

Analisis Performansi Layanan Video Streaming Pada Jaringan Lte Di Daerah Cakupan Kebun Raya Bogor

Performance Analysis Of Video Streaming Services On Lte Network In The Coverage Area Of Bogor Botanical Gardens

1st Adib Wicaksono
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
adibwcksn@telkomuniversity.ac.id

2nd Uke Kurniawan Usman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ukeusman@telkomuniversity.ac.id

3rd Gandeve Bayu Satrya
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
gandevabs@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Kebun raya bogor merupakan tempat wisata yang ramai dikunjungi oleh wisatawan yang datang ke Bogor. Sebagian besar pengunjung yang datang menggunakan smartphone yang sudah terkoneksi dengan jaringan *Long Term Evolution* (LTE). Oleh karena itu diperlukan optimasi jaringan agar mendapatkan jaringan yang cepat dan stabil. Analisis penelitian ini dimulai dengan melakukan *drive test* di sekitar area Kebun Raya Bogor dengan beberapa parameter yaitu *Reference Signal Received Power* (RSRP), *Signal Interference Noise Ratio* (SINR), *Throughput*, dan *Block Error Rate* (BLER). Apabila hasil *drive test* belum memenuhi kriteria KPI maka akan dilakukan perbaikan dari segi *coverage*. Perbaikan *coverage* dilakukan dengan 3 skenario yaitu *physical tuning*, *power configuration*, dan *Penambahan Site Microcell*. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode *Power Configuration* memiliki peningkatan yang paling baik dibandingkan dengan 2 skenario yang lainnya yaitu *Physical tuning* dan *Penambahan site Microcell*. Hasil akhir yang didapatkan pada Skenario *Power Configuration* yaitu naiknya nilai parameter RSRP dari -100,66 dBm menjadi -88,73 dBm, SINR dari 12,56 dB menjadi 16,08 dB, *Throughput* dari 45.521 kbps menjadi 53.527 kbps dan BLER dari 0,02 menjadi 0,01.

Kata Kunci—*long term evolution, RSRP, SINR, throughput, drive test, physical tuning, power configuration. microcell*

Abstract—*Bogor Botanical Gardens is a tourist spot by people who visited Bogor. Most of the visitors who come use smartphone that already connected to Long Term Evolution network (LTE). Therefore, network optimization is needed in order to get a fast and stable network. the analysis of this research is begin by doing a drive test around the Bogor Botanical Gardens area with several parameters, namely Reference Signal Received Power (RSRP), Signal Interference Noise Ratio (SINR), Throughput, dan Block Error Rate (BLER). If the results of the drive test do not meet the KPI criteria, improvement will be made in terms of coverage. Coverage improvement is carried out in 3 scenarios, namely physical tuning, power configuration, and the addition of Microcell Sites. Based on this research, it can be concluded that the Power Configuration method has the best improvement compared to the 2 others method, namely Physical Tunning and Microcell site addition. The final result obtained in the Power Configuration Scenario is increased the RSRP parameter value from -100,66 dBm to -88,73 dBm, SINR from 12,56 dB to 16,08 dB, Throughput from 45.521 kbps to 53.527 kbps, and BLER from 0,02 to 0,01.*

Keywords—*long term evolution, RSRP, SINR, Throughput, drive test, physical tuning, power configuration, microcell site addition.*

I. PENDAHULUAN

Kualitas layanan yang diberikan oleh pihak penyedia jasa layanan telekomunikasi seluler harus maksimal, agar dapat memenuhi kebutuhan konsumen dan menjaga kualitas layanan yang diberikan.

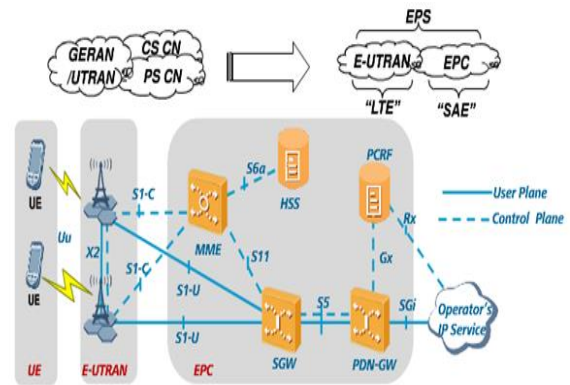
Terdapat pelemahan sinyal di area Kebun Raya Bogor dengan area yang paling besar yaitu pada area yang berbatasan langsung dengan Istana Bogor yang dapat mengganggu aktivitas *video streaming* yang dilakukan oleh pengunjung. didapatkan hasil pengukuran yang mengalami penurunan daya sinyal dengan nilai RSRP yang rendah, nilai parameter SINR yang rendah, dan nilai parameter *throughput* yang rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai parameter yang diperoleh tidak sesuai standar KPI sehingga perlu dilakukan optimasi.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengoptimalkan jaringan LTE pada area wisata Kebun Raya Bogor guna meningkatkan kualitas layanan data. Pendekatan yang digunakan dalam meningkatkan performansi layanan data pada penelitian ini adalah *Coverage Optimization* dengan memperhitungkan distribusi RSRP, SINR, BLER serta perhitungan *Throughput*.

