

Perencanaan LTE Menggunakan Metode Capacity Planning di Kota Salatiga

Vieta Lupiani Matondang¹, Dita Julianty Pakpahan², Elisabeth Theresia Hutagalung³,
Bakti Viyata Sundawa⁴, Febrin Aulia Batubara⁵, Benar⁶

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Politeknik Negeri Medan

⁶Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No. 1, Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

Corresponding Authors: vietalupianimatondang@students.polmed.ac.id

Abstrak—Pertumbuhan pengguna layanan data seluler yang pesat membutuhkan perencanaan kapasitas jaringan yang akurat agar kualitas layanan tetap terjaga. Perencanaan ini bertujuan untuk melakukan capacity planning jaringan LTE di Kota Salatiga dengan memproyeksikan kebutuhan kapasitas jaringan untuk periode 5 tahun ke depan. Metode yang digunakan meliputi perhitungan throughput per sesi, Single User Throughput (SUT), estimasi jumlah pengguna LTE berdasarkan proyeksi populasi, total traffic demand, serta kapasitas site dengan konfigurasi 3 sektor MIMO. Layanan yang dianalisis mencakup VoIP, Video Phone, Streaming Media, dan Web Browsing. Perhitungan dilakukan secara manual menggunakan Microsoft Excel dengan mempertimbangkan data populasi dan luas wilayah Kota Salatiga. Hasil perhitungan menunjukkan dibutuhkan sebanyak 43 site BTS untuk memenuhi total traffic demand di Kota Salatiga. Seluruh site kemudian disimulasikan menggunakan software Atoll dengan menambahkan data peta, clutter, ketinggian terrain, dan data vektor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perencanaan kapasitas jaringan LTE ini mampu memberikan gambaran representatif tentang kebutuhan infrastruktur jaringan di Kota Salatiga untuk mendukung berbagai layanan data berkecepatan tinggi.

Kata kunci : Capacity Planning, LTE, Kota Salatiga, Site BTS, Software Atoll

Abstract—The rapid growth of cellular data service users requires accurate network capacity planning to maintain service quality. This study aims to perform LTE network capacity planning in Salatiga City by projecting network capacity needs for the next 5 years. The methods used include throughput per session calculation, Single User Throughput (SUT), LTE user estimation based on population projection, total traffic demand, and site capacity with 3-sector MIMO configuration. Services analyzed include VoIP, Video Phone, Streaming Media, and Web Browsing. Calculations were performed manually using Microsoft Excel considering population data and the area of Salatiga City. The results show that 43 BTS sites are needed to meet the total traffic demand in Salatiga City. All sites were then simulated using Atoll software with map, clutter, terrain height, and vector data. The simulation results indicate that this LTE network capacity planning provides a representative picture of network infrastructure needs in Salatiga City to support various high-speed data services.

Keywords : Capacity Planning, LTE, Salatiga City, BTS Site, Atoll Software

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pesatnya peningkatan akses internet dan pertumbuhan pengguna data di wilayah perkotaan Indonesia menuntut perencanaan jaringan seluler yang lebih presisi guna mengakomodasi lonjakan trafik lalu lintas data. Dalam hal ini, perencanaan kapasitas (capacity planning) berbantuan perangkat lunak Atoll menjadi metode yang sangat efektif karena mampu mensimulasikan kepadatan populasi dan kebutuhan pengguna secara akurat. Pendekatan ini menawarkan hasil yang lebih komprehensif dibandingkan perencanaan cakupan (coverage) konvensional yang hanya berorientasi pada luas jangkauan sinyal[1].

Kebutuhan akan perencanaan berbasis kapasitas ini sangat relevan jika meninjau kondisi Kota Salatiga di Pulau Jawa. Sebagai wilayah dengan pertumbuhan pengguna seluler yang signifikan, Kota Salatiga memiliki luas wilayah sebesar 54,98 km² dengan jumlah penduduk mencapai 198.971 jiwa[2].beberapa penelitian terkait jaringan 4G LTE di area perkotaan.

Indonesia mengindikasikan bahwa banyaknya pengguna tanpa adanya peningkatan infrastruktur Base Transceiver Station (BTS) dan lokasi radio yang memadai bisa mengurangi kualitas layanan (Quality of Service), terutama saat lalu lintas padat[3]. Sehingga memengaruhi kenyamanan pengguna pada layanan sensitif waktu seperti VoIP, video call, dan streaming[4].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan kapasitas jaringan dengan menganalisis proyeksi jumlah penduduk, volume data, dan laju data guna menentukan jumlah site tambahan yang optimal dengan menerapkan tahapan capacity planning secara sistematis, dimulai dengan mengalkulasi throughput per sesi guna menentukan single user throughput. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan perkiraan jumlah pengguna LTE untuk mendapatkan total traffic demand. Dengan membagi total kebutuhan trafik tersebut terhadap kapasitas per-site (3 sektor), diperoleh jumlah site yang akurat sesuai hasil perhitungan. Hasil perancangan ini menentukan Jumlah site baru yang mampu memperbaiki parameter teknis dan menjaga kualitas layanan komunikasi di wilayah perkotaan termaksud kota Salatiga.

