



# Analisis Perencanaan Cakupan Area Jaringan 5G di Pelabuhan Tanjung Perak Menggunakan Metode SU-MIMO dan MU-MIMO pada Frekuensi 2,3 GHz

Deni Alva Reza, Soni Joyo Saputra Lutfiani Nur Azizah, Satrio Arya Wardana, Alfin Hikmaturokhman\*, Melinda BR Ginting

*Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto,  
Jl. DI Panjaitan No.128, Puwokerto, Indonesia  
\*Email : alfin@ittelkom-pwt.ac.id*

## Abstrak :

Perkembangan teknologi telekomunikasi, terutama dalam ranah seluler, mengalami kemajuan pesat di era modern ini. Sosial media dan layanan internet memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam pekerjaan maupun pendidikan. Jumlah pengguna internet di Indonesia terus meningkat mencapai 221 juta orang pada tahun 2024. Namun, peningkatan ini juga memicu penurunan kualitas jaringan seluler yang mendorong munculnya teknologi generasi ke-5 (5G) untuk meningkatkan layanan telekomunikasi. Teknologi 5G menawarkan cakupan jaringan yang luas, *throughput* tinggi, latensi rendah, serta kualitas sinyal yang lebih baik dan stabil. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perencanaan cakupan area jaringan 5G di Pelabuhan Tanjung Perak dengan frekuensi 2,3 GHz. Metode perencanaan yang digunakan adalah SU-MIMO dan MU-MIMO dengan skema *Line of Sight* (LOS), menggunakan *software radio planning* Atoll 3.4.0. Simulasi dilakukan untuk mengukur parameter-parameter seperti SS-SINR dan SS-RSRP yang mempengaruhi kualitas sinyal dan cakupan jaringan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rata-rata nilai SS-SINR pada MU-MIMO dan SU-MIMO masing-masing adalah 7,25 dB dan 6,82 dB dan termasuk dalam kategori cukup, Untuk nilai SS-RSRP pada MU-MIMO dan SU-MIMO masing-masing adalah -56,88 dB dan -57,02 dB dan termasuk dalam kategori sangat baik, hal ini menandakan kualitas sinyal yang stabil dan minim gangguan. Selain itu, jaringan 5G di Pelabuhan Tanjung Perak mampu menyediakan konektivitas yang cepat dan berkualitas tinggi sehingga dapat mendukung pertumbuhan ekonomi dan teknologi di wilayah tersebut. Penelitian ini memberikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam mendukung kebutuhan konektivitas di Pelabuhan Tanjung Perak.

## Kata Kunci:

5G, SS-SINR, SS-RSRP, LOS, SU-MIMO, MU-MIMO, Frekuensi 2,3 GHz

## Riwayat Artikel:

Diserahkan 17 Jun, 2024

Direvisi 31 Juli, 2024

Diterima 04 September, 2024

## DOI:

10.22441/incomtech.v14i3.27781

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi, terutama dalam ranah teknologi seluler, mengalami pertumbuhan yang pesat di era modern ini. Teknologi tidak hanya menyediakan beragam informasi, tetapi juga berperan sebagai alat komunikasi yang memudahkan kehidupan masyarakat. Sosial media menjadi elemen penting dalam hampir semua aspek kehidupan, termasuk dalam pekerjaan dan pendidikan [1]. Kebutuhan masyarakat untuk mengakses internet dan layanan data di Indonesia semakin meningkat dari tahun-ketahun. Menurut survei terbaru dari Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) yang dirilis pada tahun 2024, jumlah pengguna internet di Indonesia mencapai 221 juta orang dengan total populasi sebanyak 278,7 juta jiwa pada tahun 2023, jumlah ini meningkat sebesar 2,8% dari tahun sebelumnya. Tingkat penetrasi internet di Indonesia saat ini mencapai 79,5% [2]. Besarnya peningkatan pengguna internet ini mengakibatkan menurunnya kualitas jaringan seluler yang menyebabkan kecepatan transfer data menjadi lambat. Kondisi ini menyebabkan munculnya teknologi generasi ke-5 (5G) dengan tujuan meningkatkan layanan telekomunikasi khususnya dibidang seluler [3]. 5G *New Radio* atau 5G NR adalah standar generasi kelima dalam komunikasi jaringan seluler yang memungkinkan peningkatan kemampuan komunikasi. Standar ini saat ini ditetapkan pada tiga pita frekuensi yang berbeda-beda di berbagai negara: pita rendah (600–700 MHz), pita menengah (2,5–3,7 GHz), dan pita tinggi (25–39 GHz) [4], [5].

