini yaitu pengukuran hasil QoS pada setiap skenario yang telah dirancang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Network Simulator 3.26* (NS 3.26). Skenario yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 dilakukan simulasi pada skenario yang telah dirancang. Sistem perancangan terdiri dari 5 metode yaitu metode A, metode B, metode C, metode D, dan metode E. Skenario yang disimulasikan adalah

1. Metode A, dimana AP diletakkan di tengah gerbong dan *user* akan mengakses layanan internet. Pada metode A, *user* hanya mengakses satu jenis layanan yaitu layanan VoIP.
2. Metode B, dimana AP diletakkan di tengah gerbong dan *user* akan mengakses layanan internet. Pada metode B, *user* hanya mengakses satu jenis layanan yaitu layanan *video streaming*.
3. Metode C, dimana AP diletakkan di tengah gerbong dan *user* akan mengakses layanan internet. Pada metode C, *user* hanya mengakses satu jenis layanan yaitu layanan data (*web browsing*).
4. Metode D, adalah kondisi normal dimana dilakukan *mix* layanan yang terbagi menjadi layanan VoIP vs layanan data (*web browsing*), layanan VoIP vs layanan *video streaming*, dan layanan data (*web browsing*) vs layanan *video streaming*.
5. Metode E, adalah kondisi dimana terdapat pantulan sinyal yang dihasilkan dari AP ke *user* saat mengakses layanan pada gerbong kereta. Metode ini menggunakan model propagasi Nakagami. Model propagasi Nakagami merupakan jenis propagasi yang terdapat pada NS 3.26 yang dapat mensimulasikan terjadinya pantulan. Metode ini hanya disimulasikan berdasarkan satu jenis layanan.



Gambar 5 Skenario Simulasi.

Perancangan ini menjadi dasar untuk menghasilkan komposisi trafik yang terbaik dari hasil pengukuran. Parameter pengukuran terdiri dari *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss*. Besar ukuran *data rate* dan *packet size* pada setiap layanan berbeda-beda sehingga akan menentukan layanan terbaik yang dapat digunakan pada Kereta Cepat Jakarta-Surabaya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh QoS pada metode A, B, dan C

Tabel 1. Data QoS metode A, B, C.

Metode	Data Rate (kbps)	Payload Size	Rata-rata			
			Delay (ms)	Jitter (ms)	Throughput (Mbps)	Packet Loss (%)
Metode A (VoIP)	64	160	2,617	1,628	0,0075	0
		320	2,869	1,773	0,0069	0
Metode B (Video Streaming)	384	200	3,025	1,878	0,0436	0
		400	5,746	3,166	0,0412	0
Metode C (Data-web browsing)	80	100	2,671	1,827	0,0121	0
		200	2,950	2,016	0,0100	0

Tabel 1 merupakan tabel hasil pengukuran QoS pada metode A, B, dan C. Hasil tersebut menunjukkan perbandingan hasil pengukuran setiap layanan dengan *data rate* dan *packet size* yang berbeda. Perbandingan hasil pengukuran *delay* pada setiap layanan menunjukkan *delay* yang didapatkan akan semakin meningkat ketika ukuran *packet size* diperbesar. Kenaikan jumlah paket menyebabkan *delay* pada jaringan akan berbanding lurus.

Hal ini disebabkan oleh utilisasi jaringan yang tinggi menyebabkan antrian menjadi bertambah serta terdapat pengaruh penyempitan *bandwidth* pada saluran transmisi yang mengakibatkan trafik pengiriman data akan padat. Parameter variasi *delay* merupakan *jitter*. Hasil pengukuran *delay* pada layanan tersebut mempengaruhi hasil *jitter*. Hal ini disebabkan *jitter* berisi jumlah dari semua variasi *delay* untuk semua paket yang diterima dari jaringan. Tabel 1 juga menunjukkan hasil pengukuran *throughput* pada setiap layanan. *Throughput* merupakan jumlah paket yang sukses diterima dalam satuan detik. Ketika jaringan yang dilewatkan paket semakin banyak jumlah paket dalam satuan waktu akan berkurang dan menyebabkan *throughput* akan menurun. Perbandingan hasil pengukuran *throughput* pada jaringan menunjukkan *throughput* semakin meningkat ketika *packet size* yang diberikan kecil. Namun, perbandingan ukuran *packet size* tidak mempengaruhi kinerja *throughput*. Hal ini disebabkan *throughput* hanya berpengaruh pada ukuran *data rate*. Semakin besar ukuran *data rate* maka kinerja *throughput* juga akan semakin meningkat. Tabel tersebut juga menunjukkan hasil pengukuran *packet loss*. Hasil yang diterima pada setiap layanan menunjukkan perbandingan hasil yang sama yaitu sebesar 0%. Hal ini menunjukkan keandalan jaringan yang baik antara kedua paket yang berbeda. *Packet loss* dipengaruhi oleh keadaan *link* serta banyaknya paket yang harus dilewatkan pada jaringan yang menyebabkan kongesti pada jaringan. Pada setiap layanan tersebut menunjukkan paket yang hilang tidak ada disebabkan jumlah *user* yang diberikan pada setiap layanan sesuai dengan [11].