B. Tujuan

Tujuan dari Perancangan ini adalah untuk mengidentifikasi jumlah site tambahan yang paling tepat di Kota Salatiga, Jawa Tengah, dengan menggunakan metode perencanaan kapasitas guna menangani tingginya kepadatan trafik jaringan. Perencanaan ini berfokus pada analisis kebutuhan kapasitas untuk berbagai macam layanan, termasuk VoIP, streaming media, video call, dan web browsing. Dengan mengkombinasikan langkah-langkah perhitungan yang dimulai dari throughput pengguna tunggal hingga total permintaan lalu lintas dengan bantuan perangkat lunak Atoll, perencanaan ini bertujuan untuk menghasilkan jumlah site yang tepat berdasarkan hasil analisis. Diharapkan, hasil akhir dari desain ini dapat memberikan dampak yang positif untuk meningkatkan parameter RSRP dan throughput serta memastikan kualitas layanan komunikasi di area Kota Salatiga.

C. Manfaat

Perancangan ini diharapkan dapat dijadikan referensi atau acuan dalam menentukan jumlah *site* tambahan yang ideal guna mengoptimalkan kapasitas jaringan LTE di Kota Salatiga. Hasil perhitungan ini memberikan gambaran konkret mengenai kebutuhan infrastruktur yang sebanding dengan laju pertumbuhan penduduk dan kepadatan trafik data saat ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Teknologi Long Term Evolution (LTE)

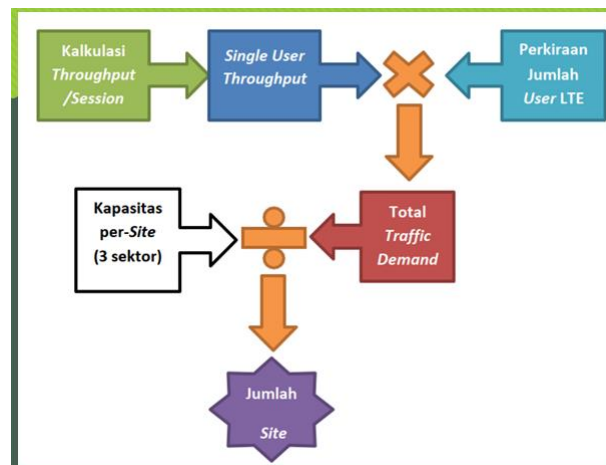
Long Term Evolution (LTE) adalah standar komunikasi nirkabel yang dikelompokkan sebagai teknologi generasi keempat (4G) dan dirancang oleh 3GPP untuk meningkatkan kinerja, kecepatan transfer data, serta efisiensi spektral dibanding teknologi 3G sebelumnya[4], [5]. LTE merupakan evolusi lanjut dari jaringan seluler sebelumnya dengan arsitektur berbasis IP penuh dan memanfaatkan teknologi akses seperti OFDMA/SC-FDMA untuk mendukung kecepatan data tinggi, latensi lebih rendah, dan kapasitas jaringan yang lebih besar[6].



Gambar 2.1 Infrastruktur Teknologi Long Term Evolution (LTE) berbasis Evolved Packet Core (EPC) yang menunjukkan hubungan antara eNodeB, komponen core (MME, SGW, PGW, HSS)[7].

B. Perencanaan Kapasitas (Capacity Planning)

Perencanaan kapasitas dalam sistem komunikasi seperti LTE adalah langkah untuk mengidentifikasi kapasitas jaringan dalam memberikan layanan data berkualitas tinggi, dengan mempertimbangkan ketersediaan bandwidth dan kondisi saluran pengguna. Proses ini mencakup penghitungan rata-rata throughput per sel, jumlah pelanggan setiap sel, dan perkiraan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk memenuhi permintaan lalu lintas. Pendekatan ini sering digabungkan dengan perencanaan jangkauan untuk memastikan jaringan LTE berfungsi secara efektif di area perkotaan, semi-perkotaan, atau pedesaan[8]. Capacity planning adalah tahap perencanaan jaringan yang bertujuan menentukan jumlah kanal atau jumlah site yang dibutuhkan berdasarkan kepadatan trafik pengguna di suatu area agar jaringan mampu menangani beban data tanpa menurunkan kualitas layanan (Quality of Service)[9]. Berbeda dengan coverage planning yang lebih menekankan pada jangkauan sinyal, capacity planning berfokus pada kemampuan jaringan LTE (atau 5G) dalam menangani volume trafik data waktu sibuk, sehingga throughput dan kualitas layanan seperti VoIP, video call, dan web browsing tetap terjaga[10].



Gambar 1.2 Tahapan capacity planning

C. Model layanan data

Model layanan data multiservice merupakan strategi dalam perencanaan jaringan yang dapat menyokong berbagai jenis layanan secara bersamaan, seperti VoIP, media streaming, telepon video, dan penjelajahan web. Dalam model ini, setiap jenis layanan diperlakukan secara berbeda karena kebutuhan performanya bervariasi, sehingga kapasitas jaringan dihitung berdasarkan kombinasi kontribusi trafik dari setiap layanan. Hal ini sangat krusial pada LTE karena jaringan ini dibangun dengan dasar paket dan harus mampu menangani layanan real-time serta non-real-time pada waktu yang bersamaan[11].

