

ANALISIS JARINGAN 5G 2300 MHZ DENGAN MENGGUNAKAN MENARA 4G LTE YANG TERSEDIA DI KOTA SEMARANG

Tedi Oktavianto^{*}), Teguh Prakoso dan Munawar Agus Riyadi

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Semarang, Indonesia

^{*}E-mail: tedi.oktavianto@students.undip.ac.id

Abstrak

Implementasi jaringan 5G *New Radio* (NR) di Indonesia belum menyeluruh dan baru direalisasikan di beberapa kota besar, salah satu frekuensi yang digunakan adalah 2300 MHz dengan *bandwidth* 50 MHz. Teknologi seluler 5G memberikan tingkat layanan yang lebih baik daripada 4G, yaitu dari rerata kelajuan data sampai dengan 100 Mbps, latensi rendah sampai dengan 1 ms terhadap pengguna layanan. Pada penelitian ini dilakukan analisa dan perencanaan cakupan dan kapasitas jaringan 5G NR di Kota Semarang menggunakan perangkat lunak *radio planning* Atoll. Penggelaran gNodeB 5G NR dilakukan dengan memanfaatkan eNode 4G LTE yang telah tersedia, model propagasi yang digunakan adalah 3GPP TR 38.901 dengan metode *Urban Macro* (UMa) *Line of Sight* (LOS). Hasil simulasi didapatkan nilai rerata *throughput* sebesar 112 Mbps *downlink* dan 102 Mbps *uplink*. Simulasi cakupan area didapatkan nilai SINR (*Signal to Noise Interference Ratio*) yang telah memenuhi target KPI (*Key Performance Indicator*) operator, sedangkan nilai RSRP (*Reference Signal Receive Power*) dan *throughput* masih dibawah target KPI. Hasil simulasi kapasitas didapatkan jumlah pengguna yang dapat mengakses jaringan sebesar 98%, dengan beban sel *uplink* dan *downlink* sebesar 99,91%. Dikarenakan nilai RSRP dan *throughput* masih dibawah target KPI, maka diperlukan optimasi *physical* antenna ataupun penambahan site.

Kata kunci: Teknologi 5G NR, Teknologi 4G LTE, Perencanaan Cakupan, Perencanaan Kapasitas

Abstract

The roll-out of the 5G New Radio (NR) network in Indonesia is not yet widespread and is currently operating only in a handful of large cities. One of the frequencies utilized is 2300 MHz with a 50 MHz bandwidth. Compared to 4G, 5G offers superior service, with users experiencing an average data rate of up to 100 Mbps and low latency of up to 1 ms. This study examines and prepares for the range and capacity of the 5G NR network in Semarang City, using Atoll radio planning software. The 5G NR gNodeB is placed by using the accessible 4G LTE eNode, and the propagation model utilised is 3GPP TR 38.901 with Urban Macro (UMa) Line of Sight (LOS) methodology. The simulation outcomes show an average throughput of 112 Mbps for the downlink and 102 Mbps for the uplink. The simulation for area coverage attained the SINR (Signal to Noise Interference Ratio) target set by the operator. However, the RSRP (Reference Signal Receive Power) is still below the KPI (key performance indicator) target. According to capacity simulation, up to 98% of users can access the network with a cell load of 99.91% for uplink and downlink. As the RSRP value is still below the KPI target, it is necessary to optimize the physical antenna or add new sites.

Keywords: 5G NR Technology, 4G LTE Technology, Coverage Planning, Capacity Planning

1. Pendahuluan

Kebutuhan layanan data di Indonesia terus mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. Implementasi Jaringan 5G di Indonesia saat ini belum menyeluruh dan baru diterapkan di beberapa kota besar sedangkan frekuensi untuk penyelenggaraan 5G telah disediakan, salah satu frekuensi yang disediakan yaitu 2300 MHz. Kondisi ini menuntut operator seluler untuk menyediakan layanan yang cepat, handal dan merata diseluruh cakupan area layanan. Kondisi jaringan seluler saat ini, jaringan 4G adalah yang dominan di Indonesia dan

beroperasi pada frekuensi 1800 MHz [1] [2]. Teknologi 5G memberikan peningkatan kinerja operasional yang signifikan dibandingkan 4G antara lain, seperti terlihat pada Tabel 1 [3].

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan untuk analisa perencanaan cakupan area dan juga analisa kapasitas jaringan 5G pada frekuensi 2300 MHz di Kota Semarang menggunakan *software* radio planning Atoll Ver. 3.4.0 [13] [14] [15]. Dalam penggelaran gNodeB jaringan 5G ditempuh dengan menggunakan eNodeB jaringan 4G yang telah tersedia dan kemudian hasil simulasi dibandingkan

