

RESEARCH ARTICLE

Lte Network Optimization On The Bandung-Rancaekek Train Line

Ferdi Devayanto, Dhoni Putra Setiawan* and Sofia Sa'Idah

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

* Corresponding author: setiawandhoni@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Commuter merupakan bagian besar dari rutinitas harian banyak orang, termasuk pekerja, profesional bisnis, pelajar, dan warga lainnya. Secara statistik, kereta adalah salah satu moda transportasi darat yang paling efisien dan efektif untuk mengangkut orang ke tujuan mereka. Mengingat kenyamanan yang disediakan oleh layanan kereta, penumpang cenderung memanfaatkan waktu luang mereka untuk bisnis, hiburan, dan aktivitas lainnya yang memerlukan layanan VoIP. Akibatnya, menyediakan layanan LTE yang andal dengan kecepatan data yang cukup di kereta menjadi tantangan besar bagi operator seluler di Indonesia. Meningkatnya minat masyarakat kota Bandung untuk beralih ke layanan kereta api perlu diimbangi dengan kualitas sinyal LTE dengan *throughput* yang memadai. Penelitian ini melakukan optimasi simulasi tuning jaringan 4G LTE di kereta api Bandung-Rancaekek. Optimasi ini dilakukan untuk mengatasi *bad spot* yang ada di sepanjang jalur kereta api Bandung-Rancaekek. Penelitian dilakukan dengan *drive test* yang dilakukan di dalam kereta api dan didukung dengan *software G-NetTrack Pro* yang akan mencatat *logfile drive* untuk mendapatkan nilai RSRP, RSRQ, dan SNR selama perjalanan di dalam kereta api. Optimasi jaringan dilakukan dengan konfigurasi ulang antena pada cell tower Cell ID 38245408 dengan metode *Tilting* dan *re-azimuth* yang disimulasikan menggunakan *software Atoll 3.4*. Dari simulasi optimasi yang dilakukan RSRP meningkat sebesar 6,2%, SINR meningkat sebesar 3,9 dB, dan RSRQ sebesar 28% dengan hasil optimasi yang didapatkan melampaui target KPI untuk parameter SINR.

Key words: 4G LTE, Optimization, Drive Test, Antenna, QoS

Pendahuluan

Commuting adalah salah satu bagian terbesar dalam siklus hidup seseorang, baik itu pekerja, pebisnis, pelajar, atau warga lainnya. Salah satu mode transportasi darat yang secara statistik paling efisien dan efektif dalam memindahkan warga ke tujuannya masing-masing adalah kereta. Dengan kenyamanan yang ditawarkan oleh layanan kereta api, penumpang pastinya akan menggunakan waktu luang yang tersedia untuk melakukan bisnis, hiburan, dan lain-lain yang menggunakan layanan VoIP. Oleh karena itu, ketersediaan layanan LTE dengan *data rate* yang memadai di atas kereta menjadi salah satu tantangan yang dihadapi oleh operator seluler di Indonesia. Kegiatan, seperti bekerja, mengakses hiburan, atau menggunakan layanan VoIP. Di Indonesia, tantangan utama bagi operator seluler adalah memastikan ketersediaan layanan LTE yang stabil dan memiliki *data rate* yang memadai di atas kereta. Hal ini penting untuk memenuhi kebutuhan komunikasi dan akses data para penumpang yang semakin meningkat. Peningkatan minat terhadap layanan kereta api harus diimbangi dengan peningkatan kapasitas jaringan LTE yang dapat mendukung aktivitas penumpang selama perjalanan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan kapasitas jaringan LTE serta melakukan optimasi jaringan di jalur kereta Purwakarta-Padalarang-Cicalengka. Metode yang digunakan adalah *drive test*, yang dilakukan di atas kereta dengan bantuan perangkat lunak *G-NetTrack Pro* untuk merekam data RSRP,

RSRQ, dan SNR selama perjalanan. Data ini akan dianalisis untuk menemukan solusi optimasi yang dapat mengurangi biaya modal dan operasional, serta meningkatkan kepuasan pelanggan terhadap layanan yang diberikan oleh operator seluler. Struktur karya ilmiah ini ditulis seperti berikut: Bagian 2 memaparkan dasar teori tentang teknologi LTE dan penerapannya dalam jaringan seluler. Bagian 3 menjelaskan metodologi penelitian, termasuk prosedur *drive test* dan metode pengumpulan data. Bagian 4 menyajikan hasil dan perbandingan sebelum dan sesudah simulasi optimasi. Terakhir, Bagian 5 memberikan kesimpulan.