5G mengacu pada teknologi jaringan seluler generasi kelima yang menawarkan peningkatan signifikan dibandingkan generasi sebelumnya dalam latensi, kapasitas, dan konektivitasnya [6]. Teknologi ini dirancang untuk menyediakan layanan yang lebih baik untuk kecepatan dan menciptakan layanan yang inovatif dibidang industri [7]. Perbandingan antara 4G dan 5G menunjukkan peningkatan performa yang signifikan. Kecepatan data puncak 5G bisa mencapai 20 Gbit/s, dengan kecepatan pengguna sekitar 100 Mbit/s. Mobilitas 5G akan mencapai 500 km/jam, latensi berkurang 10 kali, kepadatan koneksi meningkat dari 105 perangkat/km<sup>2</sup> menjadi 106 perangkat/km<sup>2</sup>, dan kapasitas lalu lintas area meningkat dari 0,1 Mbit/s/m<sup>2</sup> menjadi 10 Mbit/s/m<sup>2</sup>. Ini menunjukkan bahwa 5G lebih siap untuk memenuhi kebutuhan aplikasi dan layanan nirkabel masa depan dibandingkan 4G [8]. Namun, saat ini implementasi jaringan 5G di wilayah Indonesia belum menyeluruh, hal ini menuntut operator seluler untuk dapat menyediakan layanan yang cepat, handal dan merata pada seluruh cakupan area layanan. Pada saat ini penggunaan jaringan 4G lebih dominan di Indonesia dan beroperasi pada frekuensi 1800 MHz. Dengan adanya teknologi 5G memberikan kinerja operasional yang lebih mendukung dibandingkan 4G. Frekuensi 2,3 GHz merupakan cakupan pita frekuensi menengah (*mid-band*). Secara khusus bandwidth 2,3 GHz sangat cocok untuk 5G karena frekuensi *mid-band* dapat menyediakan cakupan jaringan yang dan kapasitas yang baik [9].

Skenario yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Single User Multiple Input Multiple Output* (SU-MIMO) dengan skema *Line of Sight* (LOS) yang bertujuan untuk mengetahui kualitas dan kekuatan sinyal yang dipancarkan oleh gNodeB ke *User Terminal* (UT) [10]. *Line of Sight* (LOS) adalah kondisi di mana tidak ada halangan langsung antara *User Equipment* (UE) dan gNodeB (gNB) yang memungkinkan komunikasi tanpa gangguan. Kondisi LOS dianggap sangat penting

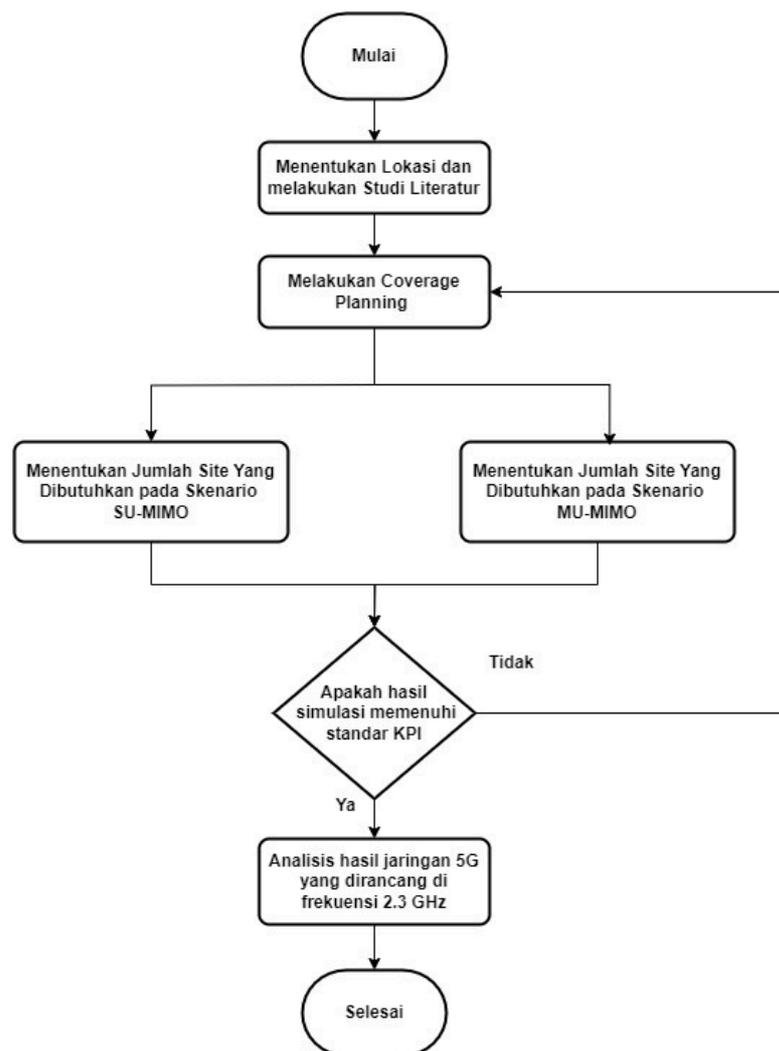
dalam komunikasi nirkabel karena memastikan transmisi sinyal yang andal dan efisien antara UE dan gNB [11]. Penelitian ini menggunakan skema O2O LOS yang digunakan sebagai metode perencanaan 5G NR pada kondisi *downlink* [12]. SU-MIMO adalah teknologi utama dalam sistem komunikasi nirkabel, khususnya dalam konteks 5G dan di luar jaringan. SU-MIMO melibatkan transmisi beberapa aliran data secara bersamaan ke satu pengguna, sehingga meningkatkan kecepatan data dan meningkatkan ketahanan transmisi data, sedangkan *Multiple User Multiple Input Multiple Output* (MU-MIMO) adalah teknologi yang digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan dengan memungkinkan titik akses dengan beberapa antena untuk secara bersamaan mengirim atau menerima aliran data paralel ke atau dari beberapa pengguna [10].

