

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, jaringan 4G LTE (*Long Term Evolution*) telah menjadi tulang punggung utama layanan komunikasi seluler di berbagai negara, termasuk Indonesia. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengakses internet dengan kecepatan tinggi, latensi rendah, serta mendukung berbagai layanan berbasis data seperti *streaming* video, panggilan video, dan aplikasi berbasis *cloud*.

Menurut laporan Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) (Wilhelmina, 2024), jumlah pengguna internet di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 221.563.479 jiwa dari total populasi 278.696.200 jiwa, dengan tingkat penetrasi internet sebesar 79,5% . Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan jaringan 4G yang handal dan stabil sangat penting dalam mendukung aktivitas digital masyarakat, terutama di sektor pendidikan, ekonomi, dan pemerintahan. Meskipun teknologi 5G mulai dikembangkan di beberapa wilayah, adopsinya masih terbatas, dan jaringan 4G tetap menjadi infrastruktur utama yang mendukung kebutuhan telekomunikasi nasional dalam jangka menengah.

Meskipun jaringan 4G LTE telah menjangkau sebagian besar wilayah di Indonesia, kualitas layanan yang dirasakan oleh pengguna tidak selalu konsisten. Di sejumlah kawasan perkotaan maupun pinggiran kota, pengguna masih mengalami permasalahan seperti sinyal lemah, koneksi tidak stabil, lambatnya kecepatan unduh/unggah, dan terjadinya *blank spot* wilayah tanpa cakupan sinyal sama sekali. Salah satu penyebab utama dari persoalan ini adalah distribusi *Base Transceiver Station* (BTS) yang tidak merata dan tidak mempertimbangkan dinamika kepadatan pengguna maupun kondisi topografis wilayah. Selain itu, interferensi antar sel pada jaringan padat juga turut memperburuk kualitas sinyal dan menyebabkan penurunan *parameter* penting seperti *Signal Level*, *Reference Signal Received Quality* (RSRQ), *Reference Signal Received Power* (RSRP), *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* (SINR), dan *Throughput*.

Kawasan Tanjung Bunga, Kota Makassar, merupakan wilayah pesisir dengan perkembangan kawasan permukiman dan aktivitas ekonomi yang cukup pesat, sehingga membutuhkan kualitas layanan jaringan seluler yang andal. Namun demikian, keterbatasan ketersediaan data resmi jaringan dari operator seluler menjadi kendala dalam menggambarkan kondisi jaringan secara komprehensif. Oleh karena itu, kajian mengenai kinerja jaringan di kawasan ini dilakukan dengan memanfaatkan data sekunder dan observasi terbatas sebagai dasar analisis awal.

Data jaringan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari platform pemetaan jaringan berbasis partisipatif, yaitu CellMapper, serta hasil pengamatan lapangan terbatas melalui aplikasi G-NetTrack Lite. Data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi persebaran site dan karakteristik jaringan secara umum.

Sesuai dengan tujuan penelitian, untuk meningkatkan akurasi dan cakupan data tersebut, penelitian ini tidak merepresentasikan kondisi jaringan aktual secara presisi, namun sebagai dasar awal dalam melakukan analisis prediksi jaringan.

Hasil analisis prediksi menggunakan perangkat lunak *Atoll*, diperoleh indikasi bahwa distribusi kualitas sinyal 4G di kawasan Tanjung Bunga belum merata. Hasil simulasi menunjukkan adanya variasi *parameter* kualitas sinyal yang relatif rendah. Temuan ini



digunakan sebagai dasar untuk menyusun skenario optimasi jaringan secara teknis melalui pendekatan simulasi.

Dalam laporan uji jaringan yang dilakukan oleh *OpenSignal* (*OpenSignal*, 2023), Indonesia mencatat rata-rata kecepatan unduh 4G sebesar 17,8 Mbps, yang masih jauh tertinggal dibanding negara-negara tetangga seperti Malaysia (26,6 Mbps) dan Thailand (28,1 Mbps). Selain itu, kualitas pengalaman pengguna sangat bervariasi antar wilayah, tergantung pada kepadatan penduduk, posisi geografis, dan efektivitas penempatan BTS. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk evaluasi dan optimasi jaringan, khususnya di wilayah urban yang padat trafik, agar kualitas layanan lebih merata dan efisien.

Perencanaan dan optimasi jaringan seluler merupakan proses krusial untuk menjamin kualitas layanan yang merata dan efisien. Penempatan *Base Transceiver Station* (BTS) yang tidak terencana dapat menyebabkan ketidakseimbangan distribusi sinyal, *overlap* cakupan, hingga meningkatnya interferensi antar sel. Hal ini secara langsung berdampak pada penurunan kualitas layanan seperti *throughput* dan *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* (SINR). Menurut GSMA (GSMA, 2019), perencanaan jaringan harus mempertimbangkan berbagai faktor teknis seperti topografi, kepadatan populasi, dan pola penggunaan data harian untuk memaksimalkan cakupan dan kapasitas jaringan secara optimal.

Selain itu, di wilayah perkotaan yang padat, perencanaan jaringan menjadi lebih menantang karena banyaknya hambatan fisik dan tingkat kepadatan pengguna yang tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan berbasis data dan simulasi untuk merancang jaringan yang efisien dan tepat sasaran. Software seperti Atoll dapat membantu menganalisis berbagai parameter teknis sebelum jaringan diterapkan di lapangan, sehingga potensi masalah dapat diantisipasi lebih awal dan kinerja jaringan dapat dioptimalkan dengan lebih efisien.

Forsk Atoll adalah salah satu software perencanaan jaringan yang sering digunakan dalam industri telekomunikasi untuk merancang dan mengoptimalkan kinerja jaringan seluler. Atoll memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi berbagai skenario jaringan, termasuk perhitungan cakupan sinyal, *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* (SINR), kapasitas sel, dan interferensi antar sel. Dengan fitur-fitur tersebut, Atoll membantu dalam merancang jaringan yang efisien dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti distribusi populasi dan topografi wilayah.

Atoll tidak hanya digunakan dalam perencanaan jaringan baru, tetapi juga dalam pengoptimalan jaringan yang sudah ada. Dalam dunia penelitian, software ini banyak digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi kinerja jaringan, serta untuk memperkirakan dampak dari perubahan konfigurasi jaringan. Di industri telekomunikasi, Atoll berperan penting dalam membantu operator untuk mengurangi biaya operasional jangka panjang dan meningkatkan pengalaman pengguna dengan jaringan yang lebih stabil dan efisien.

Membandingkan kondisi jaringan eksisting dengan hasil simulasi optimasi jaringan, memahami sejauh mana perbaikan konfigurasi dan penempatan *Base Transceiver Station* (BTS) dapat meningkatkan kualitas jaringan. Kondisi ini kali menghadapi tantangan seperti cakupan yang tidak merata, *overlap*, dan kapasitas yang tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan. Dengan menggunakan perangkat lunak perencanaan jaringan, Atoll dapat memodelkan berbagai konfigurasi dan skenario untuk menganalisis dampaknya terhadap performa jaringan, seperti peningkatan *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* (SINR) dan *throughput*.