Tinjauan Pustaka

Bab ini merupakan pemaparan tentang dasar teori yang digunakan dalam penulisan penelitian optimasi jaringan LTE di kereta Bandung-Rancaekek.

Long-Term Evolution (LTE)

LTE (*Long-Term Evolution*) adalah standar komunikasi nirkabel yang dikembangkan oleh 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) untuk meningkatkan kecepatan dan kapasitas jaringan telepon seluler. Teknologi LTE dirancang sebagai langkah signifikan menuju evolusi teknologi jaringan nirkabel masa depan. LTE mengatasi keterbatasan teknologi



Gambar 1. Metodologi Penelitian

sebelumnya seperti UMTS/HSPA (3G) dengan menawarkan kecepatan data yang lebih tinggi dan latensi yang lebih rendah. Untuk mencapai ini, LTE menggunakan teknik modulasi OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) untuk *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency-Division Multiple Access*) untuk *uplink*, yang memungkinkan penggunaan spektrum yang lebih efisien dan peningkatan kapasitas jaringan [5]. Secara spesifik, LTE mendukung kecepatan unduh hingga 300 Mbps dan unggah hingga 75 Mbps, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan maksimal HSPA+ yang mencapai 42 Mbps untuk unduh dan 22 Mbps untuk unggah. Keunggulan lainnya adalah latensi yang lebih rendah, biasanya dibawah 20 ms, yang sangat penting untuk aplikasi *real-time* seperti panggilan video dan permainan daring. LTE juga mendukung *bandwidth* yang lebih luas, mulai dari 1.4 MHz hingga 20 MHz, dan dapat beroperasi pada berbagai frekuensi, termasuk 700MHz, 800MHz, 1800MHz, 2600MHz, dan lain-lain, tergantung pada regulasi masing-masing negara [6]. Parameter penting lainnya dalam LTE termasuk MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yang meningkatkan kapasitas dan cakupan jaringan dengan menggunakan beberapa antena, serta teknologi *Carrier Aggregation* yang memungkinkan penggunaan beberapa pembawa (*carriers*) untuk meningkatkan kecepatan data. Dengan semua keunggulan ini, LTE menjadi fondasi bagi pengembangan jaringan 5G yang menawarkan performa yang lebih tinggi dan lebih banyak fitur canggih [7].

Table 1. Standar KPI

No	Objektif	Parameter	Target KPI
1	Uji Coverage	RSRP	$80\% \geq -100\text{dBm}$
2	Uji Coverage	RSRQ	$85\% \geq 15\text{ dB}$
3	Uji Quality	SINR	$90\% \geq 0\text{ dB}$

Arsitektur LTE

Dalam arsitektur jaringan LTE, terdapat beberapa elemen kunci yang berperan penting dalam menyediakan layanan komunikasi. Elemen-elemen ini termasuk UE (*User Equipment*), E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*), dan EPC (*Evolved Packet Core*). UE adalah perangkat yang digunakan oleh pengguna akhir untuk mengakses jaringan, seperti ponsel atau tablet. E-UTRAN terdiri dari stasiun-stasiun dasar yang dikenal sebagai eNodeB, yang mengontrol sel-sel radio dalam area geografisnya. EPC mengelola aspek data dan kontrol dari jaringan, dengan komponen utama seperti MME (*Mobility Management Entity*), HSS (*Home Subscriber Server*), S-GW (*Serving Gateway*), dan P-GW (*Packet Data Network Gateway*) [8].