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa perencanaan cakupan area jaringan 5G di Pelabuhan Tanjung Perak. Penelitian ini bertujuan untuk mendukung perkembangan infrastruktur telekomunikasi yang berkualitas di wilayah tersebut. Pelabuhan Tanjung Perak adalah salah satu Pelabuhan terbesar di Indonesia yang mempunyai nilai penting dan berpotensi sebagai Pelabuhan pengumpulan sumber daya alam dan pusat kegiatan pertukaran internasional (*ekspor atau import*) [13]. Selain itu, Pelabuhan Tanjung Perak merupakan pusat kegiatan ekonomi serta perdagangan di wilayah sehingga membutuhkan infrastruktur yang berkualitas untuk mendukung perkembangan bisnis serta kebutuhan Masyarakat. Penelitian ini menggunakan *software radio planning* Atoll 3.4.0. *Software* yang digunakan belum mempresentasikan kondisi *real* seperti bangunan-bangunan di pelabuhan, *software* hanya dapat mempresentasikan ketinggian permukaan tanah, model propagasi yang digunakan dan *engineering parameter* yang sesuai dengan kondisi real perangkat-perangkat 5G yang berlaku di industri telekomunikasi. Pada penelitian ini menggunakan frekuensi 2,3 GHz yang merupakan frekuensi yang dapat diterapkan di Indonesia. Hal ini dilakukan karena semakin tinggi frekuensinya akan mengakibatkan rentannya kehilangan frekuensi pada saat melewati sebuah hambatan. Skema ini juga didesain untuk menyesuaikan lokasi Pelabuhan Tanjung Perak yang memiliki banyak bangunan dan gedung tinggi.

## 2. METODE

Dalam penelitian ini simulasi dilakukan menggunakan *software* Atoll 3.4.0 yang digunakan untuk membangun cakupan desain dan memeriksa parameter-parameter yang digunakan SS-SINR dan SS-RSRP. Penelitian ini tidak melakukan pengukuran kecepatan jaringan 5G. Karena pengukuran kecepatan 5G ini menggunakan perangkat *drive test*, biaya yang sangat mahal, waktu yang lumayan lama, sehingga dengan keterbatasan biaya, perangkat dan waktu maka penelitian hanya dapat melakukan perencanaan. Sebelum melakukan simulasi, ada beberapa informasi penting yang harus dikumpulkan seperti luas wilayah penelitian dan *link budget*. Target dari simulasi ini adalah untuk meningkatkan kecepatan serta kapasitas data, latensi lebih rendah [14].

### 2.1 Diagram Alir dan Wilayah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

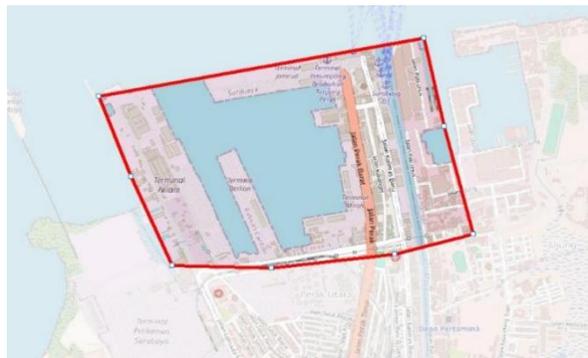
Pada gambar 1 merupakan diagram aliran penelitian. Diagram tersebut akan dijelaskan secara detail sebagai berikut :

Pada tahap pertama adalah menentukan lokasi penelitian dan mempelajari jurnal, makalah, dan penelitian terdahulu yang terkait dengan *coverage planning* 5G *New Radio* (NR). Penelitian ini hanya melakukan perencanaan dalam hal cakupan saja, tidak melakukan dari sisi trafik, karena data-data perusahaan dan karyawan di Pelabuhan Tanjung Perak tidak dapat diperoleh, karena data-data tersebut adalah data *confidential* atau rahasia.

Pada tahap kedua yaitu melakukan *coverage planning* yang mencakup area seluas Pelabuhan Tanjung Perak.

Pada tahap ketiga adalah menghitung area yang tercakup oleh jumlah *site* dan menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan menggunakan dua skenario yaitu MU-MIMO dan SU-MIMO.

