

Analisis Quality of Service Jaringan Long Term Evolution pada Mode Frequency Division Duplexing di Kota Semarang

Annisa Rossy Rahmatika¹, Sukiswo Sukiswo², Eko Didik Widiyanto^{1*}

^{1,3}Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis Quality of Service (QoS) jaringan telekomunikasi Long Term Evolution (LTE) Frequency Division Duplexing (FDD) di daerah kota dan sub-urban di Kota Semarang. Penelitian melakukan pengamatan terhadap kualitas jaringan telekomunikasi LTE FDD dari segi responsivitas jaringan atau ping, packet loss, delay dan throughput pada layanan upload dan download dari sisi pengalaman pengguna berdasarkan variasi jarak dari eNodeB. Pengamatan kualitas dilakukan terhadap QoS jaringan telekomunikasi LTE FDD menggunakan aplikasi Axence NetTools dan Oakla Speed Test pada jam sibuk di masing-masing eNodeB. Hasil penelitian disajikan berdasarkan variasi jarak dan menunjukkan kualitas packet loss dan delay tergolong sangat baik berdasarkan ITU-T G.114, yaitu berturut-turut di bawah 3% dan 150 milidetik. Pengujian ping tergolong baik berdasarkan ketentuan control plane LTE, yaitu 50 milidetik di tiap titik. Throughput layanan adalah antara 16,98-19,01 Mbps untuk upload dan 17,34 – 23.29 Mbps untuk download.

Kata kunci: QoS; LTE FDD; Axence netTools; packet loss; delay; throughput

Abstract

[Quality of Service Analysis of Long Term Evolution Network in Frequency Division Duplexing Mode in Semarang City] The study aims to analyze the Quality of Service (QoS) of Long Term Evolution Frequency Division Duplexing (LTE FDD) telecommunication network in urban and sub-urban in Semarang city. This study observed the quality of the LTE FDD in terms of network responsiveness or ping, packet loss, delay, and throughput on upload and download from the user's experience based on eNodeB length variation. Quality observations were carried out on the QoS of the LTE FDD telecommunications network using the Axence NetTools and Oakla Speed Test applications during busy hours at each eNodeB. The results were presented based on variations in distance and showed the quality of packet loss and delay classified as very good based on ITU-T G.114, which is respectively less than 3% and 150 milliseconds. Ping testing was classified as good based on the LTE control plane, which is less than 50 milliseconds at each point. Service throughput was between 16.98-19.01 Mbps for uploads and 17.34 - 23.29 Mbps for download.

Keywords: QoS; LTE FDD; Axence netTools; packet loss; delay; throughput

1. Pendahuluan

Infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dimanfaatkan selain untuk komunikasi suara juga untuk komunikasi data berbasis protokol Internet (IP). Beragam aplikasi dan layanan data dan multimedia

dapat dinikmati oleh pengguna, antara lain *m-learning*, *m-banking*, *m-shopping*, media sosial serta kebutuhan mengunggah dan mengunduh beragam jenis file (Wibisono & Hantoro, 2008). Kualitas dari sebuah jaringan yang menghantarkan layanan tersebut dapat diketahui menggunakan QoS yang disajikan dalam bentuk parameter-parameter untuk beragam kebutuhan layanan dalam jaringan (Yonathan, Bandung, & Langi, 2011). Penyedia layanan data berusaha menyiapkan dan

^{*)} Penulis Korespondensi.

E-mail: didik@live.undip.ac.id

menerapkan teknologi terbaru dalam menghadirkan jaringan akses yang lebih handal, salah satunya adalah *Long Term Evolution* (LTE) (Ariyanti, 2015a).

LTE, yang merupakan teknologi telekomunikasi 4G berbasis IP penuh, dibangun dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi, peningkatan layanan, pemanfaatan spektrum lain dan integrasi yang lebih baik (Fauzi, Harly, & Hanrais, 2012). LTE menggunakan OFDMA untuk *downlink* dan SC-FDMA untuk *uplink* serta menentukan persyaratan kecepatan hingga 1 Gbps untuk mobilitas rendah dan 100 Mbps untuk mobilitas tinggi. Basit (2009) mendapatkan throughput per cell untuk daerah urban sebesar 29,23 Mbps, suburban sebesar 25,43 Mbps dan rural sebesar 19,89 Mbps dengan jangkauan urban 1 km, suburban 1,5 km dan rural sebesar 2 km.

LTE mendukung teknologi *Frequency Division Duplexing* (FDD) dan *Time Division Duplexing* (TDD). FDD menggunakan dua frekuensi berbeda untuk melakukan komunikasi dua arah dan lebih unggul dalam menangani *latency* dibandingkan TDD yang menggunakan frekuensi tunggal untuk semua kanal (Usman, 2012). Namun, TDD mempunyai performansi lebih baik terhadap variasi kecepatan pergerakan pengguna untuk layanan *streaming* video dalam menangani *delay* dan *jitter* dibandingkan FDD (Widayat, Irawati, & Wibowo, 2012).

Beberapa penelitian tentang QoS di jaringan LTE telah dilakukan. Wulandari dkk. (2011) menganalisis performansi *streaming* video pada jaringan LTE TDD. Untuk panjang paket data yang sama, semakin besar jarak dan faktor utilitas antara eNodeB dengan UE, maka semakin besar nilai *delay end-to-end* dan probabilitas hilang paket yang dihasilkan. Perbandingan QoS dalam simulasi *handover* di jaringan LTE untuk aplikasi pengguna antara penjelajahan web dan *streaming* video dilakukan oleh Said dkk. (2016) yang menunjukkan bahwa kualitas layanan penjelajah web jauh lebih baik dibandingkan dengan video *streaming*.

Lebih lanjut, Dilasari dkk. (2017) menyatakan bahwa kualitas layanan LTE berbanding terbalik terhadap kecepatan pengguna, jarak antar eNodeB, dan banyak pengguna. Demikian juga, Purba & Manurung (2018) melakukan analisis kualitas internet teknologi LTE meliputi *bandwidth*, *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Analisis migrasi jaringan 3G menuju LTE telah

dilakukan oleh Hidayanti dkk. (2017) dan menunjukkan ada kenaikan *throughput* rata-rata.

Perencanaan jaringan LTE untuk menghitung jumlah situs eNodeB yang dibutuhkan dalam menggelar jaringan LTE dengan acuan throughput 500 kbps (*uplink*) dan 1 Mbps (*downlink*) berdasarkan perencanaan jangkauan dan kapasitas dilakukan oleh Ariyanti (2015b). Perencanaan kapasitas layanan dalam satu sel untuk throughput jaringan dan situs MAC dilakukan oleh Wijaya, Usman, & Vidyaningtyas (2018). Optimasi jaringan 4G LTE TDD, terutama untuk Area Asia Afrika Bandung, dilakukan oleh Rahayu dkk. (2018).