Model Propagasi LTE

Model propagasi adalah alat penting dalam merancang dan mengoptimalkan jaringan LTE. Beberapa model propagasi yang sering digunakan dalam LTE meliputi model Okumura-Hata, model COST-231, dan model *Walfisch-Ikegami*. Model Okumura-Hata digunakan untuk perkiraan propagasi di lingkungan perkotaan, pinggiran kota, dan pedesaan. Model COST-231 adalah perpanjangan dari model Hata untuk frekuensi yang lebih tinggi dan mencakup lingkungan perkotaan besar. Model *Walfisch-Ikegami* mempertimbangkan efek difraksi dan pantulan di lingkungan perkotaan dengan bangunan tinggi [9].

Metodologi Penelitian

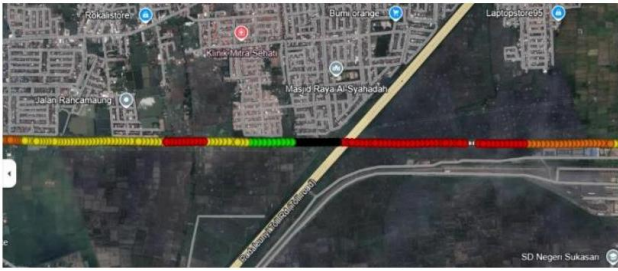
Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan jaringan LTE di jalur kereta Bandung-Rancaekek. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan metode *drive test* yang didukung oleh perangkat lunak G-NetTrack Pro. Metodologi penelitian ini dirancang untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasikan data yang diperlukan untuk meningkatkan performa jaringan LTE di jalur kereta tersebut, yang dapat dilihat pada gambar 1.

Metode Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dikumpulkan melalui *drive test* yang dilakukan di atas kereta. *Drive test* merupakan metode yang umum digunakan dalam evaluasi performa jaringan seluler, dimana perangkat pengukur dipasang di kendaraan (dalam hal ini kereta) untuk merekam berbagai parameter jaringan selama perjalanan.

Drive Test

Drive test pada penelitian ini dilakukan dengan menumpang kereta lokal Bandung-Rancaekek dari stasiun Bandung sampai dengan stasiun Rancaekek dengan jarak tempuh 18 kilometer dengan rata-rata kecepatan kereta sebesar 80 kilometer per jam. *Data logfile* direkam oleh aplikasi G-NetTrack Pro pada ponsel Vivo Y21 menggunakan operator Telkomsel. Data yang dikumpulkan mencakup parameter-parameter utama seperti RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*), dan SNR (*Signal-to-Noise Ratio*). *Drive test* dilakukan selama beberapa hari untuk memastikan data yang dikumpulkan representatif terhadap kondisi jaringan di sepanjang jalur kereta.



Gambar 2. Badspot pada jalur kereta Bandung-Rancaekek



Gambar 3. Simulasi Nilai RSRP downlink pada rute Bandung-Rancaekek

Parameter Pengukuran

RSRP (*Reference Signal Received Power*): Mengukur kekuatan sinyal referensi LTE yang diterima oleh perangkat *mobile* dari eNodeB. RSRQ (*Reference Signal Received Quality*): Mengukur kualitas sinyal referensi LTE yang diterima oleh perangkat *mobile*. SNR (*Signal-to-Noise Ratio*): Mengukur perbandingan antara kekuatan sinyal yang diterima dan tingkat *noise*, parameter atau standar KPI ditunjukkan pada tabel 1 di bawah ini.

Analisis Data

Hasil *drive test* yang ditunjukkan pada peta pada gambar 2 di atas menggambarkan kualitas nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) sepanjang jalur kereta Bandung-Rancaekek. Area yang ditandai dengan warna hitam menunjukkan SNR yang sangat rendah, sedangkan area berwarna merah menunjukkan SNR yang masih dalam kategori buruk, namun tidak seburuk area berwarna hitam. Kondisi ini mengindikasikan adanya masalah signifikan dalam kualitas sinyal di sepanjang rute tersebut, yang dapat berdampak negatif pada pengalaman pengguna layanan LTE.

