



**InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer**  
vol.xx, no.x, Agustus 2022, xxx-xxx  
<http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/Incomtech>  
P-ISSN: 2085-4811 E-ISSN: 2579-6089

# Perancangan Cakupan Jaringan 5G di Wilayah Semarang Barat Menggunakan Metode SU-MIMO dan MU-MIMO

Abdul Fatah Amrulloh, Daffa Akhdan Afif, Yusril Ardanis, Santo Pardomuan Siregar, Gabriel Ebitnego Sinaga, Brainadi Zaidan Tra Anandi, Alfin Hikmaturokhman\*

*Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom Purwokerto,  
Jl. DI Panjaitan No. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147,  
\*Email Penulis Koresponden: alfinh@telkomuniversity.ac.id*

## Abstrak:

Kemajuan teknologi telekomunikasi, terutama dalam jaringan seluler, terus berkembang pesat seiring dengan transformasi digital yang semakin meluas. Media sosial dan layanan internet kini menjadi bagian integral kehidupan sehari-hari, dengan jumlah pengguna internet di Indonesia diperkirakan mencapai 221 juta orang pada tahun 2024. Namun, peningkatan jumlah pengguna ini juga menimbulkan tantangan berupa meningkatnya beban jaringan seluler yang dapat memengaruhi kualitas layanan. Teknologi 5G hadir sebagai solusi dengan menawarkan berbagai keunggulan, seperti cakupan jaringan yang lebih luas, throughput tinggi, latensi rendah, dan stabilitas sinyal yang lebih baik. Penelitian ini berfokus pada perancangan cakupan jaringan 5G di wilayah Semarang Barat, yang memiliki luas sekitar 21 km<sup>2</sup>, menggunakan frekuensi 2,3 GHz. Proses perancangan dilakukan melalui metode *Single User Multiple Input Multiple Output* (SU-MIMO) dan *Multi User Multiple Input Multiple Output* (MU-MIMO) dengan pendekatan *Line of Sight* (LOS). Untuk simulasi, digunakan *software radio planning* Atoll 3.4.0 guna menganalisis parameter utama seperti SS-SINR dan SS-RSRP, yang menjadi indikator kualitas sinyal dan cakupan jaringan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rata-rata nilai SS-SINR untuk metode MU-MIMO adalah 3,8 dB, sedangkan untuk SU-MIMO mencapai 6,97 dB, yang keduanya termasuk dalam kategori cukup. Sementara itu, rata-rata nilai SS-RSRP pada MU-MIMO tercatat sebesar -91,42 dB, dan pada SU-MIMO sebesar -101,04 dB, menunjukkan kualitas sinyal yang tergolong baik, meskipun berada di batas bawah kategori tersebut.

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



## Kata Kunci:

Atoll;  
RSRP;  
SINR;  
5G;  
Coverage Planning

## Riwayat Artikel:

Received Jun x, 20xx  
Revised Nov x, 20xx  
Accepted Dec x, 20xx

## DOI:

10.22441/incomtech.v10i3.7777

## 1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi komunikasi nirkabel telah mengalami kemajuan yang sangat pesat. Jaringan 5G, dengan kecepatan data yang jauh lebih tinggi, waktu respon yang sangat cepat, dan kemampuan menampung banyak perangkat secara bersamaan, telah menjadi standar baru dalam konektivitas. Teknologi ini membuka peluang besar untuk pengembangan berbagai aplikasi canggih, mulai dari perangkat pintar sehari-hari hingga sistem transportasi dan kota yang sepenuhnya terhubung [1].

Permintaan akan data di Indonesia terus melonjak seiring perkembangan teknologi. Meskipun pemerintah telah menyediakan frekuensi 2300 MHz untuk jaringan 5G, implementasinya masih terbatas pada kota-kota besar. Kondisi ini mendorong operator seluler untuk segera menghadirkan layanan 5G yang cepat, stabil, dan menjangkau seluruh wilayah, guna memenuhi kebutuhan masyarakat yang terus meningkat [2].

Sebagai evolusi dari 4G LTE, teknologi 5G yang dikembangkan oleh 3GPP menawarkan peningkatan signifikan dalam kinerja jaringan. Tiga pilar utama 5G, yaitu mMTC, URLLC, dan eMBB, memungkinkan konektivitas yang lebih luas, lebih cepat, dan lebih andal. Hal ini membuka peluang baru untuk transformasi digital di berbagai sektor, mulai dari industri hingga layanan publik [3].