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi performa jaringan 4G eksisting pada wilayah studi yang dipilih dilihat dari parameter teknis seperti *Signal Level*, RSRP, RSRQ, SINR, dan *Throughput*?
2. Bagaimana hasil simulasi optimasi jaringan 4G menggunakan *software* Atoll terhadap parameter-parameter tersebut?
3. Sejauh mana perbandingan kinerja antara jaringan 4G eksisting dan hasil optimasi dari parameter teknis seperti *Signal Level*, RSRP, RSRQ, SINR, dan *Throughput*?
4. Apa rekomendasi teknis yang dapat diberikan berdasarkan hasil perbandingan untuk meningkatkan kualitas layanan jaringan 4G di wilayah tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis performa jaringan 4G eksisting di wilayah studi berdasarkan parameter teknis seperti kekuatan sinyal, RSRP, RSRQ, SINR, dan *Throughput*.
2. Melakukan simulasi dan optimasi jaringan 4G menggunakan *software* Atoll dengan mempertimbangkan aspek topografi dan konfigurasi jaringan.
3. Membandingkan hasil simulasi optimasi dengan kondisi jaringan eksisting untuk menilai peningkatan kinerja jaringan.
4. Memberikan rekomendasi teknis terkait penempatan site dan konfigurasi jaringan yang lebih optimal untuk meningkatkan kualitas layanan jaringan 4G.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa, dosen, dan peneliti di bidang teknik elektro atau telekomunikasi mengenai penggunaan *software* Atoll dalam proses perencanaan dan optimasi jaringan 4G.
2. Memberikan gambaran kepada operator seluler atau pihak terkait mengenai pentingnya optimasi jaringan berbasis simulasi untuk meningkatkan kualitas layanan, efisiensi penempatan BTS, dan manajemen interferensi.
3. Mendorong peningkatan kualitas jaringan 4G di wilayah studi sehingga berdampak positif terhadap aktivitas masyarakat yang bergantung pada layanan data, terutama di sektor pendidikan, bisnis, dan komunikasi digital.

1.5 Batasan Masalah

Pembahasan pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Studi ini terbatas pada wilayah tertentu yang telah ditetapkan sebagai lokasi penelitian. Sehingga hasil analisis dan optimasi tidak dapat digeneralisasikan dengan karakteristik yang berbeda..
 Penelitian ini dibatasi pada pengaturan parameter lokasi site, tinggi antena, arah antena (azimuth), dan tilt antena. Selain itu, hal-hal lainnya seperti penggunaan *beamforming* dan penambahan frekuensi tidak termasuk dalam cakupan penelitian.



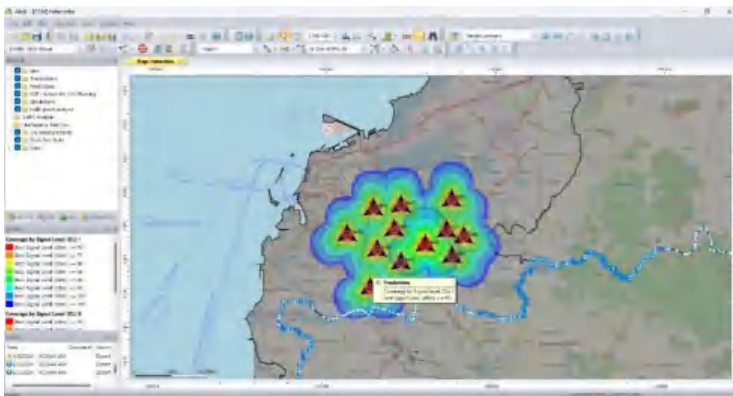
3. Rentang frekuensi yang digunakan dalam simulasi dan analisis dibatasi pada spektrum LTE yang digunakan secara komersial di Indonesia, seperti frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, dan 2100 MHz.
4. Analisis kinerja jaringan LTE dalam penelitian ini dibatasi pada parameter yang merepresentasikan layanan data, yaitu *Signal Level*, RSRP, RSRQ, SINR, dan *Throughput*. Parameter kualitas layanan *voice* seperti *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *Mean Opinion Score* (MOS) tidak dianalisis.
5. Penelitian ini tidak membahas aspek non-teknis seperti biaya pembangunan site baru, perizinan, dampak lingkungan, dan faktor sosial-ekonomi.

1.6 Teori

1.6.1 Forsk Atoll Rf Planning Software

1.6.1.1 Penjelasan Software

Atoll adalah sebuah platform dari perusahaan Forsk yang digunakan untuk perancangan dan optimasi jaringan nirkabel. Platform ini mendukung berbagai teknologi akses radio seperti 5G NR, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM, CDMA, serta teknologi-teknologi terbaru seperti MIMO, 3D *Beamforming*, dan propagasi gelombang milimeter (mmWave). Platform ini dapat memberikan kerangka kerja bagi operator dan vendor dalam merancang, mengoptimalkan, dan merencanakan jaringan mereka, seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya permintaan pengguna akan layanan yang lebih baik. (Rios, R., 2019)



Gambar 1 Tampilan Software Atoll
(sumber: Dokumentasi Pribadi)

1.6.1.2 Arsitektur dan Fitur Forsk Atoll

Atoll memungkinkan untuk memodelkan berbagai peralatan dan parameter yang diperlukan dalam perancangan jaringan, termasuk *base station*, peralatan *transmitter*, dan parameter sel.

Situs (*site*) didefinisikan sebagai titik geografis tempat *base station* dan *transmitter* terdiri dari seluruh peralatan yang digunakan gelombang radio guna mentransmisikan atau menerima data in antena. Terakhir, sel adalah saluran RF (*radio frequency*) da pemancar.

salah satu perangkat lunak perencanaan jaringan radio yang oleh operator dan perencana jaringan di seluruh dunia. mendukung berbagai teknologi jaringan seluler, mulai dari 2G,

3G, 4G hingga 5G, sehingga memungkinkan perencanaan jaringan multi-teknologi secara terpadu dalam satu platform. Salah satu keunggulan utama Atoll adalah kemampuannya untuk menggabungkan perencanaan berbasis prediksi dengan data pengukuran aktual dari jaringan, seperti data KPI, pengukuran lapangan, maupun data *crowdsourcing*, sehingga proses desain jaringan menjadi lebih realistis dan akurat.

Selain itu, Atoll dilengkapi dengan sistem informasi geografis (GIS) terintegrasi yang memungkinkan visualisasi dan manipulasi data spasial secara efektif. Fitur ini mendukung berbagai format data dan sangat membantu dalam menganalisis cakupan sinyal dan distribusi pengguna berdasarkan topografi wilayah. Atoll juga menyediakan modul *in-building* khusus untuk perencanaan jaringan indoor yang memungkinkan pemodelan struktur bangunan secara detail serta konfigurasi sistem *Distributed Antenna System* (DAS), yang sangat penting untuk menjangkau area dalam gedung seperti perkantoran, pusat perbelanjaan, dan kampus.

Untuk meningkatkan efisiensi perencanaan, Atoll juga mendukung otomatisasi perencanaan dan optimasi melalui fitur scripting dan layanan berbasis *Service-Oriented Architecture* (SOA). Hal ini memungkinkan integrasi proses perencanaan dengan sistem operasional lainnya secara efisien. Di samping itu, Atoll juga memiliki modul *Automatic Cell Planning* (ACP) yang membantu dalam proses optimasi penempatan *site* secara otomatis berdasarkan parameter tertentu seperti cakupan, kapasitas, dan interferensi. Semua fitur ini menjadikan Atoll sebagai solusi komprehensif untuk perencanaan dan optimasi jaringan seluler modern, baik untuk lingkungan *outdoor* maupun *indoor*. (Forsk)

1.6.2 G-NetTrack

G-NetTrack Pro adalah aplikasi netmonitor dan *drive test* untuk jaringan 5G/4G/3G/2G. Aplikasi ini memungkinkan pemantauan dan pencatatan informasi sel jaringan utama maupun sel tetangga tanpa menggunakan peralatan khusus. Aplikasi ini dapat digunakan oleh para profesional ataupun pemula untuk mendapatkan wawasan lebih baik tentang jaringan, atau oleh penggemar radio untuk mempelajari lebih lanjut tentang jaringan nirkabel. (Gyokov Solutions)