Analisis QoS di Kota Semarang telah dilakukan untuk jaringan HSDPA (Simanjuntak, Nurhayati, & Widiyanto, 2016), yaitu meliputi parameter *throughput*, *packet loss* dan *delay* selama 4 minggu. Standar QoS yang digunakan adalah TIPHON (European Telecommunications Standards Institute, 1999). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan observasi dan analisis QoS jaringan LTE FDD dengan parameter responsivitas jaringan atau *ping*, *packet loss* dan *delay* dan *throughput* pada layanan *upload* dan *download*. Analisis kualitas dilakukan untuk tiga eNodeB di Kota Semarang (suburban dan urban) dengan tiga titik observasi yang jaraknya bervariasi.

2. Metode Penelitian

Penelitian analisis QoS LTE FDD di Kota Semarang ini menggunakan metode kualitatif observatif nonpartisipatif, yaitu dengan membandingkan setiap parameter QoS terhadap jarak yang divariasikan dari eNodeB. Kualitas layanan jaringan LTE FDD dengan pengukuran parameter dilakukan pada jam sibuk untuk tiga buah eNodeB, yaitu yang berlokasi di Jalan Prof H. Soedarto SH Tembalang (eNodeB 1), Jalan Pahlawan (eNodeB 2) dan Jalan Pemuda (eNodeB 3). Daerah eNodeB 1 yang terletak di kecamatan Tembalang melayani pelanggan suburban, sedangkan eNodeB 2 dan eNodeB 3 daerah urban (Ismiyati & Soetomo, 2017).

Observasi dilakukan dengan metode jam sibuk *Time Consistent Busy Hour* (TCBH) dan *Average Daily Peak Hour* (ADPH) seperti yang dilakukan oleh Wahyudi dkk. (2013). Tabel 1 menunjukkan standarisasi *packet loss* dan *delay* menurut ITU-T G.114 yang digunakan dalam pengukuran QoS. Persamaan 1-4

Tabel 1. Standarisasi *packet loss* dan *delay* menurut ITU-T G.114

No	Kategori <i>Packet loss</i>	<i>Packet loss</i>	<i>Delay</i> (ms)	Indeks
1	Sangat baik	0-2%	<150	4
2	Baik	3-14%	150 s/d 300	3
3	Sedang	15-24%	300 s/d 450	2
4	Jelek	≥25%	>450 ms	1

Sumber: ITU-T G.114 (2003)

digunakan dalam perhitungan *packet loss* dan *delay*. P_L menunjukkan *packet loss*, nP_t jumlah paket dikirim dan nP_r menunjukkan paket yang diterima. Parameter t_{tot} menunjukkan *delay total*, t_{ps} *delay proses*, t_{tr} *delay transmisi*, t_{pr} *delay propagasi*, N_{data} besar data, B *bandwidth*, d jarak dan v menunjukkan kecepatan sinyal.

$$P_L(\%) = \frac{nP_t - nP_r}{nP_t} \times 100\% \quad (1)$$

$$t_{tot}(ms) = t_{ps} + t_{tr} + t_{pr} \quad (2)$$

$$t_{tr}(ms) = \frac{N_{data}}{B} \quad (3)$$

$$t_{pr}(ms) = \frac{d}{v} \quad (4)$$

Observasi dilakukan selama 4 minggu dengan menggunakan sebuah penyedia layanan dengan pengguna terbanyak. Pengumpulan data dari eNodeB 1 dengan Cell ID 196088 dilakukan pada pukul 11.30-12.30 menggunakan metode jam sibuk TCBH, eNodeB 2 dengan Cell ID 196253 dilakukan pada pukul 16.30-17.30 dengan metode TCBH. Pengumpulan data dari eNodeB 3 dengan Cell ID 196260 dilakukan pada pukul 20.30-21.30 dengan metode ADPH. Pengumpulan data *ping*, *bandwidth*, *packet loss*, dan *delay* dilakukan dengan pengamatan selama satu jam atau sebanyak 10 kali setiap titik dengan hasil akhir adalah rata-rata dari lima hasil terbaik. Data yang dikumpulkan adalah berupa data cuplik dengan menggunakan metode penarikan *nonprobability sampling*, yaitu penarikan bersifat subjektif dan setiap elemen populasi tidak memiliki peluang yang sama untuk dipilih sebagai sampel.

Dalam penelitian ini, variabel independen (bebas) yang digunakan adalah waktu dan jarak dari titik acuan (eNodeB). Variabel dependen (terikat) yang digunakan adalah *throughput*, *packet loss*, *delay* dan *ping*. Variasi jarak dari tiap titik acuan eNodeB saat pengukuran dinyatakan sebagai titik a dengan jarak $\pm 0m$, titik b dengan jarak $\pm 250m$ dan titik c dengan jarak $\pm 500m$.

Parameter yang diukur adalah responsivitas jaringan, *throughput*, paket hilang dan waktu tunda untuk layanan *upload* dan *download*. Hasil pengukuran *ping* dibandingkan dengan standar *control plane* LTE. Pengukuran *bandwidth upload* dan *download* dibandingkan dengan standar *International Mobile Telecommunications Advanced* (IMT-Advanced) sesuai (ITU, 2008). Pengukuran paket hilang dan waktu tunda dibandingkan dengan standar ITU-T G.114.

Responsivitas jaringan didapatkan dari nilai *ping* menggunakan aplikasi Oakla Speed Test dari semua eNodeB dan dinyatakan dalam milidetik (ms). Aplikasi ini juga digunakan untuk mendapatkan nilai parameter *throughput* saat *upload* dan *download* dari semua eNodeB yang dinyatakan dalam Mbps. Pengukuran

paket hilang paket dan waktu tunda dari semua eNodeB dilakukan dengan menggunakan aplikasi pemantau Axence NetTools 5.0. Nilai paket hilang dinyatakan dalam persen (%) dan nilai waktu tunda dinyatakan dalam satuan milidetik (ms).

3. Hasil dan Pembahasan

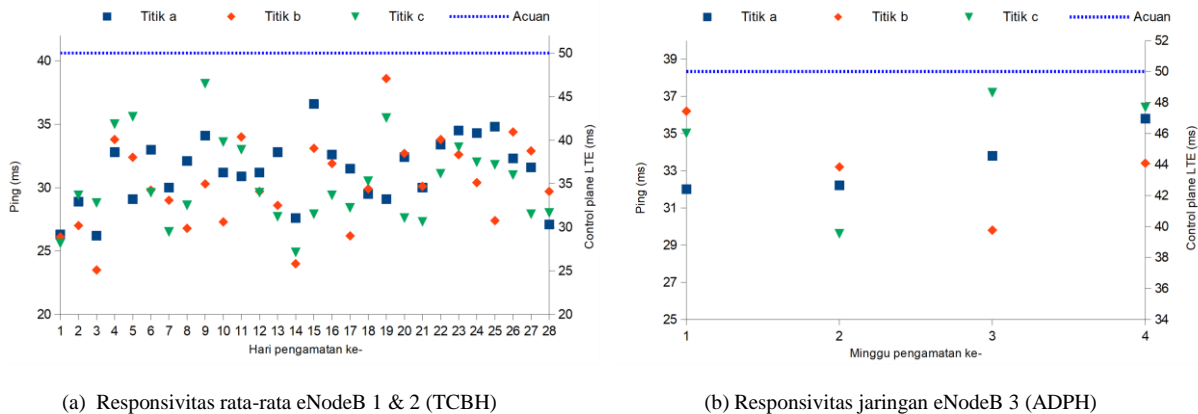
Penelitian ini melakukan pengukuran dan analisis QoS jaringan LTE FDD di Kota Semarang dengan parameter responsivitas jaringan dengan *ping* (*Packet Internet Gropher*), *packet loss*, waktu tunda (*delay*), dan *throughput* untuk layanan *upload* dan *download*. Pengukuran dilakukan dari 3 titik dengan variasi jarak dari acuan 3 titik eNodeB.