*massive Machine-Type Communications* (mMTC) adalah teknologi yang dirancang untuk menghubungkan sejumlah besar perangkat digital secara bersamaan. Dengan mMTC, mesin-mesin dapat berkomunikasi satu sama lain secara otomatis, tanpa perlu banyak kendali dari manusia. Teknologi ini sangat cocok untuk lingkungan yang membutuhkan banyak perangkat terhubung, seperti kota pintar dan pertanian modern [4].

*Ultra-reliable low latency communications* (URLLC) adalah layanan komunikasi yang menjamin tingkat keandalan yang sangat tinggi, yaitu lebih dari 99,999%, dan latensi yang sangat rendah, kurang dari 1 milidetik. Fitur-fitur ini sangat penting untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan respons waktu yang sangat cepat dan sangat handal, seperti otomatisasi industri, pengendalian drone, peralatan medis baru, dan kendaraan otonom. Latensi yang sangat rendah ini juga memungkinkan peningkatan keamanan pada seluruh jaringan komunikasi [5].

*Enhanced mobile broadband* (eMBB) adalah teknologi yang memungkinkan kita mengakses internet dengan kecepatan sangat tinggi, bahkan hingga 20 Gbps untuk unduhan dan 10 Gbps untuk unggahan. Kecepatan super cepat ini sangat berguna untuk aktivitas seperti menonton video berkualitas tinggi, rapat online, bermain game virtual, dan streaming langsung. Selain itu, eMBB juga memungkinkan kita untuk mengakses internet berkecepatan tinggi di mana saja, baik di rumah maupun saat bepergian [1].

*Coverage Planning* adalah perencanaan cakupan untuk proses perhitungan untuk menentukan jumlah BTS yang optimal dalam suatu area layanan. Perhitungan ini memperhitungkan berbagai faktor seperti kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat pengguna, hambatan sinyal di lingkungan sekitar, dan jenis BTS yang digunakan [6].

*Multi User-Multiple Input Multiple Output* (MU-MIMO) adalah teknologi yang memungkinkan *base station* atau *access point* mengirimkan data ke banyak pengguna secara bersamaan menggunakan beberapa antena. MU-MIMO

memungkinkan antenna stasiun pangkalan mengirimkan data secara efisien ke pengguna yang berbeda pada waktu yang sama. Teknologi ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan kapasitas dan kecepatan pada jaringan dengan jumlah pengguna yang besar. MU-MIMO memanfaatkan spektrum frekuensi dengan lebih baik dan meningkatkan kinerja jaringan, terutama di lingkungan dengan kepadatan tinggi [7].

*Single-user multiple-input multiple-output* (SU-MIMO) merupakan teknologi yang digunakan dalam komunikasi nirkabel khususnya jaringan seluler seperti 4G LTE dan 5G. Teknologi ini memungkinkan transmisi data secara simultan antara perangkat pengguna (single user) dan perangkat di base station melalui beberapa antenna (multiple input) [8]. SU-MIMO adalah teknologi MIMO yang memungkinkan titik akses (AP) mengirim beberapa aliran data secara bersamaan ke satu perangkat yang kompatibel. SU-MIMO menggunakan perangkat seperti AP atau router dengan beberapa antenna untuk mengirimkan aliran data secara bersamaan ke satu perangkat target seperti ponsel, laptop, atau tablet [9].

Semarang, dengan pertumbuhan penduduk yang pesat dan kebutuhan data yang semakin kompleks, memerlukan infrastruktur jaringan yang lebih canggih. Implementasi jaringan 5G di Semarang akan memberikan kecepatan akses yang jauh lebih tinggi, mendukung berbagai aplikasi data-intensif, dan menjadi fondasi bagi pengembangan kota pintar [10].

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kekuatan sinyal 5G di Semarang dengan menggunakan frekuensi 2300 MHz. Frekuensi ini dipilih karena sifat propagasinya yang baik di lingkungan perkotaan, namun memerlukan perencanaan yang matang. Analisis mendalam terhadap kepadatan penduduk, lokasi BTS, dan kondisi lingkungan sangat penting untuk memastikan kualitas layanan 5G di Semarang [11].

Melalui penelitian ini, dilakukan Perancangan Cakupan Jaringan 5G di Wilayah Semarang Barat Menggunakan Metode SU-MIMO dan MU-MIMO. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model perencanaan yang optimal dalam hal cakupan sinyal, kapasitas, dan kualitas layanan (*Quality of Service*), sehingga mendukung kebutuhan komunikasi modern masyarakat Kota Semarang.