II. KAJIAN TEORI

A. Long Term Evolution

Teknologi *Long Term Evolution* (LTE) lebih dikenal dengan sebutan teknologi 4G-LTE adalah teknologi terbaru komunikasi data nirkabel. Tujuan dari LTE adalah untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan data nirkabel. Koneksi Internet dengan menggunakan teknologi 4G-LTE mampu mencapai kecepatan akses data untuk mengunduh (*download*) hingga 300 Mbps dan untuk mengunggah (*upload*) 75 Mbps [6]. Jaringan LTE terdiri dari dua jaringan dasar serta empat level utama. Dua jaringan dasar tersebut yaitu *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) dan *Evolved Packet Core* (EPC) sedangkan empat level utama tersebut yaitu *User Equipment* (UE), *Evolved UTRAN* (E-UTRAN), *Evolved Packet Core Network* (EPC), dan *Service domain*.



Gambar 1 Arsitektur LTE

B. Perhitungan Link Budget

Pathloss Link budget atau yang biasa disebut dengan *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) digunakan untuk mengetahui nilai redaman maksimum yang diperbolehkan antara *transmitter* dan *receiver*. Untuk mendapatkan nilai MAPL pada arah *Downlink* dan *Uplink* maka bisa menggunakan rumus berikut [8] :

Downlink:

$$MAPL = EIRP_{DL} - S_{UE} - LNF - IM_{DL} - L_{pen} - L_{bodyloss} - G_{EU\ antenna} \quad (1)$$

Uplink:

$$MAPL = EIRP_{UL} - S_{eNB} - LNF - IM_{UL} - L_{pen} - L_{bodyloss} - G_{eNB\ antenna} + G_{eNB\ TMA} \quad (2)$$

C. Perhitungan Model Propagasi COST 231 Hata

Model propagasi COST-231 Hata merupakan ekstensi dari model propagasi Okumura-Hata yang dikembangkan oleh European COST-231. Model propagasi ini dapat digunakan pada frekuensi 1500-2000 MHz. Parameter untuk mendukung propagasi Cost 231 adalah tinggi antenna eNodeB 30 meter – 200 meter dan jarak antara eNodeB ke UE adalah 1 km – 20 km. Model propagasi ini dapat menghitung redaman lintasan pada daerah *urban*.

$$L_p = 46,3 + 33,9 \log(fc) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d) + C_m \quad (3)$$

D. Parameter Kualitas Jaringan

1. RSRP

RSRP adalah rata-rata linier dari *resource elements* yang membawa *cell specific reference signal*. RSRP berfungsi memberikan informasi kepada UE mengenai kuat sinyal

pada suatu sel berdasarkan perhitungan *path loss*.

Tabel 1 Rentang nilai RSRP

RF Condition	Informasi
$\geq -70 \text{ dBm}$	Sangat Baik
$< -80 \text{ dBm}$ sampai $< -70 \text{ dBm}$	Baik
$< -90 \text{ dBm}$ sampai $< -80 \text{ dBm}$	Normal
$< -101 \text{ dBm}$ sampai $< -90 \text{ dBm}$	Buruk
$< -101 \text{ dBm}$	Sangat Buruk

2. SINR

SINR adalah rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dan *noise* yang timbul.

Tabel 2 Rentang nilai SINR

RF condition	SINR
Very Good	$> 20 \text{ dB}$
Good	$> 10 \text{ dB}$
Bad	$> 0 \text{ dB}$

3. Throughput

Throughput merupakan *bandwidth* aktual atau *bandwidth* yang sebenarnya yang terukur pada suatu ukuran waktu tertentu. Pada jaringan LTE parameter *mean throughput* dijadikan sebagai acuan untuk menyatakan kondisi performansi suatu jaringan.

Tabel 3 Rentang nilai *Throughput*

Nilai	Informasi
$> 65.000 \text{ kbps}$	Sangat Baik
$40.000 \text{ kbps} - 65.000 \text{ kbps}$	Baik
$10.000 \text{ kbps} - 40.000 \text{ kbps}$	Normal
$5000 \text{ kbps} - 10.000 \text{ kbps}$	Cukup Buruk
$2000 \text{ kbps} - 5000 \text{ kbps}$	Buruk
$< 2000 \text{ kbps}$	Sangat Buruk

4. BLER

Block Error Rate (BLER) merupakan rasio antara total *error block* dengan total block dari keseluruhan data digital yang dikirimkan dalam proses transmisi. mengetahui tingkat keberhasilan dari demodulasi sinyal adalah fungsi dari BLER.