A. Responsivitas Jaringan

Pengukuran responsivitas jaringan LTE FDD di Kota Semarang dilakukan mulai tanggal 11 Juli 2016 sampai dengan 7 Agustus 2016. Pengukuran di eNodeB 1 dan eNodeB 2 dilakukan dengan metode jam sibuk TCBH, sedangkan di eNodeB 3 menggunakan metode ADPH. Nilai *ping* dinyatakan dalam satuan *millisecond* (ms). Standar QoS *ping* LTE adalah sebesar 50 ms untuk aplikasi *real-time* dan percakapan (European Telecommunications Standards Institute, 2009).

Data pengukuran responsivitas eNodeB 1 dan eNodeB 2 dirata-ratakan untuk menyatakan pengukuran dengan metode jam sibuk TCBH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1(a). Rata-rata *ping* terbesar pada titik a yaitu ada di tanggal 25 Juli 2016 awal minggu ketiga sebesar 36.6 ms dan terkecil 11 Juli 2016 awal minggu pertama sebesar 26.2 ms. Pada titik b, nilai terbesar pada tanggal 29 Juli 2016 dengan nilai sebesar 38.6 ms dan terkecil pada 13 Juli 2016 sebesar 23.5 ms. Pada titik c, nilai terbesar pada tanggal 19 Juli 2016 sebesar 38.2 ms dan terkecil tanggal 24 Juli 2016 sebesar 24.9 ms. Hasil keseluruhan yang didapat dari rata-rata eNodeB 1 dan eNodeB 2 yaitu titik a sebesar 31.3 ms, titik b sebesar 30.2 ms, dan titik c sebesar 30.3 ms.

Pengujian *ping* dari eNodeB 3 yang berada di Jalan Pemuda dilakukan dengan menggunakan metode ADPH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1(b). Rata-rata *ping* terbesar pada titik a yaitu tanggal 6 Juli 2016 sebesar 35.8 ms dan *ping* terkecil ada di tanggal 16 Juli sebesar 32 ms. Pada titik b, nilai terbesar pada tanggal 16 Juli 2016 sebesar 36.2 ms dan nilai terkecil tanggal 30 Juli 2016 sebesar 29.8 ms. Pada titik c, nilai terbesar tanggal 30 Juli 2016 dengan nilai sebesar 37.2 ms dan terkecil di tanggal 23 Juli 2016 sebesar 29.6 ms. Hasil keseluruhan responsivitas eNodeB 3 yang didapat di masing masing titik yaitu titik a sebesar 33.5 ms, titik b sebesar 33.2 ms, dan titik c sebesar 34.6 ms.



Gambar 1. Hasil pengujian ping dengan metode TCBH dan ADPH

Rekapitulasi hasil pengukuran ping dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan standar LTE dalam control plane signaling message, nilai ping pada LTE berada di bawah 50 ms (European Telecommunications Standards Institute, 2009). Hasil yang telah didapatkan tersebut menunjukkan bahwa nilai responsif jaringan semua jaringan telah memenuhi kebutuhan dasar LTE.

B. Throughput Upload

Pengukuran throughput upload telekomunikasi LTE FDD di Kota Semarang dilakukan mulai tanggal 11 Juli 2016 sampai dengan 7 Agustus 2016. Pengukuran di eNodeB 1 dan eNodeB 2 dilakukan dengan metode jam sibuk TCBH, sedangkan di eNodeB 3 menggunakan metode ADPH. Nilai throughput upload dinyatakan dalam satuan Mbps. Throughput upload yang dijadikan acuan adalah berdasarkan International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), yaitu throughput puncak sebesar 50 Mbps (ITU, 2008).

Data pengukuran throughput upload eNodeB 1 dan eNodeB 2 dirata-ratakan untuk menyatakan pengukuran dengan metode jam sibuk TCBH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2(a). Rata-rata throughput upload terbesar pada titik a tanggal 13 Juli 2016 sebesar 21.19 Mbps dan terkecil di tanggal 2 Agustus 2016 sebesar 13.76 Mbps. Pada titik b, nilai terbesar berada di tanggal 31 Juli 2016 sebesar 20.40 Mbps dan terkecil tanggal 22 Juli 2016 sebesar 14.87 Mbps. Pada titik c, nilai terbesar pada tanggal 30 Juli 2016 sebesar 20.39

Mbps dan terkecil tanggal 23 Juli 2016 sebesar 10.51 Mbps. Hasil keseluruhan yang didapat dari rata-rata eNodeB 1 dan eNodeB 2 titik a sebesar 19.06 Mbps, titik b sebesar 18.05 Mbps dan titik c sebesar 16.98 Mbps.

Hasil pengukuran throughput upload pada eNodeB 3 yang berada di Jalan Pemuda diperoleh menggunakan metode ADPH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2(b). Pada titik a, nilai throughput upload terbesar berada di tanggal 16 Juli 2016 sebesar 20.68 Mbps dan terkecil tanggal 23 Juli 2016 sebesar 18.25 Mbps. Pada titik b, nilai terbesar tanggal 6 Juli 2016 sebesar 19.71 Mbps dan terkecil tanggal 30 Juli 2016 sebesar 18.69 Mbps. Pada titik c, nilai terbesar tanggal 30 Juli 2016 sebesar 20.75 Mbps dan terkecil tanggal 16 Juli 2016 sebesar 13.67 Mbps. Hasil keseluruhan pengukuran rata-rata nilai throughput upload pada eNodeB 3 nilai terbesar yaitu di titik a sebesar 19.42 Mbps, titik b 19.30 Mbps dan titik c sebesar 18.20 Mbps.

Rekapitulasi hasil pengukuran throughput upload untuk jam sibuk TCBH dan ADPH dinyatakan pada Tabel 3. Throughput tersebut dibandingkan dengan throughput puncak sesuai IMT-Advanced sebesar 50 Mbps (ITU, 2008). Throughput upload yang dihasilkan dari semua eNodeB pada jam sibuk TCBH dan ADPH kurang dari throughput upload puncak yang dapat diperoleh LTE sesuai IMT-Advanced.

