

Analisis dan Perancangan Jaringan 5G NR pada Frekuensi 2300 MHz di Kota Banjarmasin

Putri Rahmawati*¹, Lia Hafiza², Aisyah Novfitri³, Seshariana Rahma Melati⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

Email: ¹putrirahmawati@telkomuniversity.ac.id, ²liahfza@telkomuniversity.ac.id,
³aisyahnovf@telkomuniversity.ac.id, ⁴sesharianarahmam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perancangan Jaringan pada Teknologi 5G sangat perlu diperhatikan dari berbagai aspek agar jangkauan dan konektivitas menjadi efektif dan efisien. Penerapan 5G di Indonesia meliputi alokasi spektrum, pembangunan infrastruktur, dan dukungan regulasi bertujuan memitigasi masalah-masalah kebutuhan khusus daerah perkotaan dan pedesaan. Kota Banjarmasin yang memiliki istilah ‘ Kota Seribu Sungai’ berpotensi dalam mengadopsi teknologi 5G untuk mendukung pengembangan sektor ekonomi, pendidikan, dan pemerintahan berbasis digital. Menurut data resmi BPS Kota Banjarmasin, memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dibandingkan kota-kota lain di Kalimantan, menjadikannya lokasi ideal untuk layanan digital berkecepatan tinggi. Adanya pertumbuhan permukiman dan kawasan bisnis menciptakan permintaan akan layanan internet cepat dan stabil. Metode yang digunakan mencakup evaluasi kebutuhan jaringan, perencanaan kapasitas, dan simulasi teknis menggunakan perangkat lunak Atoll. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Banjarmasin memiliki demand traffic sebesar 2,13 Gbps/km² dengan maksimum data rate untuk uplink 1875,03 Gbps/km dan downlink 3505,50 Gbps/km. Analisis kapasitas menunjukkan kebutuhan 84 gNodeB dengan radius cakupan optimal 0,72 km per site. Evaluasi parameter SS-RSRP menunjukkan nilai rata-rata -75,41 dBm, sementara SS-SINR menunjukkan rata-rata 19,33 dB, keduanya menunjukkan kualitas sinyal yang baik. Simulasi RLC Throughput juga menunjukkan hasil optimal dengan rata-rata peak throughput sebesar 84.505,06 kbps. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk implementasi jaringan 5G di kota dengan karakteristik geografis yang kompleks.

Kata Kunci: 5G, Gnodeb, Jaringan NR, Perancangan Kapasitas, SS-RSRP, SS-SINR

Abstract

The design of networks in 5G technology must be considered from various perspectives to ensure effective and efficient coverage and connectivity. The implementation of 5G in Indonesia, which includes spectrum allocation, infrastructure development, and regulatory support, aims to address the specific needs of urban and rural areas. Banjarmasin, known as the ‘City of a Thousand Rivers’, has the potential to adopt 5G technology to support the development of digital-based sectors in the economy, education, and government. According to official data from BPS Banjarmasin City, has a high population density compared to other cities in Kalimantan, making it an ideal location for high-speed digital services. The growth of residential and business areas creates demand for fast and stable internet services. The methods used include network demand evaluation, capacity planning, and technical simulation using Atoll software. The calculation results show that Banjarmasin has a traffic demand of 2.13 Gbps/km² with a maximum data rate for uplink of 1875.03 Gbps/km and downlink of 3505.50 Gbps/km. Capacity analysis shows the need for 84 gNodeBs with an optimal coverage radius of 0.72 km per site. SS-RSRP parameter evaluation showed an average value of -75.41 dBm, while SS-SINR showed an average of 19.33 dB, both indicating good signal quality. The RLC Throughput simulation also showed optimal results with an average peak throughput of 84,505.06 kbps. The results of this study can be used as a reference for 5G network implementation in cities with complex geographical characteristics.

Keywords: 5G, Capacity Panning, Gnodeb, New Network, Nr Network, SS-RSRP, SS-SINR

1. PENDAHULUAN

Munculnya teknologi 5G merupakan terobosan yang signifikan dalam telekomunikasi, menawarkan konektivitas berkecepatan tinggi, latensi rendah, dan peningkatan kapasitas untuk

memenuhi kebutuhan digital yang terus meningkat (Haidar Hari et al., 2023). Tantangan implementasi meliputi infrastruktur yang kompleks, manajemen frekuensi yang efisien, dan langkah-langkah keamanan yang perlu ditingkatkan (Haidar Hari et al., 2023). 5G membutuhkan transformasi dalam frekuensi carrier, bandwidth, densitas perangkat, dan jumlah antena (Zulpratita, 2018). Tidak seperti generasi sebelumnya, 5G akan mengintegrasikan beberapa antarmuka udara dan teknologi nirkabel yang ada (Zulpratita, 2018). Keberhasilan teknologi ini akan diukur dari literasi internet dan pertumbuhan populasi (Adhastian, 2020). Di Indonesia, tantangan yang dihadapi adalah menyiapkan jaringan *backbone fiber* dan mengatur frekuensi C-band, yang sangat penting untuk komunikasi satelit di negara kepulauan ini (ASSI, 2024).

Implementasi jaringan 5G di Indonesia, khususnya yang menggunakan frekuensi pita tengah 2300 MHz, menawarkan keseimbangan antara cakupan dan kecepatan data yang tinggi (Oktavianto et al., 2024). Meskipun penerapan 5G telah dimulai di beberapa kota besar, namun belum tersebar luas di seluruh Indonesia (Yuliana et al., 2022). Wilayah perkotaan menghadirkan peluang dan tantangan untuk implementasi 5G, dengan studi yang menunjukkan berbagai tingkat cakupan dan kinerja. Tantangan utama untuk penerapan 5G di Indonesia meliputi alokasi spektrum, pembangunan infrastruktur, dan dukungan regulasi (Adibperdana, 2020; Suryanto & Yuli Kurnia Ningsih, 2024). Untuk sepenuhnya mewujudkan potensi 5G, Indonesia harus mengatasi masalah-masalah ini dan mempertimbangkan kebutuhan khusus daerah perkotaan dan pedesaan dalam alokasi spektrum dan perencanaan infrastruktur (Suryanto & Ningsih, 2024).

