



Perencanaan Jaringan 5G *New Radio* (NR) pada Frekuensi 3,5 GHz di Area Wisata Candi Borobudur Menggunakan Model Propagasi *Urban Macro* (UMa)

Muhammad Hanif, Caca Surya, Irsad Farhan Nulhakim³, Zaky Tiffany Lazuardy, Yuwan Cornelius, Alfin Hikmaturokhman*

*Department of Electrical Engineering, Telkom University,
Purwokerto 53147, Jawa Tengah Indonesia.*

*Email Penulis Koresponden: alfinh@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini, perencanaan jaringan 5G *New Radio* (NR) dilakukan pada frekuensi 3,5 GHz dengan menggunakan perangkat lunak Atoll 3.4 dengan studi kasus di area Wisata Candi Borobudur. Jaringan 5G *New Radio* (NR) diharapkan dapat memberikan kecepatan data yang lebih tinggi, latensi yang lebih rendah, dan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Tujuan dari perencanaan ini adalah untuk mengestimasi cakupan jaringan di area Wisata Candi Borobudur yang memiliki luas area perencanaan sebesar 0,828 km². Model propagasi *Urban Macro* (UMa), berdasarkan standar 3GPP TR 38.901, digunakan untuk sinyal *downlink*. Penelitian ini berfokus pada kondisi *downlink Outdoor-to-Outdoor* (O2O) yang menganalisis kondisi *Line of Sight* (LOS) dengan mempertimbangkan dua parameter utama: *Secondary Synchronous Reference Signal Received Power* (SS-RSRP), dan *SS Signal-to-Noise Ratio, and Interference Ratio* (SS-SINR). Hasil perhitungan yang telah dilakukan, terdapat pelemahan sinyal sebesar 74,43 dB. Hasil perencanaan cakupan area, Wisata Candi Borobudur membutuhkan 18 *site*. Berdasarkan hasil dari simulasi menunjukkan bahwa nilai SS-RSRP dengan nilai rata-rata -48,56 dBm, dikategorikan sebagai “sangat baik” yang mencakup 100% area. Parameter SS-SINR memiliki nilai rata-rata -2,18 dB, mencakup 81,4% area dengan kategori “buruk”.

This is an open access article under the [CC BY-NC](#) license



Kata Kunci:

5G NR;
Urban Macro (Uma);
Perencanaan Cakupan Area;
Frekuensi 3,5 GHz;
Outdoor to Outdoor (O2O)

Riwayat Artikel:

Diserahkan 10 Januari 2025
Direvisi 03 Mei 2025
Diterima 06 Desember 2025

DOI:

10.22441/incomtech.v15i3.31727

1. PENDAHULUAN

Permintaan trafik data dalam jaringan seluler telah meningkat secara signifikan di seluruh dunia, seiring dengan kemampuannya untuk menghubungkan ribuan perangkat secara bersamaan. *New Radio* (NR), yang merupakan generasi kelima (5G) dari jaringan komunikasi seluler, dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan spesifik seperti mobilitas tinggi, koneksi sangat tinggi, dan kapasitas data yang sangat besar. Teknologi 5G sangat relevan dalam konteks pengembangan industri saat ini, terutama dalam era Industri 4.0, di mana kebutuhan akan arsitektur jaringan yang efisien, ketepatan waktu, keselamatan, dan keamanan menjadi semakin penting [1][2][3][4][5][6].

Inovasi dalam teknologi, khususnya 5G, semakin meluas ke seluruh dunia, termasuk Indonesia [7][8][9][10]. Sejak tahun 2021, pemerintah dan operator seluler di Indonesia telah mulai menerapkan teknologi 5G secara komersial. Menurut Dirjen Peralatan Pos dan Informasi (PPI) dari Komdigi, diharapkan jaringan 5G dapat terintegrasi secara luas pada tahun 2025, terutama di kawasan wisata yang populer dan strategis [11].

Candi Borobudur, sebagai salah satu situs wisata utama di Indonesia, menarik jutaan pengunjung setiap tahun dan berfungsi sebagai tempat penting untuk transportasi bahan bangunan, pariwisata, serta produk pertanian lokal [12]. Untuk memastikan pengalaman yang optimal bagi pengunjung dan meningkatkan efisiensi operasional, penting untuk mengembangkan sistem teknologi cerdas, seperti pariwisata cerdas (*smart tourism*), yang didukung oleh penerapan jaringan 5G [13]. Mengingat tingginya volume kunjungan wisatawan, perencanaan cakupan area di sekitar Candi Borobudur menjadi sangat krusial [14].