Pada tahap terakhir yaitu melakukan analisis dan simulasi menggunakan *software* Atoll versi 3.4.0 Pada bagian ini diperlukan peta digital Pelabuhan Tanjung Perak dan data-data parameter 5G untuk perencanaan jaringan 5G NR pada frekuensi 2,3 GHz.



Gambar 2. Wilayah penelitian Pelabuhan Tanjung Perak

Pada Gambar 2. merupakan wilayah yang digunakan dalam penelitian yang mencakup seluruh wilayah di Pelabuhan Tanjung Perak. Pelabuhan Tanjung Perak Terletak di Desa Perak Timur, Kecamatan Pabean Cantikan, Kabupaten Surabaya dengan titik koordinat  $112^{\circ}44'100''$ - $112^{\circ}32'40''$  BT,  $7^{\circ}11'50''$ - $7^{\circ}13'20''$  LS [15]. Luas wilayah yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $3,068 \text{ km}^2$ . Total wilayah  $3,068 \text{ km}^2$  mempunyai distribusi sebagai berikut, yaitu daratan adalah 60% sedangkan lautan adalah 40%. Posisi lautan berada diantara daratan, sehingga memungkinkan cakupan yang berada di daerah tersebut dapat digunakan oleh pengguna yang berada di area tersebut

## 2.2. Perhitungan Coverage Planning

### 1. Link Budget

*Link budget* diperlukan untuk menghitung daya sinyal yang hilang antara *gateway* dan *end device* yang bertujuan untuk mendapatkan cakupan area maksimum per *site* [16]. Parameter *link budget* digunakan untuk nilai dari *pathloss* serta jumlah gNodeB. Perhitungan *link budget* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Link Budget*

Parameter	Formula	Value
gNodeB transmit power (BS Tx power)	a	49
Resource block	b	273
Subcarrier quantity	$c = 12 \times b$	3276
gNodeB antenna gain (dB)	d	18
gNodeB cable loss (dBi)	e	0
Penetration loss (dB)	f	18,5
Foliage loss (dB)	g	19,95
Body block loss (dB)	h	3
interference margin (dB)	i	6
Rain/ice margin (dB)	j	0
Slow fading margin (dB)	k	7
UE antenna gain (dB)	l	0

<i>Thermal noise power</i> (dBm)	$m = 10 \log (1,38 \times 10^{-20} \times 293 \times p)$	153,9325329
<i>UE noise figure</i> (dB)	n	9
<i>Demodulation threshold SINR</i> (dB)	o	22,9
<i>Bandwith</i> (MHz)	p	100

Untuk menghitung nilai cakupan 5G dapat dilakukan dengan menghitung *pathloss* dengan persamaan 1 sebagai berikut [17][18][19].

$$Pathloss = a - 10 \log c + d - e - f - g - h - i - j - k + l - m - n - o \quad (1)$$

$$h'_{BS} = h_{BS} - hE \quad (2)$$

$$h'_{UT} = h_{UT} - hE \quad (3)$$

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

Dimana,

$d'_{BP}$  = Jarak *break point* (m)

fc = Frekuensi (GHz)

$h_{BS}$  = Ketinggian *base station* (m)

$h_{UT}$  = Ketinggian *user terminal* (m)

c = Kecepatan cahaya  $3 \times 10^8$  m/s

Nilai resultan antara  $h_{as}$  dan  $H_{ut}$  ( $d_{3D}$ ), model propagasi untuk Uma LOS dapat dihitung menggunakan persamaan 2 sebagai berikut [17][18][19].

$$PLUMa = 28 + 40 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log(fc) - 9 \log_{10}(d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2 \quad (5)$$

Nilai radius sel ( $d_{2D}$ ) jaringan 5G dihitung melalui persamaan sebagai berikut [17][18][19].

$$d_{2D} \sqrt{(d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (6)$$

Area cakupan situs dihitung menggunakan persamaan :

$$Site\ Coverage\ Area = 2.6 \times (d_{2d})^2 \quad (7)$$

Berdasarkan perhitungan cakupan 5G tersebut dan menggunakan model propagasi 3GPP TR 38.901 Uma, nilai *Breakpoint Distance* ( $d'_{BP}$ ) yang didapatkan adalah 368 m dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Cakupan

Parameter	Skenario 1	Skenario 1
	O2O LOS MU-MIMO	O2O LOS SU-MIMO
<i>Thermal Noise</i>	-153,9325329	-153,9325329
<i>Subcarrier Quantity</i>	3276	3276
$h'_{BS}$	24	24
$h'_{UT}$	0,5	0,5
$d'_{BP}$	368	368
d 3D	433,4037059	433,4037059
d 2D	432,7661288	432,7661288
<i>Number of gNode B</i>	6,300506762	6,300506762

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Model *Propagation Urban Macro* (UMa)

Untuk mendapatkan jumlah *site* pada Pelabuhan Tanjung Perak menggunakan model propagasi. Model propagasi yang digunakan dipenelitian ini sesuai dengan 3GPP TR 38.900 yang disebut *Urban Macro* (UMa). Skenario yang digunakan dalam penelitian ini adalah *outdoorto-outdoor* (O2O) untuk *downlink* MU-MIMO dan SU-MIMO, dalam kondisi saling berhadapan (LOS). Dari dua skenario tersebut, jumlah gNodeB untuk skenario *downlink* O2O MU-MIMO dan SU-MIMO sebanyak 7 *site*, ditunjukkan pada tabel 2.