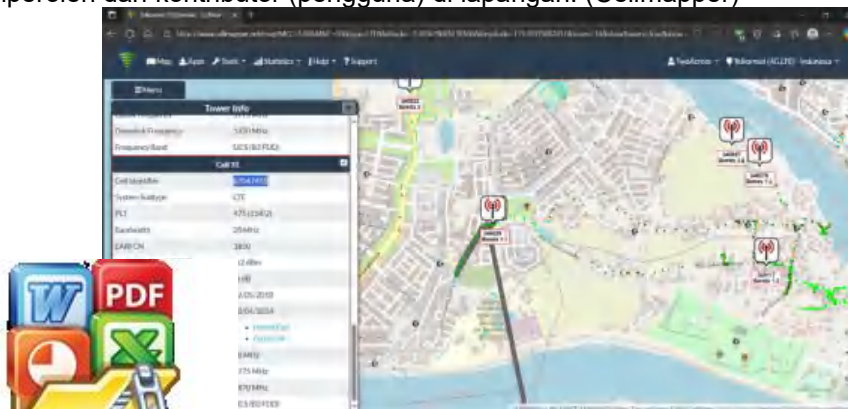
Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 2 Tampilan Software G-Nettrack
(sumber: Dokumentasi Pribadi)

1.6.3 Cellmapper.net

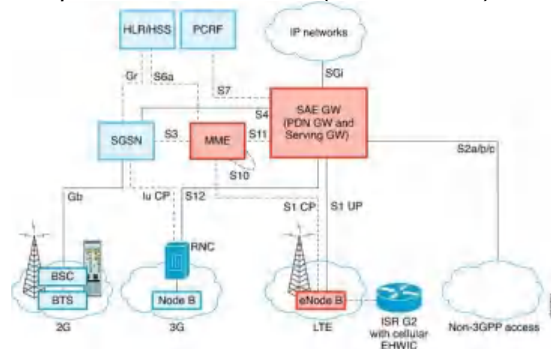
CellMapper adalah sebuah layanan pemetaan menara seluler (*cell tower*) dan peta cakupan jaringan (*coverage map*) yang bersifat *crowdsourced* yang artinya data diperoleh dari kontributor (pengguna) di lapangan. (Cellmapper)



Gambar 3 Tampilan Website Cellmapper.net
(sumber: Dokumentasi Pribadi)

1.6.4 Jaringan 4G LTE

Long Term Evolution (LTE) adalah teknologi komunikasi nirkabel generasi keempat (4G) yang diperkenalkan untuk menggantikan standar 3G, dengan tujuan utama meningkatkan kecepatan transfer data, efisiensi spektrum, dan latensi yang lebih rendah. LTE dikembangkan oleh 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP) sebagai evolusi dari standar GSM/UMTS dan menyediakan solusi yang lebih efisien untuk mendukung peningkatan konsumsi data mobile, terutama dengan munculnya aplikasi berbasis data yang lebih kompleks seperti *streaming* video, panggilan video, dan aplikasi berbasis *cloud* (Sauter, 2014).



Gambar 4 Perbandingan Arsitektur 2G, 3G dan LTE
(sumber: cisco.com)

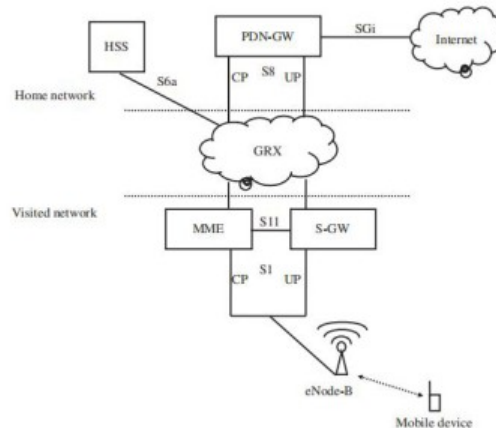
LTE menawarkan kecepatan data puncak yang jauh lebih tinggi dibandingkan teknologi sebelumnya. Kecepatan unduh LTE dapat mencapai hingga 100 Mbps, sedangkan kecepatan unggah bisa mencapai 50 Mbps, dengan latensi yang lebih rendah, sekitar 10-15 ms, yang sangat mendukung aplikasi *real-time* dan video (Sauter, 2014). LTE menggunakan teknik modulasi yang lebih efisien, seperti *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) untuk *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) untuk *uplink*, yang memungkinkan pemanfaatan spektrum secara lebih optimal dan mengurangi interferensi (Li & Zhuang, 2016).

Arsitektur jaringan LTE terdiri dari dua komponen utama: *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) dan *Evolved Packet Core* (EPC). E-UTRAN mencakup eNodeB (*evolved NodeB*), yang merupakan stasiun pangkalan (*base station*) yang menghubungkan perangkat pengguna ke jaringan. Di sisi lain, EPC bertanggung jawab atas pengelolaan paket data dan mobilitas pengguna, serta menyediakan koneksi ke jaringan eksternal dan internet. EPC mencakup beberapa elemen kunci, seperti *Mobility Management Entity* (MME), *Serving Gateway* (SGW), dan *Packet Data Network Gateway* (PGW).

1. *Mobility Management Entity* : MME adalah komponen utama pada sisi kontrol EPC. Fungsi utamanya adalah mengelola mobilitas pengguna, saat berpindah antar eNodeB (*handover*), serta menangani autentikasi dan otorisasi pengguna ketika perangkat pertama kali ke jaringan (*attach procedure*). MME tidak membawa data *user plane*, melainkan hanya sinyal kontrol (*control plane*). MME juga bertanggung jawab atas alokasi identitas pengguna, *paging* dan *tracking area update*.



2. *Serving Gateway* : SGW bertindak sebagai penghubung utama untuk lalu lintas data pengguna (*user plane*) antara *eNodeB* dan jaringan inti (*core network*). SGW menangani rute dan *forwarding data*, serta mobilitas intra-LTE, yaitu perpindahan antar *eNodeB* dalam satu sistem LTE. SGW juga menyimpan informasi konteks pengguna dan berfungsi sebagai titik pengumpulan untuk data charging (penghitungan data penggunaan).
3. *Packet Data Network Gateway* : PGW adalah gerbang utama yang menghubungkan jaringan LTE ke jaringan eksternal, seperti internet atau IP *Multimedia Subsystem* (IMS). PGW menangani alokasi alamat IP untuk perangkat pengguna dan menjalankan fungsi manajemen kualitas layanan (QoS), filtering paket, serta penghitungan kuota data (charging). PGW juga dapat melakukan kontrol kebijakan lalu lintas (*traffic policing*). (Sauter, 2014).



Gambar 5 Arsitektur Jaringan LTE
(sumber: Sauter, M., 2014)

Selain itu, LTE mendukung aplikasi *Voice over LTE* (VoLTE), yang memungkinkan layanan suara dikirimkan melalui jaringan LTE sebagai paket data, meningkatkan kualitas suara dan mengurangi latensi dibandingkan dengan jaringan suara tradisional (Ryu et al., 2013). Salah satu keuntungan utama dari LTE adalah kemampuannya untuk mendukung mobilitas tinggi, memungkinkan perangkat untuk tetap terhubung dengan baik saat bergerak cepat, seperti pada kendaraan atau kereta api. Dengan kemampuan untuk mendukung konektivitas pada kecepatan tinggi, LTE menjadi tulang punggung bagi pengembangan teknologi 5G yang lebih cepat dan lebih efisien (Ryu et al., 2013).

