



Analisa Performansi Jaringan LTE (*Long Term Evolution*) pada LRT (*Light Rail Transit*) Rute Velodrome – Pegangsaan Dua

Triyastika Amaliya, Lukman Medriavin Silalahi*

*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia*

*Email Penulis Koresponden: lukman.medriavin@mercubuana.ac.id

Abstrak

Dewasa ini jaringan internet merupakan kebutuhan primer masyarakat. Akses internet mendukung jaringan seluler yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas penggunaan *device mobile* serta saat ini telah didukung teknologi LTE (*Long Term Evolution*). Hipotesis yang telah dikumpulkan bahwa implementasi LTE mengalami kendala dalam menjaga performansi jaringan. Lebih lanjut diakibatkan karena peningkatan data dan kualitas coverage yang kurang maksimal sehingga penyedia layanan jasa telekomunikasi perlu mengoptimalkan performansi jaringan LTE. QoS (*Quality of Service*) LTE harus terukur untuk mengetahui kondisi performansi jaringan dilokasi. Riset ini bertujuan untuk menganalisa performansi jaringan LTE di area LRTJ (*Light Rail Transit*-Jakarta) Velodrome – Pegangsaan Dua menggunakan metode eksperimen pada aplikasi GNet Track Pro. Riset ini juga menggunakan metode *drive-test* dan *walk-test* terhadap 3 RF (*Radio Frequency*) parameter yaitu RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) dan SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*). Hasil analisis *drive-test* dan *walk-test* menunjukkan perbaikan performansi pada Stasiun Velodrome dengan hasil sebaran RSRP sebesar 81,57%, RSRQ sebesar 42,23% dan SINR sebesar 44,46%. Performansi sepanjang rute LRT Velodrome – Pegangsaan Dua menunjukkan nilai RSRP dan RSRQ sangat baik dengan persentase masing-masing 45,96% dan 36,84% dengan SINR sebesar 41,12%. Sedangkan performansi jaringan LTE untuk sebaran RSRQ dan SINR di stasiun Pegangsaan Dua memiliki persentase masing-masing 55,35%, 46,42% dan RSRP sebesar 51,78%.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

LTE;
LRT;
RSRP;
RSRQ;
SINR

Riwayat Artikel:

Diserahkan 27 Januari, 2023
Direvisi 24 Juli, 2024
Diterima 25 Juli, 2024

DOI:

10.22441/incomtech.v14i2.19024

1. PENDAHULUAN

Jaringan internet sudah menjadi kebutuhan primer di masyarakat pada saat ini. Segala aspek bidang sudah dapat diakses melalui internet, misalnya pendidikan, perbankan, hiburan dan lainnya. Fenomena ini juga meningkatkan jumlah *user* sehingga sangat mempengaruhi kecepatan akses data internet. Hal ini berkaitan terhadap kapasitas dan *bandwidth* yang disediakan oleh penyedia layanan telekomunikasi. Ilustrasinya sederhana yaitu semakin besar *bandwidth* maka semakin besar kapasitas untuk menampung jumlah dan aktivitas *user*. Kemudian, dengan teknologi yang dipakai semakin canggih maka kecepatan transfer (*uplink*) dan penerimaan (*downlink*) data semakin cepat [1]–[3].

Akses internet saat ini didukung oleh jaringan seluler yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas penggunaan *device mobile* dan teknologi terkini sudah memasuki 4G-LTE (4th *Generation-Long Term Evolution*) [4]. Teknologi 4G merupakan hasil pengembangan teknologi 3G-UMTS (3rd *Generation- Universal Mobile Telecommunication System*) [5]. Fenomena yang ditemukan terhadap implementasi LTE di Indonesia adalah kendala dalam menjaga performansi jaringan yang diakibatkan oleh lonjakan data yang semakin meningkat dan juga kualitas *coverage* yang kurang maksimal [6] sehingga perlu dilakukan pengukuran secara berkala di lapangan. Sementara itu, pemilihan jaringan LTE menjadi fokus riset dibandingkan teknologi 5G/6G dikarenakan pembangunan infrastruktur yang sudah tersedia juga telah dimodernisasi kedalam satu pemancar yang terkandung didalamnya teknologi GSM hingga LTE, namun penerapan 5G yang mengusung NR (*New Radio*) dalam tahap pengembangan dan implementasi. Berdasarkan hasil riset oleh [7]–[9] mengemukakan bahwa kehadiran teknologi 5G menggeser layanan 4G/LTE yang telah dimiliki masyarakat, hal ini karena dijadikan basis operasional 5G, maka dapat diakui bahwa implementasi 5G/6G tidak berdiri secara mandiri. Metode pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan *drive-test* dan/atau *walk-test*.