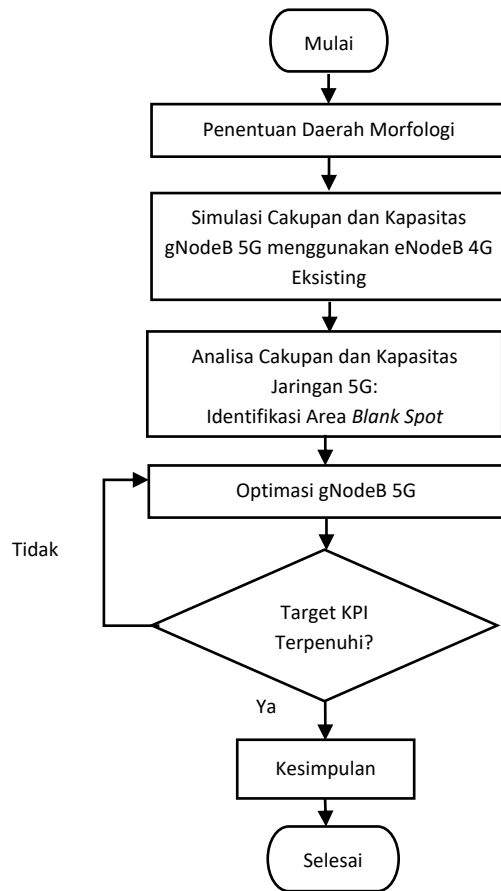
dengan metode *greenfield*. Sesuai dengan kondisi kepadatan penduduk dan kondisi geografis di Kota Semarang maka dipilih arsitektur jaringan 5G menggunakan *standalone* dan model propagasi 3GPP TR 38.901 UMa pada skema *Outdoor to Outdoor Line of Sight* (LOS) berdasarkan *release* terbaru dari 3GPP TR 38.901 version 16.11.0 Release 16 [8]. Target dari simulasi ini adalah *throughput* pengguna >100 Mbps untuk *downlink* dan >50 Mbps untuk *uplink*, Nilai RSRP dan SINR *downlink* dan *uplink* yang sesuai dengan target KPI yang ditetapkan operator, serta nilai kapasitas untuk trafik pengguna yang terhubung ke jaringan >80% dan beban sel >80% [4]. Perencanaan yang disimulasikan harus memenuhi target nilai KPI yang ditetapkan operator dan apabila tidak memenuhi maka ditempuh dengan optimasi ataupun penambahan site [11] [12]. Sehingga didapatkan perencanaan infrastruktur jaringan 5G yang efektif dan efisien.

Tabel 1. Rekomendasi pengembangan 5G NR ITU-R [3]

Parameter	IMT Advanced (4G)	IMT-2020 (5G)
Kelajuan Data Puncak (Gbps)	1	20
Kelajuan Data Pengguna (Mbps)	10	100
Efisiensi Spektral (bps/Hz)	10	30
Mobilitas (km/h)	350	500
Latency (ms)	10	1
Kapasitas Trafik/Luasan (Mbps/m ²)	0,1	10
Kerapatan Koneksi (dev/km ²)	10 ⁵	10 ⁶

2. Metode

Penelitian ini merupakan studi pengembangan untuk mengulas mengenai analisa dan perencanaan infrastruktur penempatan gNodeB 5G pada eNodeB 4G yang tersedia pada suatu penyedia layanan telekomunikasi seluler dengan penentuan daerah layanan, penempatan *transmitter*, penentuan model propagasi, dan pemetaan cakupan area layanan sehingga menjadi lebih baik dari jaringan 4G yang ada sebelumnya. Target dari simulasi ini adalah laju kecepatan data dan kapasitas data yang lebih tinggi, latensi lebih rendah dengan cakupan area sinyal mendekati cakupan jaringan yang ada dan memenuhi target KPI yang ditetapkan operator. Alur perancangan untuk jaringan 5G pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Perancangan

2.1. Dimensioning

Perhitungan cakupan 5G menggunakan model propagasi 3GPP TR 38.901 Ver. 16, sesuai dengan rekomendasi perhitungan yang telah diperbaharui. Frekuensi tengah *downlink* dan *uplink* yang digunakan adalah pada 2300 MHz, *band* n40, *bandwidth* 50 MHz, ARFCN 460000. Parameter *link budget* digunakan untuk mendapatkan nilai *pathloss* dan jumlah gNodeB. Detail parameter *link budget* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Link Budget [6] [7] [8]

Link Budget	Formula	Hasil
Operating Frequency (MHz)	a	2300
Bandwidth (MHz)	b	50
Allocated Resource block	c	270
Allocated Subcarrier quantity	d = 12 x c	3240
Tx RF Power (dBm)	e	46
Tx Antenna Gain(dBi)	f	8
Feeder Loss per m (dB/m)	g	0,06
Feeder Length (m)	h	35
Feeder Loss/Line Loss (dB)	i = g x h	2,1
Foliage loss (dB)	j	19,59
Body block loss (dB)	k	5
Interference margin (dB)	l	15
Rain/Ice margin (dB)	m	0
Slow fading margin (dB)	n	7
Rx antenna gain (dB)	o	0
Rx RF cable loss (dB)	p	0
Kontanta boltzman (K) (mWs/K)	q	1,38x10 ⁻²³
Temperature (Kelvin)	r	293 ^o
kT (dbm/Hz)	s = 10 log (q x r)	-203,93
Thermal Noise per Subcarrier (dBm)	t = s + 10 log (b) + 30	-156,94
Noise figure (dB)	u	9
Demodulation threshold SINR (dB)	v	-1,1
Receiver sensitivity (dBm)	w = t + u + v	-149,04
Penetration loss (dB)	x	23,42
Pathloss (dB)	z = e - 10log10(d) + f - i - x - j - k - l - m - n + o - t - u - v	95,83