LTE beroperasi pada berbagai rentang frekuensi yang ditetapkan secara global oleh badan regulasi seperti ITU dan 3GPP. Spektrum LTE dibagi menjadi dua kategori utama: *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD), masing-masing dengan band frekuensi yang berbeda. Pada mode FDD, frekuensi terpisah, sedangkan pada TDD digunakan frekuensi yang sama untuk *uplink* dan *downlink*. Di Indonesia, frekuensi LTE berada pada band 3 (1800 MHz), band 8 (900 MHz), dan band 1 (2100 MHz), yang pada alokasi spektrum oleh pemerintah dan kebijakan internasional (3GPP, 2023).

Frekuensi LTE global mencakup band dari 700 MHz hingga 2600 MHz. Frekuensi seperti 700 MHz dan 800 MHz sangat ideal untuk cakupan luas karena panjang gelombangnya lebih besar.



Sebaliknya, frekuensi lebih tinggi seperti 2300 MHz dan 2600 MHz memiliki kapasitas lebih besar untuk trafik data, namun dengan jangkauan yang lebih terbatas (Dahlman dkk, 2016) Oleh karena itu, operator sering menerapkan strategi *layered network* dengan memanfaatkan kombinasi frekuensi rendah dan tinggi untuk mengoptimalkan kapasitas dan cakupan jaringan (GSMA, 2014)

Pemilihan spektrum juga menentukan bandwidth kanal yang dapat digunakan. LTE mendukung bandwidth fleksibel mulai dari 1.4 MHz hingga 20 MHz per kanal, yang memungkinkan operator menyesuaikan kapasitas berdasarkan alokasi spektrum yang tersedia dan kebutuhan trafik data di wilayah tertentu (Sauter, 2014)

Di Indonesia, Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) merekomendasikan dan mengalokasikan beberapa band frekuensi utama untuk layanan LTE, yakni 900 MHz (Band 8), 1800 MHz (Band 3), 2100 MHz (Band 1), 2300 MHz (Band 40), dan 2600 MHz (Band 7). Frekuensi 900 dan 1800 MHz banyak digunakan untuk cakupan luas terutama di wilayah rural dan suburban, sementara frekuensi 2300 MHz dan 2600 MHz digunakan untuk meningkatkan kapasitas di wilayah *urban* dengan trafik data tinggi (Kominfo, 2021)

Tabel 1 Pita Frekuensi LTE Beberapa Operator yang ada di Indonesia
(sumber: teknologi.bisnis.com)

Operator	Frequency Band (MHz)		Technology
	Uplink	Downlink	
PT Smart Telecom	824-835	869-880	LTE
	2350-2390		LTE
	895-907.5	940-962.5	GSM 900/LTE
	1732.5-1742.5	1827.5-1837.5	GSM 1800/LTE/5G
PT Indosat Tbk	1742.5-1762.5	1837.5-1857.5	NR
	1920-1925	2110-2115	
	1925-1930	2115-2120	
	1930-1935	2120-2125	LTE/5G NR
	1935-1940	2125-2130	
	1940-1945	2130-2135	
	880-895	925-940	GSM 900/LTE
PT Telekomunikasi Selular	1762.5-1785	1857.5-1880	GSM 1800/LTE
	1960-1965	2150-2155	
	1965-1970	2155-2160	
	1970-1975	2160-2165	LTE/5G NR
	1975-1980	2165-2170	
PT XL Axiata Tbk	2300-2350		LTE/5G NR
	907.5-915	952.2-960	GSM 900/LTE
	1710-1732.5	1805-1827.5	GSM 1800/LTE
	1945-1950	2135-2140	
	1950-1955	2140-2145	LTE/5G NR
	1955-1960	2145-2150	

4.6.5 Parameter Kinerja Jaringan



optimasi jaringan LTE, terdapat beberapa parameter kunci < mengukur kualitas dan kinerja layanan, di antaranya adalah : *Reference Signal Received Power*) adalah indikator kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat pengguna dari sel *servicing*. yang tinggi menandakan sinyal kuat dan cakupan jaringan dan menjadi acuan utama dalam pengukuran cakupan sel di (Dahlman dkk, 2016)

2. SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) mengukur rasio antara kekuatan sinyal yang diinginkan dengan jumlah interferensi dari sel lain dan *noise*. SINR yang tinggi menunjukkan kualitas sinyal yang baik dan kondisi jaringan yang optimal untuk transmisi data (Holma & Toskala, 2011). Parameter ini penting untuk menentukan efisiensi transmisi dan kecepatan maksimum yang bisa dicapai oleh pengguna.
3. *Throughput* mengacu pada jumlah data yang berhasil dikirim melalui jaringan dalam satuan waktu tertentu. Nilai *throughput* bergantung pada beberapa faktor, seperti SINR, alokasi sumber daya (*resource block*), dan beban jaringan (Sesia dkk, 2011)
4. *Reference Signal Received Quality* (RSRQ) adalah parameter yang mencerminkan kualitas sinyal referensi dengan mempertimbangkan efek interferensi dan *noise* dalam jaringan. RSRQ didefinisikan sebagai rasio antara RSRP dan RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), sehingga menggabungkan aspek kekuatan sinyal dan interferensi secara bersamaan. Nilai RSRQ yang rendah dapat mengindikasikan tingginya interferensi atau beban jaringan, meskipun nilai RSRP cukup baik. Oleh karena itu, RSRQ digunakan secara komplementer dengan RSRP dalam proses pengambilan keputusan *handover* dan penilaian kualitas jaringan (Holma & Toskala, 2011)
5. *Signal level* merupakan parameter umum yang menggambarkan tingkat daya sinyal total yang diterima oleh perangkat pengguna tanpa memisahkan komponen sinyal referensi dan interferensi. Dalam jaringan LTE, *signal level* sering direpresentasikan oleh nilai RSSI dan digunakan sebagai indikator awal kondisi penerimaan sinyal. Meskipun *signal level* memberikan gambaran awal kondisi jaringan, parameter ini tidak sepenuhnya mencerminkan kualitas layanan karena tidak mempertimbangkan interferensi secara spesifik. Oleh karena itu, *signal level* perlu dianalisis bersama dengan RSRP, SINR, dan RSRQ untuk memperoleh evaluasi kinerja jaringan LTE yang lebih komprehensi (Sesia dkk, 2011)

Hubungan dan Pengaruh Antarparameter Kinerja Jaringan LTE

1. Pengaruh RSRP terhadap SINR

RSRP menunjukkan kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh perangkat pengguna, sedangkan SINR mencerminkan kualitas sinyal dengan mempertimbangkan interferensi dan *noise*. Secara umum, peningkatan RSRP dapat meningkatkan SINR karena daya sinyal yang diterima semakin besar. Namun, hubungan ini tidak selalu bersifat linier. Pada kondisi jaringan dengan interferensi tinggi, peningkatan RSRP tidak secara otomatis meningkatkan SINR karena interferensi dari sel tetangga juga ikut meningkat. Sebaliknya, SINR dapat meningkat meskipun RSRP



apabila interferensi berhasil ditekan melalui optimasi jaringan (aturan tilting antena atau pengelolaan daya pancar. (Holma & Toskala, 2011)

2. Pengaruh RSRP terhadap RSRQ

RSRQ merupakan parameter kualitas sinyal yang menggabungkan kekuatan sinyal referensi (RSRP) dan total daya yang diterima (RSSI). Peningkatan RSRP dapat meningkatkan RSRQ apabila kondisi interferensi dalam jaringan relatif stabil. Namun, pada kondisi jaringan dengan

trafik padat, peningkatan RSRP tidak selalu diikuti oleh peningkatan RSRQ karena RSSI juga meningkat akibat adanya interferensi dan penggunaan *resource block* yang tinggi. Oleh karena itu, RSRQ sering menurun pada area dengan beban jaringan tinggi meskipun nilai RSRP cukup baik. (Holma & Toskala, 2011)