Metode pengukuran *drive-test* dan/atau *walk-test* merupakan suatu cara kerja yang merekam kondisi sinyal yang diterima oleh pelanggan pada jaringan setiap *cluster* atau daerah yang terdiri dari beberapa *site* pada operator jaringan. pengukuran RF (*Radio Frequency*) parameter adalah RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) dan SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*). Kemudian, hasil pengukuran dapat dianalisa dengan membandingkan hasil pengukuran *drive-test* dan/atau *walk-test* yang ada dan nilai standar performansi sesuai dengan Key Performance Indicator (KPI).

Lokasi pengambilan data pada riset ini berlokasi di LRT (*Light Rail Transit*) rute Velodrome – Pegangsaan Dua. Pemilihan lokasi riset dikarenakan memiliki volume pengguna yang tinggi terutama pada jam sibuk, sehingga dukungan teknologi data seluler juga operator telekomunikasi untuk mengembangkan infrastruktur agar dinikmati oleh pengguna.

Hasil observasi yang telah dilakukan bahwa lokasi tersebut sepanjang 5,8 KM serta jalur aktif LRT Provinsi Jakarta. Pemilihan lokasi riset bertujuan untuk mengetahui QoS (*Quality of Service*) pada transportasi publik, dan untuk memastikan pelanggan mendapat layanan akses data.

Pertumbuhan jumlah pengguna jasa telekomunikasi sangat mempengaruhi penurunan kualitas jaringan khususnya pada teknologi LTE [4]. Menurut [10] pada

risetnya membahas tentang perbandingan dua operator dengan melihat nilai *throughput* pada jam sibuk. Selain itu, pengujian QoS LTE di suatu wilayah perlu memperhatikan RF parameter supaya tercapai hasil optimal pada kualitas QoS sinyal LTE [11]–[13] dengan menyesuaikan perangkat fisik seperti konfigurasi daya, ketinggian antenna, dan penentuan arah antenna [14]. Menurut [15] hasil risetnya berhasil meningkatkan QoS sinyal dan aliran *traffic* di daerah tersebut. Pada hasil riset [16] pada tahun 2020 berfokus untuk menunjukkan nilai sebaran sinyal di area transportasi publik MRT (*Mass Rapid Transit*). Sehingga, riset ini melakukan pengukuran menggunakan metode *walk-test* dan *drive-test* yang bertujuan untuk menganalisa kualitas sinyal, nilai performansi, pengaruh *user mobility* jaringan 4G LTE dan memastikan pelanggan mendapat layanan akses data.

2. METODE

Riset ini melakukan pengukuran dan analisis dilokasi objek penelitian dan menggunakan simulator G-Net [17]–[21] dengan memperhatikan variabel dan parameter yang telah dituliskan pada tabel 1.