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

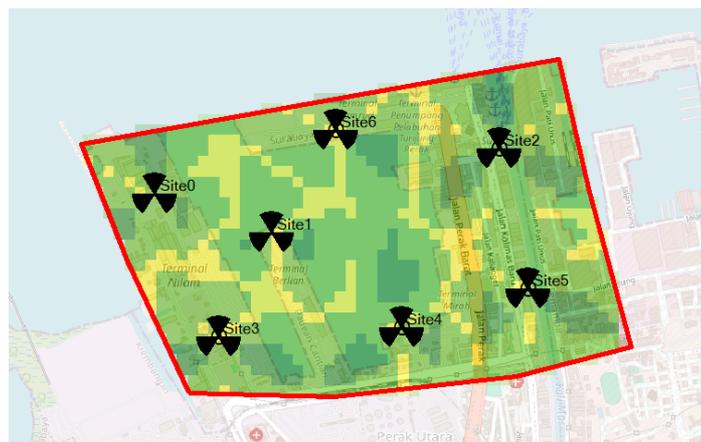
SS-SINR merupakan rasio kekuatan sinyal antara sinyal utama yang ditransmisikan dan interferensi terhadap peningkatan kebisingan latar belakang [20]. Parameter yang difungsikan untuk menghitung rasio level kualitas dan kekuatan sinyal antara sinyal utama yang ditransmisikan dengan interferensi yang akan dibandingkan dengan nilai dari rerata *power* yang diterima dengan nilai interferensi dan *noise*. Level nilai SS-SINR dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Level Parameter SINR [21].

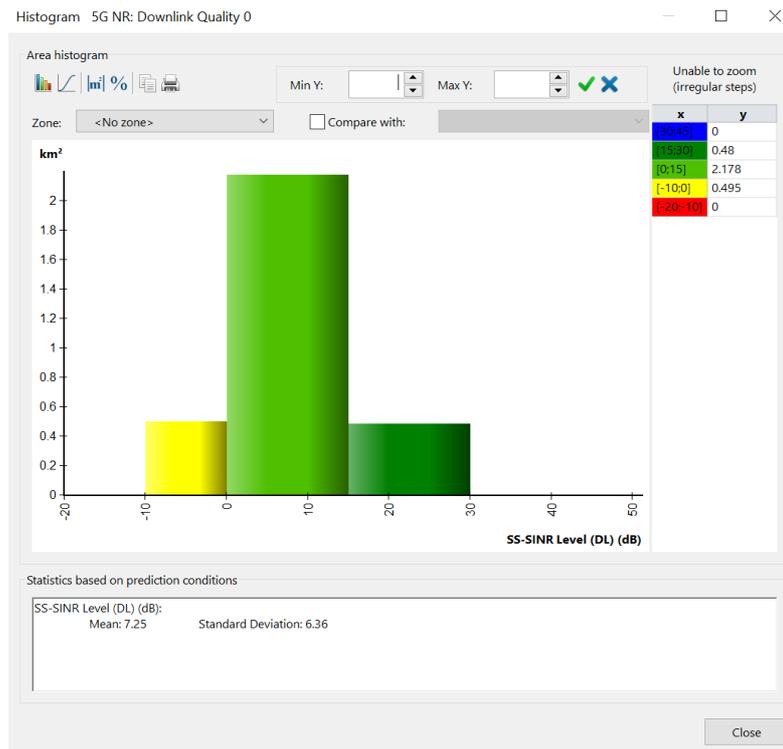
SINR (dBm)	Simbol Warna	Keterangan
30 s/d 45		Sangat Baik
15 s/d 30		Baik
0 s/d 15		Cukup
-10 s/d 0		Buruk
-20 s/d -10		Sangat Buruk

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

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



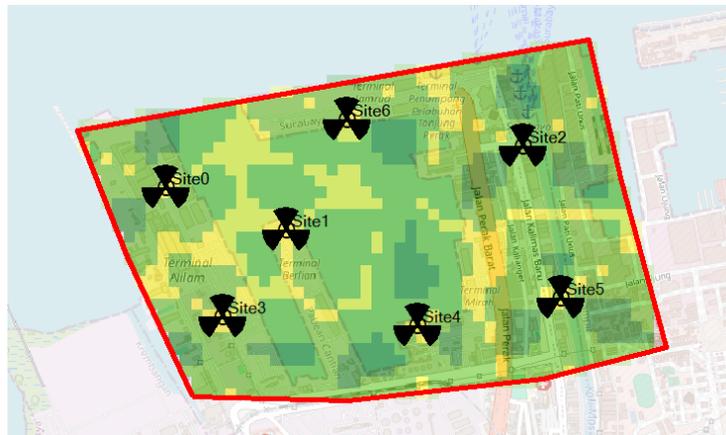
Gambar 3. Hasil simulasi SS-SINR MU-MIMO