E. Perbaikan Coverage Jaringan

1. Physical Tuning

Physical tuning merupakan sebuah metode yang dapat mengatur perubahan arah pancar antenna sectoral secara fisik dengan tujuan memaksimalkan layanan pada suatu jaringan [13].

2. Power Configuration

Power Configuration adalah penambahan daya ketika *level* daya yang diterima oleh UE memiliki nilai minimum. Karena *level* daya yang dipancarkan oleh *transmitter* akan mempengaruhi kuat sinyal yang dipancarkan. Maka dari itu optimasi *power configuration* digunakan [15]

3. Penambahan site

Penambahan Site dilakukan agar menambah cakupan area pada suatu jaringan seluler dan mengurangi adanya blankspot. Penambahan site menjadi solusi paling terakhir dalam sebuah optimasi. Karena biaya yang dibutuhkan tidak sedikit untuk membangun sebuah site baru [15].

F. Video Streaming

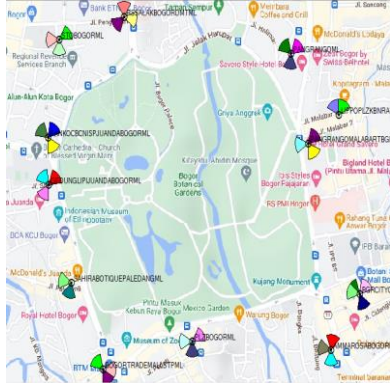
Video Streaming merupakan teknologi yang dapat mentransmisikan file video secara berkelanjutan yang memungkinkan video tersebut diputar tanpa menunggu file video tersebut tersampaikan secara keseluruhan. Pada layanan *video streaming* jenis trafik layanan yang digunakan adalah teknologi asimetris. Karena sebagian besar router rumah disiapkan untuk menangani perbedaan antara jumlah data yang diunduh dan data yang diunggah. teknologi asimetris ini merupakan teknologi yang memungkinkan lebih banyak bandwidth dalam satu arah dibandingkan yang lain.

III. METODE

A. Kondisi Eksisting

Secara keseluruhan Kebun raya bogor seluas 87 hektar terdiri dari beberapa area, yaitu area koleksi

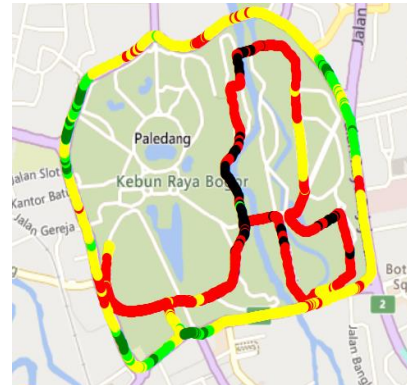
tanaman, museum, kebun pembibitan, rumah kaca, dan perkantoran sedangkan area koleksi tanaman yang dapat dikunjungi oleh pengunjung hanya seluas 53 hektar. Kebun raya bogor dikelilingi oleh 12 *site* dan 35 *transmitter* beberapa diantaranya mengarah langsung ke area kebun raya bogor.



Gambar 2 Kondisi site eksisting Kebun Raya Bogor

Kebun Raya Bogor. Berikut ini merupakan hasil pengukuran berdasarkan parameter :

1. **RSRP**

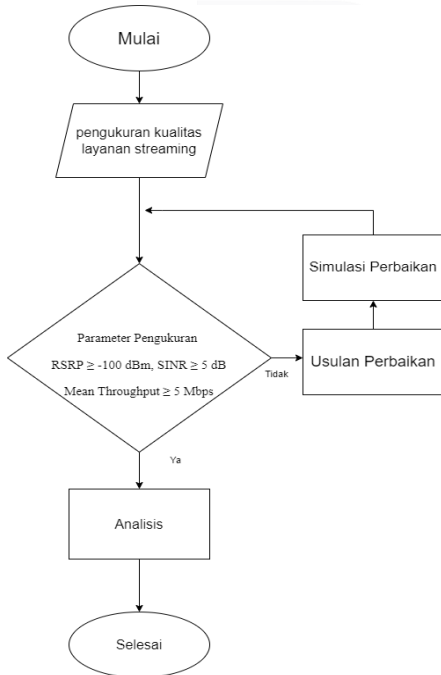


Gambar 3 Data RSRP hasil drive test

Masih banyak nilai dari parameter RSRP yang belum memenuhi target atau standar KPI. Karena masih terdapat nilai RSRP yang berada direntang nilai < -121.00 dBm s.d. ≤ -101.00 dBm atau termasuk dalam kategori buruk sebanyak 655 titik dan pada rentang nilai -121.00 dBm atau kategori sangat buruk sebanyak 119 titik. Maka dari itu diperlukan perbaikan *coverage* jaringan agar dapat meningkatkan kualitas jaringan di area Kebun Raya Bogor.