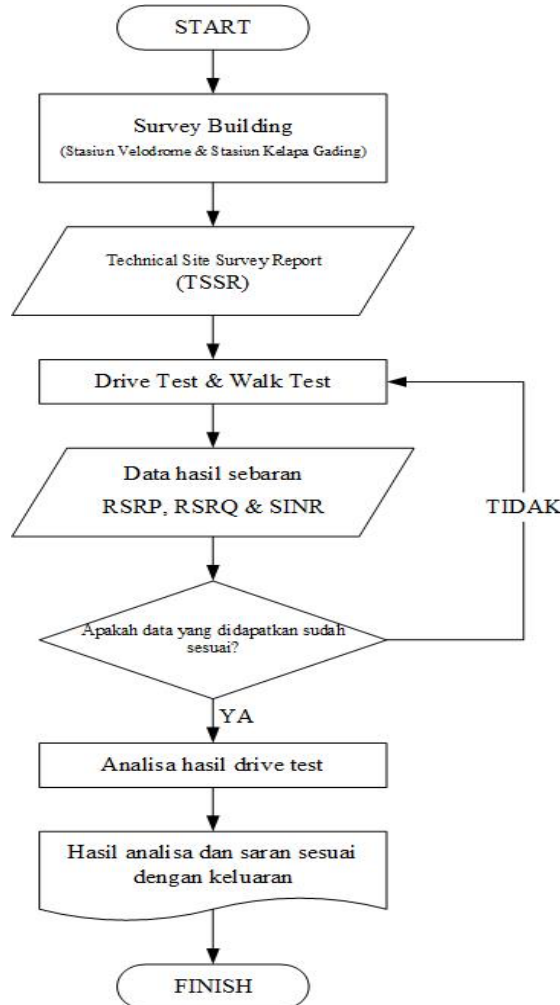
Tabel 1. Variabel dan Parameter

Variabel	Parameter	Deskripsi
Pengukuran Nilai Sebaran	1. RSRP	Nilai sebaran yang diukur sesuai dengan parameter dasar pada Radio Frequency Parameter
	2. RSRQ	
	3. SINR	
Lokasi	1. Lokasi 1: -6.1886, 106.8914	Lokasi 1: Stasiun Velodrome Lokasi 2: Rute LRT Velodrome – Pegangsaan Dua Lokasi 3: Stasiun Pegangsaan Dua
	2. Lokasi 2: Mulai: -6.1886, 106.8914 Akhir: -6.1558, 106.9141	
	3. Lokasi 3: -6.1558, 106.9141	
Operator	Telkomsel	Mobile Operator yang digunakan sebagai variable pengukuran dengan teknologi 4G.
Waktu	17.00 – 19.00 WIB	Durasi waktu saat pengukuran di seluruh lokasi.
Metode Pengukuran	<i>Walk-test</i> dan <i>Drive-test</i>	Lokasi 1: <i>walktest</i> Lokasi 2: <i>drivetest</i> Lokasi 3: <i>walktest</i>

Gambar 2 menunjukkan tahapan penelitian berdasarkan diagram alir. Langkah pertama, yaitu survey lokasi riset untuk mengetahui kondisi seperti denah gedung, rute area publik dan kondisi sinyal awal disekitar rute pegujian. Kemudian dari hasil survey menghasillkan *output* berupa TSSR (*Technical Site Survey Report*) yang digunakan sebagai input dan rute pengukuran menggunakan metode *walk-test* dan *drive-test*.

Pengukuran dilakukan untuk memperoleh hasil RF *parameter* dan mengukur QoS secara nyata sepanjang rute Velodrome – Pegangsaan Dua. *Walk-test* dilakukan untuk mendapatkan hasil RF parameter dan mengukur QoS di Stasiun Velodrome dan Stasiun Pegangsaan Dua. *Output drive-test* yang telah diperoleh, kemudian dianalisa agar diperoleh hasil QoS sinyal terbaik dan terburuk di lokasi penelitian. Selanjutnya, dianalisa hasil *drive-test* sesuai dengan KPI *provider*. Hasil

analisa *drive-test* bersifat analisa kuantitatif, yaitu justifikasi nilai kualitatif RF *parameter* di lokasi riset.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

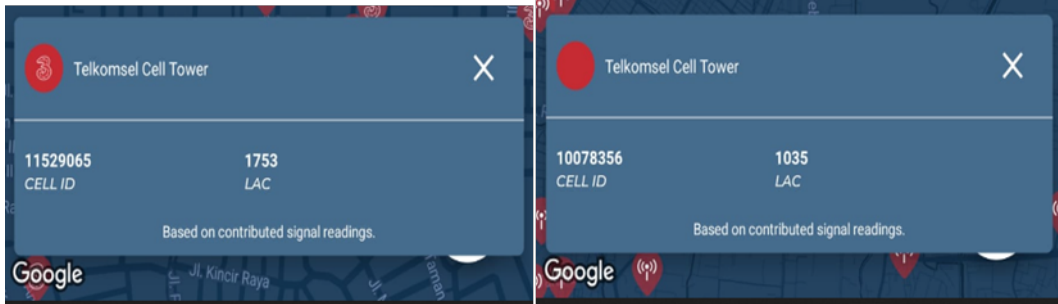
3.1 TSSR (*Technical Site Survey Report*)

Pada lokasi riset terdapat beberapa site yang digunakan untuk menunjang penelitian. Gambar 3(a) menunjukkan sebaran lokasi 1 terdeteksi Telkomsel *Cell Tower* yang terhubung pada *cell* ID 11529065 dengan LAC 1753. Gambar 3(b) menunjukkan sebaran lokasi 2 terdeteksi Telkomsel *Cell Tower* terhubung pada *cell* ID 10078356 dengan LAC 1035.