Penelitian sebelumnya dilakukan untuk Kota Bandung menggunakan frekuensi 3500 MHz dengan pendekatan analisis kapasitas dan cakupan menunjukkan hasil yang menarik untuk dibandingkan. Penelitian tersebut menganalisis area seluas 167,31 km² dengan periode proyeksi 2021-2026 dan menghasilkan kebutuhan 130 gNodeB untuk uplink dan 69 gNodeB untuk downlink berdasarkan analisis kapasitas. Sementara berdasarkan analisis cakupan, dibutuhkan 61 gNodeB untuk uplink dan 97 gNodeB untuk downlink, dengan keputusan akhir menggunakan 130 gNodeB sebagai jumlah optimal. (Rahmawati et al., 2021)

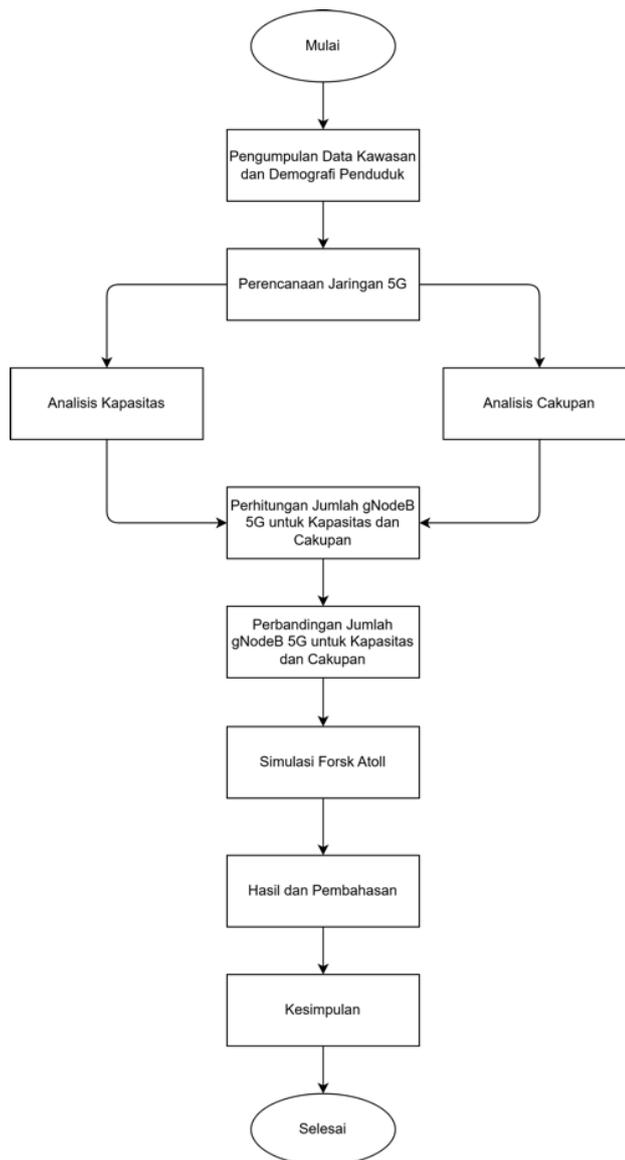
Kota Banjarmasin memiliki potensi untuk mengadopsi teknologi 5G untuk mendukung pengembangan sektor ekonomi, pendidikan, dan pemerintahan berbasis digital. Kota Banjarmasin, yang dikenal sebagai “kota seribu sungai”, memiliki ciri khas geografis yang unik dengan banyaknya aliran sungai (Kusliansjah, 2012). Menurut data resmi BPS Kota Banjarmasin, memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dibandingkan kota-kota lain di Kalimantan, menjadikannya lokasi ideal untuk layanan digital berkecepatan tinggi. Adanya pertumbuhan permukiman dan kawasan bisnis menciptakan permintaan akan layanan internet cepat dan stabil. Selain itu, Kota Banjarmasin berfungsi sebagai pintu gerbang utama menuju Indonesia Timur, khususnya Kalimantan. Sebagai hub regional, Banjarmasin menjadi test case yang representatif untuk *deployment* 5G di kawasan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merancang jaringan 5G New Radio (NR) pada frekuensi 2300 MHz di Kota Banjarmasin. Urgensi penelitian ini didorong oleh kebutuhan akan model perencanaan jaringan 5G yang sesuai dengan kondisi spesifik Indonesia, khususnya untuk kota-kota coastal dengan karakteristik serupa Banjarmasin. Spektrum frekuensi 2300 MHz dipilih sebagai fokus penelitian karena telah dialokasikan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika untuk layanan 5G, dengan karakteristik propagasi yang optimal untuk area urban coastal. Metodologi penelitian mengintegrasikan evaluasi kebutuhan jaringan melalui pendekatan *capacity and coverage planning*, dengan mempertimbangkan parameter teknis, kondisi geografis, dan demografis kota secara komprehensif. Kontribusi penelitian diharapkan dapat memberikan framework perencanaan jaringan 5G yang optimal untuk mendukung implementasi smart city di Banjarmasin, sekaligus menjadi model rujukan bagi pengembangan infrastruktur 5G pada kota-kota coastal di Indonesia dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan transformasi digital nasional.