B. **Diagram alir utama**

Pengerjaan penelitian ini melewati beberapa tahap yang kemudian digambarkan pada diagram alir dibawah ini :

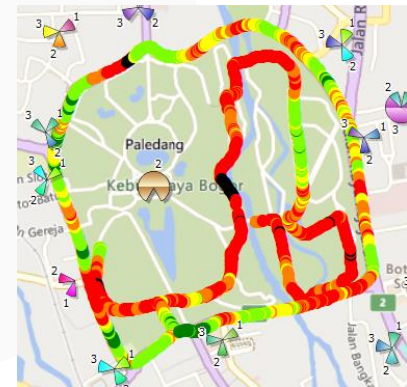


Gambar 3 Diagram alur penelitian

C. **Analisa hasil drive test**

Drive Test dilakukan diarea Kebun Raya Bogor menggunakan *Software* TEMS Pocket. Pengambilan Data dilakukan pada hari Minggu 20 Februari 2022 selama 27 menit dimulai pukul 12.01 WIB - 12.28 WIB. Dengan rute mengelilingi

2. **SINR**



Gambar 4 Data SINR hasil drive test

Masih banyak nilai dari parameter SINR yang belum memenuhi target atau standar KPI. Karena masih terdapat nilai SINR yang berada direntang nilai < -0.00 dBm s.d. ≤ 5.00 dBm atau termasuk dalam kategori buruk sebanyak 312 titik dan pada rentang nilai < 20.00 dBm s.d. ≤ -0.00 dBm atau kategori sangat buruk sebanyak 592 titik.

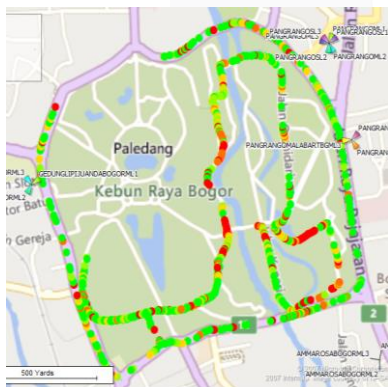
3. **Throughput**



Gambar 5 Data Throughput hasil drive test

Menunjukkan nilai dari parameter *Throughput* yang diterima di area Kebun Raya Bogor. Hasil pengukuran parameter *Throughput* yang didapatkan masih belum memenuhi standar KPI. Karena masih terdapat nilai *Throughput* yang berada direntang buruk atau < 2000 Kbps sebanyak 1071 titik yang ditandai dengan ●, dan pada rentang normal yaitu 2000 Kbps s/d 5000 Kbps sebanyak 13 titik yang ditandai dengan ○, dan pada rentang 5000 Kbps s/d 10000 Kbps sebanyak 3 titik yang ditandai dengan ●.

4. BLER



Gambar 6 Data BLER hasil drive test

Masih banyak nilai dari parameter BLER yang termasuk dalam kategori buruk. Karena masih terdapat nilai BLER yang berada direntang nilai $\geq 10\%$ s.d. 100 % atau termasuk dalam kategori buruk sebanyak 432 titik.

D. Usulan Perbaikan

Metode yang digunakan untuk perbaikan daerah cakupan layanan adalah *physical tuning*, *power configuration*, dan penambahan site *Microcell*.

Perbaikan pertama yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah *physical tuning*. *Physical tuning* adalah pengaturan yang digunakan untuk mengubah arah pancar antena sectoral secara fisik dengan tujuan memaksimalkan layanan pada suatu jaringan. Metode ini dapat dilakukan dengan penyesuaian tinggi antena, dan mengubah arah antena.

Usulan perbaikan kedua yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah *power configuration*. *Power configuration* merupakan salah satu metode penambahan daya di *transmitter* agar kualitas sinyal yang diterima oleh user menjadi lebih baik.

Solusi terakhir yang akan diberikan sebagai usulan perbaikan adalah penambahan *site Microcell*. Penambahan *site microcell* dilakukan agar dapat menambah cakupan area pada suatu jaringan seluler dan mengurangi adanya *blankspot* yang dapat mempengaruhi tingkat performansi suatu jaringan.