Tabel 2. Data QoS metode D.

Metode	Jenis Layanan	Rata-rata			
		Delay (ms)	Jitter (ms)	Throughput (Mbps)	Packet Loss (%)
Metode D (Mix Layanan)	VoIP vs Data (<i>web browsing</i>)	2,644	1,727	0,0098	0
	VoIP vs V. Streaming	2,821	1,753	0,0255	0
	V.Streaming vs Data (<i>web browsing</i>)	2,848	1,852	0,0278	0

Tabel 2 merupakan tabel simulasi hasil *mix* layanan. Pada tiap layanan dilakukan pembagian total jumlah *user*. Pembagian tersebut dibagi menjadi setengah dari 20 jumlah *user* pada tiap layanan[11]. Data QoS metode D menunjukkan bahwa pada layanan VoIP vs data (*web browsing*) dan *video streaming* vs data (*web browsing*) menggunakan dua jenis protokol yang berbeda. Protokol yang digunakan yaitu protokol UDP dan TCP/IP. Hasil perbandingan *packet size* menggunakan dua protokol berbeda menunjukkan semakin besar perbandingan ukuran *packet size* maka *delay* yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini karena cara kerja protokol TCP/IP jauh lebih kompleks dibandingkan layanan UDP. Layanan TCP/IP harus melalui proses *three way handshaking* yang cukup lama. Cara kerja ini menyebabkan *delay* pada layanan yang menggunakan dua jenis protokol yang berbeda lebih besar dibandingkan dengan layanan yang menggunakan protokol yang sama (layanan VoIP vs *video streaming*). Hasil tersebut dapat dilihat pada layanan *video streaming* vs data (*web browsing*) yang memiliki perbandingan ukuran *packet size* terbesar dengan *delay* sebesar 2,848 ms. Tabel 2 juga menunjukkan hasil pengukuran *throughput* pada layanan VoIP vs Data (*web browsing*) yang menunjukkan layanan tersebut memiliki *throughput* terkecil dibandingkan antara layanan lainnya. Perbandingan hasil pengukuran *throughput* antar layanan menunjukkan semakin besar perbandingan ukuran *data rate* maka *throughput* yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini disebabkan ukuran perbandingan *data rate* mempengaruhi hasil pengukuran QoS pada layanan tersebut. Nilai *throughput* dipengaruhi oleh ukuran *data rate*. Semakin besar *data rate* yang tersedia maka kualitas jaringan yang diberikan juga akan semakin baik. Hal ini disebabkan *throughput* lebih menggambarkan *bandwidth* yang sebenarnya (aktual) pada kondisi jaringan tertentu. Perbandingan ukuran layanan merupakan pengaruh besar dari kualitas layanan yang dihasilkan.

Tabel 3. Perbandingan data QoS metode E.

Metode	Rata-rata			
	Delay (ms)	Jitter (ms)	Throughput (Mbps)	Packet Loss (%)
Metode E (tanpa kanal)	3,025	1,878	0,0436	0
Metode E (menggunakan kanal)	6,933	3,531	0,0412	0

Tabel 3 merupakan tabel hasil perbandingan data QoS tanpa kanal dan menggunakan kanal. Layanan yang menggunakan kanal merupakan layanan yang menggunakan Rician *fading*. Rician *fading* terjadi saat keadaan LOS dan NLOS. Pada dasarnya saat keadaan NLOS Rician *fading* berubah menjadi Rayleigh *fading*. Namun, pada simulasi tidak memiliki model Rayleigh *fading* sehingga digunakan Nakagami model. Nakagami model memiliki persamaan numerik dimana ketika $m=1$, persamaan tersebut berubah menjadi persamaan Rayleigh *fading*. Nakagami model merupakan jenis propagasi *loss* yang menunjukkan adanya redaman dan pantulan yang mempengaruhi perambatan gelombang. Hal ini disebabkan kanal mempunyai *loss propagation* yang menyebabkan pelemahan yang dialami gelombang elektromagnetik ketika merambat dari AP ke *user*.