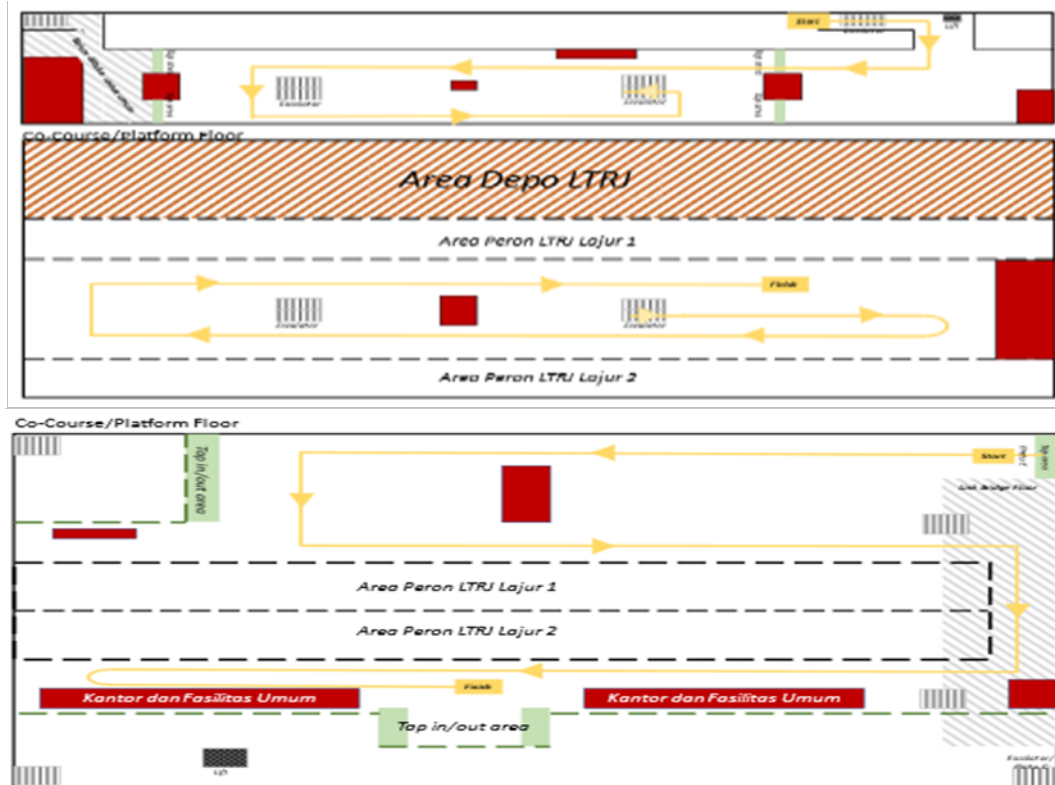
Dari TSSR (*Technical Site Survey Report*) juga didapatkan rute pengukuran untuk *walk-test* di lokasi penelitian. Gambar 4 menunjukkan rute pengukuran di Stasiun Velodrome yang disebut rute 1, dan gambar 5 menunjukkan rute pengukuran di Stasiun Pegangsaan Dua yang disebut rute 2.

Rute *walk-test* pertama pada lokasi 1 dipilih dari pintu masuk C karena pintu masuk dengan Velodrome dan rute *walk-test* kedua menunjukkan rute pengukuran melalui pintu E yang terintegrasi Halte Transjakarta.

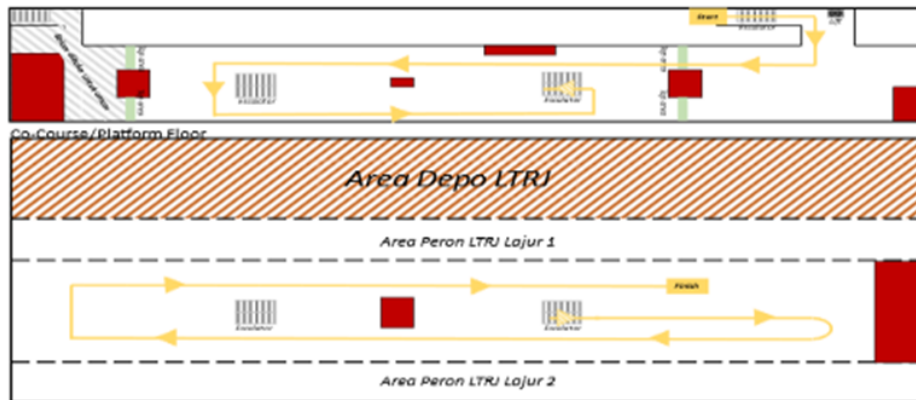
Pengukuran distasiun Pegangsaan Dua berfokus pada area publik di lantai kedua, yaitu area yang menghubungkan pintu masuk pada lantai dasar dan *platform floor* yang berada satu tingkat lebih atas lalu berlanjut ke *platform floor* peron LRTJ dan depo LRTJ di stasiun pegangsaan dua yang ditunjukkan pada gambar 5.