Karakteristik tiap layanan :

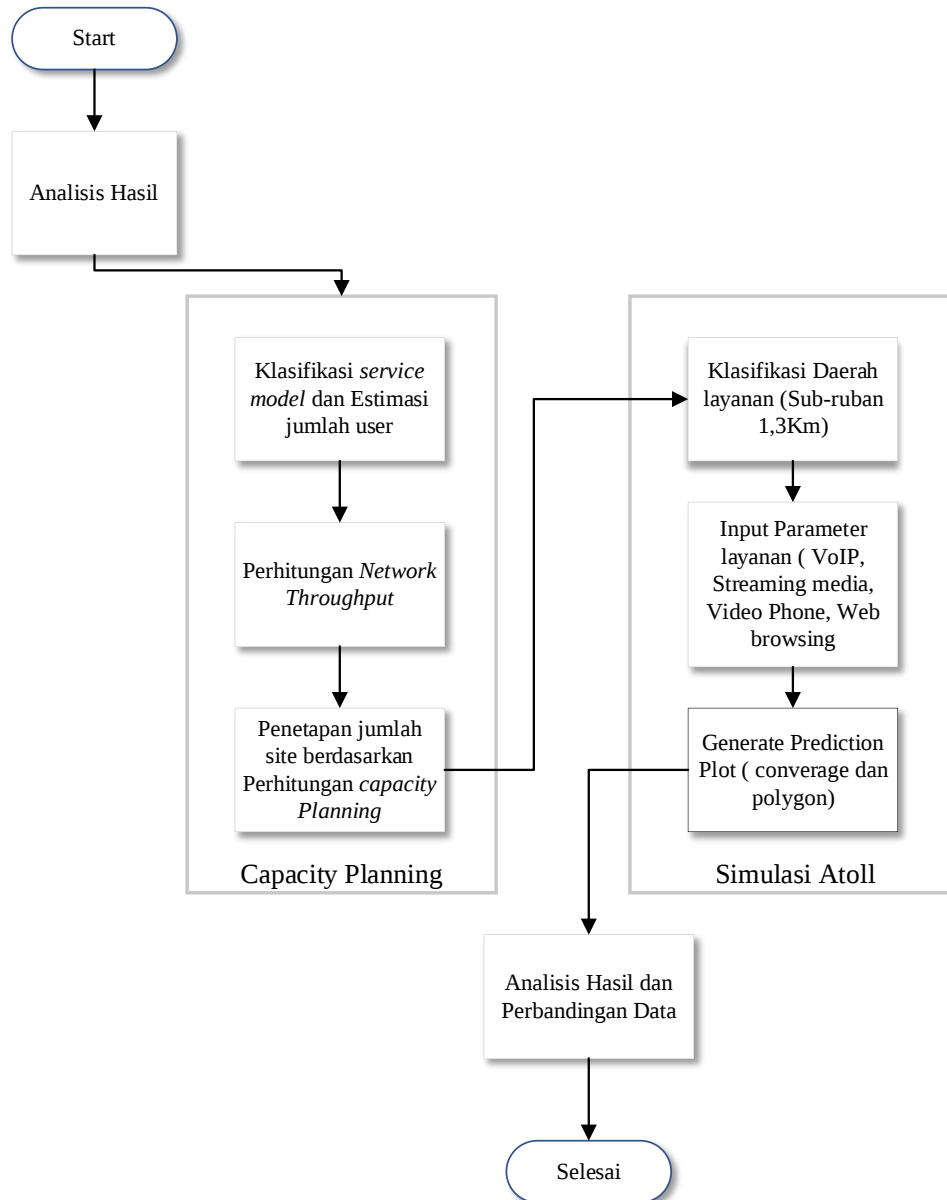
- VoIP: layanan suara berbasis paket dengan bit rate rendah yang sangat sensitif terhadap latensi, jitter, dan packet loss karena kualitas percakapan real-time sangat bergantung pada ketiga parameter QoS tersebut[12].
- Streaming media: layanan satu arah seperti YouTube atau video streaming yang membutuhkan throughput stabil, dan biasanya dibantu buffering agar pemutaran tetap lancar[13].
- Video phone: berfungsi sebagai alat komunikasi dua arah antara satu orang dengan orang lainnya secara waktu nyata (real-time), sehingga pengguna dapat berinteraksi secara “tatap muka” meskipun secara jarak jauh melalui jaringan internet[14].
- Web browsing: layanan non-real-time yang bersifat bursty, artinya trafik muncul dalam lonjakan saat halaman dimuat lalu turun ketika pengguna membaca konten[11].