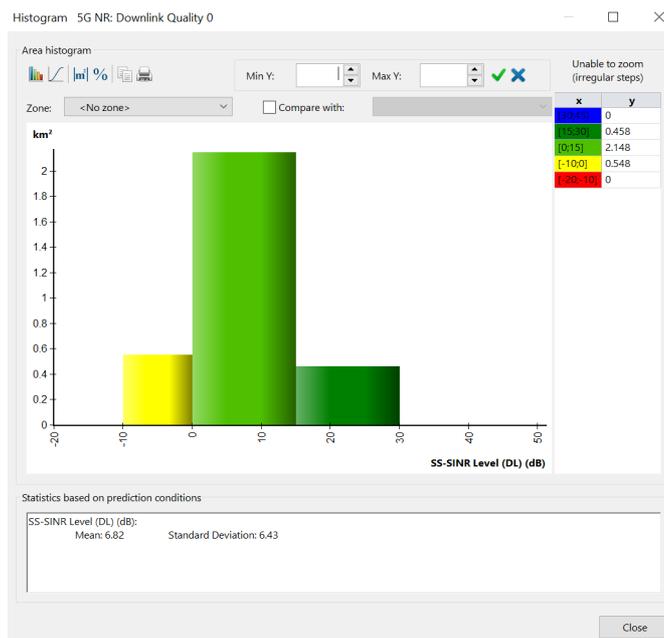
Gambar 4. Histogram SS-SINR MU-MIMO

### 3.4. Simulasi SS-SINR SU-MIMO

Hasil simulasi perhitungan nilai SS-SINR yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil simulasi SS-SINR SU-MIMO



Gambar 6. Histogram SS-SINR SU-MIMO

Berdasarkan histogram pada Gambar 4. Dapat dilihat nilai SS-SINR MU-MIMO mempunyai nilai tertinggi pada kirsan 0 sampai 15 dB dengan rata-rata sebesar 7,25 dB. Berdasarkan hasil tersebut nilai SS-SINR MU-MIMO dapat dikatakan memiliki kualitas cukup. Sedangkan pada Gambar 6. Menunjukkan nilai SS-SINR SU-MIMO mempunyai nilai tertinggi pada kisaran 0 sampai 15 dB dengan rata-rata sebesar 6.82 dB. Nilai SS-SINR SU-MIMO dapat dikatakan memiliki kualitas cukup. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas yang diterima cukup memadai untuk komunikasi yang stabil meskipun belum maksimal.

**3.5. Parameter cakupan SS-RSRP**

SS-RSRP merupakan parameter level kuat sinyal pada suatu sel jaringan yang berfungsi untuk mengukur daya linear rerata terhadap *resource element* yang membawa sebuah informasi sinyal pada lebar pita *bandwidth* frekuensi yang digunakan. Pada SS-RSRP semakin dekat antara jarak pengguna dengan *site* maka akan mengakibatkan tinggi nilai SS-RSRP yang diterima pengguna semakin tinggi. Level nilai SS-RSRP dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Level Parameter SS-RSRP

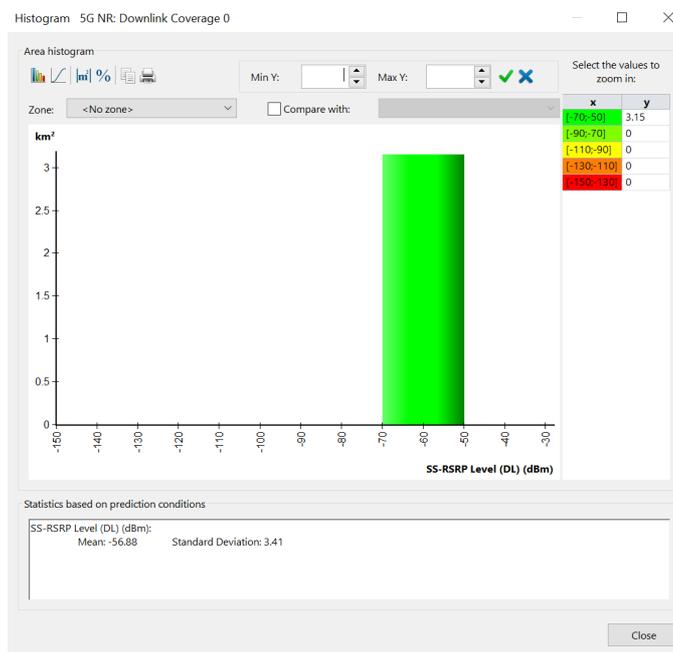
SS-RSRP (dBm)	Legend	Keterangan
-70 s/d -50		Sangat Baik
-90 s/d -70		Baik
-110 s/d -90		Cukup
-130 s/d -110		Buruk
-150 s/d -130		Sangat Buruk