(a) (b)
Gambar 3. Sebaran *Cell Tower* di lokasi riset (a) lokasi 1 ; (b) lokasi 2



Gambar 4. Rute *Walk-test* Stasiun Velodrome



Gambar 5. Rute walk-test Stasiun Pegangsaan Dua

3.2 Analisa Performansi Stasiun Velodrome

Pengukuran RSRP di Stasiun Velodrome dilakukan dengan dua rute walktest. Rute pertama melalui Pintu C diperoleh hasil RSRP berkategori *excellent* dengan persentase nilai sebaran RSRP 48,89%. Adapun nilai RSRP terkecil pada rute pengukuran satu yaitu -103dBm atau sudah masuk ke kategori baik pada nilai KPI Telkomsel. Nilai tertinggi dari hasil pengukuran rute 1 yaitu -61 dBm. Pengukuran di Stasiun Velodrome menunjukkan nilai yang lebih baik dari pada rute 1. Hasil RSRP di rute 2 berkategori super pada tabel KPI Telkomsel sebesar 81,57% dari banyaknya data sampel saat data log terekam, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai sebaran RSRP stasiun LRTJ Velodrome

Nilai (dBm)	Kategori	Rute 1 (%)	Rute 2 (%)
>-80	Super	17,78	81,57
-95 hingga -80	Excellent	48,89	15,78
-105 hingga -95	Good	33,37	2,63
-110 hingga -105	Fair	0	0
<-110	Bad	0	0

Berdasarkan kajian penelitian yang dilakukan oleh [22] memiliki jumlah sampel RSRP secara total sebesar 12,30% pada nilai sebaran >-80dBm dibandingkan hasil pada tabel 2 diperoleh analisis sangat baik sebesar 17,78% pada rute 1 dan 81,57% pada rute 2 Hasil ini merepresentasikan bahwa penerapan teknologi LTE sudah sangat baik.

Tabel 3 menunjukkan hasil RSRQ sudah berkategori baik berdasarkan tabel KPI Telkomsel. Pada kedua rute memiliki nilai sebaran RSRQ pada kategori buruk kurang dari 10% dari sample terukur.

Tabel 3. Nilai sebaran RSRQ stasiun LRTJ Velodrome

Nilai (dB)	Kategori	Rute 1 (%)	Rute 2 (%)
>-10	Excellent	13,34	36,84
-14 hingga -10	Good	42,23	34,21
-16 hingga -14	Fair	37,78	23,68
<-16	Bad	6,67	5,26

Tabel 4 menunjukkan hasil persentase SINR dari pengukuran rute 1 dan rute 2 di Stasiun Velodrome. Perbandingan sebaran SINR pada rute 1 dan rute 2 berkategori baik berdasarkan KPI dilihat dari persentase nilai sampel terbanyak

pada rentang $0\text{dB} \leq \text{SINR} < 10\text{dB}$ dengan persentase 35,5%. Akan tetapi, nilai sampel sebaran SINR tertinggi ada pada kategori cukup dengan nilai sampel yang sering banyak muncul yaitu -1dB. Sedangkan pada rute kedua nilai sebaran SINR ada pada kategori baik dengan persentase 31,75% sama besarnya dengan nilai sebaran SINR dengan kategori sangat baik.

Tabel 4. Nilai sebaran SINR stasiun LRTJ Velodrome

Nilai (dB)	Kategori	Rute 1 (%)	Rute 2 (%)
>10	Excellent	8,89	31,57
0 hingga 10	Good	35,5	31,57
-5 hingga 0	Fair	44,46	23,68
<-5	Bad	11,12	13,15

Berdasarkan kajian penelitian yang dilakukan oleh [22] memiliki jumlah sampel SINR secara total sebesar 27,21% pada nilai sebaran >10dB dibandingkan hasil pada table 4 diperoleh analisis baik sebesar 8,89% pada rute 1 dan sebesar 31,57% pada rute 2. Hasil ini merepresentasikan bahwa penerapan teknologi LTE sudah baik.

3.3 Analisa Performansi Rute Velodrome – Pegangsaan Dua

Hasil sebaran RSRP sepanjang 5,8 KM pada rute Velodrome – Pegangsaan Dua sudah berkategori super dengan rata-rata dengan persentase sebesar 45,96% yaitu pada nilai -81,264 dBm yang terlihat di tabel 5.

Tabel 5. Nilai sebaran RSRP stasiun LRT Velodrome – Pegangsaan Dua

Nilai (dBm)	Kategori	Sampel	Persentase (%)
>-80	Super	228	45,96
-95 hingga -80	Excellent	217	43,75
-105 hingga -95	Good	43	8,66
-110 hingga -105	Fair	2	0,4
<-110	Bad	6	1,2

Berdasarkan kajian penelitian yang dilakukan oleh [22] memiliki jumlah sampel RSRP secara total sebesar 12,30% pada nilai sebaran >-80dBm dibandingkan hasil pada tabel 5 diperoleh analisis sangat baik sebesar 45,96%. Hasil ini merepresentasikan bahwa penerapan teknologi LTE sudah sangat baik.