Teknologi 5G berpotensi menjadikan operasional pariwisata lebih efisien, fleksibel, dan aman dalam menghadapi perubahan yang cepat dalam ekonomi dan teknologi global [15]. Dengan memanfaatkan analitik dan otomatisasi, operasi dapat dilakukan dengan lebih efektif dan responsif terhadap dinamika yang ada. Walaupun penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk perencanaan 5G dalam berbagai konteks seperti perkotaan dan industri, fokus utama dari studi ini adalah untuk meningkatkan digitalisasi di sektor pariwisata [16].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada perencanaan jaringan 5G untuk digitalisasi pelabuhan cerdas di Pelabuhan Merak [17], studi ini secara khusus difokuskan pada perencanaan jaringan 5G *New Radio* (NR) pada frekuensi 3,5 GHz di area wisata Candi Borobudur. Meskipun kedua penelitian menggunakan model propagasi *Urban Macro* (UMa) dan skenario *Outdoor-to-Outdoor* (O2O), fokus implementasinya berbeda, yaitu pada pengembangan pariwisata cerdas. Selain itu, kedua penelitian ini juga menggunakan frekuensi yang sama, yaitu 3,5 GHz, yang memungkinkan perbandingan teknis yang relevan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana jaringan 5G dapat meningkatkan pengalaman pengunjung dan efisiensi layanan di kawasan wisata. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi unik dalam konteks

perencanaan jaringan 5G untuk mendukung sektor pariwisata, serta membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai implementasi teknologi 5G di area wisata lainnya.

Fokus penelitian diarahkan pada bagaimana jaringan 5G dapat mendukung pengalaman wisata yang cerdas dan terhubung, dengan mempertimbangkan kebutuhan konektivitas tinggi, kestabilan jaringan, dan cakupan area yang sesuai dengan karakteristik kawasan wisata. Pendekatan ini tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis seperti cakupan dan pelemahan sinyal (*path loss*), tetapi juga menjawab tantangan digitalisasi sektor pariwisata melalui pemanfaatan frekuensi 3,5 GHz dan model propagasi *Urban Macro* (UMa) dalam simulasi berbasis Atoll 3.4. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan cakupan area jaringan 5G *New Radio* (NR) di Wisata Candi Borobudur, dengan memanfaatkan spektrum frekuensi *mid-band* 3,5 GHz, yang dikenal memiliki kapasitas tinggi dan latensi yang rendah [18][19][20].

Frekuensi 3,5 GHz menawarkan cakupan yang baik meskipun area jangkauannya tidak terlalu besar [21]. Namun, hal ini dapat diatasi dengan penambahan infrastruktur yang sesuai. Dalam perencanaan ini, skenario untuk koneksi *Line-of-Sight* (LOS) dan *Outdoor-to-Outdoor* (O2O) akan digunakan untuk menghitung *link budget*. Model propagasi *Urban Macro* (UMa) yang disediakan dalam 3GPP TR 38.901 akan menjadi panduan utama dalam proses ini [22]. Sebelum perencanaan cakupan dilakukan, model propagasi akan dihitung berdasarkan rekomendasi jaringan 5G, menghasilkan parameter penting seperti radius sel dan nilai MAPL. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Atoll 3.4 yang digunakan untuk simulasi dan perencanaan, karena kemampuannya dalam mendukung analisis jaringan 5G yang lebih efektif dibandingkan dengan versi sebelumnya.

2. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

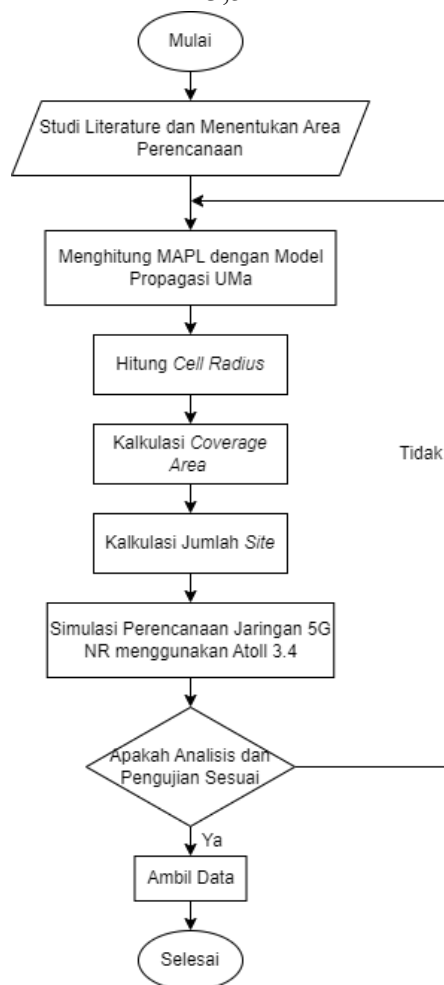
Pada penelitian ini, lokasi yang dipilih adalah area Wisata Candi Borobudur, yang terletak di Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Kawasan ini ramai akan penduduk dan juga pengunjung, baik dari lokal maupun dari mancanegara. Dengan jumlah pengunjung yang sangat tinggi setiap tahunnya, penting untuk memastikan bahwa infrastruktur jaringan mampu mendukung kebutuhan komunikasi yang meningkat. Perencanaan cakupan area 5G *New Radio* (NR) akan memberikan cakupan yang optimal, sehingga pengunjung dapat mengakses informasi dan layanan secara *real-time*, yang penting untuk meningkatkan pengalaman mereka. Gambar 1. mengilustrasikan tata letak Wisata Candi Borobudur [23].