## 2. METODE

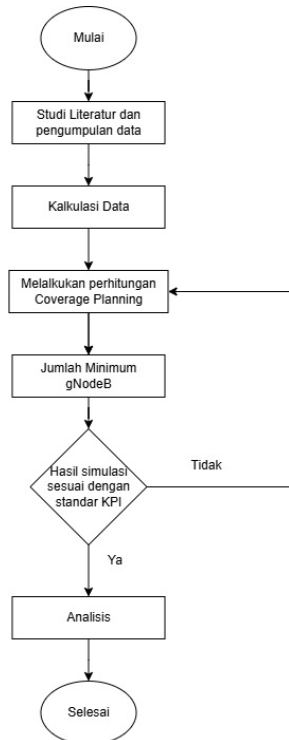
Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan memanfaatkan perangkat lunak Atoll versi 3.4.0 untuk merancang jaringan 5G pada frekuensi 2300 MHz di wilayah Semarang Barat. Perangkat lunak Atoll yang digunakan sudah dilengkapi dengan peta Pulau Jawa, sehingga mempermudah proses perancangan dan analisis. Sebelum pelaksanaan simulasi, diperlukan data pendukung seperti luas wilayah yang menjadi objek penelitian.

### 2.1 Teknik Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis simulasi dan perencanaan jaringan untuk mengevaluasi penerapan jaringan 5G NR dengan frekuensi 2300 MHz. Teknik yang diterapkan yaitu *coverage planning*. *Coverage planning* difokuskan untuk menganalisis cakupan jaringan dengan memastikan bahwa sinyal dapat menjangkau area target secara optimal,

termasuk dengan mempertimbangkan lokasi strategis *base station* dan pengaturan ketinggian antena.

## 2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Tahap pertama studi literatur melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber (jurnal, buku, dan dokumen teknis) terkait teknologi 5G, perencanaan jaringan, kapasitas spektrum, dan kebutuhan frekuensi 2300 MHz. Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung perencanaan jaringan. Data meliputi peta geografis daerah Semarang yang digunakan untuk menganalisis cakupan sinyal.

Setelah data terkumpul, dilakukan perhitungan berdasarkan model teknis, seperti, perhitungan kapasitas jaringan untuk memastikan jumlah pengguna yang dapat dilayani. Perhitungan cakupan jaringan berdasarkan frekuensi 2300 MHz untuk menentukan jangkauan sinyal tiap gNodeB.

*Coverage planning* dilakukan untuk menentukan area mana saja yang harus dijangkau oleh jaringan 5G, termasuk area perkotaan, pinggiran, atau area dengan kebutuhan khusus seperti zona industri. Setelah dilakukan perencanaan kapasitas dan cakupan, dihitung jumlah minimum *node base station* untuk 5G (gNodeB) yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan baik dari sisi kapasitas maupun cakupan.

Selanjutnya simulasi dilakukan untuk melakukan validasi dari perencanaan jaringan yang telah dibuat. Kemudian hasil simulasi dianalisis untuk mengevaluasi apakah perencanaan jaringan sudah sesuai dengan kebutuhan untuk memastikan jaringan 5G yang direncanakan mampu bekerja secara optimal.

## 2.3 Perhitungan Coverage Planning

### 1. Link Budget

*Link budget* digunakan untuk menghitung kehilangan daya sinyal antara *gateway* dan perangkat akhir dan menentukan cakupan area maksimum per lokasi. Parameter *link budget* digunakan untuk memperkirakan nilai *path loss* dan jumlah gNodeB yang dibutuhkan [12].

Tabel 1 Parameter *Link Budget*

Comment Parameter	O2O Uma SU-MIMO	O2O Uma MU-MIMO
gNodeB Transmitter Power (dBm)	49	49
Resource blok	217	217
Subcarrier quantity	2604	2604
gNodeB antenna gain (dBi)	2	2
gNodeB cable loss (dBi)	0	0
Penetration loss (dB)	12,23	12,23
Foliage loss (dB)	11,14	11,14
Body blok loss (dB)	8	8
Interference margin (dB)	2	2
Rain/ice margin (dB)	0	0
Slow fading margin (dB)	6	6
UE antenna gain (dB)	0	0
Bandwidth (MHz)	80	80
Konstanta boltzman (K)(mWs/K)	$1.38 \times 10^{-20}$ mWs/K	$1.38 \times 10^{-20}$ mWs/K
Temperatur (Kelvin)	293	293
Thermal noise power (dBm)	-154.39	-154.39
UT noise figure (dB)	9	9
Demodulation threshold SINR(dB)	-1.1	-1.1