Selanjutnya untuk menghitung nilai cakupan dari 5G dapat ditempuh dengan langkah pertama yaitu menghitung *penetration loss* dengan persamaan 1 sebagai berikut: [6] [16] [17]

$$Penetration\ loss = -10\log_{10}\left(0,7 \times 10^{\frac{-L_{IRglass}}{10}} + 0,3 \times 10^{\frac{-L_{concrete}}{10}}\right) \quad (1)$$

dimana,

$$L_{IRglass} = 23 + 0.3f$$

$$L_{concrete} = 5 + 4f$$

Nilai resultan antara h_{BS} dan h_{UT} (d_{3D}) untuk model propagasi UMa LOS dihitung dengan persamaan 2 sebagai berikut: [8]

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

Nilai radius sel (d_{2D}) jaringan 5G dihitung melalui persamaan 3 sebagai berikut: [6] [16] [17]

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

dimana,

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

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

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

$$f_c = \text{Frekuensi (GHz)}$$

$$d_{3D} = \text{Nilai resultan antara } h_{BS} \text{ dan } h_{UT} \text{ (m)}$$

Berdasarkan perhitungan cakupan 5G menggunakan propagasi 3GPP TR 38.901 UMa didapatkan nilai *breakpoint distance* (d'_{BP}) sebesar 368 m, dengan nilai cakupan area sebesar 1,11 km², dan radius sel sebesar 467,07 m pada area seluas 373,8 km². Sehingga didapatkan nilai akhir untuk jumlah gNodeB sesuai perhitungan sebesar 338 *site*, yang terlihat sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Cakupan [6] [17] [18]

Parameter	Formula	Hasil
Frequency/f (Hz)	aa	2,3 x 10 ⁹
Propagation velocity in free space/ c (m/s)	ab	3 x 10 ⁸
Center frequency/fc (GHz)	ac	2,3
Antenna height user terminal/h _{UT} (m)	ad	1,5
Antenna height base station/h _{BS} (m)	ae	25
The effective environmental height/h _E (m)	af	1
The effective antenna height user terminal/h' _{UT} (m)	ag	0,5
The effective antenna heights base station/h _{BS} (m)	ah = ae - af	24
Breakpoint Distance/d' _{BP} (m)	ai = (4 ah x ag x aa) / ab	368,00
nilai resultan h _{BS} dan h _{UT} / d _{3D} (m)	aj	467,66
Radius Cell / d _{2D} (m)	ak	467,07
Coverage Area / CA (m ²)	al = 1,9 x 2,6 x (ak) ²	1.106.038,11
Luas Area Urban (m ²)	am	373800000
Jumlah gNodeB Urban	ap = am / al	338

2.2. Perencanaan Kapasitas

Perencanaan kapasitas jaringan memiliki tujuan untuk mengetahui estimasi kecepatan data dengan mempertimbangkan kebutuhan trafik pengguna disuatu wilayah. Sesuai dengan data dari Balai Pusat Statistik Kota Semarang, pada tahun 2021 data jumlah penduduk usia produktif (15 – 65 tahun) di Kota Semarang sebanyak 1.292.807 jiwa sedangkan untuk tahun 2022 sebanyak 1.240.349 jiwa [9], dengan persentase pertumbuhan penduduk mencapai 4,06%. Estimasi jumlah penduduk lima tahun ke depan adalah 1.008.312 jiwa. Sedangkan untuk estimasi pengguna sebesar 40.914 jiwa dan estimasi kepadatan pengguna per km² sebesar 110 jiwa/km², seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan pengguna jaringan [10]

Parameter	Nilai
Pertumbuhan penduduk	4,06 %
Estimasi jumlah penduduk lima tahun ke depan	1.008.312 jiwa
Estimasi pengguna	40.914 jiwa
Estimasi kepadatan pengguna per km ²	110 jiwa/km ²

Sesuai dengan perhitungan kapasitas didapatkan hasil untuk kecepatan data 5G adalah sebesar *downlink* 1.872 Mbps dan *uplink* 931 Mbps dengan modulasi *downlink* 6 (64 QAM) dan *uplink* 4 (16 QAM), seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan kapasitas [6]

Parameter	Downlink	Uplink
J	1	1
$v_{layer}^{(j)}$	4	2
$Q_m^{(j)}$	6 (64 QAM)	4 (16 QAM)
$f^{(j)}$	1	1
R_{max}	948/1024	948/1024
M	1 (30 KHz SCS)	1 (30 KHz SCS)
$N_{PRB}^{BW(j)}$	273	273
$OH^{(j)}$	0,14	0,08
Kecepatan Data (Mbps)	1.872	931

3. Hasil dan Pembahasan

Studi simulasi ini menggunakan model propagasi 3GPP TR-38.901. Atoll menghitung *pathloss* pada peta digital setiap pikselnya pada simulasi parameter. Tabel 6. Menunjukkan nilai hasil perhitungan *pathloss* Atoll dibandingkan perhitungan manual.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Pathloss [4]