3. Pengaruh SINR terhadap *Throughput*

SINR memiliki pengaruh paling signifikan terhadap throughput dalam jaringan LTE. Nilai SINR menentukan skema modulasi dan pengkodean (*Modulation and Coding Scheme/MCS*) yang dapat digunakan oleh sistem. Semakin tinggi SINR, semakin tinggi orde modulasi yang dapat diterapkan, sehingga *throughput* meningkat secara signifikan. Sebaliknya, SINR yang rendah menyebabkan sistem menggunakan modulasi orde rendah untuk menjaga keandalan transmisi, yang berdampak pada penurunan *throughput*. Oleh karena itu, peningkatan throughput sering kali lebih dipengaruhi oleh peningkatan SINR dibandingkan peningkatan RSRP. (Sesia dkk., 2011)

4. Pengaruh RSRP terhadap *Throughput*

RSRP berpengaruh secara tidak langsung terhadap *throughput* melalui kualitas penerimaan sinyal. Peningkatan RSRP dapat memperbaiki kondisi penerimaan sinyal, namun tidak selalu menghasilkan peningkatan *throughput* yang signifikan. Pada kondisi interferensi tinggi atau beban jaringan yang padat, peningkatan RSRP hanya memberikan dampak terbatas terhadap throughput. Hal ini menjelaskan fenomena di mana nilai RSRP meningkat, tetapi *throughput* tidak mengalami peningkatan yang berarti karena faktor pembatas utama justru berasal dari SINR atau alokasi sumber daya. (Dahlman dkk., 2016)

5. Pengaruh RSRQ terhadap SINR dan *Throughput*

RSRQ memiliki korelasi dengan SINR karena keduanya sama-sama dipengaruhi oleh interferensi dan beban jaringan. Nilai RSRQ yang rendah sering kali diikuti oleh nilai SINR yang rendah, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan *throughput*. RSRQ yang baik menunjukkan kondisi interferensi yang relatif rendah dan pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien, sehingga mendukung peningkatan kualitas transmisi data. Oleh karena itu, RSRQ sering digunakan sebagai indikator tambahan dalam evaluasi kualitas jaringan, khususnya pada area dengan kepadatan trafik tinggi. (Holma & Toskala, 2011)

6. Hubungan *Signal Level* terhadap Parameter Lain

Signal level menggambarkan total daya sinyal yang diterima oleh perangkat pengguna, termasuk sinyal yang diinginkan, interferensi, dan *noise*. Peningkatan *signal level* tidak selalu menunjukkan peningkatan kualitas jaringan karena kenaikan tersebut bisa berasal dari interferensi. Oleh karena itu, *signal level* memiliki hubungan terbatas dengan SINR dan

Signal level lebih tepat digunakan sebagai parameter untuk mengidentifikasi kondisi penerimaan sinyal secara langsung. Evaluasi kualitas jaringan LTE yang komprehensif tetap analisis RSRP, SINR, dan RSRQ secara bersamaan. (Sesia



ter ini saling berkaitan dalam memberikan gambaran performa jaringan LTE. Dalam konteks simulasi dan optimasi

jaringan, pemantauan parameter-parameter ini menjadi dasar dalam pengambilan keputusan teknis, seperti penyesuaian *power*, konfigurasi antena, serta perencanaan kapasitas jaringan (Sesia dkk, 2011)

1.6.6 Metodologi Propagasi dalam Perencanaan Jaringan

Dalam perencanaan jaringan seluler, model propagasi digunakan untuk memperkirakan jangkauan sinyal radio dan rugi-rugi propagasi antara pemancar dan penerima. Berikut adalah beberapa Model Propagasi yang digunakan yaitu :

1. Okumura-Hata, Salah satu model yang paling banyak digunakan adalah model Okumura-Hata, yang merupakan model empirik berbasis pengukuran di lingkungan *urban*, *suburban*, dan *rural*. Model ini cocok untuk frekuensi antara 150 MHz hingga 1500 MHz dan mempertimbangkan tinggi antena pemancar dan penerima serta jarak antar keduanya (Hata, 1980)
2. COST 231-Hata, yang merupakan pengembangan dari model Okumura-Hata dan dirancang untuk jaringan seluler di lingkungan *urban* pada frekuensi yang lebih tinggi, yaitu antara 1500 MHz hingga 2000 MHz. Model ini digunakan secara luas dalam perencanaan jaringan GSM dan LTE karena memperhitungkan faktor tambahan seperti jenis kota dan kondisi perkotaan (*European Cooperation in Science and Technology*, 1999)
3. Walfisch-Ikegami adalah model semi-empirik yang lebih akurat untuk lingkungan urban padat, terutama pada frekuensi tinggi. Model ini mempertimbangkan efek hamburan dan difraksi akibat bangunan dan penghalang fisik di area perkotaan. Keunggulan utamanya adalah kemampuannya memodelkan situasi *Line-of-Sight* (LOS) dan *Non-Line-of-Sight* (NLOS), menjadikannya sangat berguna dalam perencanaan jaringan 4G LTE di kawasan metropolitan (Walfisch & Bertoni, 1988)

Selain pemilihan model propagasi, perencanaan jaringan juga melibatkan penggunaan data *clutter* dan *Digital Elevation Model* (DEM). Data *clutter* memberikan informasi tentang tipe permukaan lahan (seperti area permukiman, hutan, dan air), yang memengaruhi tingkat penyerapan dan hamburan sinyal. Sementara itu, DEM digunakan untuk memahami kontur ketinggian wilayah dan membantu dalam perhitungan rugi-rugi propagasi akibat elevasi dan kondisi geografis (Forsk). Kombinasi antara model propagasi dan data spasial ini sangat penting untuk menghasilkan prediksi cakupan jaringan yang akurat dalam perangkat lunak simulasi seperti Atoll.





Gambar 6 Tampilan data DEM
(sumber: cloudf.com)

1.6.7 Perencanaan Jaringan Seluler

Perencanaan jaringan seluler merupakan tahapan penting dalam pengembangan sistem komunikasi nirkabel yang bertujuan untuk memastikan cakupan layanan (*coverage*), kapasitas (*capacity*), dan kualitas layanan (*Quality of Service/QoS*) yang memadai di area layanan tertentu (Sauter M., 2014)

Dalam sistem LTE, perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan spektrum frekuensi, teknik modulasi, serta arsitektur jaringan seperti eNodeB dan EPC. Dua aspek penting dalam perencanaan jaringan adalah:

1. *Coverage Dimensioning*, yaitu proses menentukan lokasi dan jumlah sel agar sinyal menjangkau seluruh wilayah target. Hal ini mempertimbangkan *transmit power*, *gain antena*, model propagasi, dan konfigurasi antena. (Sesia S. dkk, 2011)
2. *Capacity Dimensioning*, yaitu proses untuk memastikan jaringan mampu menangani beban trafik yang dihasilkan oleh pengguna. Faktor penting yang diperhatikan mencakup jumlah *resource block*, *bandwidth sistem*, kepadatan pengguna, dan QoS yang diharapkan. (ITU-R, 2009)

Forsk Atoll sebagai alat bantu perencanaan dapat digunakan untuk mensimulasikan parameter coverage dan kapasitas berdasarkan data input seperti peta elevasi (DEM), clutter map, distribusi pengguna, dan parameter teknis eNodeB. Dengan bantuan perangkat lunak ini, operator dapat merancang posisi optimal base station dan konfigurasi antena yang sesuai dengan karakteristik area layanan.