2. METODE PENELITIAN

Perencanaan melibatkan tahapan seperti penentuan lokasi, rute, konfigurasi, dan analisis jalur untuk memastikan sistem memenuhi kebutuhan komunikasi. Tantangan geografis dan cuaca menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan, terutama untuk daerah terpencil (Manaek et al., 2023).

Perencanaan jaringan telekomunikasi merupakan proses krusial yang memerlukan pertimbangan menyeluruh terhadap berbagai aspek teknis dan nonteknis. Dua elemen utama dalam perencanaan ini adalah cakupan wilayah (coverage area) dan kapasitas jaringan (capacity), yang saling berkaitan dalam menentukan desain jaringan yang optimal. Cakupan wilayah mencakup kemampuan jaringan untuk memberikan layanan yang stabil di area tertentu, sedangkan kapasitas jaringan berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan trafik pengguna yang terus meningkat. Penelitian ini berfokus pada perencanaan jaringan 5G New Radio (NR) menggunakan frekuensi 2300 MHz dengan bandwidth sebesar 30 MHz, yang merupakan salah satu spektrum mid-band yang banyak digunakan untuk memberikan keseimbangan antara cakupan luas dan kapasitas tinggi.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Jaringan 5G NR

Penelitian ini mengambil lokasi di Kota Banjarmasin, Provinsi Kalimantan Selatan, sebagai wilayah kajian. Kota ini memiliki karakteristik demografis yang unik, dengan kepadatan penduduk sebesar 6.949 jiwa/km² dan luas wilayah mencapai 98,46 km² (Badan Pusat Statistik, 2023). Kepadatan penduduk yang tinggi dan luas wilayah yang relatif terbatas menjadikan Banjarmasin area yang ideal untuk menguji implementasi teknologi 5G. Teknologi ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan komunikasi dan transformasi digital di wilayah perkotaan yang dinamis seperti Banjarmasin.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis teknis (technical analysis), yang mencakup dua pendekatan utama: analisis kapasitas (capacity analysis) dan analisis cakupan (coverage analysis). Pendekatan ini dirancang untuk memastikan bahwa jaringan 5G yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan pengguna baik dari sisi performa teknis maupun efisiensi sumber daya. Yang mempertimbangkan kebutuhan kapasitas dan coverage secara simultan.

Pada tahap analisis kapasitas, penelitian mempertimbangkan sejumlah parameter penting, termasuk proyeksi jumlah pengguna 5G, kebutuhan trafik data (demand traffic), dan kecepatan data yang diinginkan (data rate). Parameter-parameter ini digunakan untuk menentukan jumlah gNodeB yang diperlukan guna mendukung kebutuhan trafik di wilayah penelitian. Estimasi jumlah gNodeB dilakukan dengan mempertimbangkan pola penggunaan layanan data dan tingkat adopsi teknologi 5G di masa depan.

Sementara itu, analisis cakupan dilakukan dengan memperhatikan klasifikasi area perencanaan, seperti area perkotaan padat, sub-perkotaan, dan area pinggiran. Perhitungan link budget menjadi komponen kunci dalam analisis ini, di mana model propagasi yang digunakan adalah 3GPP 38.901 untuk Urban Macro (UMa). Model propagasi ini dipilih karena mampu merepresentasikan karakteristik propagasi sinyal di wilayah perkotaan yang kompleks.

Hasil dari kedua analisis tersebut—kapasitas dan cakupan—kemudian dibandingkan untuk menentukan jumlah optimal gNodeB yang diperlukan di wilayah penelitian. Pendekatan ini memastikan bahwa desain jaringan tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan trafik pengguna, tetapi juga efisien dalam penggunaan sumber daya spektrum dan infrastruktur. Selanjutnya, desain jaringan 5G disimulasikan menggunakan perangkat lunak Atoll, yang merupakan alat pemodelan jaringan yang banyak digunakan untuk analisis performa jaringan. Parameter Key Performance Indicator (KPI) yang dianalisis meliputi Reference Signal Received Power (SS-RSRP) dan Signal to Interference plus Noise Ratio (SS-SINR). Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas sinyal dan tingkat interferensi di jaringan yang dirancang.

Diagram alur metodologi penelitian untuk perencanaan implementasi jaringan 5G ini disajikan pada Gambar 1. Diagram ini memberikan gambaran terstruktur mengenai tahapan yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari pengumpulan data awal, perhitungan parameter teknis, simulasi jaringan, hingga evaluasi performa. Dengan pendekatan yang sistematis ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi 5G di Indonesia, khususnya dalam konteks implementasi pada frekuensi 2300 MHz di wilayah perkotaan seperti Banjarmasin.

2.1. Analisis Kapasitas

Analisis Kapasitas diperlukan untuk memastikan bahwa jaringan 5G dapat menangani demand traffic yang tinggi di area urban seperti Kota Banjarmasin. Pendekatan ini mempertimbangkan kebutuhan throughput pengguna, density pengguna, dan traffic pattern yang kompleks di lingkungan perkotaan.