**3.6. Simulasi SS-RSRP MU-MIMO**

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



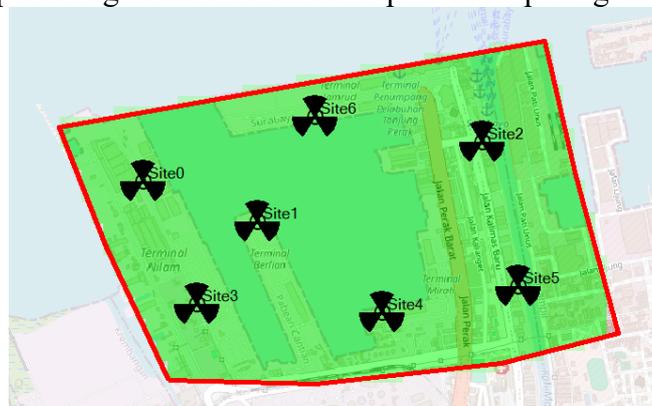
Gambar 7. Hasil simulasi SS-RSRP MU-MIMO



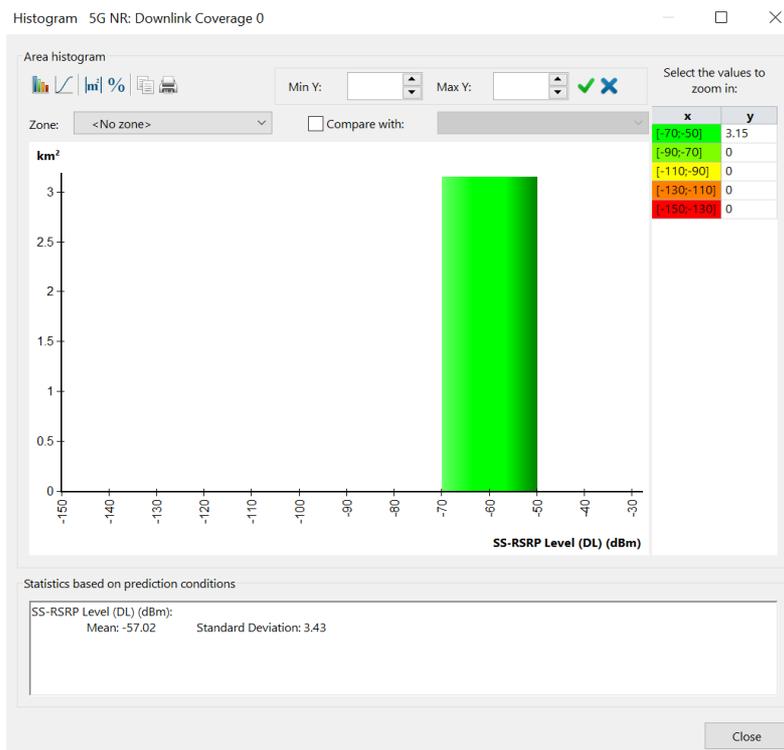
Gambar 8. Histogram SS-RSRP MU-MIMO

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

Hasil simulasi perhitungan nilai SS-RSRP dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil simulasi SS-RSRP MU-MIMO



Gambar 10. Histogram SS-RSRP SU-MIMO

Berdasarkan histogram pada Gambar 8. nilai SS-RSRP MU-MIMO tergolong kedalam kategori sangat baik dengan rata-rata nilai sebesar -56,88 dB. Sedangkan pada Gambar 10. menunjukkan bahwa hasil SS-RSRP SU-MIMO memiliki rata-rata nilai sebesar -57,02 Db. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan SS-RSRP SU-MIMO 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.

### 3.7. 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 5.

Tabel 5. Perbandingan hasil Simulasi SS-RSRP dan SS-SINR

Skenario	SS-SINR	SS-RSRP
MU-MIMO	7,25 dB	-56,88 dB
SU-MIMO	6,82 dB	-57,02 dB

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijabarkan, nilai SS-SINR untuk MU-MIMO dengan rata-rata 7,25 dB sedikit lebih unggul dibandingkan SU-MIMO dengan rata-rata 6,82 dB, keduanya masuk dalam kategori "Cukup". Untuk parameter SS-RSRP, baik MU-MIMO maupun SU-MIMO sama-sama menunjukkan kualitas sinyal yang sangat baik dengan nilai rata-rata masing-masing -56,88 dB dan -57,02 dB, yang meminimalkan risiko gangguan dan hilangnya sinyal. 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.