1.6.7.1 Karakteristik Morfologi Area

Karakteristik morfologi area adalah salah satu faktor utama yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jaringan, karena secara langsung mempengaruhi propagasi sinyal radio. Perbedaan kontur lahan, kepadatan bangunan, dan variasi permukaan tanah akan menyebabkan variasi dalam *multipath*, dan interferensi (Rappaport, 2002)

Morfologi area dikategorikan menjadi beberapa jenis: area datar, area berbukit, dan area perkotaan. Area perkotaan dengan bangunan tinggi dan padat, seperti pusat bisnis, sering kali menyebabkan propagasi *multipath* dan *shadowing*. Oleh karena itu, dibutuhkan densifikasi sel dan penyesuaian arah antena (Sesia S. dkk, 2014)



2. *Suburban* memiliki kepadatan menengah dengan kombinasi area terbuka dan bangunan sedang. Propagasi sinyal cenderung lebih stabil namun distribusi pengguna bisa tidak merata.
3. *Rural* merupakan area dengan kepadatan pengguna rendah dan sedikit penghalang, sehingga sinyal dapat menjangkau lebih luas, tetapi *base station* harus mencakup area yang lebih besar.
4. Topografi berbukit atau pegunungan membutuhkan perhatian khusus, karena adanya *shadow region* akibat elevasi tinggi, sehingga diperlukan data DEM yang akurat dan model propagasi yang mempertimbangkan kontur tanah (Sesia S dkk, 2011)

1.6.7.2 Coverage Dimensioning

Coverage dimensioning adalah proses dalam perencanaan jaringan seluler yang bertujuan untuk menentukan cakupan geografis yang dapat dicapai oleh sinyal dari base station (BTS) dengan kualitas layanan yang memadai. Proses ini melibatkan penentuan jangkauan efektif sinyal radio yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti frekuensi operasi, daya pancar, sensitivitas penerima, jenis antena, serta kondisi lingkungan seperti kepadatan bangunan, vegetasi, dan topografi. Tujuan utama dari *coverage dimensioning* adalah untuk memastikan bahwa area layanan yang ditentukan, baik area perkotaan padat maupun daerah pedesaan, dapat dijangkau dengan sinyal yang cukup kuat agar pengguna dapat menikmati layanan komunikasi tanpa gangguan.

Dalam konteks teknologi LTE, *coverage dimensioning* harus mempertimbangkan karakteristik propagasi sinyal pada frekuensi yang digunakan, seperti frekuensi rendah (700 MHz atau 900 MHz) yang memiliki kemampuan penetrasi bangunan lebih baik dan cocok untuk cakupan luas, serta frekuensi tinggi (1800 MHz, 2100 MHz, atau 2600 MHz) yang memiliki kapasitas lebih tinggi namun jangkauan lebih terbatas. Perencanaan cakupan juga mempertimbangkan konfigurasi antena, seperti ketinggian antena, sudut elevasi, dan orientasi azimut, untuk mengarahkan sinyal ke wilayah yang diinginkan. Selain itu, *coverage planning* juga memperhitungkan margin sinyal untuk mengatasi redaman akibat fading atau interferensi, serta mempertimbangkan overlap antar sel untuk menjamin keberlanjutan layanan saat handover. (Holma & Toskala, 2011)

Coverage dimensioning bukan hanya mempertimbangkan sejauh mana sinyal bisa menjangkau pengguna, tetapi juga bagaimana memastikan kualitas layanan tetap optimal dalam kondisi lingkungan yang bervariasi. Oleh karena itu, simulasi menggunakan software perencanaan seperti Atoll sangat membantu untuk memvisualisasikan jangkauan sinyal secara spasial dan mengidentifikasi area blank spot atau wilayah dengan sinyal lemah yang memerlukan penambahan site atau pengaturan ulang parameter teknis jaringan.

1.6.7.3 Capacity Planning



Perencanaan kapasitas adalah bagian penting dari proses perencanaan jaringan seluler yang fokus pada kemampuan jaringan dalam melayani pengguna dan volume trafik data dalam suatu area layanan. Untuk memastikan bahwa jaringan dapat melayani semua pengguna dengan kualitas yang konsisten, terutama di wilayah dengan trafik tinggi seperti kawasan komersial, kampus, atau pusat penduduk.

Dalam LTE, kapasitas jaringan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk jumlah kanal atau bandwidth yang tersedia, jumlah resource block yang dapat dialokasikan, efisiensi spektrum, kualitas sinyal (RSRP dan SINR), serta strategi manajemen trafik seperti load balancing dan dynamic scheduling. Kapasitas juga bergantung pada pola penggunaan layanan oleh pelanggan, misalnya apakah mereka lebih banyak melakukan browsing ringan, streaming video HD, atau video conference, yang masing-masing memerlukan besaran bandwidth yang berbeda.

Perencanaan kapasitas harus disesuaikan dengan proyeksi jumlah pengguna dan pertumbuhan trafik di masa depan. Oleh karena itu, analisis distribusi pengguna (user density) dan kebutuhan trafik per pengguna sangat penting untuk menentukan jumlah dan lokasi eNodeB yang optimal. Dalam praktiknya, kapasitas sering kali menjadi pembatas utama dalam wilayah urban yang padat, sehingga strategi seperti small cell deployment, sectorization, atau penggunaan teknologi carrier aggregation dalam LTE Advanced menjadi solusi untuk meningkatkan kapasitas tanpa harus menambah spektrum baru.

Dalam *tools* seperti Atoll, perencanaan kapasitas dapat dilakukan melalui analisis terhadap parameter trafik, pengguna aktif simultan, dan simulasi beban jaringan untuk memprediksi titik jenuh (congestion) yang mungkin terjadi. Hasil dari simulasi ini membantu perencana jaringan untuk menentukan apakah perlu dilakukan ekspansi kapasitas, perubahan konfigurasi jaringan, atau penambahan infrastruktur baru di area tertentu (Sesia dkk, 2011).

1.6.8 Blankspot

Blankspot merupakan kondisi pada suatu area layanan jaringan seluler yang tidak memperoleh cakupan sinyal secara memadai atau sama sekali tidak terlayani oleh jaringan. Kondisi ini umumnya ditandai dengan nilai kekuatan sinyal yang sangat rendah, seperti RSRP di bawah ambang batas minimum layanan, sehingga perangkat pengguna tidak dapat melakukan komunikasi data maupun suara secara optimal. *Blankspot* dapat disebabkan oleh keterbatasan jangkauan sel, jarak yang terlalu jauh dari BTS, atau penghalang fisik seperti bangunan dan kontur wilayah (Rappaport, 2002).

Blankspot dapat muncul akibat konfigurasi parameter antena yang kurang tepat, seperti sudut azimuth dan *tilt* yang menyebabkan arah pancaran sinyal tidak mengarah ke area pengguna. Pada jaringan LTE, fenomena *overshooting* dan *overlapping coverage* dapat memperparah kondisi *blankspot*, meskipun jumlah *site* di wilayah tersebut relatif memadai. (Holma & Toskala, 2011).

1.6.9 Optimasi Parameter Antena

Optimasi parameter antena merupakan metode peningkatan kinerja jaringan seluler yang dilakukan melalui penyesuaian parameter fisik antena tanpa penambahan infrastruktur jaringan baru, yang dikenal sebagai *physical tuning*. Parameter yang meliputi arah antena (*azimuth*), sudut kemiringan vertikal (*electrical tilt*), serta daya pancar. Metode ini bertujuan untuk memperluas cakupan sinyal, mengurangi interferensi antar sel, dan meningkatkan kualitas layanan jaringan secara keseluruhan (Holma & Toskala, 2011).



tidak optimal dapat menurunkan kualitas sinyal meskipun tingkat daya terima relatif tinggi. Oleh karena itu, optimasi azimuth dilakukan berdasarkan evaluasi peta cakupan dan distribusi interferensi jaringan sesuai dengan pedoman perencanaan radio LTE (Holma & Toskala, 2011).