Menghitung cakupan jaringan 5G dapat dilakukan dengan menghitung nilai *pathloss* dengan persamaan berikut [13].

$$\begin{aligned} \text{Pathloss} = & \text{gNodeB transmit power (dBm)} - 10 \log(\text{subcarrier quantity}) + \\ & \text{gNodeB antenna gain (dBi)} - \text{gNodeB cable loss (dB)} - \text{penetration loss (dB)} - \\ & \text{foliage loss (dB)} - \text{body block loss (dB)} - \text{interference margin (dB)} - \\ & \text{rain/ice margin (dB)} - \text{slow fading margin (dB)} + \text{UT antenna gain (dB)} - \\ & \text{thermal noise figure (dBm)} - \text{UT noise figure (dB)} - \text{demodulation threshold SINR (dB)} \end{aligned} \quad (1)$$

Dalam perhitungan *Link Budget* akan didapatkan hasil berapa *site* yang akan digunakan dalam simulasi *Coverage*, di bawah akan dijabarkan semua parameter parameter yang harus dihitung untuk mendapatkan *site*.

*Thermal Noise*

$$10 \times \log 10 \times K \times T \times B \quad (2)$$

Keterangan:

K= Konstanta boltzman

T= Temperatur

B= Bandwidth

*Subcarrier Quantity*

$$\text{Subcarrier Quantity} = \text{RB} \times \text{SRB} \quad (3)$$

Propagasi Uma

$$\text{PL} = 28 + 40\log_{10}(d3D) + 20\log_{10}(f_c) - 9\log_{10}((d'BP)^2 + (hBS - hUT)^2) \quad (4)$$

Nilai d3D diperoleh dari persamaan rumus *Pathloss*, harus bisa mengetahui berapa nilai dari d'BP, nilai hBS, dan hUT sehingga menghitungnya dapat menggunakan rumus :

$$hBS = hUT - hE \quad (5)$$

$$huS = hUT - hE \quad (6)$$

$$d'BP = \frac{4h \times h'BS \times h'UT \times f_c}{c} \quad (7)$$

Cell Radius

$$\text{Radius cell } (d2D) = \sqrt{(d3D)^2 - (hBS - hUT)^2} \quad (8)$$

Perhitungan Jumlah Site

$$\text{Site Coverage Area} = 2,6 \times d2D^2 \quad (9)$$

Jumlah gNodeB

$$gNodeB = \frac{\text{Luas wilayah}}{\text{Site coverage area}} \quad (10)$$

Berdasarkan perhitungan cakupan 5G tersebut dengan menggunakan model propagasi Uma, diperoleh hasil parameter perancangan seperti pada tabel 2.

Comment Parameter	Hasil Perhitungan Link Budget
Pathloss (dBm)	119.96
h'BS (m)	24
h'UT (m)	0,5
d3D (m)	1862.08
d2D (m)	1862.01
Coverage Area (m <sup>2</sup> )	9014411.22
gNodeB	3

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Model Propagation Urban Macro (Uma)

Untuk mendapatkan jumlah *site* pada Semarang Barat menggunakan model propagasi. Model propagasi yang digunakan dipenelitian ini sesuai dengan *Urban Macro* (UMa). Skenario yang digunakan dalam penelitian ini adalah *outdoorto-outdoor* (O2O) untuk *downlink* MU-MIMO, dalam kondisi saling berhadapan (LOS). Dari dua skenario tersebut, jumlah gNodeB untuk skenario *downlink* O2O MU-MIMO dan SU-MIMO sebanyak 3 *site*, ditunjukkan pada tabel 2.

### 3.2 Parameter Kualitas SS-SINR MU-MIMO

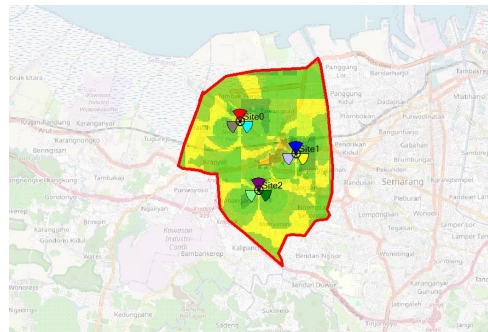
*Rasio signal-to-interference-to-noise* (SINR) adalah rasio yang membandingkan kekuatan sinyal utama yang ditransmisikan dengan tingkat interferensi dan kebisingan latar belakang yang dihasilkan dan dicampur ke dalam sinyal utama. Lebih khusus lagi, SINR mengukur rasio rata-rata daya sinyal yang diterima terhadap rata-rata interferensi dan noise. Nilai minimum RSRP dan SINR yang diperlukan bergantung pada *bandwidth* frekuensi yang digunakan [14].

