

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA PADA PERANCANGAN JARINGAN 5G NEW RADIO MENGGUNAKAN FREKUENSI 3,5 DAN 24 GHZ DI KOTA YOGYAKARTA

COMPARISONAL ANALYSIS OF PERFORMANCE ON 5G NEW RADIO NETWORK DESIGN USING 3.5 AND 24 GHZ FREQUENCY IN YOGYAKARTA CITY

Dianthy Marya¹, Ade Wahyudin²

¹Politeknik Negeri Malang

²Sekolah Tinggi Multi Media Yogyakarta

¹dianthy@polinema.ac.id, ²wahyudinade@gmail.com

Abstrak

Indonesia bersiap meluncurkan jaringan 5G NR dalam waktu dekat untuk mendukung implementasi Industri 4.0 dan kebutuhan *data rate* yang semakin meningkat. Penelitian tentang perbandingan performa jaringan 5G NR berdasarkan cakupan wilayah pada frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz di Kota Yogyakarta ini diperlukan untuk menjadi awal perencanaan implementasi teknologi 5G NR dan sebagai acuan bagi pemangku kebijakan bidang telekomunikasi di Indonesia. Pendekatan *Link budget* dijumlahkan menggunakan bentuk propagasi *Urban Micro* dan *Urban Macro*. Hasil kalkulasi memperlihatkan nilai *pathloss*, *cell radius*, dan kalkulasi gNodeB untuk frekuensi 3,5 GHz adalah 5 *site* sedangkan frekuensi 24 GHz maksimal 157 *site*. Kemudian disimulasikan menggunakan *software Atoll* hingga mendapatkan nilai parameter *coverage*, *quality*, *service area* dan *capacity*. Hasil simulasi menunjukkan prediksi *coverage level* SS-RSRP dan level sinyal PUSCH & PUCCH mendapatkahi kasil yang cukup baik dengan nilai yang tidak jauh berbeda baik pada kondisi *uplink* maupun *downlink*. Pada simulasi prediksi *quality downlink level* PDSCH C/(I+N) berada pada kategori sangat baik, sedangkan prediksi *quality downlink level* memiliki kategori baik. Pada simulasi prediksi *service area downlink* menggunakan modulasi 64 QAM sedang *uplink* menggunakan 16 QAM. Pada simulasi prediksi *capacity downlink* menghasilkan nilai 180 Mbps, dan *Uplink* 117 Mbps.

Kata kunci: Perancangan Jaringan 5G, Jangkauan Area 5G, Frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz, *Link Budget* 5G, *Atoll*

Abstract

Indonesia is preparing to launch a 5G NR network in the near future to support the implementation of Industry 4.0 and the increasing demand for data rates. This research on the comparison of 5G NR network performance based on area coverage at the 3.5 GHz and 24 GHz frequencies in the City of Yogyakarta is needed to be the beginning of planning for the implementation of 5G NR technology and as a reference for policy makers in the telecommunications sector in Indonesia. The *Link budget* approach is summed using the *Urban Micro* and *Urban Macro* propagation forms. The calculation results show that the *pathloss* value, *cell radius*, and gNodeB calculation for the 3.5 GHz frequency are 5 sites, while the maximum 24 GHz frequency is 157 sites. Then it is simulated using *Atoll* software to get the parameter values of *coverage*, *quality*, *service area* and *capacity*. According to the simulation results, the expected PUSCH & PUCCH signal levels and SS-RSRP coverage level achieve satisfactory results with values that are not significantly different in both *uplink* and *downlink* circumstances. The *quality downlink level* prediction simulation in the PDSCH C/(I+N) is rated as very excellent, whereas the *quality downlink level* prediction is rated as good. While the *uplink* uses 16 QAM for modulation, the *downlink* uses 64 QAM for the *service area* prediction simulation. According to the simulation, the predicted *downlink capacity* is 180 Mbps, while the predicted *uplink speed* is 117 Mbps.

Keywords: 5G Network Planning, 5G Area Coverage, 3.5 GHz and 24 GHz Frequency, 5G *Link Budget*, *Atoll*

1. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi seluler berkembang dengan sangat cepat. Saat ini, teknologi seluler sudah mencapai generasi ke 4 (4G) secara komersil dan sedang mempersiapkan untuk mendatangkan generasi ke 5 (5G) di mana standarisasi teknologi 5G sudah dirampungkan dan direncanakan hadir pada tahun 2020. Sesuai pada standar *International Telecommunication Union (ITU)* yang telah dirampungkan, rencananya teknologi 5G dapat diimplementasikan pada rentang frekuensi 1 – 100 GHz [1].