Jarak (m)	h_{bs} (m)	RS (dBm)	Pathloss Pengukuran Atoll (dB)	Pathloss Perhitungan manual (dB)	Selisih (dB)
489	25	96,6	94,96	-55,66	1,64
591	25	99,89	98,25	-58,95	1,64
735	25	103,68	102,04	-62,74	1,64
855	25	106,31	104,67	-65,37	1,64
2260	25	123,2	121,56	-82,26	1,64
2356	25	123,92	122,29	-82,99	1,63

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan nilai selisih untuk setiap pengukuran didapatkan hasil yang sama yaitu 1,64 dB. Hasil ini menunjukkan pengukuran *pathloss* Atoll memiliki validasi terhadap pengukuran *pathloss* manual.

Tabel 7. Nilai KPI Parameter Pengujian [11][12]

Tujuan	Parameter	Target KPI
Uji Cakupan	RSRP	80% \geq -100 dBm
Uji Kualitas	SINR	90% \geq 0 dB
Uji Kapasitas	5G Throughput Downlink	80% \geq 100.000 kbps
	5G Throughput Uplink	80% \geq 50.000 kbps

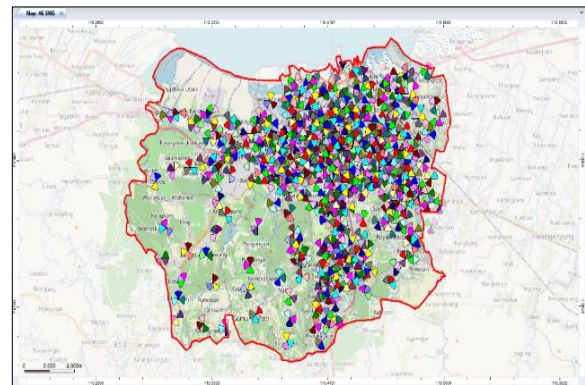
Target nilai KPI suatu parameter ditentukan berdasarkan ketentuan dari operator, dalam melakukan simulasi ini dapat menentukan hasil suatu parameter sesuai atau tidak berdasarkan dari nilai tersebut, adapun nilainya dapat dilihat pada Tabel 7.

3.1. Peta Morfologi

Berdasarkan Tabel 8, kepadatan penduduk pada suatu daerah maka Kota Semarang merupakan area yang termasuk ke dalam area *urban*, hal ini sesuai dengan data dari balai statistik Kota Semarang untuk tahun 2022 bahwa kepadatan penduduk Kota Semarang adalah sebesar 4.441,05 jiwa/km² [9]. Sesuai dengan Gambar 2, luas area Kota Semarang adalah 373,8 km², dengan 16 Kecamatan dan 117 Kelurahan, dimana terdapat 401 eNodeB 4G LTE eksisting. Area ini berkontur datar pada bagian utara dan pada bagian selatan berkontur perbukitan, merupakan pusat kota, pusat pemerintahan, kawasan industri dan pelabuhan.

Tabel 8. Klasifikasi area morfologi [5]

Tipe Morfologi	Kepadatan Penduduk (Pop/km ²)
Dense Urban	$d > 14.000$
Urban	$1.100 < d < 14.000$
Suburban	$100 < d < 1.100$
Rural	$d < 100$



Gambar 2. Map Transmitter ENode-B 4G LTE eksisting Semarang Kota

3.2. Analisa Cakupan

3.2.1. Parameter Kapasitas Throughput

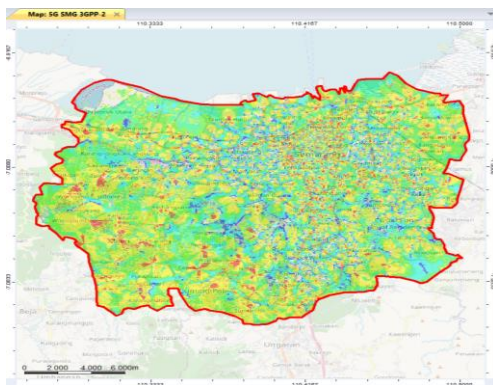
Teknologi 5G memiliki nilai persyaratan standard *throughput* lebih tinggi daripada jaringan 4G. Dimana sesuai dengan Rekomendasi ITU-R nilai Kelajuan Data Pengguna untuk 100 Mbps *downlink* dan *uplink* 50 Mbps. Dalam standarisasi KPI operator dengan mempertimbangkan kebutuhan pelanggan di lapangan, maka untuk KPI jaringan 5G dinyatakan baik apabila 80% \geq 100.000 kbps *downlink* dan 80% \geq 50.000 kbps *uplink*. Level nilai *throughput* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Level Parameter Throughput 5G