Dalam perancangan jaringan telekomunikasi, proyeksi jumlah pengguna merupakan parameter fundamental yang secara signifikan memengaruhi perhitungan kebutuhan kapasitas jaringan. Pada penelitian perancangan jaringan 5G New Radio (NR) ini, model Bass digunakan untuk mengestimasi proyeksi jumlah pengguna. Perhitungan proyeksi jumlah pengguna dan kapasitas pasar dilakukan dengan merujuk pada persamaan berikut:

$$N(y) = MC \frac{1 - e^{-y(p+q)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-y(p+q)}} \quad (1)$$

Dimana,

- $N(y)$: jumlah user
- MC : *market capacity*
- $p \geq 0$: *innovation coefficient*
- $q \leq 0$: *imitation coefficient*

Proyeksi kebutuhan trafik memiliki peran penting dalam menentukan densitas pengguna per kilometer persegi pada area implementasi jaringan. Kalkulasi kebutuhan trafik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan matematis berikut:

$$G(t) = \rho \cdot \frac{8}{N_{dh} \cdot N_{md}} \cdot \frac{1}{3600} \varphi(t) D_k \quad (2)$$

Dimana,

- $G(t)$: proyeksi kebutuhan traffic,
- ρ : kepadatan user,
- N_{dh} : jumlah busy hour dalam satu hari,
- N_{md} : jumlah hari dalam satu bulan,
- $\varphi(t)$: presentasi pengguna aktif pada rentan waktu tertentu 100% untuk menghitung puncak kebutuhan traffik
- D_k : rata-rata demand perbulan.

Dalam proses perhitungan jumlah *site*, diperlukan beberapa parameter yang harus dihitung terlebih dahulu, yaitu kapasitas rata-rata per sel menggunakan Persamaan (3) serta kapasitas rata-rata per *site* menggunakan Persamaan (4) dan (5).

$$Av. Cell Cap. = \sum(Av. Cell Cap All Modulasi (QPSK+16QAM+64 QAM)) \quad (3)$$

$$Av. Site Cap. = Av. Cell Cap \times Sectors \quad (4)$$

$$N_{site} = (D(t)) / (Av. Site Cap.) \quad (5)$$

Dimana,

- Av. Cell Cap. Mod : kapasitas rata-rata sel per modulasi (Mbps)
- Av. Cell Cap. : kapasitas rata-rata sel (Mbps)
- N_{site} : jumlah site
- $D(t)$: *throughput* jaringan
- AV. Site Cap : kapasitas rata-rata site (Mbps)

2.2. Analisis Coverage

Analisis Cakupan diperlukan untuk memastikan bahwa sinyal 5G dapat menjangkau seluruh area layanan dengan kualitas yang memadai. Pendekatan ini mempertimbangkan propagasi sinyal, path loss, dan interference dalam environment urban yang memiliki banyak obstruction.

Perancangan *link budget* merupakan komponen utama dalam menentukan jumlah gNodeB yang memenuhi target Key Performance Indicator (KPI). Secara umum, parameter perhitungan *link budget* pada teknologi 5G memiliki kemiripan dengan teknologi 4G. Namun, teknologi 5G memperhitungkan beberapa parameter tambahan, seperti *body block loss*, *foliage loss*, dan atenuasi akibat hujan atau salju. Nilai Maximum Allowable Path Loss (MAPL), yang merepresentasikan besarnya kehilangan daya sinyal antara antena pengguna dan antena stasiun seluler, dapat dievaluasi melalui perhitungan link budget (Rahmawati et al., 2021). Nilai path loss dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} Pathloss (dB) = & gNodeB transmit power (dBm) - \\ & 10 \times \log_{10} (subcarrier quantity) + gNodeB antenna gain (dBi) - \\ & gNodeB cable loss (dB) - penetration loss (dB) - foliage loss (dB) - \\ & body block loss (dB) - interference margin (dB) - rain/ice margin (dB) - \\ & slow fading margin (dB) + UE antenna gain (dB) - Thermal noise power (dBm) \\ & - UE noise figure (dB) - demodulation threshold SINR (dB) \end{aligned} \quad (6)$$

Model propagasi pada teknologi 5G telah mengalami penyempurnaan signifikan dibandingkan dengan teknologi generasi sebelumnya. Dalam implementasinya, teknologi 5G menggunakan model propagasi standar 3GPP 38.901, yang diklasifikasikan ke dalam tiga kategori area: UMa (Urban Macro), RMa (Rural Macro), dan UMi (Urban Micro). Model ini dirancang untuk mencakup berbagai karakteristik lingkungan, seperti area perkotaan padat, wilayah pedesaan, serta area mikro-perkotaan. Formulasi matematis untuk model propagasi 3GPP 38.901 pada skenario UMa Line of Sight (LOS) telah ditetapkan dan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan propagasi sinyal.

Pada penelitian ini model propagasi 3GPP 38.901 dipilih karena merupakan standar internasional yang diterima secara global untuk perencanaan jaringan 5G NR, dan sejalan dengan Kota Banjarmasin yang memiliki area urban dengan karakteristik makro cell deployment yang sesuai dengan model UMa. Model ini dirancang khusus untuk lingkungan perkotaan dengan building height dan density yang moderate hingga high.

$$PL_{UMa-LOS} = 28.0 + 30 \log_{10} (d_{3d}) + 20 \log_{10} (f_c) - 9 \log_{10} ((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (7)$$

Dimana,

- $PL_{UMa-LOS}$: pathloss (dB)
- d_{3d} : resultant of distance between hBS and hUT (m)
- d'_{BP} : breakpoint distance (m)
- h_{BS} : antenna height of gNodeB (m)
- h_{UT} : transmission user height (m)
- f_c : center of frequency (Hz)

Model propagasi untuk teknologi 5G mengalami penyempurnaan signifikan dibandingkan teknologi sebelumnya. Pada implementasinya, 5G menggunakan standarisasi Model Propagasi 3GPP 38.901 yang terbagi dalam tiga kategori area, yaitu UMa (Urban Macro/Dense Urban/Sub Urban), Rma (Rural Macro), dan Umi (Urban Micro/Dense Urban). Adapun formulasi matematis untuk model propagasi 3GPP 38.901 UMA LOS telah ditetapkan.