Penelitian perancangan jaringan 5G pada beberapa frekuensi di berbagai kota di Indonesia telah dilakukan menggunakan Mentum Planet dengan versi yang berbeda-beda. Pada penelitian [2] yang diamati penulis telah dilakukan perancangan jaringan 5G NR pada frekuensi 3,5 GHz di kawasan industri Pulo Gadung seluas 5 km² menggunakan Mentum Planet version 7.2.1. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa perancangan tersebut secara simulasi layak untuk digelar dengan mempertimbangkan beberapa parameter. Nilai *pathloss* yang diperbolehkan diantara *gNodeB* dan *UT* adalah sebesar 97,44 dB untuk skema *downlink-O2O*, dan 103,43 dB untuk skema *uplink-O2O*. Untuk mengakomodir trafik yang ada di kawasan industri Pulo Gadung, dibutuhkan 8 *site* untuk skema 1 dan 4 *site* untuk skema 2. Nilai parameter SS-RSRP pada skema 2 (*downlink-O2O-LOS*) didapatkan nilai utopis SS-RSRP terkecil yaitu -97,17 dBm dan kalkulasi utopis SS-RSRP tertinggi didapatkan oleh skema 1 (*downlink-O2O-LOS*) adalah -92,95 dBm seperti yang direncanakan pada skema 1 yang memiliki jumlah *site* tertinggi yang mencakup wilayah perencanaan.

Pada penelitian [3] telah dilakukan perancangan jaringan 5G NR pada frekuensi *mmWave* 28 GHz berdasarkan *coverage area* di kawasan industri Pulo Gadung seluas 5 km² menggunakan Mentum Planet. Metode yang digunakan *Outdoor-to-outdoor (O2O)* saat kondisi *Line of sight (LOS)*, dan model propagasi *Urban Micro (UMi)*. Hasil perancangan jaringan 5G NR didapatkan nilai *pathloss* pada *uplink* sebesar 110,30 dB dengan radius sel 214,37 m, dan nilai *pathloss* untuk *downlink* sebesar 109,80 dB dengan radius sel 202,92 m. Perancangan jaringan 5G NR ini membutuhkan 43 *site* untuk skema *uplink* dan 60 *site* untuk skema *downlink*. Nilai SS-RSRP disisi *uplink* diperoleh angka minimum pada -110,96 dBm, angka maksimum -68,66 dBm, dan angka rata-ratanya sebesar -99,54 dBm. Untuk nilai SS-RSRP disisi *downlink* diperoleh angka minimum pada -110,96 dBm, angka maksimum -68,66 dBm, dan angka rata-rata -98,82 dBm. Penulis menggunakan frekuensi *mmWave* untuk kebutuhan *bandwidth* yang besar di area industri pada penelitian ini.

Selanjutnya penelitian [4] telah dilakukan perancangan jaringan 5G NR pada frekuensi 2,6 GHz dengan metode perancangan *coverage* di kawasan segitiga emas Jakarta dengan luas wilayah 7,2 km² menggunakan *software* Mentum Planet 7.3.0. Penelitian tersebut menggunakan model propagasi *UMa (Urban Macro – Street canyon)*, dengan 2 skema perancangan untuk skema *downlink* yaitu *Outdoor-to-Outdoor (O2O) Line Of Sight (LOS)* dan *Outdoor-to-Outdoor (O2O) Non Line of Sight (NLOS)*. Nilai rata-rata SS-RSRP yang tertinggi hasil simulasi diperoleh dari skema 2 yaitu -65,873 dBm dan nilai rata-rata SS-RSRP terendah yaitu sebesar -95,94 dBm diperoleh dari skema 1. Pada skema 2 didapatkan angka rata-rata *data rate* terendah yaitu 126,4 Mbps dan rata-rata *data rate* tertinggi ada pada skema 1 yaitu 179,078 Mbps. Untuk nilai rata-rata SS-SINR terendah dihasilkan pada skema 2 yaitu 2,153 dB dan pada skema 1 diperoleh nilai rata-rata SS-SINR tertinggi yaitu sebesar 4,71 dB.