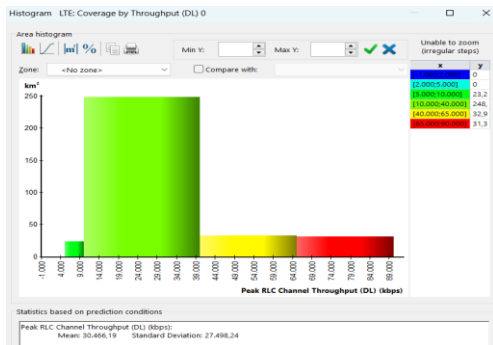
Throughput (Kbps)	Simbol Warna	Keterangan
$Throughput \geq 300.000$	Merah	Sangat Baik
$100.000 \leq Throughput < 300.000$	Kuning	Baik
$70.000 \leq Throughput < 100.000$	Hijau	Normal
$50.000 \leq Throughput < 70.000$	Biru	Cukup Buruk
$20.000 \leq Throughput < 50.000$	Merah	Buruk
$Throughput < 20.000$	Biru	Sangat Buruk

3.2.1.1. Simulasi Downlink Throughput

Hasil simulasi nilai *downlink throughput* atau RLC Channel Throughput yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



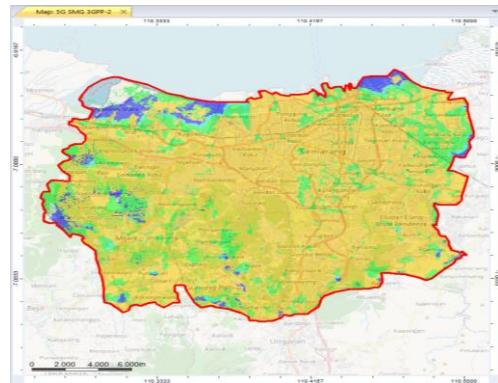
(b)

Gambar 3. Hasil simulasi *downlink throughput* 5G
(a) Peta (b) Histogram

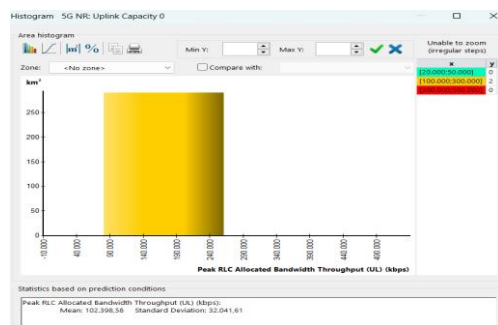
Berdasarkan hasil simulasi *downlink throughput* untuk 5G rerata sejumlah 112.317,34 kbps dan standard deviasi sebesar 76.393,13 kbps.

3.2.1.2. Simulasi Uplink Throughput

Hasil simulasi nilai *uplink throughput* atau RLC Channel Throughput yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4. Hasil simulasi *uplink throughput* 5G
(a) Peta (b) Histogram

Hasil simulasi menghasilkan nilai *uplink throughput* rerata sejumlah 102.398,58 kbps dan standard deviasi sebesar 32.041,61 kbps

3.2.2. Parameter Kualitas SINR

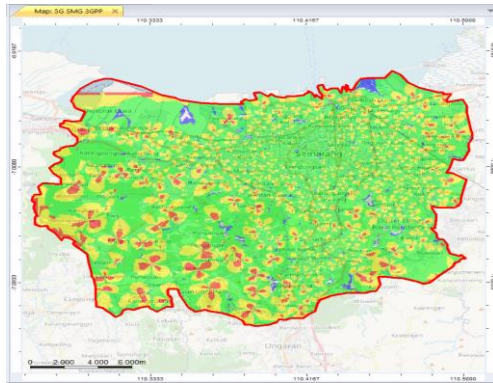
SINR adalah Parameter untuk menghitung rasio level kualitas dan kekuatan sinyal antara sinyal utama yang ditransmisikan dengan interferensi dibandingkan dengan nilai rerata *power* yang diterima dengan interferensi dan *noise*. Simulasi kualitas berdasarkan SINR terbagi menjadi 2 yaitu PDSCH C (I+N) untuk *downlink* dan PUSCH & PUCCH C (I+N) untuk *uplink*. Nilai KPI untuk SINR dinyatakan baik apabila $90\% \geq 0$ dB, level nilai SINR dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Level Parameter SINR berdasarkan nilai KPI Operator

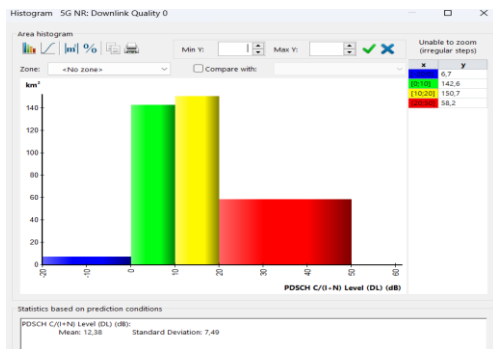
SINR (dB)	Simbol Warna	Keterangan
$20 \leq SINR < 50$	Merah	Sangat Baik
$10 \leq SINR < 20$	Kuning	Baik
$0 \leq SINR < 10$	Hijau	Normal
$-20 \leq SINR < 0$	Biru	Buruk

3.2.2.1. Simulasi Downlink PDSCH C (I+N)

Hasil simulasi perhitungan nilai *downlink* SINR atau PDSCH C/(I+N) yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)