Tabel 2. Rekapitulasi rata-rata hasil pengukuran ping

Titik	Ping (ms)						Control Plane (< 50ms)
	Jam Sibuk TCBH			Jam Sibuk ADPH			
	Min	Maks	Rata-ata	Min	Maks	Rata-rata	
±0m (a)	26.2	36.6	31.3	32.0	35.8	33.5	Memenuhi
±250m (b)	23.5	38.6	30.2	29.8	36.2	33.2	Memenuhi
±500m (c)	24.9	38.2	30.3	29.6	37.2	34.6	Memenuhi

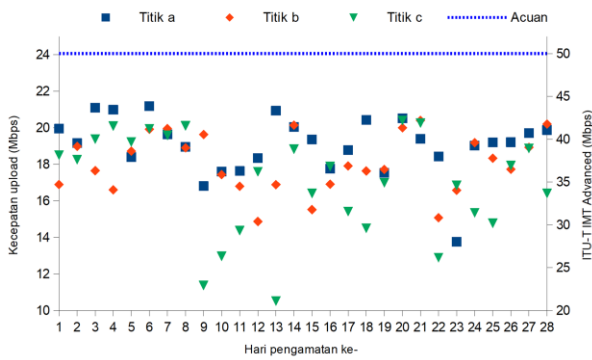
C. Throughput Download

Pengukuran *throughput download* telekomunikasi LTE FDD di Kota Semarang dilakukan mulai tanggal 11 Juli 2016 sampai dengan 7 Agustus 2016. Pengukuran di eNodeB 1 dan eNodeB 2 dilakukan dengan metode jam sibuk TCBH, sedangkan di eNodeB 3 menggunakan metode ADPH. Nilai *throughput download* dinyatakan dalam satuan Mbps. *Throughput* upload yang dijadikan acuan adalah berdasarkan IMT-Advanced, yaitu *throughput download* puncak sebesar 100 Mbps (ITU, 2008). Hasil pengukuran *throughput download* pada eNodeB 1 dan eNodeB 2 dinyatakan dalam Lampiran Gambar 3(a) dan Gambar 3(b).

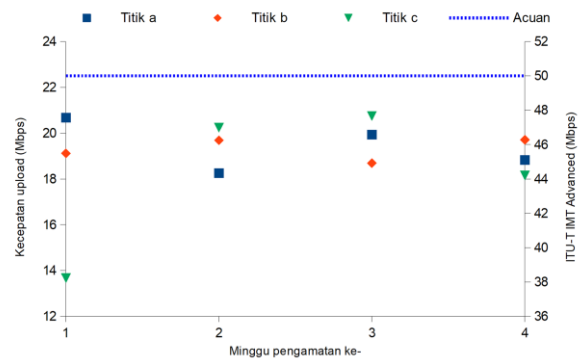
Hasil pengukuran *throughput download* pada eNodeB 1 dan eNodeB 2 dirata-ratakan untuk menyatakan pengukuran dengan metode jam sibuk TCBH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3(a). Rata-rata *throughput download* terbesar pada titik a yaitu ada di tanggal 13 Juli 2016 sebesar 36.59 Mbps dan terkecil di tanggal 22 Juli 2016 sebesar 17.90 Mbps. Pada titik b, nilai terbesar berada di tanggal 11 Juli 2016 sebesar 24.14 Mbps dan terkecil tanggal 22 Juli 2016 sebesar 14.34 Mbps. Pada titik c, nilai terbesar pada tanggal 15 Juli 2016 sebesar 21.50 Mbps dan terkecil tanggal 21 Juli 2016 sebesar 12.80 Mbps. Hasil keseluruhan yang didapat dari rata-rata eNodeB 1 dan eNodeB 2, nilai

Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengukuran *throughput upload*

Titik	Throughput Upload (Mbps)						IMT-Advanced (50 Mpbps)
	Jam Sibuk TCBH			Jam Sibuk ADPH			
	Min	Maks	Rata-rata	Min	Maks	Rata-rata	
±0m (a)	13.76	21.19	19.06	18.25	20.68	19.42	Kurang
±250m (b)	14.87	20.40	18.05	18.69	19.71	19.30	Kurang
±500m (c)	10.51	20.39	16.98	13.67	20.75	18.20	Kurang

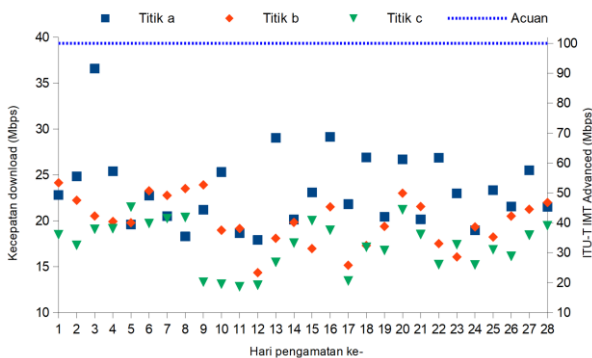


(a) *Throughput upload* rata-rata eNodeB 1&2 (TCBH)

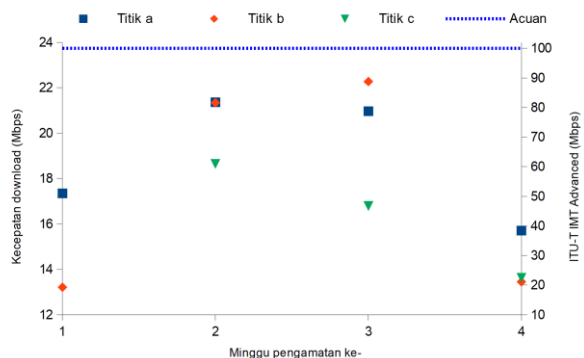


(b) *Throughput upload* eNodeB 3 (ADPH)

Gambar 2. Hasil pengukuran *throughput upload* dengan metode TCBH dan ADPH



(a) *Throughput download* rata-rata eNodeB 1&2 (TCBH)



(b) *Throughput download* eNodeB 3 (ADPH)

Gambar 3. Hasil pengukuran *throughput download* dengan metode TCBH dan ADPH

throughput download rata-rata terbesar pada titik a sebesar 23.29 Mbps titik b sebesar 20.01 Mbps dan titik c sebesar 17.34 Mbps.

Hasil pengukuran *download* pada eNodeB 3 yang berada di Jalan Pemuda diperoleh menggunakan metode ADPH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3(b). Pada titik a, nilai *throughput download* terbesar berada di tanggal 23 Juli 2016 sebesar 21.36 Mbps dan terkecil tanggal 6 Agustus 2016 sebesar 15.71 Mbps. Di titik b, nilai terbesar pada tanggal 30 Juli 2016 sebesar 22.27 Mbps dan terkecil tanggal 16 Juli 2016 sebesar 13.21 Mbps. Pada titik c, nilai terbesar tanggal 23 Juli 2016 dengan nilai sebesar 18.65 Mbps dan terkecil tanggal 16 Juli 2016 sebesar 10.63 Mbps. Hasil pengukuran rata-rata nilai *throughput download* pada eNodeB 3 nilai di titik a 18.85 Mbps, titik b 17.57 Mbps dan titik c 14.93 Mbps.