Gambar 1. Tata Letak Wisata Candi Borobudur [23].

2.2 Diagram Alur Penelitian

Gambar 2. menggambarkan proses penelitian Analisa Performasi Jaringan 5G *New Radio* (NR) menggunakan Frekuensi 3,5 GHz – Wisata Candi Borobudur:



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Perencanaan penelitian untuk 5G *New Radio* (NR) pada frekuensi 3,5 GHz dimulai dengan analisis mendalam terhadap studi literatur terkait jaringan 5G *New Radio* (NR). Tahap pertama melibatkan pemilihan Candi Borobudur, salah satu situs warisan dunia yang menjadi pusat pariwisata utama di Indonesia. Untuk menghitung *link budget*, model propagasi *Urban Macro* (Uma) dari 3GPP 38.901 digunakan untuk menentukan radius sel. Ini memungkinkan untuk menghitung jarak maksimum antara *User Terminal* (UT) dan gNodeB (gNB). Radius sel ini kemudian digunakan untuk menentukan cakupan area perencanaan dan menghitung jumlah lokasi yang diperlukan di sekitar Candi Borobudur. Terakhir, simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak Atoll 3.4, yang memungkinkan perbandingan hasil cakupan area dan perhitungan *link budget*.

2.3 Link Budget

Perhitungan *link budget* bertujuan untuk memperkirakan nilai dari *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL), yaitu penurunan sinyal yang diterima antara *mobile antenna* dan *mobile station antenna* pada sisi *downlink* [24].

Tabel 1. *Link Budget* 5G NR [24]

Parameter	Downlink Calculation
<i>gNodeB Transmitter Power (dBm)</i>	49
<i>Resource Block</i>	273
<i>Subcarrier quantity</i>	3276
<i>gNode antenna gain (dBi)</i>	2
<i>gNode cable loss (dB)</i>	0
<i>Penetration loss (dB)</i>	26.85
<i>Folliage loss (dB)</i>	19.59
<i>Body block loss (dB)</i>	3
<i>Interference margin (dB)</i>	6
<i>Rain/Ice Margin (dB)</i>	0
<i>Slow fading margin (dB)</i>	8
<i>UE antenna gain (dB)</i>	0

<i>Bandwidth (Mhz)</i>	100
<i>Thermal Noise Power (Kelvin)</i>	-153.93
<i>UT noise figure (dB)</i>	9
<i>Demodulation threshold SINR (dB)</i>	22.9
<i>Temperature (K)</i>	293

Perhitungan cakupan area mempertimbangkan kerugian yang terjadi antara perangkat *gNodeB* dan *User Terminal* (UT), dalam melakukan perhitungan yang diperlukan oleh data *link budget* menunjukkan parameter yang digunakan oleh UT dan *gNodeB*.

Langkah pertama dalam perhitungan ini adalah menentukan nilai *Thermal Noise*, yang dihitung menggunakan persamaan (1) berikut [24]:

$$N_{Thermal} = 10 \times \log(K \times T \times B) \quad (1)$$

Di mana K merupakan konstanta *Boltzmann* sebesar 1.38×10^{-20} mWs/K, T adalah temperatur dalam Kelvin (293°K), dan B adalah *bandwidth*.

Selanjutnya, nilai *Subcarrier Quantity* ditentukan menggunakan persamaan (2) [24]:

$$S_{cq} = R_B \times S_{RB} \quad (2)$$

Dalam hal ini, R_B adalah jumlah *resource block* dan S_{RB} adalah jumlah *subcarrier per resource block*.