Tabel 2 Standar Nilai SINR [15]

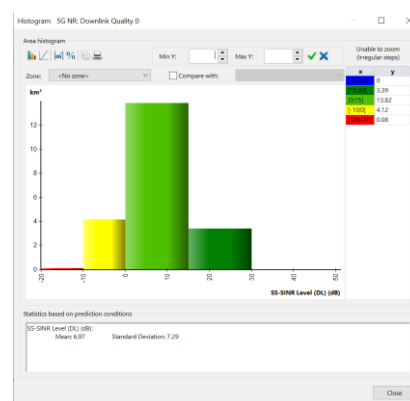
Nilai	Keterangan	Warna
16 dB sampai 30 dB	Sangat Baik	Merah
1 dB sampai 15 dB	Baik	Kuning
-5 dB sampai 0 dB	Normal	Hijau
-11 dB sampai -6 dB	Buruk	Biru
-20 dB sampai -12 dB	Sangat Buruk	Biru Tua

### 3.3. Simulasi SS-SINR MU-MIMO

Hasil simulasi perhitungan nilai SS-SINR yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1.



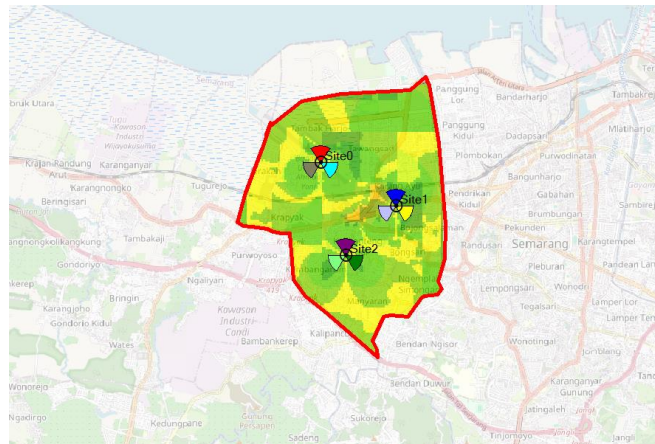
Gambar 1 Hasil simulasi SS-SINR MU-MIMO



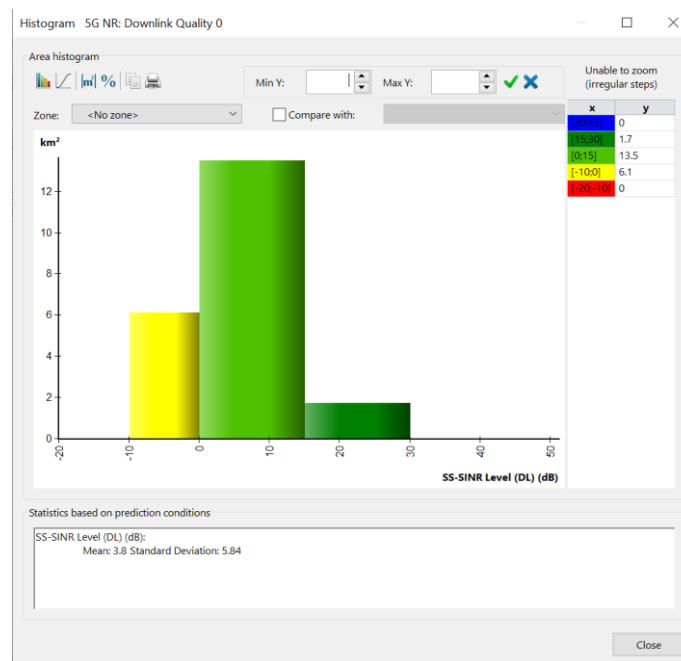
Gambar 2. Histogram SS-SINR MU-MIMO

### 3.4 Simulasi SS-SINR SU-MIMO

Hasil simulais perhitungan nilai SS-SINR yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil simulasi SS-SINR SU-MIMO



Gambar 4. Histogram SS-SINR SU-MIMO

Berdasarkan histogram pada gambar 2. Dapat dilihat nilai SS-SINR MU-MIMO mempunyai nilai Baik 1 sampai 15 dB dengan rata-rata 7.29 dB. Berdasarkan hasil tersebut nilai SS-SINR MU-MIMO dapat dikatakan kuliats cukup. Sedangkan pada Gambar 4. Menunjukan nilai SS-SINR SU-MIMO mempunyai nilai Baik pada kisara 1 sampai 15 dB dengan rata-rata 3.8 dB. Nilai SS-SINR SU-MIMO dapat dikatakan memiliki kulaitas cukup. Hasil ini mengindikasikan bahwa kulaitas yang diterima cukup memadai untuk komunikasi yang stabil meskipun belum maksimal.