III. METODE

A. Diagram alir perancangan

Perencanaan ini dimulai dalam Menghitung capacity planning untuk menentukan kebutuhan jumlah site BTS pada jaringan LTE di Kota Salatiga. Perencanaan ini terdiri dari dua tahapan utama yang saling berkaitan, yaitu

perhitungan capacity planning dan simulasi menggunakan software Atoll. Alur penelitian secara keseluruhan digambarkan pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 2.1 Diagram alir perencanaan LTE capacity Planning

B. Prosedur perhitungan capacity planning

Proses perhitungan capacity planning dilakukan untuk mengetahui jumlah eNodeB yang diperlukan di Kota Salatiga berdasarkan trafik pengguna selama 5 tahun ke depan. Perhitungan dilakukan menggunakan Microsoft Excel dengan mengacu pada rumus-rumus dari setiap langkah perhitungan capacity planning. Langkah-langkah perhitungan dilakukan secara terstruktur sebagai berikut:

1. Menghitung kalkulasi Throughput / Session

Tahap awal adalah menghitung besarnya data (bit) yang diterima oleh tiap *User Equipment* (UE) untuk setiap jenis layanan (VoIP, Video Phone, Streaming Media, dan Web Browsing). Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Thr} = R_{\text{bearer}} \times t_{\text{session}} \times D \times (1 / (1 - \text{BLER}))$$

Tabel 3.1 Data hasil Perhitungan Nilai Throughput

<i>R_{brearer}</i> (kbps)	<i>T_{session}</i> (s)	<i>D</i>	<i>BLER</i>	<i>Troughtput</i>	<i>R_{brearer}</i> (kbps)	<i>T_{session}</i> (s)	<i>D</i>	<i>BLER</i>	<i>Troughput</i>
<i>Uplink</i>					<i>Downlink</i>				
130,26	1800	0,2	1%	47367,27	550,56	1800	0,4	1%	400407,27
31,26	3600	0,05	1%	5683,63	52,63	3600	0,05	1%	9569,09
62,53	1800	1	1%	113690,90	500,52	1800	1	1%	910036,36
81,34	70	1	1%	5751,31	1000	70	1	1%	70707,07
100,53	1800	0,05	1%	9139,09	1000	1800	0,05	1%	90909,09
104,21	50	1	1%	5263,13	750,34	50	1	1%	37895,95

2. Menghitung Single User Throughput

Single user throughput: Mengukur data yang diterima oleh satu pengguna secara individual per detik, Dengan Rumus :

$$SUT = Thr \times BHSA \times TPR \times (1 + PAR) \times (1 / 3600 \text{ s})$$

Tabel 3.2 Data hasil Perhitungan Nilai Single User Throughput

Jenis Layanan	Urban		SUT (kbps)	
	TPR	BHSA	Uplink	Downlink
Voip	100%	1,3	20,52581818	173,5098182
Video Phone	20%	0,16	0,050521212	0,085058586
Real Time Gaming	30%	0,2	1,894848485	15,16727273
Streaming Media	15%	0,15	0,035945707	0,441919192
Web Processing	100%	0,4	1,015454545	10,1010101
Email	10%	0,3	0,043859428	0,315799663

3. Total jumlah User

Perkiraan jumlah user LTE dihitung untuk 5 tahun kedepan dengan rumus : $P_F = P_0 (1 + GF)^n$ dan untuk kepadatan penduduk dengan rumus : $Density = P_{LTE} / \text{Luas Wilayah}$

Tabel 3.3 Data Hasil Perhitngan Total jumlah User LTE di kota Salatiga

Total Jumlah User LTE	
<i>Wilayah</i>	Kota Salatiga
<i>luas wilayah</i>	54,98
<i>Jumlah Penduduk Saat Ini (PO)</i>	198971
<i>GF</i>	1,50%
<i>n</i>	5
<i>Penduduk Masa depan (PF)</i>	214348,2755
<i>Penduduk Usia Produktif (PP) 15-65Th</i>	63%
<i>Pengguna Telepon Seluler (PT)</i>	80%
<i>Penguna Operator x(PX)</i>	40%
<i>Pengguna PLTE</i>	60%
<i>Kepadatan Penduduk</i>	PLTE / Luas Wilayah

4. Total traffic Demand

Network throughput merupakan kebutuhan throughput yang diperlukan dalam suatu daeran perencanaan. Dengan Rumus : Network Throught = $P_{LTE} \times SUT$ (kbps)

Tabel 3.4 Data hasil Perhitungan Total traffic Demand

Total Trafific Demand		
Jenis Layanan	Network Troughput	
	Uplink	downlink
Voip	532184,5345	4498687,51
Video Phone	1309,892133	2205,36222
Real Time Gaming	49128,81182	393250,486
Streaming Media	931,9847431	11457,8896
Web Processing	26328,26618	261894,62
Email	1137,168266	8187,91706
Total Trafic Demand :	611020,6577	5175683,78

5. Cell Throughput

Cell Capacity merupakan kemampuan maksimum suatu sel dalam membangkitkan throughput.