Besarnya nilai perhitungan *pathloss* ini sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter yang akan digunakan dalam *link budget* dari perencanaan jaringan 5G NR. Nilai *pathloss* digunakan untuk menghitung total redaman sinyal maksimum antara perangkat pengguna dan *gNodeB*. Perhitungan *pathloss* dirumuskan dalam persamaan (3) [24]:

$$\begin{aligned} Pathloss (dBm) = & P_t - 10\log_{10}(subcarrier\ quantity) + G_t - L_c - \\ & gNodeB\ transmit\ power\ (dBm) - 10\log_{10}(subcarrier\ quantity) + gNodeB \\ & antenna\ gain\ (dBi) - gNodeB\ cable\ loss\ (dB) - penetration\ loss\ (dB) - \\ & foliage\ loss\ (dB) - body\ block\ loss\ (dB) - interference\ margin\ (dB) - \\ & rain/ice\ margin\ (dB) - slow\ fading\ margin\ (dB) + UT\ antenna\ gain\ (dB) \\ & - thermal\ noise\ figure\ (dBm) - UT\ noise\ figure\ (dB) - demodulation \\ & threshold\ SINR\ (dB) \end{aligned} \quad (3)$$

Untuk memperoleh jarak 3D (d_{3D}) berdasarkan *pathloss* tersebut, pertama-tama perlu dihitung tinggi efektif dari *Base Station* (BS) dan *User Terminal* (UT) menggunakan persamaan (4) dan (5) [24]:

$$h'_{BS} = h_{BS} - h_E \quad (4)$$

$$h'_{UT} = h_{UT} - h_E \quad (5)$$

Di mana h_{BS} dan h_{UT} masing-masing adalah tinggi dari *Base Station* (BS) dan *User Terminal* (UT), serta h_E adalah tinggi rata-rata dari lingkungan sekitar. Berikutnya, titik *break point* dihitung menggunakan persamaan (6) [24]:

$$d'_{BP} = 4 \times h'_{BS} \times h'_{UT} \times f_c / c \quad (6)$$

Dalam hal ini, f_c adalah frekuensi (GHz), dan c adalah kecepatan cahaya (m/s).

Jika hubungan antara perangkat bersifat *Line of Sight* (LOS), maka perhitungan *pathloss* mengikuti persamaan (7) [24]:

$$L_p = 28.0 + 40_{\log}(d_{3D}) + 20_{\log}(f_c) - 9_{\log}((d'_{BP})^2 + (h'_{BS} - h'_{UT})^2) \quad (7)$$

Di mana L_p adalah nilai *pathloss* dalam dB dan d_{3D} adalah jarak 3D antara gNodeB dan *User Terminal* (UT).

Setelah d_{3D} diperoleh, jarak horizontal atau jarak d_{2D} dihitung menggunakan persamaan (8) [24]:

$$d_{2D} = \sqrt{((d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2)} \quad (8)$$

Perhitungan ini berguna untuk mendapatkan jarak horizontal antara gNodeB dan *User Terminal* (UT).

Luas cakupan dari satu gNodeB dengan tiga sektor dihitung menggunakan persamaan (9) [24]:

$$C_A = 2.6 \times d^2 \quad (9)$$

Di mana C_A adalah area cakupan satu gNodeB dalam meter persegi, dan d adalah jari-jari sel yang diambil dari nilai d_{2D} .

Terakhir, jumlah gNodeB yang dibutuhkan untuk mencakup suatu wilayah dihitung dengan persamaan (10) [24]:

$$N_{gNodeB} = \frac{\ell_{Area}}{C_A} \quad (10)$$

Dalam hal ini, ℓ_{Area} adalah luas area total yang ingin dicakup (m^2), dan C_A adalah luas cakupan satu gNodeB.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *Link Budget*

Untuk mendapatkan jumlah *site* yang akan digunakan di area Wisata Candi Borobudur, dilakukan perhitungan *link budget* berdasarkan model propagasi. Model propagasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Urban Macro* (UMa).

Pertama melakukan perhitungan *Thermal Noise* dan *Subcarrier Quantity* menggunakan rumus (1) dan (2):

- *Thermal Noise*

$$N_{thermal} = 10 \log (1,38 \cdot 10^{-20} \times 293^\circ \times 100)$$

$$N_{thermal} = -153,93 \text{ dBm}$$

- *Subcarrier Quantity*

$$S_{cq} = 273 \times 12$$

$$S_{cq} = 3276$$

Dengan demikian, nilai yang diperoleh untuk penghitungan *pathloss* adalah:

- *Pathloss*

$$49 - 10 \log 10 (3276) + 2 - 0 - 26,85 - 19,59 - 3 - 6 - 0 - 8 + 0 \\ - (-153,93) - 9 - 22,9 = 74,43 \text{ dB}$$

Hasil perhitungan untuk h'_{BS} , h'_{UT} , dan d'_{BP} adalah:

- $h'_{BS} = h_{BS} - h_E$

$$= 25 - 1$$

$$= 24 \text{ m}$$

- $h'_{UT} = h_{UT} - h_E$

$$= 1,5 - 1$$

$$= 0,1 \text{ m}$$

- $d'_{BP} = 4 \times h'_{BS} - h'_{UT} \times fc/c$

$$= 4 \times 24 \times 0,5 \times 3,5 \times 10^9 / 3 \times 10^8$$

$$= 560 \text{ m}$$

Kemudian parameter d_{3D} dihitung untuk memiliki nilai tertentu menggunakan *Line-of-Sight Path Loss* (LOS-PL) rumus:

- Parameter D3D

$$L_p = 28 + 40 \log(d_{3D}) + 20 \log 10 (Fc) - 9 \log ((d'_{BP})^2 \\ + (h'_{BS} - h'_{UT})^2)$$

$$74,43 = 28 + 40 \log(d_{3D}) + 20 \log 10 (3,5) - 9 \log ((560)^2 \\ + (25 - 1)^2)$$

$$40 \log 10 (d_{3D}) = 74,43 + 49,47 - 28 - 10,88$$

$$\log 10 (d_{3D}) = \frac{85,02}{40} = 2,12$$

$$d_{3D} = 10^{2,12}$$

$$d_{3D} = 133,58 \text{ meter}$$

$$d_{2D} = \sqrt{((d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2)}$$

$$d_{2D} = \sqrt{((133,58)^2 - (1,5)^2)}$$

$$d_{2D} = 133,57 \text{ m}$$

- $gNodeB$

$$C_A = 2,6 \times d^2$$

$$C_A = 2,6 \times (133,57)^2$$

$$C_A = 46387,84 \text{ meter}^2$$

$$N_{gNodeB} = \frac{\ell_{Area}}{C_A}$$

$$N_{gNodeB} = \frac{828000 \text{ meter}^2}{46387,84 \text{ meter}^2}$$

$$N_{gNodeB} = 17,849 \approx 18 \text{ site}$$

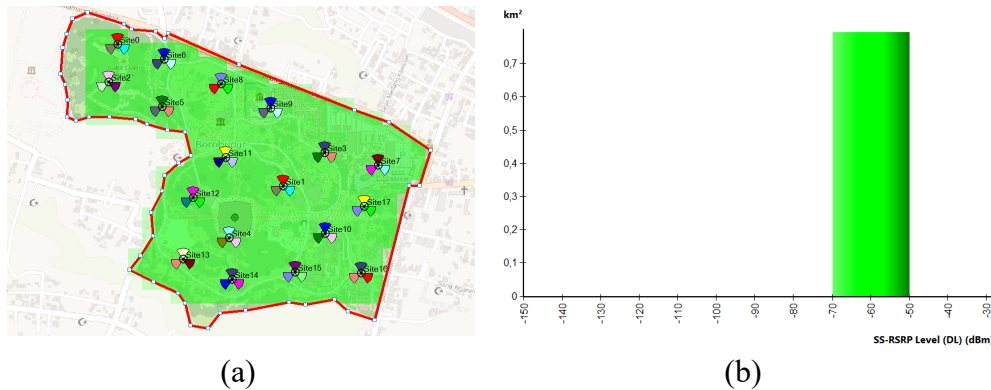
Tabel 2. Hasil Kalkulasi Perhitungan

Parameter	Downlink (O2O) - LOS
Pathloss (dB)	74,43 dB
d3D (m)	133,5807581 m
d2D (m)	133,572 m
Cakupan (m ²)	46367,84588 (m ²)
Jumlah site	18

3.2 Hasil Simulasi

Penelitian ini menggunakan skenario *downlink* O2O – LOS. *Site* baru digunakan berdasarkan cakupan area. Skenario ini dibuat dengan mensimulasikan jaringan 5G NR dengan *bandwidth* 100 MHz dan frekuensi 3,5 GHz menggunakan perangkat lunak Atoll 3.4. Hasil simulasi Atoll menentukan jumlah *gNodeB* yang dibutuhkan untuk mencakup area Wisata Candi Borobudur.