Rekapitulasi hasil pengukuran *throughput download* untuk jam sibuk TCBH dan ADPH dinyatakan pada Tabel 4. *Throughput upload* tersebut dibandingkan dengan *throughput* puncak sesuai IMT-Advanced sebesar 100 Mbps. *Throughput download* yang dihasilkan dari semua eNodeB pada jam sibuk TCBH dan ADPH kurang dari *throughput download* puncak LTE sesuai IMT-Advanced (ITU, 2008).

D. Packet Loss

Pengukuran *packet loss* pada 3 eNodeB di Kota Semarang dilakukan mulai tanggal 11 Juli 2016 sampai dengan 7 Agustus 2016 menggunakan aplikasi Axence NetTools yang ditujukan ke sebuah alamat server

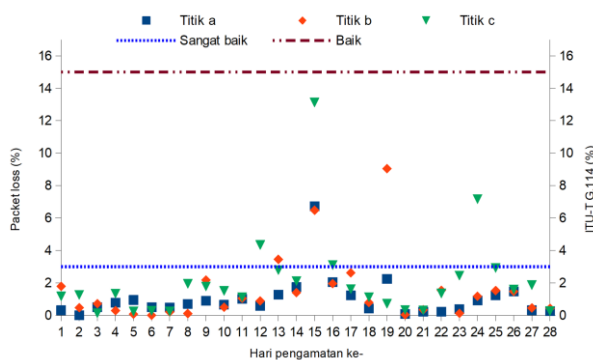
dengan alamat IP 182.255.0.204. Pengukuran di eNodeB 1 dan eNodeB 2 dilakukan dengan metode jam sibuk TCBH, sedangkan di eNodeB 3 menggunakan metode ADPH. Nilai *packet loss* dinyatakan dalam satuan persentase (%) yang diperoleh dengan mengelola paket terkirim dan hilang pada aplikasi pemantauan seperti dinyatakan dalam Persamaan 1. Besarnya nilai *packet loss* menunjukkan jumlah paket yang hilang selama proses pengiriman. Nilai *packet loss* tiap eNodeB dianalisis dengan acuan standar ITU-T G.114 seperti dinyatakan dalam Tabel 1 (ITU-T, 2003).

Hasil pengukuran eNodeB 1 dan eNodeB 2 dirata-ratakan untuk menyatakan pengukuran pada jam sibuk TCBH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4(a). Pada titik a, nilai rata-rata *packet loss* terbesar pada tanggal 23 Juli 2016 sebesar 6.73% dan terkecil pada tanggal 12 Juli 2016 sebesar 0%. Pada titik b, nilai rata-rata *packet loss* terbesar berada pada tanggal 23 Juli 2016 sebesar 9.04% dan terkecil 16 Juli 2016 sebesar 0%. Pada titik c, nilai rata-rata *packet loss* terbesar pada tanggal 25 Juli 2016 sebesar 13.13% dan terkecil pada tanggal 13 Juli 2016 sebesar 0.13%. Hasil keseluruhan yang didapat dari rata-rata eNodeB 1 dan eNodeB 2 dalam kurun waktu 1 bulan, nilai *packet loss* rata-rata terbesar berada di titik c yaitu sebesar 2.07% yang kemudian diikuti oleh titik b sebesar 1.47% dan titik a sebesar 1%.

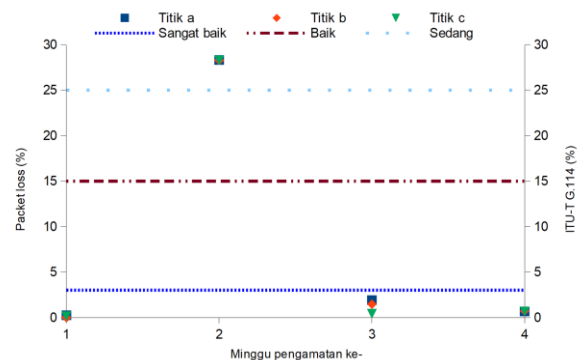
Hasil pengukuran *packet loss* pada eNodeB 3 yang berada di Jalan Pemuda diperoleh pada jam sibuk dengan metode ADPH, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4(b). Pada titik a, nilai *packet loss* terbesar berada di tanggal 23 Juli 2016 dengan nilai sebesar

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengukuran *throughput download*

Titik	Throughput Download (Mbps)						IMT-Advanced (50 Mpbps)
	Jam Sibuk TCBH			Jam Sibuk ADPH			
	Min	Maks	Rata-rata	Min	Maks	Rata-rata	
±0m (a)	17.90	36.59	23.29	15.71	21.36	18.84	Kurang
±250m (b)	14.34	24.14	20.01	13.21	22.27	17.57	Kurang
±500m (c)	12.80	21.50	17.34	10.63	18.65	14.93	Kurang



(a) *Packet loss* rata-rata eNodeB 1&2 (TCBH)



(b) *Packet loss* eNodeB 3 (ADPH)

Gambar 4. Hasil pengukuran *packet loss* dengan metode TCBH dan ADPH

28.33% dan terkecil pada tanggal 16 Juli 2016 sebesar 0.25%. Pada titik b, nilai packet loss terbesar pada tanggal 23 Juli 2016 dengan nilai sebesar 28.28% dan terkecil pada tanggal 16 Juli 2016 sebesar 0%. Pada titik c, nilai packet loss terbesar berada di tanggal 23 Juli 2016 sebesar 28.27% dan terkecil 16 Juli 2016 sebesar 0.14%. Hasil keseluruhan yang didapat dalam kurun waktu 1 bulan, nilai packet loss rata-rata terbesar pada titik a dengan nilai sebesar 7.80% yang kemudian diikuti oleh titik b sebesar 7.62% dan titik c sebesar 7.38%.

Rekapitulasi hasil pengukuran *packet loss* untuk jam sibuk TCBH dan ADPH dinyatakan dalam Tabel 5 dengan acuan ITU-T G.114 (ITU-T, 2003). Berdasarkan standar ITU-T G.114 nilai *packet loss* rata-rata pada jaringan LTE FDD di Kota Semarang berada dalam kategori sangat baik pada eNodeB 1 dan 2 dari titik a dan b, sedangkan dari titik b berada dalam kategori baik. Untuk jam sibuk ADPH di eNodeB 3, performansi packet loss berada dalam kategori baik untuk semua titik.