Dengan Rumus : $CP_{UL} = [(168 - 24) \times \text{CodeBit} \times \text{CodeRate} \times Nrb \times C \times 1000] - 24$

$CP_{DL} = [(168 - 36 - 12) \times \text{CodeBit} \times \text{CodeRate} \times Nrb \times C \times 1000] - 24$

Tabel 3.5 Data hasil Perhitungan Nilai Cell Throughput

Cell Troughput											
Modulasi	Code Bit	Code Rate	Nrb	C	SINR Probability	Cell Capacity		Cell Avarage Throughput		Site Capacity	
						UL	DL	UL	DL	UL	DL
QPSK1/3	2	0,3	75	2	0,29	1295997	1079997	3758393	3131993	132373350	110311110
QPSK1/2	2	0,5	75	2	0,27	2159997	1799997	5831993	4859993		
QPSK2/3	2	0,67	75	2	0,19	2894397	2411997	5499355,4	4582795,4		
16QAM1/2	4	0,5	75	2	0,15	4319997	3599997	6479996,4	5399996,4		
16QAM2/3	4	0,67	75	2	0,14	57887976	48239976	8104316,6	6753596,6		
16QAM4/3	4	0,8	75	2	0,09	6911997	5759997	6220797,8	5183997,8		
64QAM1/2	6	0,5	75	2	0,06	6479997	5399997	3887998,5	3239998,5		
6AQAM2/3	6	0,67	75	2	0,05	8683197	7235997	4341598,8	3617998,8		
Cell Avarage Throughput :								44124450,2	36770370,2		

6. Jumlah Site

Jumlah site merupakan hasil akhir dari seluruh rangkaian perhitungan capacity planning yang telah dilakukan. Nilai ini diperoleh melalui serangkaian langkah perhitungan mulai dari throughput, jumlah user, traffic demand, hingga cell throughput, sehingga diperoleh jumlah site dengan rumus : $\text{Jumlah Sel} = \text{Network Throughput} / \text{Site Capacity}$

Jumlah Site = Selisih Jumlah Sel Downlink dan Jumlah Sel Uplink

Tabel 3.6 Data Hasil Perhitungan Jumlah site Dikota Salatiga

Jumlah site		
jumlah sel		Jumlah Site
Uplink	downlink	
4,615888729	46,9189708	42,30308207

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Jaringan LTE

Menurut hasil perhitungan dengan menggunakan metode capacity planning, proses perencanaan jaringan LTE di Kota Salatiga dimulai dengan memproyeksikan jumlah pengguna LTE selama 5 tahun ke depan dengan Provider Telkomsel. Proyeksi ini dilakukan dengan menggunakan data jumlah penduduk Kota Salatiga saat ini sebanyak 198.971 jiwa dengan luas wilayah sebesar 54,98 km². Dengan menerapkan growth factor sebesar 1,5% selama 5 tahun, diperoleh estimasi jumlah penduduk pada tahun ke-5 sebanyak 214.348 jiwa. Setelah memperoleh proyeksi total penduduk, langkah selanjutnya adalah melakukan seleksi berdasarkan kelompok pengguna. Penduduk usia produktif (15–65 tahun) diperkirakan sebesar 63% dari total populasi, sehingga diperoleh sebanyak 135.039 jiwa. Dari jumlah tersebut, diasumsikan 80% merupakan pengguna telepon seluler sebanyak 108.031 jiwa, kemudian difilter kembali berdasarkan pengguna operator sebesar 40% menjadi 43.212 jiwa, dan akhirnya pengguna LTE diperkirakan sebesar 60% dari pengguna operator, sehingga diperoleh total pengguna LTE sebanyak 25.927 jiwa dengan kepadatan penduduk sebesar 471,58 jiwa/km². Setelah memperoleh total pengguna LTE, perhitungan dilanjutkan dengan menghitung Single User Throughput (SUT) untuk setiap jenis layanan yang mencakup VoIP, Video Phone, Real Time Gaming, Streaming Media, Web Processing, dan Email. Nilai SUT tertinggi diperoleh pada layanan VoIP yaitu sebesar 20,52 kbps untuk uplink dan 173,51 kbps untuk downlink, hal ini disebabkan tingginya nilai BHSA dan TPR pada layanan tersebut. Dengan mengalikan nilai SUT terhadap total pengguna LTE, diperoleh total traffic demand sebesar 611.020,66 kbps untuk uplink dan 5.175.683,78 kbps untuk downlink.

Langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas sel menggunakan konfigurasi 3 sektor MIMO dengan variasi modulasi dari QPSK hingga 64QAM, sehingga diperoleh nilai site capacity sebesar 132.373.350 kbps untuk uplink dan 110.311.110 kbps untuk downlink. Berdasarkan pembagian antara total traffic demand dengan site capacity, diperoleh jumlah sel uplink sebesar 4,62 dan jumlah sel downlink sebesar 46,92. Dengan mengambil selisih keduanya, maka didapatkan jumlah site yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan jaringan LTE di Kota Salatiga adalah sebanyak 43 site eNodeB.