Nilai sebaran RSRQ rute Velodrome - Pegangsaan Dua sudah berkategori baik berdasarkan KPI karena RSRQ terbanyak ada pada rentang $-14\text{dB} \leq \text{RSRQ} < -10\text{dB}$ dengan persentase 40,52%. Adapun 12,5% nilai sebaran RSRQ dikategorikan buruk yang terletak paling banyak di jarak 1,7 – 2,04 KM dari jarak awal *drive-test* yang ditunjukkan pada tabel 6. Lebih lanjut tepatnya pada koordinat *latitude*, *longitude* -6.176.508, 106.893.956 dikarenakan lokasi sekitar terdapat beberapa obstacle dekat dengan gedung tinggi seperti apartemen, gedung perkantoran dan persimpangan sibuk.

Tabel 6. Nilai sebaran RSRQ stasiun LRTJ Velodrome – Pegangsaan Dua

Nilai (dB)	Kategori	Sampel	Persentase (%)
>-10	Excellent	169	34,07
-14 hingga -10	Good	201	40,52
-16 hingga -14	Fair	64	12,9
<-16	Bad	62	12,5

Tabel 7 menunjukkan persentase sebesar 41,12% sepanjang jarak 5,8 KM berada pada rentang $0\text{dB} \leq \text{SINR} < 10\text{dB}$ atau dapat berkategori baik. Pada beberapa titik, sebanyak 9,27% hasil sebaran SINR dapat dikatakan sangat baik dengan nilai SINR tertinggi 27 dB dan nilai SINR terendah – 9 dB.

Tabel 7. Nilai sebaran SINR stasiun LRTJ Velodrome – Pegangsaan Dua

Nilai (dB)	Kategori	Sampel	Persentase (%)
>10	Excellent	46	9,27
0 hingga 10	Good	204	41,12
-5 hingga 0	Fair	137	27,62
<-5	Bad	109	21,97

Berdasarkan kajian penelitian yang dilakukan oleh [22] memiliki jumlah sampel SINR secara total sebesar 27,21% pada nilai sebaran >10dB dibandingkan hasil pada table 7 diperoleh analisis baik sebesar 9,27%. Hasil ini merepresentasikan bahwa penerapan teknologi LTE masih berkategori baik.

3.4 Analisa Performansi Stasiun Pegangsaan Dua

Hasil pengukuran *walk-test* di Stasiun Pegangsaan Dua menunjukkan sebaran RSRP berkategori super berdasarkan KPI Telkomsel dengan persentase 51,78% yang ditunjukkan pada tabel 8. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa sebaran RSRP pada area publik sudah sangat baik.

Tabel 8. Nilai sebaran RSRP stasiun LRT Pegangsaan Dua

Nilai (dBm)	Kategori	Sampel	Persentase (%)
>-80	Super	29	51,78
-95 hingga -80	Excellent	22	39,28
-105 hingga -95	Good	5	8,92
-110 hingga -105	Fair	0	0
<-110	Bad	0	0

Berdasarkan kajian penelitian yang dilakukan oleh [22] memiliki jumlah sampel RSRP secara total sebesar 12,30% pada nilai sebaran >-80dBm dibandingkan hasil pada tabel 5 diperoleh analisis sangat baik sebesar 51,78%. Hasil ini merepresentasikan bahwa penerapan teknologi LTE sudah sangat baik.

Tabel 9 menunjukkan sebaran RSRQ di Stasiun Pegangsaan Dua berkategori baik berdasarkan KPI Telkomsel dengan persentase 55,35 %.

Tabel 9. Nilai sebaran RSRQ stasiun LRT Pegangsaan Dua

Nilai (dB)	Kategori	Sampel	Persentase (%)
>-10	Excellent	24	42,85
-14 hingga -10	Good	31	55,35
-16 hingga -14	Fair	1	1,78
<-16	Bad	0	0

Tabel 10 menunjukkan hasil sebaran SINR di Stasiun Pegangsaan Dua sudah ada berkategori baik pada rentang $0\text{dB} \leq \text{SINR} < 10\text{dB}$ sebesar 46,42%.

Tabel 10. Nilai sebaran SINR stasiun LRT Pegangsaan Dua

Nilai (dB)	Kategori	Sampel	Persentase (%)
>10	Excellent	4	7,14
0 hingga 10	Good	26	46,42
-5 hingga 0	Fair	22	39,28
<-5	Bad	4	7,14

Berdasarkan kajian penelitian yang dilakukan oleh [22] memiliki jumlah sampel SINR secara total sebesar 27,21% pada nilai sebaran >10dB dibandingkan hasil pada table 7 diperoleh analisis baik sebesar 7,14%. Hasil ini merepresentasikan bahwa penerapan teknologi LTE masih berkategori baik.