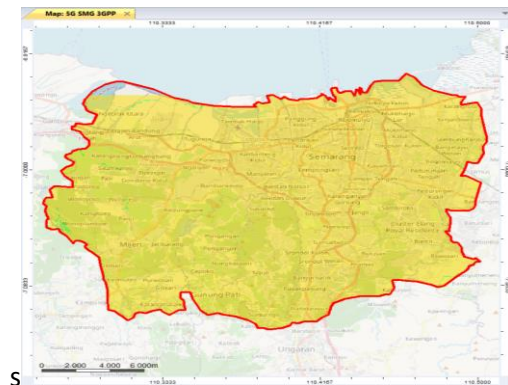
(b)

Gambar 5. Hasil simulasi PDSCH C (I+N) 5G
(a) Peta (b) Histogram

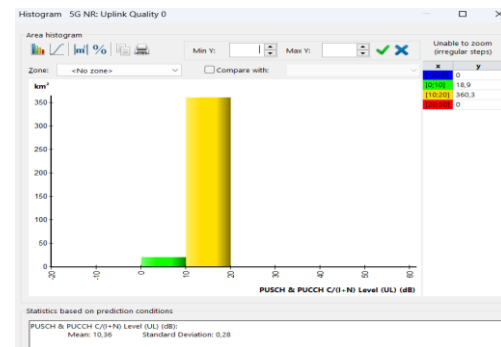
Hasil simulasi menghasilkan rerata nilai PDSCH C/(I+N) sejumlah 12,38 dB dan standard deviasi sebesar 7,49 dB.

3.2.2.2. Simulasi Uplink PUSCH & PUCCH C/(I+N)

Hasil simulasi perhitungan nilai *uplink* SINR atau PUSCH & PUCCH C/(I+N) yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 6.



(a)



(b)

Gambar 6. Hasil simulasi PUSCH & PUCCH C/(I+N) 5G
(a) Peta (b) Histogram

Hasil simulasi menghasilkan rerata nilai *uplink* SINR sejumlah 10,36 dB dan standard deviasi sebesar 0,28 dB.

3.2.3. Parameter Cakupan RSRP

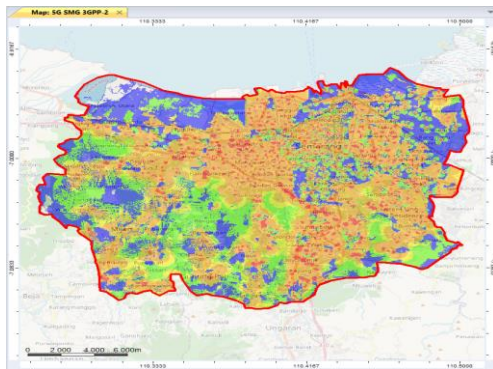
RSRP adalah parameter level kuat sinyal pada suatu sel jaringan yang digunakan untuk mengukur daya *linier* rerata pada *resource element* yang membawa informasi sinyal pada lebar *bandwidth* frekuensi yang digunakan. Semakin dekat jarak pengguna dengan *site* maka akan semakin tinggi nilai RSRP yang diterima pengguna. Nilai KPI untuk RSRP dinyatakan baik apabila $80\% \geq -100$ dBm, level nilai RSRP dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Level Parameter RSRP berdasarkan KPI

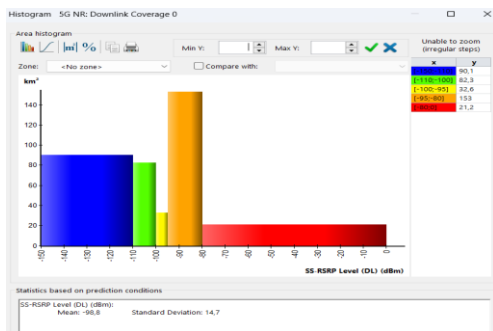
RSRP (dBm)	Simbol Warna	Keterangan
$-80 \leq \text{RSPP} < 0$	[Red]	Sangat Baik
$-95 \leq \text{RSPP} < -80$	[Orange]	Baik
$-100 \leq \text{RSPP} < -95$	[Yellow]	Normal
$-110 \leq \text{RSPP} < -100$	[Green]	Buruk
$-150 \leq \text{RSPP} < -110$	[Blue]	Sangat Buruk

3.2.3.1. Simulasi RSRP

Hasil simulasi perhitungan nilai *downlink* RSRP yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. Hasil simulasi RSRP (a) Peta (b) Histogram

Hasil simulasi menghasilkan rerata nilai *downlink* RSRP untuk 5G sejumlah -98,8 dBm dan standard deviasi sebesar 14,7 dBm.