Dimana,

$$PL_{UMa-LOS} = 28.0 + 30 \log_{10} (d_{3d}) + 20 \log_{10} (f_c) - 9 \log_{10} ((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (8)$$

- $PL_{UMa-LOS}$: pathloss (dB)
- d_{3d} : resultant of distance between hBS and hUT (m)
- d'_{BP} : breakpoint distance (m)
- h_{BS} : antenna height of gNodeB (m)
- h_{UT} : transmission user height (m)
- f_c : center of frequency (Hz)

Cakupan area (coverage area) dievaluasi berdasarkan hasil perhitungan *link budget* dan radius cakupan maksimum dari setiap *site*. Penentuan jumlah *site* dilakukan dengan mempertimbangkan analisis jarak jangkauan maksimal masing-masing *site*. Perhitungan luas area cakupan per *site* dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Coverage Area = 2.6 \times (d_{2D})^2 \quad (9)$$

Dimana,

- d_{2D} : BS-UT distance / cell radius (m)

Berdasarkan hasil kalkulasi Coverage Area, tahap selanjutnya adalah menentukan jumlah site 5G yang dibutuhkan pada area perancangan. Perhitungan jumlah site dapat diformulasikan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah site} = \frac{\text{Luas area (km)}}{\text{Coverage Area (km)}} \quad (10)$$

Dimana,
Coverage area : nilai cakupan area (km)
 Luas area : total luas area perancangan (km)

2.3. KPI Indikator

Evaluasi kinerja jaringan 5G New Radio (NR) dilakukan melalui analisis beberapa parameter Key Performance Indicator (KPI). Parameter yang dianalisis meliputi SS-RSRP (Secondary Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) dan SS-SINR (Secondary Synchronization Signal-Signal to Interference plus Noise Ratio), yang masing-masing memiliki nilai ambang batas (threshold) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel. 1 berikut. Evaluasi kinerja pada penelitian ini menggunakan simulasi Forsk Atoll, simualsi Atoll mendukung full 3GPP compliance modeling termasuk beamforming, MIMO, carrier aggregation, dan network slicing dan sesuai dengan spesifikasi 3GPP Release 15/16 untuk 5G NR.

Tabel 1. KPI Indikator

Kategori	SS-RSRP	SS-SINR Value Limit	RLC Throughput
Excellent	≥ -90 dBm	≥ 15 dB	≥ 100 Mbps
Good	-105 s/d -90 dBm	10 ≤ SS-SINR ≤ 15 dB	50 - 100 Mbps
Fair	-115 s/d -103 dBm	5 ≤ SS-SINR ≤ 10 dB	10 - 50 Mbps
Poor	< -115 dBm	< 5 dB	< 10 Mbps

- Synchronization Signal Reference Signal Received Power (SS-RSRP) adalah parameter yang mengukur kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh perangkat pengguna dari gNodeB. SS-RSRP menjadi indikator utama dalam menentukan kualitas coverage area jaringan 5G NR.
- Synchronization Signal Signal-to-Interference Noise Ratio (SS-SINR) adalah parameter yang merepresentasikan perbandingan antara kekuatan sinyal yang diinginkan dengan interferensi dan noise.
- Radio Link Control (RLC) Throughput adalah parameter yang mengukur kecepatan transfer data efektif pada layer RLC dalam jaringan 5G NR. RLC Throughput menjadi indikator penting dalam mengevaluasi kapasitas dan performa jaringan secara keseluruhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Kapasitas

Perencanaan jaringan yang efektif memerlukan proyeksi pengguna/pasar untuk menentukan nilai estimasi dalam proyeksi pasar ke depan. Pada penelitian ini, perhitungan proyeksi jumlah pengguna dilakukan dalam rentang waktu 5 tahun. Berdasarkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada Tabel 2, proyeksi pengguna 5G di Kota Banjarmasin menunjukkan peningkatan signifikan setiap tahunnya.

Tabel 2. Proyeksi Jumlah User Kota Bandung Tahun 2024 Hingga Tahun 2028

Tahun Ke-n	Tahun	Jumlah Pengguna
1	2024	36.462
2	2025	55.831
3	2026	78.960
4	2027	105.138
5	2028	133.030

Analisis proyeksi kebutuhan traffic untuk implementasi jaringan telekomunikasi mempertimbangkan empat faktor utama: densitas populasi, pangsa pasar operator, tingkat penetrasi perangkat smartphone, dan rata-rata permintaan traffic per bulan. *Market share* operator seluler dominan di Indonesia menjadi acuan penting dalam kalkulasi proyeksi kebutuhan traffic. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis di Kota Banjarmasin yang memiliki luas wilayah 98,46 km² dengan kepadatan penduduk mencapai 6.949 jiwa/km², hasil tersebut dapat dilihat pada Table 3. Berdasarkan perhitungan, dengan rata-rata konsumsi data per pengguna sebesar 100 GB per bulan, diperoleh total kebutuhan traffic sebesar 2,13 Gbps/km².