E. Delay

Pengukuran *delay* pada 3 eNodeB di kota Semarang dilakukan menggunakan aplikasi Axence NetTools yang ditujukan ke sebuah alamat server dengan alamat IP 182.255.0.204 pada fitur NetWatch. Pengukuran di eNodeB 1 dan eNodeB 2 dilakukan dengan metode jam sibuk TCBH, sedangkan di eNodeB 3 menggunakan metode ADPH. Nilai *delay* dinyatakan dalam satuan *millisecond* (ms). Komponen *delay* terukur merupakan penjumlahan total *delay* transmisi, *delay*

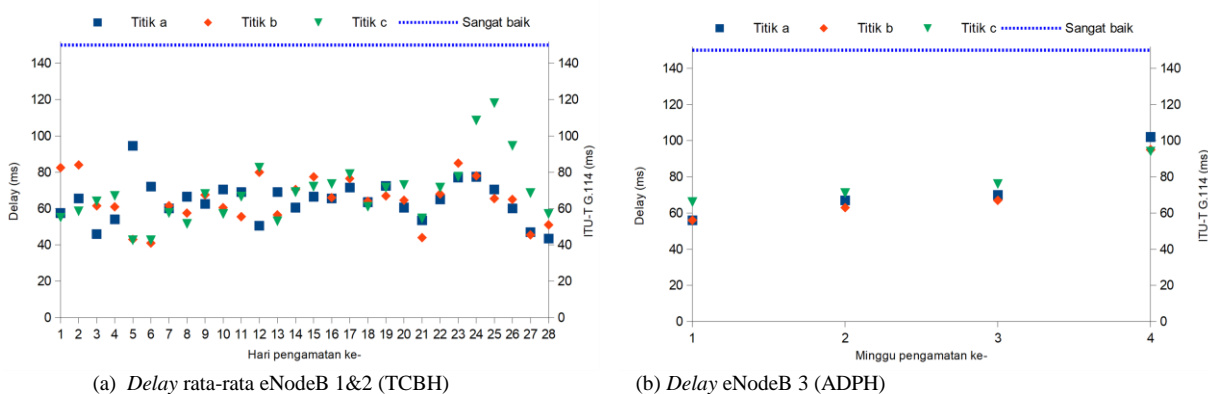
propagasi, dan *delay* antrian menggunakan Persamaan 2-4. Nilai *delay* tiap eNodeB dianalisis dengan acuan standar ITU-T G.114 seperti dinyatakan dalam Tabel 1 (ITU-T, 2003).

Hasil pengukuran *delay* dari rata-rata eNodeB 1 dan eNodeB 2 yang menyatakan pengukuran pada jam sibuk TCBH ditunjukkan dalam Gambar 5(a). Rata-rata *delay* terbesar pada titik a yaitu ada di tanggal 15 Juli 2016 dengan nilai sebesar 94.5 ms dan *delay* terkecil ada di tanggal 7 Agustus 2016 sebesar 43.5 ms. Pada titik b, nilai terbesar berada di tanggal 12 Juli 2016 dengan nilai sebesar 85 ms dan nilai terkecil berada di tanggal 15 Juli 2016 sebesar 41 ms. Pada titik c, nilai terbesar di tanggal 4 Agustus 2016 dengan nilai sebesar 118 ms dan terkecil di tanggal 15 Juli 2016 dengan nilai sebesar 42.5 ms. Hasil keseluruhan yang nilai *delay* rata-rata terbesar berada di titik c yaitu sebesar 68.4 ms yang kemudian diikuti oleh titik b sebesar 64.3 ms dan titik a sebesar 68.4 ms.

Hasil pengukuran *delay* pada eNodeB 3 yang dilakukan pada jam sibuk ATPH dinyatakan dalam Gambar 5(b). Nilai *delay* terbesar pada titik a, b, dan c berada pada tanggal yang sama yaitu pada tanggal 6 Agustus 2016 dengan *delay* di titik a sebesar 102 ms, titik b sebesar 95 ms, dan titik c sebesar 94 ms. Nilai *delay* terkecil pada titik a, b, dan c juga berada di tanggal yang sama yaitu pada tanggal 16 Juli 2016 di titik a dan b sama yaitu sebesar 56 ms dan titik c sebesar 66 ms. Hasil keseluruhan pengukuran rata-rata nilai *delay* pada eNodeB 3 dalam kurun waktu 1 bulan, nilai

Tabel 5. Rekapitulasi hasil pengukuran *packet loss*

Titik	Packet loss (%)						ITU-T G.114	
	Jam Sibuk TCBH			Jam Sibuk ADPH			TCBH	ADPH
	Min	Maks	Rata-rata	Min	Maks	Rata-rata		
±0m (a)	0.00	6.73	1.00	0.25	28.33	7.80	Sangat baik	Baik
±250m (b)	0.00	9.04	1.47	0.00	28.28	7.62	Sangat baik	Baik
±500m (c)	0.13	13.13	2.07	0.14	28.27	7.38	Baik	Baik



Gambar 5. Hasil pengukuran *delay* dengan metode TCBH dan ADPH

terbesar berada di titik c dengan nilai sebesar 76.75 ms yang kemudian diikuti oleh titik a dengan nilai 73.75 ms dan titik b sebesar 70.75 ms.

Rekapitulasi hasil pengukuran *delay* rata-rata dari eNodeB 1&2 dan eNode 3 ditunjukkan pada Tabel 6. *Delay* rata-rata dinyatakan sebagai *delay* rata-rata total (*delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian). *Delay* antrian merupakan penyebab terbesar pada besarnya nilai *delay* total. Menurut standar *delay* dalam ITU-T G.114 (ITU-T, 2003), performansi *delay* dari tiap eNodeB dari tiap titik berada dalam kategori sangat baik, yaitu dengan *delay* kurang dari 150 ms.

F. Pembahasan

Dari hasil pengamatan dan pengukuran yang telah dilakukan dari tanggal 11 Juli 2016 sampai dengan 7 Agustus 2016 dapat diketahui tingkat kualitas layanan jaringan komunikasi data pada telekomunikasi LTE FDD di Kota Semarang. Berdasarkan parameter yang telah diamati pada beberapa eNodeB yang terletak di wilayah urban dan suburban di Kota Semarang, dapat diketahui beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kualitas layanan jaringan LTE FDD dari sisi pengguna (user experience). Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan, diperoleh nilai pada setiap variabel yang ditunjukkan dalam Tabel 7.

Dari data dalam Tabel 7 dapat dinyatakan hubungan antar parameter, yaitu bahwa jarak merupakan salah satu faktor kuat yang dapat mempengaruhi

kekuatan dan kecepatan jaringan (Simanjuntak dkk., 2016). Rata-rata semakin besar jarak dari eNodeB nilai *throughput upload* dan *download* semakin kecil sedangkan nilai *delay*, *packet loss*, dan *ping* semakin besar. Meskipun demikian, dapat dilihat pada data yang telah disajikan bahwa nilai *ping* mengalami kenaikan pada titik c sebesar 0.1 dari titik b pada TCBH dan *delay* mengalami penurunan dari titik a ke b sebesar 3.5 pada ADPH.