### 3.5 Paremeter cakup SS-RSRP



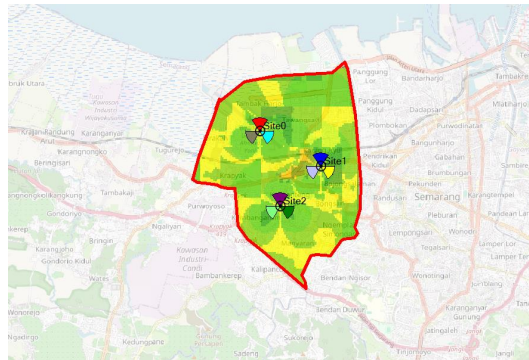
*Reference Signal Received Power* (RSRP) adalah kekuatan sinyal LTE yang diterima pengguna pada frekuensi tertentu. Jarak antara BTS dengan perangkat pengguna mempengaruhi nilai RSRP. Semakin jauh jaraknya maka semakin rendah nilai RSRP yang diterima. Nilai RSRP menunjukkan kekuatan sinyal dan biasanya dinyatakan dalam dBm negatif. Semakin tinggi nilai RSRP maka semakin kuat sinyal yang diterima perangkat pengguna, begitu pula sebaliknya. [16].

Tabel 3 Standar Nilai RSRP [15]

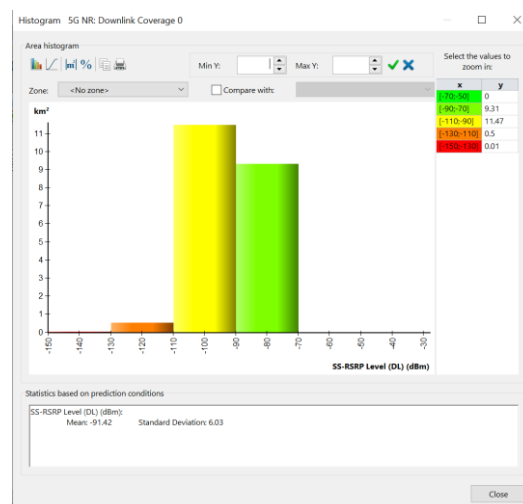
Nilai	Keterangan	Warna
$\geq -71$ dBm	Sangat Baik	Merah
$\geq -71$ dBm sampai $\leq -81$ dBm	Baik	Kuning
$\leq -81$ dBm sampai $\leq -91$ dBm	Normal	Hijau
$< -91$ dBm sampai $\leq -110$ dBm	Buruk	Biru
$< -111$ dBm	Sangat Buruk	Biru Tua

### 3.6 Simulasi SS-RSRP MU-MIMO

Hasil simulasi perhitungan SS-RSRP dapat dilihat pada gambar 5.



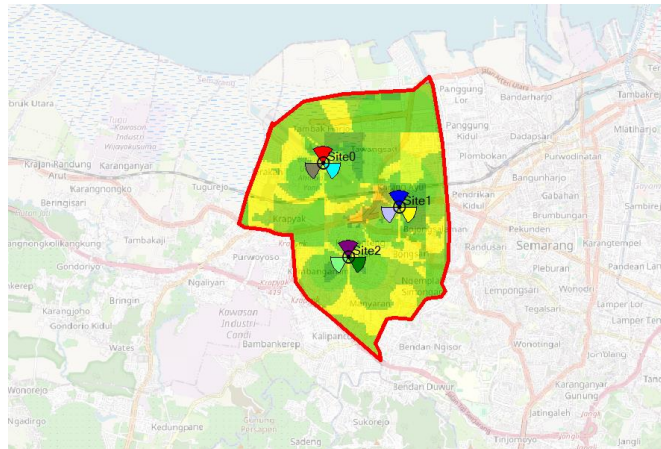
Gambar 5. Hasil simulasi SS-RSRP MU-MIMO