Pengaturan sudut kemiringan antena (*tilting*) digunakan untuk mengendalikan jangkauan sel secara vertikal. Penambahan nilai *tilt* dapat menekan fenomena *overshooting* dan mengurangi interferensi ke sel tetangga, sedangkan pengurangan *tilt* dapat digunakan untuk memperluas cakupan ke area yang belum terlayani. Penyesuaian *tilt* merupakan bagian utama dari physical tuning karena efektif dalam meningkatkan kualitas sinyal terima tanpa mengubah struktur jaringan (Holma & Toskala, 2011).

1.6.10 Penelitian Terkait

Penelitian oleh Kumar et al. (2016) menggunakan Atoll untuk menganalisis kinerja jaringan LTE dalam sebuah area perkotaan. Penelitian ini fokus pada optimasi distribusi BTS (*Base Station Transceiver*) dan analisis terhadap parameter seperti RSRP (*Reference Signal Received Power*) dan SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*). Dengan menggunakan simulasi Atoll, penelitian ini berhasil mengidentifikasi posisi optimal BTS untuk meningkatkan cakupan jaringan dan mengurangi interferensi antar sel. Hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas sinyal dan throughput jaringan di area yang dianalisis.

Penelitian oleh Zhang & Wang (2017) mengkombinasikan simulasi Atoll dengan analisis data drive test untuk melakukan optimasi jaringan LTE di daerah suburban. Penelitian ini menggunakan data dari drive test untuk memodelkan kondisi nyata jaringan dan kemudian mengimplementasikan pengaturan power control dan handover optimization di Atoll. Dengan metode ini, mereka berhasil memperbaiki kualitas panggilan dan mengurangi latensi dalam komunikasi seluler. Penelitian ini juga menunjukkan bagaimana penggunaan data dunia nyata dalam simulasi dapat meningkatkan akurasi model dan hasil optimasi jaringan.

Penelitian yang dilakukan oleh Santos et al. (2018) menggunakan Atoll untuk mengoptimasi jaringan seluler pada skala yang lebih besar, yaitu untuk pengembangan jaringan 5G. Dalam studi ini, Atoll digunakan untuk memodelkan arsitektur jaringan yang lebih kompleks, termasuk penggunaan *network slicing* untuk membagi jaringan menjadi beberapa bagian dengan kebutuhan layanan yang berbeda. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa Atoll dapat digunakan untuk merencanakan dan mengoptimalkan jaringan 5G dengan efisiensi yang tinggi, memungkinkan layanan berbasis IoT, *augmented reality*, dan kendaraan otonom yang membutuhkan latensi rendah dan kapasitas tinggi.

Satriawan (2016) melakukan penelitian mengenai perencanaan dan simulasi jaringan LTE di Kota Pekanbaru. Dalam penelitian ini, digunakan frekuensi 1800 MHz dengan metode duplex FDD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan penambahan beberapa site BTS, jaringan LTE di Pekanbaru dapat memenuhi cakupan dan kualitas sinyal yang optimal, mencakup seluruh area dengan kualitas sinyal yang baik. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa dengan penambahan dua site BTS, jaringan LTE dapat mencakup area dengan kualitas sinyal yang baik. Namun, semakin jauh dari BTS, kualitas sinyal mengalami penurunan.



Penelitian ini menyoroti pentingnya perencanaan yang hati-hati dalam menentukan lokasi BTS agar cakupan jaringan tetap optimal, meskipun pada area yang lebih jauh dari BTS.

Haromain (2018) melakukan penelitian di Baturaden mengenai perencanaan jaringan LTE dengan analisis parameter seperti RSRP dan SINR. Penelitian ini menunjukkan bahwa cakupan jaringan dapat optimal meskipun pada jarak yang lebih jauh dari BTS. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun jarak pengguna lebih jauh dari BTS, dengan konfigurasi yang tepat, kualitas sinyal dapat tetap terjaga, yang menjadi kunci dalam meningkatkan performa jaringan LTE.

Sukmawati dan Kurniawan (2022) mengoptimalkan jaringan LTE 1800 MHz di Kota Sukoharjo dengan menggunakan metode *physical tuning*. Penelitian ini menghasilkan peningkatan kualitas sinyal dan efisiensi jaringan. Penggunaan teknik *physical tuning* memungkinkan penyesuaian parameter jaringan secara lebih tepat untuk mencapai performa yang lebih baik. Penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi jaringan tidak hanya melibatkan penambahan BTS, tetapi juga pengaturan parameter yang lebih detail untuk memastikan kualitas layanan yang optimal.



3. Data performa jaringan, seperti kekuatan sinyal, RSRP, RSRQ, SINR, dan *throughput* yang digunakan untuk evaluasi kinerja.

2.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama sebagai berikut:

1. Studi Literatur : Serangkaian pengumpulan dari berbagai referensi yang membahas terkait dengan masalah dan tujuan penelitian yang terdapat dalam buku, jurnal ilmiah dan artikel terdahulu, sumber-sumber yang dapat diakses melalui internet ataupun bahan pustaka lainnya yang relevan untuk mendapatkan wawasan yang luas terkait objek yang akan diteliti.
2. Pengumpulan Data Jaringan Eksisting : Tahap awal adalah pengumpulan data konfigurasi jaringan LTE yang telah ada di wilayah studi. Data yang dikumpulkan meliputi lokasi geografis BTS, jenis antena yang digunakan, arah antena (*azimuth*), kemiringan vertikal (*tilt*), ketinggian antena, spektrum frekuensi, serta bandwidth. Data ini diperoleh dari dokumen perencanaan operator dan sumber teknis lain yang relevan.
3. Simulasi Jaringan Eksisting di Atoll : Setelah data dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi jaringan eksisting menggunakan perangkat lunak Atoll. Pada tahap ini, seluruh data topografi, *clutter*, dan konfigurasi *site* dimasukkan ke dalam sistem untuk memodelkan kondisi jaringan sebagaimana adanya. Hasil simulasi berupa peta sebaran *Signal Level*, RSRP, RSRQ, SINR, dan *throughput* digunakan sebagai dasar evaluasi performa jaringan saat ini.
4. Simulasi dan Optimasi Jaringan Baru : Berdasarkan hasil analisis performa jaringan eksisting, dilakukan perencanaan dan desain ulang jaringan dengan mempertimbangkan aspek cakupan dan kapasitas. Simulasi optimasi melibatkan modifikasi parameter antena, serta penyesuaian *azimuth* dan *tilt*. Tujuan dari tahap ini adalah untuk meningkatkan kualitas jaringan dengan mengurangi area *blankspot* dan memperbaiki kualitas sinyal.
5. Analisis dan Perbandingan Hasil : Tahap akhir adalah membandingkan performa jaringan eksisting dan hasil optimasi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan parameter teknis untuk mengetahui sejauh mana perbaikan yang berhasil dicapai melalui proses optimasi.