Di sisi lain, *throughput upload* atau *download* yang diperoleh masih lebih kecil dibandingkan *throughput* untuk daerah urban sebesar 29.23 Mbps (Basit, 2009). Namun, *throughput* ini masih lebih tinggi dari kualitas internet LTE di kota Medan sebesar rata-rata 1.9 Mbps (Purba & Manurung, 2018) dan hasil simulasi di kota Kudus sebesar 19.672 Mbps (Hidayanti dkk., 2017). *Throughput* yang diperoleh oleh tiap pengguna ini tergantung dari jumlah pengguna yang dapat dilayani dalam satu eNodeB dan ditentukan pada saat perencanaan (Antoni dkk., 2018). Dalam Wijaya dkk. (2018), *throughput* disetel 1.30 – 1.74 Mbps untuk uplink dan 12.13 – 16.24 Mbps untuk downlink.

Seperti yang dapat dilihat pada rincian per eNodeB maupun rata-rata dari seluruh eNodeB bahwa terdapat beberapa data dimana nilai *throughput upload* dan *download* memiliki nilai yang lebih kecil ketika berada di titik terdekat dari eNodeB daripada di titik yang lebih jauh dan nilai *delay*, *packet loss*, dan *ping* memiliki nilai yang lebih besar ketika berada di titik

Tabel 6. Rekapitulasi hasil pengukuran *delay*

Titik	Delay (ms)						ITU-T G.114	
	Jam Sibuk TCBH			Jam Sibuk ADPH			TCBH	ADPH
	Min	Maks	Rata-rata	Min	Maks	Rata-rata		
±0m (a)	43.5	94.5	64.0 (0.021, 3.3x10 ⁻⁸ , 63.98)	56.0	102.0	73.75 (0.024, 3.3x10 ⁻⁸ , 73.73)	Sangat baik	Sangat baik
±250m (b)	41.0	85.0	64.3 (0.023, 8.3x10 ⁻⁷ , 64.28)	56.0	95.0	70.25 (0.024, 8.3x10 ⁻⁷ , 70.23)	Sangat baik	Sangat baik
±500m (c)	42.5	118.0	68.4 (0.026, 1.67x10 ⁻⁶ , 68.37)	66.0	94.0	76.75 (0.027, 1.67x10 ⁻⁶ , 76.72)	Sangat baik	Sangat baik

Tabel 7. Rekapitulasi hasil pengamatan QoS

Parameter	Titik					
	Jam Sibuk TCBH (eNodeB 1 & eNodeB 2)			Jam Sibuk ADPH (eNodeB 3)		
	±0m (a)	±250m (b)	±500m (c)	±0m (a)	±250m (b)	±500m (c)
<i>Ping</i> (ms)	31.30	30.20	30.30	33.50	33.20	34.60
<i>Throughput Upload</i> (Mbps)	19.01	18.05	16.98	19.42	19.30	18.20
<i>Throughput Download</i> (Mbps)	23.29	20.01	17.34	18.84	17.57	14.93
<i>Packet loss</i> (%)	1.00	1.47	2.07	7.80	7.62	7.38
<i>Delay</i> (ms)	64.00	64.30	68.40	73.73	70.23	76.72

terdekat dari eNodeB. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh tinggi dan arah antena serta kontur tanah pada suatu lokasi. Semakin tinggi lokasi antena maka jaringan yang dipancarkan memiliki *coverage area* yang semakin luas (Ariyanti, 2015b; Rahayu dkk., 2018). Dari survei yang telah dilakukan di Kota Semarang memiliki *coverage area* per eNode ± 500 m. Jarak tersebut disebabkan terdapat banyaknya eNodeB yang dipasang dengan tujuan untuk memaksimalkan kekuatan jaringan yang terdapat pada daerah *city* dan *suburban*. Dari data yang telah disajikan, tiap titik memiliki perbedaan nilai yang tidak terlalu jauh. Hal tersebut disebabkan karena *coverage area* per eNodeB yang tidak terlalu luas.

Faktor lain yang berpengaruh adalah terjadinya *handover*, yaitu beralihnya kanal trafik dari eNodeB satu ke eNodeB lainnya maupun ke jaringan 3G dan 2G pada perangkat yang digunakan sehingga menyebabkan meningkatnya nilai *packet loss* (Dilasari dkk., 2017; Said dkk., 2016). *Handover* terjadi karena menurunnya kualitas atau daya ratio atau penuhnya trafik sel yang dituju sehingga sebagai konsekuensinya *handover* ditujukan ke sel dengan sinyal yang lebih besar atau beban trafik yang lebih kecil. *Handover* atau beralihnya eNodeB tersebut dapat dilihat dengan menggunakan aplikasi Network CellInfo Lite pada peta yaitu dari berubahnya lokasi maupun Cell ID yang tersambung dengan perangkat yang sedang digunakan.

Faktor-faktor lain yang turut mempengaruhi kecepatan atau daya tangkap jaringan antara lain jumlah pengguna di eNodeB. Kecepatan akses bergantung dari banyaknya pengguna yang terhubung ke eNodeB (Antoni dkk., 2018; Wijaya dkk., 2018; Rahayu dkk., 2018). Semakin banyak pengguna maka kecepatan terbagi rata. *Throughput* yang dibagi rata juga berbanding lurus dengan sinyal dari masing-masing perangkat yang terhubung ke eNodeB. Dari jarak atau titik yang sama dan menggunakan tipe handset yang sama hasilnya akan mendapatkan *throughput* yang sama.

Selain itu, faktor lain yang berpengaruh adalah tipe antena atau kapasitas dan frekuensi yang digunakan (Ariyanti, 2015b). Jaringan LTE FDD menggunakan frekuensi 1800 MHz dimana memiliki *coverage* jaringan yang lebih kecil namun memiliki kekuatan sinyal yang lebih baik. Hal lain yang berpengaruh adalah daya dari perangkat yang digunakan. Semakin baik daya atau spesifikasi perangkat yang digunakan maka hasil yang didapatkan juga akan semakin baik.

4. Kesimpulan

Analisis QOS jaringan LTE FDD di Kota Semarang telah dilakukan. Berdasarkan standarisasi 4G dari ITU yang merujuk pada IMT-Advanced, hasil pengukuran *throughput upload* pada jaringan LTE FDD di Kota Semarang tergolong masih cukup jauh dari *throughput* puncak sebesar 50 Mbps, yaitu sebesar 19.01

Mbps, 18.07 Mbps, dan 17.02 Mbps untuk semua titik dan dari *throughput* puncak 100 Mbps pada *throughput download* sebesar 22.92 Mbps, 19.82 Mbps, dan 17.16 Mbps untuk semua titik. Berdasarkan standarisasi dari ITU-T G.114, rekapitulasi pengukuran kecenderungan *packet loss* pada jaringan LTE FDD di Kota Semarang tergolong sangat baik yaitu berada di bawah 3% dan *delay* di bawah 150 ms pada masing-masing titik. Berdasarkan ketentuan *control plane* pada LTE, rekapitulasi pengujian kecenderungan *ping* tergolong baik, yaitu berada di bawah 60 ms untuk semua titik.