Tabel 4 menunjukkan hasil persentase SINR dari pengukuran rute 1 dan rute 2 di Stasiun Velodrome. Perbandingan sebaran SINR pada rute 1 dan rute 2 berkategori baik berdasarkan KPI dilihat dari persentase nilai sampel terbanyak pada rentang $0\text{dB} \leq \text{SINR} < 10\text{dB}$ dengan persentase 35,5%. Akan tetapi, nilai sampel sebaran SINR tertinggi ada pada kategori cukup dengan nilai sampel yang sering banyak muncul yaitu -1dB. Sedangkan pada rute kedua nilai sebaran SINR ada pada kategori baik dengan persentase 31,75% sama besarnya dengan nilai sebaran SINR dengan kategori sangat baik.

4. KESIMPULAN

Performansi jaringan LTE di Stasiun LRT Velodrome secara keseluruhan berkategori baik berdasarkan KPI. Diantaranya, berkategori baik pada rute 1 dengan hasil RSRP 48,89%; RSRQ 42,23%; SINR 35,5%. Berkategori sangat baik pada rute 2 dengan hasil RSRP 81,57%; RSRQ 36,84%; SINR 31,57%. Rute *walk-test* kedua menunjukkan hasil yang lebih baik dikarenakan berada dipusat aktivitas kegiatan Stasiun Velodrome. Selanjutnya nilai performansi kondisi jaringan LTE di jalur aktif LRTJ rute Velodrome – Pegangsaan Dua menunjukkan RSRP berkategori sangat baik dengan persentase 45,96%; RSRQ berkategori sangat baik dengan persentasi 36,84%; dan SINR berkategori baik dengan persentase 41,12%. Kemudian di Stasiun Pegangsaan Dua, RSRP sudah berkategori sangat baik dengan persentase sebesar 51,78%; RSRQ berkategori baik dengan persentase sebesar 55,35 %; SINR berkategori baik dengan persentase sebesar 46,42%. Penelitian ini menunjukkan bahwa RF *parameter* telah terukur secara keseluruhan dan berkategori baik. Namun kedepannya, perlu dilakukan pengecekan secara berkala mengikuti perubahan yang ada di sekitar lingkungan dari infrastruktur atau jumlah pengguna (*user*). Selain itu, pada riset berikutnya dibutuhkan data teknis seperti informasi antena, konfigurasi IBS untuk mendukung peningkatan kualitas nilai sebaran parameter RF *parameter* di sekitar jalur aktif LRTJ rute Velodrome – Pegangsaan dua dengan metode optimasi seperti *tilting* arah *azimuth antenna*, perancangan *new site* atau dengan optimasi *power* di sekitar area.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mercu Buana dan pihak-pihak terkait yang sudah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini hingga makalah ini dipublikasikan.