2.4.1 Cara Kerja Software Atoll dalam mengoptimasi Jaringan Seluler

Atoll adalah software perencanaan jaringan radio berbasis geografis (*geospatial-based radio network planning software*) yang dikembangkan oleh Forsk. *Software* ini digunakan secara luas oleh operator seluler, konsultan telekomunikasi, dan akademisi untuk merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan jaringan seluler seperti GSM, UMTS, LTE, hingga 5G. Dalam penelitian ini, Atoll dimanfaatkan untuk analisis dan optimasi jaringan 4G LTE di wilayah studi.



dalam proses optimasi jaringan seluler melibatkan beberapa hal sebagai berikut:

dan Input Data

1) dalam penggunaan Atoll adalah mengumpulkan dan memasukkan data-data berikut:

- a. Data Site BTS Eksisting: Lokasi koordinat geografis (*latitude dan longitude*), tinggi antena, orientasi azimuth, *electrical* dan *mechanical tilt*, jenis antena, dan konfigurasi sektor.
 - b. Peta Topografi dan Clutter: Data elevasi dan hambatan fisik seperti gedung, vegetasi, dan jalan yang mempengaruhi propagasi sinyal. *Clutter* digunakan untuk memperkirakan model loss sinyal akibat kondisi permukaan bumi.
 - c. Parameter Teknologi: Informasi tentang frekuensi LTE, bandwidth kanal, power transmit, dan konfigurasi sektor.
 - d. Model Propagasi: Seperti COST-231 Hata, Okumura-Hata, atau model propagation khusus untuk LTE yang dipilih sesuai dengan karakteristik wilayah studi (*urban, suburban, rural*).
2. Simulasi Jaringan Eksisting
- Setelah seluruh data terinput, Atoll melakukan perhitungan propagasi sinyal dan menghasilkan peta cakupan (*coverage*) jaringan eksisting. Beberapa parameter yang ditampilkan antara lain:
- a. *Signal Level* : Menunjukkan kekuatan sinyal terbaik yang diterima oleh pengguna dari sel terdekat.
 - b. RSRP (*Reference Signal Received Power*): Menggambarkan kekuatan sinyal yang diterima di lokasi tertentu.
 - c. SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*): Menggambarkan kualitas sinyal dan tingkat interferensi antar sel.
 - d. RSRQ (*Reference Signal Received Quality*)Menunjukkan kualitas sinyal referensi yang diterima oleh perangkat.
 - e. *Throughput*: Kecepatan data rata-rata yang dapat diperoleh pengguna pada lokasi tertentu.

Tabel 2 Parameter Jaringan

Parameter	Satuan	Rentang Kategori/ Interpretasi
<i>Signal Level</i>	dBm	≥ -70 dBm: <i>Excellent</i> -90 to -75 dBm: <i>Good</i> -100 to -90 dBm: <i>Fair</i> ≤ -100 dBm: <i>Poor</i>
RSRP	dBm	≥ -70 dBm: <i>Excellent</i> -80 to -70 dBm: <i>Good</i> -100 to -80 : <i>Fair</i> ≤ -100 : <i>Poor</i>
SINR	dB	≥ 20 dB: <i>Excellent</i> 13 to 20 dB: <i>Good</i> 0 to 13 dB: <i>Fair</i> ≤ 0 dB: <i>Poor</i>
RSRQ	dB	≥ -10 dB: <i>Excellent</i> -10 to -15 dB: <i>Good</i> -15 to -20 dB: <i>Fair</i> ≤ -20 : <i>Poor</i>
<i>Throughput</i>	Mbps	≥ 15 Mbps: <i>Excellent</i> 5 – 15 Mbps: <i>Good</i> 1 – 5 Mbps: <i>Fair</i> ≤ 1 Mbps: <i>Poor</i>



ini digunakan untuk menilai kinerja jaringan eksisting dan titik-titik kelemahan atau area yang perlu ditingkatkan.

masalah dan Kebutuhan Optimasi

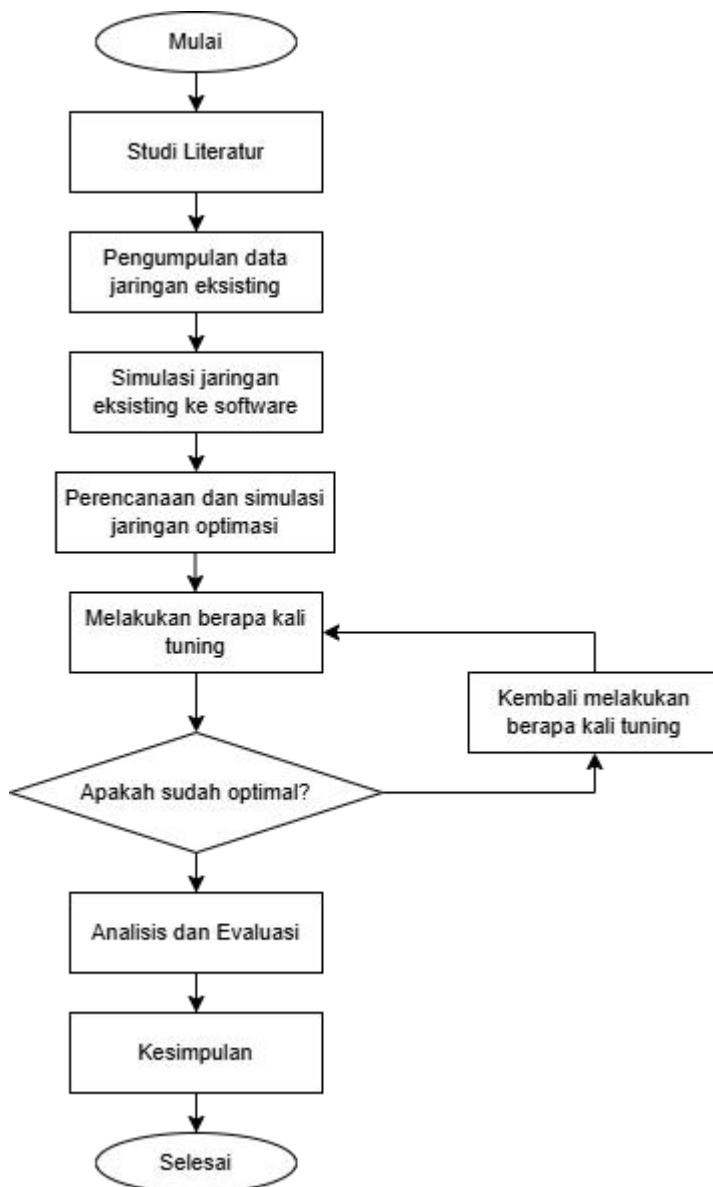
Dari hasil simulasi jaringan eksisting, peneliti dapat mengidentifikasi:

- a. Area dengan kualitas sinyal buruk (RSRP rendah, SINR buruk)
 - b. Titik blank spot tanpa cakupan sinyal
 - c. Area padat pengguna dengan throughput yang rendah
4. Perancangan dan Simulasi Optimasi Jaringan
- Langkah selanjutnya adalah merancang jaringan baru atau mengubah konfigurasi eksisting berdasarkan analisis masalah. Hal-hal yang dapat dilakukan antara lain:
- a. Mengatur Ulang Parameter BTS: Misalnya mengubah azimuth, tilt, atau power transmit untuk mengurangi interferensi dan memperbaiki cakupan.
 - b. Mengubah Alokasi Frekuensi: Jika diperlukan untuk mengurangi beban trafik atau interferensi.
5. Evaluasi dan Perbandingan Hasil
- Adapun analisis perbandingan antara performa jaringan sebelum dan sesudah optimasi. Evaluasi dilakukan berdasarkan:
- a. Peningkatan cakupan sinyal (RSRP meningkat)
 - b. Peningkatan kualitas sinyal (SINR meningkat)
 - c. Penurunan interferensi antar sel
 - d. Peningkatan *throughput* rata-rata
 - e. Pengurangan blank spot
- Dari evaluasi ini, peneliti atau perencana jaringan dapat menilai sejauh mana perbaikan konfigurasi memberikan dampak terhadap kualitas jaringan.

2.5 Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengerjakan penyelesaian penelitian ini, maka dibuatlah suatu diagram alir penelitian yang berisikan langkah-langkah pengerjaan penelitian sebagai berikut:





Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