Daftar Pustaka

- Antoni, A. Y., Fahmi, A., and Andini, N. (2018). Pengaruh Pertambahan Jumlah User terhadap Performansi Pengalokasian Sumber Daya Radio Pada Sistem MIMO-OFDMA 2x2 Berbasis Quality of Service (QoS) Guaranteed. In *9th Industrial Research Workshop, and National Seminar* (pp. 275-279), Bandung, Indonesia: Politeknik Negeri Bandung
- Ariyanti, S. (2015a). Kesiapan Operator Seluler dalam Mengimplementasikan Teknologi Long Term Evolution (LTE). *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 10(2), 91. <http://doi.org/10.17933/bpostel.2012.100202>
- Ariyanti, S. (2015b). Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel. *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 12(4), 255. <http://doi.org/10.17933/bpostel.2014.120402>
- Basit, S. A. (2009). *Dimensioning of LTE Network. Description of Models and Tools, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution*. Helsinki University of Technology. Retrieved from <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100056.pdf>
- Dilasari, P., Rahayani, R. D., & Azwar, H. (2017). Analisis Simulasi Handover pada Jaringan Long Term Evolution (LTE). *Jurnal Aksara Elementer*, 6(2). Retrieved from <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/jae/article/view/1230/0>
- European Telecommunications Standards Institute. (1999). *Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over Network (TIPHON); General Aspects of Quality of Service (QoS) (ETSI TR 101 329 v2.1.1)*. Retrieved from https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101300_101399/101329/02.01.01_60/tr_101329v020101p.pdf.
- European Telecommunications Standards Institute. (2009). *LTE: Feasibility Study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) (ETSI TR 136 912)*. Retrieved from

- https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136912/09.01.00_60/tr_136912v090100p.pdf.
- Fauzi, A., Harly, G. S., & Hanrais. (2012). Analisis Penerapan Teknologi Jaringan LTE 4G di Indonesia. *Majalah Ilmiah Unikom*, 10(2).
- Hidayanti, L., Usman, U. K., & Inhardy D. S. F. (2017). Analisis Perencanaan Migrasi Jaringan 3G menuju Jaringan LTE (Long Term Evolution) di Pusat Kota Kudus. *Jurnal Telematika*, 12(2), 141-151
- Ismiyati, I. & Soetomo,, S. (2017). Wajah Transportasi Perkotaan Pada Kota-Kota Menuju Kota Metropolitan (Studi Kasus: Semarang Metropolitan). *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2),1099-1117.
- ITU. Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interfaces (2008). Retrieved from <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2134-2008>
- ITU-T. G.114 One-way transmission time, Series G: Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks International telephone connections and circuits – General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection 1–20 (2003). Retrieved from <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en>
- Purba, M. J. & Manurung S. V. B. (2018). Analisis Kualitas Internet Teknologi 4G di Kota Medan dengan Sistem Komunikasi Bergerak. *Methomika: Jurnal Manajemen Informatika dan Komputerisasi Akuntansi*, 2(2), 127-131
- Rahayu, K. P., Rohmah, Y. S., & Fitrianto, G. P. (2018). Optimasi Jaringan 4G LTE TDD pada Frekuensi 2300 Mhz di Area Asia Afrika Bandung. *E-Proceeding of Applied Science*, 4(3), 2501-2512. Retrieved from https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/143527/jurnal_eproc/perencanaan-jaringan-long-term-evolution-lte-tdd-pada-frekuensi-2300-mhz-di-stadion-si-jalak-harupat.pdf
- Said, S., Agung, P. P., Putra, W. P. B., Anwar, S., Wulandari, A. S., & Sudiro, A. (2016). Selection of sumba ongole (so) cattle based on breeding value and performance test, 41(December), 175–187. <http://doi.org/10.14710/jitaa.41.4.175-187>
- Simanjuntak, M. F. W., Nurhayati, O. D., & Widiyanto, E. D. (2016). Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Telekomunikasi High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) pada Teknologi 3.5G. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 4(1), 67–76.
- <http://doi.org/10.14710/jtsiskom.4.1.2016.67-76>
- Usman, U. K. (2012). *Fundamental Teknologi Seluler LTE (Long Term Evolution)* (1st ed.). Bandung: Rekayasa Sains.
- Wahyudi, E., Pamungkas, W., & Basuseno, A. (2013). Perbandingan Perhitungan Trafik Jam Sibuk CDMA 2000 1x pada BTS Inner City dan BTS Outer City dengan Mempergunakan Metode ADPH, TCBH, FDMH dan FDMP. *JURNAL INFOTEL - Informatika Telekomunikasi Elektronika*, 5(2), 33. <http://doi.org/10.20895/infotel.v5i2.6>
- Wibisono, G., & Hantoro, G. D. (2008). *Mobile Broadband – Tren Teknologi Wireless Saat Ini dan Masa Datang* (1st ed.). Bandung: Informatika.
- Widayat, W., Irawati, I. D., & Wibowo, T. A. (2012). Analisis Performansi Layanan Video Streaming Akibat Pengaruh Kecepatan Pergerakan User Pada Jaringan Long Term Evolution (LTE) Mode Time Division Duplex (TDD) dan Frequency Division Duplex (FDD). *Universitas Telkom..* Retrieved from <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/92343/analisis-performansi-layanan-video-streaming-akibat-pengaruh-kecepatan-pergerakan-user-pada-jaringan-long-term-evolution-lte-mode-time-division-duplex-tdd-dan-frequency-division-duplex-fdd.html>
- Wijaya, P. G. M., Usman, U. K., & Vidyaningtyas, H. (2018). Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) TDD pada Frekuensi 2300 Mhz di Station Si Jalak Harupat. *E-Proceeding of Engineering*, 5(2), 2265-2272. Retrieved from https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/143527/jurnal_eproc/perencanaan-jaringan-long-term-evolution-lte-tdd-pada-frekuensi-2300-mhz-di-stadion-si-jalak-harupat.pdf.
- Wulandari, A., Purnomowati, E. B., & Alfanadiah, R. (2011). Performansi Video Streaming Pada Jaringan LTE (Long Term Evolution) Menggunakan Mode Duplex TDD (Time Division Duplexing). *Techno*, 12(2), 53–64.
- Yonathan, B., Bandung, Y., & Langi, A. Z. R. (2011). Analisis Kualitas Layanan (QoS) Audio-Video Layanan Kelas Virtual di Jaringan Digital Learning Pedesaan. In *Konferensi Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Indonesia* (pp. 4–11). Bandung, Indonesia: Institut Teknologi Bandung