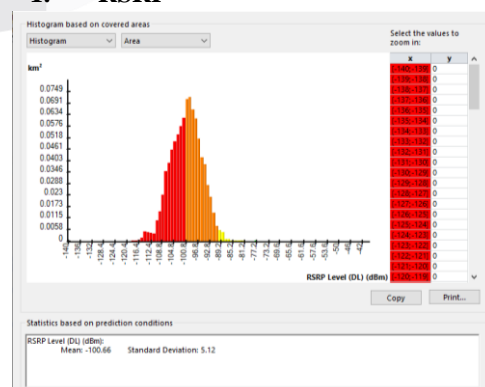
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah menganalisis hasil dari perbaikan *coverage* jaringan LTE pada area Kebun Raya Bogor. Hal pertama yang dilakukan pada simulasi perbaikan *coverage* jaringan LTE adalah melakukan analisa pada kondisi eksisting area Kebun Raya bogor sebelum optimasi menggunakan *software* Actix Analyzer. Lalu dilakukan simulasi dan analisis perbaikan *coverage* jaringan menggunakan 3 skenario yang telah disiapkan sehingga nilai performansinya meningkat sesuai dengan standar KPI operator.

A. Kondisi Sebelum Optimasi

Setelah dilakukan analisis terhadap hasil *drive test* pada area Kebun Raya Bogor, terdapat nilai yang belum memenuhi standar KPI.

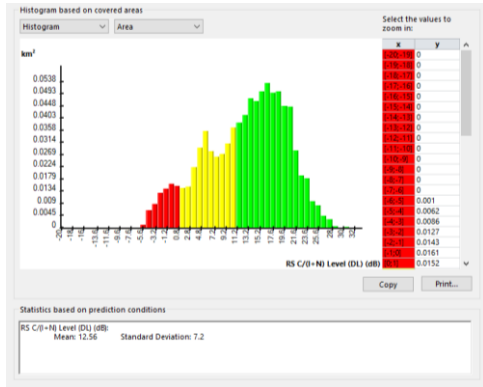
1. RSRP



Gambar 7 Nilai RSRP sebelum optimasi

Nilai rata-rata sebaran RSRP yang dihasilkan oleh simulasi adalah sebesar -100.66 atau dapat dikategorikan buruk karena berada pada rentang < -101 dBm sampai dengan < -90 dBm. Maka dari itu perlu dilakukan perbaikan *coverage* jaringan.

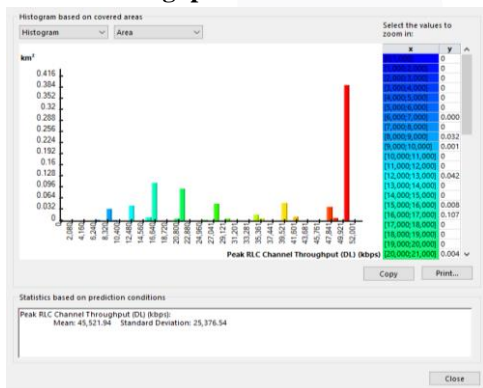
2. SINR



Gambar 8 Nilai SINR sebelum optimasi

Nilai rata-rata sebaran SINR yang dihasilkan oleh simulasi adalah sebesar 12.56 dB atau dapat dikategorikan normal karena berada pada rentang > 10 dB. Namun masih belum memenuhi standar KPI yaitu ≥ 16 dB. Maka dari itu akan dilakukan perbaikan *coverage* jaringan agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

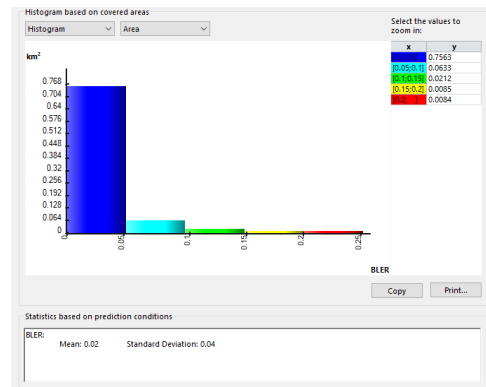
3. Throughput



Gambar 9 Nilai Throughput sebelum optimasi

Nilai rata-rata sebaran *Throughput* yang dihasilkan oleh simulasi adalah sebesar 45.521 Kbps atau dapat dikategorikan baik karena berada pada rentang 40.000 Kbps sampai dengan 65.000 Kbps. Namun agar mendapatkan nilai yang lebih optimal harus dilakukan perbaikan. Maka dari itu perlu dilakukan perbaikan *coverage* jaringan.

4. BLER



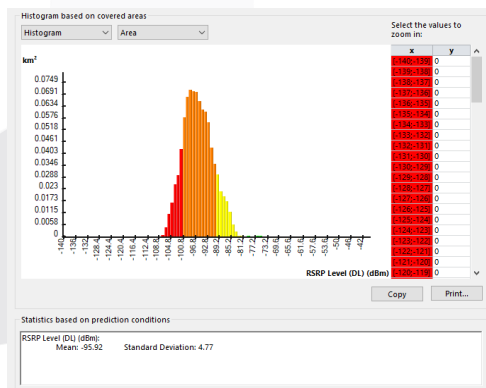
Gambar 10 Nilai BLER sebelum optimasi

Nilai rata-rata sebaran BLER yang dihasilkan oleh simulasi adalah sebesar 0.02 atau dapat dikategorikan sangat baik karena berada pada rentang 0.0 sampai dengan 0.5. Maka dari itu dilakukan perbaikan *coverage* jaringan agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

B. Simulasi Menggunakan Skenario I

Skenario pertama yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Physical tuning*. Skenario *Physical tuning* dilakukan dengan merubah derajat arah pancar yang dimiliki oleh *transmitter*..