## REFERENSI

- [1] V. P. Putri, S. F. Rahmawati, A. Zia, and Z. Fakultas, "Kajian Terhadap Penggunaan Internet Terkait Etika Bersosial Media Dengan Melihat Hukum Di Indonesia Dalam Melindungi Masyarakatnya," *Das Sollen: Jurnal Kajian Kontemporer Hukum dan Masyarakat*, vol. 2, no. 1, pp. 1–25, 2023, doi: 10.11111/dassollen.xxxxxxx.
- [2] APJII, "Survei Penetrasi Internet Indonesia 2024," pp. 1–73, 2024.
- [3] M. H. Assidiqi, *Analisa Coverage Planning 5G New Radio ( NR ) 2 , 3 GHz di Kota Semarang dengan skema outdoor- to-outdoor non line of sight ( nlos. 2022.*
- [4] Wulandari, A., Hasan, M., & Hikmaturokhman, A. (2022, November). Private 5G network capacity and coverage deployment for vertical industries: case study in Indonesia. In *2022 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)* (pp. 317-322). IEEE.
- [5] A. Hikmaturokhman and K. Ariansyah, "A proposal for the regulation of the spectrum usage fee in 5G private network using fuzzy AHP," *JURNAL INFOTEL*, vol. 15, no. 3, pp. 257–264, Aug. 2023, doi: 10.20895/infotel.v15i3.959.
- [6] U. Trick, *5G : An Introduction to the 5th Generation Mobile Networks*, vol. 6, no. 1. 2020.
- [7] Rianti, D., Hikmaturokhman, A., & Rachmawaty, D. (2020, December). Techno-economic 5G new radio planning using 26 GHz frequency at pulogadung industrial area. In *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)* (pp. 272-277). IEEE.
- [8] G. Barb and M. Ottesteanu, "4G/5G: A Comparative Study and Overview on What to Expect from 5G," *2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2020*, pp. 37–40, 2020, doi: 10.1109/TSP49548.2020.9163402.
- [9] V. Farré, J. D. 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 †," *Engineering Proceedings*, vol. 47, no. 1, 2023, doi: 10.3390/engproc2023047024.
- [10] Y. Ghasempour, Y. Amarsinghe, C. Y. Yeh, E. Knightly, and D. M. Mittleman, "Line-of-sight and non-line-of-sight links for dispersive terahertz wireless networks," *APL Photonics*, vol. 6, no. 4, 2021, doi: 10.1063/5.0039262.
- [11] R. Poorzare and A. C. Auge, "FB-TCP: A 5G mmWave Friendly TCP for Urban Deployments," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 82812–82832, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3087239.
- [12] M. Tiffani, "Kajian Perencanaan Jaringan 5G Di Kota Semarang Frekuensi 2,3 Ghz Untuk Meningkatkan Kualitas Layanan Telekomunikasi Seluler Di Era Digitalisasi Study," 2022.
- [13] S. O. Fitriani and P. S. A. Sitogana, "Pemetaan dan Analisa tingkat Kebisingan di Kawasan Pelabuhan Tnajung Perak Menggunakan Software Surfer," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 159–159, 2023.
- [14] T. Oktavianto, T. Prakoso, and M. A. Riyadi, "Analisis Jaringan 5G 2300 Mhz Dengan Menggunakan Menara 4G Lte Yang Tersedia Di Kota Semarang," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.1-9.
- [15] Gea Amara Sasi, Rudi Siap Bintoro, and Supriyatno Widagdo, "Pola Sebaran Sedimen Di Kolam Dermaga Jamrud Nilam Berlim Dan Mirah Di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya," *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, vol. 2, no. 1, p. 38, 2020, doi: 10.30649/jrkt.v2i1.38.

- [16] P. Rahmawati, A. Hikmaturokhman, K. Ni'amah, and M. I. Nashiruddin, "LoRaWAN Network Planning at Frequency 920-923 MHz for Electric Smart Meter: Study Case in Indonesia Industrial Estate," *Journal of Communications*, vol. 17, no. 3, pp. 222–229, 2022, doi: 10.12720/jcm.17.3.222-229.
- [17] F. K. Karo, A. Hikmaturokhman, and M. A. Amanaf, "5G New Radio (NR) Network Planning at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta," *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020*, no. January, pp. 278–283, 2020, doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315504.
- [18] T. Specification, G. Radio, and A. Network, "3gpp ts 38.214," vol. 0, no. Release 15, 2018.
- [19] TSGR, "TS 138 306 - V16.1.0 - 5G; NR; User Equipment (UE) radio access capabilities (3GPP TS 38.306 version 16.1.0 Release 16)," vol. 0, 2020.
- [20] D. Sitompul, *Perencanaan Jaringan 5G NR Pada Frekuensi 700 Mhz Dan 2600 Mhz Pada Dampak Traffic Maps Twitter : Studi Kasus Di Jakarta Pusat*. 2023.
- [21] 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," *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 403–413, 2023, doi: 10.31289/jite.v6i2.8270.