Hasil Eksperimen Jaringan 4G LTE Bandung-Rancaekek

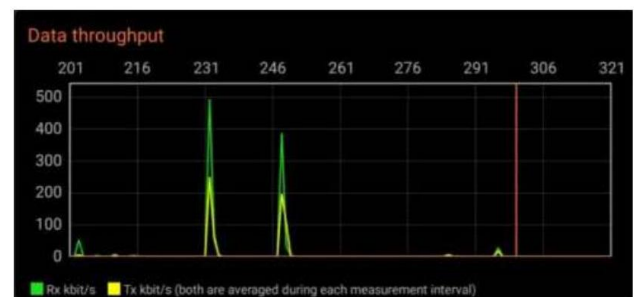
Nilai-nilai seperti RSSI GSM, RSCP, RSRP LTE, RSRP NR, RSRQ/EcNo, dan RSSNR/SINR menunjukkan fluktuasi signifikan sepanjang sumbu X. Fluktuasi ini disebabkan oleh perubahan posisi perangkat terhadap BTS, hambatan fisik, dan interferensi sinyal lain. Dalam grafik, RSRP LTE bervariasi antara -100 dBm hingga -80 dBm, menunjukkan variasi kekuatan sinyal yang berdampak pada kualitas layanan LTE. RSRQ/EcNo fluktuatif antara -16 dB hingga 4 dB, mengindikasikan variasi kualitas sinyal akibat interferensi dan noise (gambar 3). Pada gambar 4 menunjukkan nilai RSRP LTE yang fluktuatif antara -110 dBm hingga -80 dBm menunjukkan variasi besar dalam kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat, dipengaruhi oleh faktor seperti pergerakan, interferensi, hambatan fisik, dan kondisi lingkungan. Faktor-faktor seperti pergerakan kereta yang cepat dan perubahan topografi dapat menyebabkan variasi ini, mempengaruhi kualitas layanan dan



Gambar 4. Strongest Neighbour hasil eksperimen.



Gambar 5. State of services.



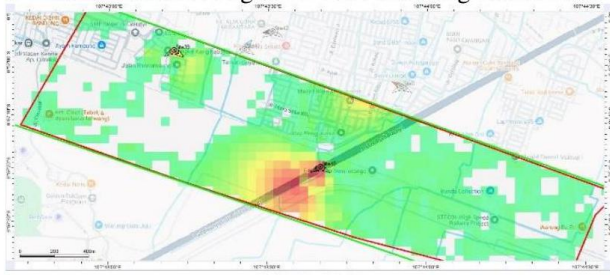
Gambar 6. Throughput saat eksperimen.

kemampuan perangkat untuk melakukan *handover* yang mulus. Ketika nilai RSRP LTE lebih rendah (lebih negatif), kualitas sinyal menurun, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas layanan atau kehilangan koneksi sementara. Jumlah sel tetangga yang terdeteksi juga bervariasi antara 0 hingga 15, menunjukkan bahwa perangkat secara dinamis menilai lingkungan radio untuk memilih sel yang paling sesuai demi mempertahankan koneksi yang stabil.

Dalam analisis grafik ini (Gambar 5), dapat dilihat bahwa layanan 'In service' dan 'Data On' secara konsisten aktif sepanjang rentang waktu yang ditampilkan, ditunjukkan oleh garis lurus horizontal dengan warna ungu. 'GPS ok' juga menunjukkan stabilitas dengan sedikit gangguan pada beberapa titik, sementara 'NetGeo ok' tetap aktif sepanjang waktu tanpa gangguan. Aktivitas suara (*Voice act.*) ditandai dengan warna hijau dan tidak terlihat ada aktivitas sepanjang rentang waktu ini. 'Data tr. act.' (aktivitas transfer data) ditunjukkan oleh garis berwarna cyan yang berfluktuasi secara signifikan, menunjukkan bahwa aktivitas transfer data tidak stabil dan sering mengalami perubahan. Pada beberapa titik, ada gangguan yang lebih signifikan di mana tidak ada aktivitas yang tercatat, seperti yang ditunjukkan oleh penurunan tajam pada nilai tersebut. Meskipun sebagian besar layanan stabil, aktivitas transfer data memerlukan perhatian khusus karena menunjukkan ketidakstabilan dan potensi masalah dalam konektivitas data. Gambar 6 ini menampilkan grafik *throughput* data dalam satuan kilobit per detik (kbit/s) selama rentang waktu tertentu, yang ditandai pada