Tabel 3. Proyeksi Kebutuhan Demand Traffic Kota Banjarmasin

Kota/Kabupaten	Kota Banjarmasin
Luas (Km)	98,46
Kebutuhan dalam Bulan (GB)	100
Kepadatan Penduduk (Jiwa/Km)	6,949
Kebutuhan Traffic (Gbps/Km)	2.13

Berdasarkan hasil analisis kapasitas pada perencanaan jaringan 5G NR di Kota Banjarmasin, diperoleh kebutuhan jumlah site yang berbeda untuk uplink dan downlink. Perhitungan menunjukkan dibutuhkan 16 site untuk uplink dan 84 site untuk downlink guna melayani total populasi sebanyak 694.384 jiwa. Perencanaan ini mempertimbangkan estimasi kebutuhan traffic sebesar 2,13 Gbps pada tahun 2028. Jumlah site berdasarkan kapasitas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Jumlah site berdasarkan kapasitas

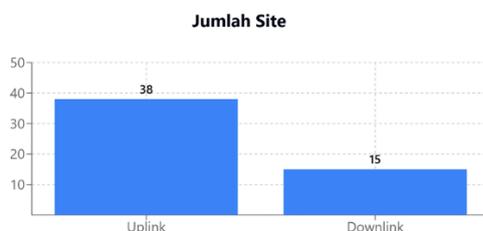
3.2. Perhitungan Cakupan

Pada penelitian ini, analisis *coverage* dilakukan melalui perhitungan *link budget* untuk jaringan 5G NR. Kalkulasi *link budget* menghasilkan nilai Maximum Allowable Path Loss (MAPL), dimana *link budget* merupakan perhitungan komprehensif dari total *Gain* dan *Loss* pada sistem untuk mengevaluasi kekuatan sinyal yang diterima di penerima. Hasil perhitungan *link budget* digunakan untuk menentukan radius *cell* dan estimasi jumlah BTS 5G yang dibutuhkan. Perhitungan jumlah site pada penelitian ini didasarkan pada model propagasi 3GPP 38.901. Model propagasi untuk frekuensi 2,3 GHz menggunakan skenario Urban Macro (Outdoor to Outdoor) pada *downlink* dan *uplink* dengan kondisi Propagation LOS (Line of Sight). Penentuan jumlah *site* mempertimbangkan beberapa parameter penting yang ada pada tabel berikut.

Tabel 4. Parameter MAPL untuk Perhitungan Cakupan

Parameter	Simbol	Uplink (UL)	Downlink (DL)
<i>Pathloss</i>	LP	83.16 dB	91.16 dB
<i>gNodeB height</i>	hBS	25 m	25 m
<i>User Terminal height</i>	hUT	1.5 m	1.5 m
<i>Equipment gNodeB distance</i>	h'BS	24 m	24 m
<i>Equipment UT distance</i>	h'UT	0.5 m	0.5 m
<i>Breakpoint distance</i>	d'BP	2.83 km	4.49 km
<i>hBS - hUT distance</i>	dBP	2,283.62 m	2,035.27 m
<i>Cell radius</i>	d2D	1.16 km	1.86 km
<i>Coverage area</i>	CA	2.62 km ²	6.75 km ²

Berdasarkan hasil perhitungan *coverage planning* menunjukkan hasil dari perencanaan jaringan 5G NR untuk wilayah Kota Banjarmasin. Membutuhkan 38 gNodeB untuk skenario O2O *Uplink* dan 15 gNodeB untuk skenario O2O *downlink* yang mencakup seluruh wilayah kota. Grafik di bawah ini menunjukkan distribusi jumlah gNodeB berdasarkan *coverage*, dimana kebutuhan gNodeB untuk uplink lebih banyak dibandingkan dengan downlink untuk memastikan kualitas layanan yang optimal.



Gambar 3. Jumlah *site* berdasarkan *coverage*

3.3. Jumlah site perancangan 5G di Kota Banjarmasin

Setelah didapatkan hasil perhitungan berdasarkan kapasitas dan *coverage*, jumlah *site* yang optimal untuk perancangan Kota Banjarmasin dipilih berdasarkan skenario *downlink* pada sisi kapasitas dengan kebutuhan pembangunan 84 site dengan jangkauan radius 0,72 km. Pemilihan jumlah *site* ini didasarkan pada skenario *downlink* pada sisi kapasitas, dengan pertimbangan utama untuk memastikan kapasitas jaringan yang memadai dalam melayani kebutuhan traffic data pengguna di seluruh wilayah Kota Banjarmasin. Perbandingan jumlah site berdasarkan *coverage* dan kapasitas ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Jumlah Site Berdasarkan Coverage dan Kapasitas

Parameter	Uplink	Downlink
Berdasarkan Coverage	38 site	15 site
Berdasarkan Kapasitas	16 site	84 site

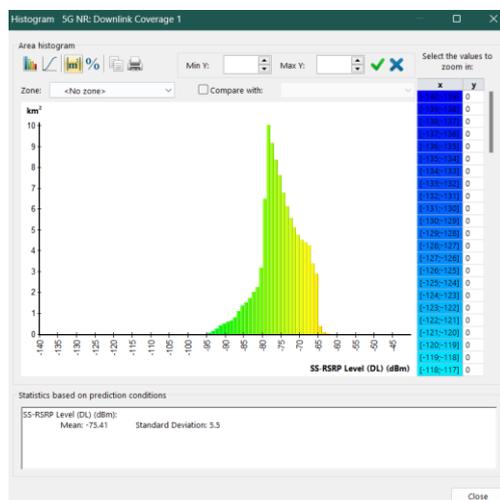
Analisis komparatif dengan penelitian serupa menunjukkan konsistensi hasil. Studi Makassar (2023) dengan karakteristik kota serupa membutuhkan 78 site untuk area 98 km², sementara penelitian ini memerlukan 84 site untuk area 70 km². Perbedaan 7% ini dapat dijelaskan oleh faktor kepadatan penduduk Banjarmasin yang lebih tinggi (9.100 jiwa/km²) dibandingkan Makassar (8.400 jiwa/km²) dan proyeksi pertumbuhan trafik data yang lebih agresif di wilayah Kalimantan Selatan. Desain 84 site telah memenuhi compliance terhadap regulasi nasional: (1) Permen Kominfo No. 7/2021 tentang target *coverage* 95% untuk kota metropolitan, khusus untuk Kalimantan Selatan, desain ini mendukung program IKN Nusantara dengan menyediakan backbone 5G yang dapat diintegrasikan dengan infrastruktur digital ibu kota negara baru.