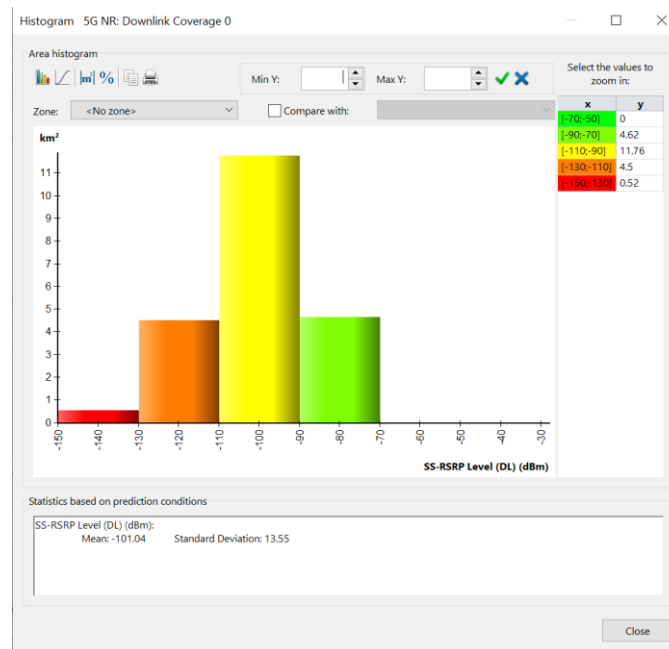
Gambar 6. Histogram SS-RSRP MU-MIMO

### 3.7. Simulasi SS-RSRP SU-MIMO

Hasil simulasi perhitungan nilai SS-RSRP dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil simulasi SS-RSRP MU-MIMO



Gambar 8. Simulasi SS-RSRP SU-MIMO

Berdasarkan histogram pada Gambar 6. Nilai SS-RSRP MU-MIMO tergolong dalam kategori normal dengan rata-rata nilai sebesar -91.42 dB. Sedangkan pada Gambar 8. Menunjukkan bahwa hasil SS-RSRP SU-MIMO memiliki rata-rata nilai sebesar -101.04 dB. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan SS-RSRP SU-MIMO memiliki kualitas yang Buruk. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan SS-RSRP SUMIMO memiliki kualitas sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal yang diterima sudah *excellent*. Dengan kekuatan sinyal yang baik akan meminimalkan resiko gangguan dan hilangnya sinyal di area tersebut.

### 3.8. Perbandingan hasil Simulasi SS-RSRP dan SS-SINR pada 2 skenario

Perbandingan hasil Simulasi SS-RSRP dan SS-SINR pada skenario 1 dan 2 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil simulasi SS-RSRP dan SS-SINR

Skenario	SS-SINR	SS-RSRP
MU-MIMO	7,29	-91,42
SU-MIMO	3,8	-101,02

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijabarkan, nilai SS-SINR untuk MU-MIMO dengan rata-rata 7,29 dB lebih unggul dibandingkan SU-MIMO dengan rata-rata 3,8 dB keduanya masuk dalam kategori “Cukup”. Untuk parameter MU-MIMO dengan rata-rata -91,42 dB lebih baik dibandingkan SU-MIMO dengan rata-rata -101,02 dB. Nilai dari skenario SU-MIMO lebih unggul dibandingkan MU-MIMO karena beberapa alasan. SU-MIMO mengalami interferensi yang lebih rendah karena melibatkan satu pengguna. Namun kedua skenario menunjukkan bahwa baik MU-MIMO maupun SU-MIMO memiliki performa yang memadai untuk komunikasi yang stabil dalam model propagasi *Urban Macro* (UMa) di Pelabuhan Tanjung Perak. Kondisi Ini tentunya akan mendukung pertumbuhan ekonomi dan teknologi di area Pelabuhan Tanjung Perak. Dengan demikian analisis *coverage planning* ini telah berhasil dengan Nilai SS-SINR dan SS-RSRP yang memadai, ini akan memberikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam mendukung kebutuhan kovektivitas serta komunikasi di Pelabuhan Tanjung Perak.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Telkom University dan seluruh pihak yang terlibat yang telah mendukung penelitian penulis hingga diterbitkannya makalah ini.