Setelah dilakukan penggelaran gNodeB pada eNodeB 4G eksisting, terdapat kenaikan pada masing-masing parameter cakupan 5G yang ditunjukkan pada Tabel 12 dan 13 yaitu untuk *downlink throughput* dengan nilai 112 Mbps dan nilai KPI sebesar 43,18%. Parameter *throughput uplink* menghasilkan nilai sebesar 102 Mbps dan nilai KPI sebesar 76,73%, sehingga dapat disimpulkan kedua nilai *throughput* tersebut belum memenuhi target KPI. Nilai SINR *downlink* menghasilkan nilai sebesar 12,38 dB dengan nilai KPI sebesar 98,13%, sedangkan SINR *uplink*

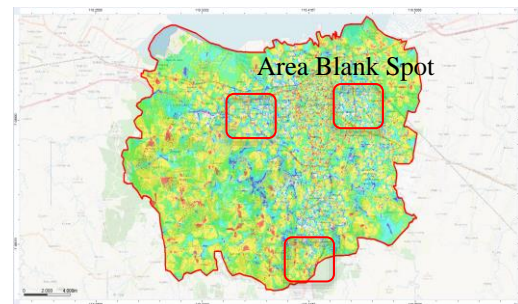
5G menghasilkan nilai sebesar 10,36 dB dengan nilai KPI sebesar 100% dimana nilai SINR *uplink* dan *downlink* sudah memenuhi target dari KPI yang ditetapkan. Nilai RSRP menghasilkan nilai sebesar -98,8 dB dengan persentase 54,53% sehingga nilai tersebut belum memenuhi target KPI. Dikarenakan target KPI untuk *throughput uplink* dan *downlink* serta RSRP yang belum memenuhi, maka diperlukan adanya optimasi untuk *physical* antenna dan apabila tidak memungkinkan perlu ditambah adanya *site* baru. Adapun untuk area Kota Semarang yang terdapat *blank spot* dan area cakupan minimal dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 12. Perbandingan nilai rerata parameter simulasi

	Throughput (Kbps)	SINR (dB)	RSRP (dBm)
Downlink	112.317,34	12,38	-98,8
Uplink	102.398,58	10,36	

Tabel 13. Perbandingan nilai KPI parameter simulasi

	Throughput (%)	SINR (%)	RSRP (%)
Downlink	43,18	98,13	54,53
Uplink	76,73	100	



Gambar 8. Area Blank Spot pada Kota Semarang

3.3. Analisa Kapasitas

3.3.1. Simulasi Trafik Pengguna

Tabel 14. Perbandingan Simulasi Trafik Pengguna

Total User Trying to Connect	41.024
Total User Connected	40.258 (98,1%)
Connected User	
Downlink	0
Uplink	0
Downlink + Uplink	40.258
Inactive	0
Total User Not Connected	766 (1,9%)
Not Connected	
No Coverage	351
No Service	415
Max Throughput (Mbps)	
Downlink	264.915,65
Uplink	372.654,56

Simulasi trafik pengguna ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan untuk mengetahui nilai maksimal koneksi ke jaringan 5G, sehingga didapatkan simulasi yang ke 3 sebagai *sample* karena memiliki angka yang tertinggi dari kedua simulasi yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 9. Berdasarkan Tabel 14, hasil simulasi menunjukkan untuk

jaringan 5G jumlah pengguna yang melakukan percobaan koneksi sebanyak 41.024 dengan rincian yang terhubung sebanyak 40.258 (98,1%) dan tidak terhubung 766 (1,9%). Adapun pengguna yang terhubung dengan rincian yaitu *downlink* 0, *uplink* 0 dan *uplink + downlink* 40.258 dimana 0 tidak aktif sedangkan jumlah puncak *throughput downlink* di 264.915,65 Mbps dan *uplink* 372.654,56 Mbps. Hasil dari pengguna trafik yang terhubung dan nilai *throughput* yang tinggi, hal ini berpengaruh terhadap nilai layanan kepada pelanggan menjadi lebih baik daripada yang jaringan 4G sebelumnya.



Gambar 9. Hasil simulasi Trafik Pengguna

3.3.2. Kapasitas Beban Sel

Kapasitas beban sel tergantung pada *resource* yang tersedia. Tabel 15 merupakan rerata beban sel dari hasil simulasi dengan jumlah pelanggan untuk 5G yang telah ditentukan.

Tabel 15. Rerata beban per Sel

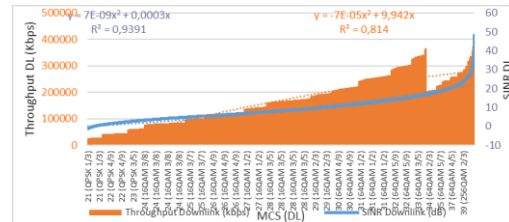
Traffic Load (%)		Throughput (kbps)		Connected Users
DL	UL	DL	UL	
99,91	99,91	220.382	311.069	40.258

Berdasarkan Tabel 15 dari hasil simulasi trafik pengguna menunjukkan jumlah pengguna yang terhubung sebesar 40.258. Beban sel tertinggi yaitu *downlink* sebesar 99,91% dan *uplink* sebesar 99,91%. *Throughput* suatu sel dihasilkan berdasarkan jumlah *throughput* pelanggan yang terhubung pada suatu sel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai rerata *throughput* maka semakin besar *bandwidth*nya yang harus disediakan.

3.3.3. Analisa MCS (Modulation Code Scheme)

MCS didefinisikan sebagai sejumlah bit yang dibawa oleh satu *Resource Element* (RE). MCS tergantung pada kualitas sinyal radio dalam sambungan nirkabel, semakin baik kualitas sinyal radio semakin tinggi nilai MCS. Nilai MCS dan SINR saling berhubungan untuk menghasilkan *throughput* jaringan, pada Gambar 10 ditampilkan grafik regresi *polynomial* antara ketiga parameter tersebut.