B. Perbandingan Data site Sebelum dan Sesudah Perencanaan

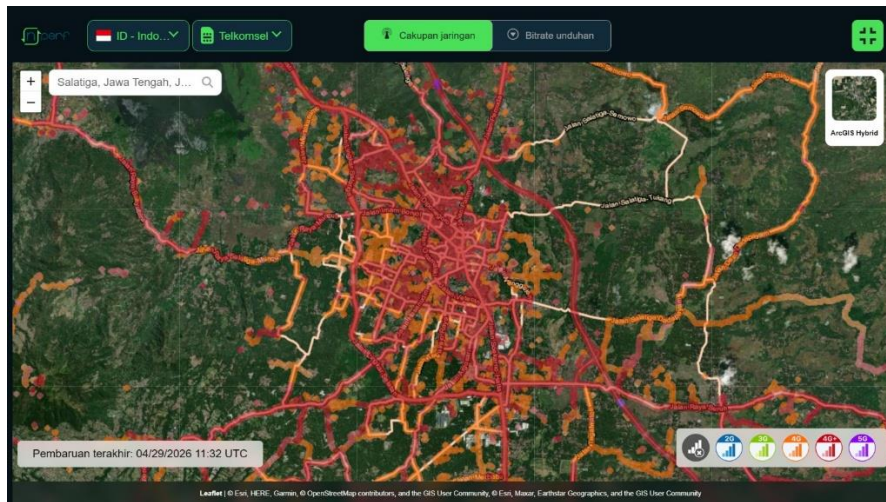
Penyelenggaraan telekomunikasi dan informasi di Kota Salatiga telah meliputi telekomunikasi nirkabel yang didukung dengan keberadaan menara telekomunikasi seluler dan radio. Kota Salatiga setidaknya memiliki tujuh stasiun pemancar radio. Di sisi telekomunikasi seluler, banyak menara telekomunikasi yang telah dibangun. Berikut merupakan data stasiun pemancar radio dan menara telekomunikasi[15].

Tabel 4.1 Pemancar radio di kota salatiga

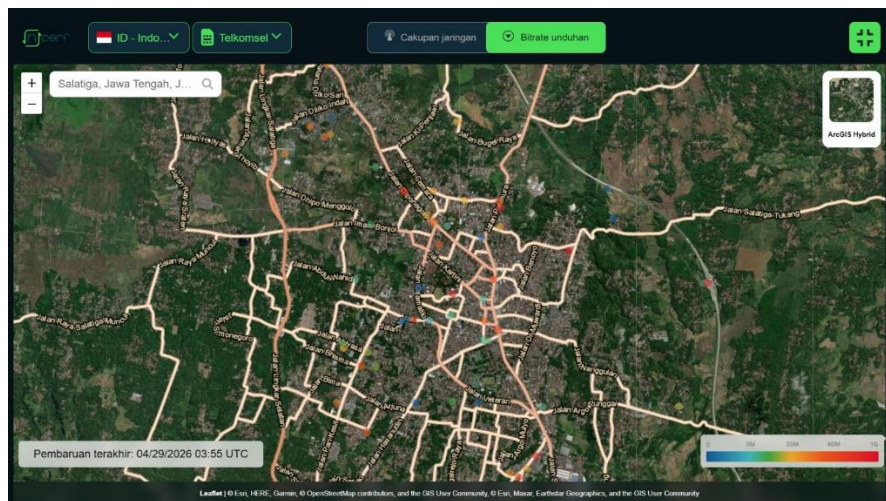
NAMA STASIUN	NAMA PERUSAHAAN	TAHUN BERDIRI	FREKUENSI/ GELOMBANG
RSPD	Pemerintah Kota Salatiga	1967	106 Mhz. Fm
ZENITH FM	PT. Zebra Nirwana Taruna	1983	97.2 Mhz. Fm
ELISA	PT. Radio El-Shaddai Nusantara Jaya	2004	103.9 Mhz. Fm
SUARA AGAPE	Radio Komunitas Agape	2007	106.2 Mhz. Fm
BETHANY	Radio Komunitas Bethany	2006	107.4 Mhz. Fm
BASS	Pt. Bahana As Sunnah	2010	93.2 Mhz. Fm
SPS	Pt. Radio Swara	2011	99.9 Mhz. Fm

Maka dari data table tersebut untuk provider telkomsel dapat kita lihat pada gambar 4.1 dan 4.2 Berdasarkan peta cakupan eksisting Telkomsel di Kota Salatiga yang ditunjukkan pada gambar tersebut, terlihat bahwa meskipun sinyal sudah tersedia namun persebaran cakupan belum merata di seluruh wilayah kota, dimana beberapa area pinggiran masih menunjukkan kualitas yang rendah. Maka dari itu, dengan menggunakan metode capacity planning untuk proyeksi 5 tahun kedepan pada jaringan Telkomsel di Kota Salatiga, diperoleh kebutuhan sebanyak 43 site BTS. Hasil perencanaan tersebut kemudian disimulasikan menggunakan software Atoll, dan berdasarkan Gambar 4.3 dan 4.4 dapat dilihat bahwa dengan penambahan 43 site, seluruh wilayah