Kota Yogyakarta merupakan salah satu pusat pariwisata di Indonesia serta penggerak roda perekonomian nasional di sektor pariwisata, cukup utopis untuk merancang jaringan 5G. Selain itu 5G lebih utopis dan baik untuk di terapkan di wilayah yang nantinya dan sudah menerapkan *smart city* yang harus membutuhkan performa koneksi data yang besar, sehingga nantinya bisa membangkitkan Revolusi Industri 4.0 di Indonesia. Kota Yogya terus membuat konsep *smart city*. Pemakaian aturan *smart city* (kota pintar) ditingkatkan melalui penemuan pelaksanaan &

teknologi baru mendekati pelayanan dan konstelasi kehidupan warga yang lebih baik sebagaimana Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 100 Tahun 2018 tentang Masterplan Pengembangan *Smart City* Kota Yogyakarta Tahun 2018 – 2022 [5].

Untuk dapat mengimplementasikan jaringan 5G di Kota Yogyakarta, dibutuhkan perancangan teknis yang menyeluruh baik dari segi cakupan layanan dan kapasitas. Selain itu pemilihan spektrum frekuensi yang tepat dapat mempengaruhi performa dan biaya penggelaran jaringan. Frekuensi yang akan digunakan jaringan 5G di Indonesia sendiri masih dalam tahap pengkajian, ada beberapa frekuensi yang dipertimbangkan yaitu 3,5, 26, dan 28 GHz [6][7]. Alokasi frekuensi pada band 3,5 GHz bagi jaringan 5G mengacu pada rekomendasi *World Radiocommunication Conferences (WRC)*. Frekuensi tersebut, tidak hanya di Indonesia penggunaannya sehingga memudahkan operator terkait dengan biaya implementasi jaringan 5G. Selain frekuensi *middle band*, jaringan 5G di masa datang diprediksi akan mengeksplorasi sumber daya spektrum dari pita gelombang *millimeter wave (mmwave)* untuk memenuhi permintaan seluler multi-Gbps guna mengantisipasi penambahan trafik data yang eksponensial[8]. Dan saat ini, pengimplementasian layanan 5G pada pita frekuensi tinggi (*millimeter wave/mmWave*) sedang diupayakan oleh Kemkominfo [9]. Dengan mempertimbangkan berbagai hal di atas, maka penulis melakukan penelitian terkait dengan perancangan jaringan 5G pada frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz untuk Kota Yogyakarta. Dari perancangan ini akan diketahui jumlah komponen jaringan yang dibutuhkan dan performa jaringan 5G pada kombinasi band frekuensi yang diinginkan tersebut dan akan memberikan gambaran teknis mengenai penggelaran 5G di Yogyakarta.

Penelitian yang berjudul Analisa Perbandingan Performa pada Perancangan Jaringan 5G *New Radio* Menggunakan Frekuensi 3,5 dan 24 GHz di Kota Yogyakarta ini bertujuan untuk mengetahui performa jaringan yang diperoleh berdasarkan perhitungan pendekatan *coverage* dan berdasarkan simulasi menggunakan Atoll. Penulis memiliki harapan bahwa hasil kajian ini bisa menjadi referensi untuk berbagai pemangku kepentingan bidang telekomunikasi dalam implementasi jaringan 5G NR menggunakan frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz di wilayah Urban seperti Kota Yogyakarta.

2. DASAR TEORI DAN METODOLOGI

2.1 Dasar Teori

Pada penelitian ini, penulis melihat berbagai ulasan penelitian sebelumnya untuk bahan perbandingan, baik itu dari sudut kelebihan dan kekurangannya ataupun subjek kupasannya. Disamping itu, peneliti telah mendapatkan informasi dari berbagai buku, artikel, dan jurnal yang terkait sebelum itu untuk memudahkan jalannya penelitian yang dilakukan.

2.1.1 Teknologi 5G

5G adalah teknologi generasi lanjut pada sistem radio dan perencanaan jaringan yang menawarkan banyak kelebihan untuk mengungguli kelemahan teknologi generasi sebelumnya seperti sambungan seluler *ultra-robust*, *ultra-broadband*, *very low latency*, dan jaringan masif untuk merealisasikan manusia dan *Internet of Things*[10]. Pada skema *single-purpose wireless*, 5G disiapkan guna menyiapkan layanan yang banyak bagi berbagai peralatan jaringan yang terus bertambah serta dapat berinteraksi satu sama lainnya disebut komunikasi mesin ke mesin. Sehingga tujuan dari teknologi 5G ini adalah untuk merealisasikan komunikasi *Machine to Machine (M2)* dan *Internet of Things (IoT)*[11].