REFERENSI

- [1] J. Lai and N. O. Widmar, "Revisiting the Digital Divide in the COVID-19 Era," *Appl. Econ. Perspect. Policy*, vol. 43, no. 1, pp. 458–464, 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/aep.13104>.
- [2] L. M. Silalahi *et al.*, "Analysis of Lte 900 Implementation to Increase Coverage and Capacity of 4g Lte Network On Telkomsel Provider," vol. 210, no. Best 2021, pp. 166–172, 2022.
- [3] S. Budiyanto and A. H. Machsuni, "LTE Implementation Model with Combination Carrier Aggregation Based on Area Demographics," in *2020 2nd International Conference on Broadband Communications, Wireless Sensors and Powering (BCWSP)*, 2020, pp. 123–128. doi: [10.1109/BCWSP50066.2020.9249456](https://doi.org/10.1109/BCWSP50066.2020.9249456).
- [4] M. Amin *et al.*, *Teknologi Jaringan Nirkabel*. Yayasan Kita Menulis, 2022.
- [5] A. R. Mishra, *Fundamentals of network planning and optimisation 2G/3G/4G: evolution to 5G*. John Wiley & Sons, 2018.
- [6] T. Budiman, U. Gultom, and T. Defisa, "The Model of Information Technology Utilization in Rural Areas of Indonesia Based on 4G LTE," in *Journal of International Conference Proceedings (JICP)*, 2021, pp. 265–271.
- [7] O. Putriani, S. Priyanto, I. Muthohar, and M. R. Amrozi, "Millimetre Wave and Sub-6 5G Readiness of Mobile Network Big Data for Public Transport Planning," *Sustainability*, vol. 15, no. 1. 2023. doi: [10.3390/su15010672](https://doi.org/10.3390/su15010672).
- [8] S. Hutajulu, W. Dhewanto, E. A. Prasetio, and P. Rudito, "Key Success Factors for 5G Technology Commercialization in Telecommunication Company Case Study of an Established XYZ Company in Indonesia," *Asian J. Technol. Manag.*, vol. 13, no. 1 SE-Articles, pp. 16–34, Apr. 2020, doi: [10.12695/ajtm.2020.13.1.2](https://doi.org/10.12695/ajtm.2020.13.1.2).
- [9] Y. Sunitiyoso *et al.*, "Future of mobility in Jakarta Metropolitan Area: A Multi-Stakeholder scenario planning," *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 19, p. 100810, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100810>.
- [10] P. Harahap, F. I. Pasaribu, and C. A. Siregar, "Network Quality Comparison 4g LTE X And Y in Campus UMSU," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1858, no. 1, p. 12010, Apr. 2021, doi: [10.1088/1742-6596/1858/1/012010](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012010).
- [11] A. L. Imoize and O. D. Adegbite, "Measurements-based performance analysis of a 4G LTE network in and around shopping malls and campus environments in Lagos Nigeria," *Arid Zo. J. Eng. Technol. Environ.*, vol. 14, no. 2, p. 208, 2018.
- [12] A. L. Imoize, K. Orolu, and A. A.-A. Atayero, "Analysis of key performance indicators of a 4G LTE network based on experimental data obtained from a densely populated smart city," *Data Br.*, vol. 29, p. 105304, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105304>.
- [13] E. Budiman, "Mobile Operator 4G Network Performance in Capital of East Kalimantan During the Covid19 Pandemic," *Pekommas*, vol. 6, no. The, pp. 1–9, 2021, doi: [10.30818/jpkm.2021.2060301](https://doi.org/10.30818/jpkm.2021.2060301).
- [14] S. Pramono, L. Alvionita, M. D. Ariyanto, and M. E. Sulistyono, "Optimization of 4G LTE (long term evolution) network coverage area in sub urban," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2217, no. 1, p. 30193, 2020, doi: [10.1063/5.0000732](https://doi.org/10.1063/5.0000732).
- [15] L. M. Silalahi, S. Budiyanto, F. A. Silaban, I. U. V. Simanjuntak, and A. D. Rochendi, "Improvement of Quality and Signal Coverage LTE in Bali Province Using Drive Test Method," *Proc. - 2021 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Intell. Syst. New Norm. Era, ISITIA 2021*, pp. 376–380, 2021, doi: [10.1109/ISITIA52817.2021.9502227](https://doi.org/10.1109/ISITIA52817.2021.9502227).
- [16] Y. S. Putri and L. Medriavin Silalahi, "Analysis Performance Long Term Evolution Network on Route of Subway Tunnel Mass Rapid Transit (MRT) Bundaran HI - Senayan," in *2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, Nov. 2020, pp. 1–6. doi: [10.1109/ICISS50791.2020.9307595](https://doi.org/10.1109/ICISS50791.2020.9307595).
- [17] W. Widasmoro, A. Chamim, R. Wiyagi, R. Izmi, and Y. Jusman, "Analysis and Optimization of 4G LTE Network in Jombang City East Java," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 3, no. 1, pp. 8–13, 2019, doi: [10.18196/jet.3148](https://doi.org/10.18196/jet.3148).
- [18] P. A. Pérez-Chuecos Alcaraz, "STUDY OF QUALITY OF SERVICE IN 4G AND 5G NETWORKS," *Universitat Politècnica de València*, 2020.
- [19] R. N. Fabian, "Analisis Perbandingan Quality of Service LTE Telkomsel Berdasarkan Parameter KPI," *Electro Luceat*, vol. 7, no. 1, pp. 127–134, 2021.

- [20] R. A. Rozaq, M. Sudjai, and A. A. Muayyadi, "Perencanaan Coverage Area Picosel LTE Di Rumah Sakit Permata Cibubur LTE Picocell Coverage Planning on Permata Cibubur Hospital," *eProceedings Eng.*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [21] A. C. Ekeocha, P. Elechi, and O. C. Nosiri, "Performance Analysis of KPI's of a 4G Network in a Selected Area of Port Harcourt, Nigeria," *World J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 44–50, 2021, [Online]. Available: <https://www.scipublications.com/journal/index.php/wjee/article/view/133>
- [22] A. H. Alias, D. M. Ali, and M. N. bin Sahrani, "Performance measurement of LTE along light rapid transit (LRT) railway track of Kelana Jaya line," in *2016 7th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, Aug. 2016, pp. 67–72. doi: 10.1109/ICSGRC.2016.7813303.