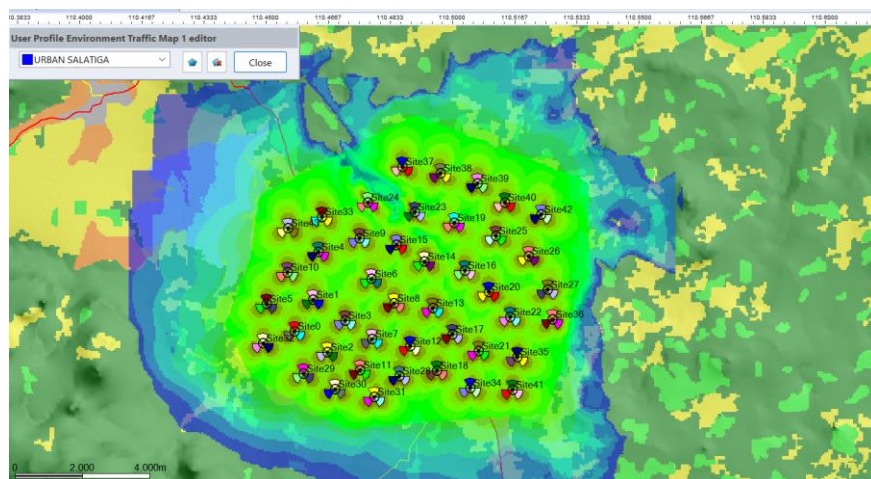
Kota Salatiga telah tercakup secara merata yang ditunjukkan dengan warna hijau pada prediction plot, artinya seluruh area layanan telah memenuhi threshold sinyal yang ditetapkan sehingga tidak ada lagi wilayah yang mengalami blank spot maupun kualitas sinyal yang buruk.



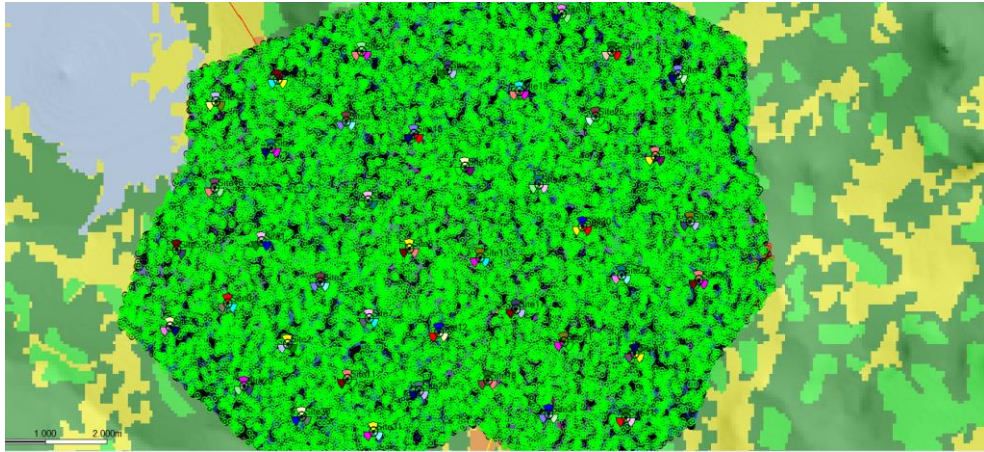
Gambar 4.1 Cakupan Jaringan Telkomsel dikota salatiga



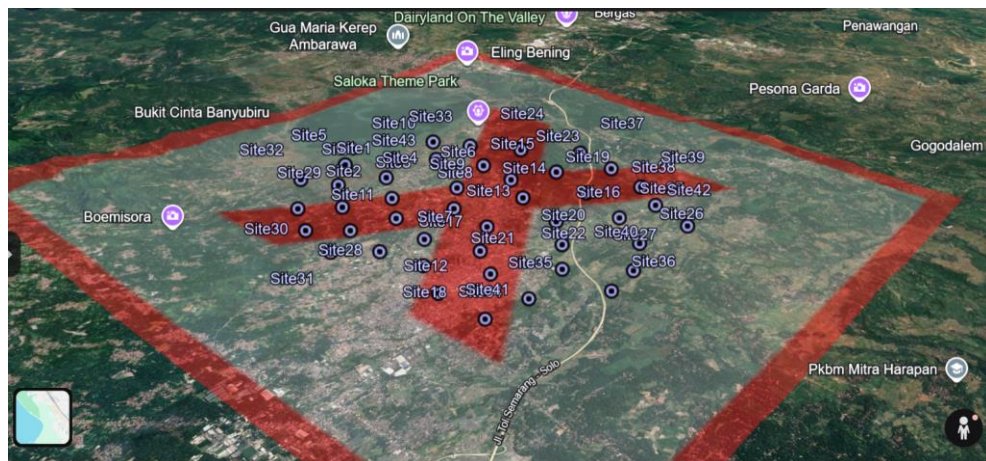
Gambar 4.2 Bitrate Unduhan (Download Speed)



Gambar 4.3 Converage Area Perencanaan Jaringan LTE dengan Capacity Planning Berdasarkan Simulasi Atoll



Gambar 4.4 Polygon Batas Wilayah Simulasi Jaringan LTE Kota Salatiga pada Atoll



Gambar 4.5 Converage Area Perencanaan jaringan LTE dengan capacity Planning berdasarkan google earth pada kota Salatiga