1. RSRP

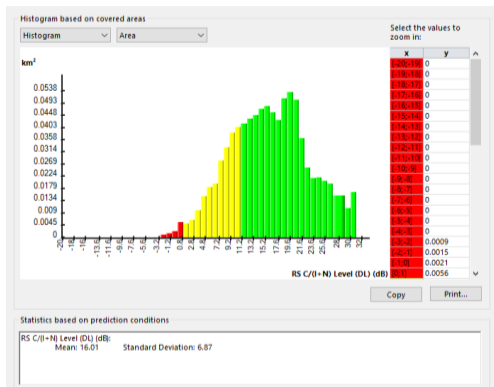


Gambar 11 Nilai RSRP menggunakan skenario I

Berdasarkan perubahan nilai *physical tuning* yang telah dilakukan menggunakan software simulasi Atoll didapatkan peningkatan nilai parameter nilai RSRP sebesar 4,70 % dari nilai awal sebesar -100.66 dBm menjadi -95.92 dBm. Nilai tersebut telah mengalami peningkatan namun belum memenuhi standar karena belum

melebihi ambang batas KPI operator yaitu sebesar >-91 dBm.

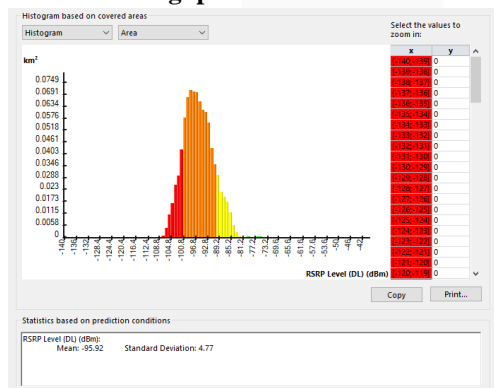
2. SINR



Gambar 12 Nilai SINR menggunakan skenario I

Perubahan nilai *physical tuning* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll didapatkan peningkatan nilai SINR sebesar 27,46 % dari nilai awal sebesar 12,56 dB menjadi 16.01 dB. Nilai tersebut telah memenuhi standar karena sudah berada pada kategori “baik” KPI operator.

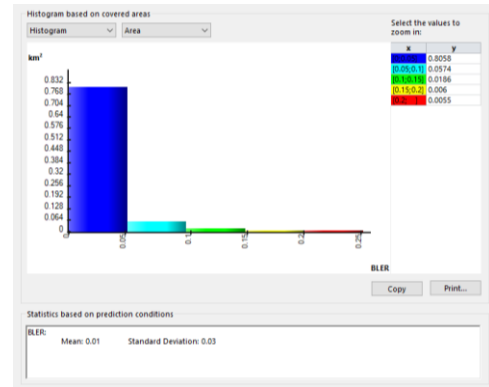
3. Throughput



Gambar 13 Nilai *Throughput* menggunakan skenario I

Perbaikan menggunakan metode *physical tuning* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll didapatkan peningkatan nilai *mean Throughput* sebesar 16,74 % dari nilai awal sebesar 45.521 kbps menjadi 53.144 kbps. Nilai tersebut telah memenuhi standar karena sudah berada pada kategori “baik” KPI operator.

4. BLER



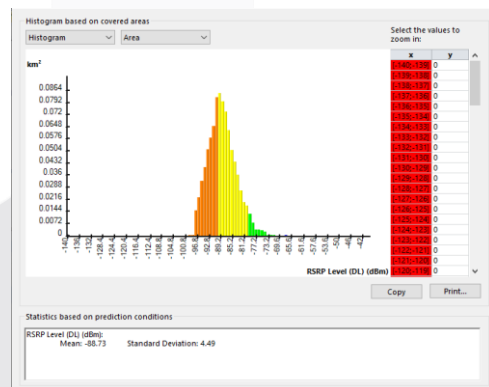
Gambar 14 Nilai BLER menggunakan skenario I

Perubahan nilai *physical tuning* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll. Terdapat peningkatan terhadap nilai parameter BLER yang semula bernilai 0,02 mengalami kenaikan sebesar 50% dari nilai awal. nilai akhir dari parameter yaitu sebesar 0.01 atau sudah memenuhi standar karena sudah berada pada kategori “baik” KPI suatu operator.