Gambar 7. Penempatan Cell Tower di Atoll



Gambar 8. Peta Simulasi Bandung-Rancaekek

sumbu horizontal. *Throughput* data dibagi menjadi dua kategori: 'Rx kbit/s' (*receiving kilobit per second*) yang ditandai dengan warna hijau dan 'Tx kbit/s' (*transmitting kilobit per second*) yang ditandai dengan warna kuning. Grafik ini menunjukkan bagaimana data diterima dan dikirim dalam interval waktu tertentu. Terlihat bahwa ada beberapa puncak *throughput* mencapai hampir 500kbit/s. Ini menunjukkan bahwa pada titik-titik tersebut terjadi aktivitas data yang sangat tinggi baik dalam penerimaan maupun pengiriman data. Sebagian besar waktu lainnya menunjukkan nilai *throughput* yang rendah atau hampir tidak ada aktivitas data, dengan pengecualian beberapa puncak kecil lainnya. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa aktivitas data tidak konsisten dan hanya terjadi pada beberapa interval waktu tertentu.

Penempatan Ulang Cell Tower di Atoll

Perencanaan optimasi dilanjutkan dengan melakukan konfigurasi dan penentuan lokasi *base station* pada aplikasi Atoll sesuai dengan data yang diperoleh dari data publik yang tersedia. Varian jarak *base station* berkisar antara 100 m sampai dengan 800 m dari jalur rel kereta Bandung-Rancaekek, dengan densitas *base station* yang berkurang seiring bertambahnya jarak dari pusat Kota Bandung. Garis merah pada gambar 7 adalah *Computation Zone* atau zona yang akan diprediksi atau disimulasikan oleh Atoll sesuai dengan peletakkan dan konfigurasi *base station*. *Computation Zone* yang ditandai oleh garis merah adalah *bad spot* SINR yang akan dioptimasi di penelitian ini.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Simulasi Jaringan 4G LTE Bandung-Rancaekek

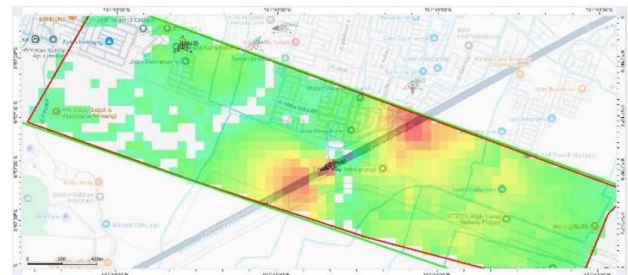
Gambar 8 menampilkan simulasi dari rekreasi jaringan LTE di *badspot* rel Bandung-Rancaekek pada *software Atoll*. Setiap simbol segitiga dengan tanda 'eNodeB' menunjukkan lokasi stasiun pemancar yang mengirimkan sinyal LTE. Warna hijau yang menyebar dari setiap stasiun pemancar menggambarkan area cakupan sinyal, dengan intensitas warna yang lebih terang menunjukkan sinyal yang lebih kuat. Tabel 2 menunjukkan kondisi awal cell tower yang akan di *physical*

Table 2. Kondisi awal antenna

Cell ID 38245408	
Parameter	Nilai
<i>Cell tower to rail line distance</i>	650 meter
<i>Antenna Height</i>	30 meter
<i>Receiver Height (Hr)</i>	1 meter
<i>Direction</i>	NW (295°)
<i>Uplink Frequency</i>	1775 MHz
<i>Downlink Frequency</i>	1870 MHz
<i>Mechanical Tilt</i>	6°
<i>Electrical Tilt</i>	4°