2.1.2 Perancangan Jaringan

2.1.2.1 Perancangan Berdasarkan Coverage

Tindakan pertama dalam menentukan *cell radius* (maksimum wilayah jangkauan dari *Base Station*) adalah radio *link budget*. Kalkulasi *link budget* pada sisi *uplink* dimaksudkan guna mendapatkan *Maximum Allowable Pathloss (MAPL)*, ialah jumlah *path loss* maksimal yang boleh

dilewatkan dari pemancar dan penerima guna mendapatkan rasio sinyal terhadap noise (*SNR*) minimal yang diperlukan demi mendapatkan kapasitas yang memenuhi. Selain itu parameter yang juga turut diperhatikan yaitu *soft handover* dan *log-normal fading*. Pada sisi *uplink* ini adalah kalkulasi *link budget* pada sisi perangkat pengguna sebagai pemancar, dan ke arah *Base Station (BS)* sebagai penerima. Sedangkan pada arah *downlink* adalah kalkulasi *link budget* pada *Base Station* sebagai pemancar dan ke arah perangkat pengguna sebagai penerima.[12]

Perencanaan jaringan berdasarkan *coverage* dipakai guna memperkirakan *MAPL* antara UE dengan eNodeB, sehingga bisa diketahui pada radius berapa perangkat dapat bekerja dengan maksimal untuk melayani *user*. Perhitungan *MAPL* dilakukan pada *uplink* maupun *downlink*. [13][14]

$$\begin{aligned} \text{MAPL (dB)} = & g\text{NodeB Tx power (dBm)} - 10\log_{10}(\text{subcarrier quantity}) \\ & + g\text{NodeB antenna gain (dBi)} - g\text{NodeB cable loss (dB)} \\ & - \text{penetration loss (dB)} - \text{foliage loss (dB)} - \text{body block loss (dB)} \\ & - \text{interference margin (dB)} - \text{rain/ice margin (dB)} \\ & - \text{slow fading margin (dB)} - \text{UE antenna gain (dB)} \\ & - \text{Thermal noise power (dBm)} - \text{UE noise figure (dB)} \\ & - \text{demodulation threshold SINR (dB)} \end{aligned} \quad (1)$$

Selanjutnya untuk menentukan parameter *thermal noise* dapat digunakan persamaan di bawah ini: [15]

$$\text{Thermal Noise (N}_{\text{thermal}}) = 10 \times \log_{10} K \times T \times B \quad (2)$$

Keterangan :

$N_{\text{thermal}} = \text{Thermal Noise}$

$K = \text{Konstanta Boltzmann (1,38 x 10}^{-20} \text{ mWs/K)}$

$T = \text{Temperatur (293}^{\circ} \text{K)}$

Untuk menentukan nilai *Subcarrier Quantity* bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Subcarrier Quantity} = \text{Resource Block} \times \text{Subcarrier Per Resource Block} \quad (3)$$

Rumus (4) berikut ini digunakan pada perhitungan luas *cell* setelah mengetahui luas jarak (d) dari tempat yang di jangkau dan sesudah menghitung *loss* propagasinya.

$$L = 2,6 \times d^2 \quad (4)$$

Sedangkan rumus (5) berikut ini dapat digunakan untuk menghitung total *site* yang dibutuhkan supaya dapat menjangkau semua wilayah yang diperlukan pada perencanaan area cakupan.

$$\text{Jumlah gNodeB} = \frac{\text{Luas tempat yang direncanakan}}{\text{Luas cakupan sel}} \quad (5)$$

2.1.2.2 Propagasi 5G NR

Model propagasi 5G *New Radio (NR)* menurut 3GPP 36.873 yaitu menggunakan propagasi 3D yang bekerja di band frekuensi 2 hingga 6 GHz, akan tetapi saat ini diubah menjadi 0.5 hingga 100 GHz berdasarkan 3GPP 38.901[14]. Pemodelan propagasi ini digunakan untuk kalkulasi angka *pathloss*. *Pathloss* ini diperlukan pada desain jaringan guna mengetahui rugi-rugi propagasi di area perancangan. Pada model propagasi 5G *NR* dibutuhkan propagasi yang sesuai dengan area perancangan. 5G *NR* menggunakan model propagasi 3D berdasarkan 3GPP 36.873 yang dirincikan

dalam model *Urban Macro* (UMa), *Urban Micro* (UMi), dan Rma. Model propagasi tersebut berlaku bagi pita frekuensi 2–6 GHz, yang kemudian diperluas berdasarkan 3GPP 38.901 dengan *range* frekuensi *range* 0,5-100 GHz.