Adanya pemantulan dari beberapa objek dan pergerakan *user* menyebabkan sinyal yang diterima oleh *user* bervariasi dan menyebabkan *path loss*. *Path loss* adalah pengurangan rapat daya gelombang elektromagnetik karena merambat melalui ruang. *Path loss* membatasi kinerja sistem komunikasi bergerak. Hal ini menyebabkan *delay* pada layanan yang menggunakan kanal memiliki kinerja yang buruk dibandingkan layanan yang tidak menggunakan kanal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis diatas dapat disimpulkan bahwa:

1. *Delay* rata-rata terbaik pada layanan komunikasi penumpang menggunakan WLAN 802.11n berdasarkan metode A, B, C yaitu sebesar 2,617 ms. Layanan tersebut merupakan layanan VoIP.
2. *Throughput* rata-rata terbaik pada layanan komunikasi penumpang menggunakan WLAN 802.11n berdasarkan metode A, B, C yaitu sebesar 0,0436 Mbps. Layanan tersebut merupakan layanan *video streaming*.
3. *Delay* rata-rata terbaik pada layanan komunikasi penumpang menggunakan WLAN 802.11n berdasarkan metode D yaitu sebesar 2,644 ms. Layanan tersebut merupakan layanan VoIP vs Data (*web browsing*).
4. *Throughput* rata-rata terbaik pada layanan komunikasi penumpang menggunakan WLAN 802.11n berdasarkan metode D yaitu sebesar 0,0278 Mbps. Layanan tersebut merupakan layanan *Video Streaming* vs Data (*web browsing*).
5. *Delay* yang dihasilkan pada layanan komunikasi penumpang menggunakan WLAN 802.11n berdasarkan metode E yaitu sebesar 6,933 ms dan *throughput* sebesar 0,0412 Mbps.
6. Hasil pengukuran menggunakan metode A, B, C dan D tidak menghasilkan *packet loss*. Hal ini disebabkan *user* yang diberikan sesuai dengan jumlah *user* yang dapat diterima oleh AP.

Daftar Pustaka:

- [1] Ian Poole. "IEEE 802.11n Standard", [Online]. Tersedia: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>. [Diakses 20 Desember 2018].
- [2] R.B.M Abdelrahman, A.B.A Mustafa, and A.A Osman. "A comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards", International Journal on Future Revolution in Computer Engineering, vol.17, issue 5, 2015.
- [3] Ligowave. "Difference between Access Point and Router. [Online] <https://www.ligowave.com/difference-between-access-point-and-router>. [Diakses 30 Februari 2019].
- [4] <https://www.adsdigital.co.uk/blog/wireless-access-point-work>. [Diakses 29 Oktober 2018].
- [5] Learn User Datagram Protocol. 2018. "User Datagram Protocol System in Computer Networking". [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol. [Diakses tanggal 20 Februari 2018].
- [6] <https://www.geeksforgeeks.org/computer-network-user-datagram-protocol-udp/>. [Diakses 29 Oktober 2018].
- [7] Internet Protocol Suite *theory*. [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite. [Diakses tanggal 20 Februari 2018].
- [8] V.R. Fransiska, "Analisis Multipath TCP dengan Openflow Berbasis Software Defined Network (SDN)," Telkom University, Mei 2018.
- [9] A.M, Osama. "Wireless Local Area Networks Quality of Service: An Engineering Perspective", International Journal on Future Revolution in Engineering Perspective, 2011.
- [10] N. Prasad. "802.11 WLANs and IP Networking: Security, QoS, and Mobility", Hardcover Universal Personal Communications, 2005.
- [11] A.P. Pratama, "Analisis Packet Loss Pada WLAN 802.11n QoS Mode Basic Service Set Berbasis." Tugas Akhir, Telkom University, Desember 2017.