Table 3. Optimasi antenna

Cell ID 38245408	
Parameter	Nilai
<i>Cell tower to rail line distance</i>	650 meter
<i>Antenna Height</i>	31 meter
<i>Receiver Height (Hr)</i>	1 meter
<i>Direction</i>	S (180°)
<i>Mechanical Tilt</i>	3°
<i>Electrical Tilt</i>	4°



Gambar 9. Peta Hasil Simulasi Optimasi

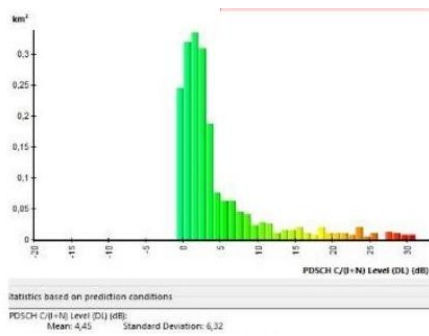
tuning untuk mengoptimasi *badspot* pada jalur rel kereta Bandung-Rancaekek. Tabel 3 menunjukkan *physical tuning* antenna pada yaitu dengan mengubah sudut azimuth menjadi 180° agar antenna menghadap ke jalur rel kereta Bandung-Rancaekek. Lalu ketinggian antenna dinaikkan sebesar 1 meter untuk menghasilkan peta coverage yang lebih baik tanpa terlalu besar mengurangi coverage kondisi sebelumnya. Hal terakhir yang dilakukan adalah mengurangi Mechanical Tilt antenna sebesar 3°

Hasil Simulasi

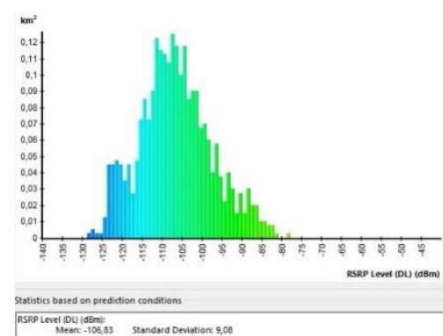
Gambar 8 menampilkan peta simulasi hasil optimasi pada *badspot* di jalur rel kereta Bandung-Rancaekek. Konfigurasi antenna yang terdapat di tabel 2 terbukti meningkatkan kinerja LTE pada area *badspot* yang ditunjukkan oleh warna dengan intensitas lebih tinggi dibandingkan oleh peta yang ditampilkan pada Gambar 8.

SINR

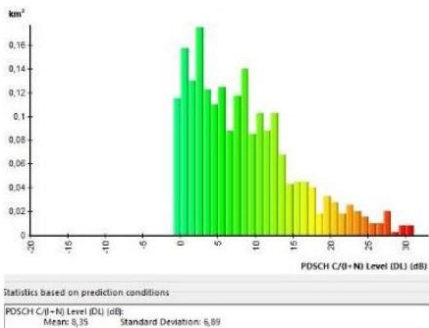
Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan perbedaan SINR pada *badspot* sebelum dan setelah hasil simulasi optimasi pada Atoll. Hasil