1. Downlink O2O SS-RSRP

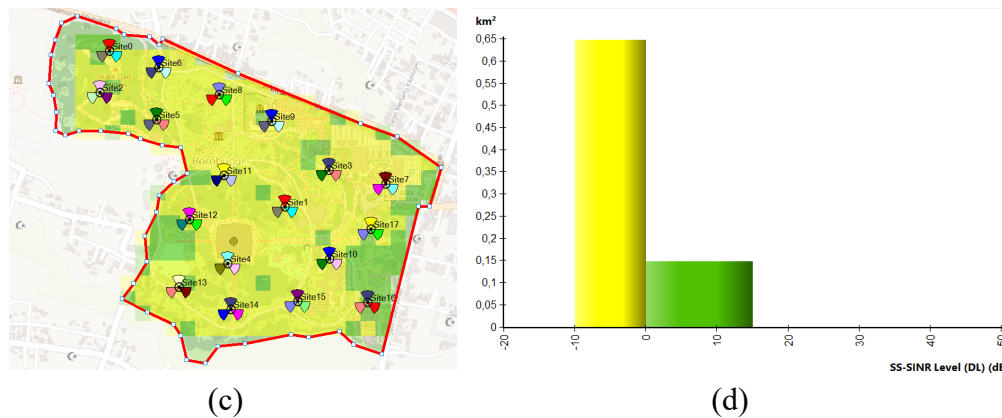
Gambar 3. Hasil *Downlink* SS-RSRP (a) cakupan area; (b) histogramTabel 3. Hasil Simulasi *Downlink* SS-RSRP

Kategori	Rentang SS-RSRP (dBm)	Luas Area (km ²)	Persentase Area Tercover (%)
Sangat Baik	SS-RSRP $\geq$ -70	0,828	100 %
Baik	-90 $\leq$ SS-RSRP $\leq$ 70	0	0
Normal	-110 $\leq$ SS-RSRP $\leq$ -90	0	0
Buruk	-130 $\leq$ SS-RSRP $\leq$ -110	0	0
Sangat Buruk	SS-RSRP $\leq$ -130	0	0

Berdasarkan kajian penelitian [25] level *downlink* SS-RSRP terukur pada seluruh area berada dalam rentang -70 hingga -50 dBm, dengan persentase 100% dalam kategori sangat baik. Hasil data menunjukkan bahwa 18 *site* di area Candi Borobudur telah masuk dalam kategori sangat baik, dengan nilai rata-rata mencapai -48,56 dBm.

Kualitas SS-RSRP yang sangat baik ini berimplikasi positif bagi pengalaman pengguna. Dengan sinyal yang kuat, pengguna dapat menikmati kecepatan internet yang tinggi dan koneksi yang stabil, yang mendukung aktivitas seperti *streaming video*, *browsing*, dan penggunaan aplikasi berbasis data secara *real-time*. Hal ini sangat penting di area wisata, di mana pengunjung mengharapkan aksesibilitas dan kualitas layanan yang optimal.

2. Downlink O2O SS-SINR



Gambar 4. Hasil *Downlink* SS-SINR (c) cakupan area; (d) histogram

Tabel 4. Hasil Simulasi *Downlink* SS-SINR

Kategori	Rentang SS-SINR (dB)	Luas Area (km ²)	Persentase Area Tercover (%)
Sangat Baik	SS-SINR ≥ 30	0	0
Baik	$15 \leq \text{SS-SINR} \leq 30$	0	0
Normal	$0 \leq \text{SS-SINR} \leq 15$	0,148	18,6 %
Buruk	$-10 \leq \text{SS-SINR} \leq 0$	0,648	81,4 %
Sangat Buruk	SS-SINR ≤ -10	0	0

Dalam penelitian ini, nilai SS-SINR rata-rata -2,18 dB menunjukkan kondisi yang buruk, yang dapat berdampak negatif pada kualitas pengalaman pengguna (*Quality of Experience/QoE*). SS-SINR yang rendah sering kali menyebabkan kecepatan internet yang lambat, peningkatan latensi, dan koneksi yang tidak stabil. Berdasarkan kajian [25] level *downlink* SS-SINR berada pada rentang 0 dB hingga 15 dB dengan persentase 0,148% dalam kategori normal. Sebaliknya, kategori buruk mencakup nilai -10 dB hingga 0 dB, yang mencakup 0,648% dari total area Candi Borobudur.

Dengan 18 *site* di area ini masuk dalam kategori buruk, upaya perbaikan diperlukan untuk meningkatkan kualitas sinyal. Rekomendasi seperti penambahan *site* atau optimasi konfigurasi jaringan dapat membantu meningkatkan SS-SINR dan, pada gilirannya, meningkatkan pengalaman pengguna di lokasi wisata ini.