V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil melakukan perencanaan kapasitas jaringan LTE di Kota Salatiga menggunakan metode capacity planning untuk proyeksi kebutuhan jaringan selama 5 tahun ke depan. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan secara sistematis menggunakan Microsoft Excel, diperoleh total pengguna LTE sebanyak 25.927 jiwa dengan total traffic demand sebesar 611.020,66 kbps untuk uplink dan 5.175.683,78 kbps untuk downlink. Hasil akhir perhitungan menunjukkan bahwa dibutuhkan sebanyak 43 site eNodeB untuk memenuhi seluruh kebutuhan trafik jaringan LTE di Kota Salatiga. Hasil simulasi menggunakan software Atoll memperlihatkan bahwa penempatan 43 site tersebut mampu memberikan cakupan yang representatif di seluruh wilayah Kota Salatiga. Perencanaan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi operator telekomunikasi dalam mengembangkan infrastruktur jaringan LTE guna mendukung peningkatan kualitas layanan komunikasi data bagi masyarakat Kota Salatiga di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Ketut, Bagus, and S. Wijaya, "Perancangan Jaringan 5G NR dengan Metode Capacity Planning menggunakan Frekuensi 2300 MHz di Area Kota Cimahi (Ni Ketut H. D, Bagus Suganda Wijaya : Halaman 73-87) Perencanaan Jaringan 5g Nr Dengan Metode Capacity Planning Menggunakan Frekuensi 2.300 Mhz Di Area Kota Cimahi."
- [2] "No. Katalog: 1101002.3373," *Statistik Daerah Kota Salatiga 2023*, 2023, Accessed: Apr. 21, 2026. [Online]. Available: <https://salatigakota.bps.go.id/id/publication/2025/09/26/0639d2601aaac b6be6afee9d/statistik-daerah-kota-salatiga-2025.html>
- [3] J. Uda, S. Dase, and A. Amaliah, "Analisis Throughput Jaringan 4g Di Kota Makassar." [Online]. Available: <https://e-journal.naureendigiton.com/index.php/mj>
- [4] D. Ramadhan, M. Alif Akbar, R. Andi Putra, R. Adetya, and F. Murdiya, "Analisis Kinerja Trafik VoIP pada Jaringan 4G dan 5G," 2025. [Online]. Available: www.amtsoc.org
- [5] D. Suprianto, T. Purnamirza, R. Susanti, F. Sains, D. Teknologi, and R. Artikel, "Analisis performansi dan optimasi jaringan 4G LTE di Kecamatan Kelayang," *AITI: Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 22, no. Maret, pp. 15-28, 2025.
- [6] I. Widiensyah, S. Aulia, and Y. Yustini, "Implementasi Booster 4g Long Term Evolution (Lte) Pada Provider Tri Di Gedung F Politeknik Negeri Padang," *Suliwa: Jurnal Multidisiplin Teknik, Sains, Pendidikan dan Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 9-15, Jan. 2026, doi: 10.62671/suliwa.v3i1.125.
- [7] "Gateway LTE, SGW PGW, penyedia jaringan 4G." Accessed: Apr. 30, 2026. [Online]. Available: <https://www.iplook.com/products/epc-sgw-pgw>
- [8] A. Wulandari, T. Supriyanto, A. Hasna Mayanti, R. Nugroho, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Jakarta Depok, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2022- Teknik Telekomunikasi."
- [9] # Jurusan, T. Elektro, N. Malang, J. Soekarno, H. No, and M. 65141malang, "JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika) Pemodelan Site pada Heterogen Network 5G Menggunakan Optimized Network Engineering Tools Aisah #1 , Moechammad Sarosa #2 , Kristina Widjayanti #3".
- [10] S. Ariyanti, "Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel Study of Long Term Evolution Network Planning in Jabodetabek, Case Study of PT. Telkomsel."
- [11] L. Tugas Akhir and P. Studi, "Analisis Jaringan 4g Pada Provider Seluler Dengan Parameter Quality Of Service Di Area Universitas Islam Sultan Agung Semarang," 2025.
- [12] D. Raihan Tiara, B. Sugiarto, and S. Nurpadillah, "Analisis Kinerja VoIP Berbasis Wireshark Pada Jaringan Wireless Menggunakan Protocol RTP," vol. 3, no. 1.
- [13] D. Septiawan and D. Syamsuar, "Peningkatan Kualitas Jaringan 4G LTE Menggunakan Metode Optimasi Teknik Traffic Sharing," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 11, no. 3, p. 177, Dec. 2021, doi: 10.22441/incomtech.v11i3.10612.
- [14] A. Kiongono, E. Fitriandri, M. Ariel, Y. Desilia, R. Antonio, and D. Oliveira, "Penerimaan Teknologi Video Call Sebagai Media Komunikasi Digital."
- [15] P. Rencana, S. Proses, B. Spbe, I. Spbe, K. Dan, and L. Spbe, "Rencana Arsitektur Spbe Laporan Akhir".