3.4. Hasil Simulasi

Setelah melakukan perhitungan berdasarkan kapasitas dan cakupan, simulasi pembangunan jaringan 5G NR di Kota Banjarmasin dilakukan menggunakan simulator jaringan Forsk Atoll. Berdasarkan hasil perhitungan studi, diperlukan 84 gNodeB untuk mencakup seluruh wilayah kota, dengan radius jangkauan per *site* sebesar 0,72 km. Simulasi dilakukan dengan memilih gNodeB terbesar dari hasil perhitungan kapasitas dan cakupan yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil simulasi perencanaan untuk area Banjarmasin ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini berdasarkan setiap parameter. Berdasarkan hasil simulasi pada data *map* SS-RSRP untuk implementasi jaringan 5G NR di Kota Banjarmasin, dapat dianalisis bahwa persebaran kuat sinyal terlihat sangat baik yang dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan statistik yang ditampilkan pada Gambar 5, nilai rata-rata SS-RSRP adalah -75,41 dBm dengan standar deviasi 5,5 dB. Nilai rata-rata ini menunjukkan kualitas sinyal yang baik untuk jaringan 5G berdasarkan ambang batas KPI (Key Performance Indicator) 5G yang umum.



Gambar 4. Peta perencanaan jaringan SS-RSRP di Kota Banjarmasin

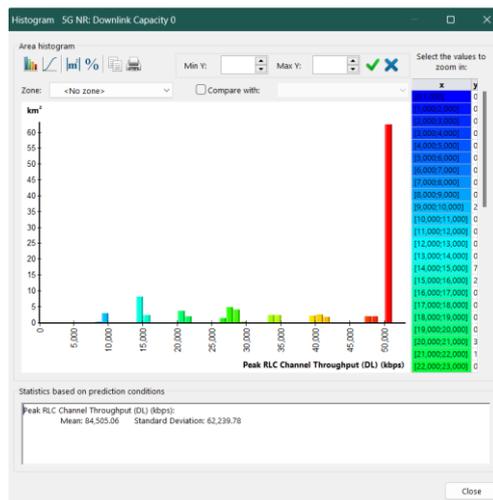


Gambar 5. Hasil perencanaan jaringan SS-RSRP dalam bentuk histogram.

Berdasarkan hasil simulasi pada data map SS-SINR untuk implementasi jaringan 5G NR di Kota Banjarmasin, dapat dianalisis bahwa distribusi nilai SS-SINR menunjukkan kualitas yang baik dapat dilihat hasil penyebaran pada Gambar 6. Pada Gambar 7, menampilkan histogram distribusi nilai SS-SINR di seluruh area cakupan dengan nilai rata-rata SS-SINR sebesar 15,44 dB dengan standar deviasi 7,89 dB. Menurut rentang KPI 5G yang umum, nilai rata-rata ini dikategorikan dalam kondisi yang "cukup baik". Histogram menunjukkan distribusi nilai SS-SINR yang terpusat pada rentang yang lebih tinggi,



Gambar 6. Peta perencanaan jaringan SS-SINR di Kota Banjarmasin



Gambar 9. Hasil perencanaan jaringan Peak RLC Throughput

3.5. Analisis Perbandingan Dengan Studi Lain

Berdasarkan Tabel 6, penelitian ini menunjukkan hasil yang konsisten dengan studi referensi yang telah dilakukan sebelumnya, namun dengan beberapa perbedaan signifikan yang mencerminkan karakteristik spesifik wilayah studi. Perbandingan parameter teknis menunjukkan bahwa penelitian ini menggunakan spektrum frekuensi 2300 MHz dengan bandwidth 30 MHz, sedangkan studi pembandingan menggunakan frekuensi 3500 MHz dengan bandwidth 100 MHz. Perbedaan spektral ini mengakibatkan variasi dalam efisiensi coverage, dimana frekuensi yang lebih rendah (2300 MHz) memberikan propagasi yang lebih baik untuk area coastal dibandingkan frekuensi 3500 MHz yang lebih sesuai untuk area highland. Analisis kebutuhan infrastruktur menunjukkan bahwa penelitian ini memerlukan 84 gNodeB untuk melayani area seluas 98,46 km² dengan karakteristik urban coastal, menghasilkan densitas site sebesar 0,85 site/km². Sebaliknya, studi pembandingan membutuhkan 130 gNodeB untuk area 167,31 km² dengan karakteristik urban highland, menghasilkan densitas 0,78 site/km². Efisiensi yang lebih tinggi pada penelitian ini dapat diatribusikan pada: (1) optimisasi parameter propagasi untuk area coastal yang memiliki path loss lebih rendah, (2) penggunaan bandwidth yang lebih sempit namun dengan alokasi spektrum yang lebih efisien, dan (3) karakteristik topografi Banjarmasin yang relatif datar sehingga mengurangi shadowing effect.

Tabel 6. Perbandingan hasil penelitian dengan studi lain

Parameter	Hasil Penelitian	Studi Lain
Frekuensi	2300 MHz	3500 MHz
Bandwidth	30 MHz	100 MHz
Area Coverage	98,46 km ²	167,31 km ²
Metodologi	Kapasitas & Cakupan	Kapasitas & Cakupan
Simulator	Forsk Atoll	Forsk Atoll
Jumlah Site	84 gNodeB	130 gNodeB
Karakteristik Area	Urban Coastal	Urban Highland
Periode Studi	2024-2029	2021-2026

4. KESIMPULAN

Keberlanjutan teknologi telekomunikasi generasi ke-4 (4G) adalah generasi ke-5 (5G) atau yang disebut dengan IMT 2020. Untuk mempersiapkan penggelaran jaringan 5G di Indonesia, perlu dilakukan perancangan dengan mempertimbangkan beberapa parameter. Pada penelitian ini, digunakan pemodelan perhitungan spektrum frekuensi 2300 MHz dan bandwidth 30 MHz dengan pendekatan perancangan kapasitas dan cakupan.