C. Simulasi Menggunakan Skenario II

Setelah dilakukan analisis terhadap hasil *drive test* pada area Kebun Raya Bogor, terdapat nilai yang belum memenuhi standar KPI.

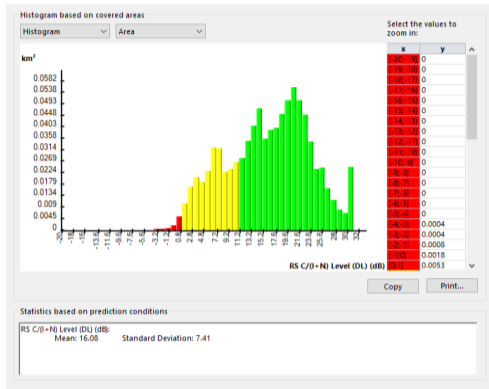
1. RSRP



Gambar 15 Nilai RSRP menggunakan skenario II

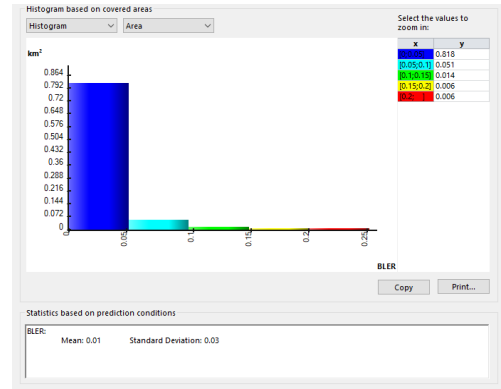
Perubahan nilai *power configuration* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll didapatkan peningkatan nilai parameter nilai RSRP sebesar 12,40 % dari nilai awal sebesar -100,66 dBm menjadi -88,73 dBm. Nilai tersebut telah mengalami peningkatan karena masih berada pada kategori “baik” KPI operator.

2. SINR



Gambar 16 Nilai SINR menggunakan skenario II

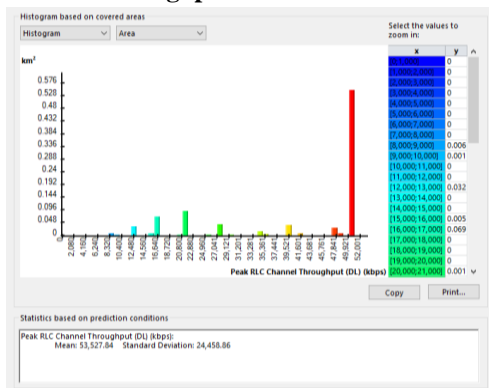
Perubahan nilai *Power Configuration* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll didapatkan peningkatan nilai SINR sebesar 28,02 % dari nilai awal sebesar 12.56 dB menjadi 16.08 dB. Nilai tersebut telah memenuhi standar karena sudah berada pada kategori “baik” KPI operator.



Gambar 18 Nilai BLER menggunakan skenario II

Nilai *Power Configuration* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll menunjukkan terjadinya peningkatan terhadap nilai parameter BLER. Kenaikan nilai BLER sebesar 50 % dari nilai awal sebesar 0,02 menjadi 0.01. nilai ini sudah tergolong baik karena semakin kecil nilai *error* maka akan semakin baik kualitas sinyal yang dikirimkan. Hasil akhir pada penelitian ini sudah memenuhi standar karena sudah berada pada kategori “baik” KPI suatu operator.

3. Throughput



Gambar 17 Nilai Throughput menggunakan skenario II

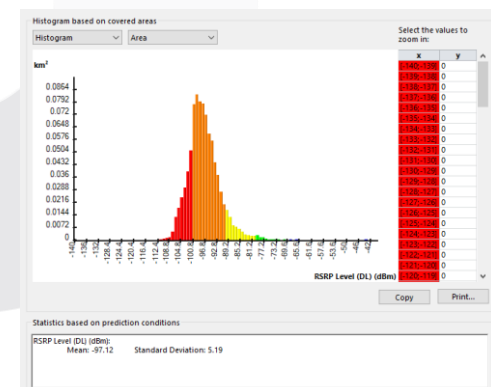
Perubahan nilai *Power Configuration* yang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi Atoll. Didapatkan peningkatan nilai *Throughput* sebesar 17,58 % dari nilai awal sebesar 45.521 kbps menjadi 53.527 kbps. Nilai tersebut telah memenuhi standar karena sudah berada pada kategori “sangat baik” KPI operator.

4. BLER

D. Simulasi Menggunakan Skenario III

Setelah dilakukan analisis terhadap hasil *drive test* pada area Kebun Raya Bogor, terdapat nilai yang belum memenuhi standar KPI.