#### REFERENSI

- [1] C. Liu, “Perkembangan Teknologi 5G,” *War. ISKI*, vol. 2, no. 01, pp. 1–7, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.15706.36800.
- [2] T. Oktavianto, T. Prakoso, and M. A. Riyadi, “Analisis Jaringan 5G 2300 Mhz Dengan Menggunakan Menara 4G Lte Yang Tersedia Di Kota Semarang,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.1-9.
- [3] A. Wulandari, T. Supriyanto, and L. Damayanti, “Perancangan Skenario Non Stand Alone (Nsa) Jaringan 5G Untuk Menunjang Revolusi Industri 4.0,” *Pros. Semin. Nas. Terap. Ris. Inov.*, vol. 7, no. 1, pp. 123–130, 2021.
- [4] A. Wulandari, T. Supriyanto, A. H. Mayanti, and R. Nugroho, “Perancangan Private 5G Network Kawasan Industrial Jababeka untuk Mendukung Revolusi Industri 4 . 0,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, pp. 110–115, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/3562/0>
- [5] U. S. Zulpratita, “Kunci Teknologi 5G,” *J. Ilm. Teknol. Infomasi Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 166–173, 2018, doi: 10.33197/jitter.vol4.iss2.2018.163.
- [6] Ridho Prasetyo Wicaksono, H. Ulinuha Mustakim, and A. Ayu Faradila Purnama, “Technical and Economic Analysis for 5G Nr Network Non-Standalone Planning In Yogyakarta City Using 2300 MHz Frequency,” *J. Comput. Electron. Telecommun.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–18, 2024, doi: 10.52435/complete.v5i1.520.
- [7] D. A. Putri, A. Hikmaturokhman, M. Najmi, D. A. Rinjani, D. Veranda, and D. A. Fauzan, “Perencanaan Coverage Jaringan Seluler Menggunakan Frekuensi 1800 Mhz Di Kawasan

- Dermaga Adipala Cilacap Dengan Membandingkan Skenario Mu-Mimo Dan Su-Mimo,” *JIKO (Jurnal Inform. dan Komputer)*, vol. 8, no. 2, p. 340, 2024, doi: 10.26798/jiko.v8i2.1203.
- [8] H. B. Riswanto, I. E. Dwi Putra Sati, M. Rizky, F. A. Rosyid, and A. Hikmaturokhman, “Dampak MU-MIMO dan SU-MIMO Pada Perencanaan Jaringan Seluler 2300 MHz: Studi Komprehensif di Kota Cilacap,” *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 13, 2024, doi: 10.30595/jrre.v6i1.20921.
- [9] N. A. Isnaeni *et al.*, “4G Network Design and Performance Evaluation in Kroya, Cilacap: A Comparative Study of 700 MHz SU-MIMO and MU-MIMO,” *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](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)
- [10] H. PUTRI, “Evaluasi Performansi Jaringan UMTS di Kota Semarang menggunakan Metode Drive Test,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 5, no. 2, p. 221, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v5i2.221.
- [11] Faria Utami, H. Ulinuha Mustakim, and A. Ayu Faradila Purnama, “Analisis Tekno-Ekonomi Pada Perencanaan Jaringan 5G New Radio Frekuensi 2300 MHz di Kota Surabaya,” *J. Comput. Electron. Telecommun.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2024, doi: 10.52435/complete.v5i1.505.
- [12] D. A. Reza, S. Joyo, S. Lutfiani, N. Azizah, S. Arya, and A. Hikmaturokhman, “Analisis Perencanaan Cakupan Area Jaringan 5G di Pelabuhan Tanjung Perak Menggunakan Metode SU-MIMO dan MU-MIMO pada,” vol. 14, no. 3, pp. 218–230, 2024.
- [13] A. Kiarang, 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](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)
- [14] V. Desi Ramadianty, Dasril, and F. Imansyah, “Analisis Pengukuran Performansi Jaringan 4G LTE Telkomsel dalam Event Game Mobile Legends: Bang-Bang di Pontianak,” *Sport. Cult.*, vol. 15, no. 1, pp. 72–86, 2024, doi: 10.25130/sc.24.1.6.
- [15] R. D. Ayuningtyas, M. P. K. Praja, S. Romadhona, and Z. H. Pradana, “Penerapan Skema Automatic Cell Planning (ACP) untuk Meningkatkan Coverage Area Jaringan 4G-LTE pada Perumahan Bukit Kalibagor Indah,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 13–28, 2024, doi: 10.20895/jtece.v6i1.1188.
- [16] E. M. D. S. Belo, “Analisis Performansi Jaringan 4G Long Term Evolution (Lte) Berdasarkan Data Drive Test Pada Pt. Indosat Kupang,” *J. Media Elektro*, vol. X, no. 2, pp. 79–86, 2021, doi: 10.35508/jme.v10i2.5117.