Berdasarkan hasil perhitungan, Kota Banjarmasin membutuhkan demand traffic sebesar 2,13 Gbps/km² dengan maksimum data rate untuk uplink 1875,03 Gbps/km dan downlink 3505,50 Gbps/km. Downlink menunjukkan hasil data rate yang lebih tinggi dibandingkan uplink untuk jaringan 5G NR, hal ini dikarenakan mempertimbangkan penggunaan maksimum 2 layer untuk downlink dan 4 layer untuk uplink.

Berdasarkan analisis kapasitas, dibutuhkan 84 gNodeB untuk melayani kebutuhan downlink di Kota Banjarmasin. Sedangkan berdasarkan analisis cakupan, dibutuhkan 38 gNodeB untuk skenario uplink O2O dan 15 gNodeB untuk skenario downlink O2O. Jumlah site yang optimal untuk perancangan jaringan 5G di Kota Banjarmasin adalah 84 gNodeB dengan jangkauan radius per site 0,72 km, berdasarkan pertimbangan utama memenuhi kebutuhan kapasitas jaringan.

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Forsk Atoll menunjukkan bahwa perencanaan jaringan 5G NR di Kota Banjarmasin memiliki performansi yang baik. Analisis parameter SS-RSRP menunjukkan nilai rata-rata -75,41 dBm dengan standar deviasi 5,5 dB, mengindikasikan kualitas sinyal yang baik. Analisis parameter SS-SINR diperoleh nilai rata-rata 19,33 dB dengan standar deviasi 4,72 dB, menunjukkan kualitas yang baik pula. Analisis parameter RLC Throughput menunjukkan nilai rata-rata peak sebesar 84.505,06 kbps dengan standar deviasi 62.239,78 kbps, mengindikasikan kapasitas throughput yang optimal untuk melayani kebutuhan pengguna di Kota Banjarmasin.

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa perancangan jaringan 5G dengan pendekatan analisis kapasitas dan cakupan dapat menghasilkan solusi yang optimal untuk implementasi jaringan 5G di area urban seperti Kota Banjarmasin. Untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut, direkomendasikan beberapa penelitian selanjutnya. Pertama, perlu dilakukan analisis techno-economic yang komprehensif dengan mengintegrasikan aspek teknis dan kelayakan ekonomi implementasi jaringan 5G, termasuk analisis CAPEX, OPEX, ROI, dan payback period. Kedua, disarankan untuk melakukan penelitian pada frekuensi yang lebih tinggi seperti penggunaan mmWave (24-100 GHz) untuk menganalisis karakteristik propagasi dan optimasi coverage pada frekuensi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhastian, P. (2020). Teknologi Jaringan 5g Untuk Jaringan Masa Depan Menjadi Kebutuhan Manusia. *Teknologi : Jurnal Ilmiah Dan Teknologi*, 2(2), 129. <https://doi.org/10.32493/teknologi.v2i2.7901>
- ASSI *Satellite Business review*. (2024). https://assi.or.id/insights-assi-satellite-business-review-2024/utm_source, diakses 1 Desember 202.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Luas Daerah Menurut Kecamatan di Kota Banjarmasin (Km2), 2021-2022*. <https://banjarmasinkota.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTEjMg==/luas-wilayah.html>
- Haidar Hari, N., Eka Putra, F. P., Hasanah, U., Sutarsih, S. R., & Riyan. (2023). Transformasi Jaringan Telekomunikasi dengan Teknologi 5G: Tantangan, Potensi, dan Implikasi. *Jurnal Informasi Dan Teknologi*, 146–150. <https://doi.org/10.37034/jidt.v5i2.357>
- Kusliansjah, K. (2012). Jalan Dan Sungai, Kanal Sebagai Elemen Pembentuk Struktur Kota Sungai Banjarmasin Kalimantan Selatan. *Research Report - Engineering Science 1*.
- Manaek, R., Richardus Eko Indrajit, & Erick Dazki. (2023). Arsitektur Perusahaan Untuk Infrastruktur Telekomunikasi Di Daerah Pedalaman Indonesia. *SATIN - Sains Dan Teknologi Informasi*, 9(2), 01–11. <https://doi.org/10.33372/stn.v9i2.1000>
- Oktavianto, T., Prakoso, T., & Riyadi, M. A. (2024). 2300 *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.1.1-9>
- Rahmawati, P., Nashiruddin, M. I., & Nugraha, M. A. (2021). *Capacity and Coverage Analysis of 5G NR Mobile Network Deployment for Indonesia's Urban Market*. IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT).
- Suryanto, S. & Yuli Kurnia Ningsih. (2024). Overview of 5G services and spectrum deployment in urban regions. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, 11(1), 91–102. <https://doi.org/10.37373/tekno.v11i1.651>

- Yuliana, H., Santoso, F. M., Basuki, S., & Hidayat, M. R. (2022). Analisis Model Propagasi 3GPP TR38.900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area Urban. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 10(2), 90–97. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v10i2.8233>
- Zulpratita, U. S. (2018). KUNCI TEKNOLOGI 5G. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 4(2). <https://doi.org/10.33197/jitter.vol4.iss2.2018.163>