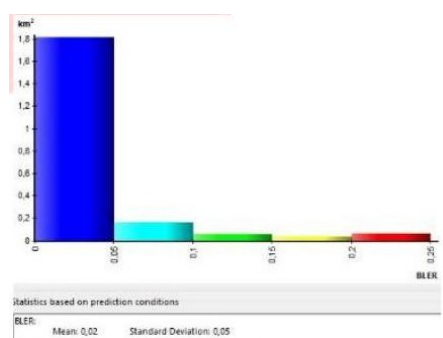
Gambar 10. SINR Awal



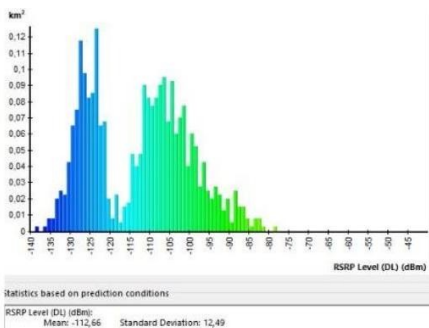
Gambar 13. RSRP Optimasi



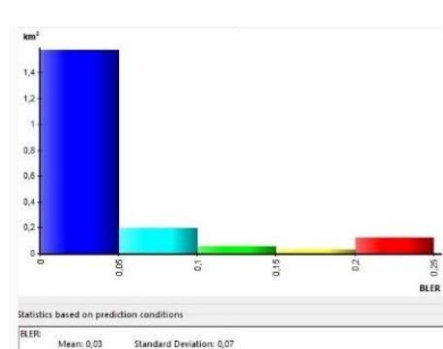
Gambar 11. SINR Optimasi



Gambar 14. RSRQ Optimasi



Gambar 12. RSRP Optimasi



Gambar 15. RSRQ Optimasi

optimasi menunjukkan peningkatan mean SINR sebesar 3.90 dB dengan standar deviasi 6,9. Merujuk KPI pada Tabel 1, nilai SINR yang didapatkan setelah optimasi melampaui target KPI dengan nilai lebih besar dari 0dB.

RSRP

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan hasil RSRP yang lebih baik pada *badspot* di jalur rel Bandung-Rancaekek dibandingkan dengan kondisi awal, dengan naiknya mean RSRP sebesar 6 dBm. Merujuk pada tabel KPI, nilai RSRP yang didapatkan setelah optimasi belum berhasil mencapai target KPI yaitu lebih besar dari -100 dBm.

RSRQ

Gambar 14 dan 15 menunjukkan perbedaan hasil simulasi awal dan optimasi untuk parameter RSRQ. Grafik menampilkan sinyal yang mencakup daerah lebih luas sebesar 37%.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan mengimplementasikan metode optimisasi *Physical Tuning* pada *badspot* jaringan LTE telkom-sel di jalur kereta Bandung-Rancaekek. Hasil optimasi menunjukkan peningkatan pada 3 parameter kualitas layanan yaitu RSRQ dengan peningkatan luas sebesar 37 persen, RSRP dengan peningkatan sebesar mean 6,2 pada *badspot*, dan SINR sebesar 3,9 dB. Namun hasil optimasi menunjukkan bahwa kinerja layanan LTE pada *badspot* belum meraih target KPI. Penelitian ini juga menekankan pentingnya *physical tuning* untuk membuat hasil performansi secara optimal pengguna KAI Bandng-Rancaekek. Hasilnya, peningkatan kualitas layanan ini berkontribusi terhadap peningkatan keandalan jaringan.

Daftar Pustaka

1. Karim MR, Sarraf M. WCDMA and Beyond: Broadband Multi-Carrier Mobile Communications. John Wiley & Sons; 2009.

2. Zhang J, Zheng M. Performance Analysis of LTE-A Carrier Aggregation in Indoor and Outdoor Environments. *IEEE Communications Letters*. 2014;18(6):1023-6.
3. Lee Y, Huang D. Advanced MIMO Techniques in LTE-Advanced: Deployment Scenarios and Performance. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2014;32(11):2047-60.
4. Khan F. *LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance*. Cambridge University Press; 2009.
5. Sujatha B, Veena D. A Comprehensive Study on LTE and its Applications. *Journal of Telecommunications and Information Technology*. 2020;2020(3):19-25.
6. Gupta A. LTE and Future Mobile Technologies. *IEEE Communications Magazine*. 2019;57(4):56-63.
7. Dahlman E, Parkvall S, Sköld J. *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. Academic Press; 2013.
8. Holma H, Toskala A. *LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced*. John Wiley & Sons; 2011.
9. Love R, et al. Downlink and Uplink Channel Modeling for 4G Wireless Technologies. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2013;12(3):112-9.