Tidak ada pembahasan mengenai skenario uplink, padahal untuk perencanaan yang komprehensif, *uplink* juga menjadi faktor penting. Namun, saat dilakukan simulasi, jumlah *site* yang dibutuhkan untuk *uplink* mencapai sekitar 253. Jumlah *site* yang terlalu banyak ini membuatnya tidak layak untuk diimplementasikan di lapangan. Oleh karena itu, fokus penelitian ini lebih diarahkan pada optimasi jaringan *downlink* untuk memastikan kualitas layanan yang lebih baik bagi pengguna di area wisata.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat pelemahan sinyal sebesar 74,43 dB. Dari hasil perencanaan cakupan area, Wisata Candi Borobudur membutuhkan 18 *site* untuk optimalisasi jaringan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai SS-RSRP *downlink* O2O menghasilkan kualitas cakupan yang sangat baik, yaitu sebesar 100% dari total area 0,828 km². Ini menunjukkan bahwa seluruh area mengalami kualitas sinyal yang sangat kuat, memberikan pengalaman pengguna yang optimal.

Namun, nilai rata-rata SS-SINR *downlink* O2O berada dalam kategori buruk, yaitu sebesar -2,18 dB, yang mencakup sekitar 0,648 km². Hal ini menandakan adanya tantangan dalam kualitas pengalaman pengguna, yang dapat mempengaruhi kecepatan internet dan stabilitas koneksi. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan perbaikan, seperti penambahan *site* atau optimasi jaringan, agar dapat meningkatkan SS-SINR dan memastikan bahwa semua pengguna di area wisata mendapatkan layanan yang berkualitas.

Selanjutnya, penting untuk melakukan analisis sensitivitas terhadap parameter seperti jumlah *site* dan variasi topografi. Analisis ini dapat memberikan wawasan tambahan untuk penelitian selanjutnya dan membantu dalam merumuskan strategi yang lebih efektif dalam perencanaan jaringan di area wisata.

REFERENSI

- [1] M. Sadri, "Peluang Dan Tantangan Indonesia Dalam Pemanfaatan Teknologi Telekomunikasi Nirkabel 5G," *Media Bina Ilm.*, vol. 18, no. 8, pp. 2163–2176, 2024, doi: 10.33758/mbi.v18i8.745.
- [2] A. Qurtubi *et al.*, "Eksplorasi Penggunaan Teknologi 5g Dalam Mendorong Inovasi Pembelajaran," *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 7, no. 3, pp. 7899–7906, 2024.
- [3] H. Ulinuha Mustakim, "Tantangan Implementasi 5G di Indonesia," *INTEGER J. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2019, doi: 10.31284/j.integer.2019.v4i2.561.
- [4] A. Paul Harianja, S. Pakpahan, and C. Afriani Situmorang, "Dampak Perkembangan Teknologi 5G Di Bidang Komunikasi Dan *Internet Of Things* (IoT) Pada SMK Skylandsea

- Deliserdang,” *ULEAD J. e-Pengabdian*, vol. 3, no. 2, pp. 47–51, 2024, [Online]. Available: <http://ejournal.ust.ac.id/index.php/ULEAD>.
- [5] A. Kirang, A. Hikmaturokhman, and K. Ni’amah, “5G NR Network Planning Analysis using 700 Mhz and 2.3 Ghz Frequency in The Jababeka Industrial Area,” *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 102–111, 2023, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/335117624_Malang_City_Polytechnic_Web_Based_Student_Attendance_Information_System_Telecommunications_Engineering_Study_Program_Using_Fingerprint/fulltext/5d515fe34585153e594ef214/Malang-City-Polytechnic-Web-Based-S.
- [6] M. Ihsan, A. Hikmaturokhman, S. Laras, and S. Alam, “Design of 5G MIMO 2x2 Broadband Antenna At 26 GHz Frequency Using Double U-Slot Method and Defected Ground Structure,” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 10, no. 2, pp. 247–257, 2023, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v10i2.4409.
- [7] B. Mulyono, A. Rachman, N. Rahayu, H. Eldo, and U. Wildan Nuryanto, “Analisis Dampak Implementasi Teknologi 5G terhadap Infrastruktur Jaringan di Indonesia,” *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. September, pp. 1462–1467, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i2.14103%0Ae-ISSN.
- [8] E. Fresti Fadlillah, A. Hikmaturokhman, and P. Kerowe Goran, “Desain Antena Microstrip MIMO 2x2 dengan Defected Ground Structure (DGS) untuk Implementasi Teknologi 5G pada Frekuensi 26 GHz,” *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 2, 2024, [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE>.
- [9] I. Ginting, T. Ariefianto Wibowo, and M. Fajar Mahardika, “5G Implementation Using Software Defined Radio (SDR),” *JITE (Journal Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 8, no. July, pp. 21–32, 2024, doi: 10.31289/jite.v8i1.11967 Received:
- [10] H. Putri, A. Hikmaturokhman, I. Ahmad, R. Anwar, and R. Akbar, “Fifth generation core : the performance enhancement of virtual private server and bare metal,” *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 13, no. 4, pp. 2408–2417, 2024, doi: 10.11591/eei.v13i4.6889.
- [11] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, M. Suryanegara, A. Agung Putri Ratna, I. Kholilul Rohman, and M. Zaber, “A Proposal for Formulating a Spectrum Usage Fee for 5G Private Networks in Indonesian Industrial Areas,” *Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/informatics9020044.
- [12] H. Adhi Kurniawan, “Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Aksesibilitas Dalam Pengembangan Desa Wisata Wanurejo Kabupaten Magelang Jawa Tengah,” Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2024.
- [13] M. Yit Lin Chew, E. Ai Lin Teo, K. Wei Shah, V. Kumar, and G. Fahem Hussein, “Evaluating the roadmap of 5g technology implementation for smart building and facilities management in singapore,” *Sustain.*, vol. 12, no. 24, pp. 1–26, 2020, doi: 10.3390/su122410259.
- [14] D. Marya and A. Wahyudin, “Analisa Perbandingan Performa Pada Perancangan Jaringan 5G New Radio Menggunakan Frekuensi 3,5 Dan 24 Ghz Di Kota Yogyakarta,” *J. Elektro Telekomun. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 1199–1211, 2022, doi: 10.25124/jett.v9i1.5052.
- [15] N. Sulton and V. Hasan, “Importance Of Smart Tourism In Improving Tourism Management In Uzbekistan,” *Int. J. Econ. Innov.*, vol. 46, pp. 15–19, 2024, [Online]. Available: <https://gospodarkainnowacje.pl>.
- [16] H. Yuliana, F. Malik Santoso, S. Basuki, and M. Reza Hidayat, “Analisis Model Propagasi 3GPP TR38.900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area Urban,” *Telekontran*, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/download/8233/3321>.
- [17] S. Maharani *et al.*, “5G New Radio (NR) Network Planning for Smart Port Digitalisation: A Case Study of the Merak Port at 3.5 GHz Frequency,” *COMNETSAT 2024 - IEEE Int. Conf. Commun. Networks Satell.*, pp. 480–486, 2024, doi:

- 10.1109/COMNETSAT63286.2024.10862672.
- [18] V. Farré, J. David Vega Sánchez, and H. Carvajal Mora, “5G NR Radio Network Planning at 3.5 GHz and 28 GHz in a Business/Dense Urban Area from the North Zone in Quito City,” in *Engineering Proceedings*, 2023, vol. 47, no. 1, doi: 10.3390/engproc2023047024.
 - [19] M. Imam Nashiruddin, P. Rahmawati, M. Adam Nugraha, and D. Suherman, “Sensitivity Options of 5G 700 MHz Network Deployment in Urban Models: A Simulation for Emerging Countries,” *J. Commun.*, vol. 19, no. 5, pp. 255–265, 2024, doi: 10.12720/jcm.19.5.255-265.
 - [20] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, M. Suryanegara, and R. Deiny, “The Impact of Real Traffic from Twitter for 5G Network Deployment,” *Adv. Sci. Engeneering Inf. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 801–808, 2023.
 - [21] D. Rianti, M. Alfin Amanaf, A. Hikmaturokhman, and A. Wahyudin, “Enhanced Indoor Coverage with Femtocells in 5G Networks at 3500 Mhz Frequency using Radiowave Propagation Software,” *J. Inf. Technol. Its Util.*, vol. 7, no. 1, pp. 37–45, 2024, doi: 10.56873/JITU.7.1.5610.
 - [22] A. Wulandari, T. Supriyanto, A. Hasna, Raviadin, and A. Hikmaturokhman, “Performance Analysis of 4x4 MIMO and 8x8 MIMO Antena Implementation of Private 5G Networks in Industrial Area,” *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 555–565, 2024, doi: 10.31289/jite.v7i2.10440.
 - [23] Y. Afrianto Singgalen, “Analisis Performa Algoritma NBC, DT, SVM dalam Klasifikasi Data Ulasan Pengunjung Candi Borobudur Berbasis CRISP-DM,” *Build. Informatics, Technol. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 1634–1646, 2022, doi: 10.47065/bits.v4i3.2766.
 - [24] R. Nur Esa, A. Hikmaturokhman, and A. Rizal Danisya, “5G NR Planning at mmWave Frequency : Study Case in Indonesia Industrial Area,” in *2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, 2020, pp. 205–210, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9277451.
 - [25] S. Larasati, K. Ni’amah, and Z. Hanni Pradana, “Analysis of 5G Network Performance in Line-of-Sight Conditions Using 3.3 GHz Frequency at Sawahan, Surabaya,” *J. Inf. Technol. Its Util.*, vol. 5, no. 2, pp. 31–40, 2022, doi: 10.56873/jitu.5.2.4892.