1. RSRP



Gambar 19 Nilai RSRP menggunakan skenario III

Hasil kenaikan nilai parameter RSRP menjadi -97,12 dBm dari nilai awal sebesar -100,66 dBm. peningkatan nilai RSRP sebesar 3,51% dari kondisi eksisting sebelum perbaikan. Nilai tersebut belum memenuhi standar karena belum melewati ambang batas KPI operator yaitu sebesar >-91 dBm.

- 27,46 % menjadi 16,01 dB, *Throughput* sebesar 16,74 % menjadi 53,144 kbps, dan BLER sebesar 50 % yaitu menjadi 0,01 atau hanya sebesar 1 %.
2. Hasil Perbaikan menggunakan skenario II dengan metode *Power Configuration* dapat meningkatkan nilai parameter RSRP, SINR, *Throughput*, BLER. Kenaikan RSRP sebesar 12,40 % menjadi -88,73 dBm, SINR sebesar 28,02% menjadi 16,08 dB, *Throughput* sebesar 17,58 % menjadi 53,527 kbps, dan BLER sebesar 50 % yaitu menjadi 0,01 atau hanya sebesar 1%.
 3. Hasil perbaikan menggunakan skenario III dengan metode Penambahan *Site Microcell* dapat meningkatkan nilai parameter RSRP, SINR, *Throughput*, BLER. Kenaikan RSRP sebesar 3,62 % menjadi -97,62 dBm, SINR sebesar 28,74 % menjadi 16,17 dB, *Throughput* mengalami penurunan sebesar 2,2% menjadi 44,511 kbps, dan BLER sebesar 50% yaitu menjadi 0,01 atau hanya 1%.
 4. Dari 3 skenario yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa skenario II adalah skenario yang paling optimal karena dilihat dari hasil akhir simulasi seluruh nilai parameter pada skenario II meningkat diatas ambang KPI dibandingkan 2 skenario yang lainnya.

REFERENSI

- [1] L. Wardhana, B. F. Aginsa, A. Dewantoro, M. F. R. Dinni, I. Harto, G. Mahardhika dan A. Hikmaturokhman, 4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia, jakarta: nulisbuku.com, 2014.
- [2] Lipi, "Profil Kebun Raya Bogor," 2019. [Online]. Available: <http://krbogor.lipi.go.id/id/Sejarah-Kebun-Raya-Bogor.html>. [Diakses 21 october 2021].
- [3] L. M. D. Ningtyas, U. K. Usman dan H. Vidyningtyas, "PERBAIKAN TERHADAP DAERAH CAKUPAN LAYANAN DI JALUR KERETA API BANDARA SOEKARNO-HATTA," 2020.
- [4] M. M. HAQ, "OPTIMASI JARINGAN LTE DI DAERAH LEMBANG, JAWA BARAT," 2018.
- [5] X. Zhang, LTE Optimization Engineering Handbook, Wiley-IEEE Press, 2018.
- [6] I. Gemiharto, "TEKNOLOGI 4G-LTE DAN TANTANGAN KONVERGENSI MEDIA DI INDONESIA," *Jurnal Kajian Komunikasi*, 2015.
- [7] U. K. Usman, G. Prihatmoko, D. K. Hendraningrat dan S. D. Purwanto, Fundamental Teknologi Seluler LTE, Bandung: Rekayasa Sains, 2012.
- [8] S. Ariyanti, "Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel," p. 262, 2014.
- [9] A. Hikmaturokhman, I. wardhana dan B. S. Dharmanto, 4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia Jilid 2, nulisbuku.com, 2015.
- [10] A. ElNashar, M. A. El-saidny dan M. Sherif, Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks: A Practical Approach, india: IEEE Express, 2014.
- [11] e. berliansa, "4G LTE Drive Test Parameter," Write Your Skills, 18 Juni 2016. [Online]. Available: <https://edvanberliansa.wordpress.com/2016/06/18/4g-lte-drive-test-parameter/>. [Diakses 22 Desember 2021].
- [12] F. Krasniqi, A. Maraj dan E. Blaka, "Performance analysis of mobile 4G/LTE networks," 2018.
- [13] M. Hafidh, M. Ir. Uke Kurniawan Usman dan S. M. Hurianti Vidyningtyas, "ANALISA DAN OPTIMASI BAD COVERAGE PADA JARINGAN 4G LTE 1800 MHZ (STUDI KASUS DAERAH PENGAMATAN TANJAKAN MAUK TANGERANG SELATAN)," pp. 3-4, 2019.
- [14] H. Yuliana, S. Basuki dan H. R. Iskandar, "Peningkatan Kualitas Sinyal Pada Jaringan 4G LTE Dengan Menggunakan Metode Antenna Physical Tuning," vol. I, pp. 5-6, 2019.
- [15] Y. A. P. WICAKSANA, "ANALISIS OPTIMASI JARINGAN LTE DENGAN TINJAUAN COVERAGE AREA STUDI KASUS WILAYAH KOTA BANDUNG," pp. 30-32, 2017.