Pada Gambar 10 untuk jaringan 5G nilai R^2 *downlink* SINR didapatkan nilai sebesar 0,93 dan nilai R^2 MCS adalah 0,81. Nilai Regresi menunjukkan hasil yang baik dikarenakan nilai regresi mendekati nilai 1.



Gambar 10. Grafik regresi antara MCS, SINR dan *Downlink Throughput*

4. Kesimpulan

Simulasi penempatan gNodeB pada eNodeB eksisting mengalami peningkatan nilai parameter dan nilai KPI pada hampir semua simulasi cakupan, untuk *throughput downlink* menghasilkan nilai sebesar 112 Mbps dan nilai KPI sebesar 65,65%, dimana untuk target rerata *downlink throughput* >100 Mbps sudah tercapai, akan tetapi secara KPI masih belum memenuhi. Sehingga untuk jaringan 5G masih dibutuhkan adanya optimasi untuk *physical antenna* dan apabila tidak memungkinkan dilakukan dengan penambahan site baru. Sedangkan untuk simulasi kapasitas jaringan 5G menghasilkan nilai yang baik untuk jumlah trafik pengguna yaitu sebesar 40.258 pengguna (98,1%) yang terhubung dengan maksimal *throughput* 264.915 Mbps untuk *downlink* 372.654 Mbps untuk *uplink*. Pada penelitian selanjutnya masih diperlukan adanya perbandingan untuk beberapa skenario seperti model propagasi, NLOS (*Non Line of Sight*) dan dengan daerah morfologi yang berbeda.

Referensi

- [1]. Dinas Kominfo, "Kajian Lanjutan 5G Indonesia," Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Inform. Badan Penelit. dan Pengemb. Sumber Daya Mns. Kementeri. Komun. dan Inform., p. iii, 2016.
- [2]. A. Wijaya and U. P. Indonesia, "Perkembangan teknologi 5 g," no. 2001619, pp. 5–7, 2021.
- [3]. ITU-R, "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," Recomm. Itu-R M.2083-0, vol. 0, pp. 1–21, 2015.
- [4]. M. R. Fauzi and T. Prakoso, "Perencanaan Jaringan Lte Fdd 1800 Mhz Di Kota Semarang Menggunakan Atoll," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 517-524, Nov. 2015, vol. 4, no. 2302–9927, 518, pp. 1–8, 2015.
- [5]. P. A. Fadhila and M. I. Nashiruddin, "Planning & Simulation Analysis of 4G LTE-Advanced Mobile Network Deployment Using 2100 MHz Frequency Spectrum in Dense Urban Area: Case Study in Central Jakarta," 2021 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob), Bandung, Indonesia, 2021, pp. 8-14.

- [6]. 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 Int. Semin. Res. Inf. Technol. Intell. Syst. ISRITI 2020, no. January, pp. 278–283, 2020.
- [7]. G. Fahira, A. Hikmaturokhman, and A. R. Danisya, "5G NR Planning at mmWave Frequency: Study Case in Indonesia Industrial Area," Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020, no. October, pp. 205–210, 2020.
- [8]. 3GPP TR 38.901 version 16.11.0 Release 16, "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz," ETSI, Technical Rep., vol. 0, 2020.
- [9]. "Badan Pusat Statistik Kota Semarang," 2023. <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/49/1/penduduk-kelompok-umur.html>
- [10]. R. A. Magfurlah, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "Perancangan Jaringan 4g Long Term Evolution (Lte) 1800 Mhz Di Kota Mataram," Univ. Islam Indones. Yogyakarta, pp. 1–41, 2018.
- [11]. M. M. Haq, M. T. Yuyun Siti Rohmah, S.T., and M. T. Moszes A. Anggara, S.T., "LTE Network Optimization in Lembang, West Java Muhammad," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 4, no. 3, p. 2513, 2018.
- [12]. M. M. Haq, M. T. Yuyun Siti Rohmah, S.T., and M. T. Moszes A. Anggara, S.T., "LTE Network Optimization in Lembang, West Java Muhammad," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 4, no. 3, p. 2513, 2018.
- [13]. H. Yuliana, F. M. Santoso, S. Basuki, and M. R. Hidayat, "Analisis Model Propagasi 3GPP TR38.900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area," TELEKONTRAN, VOL. 10, NO. 2, OKTOBER 2022, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2022.
- [14]. M. M. Ferrer, "Network Deployment Studies In 5G Using Atoll Radio," Masters Of. - Master's degree Telecommun. Eng. [372], vol. 14, no. 1, pp. 1–13, 2021.
- [15]. M. M. Ahamed and S. Faruque, "5G network coverage planning and analysis of the deployment challenges," *Sensors*, vol. 21, no. 19, 2021.
- [16]. TSGR, "TS 138 214 - V15.16.0 - 5G; NR; Physical layer procedures for data (3GPP TS 38.214 version 15.16.0 Release 15)," vol. 0, pp. 0–103, 2020.
- [17]. 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.