2.1.2.2.1 Model Urban Macro

Salah satu jenis bentuk atau model propagasi 3D pada 5G NR yang digunakan daerah urban/dense urban/sub urban area adalah model propagasi *Urban Macro* (UMa). Model *Urban Macro* memiliki dua skenario propagasi yaitu saat kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Skenario propagasi *Urban Macro* saat kondisi *Line of Sight* (LOS) diekspresikan dengan model formula seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Bentuk Propagasi Uma [16]

Skenario	LOS/ NLOS	Pathloss[dB], f_c dalam GHz dan jarak dalam Meter	Shadow Fading std [dB]	Jangkauan implementasi, standar ketinggian antena
3D-UMi	LOS	$PL = 22.0 \log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c)$ $PL = 40 \log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}(d'_{BP})^2 + (h_{BS} + h_{UT})^2$	$\sigma_{SF} = 4$	$10 \text{ m} < d_{2D} < d'_{BP}$ $d'_{BP} < d_{2D} < 5000 \text{ m}$ $h_{BS} = 25 \text{ m}$, $1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}$
	NLOS	$PL = \max(PL_{3D.UMi.NLOS}, PL_{3D.UMi.LOS})$ $PL_{3D.UMi.NLOS} = 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20 \log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(17.625))^2 - 4.97) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$	$\sigma_{SF} = 6$	$10 \text{ m} < d_{2D} < 5000 \text{ m}$ $h_{BS} = 25 \text{ m}$, $1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}$, $W = 20 \text{ m}$ $h = 20 \text{ m}$ Jangkauan Implementasi $5 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ $5 \text{ m} < W < 50 \text{ m}$ $10 \text{ m} < h_{BS} < 150 \text{ m}$ $1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}$
Catatan: PL = nilai pathloss (dBm); f_c = frekuensi (GHz); d_{3D} = resultan dari jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m); h_{UT} = tinggi UT (m); h_{BS} = tinggi gNodeB (m); d'_{BP} = jarak break point (m); d_{2D} = cell radius (m); h = rata-rata tinggi gedung (m); W = Lebar jalan (m)				

Tabel 2. Paramater ketentuan Model Uma [16]

Parameter		Ketentuan UMa
Cell layout		Hexagonal grid, 19 micro sites, 3 sectors, per site (500 m)
Tinggi antena gNodeB (h_{BS})		25 m
Lokasi UT	Outdoor/Indoor	Outdoor dan Indoor
	LOS/NLOS	LOS dan NLOS
	Height h_{UT}	1,5 – 22,5 m
Pergerakan UT (<i>horizontal plane only</i>)		3 km/h
Jarak minimum BS – UT		35 m
Skenario Penerapan		Macro, suburban/urban/densely populated urban

2.1.2.2.2 Model Urban Micro

Salah satu jenis model propagasi 3D pada 5G NR yang dipergunakan daerah urban/ dense urban area adalah model propagasi *Urban Micro* (UMi). Model propagasi *Urban Micro* (UMi) ini memiliki dua skenario propagasi yang digunakan yaitu saat kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Skenario propagasi UMi saat kondisi *Line of Sight* (LOS) diekspresikan dengan model formula pada tabel 3.

Tabel 3. Model Propagasi Umi [16]

Skenario	LOS/ NLOS	Pathloss[dB], f_c dalam GHz dan jarak dalam Meter	Shadow Fading std [dB]	Jangkauan implementasi, standar ketinggian antenna
3D-UMi	LOS	$PL = 22.0 \log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c)$ $PL = 40 \log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}(d'_{BP})^2 + (h_{BS} + h_{UT})^2$	$\sigma_{SF} = 3$ $\sigma_{SF} = 3$	$10 \text{ m} < d_{2D} < d'_{BP}$ $d'_{BP} < d_{2D} < 5000 \text{ m}$ $h_{BS} = 10 \text{ m}$, $1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}$
	NLOS	Untuk layout sel heksagonal: $PL = \max(PL_{3D.UMi.NLOS}, PL_{3D.UMi.LOS})$ $PL_{3D.UMi.NLOS} = 36,7 \log_{10}(d_{3D}) + 22.7 + 26 \log_{10}(f_c) - 0.3(h_{UT} - 1,5)$	$\sigma_{SF} = 4$	$10 \text{ m} < d_{2D} < 2000 \text{ m}$ $h_{BS} = 10 \text{ m}$ $1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}$

Catatan: PL = nilai pathloss (dBm); f_c = frekuensi (GHz); d_{3D} = resultan dari jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m); h_{UT} = tinggi UT (m); h_{BS} = tinggi gNodeB (m); d'_{BP} = jarak break point (m); d_{2D} = cell radius (m); h = rata-rata tinggi gedung (m); W = Lebar jalan (m)

Tabel 4. Paramater ketentuan Model Umi [16]

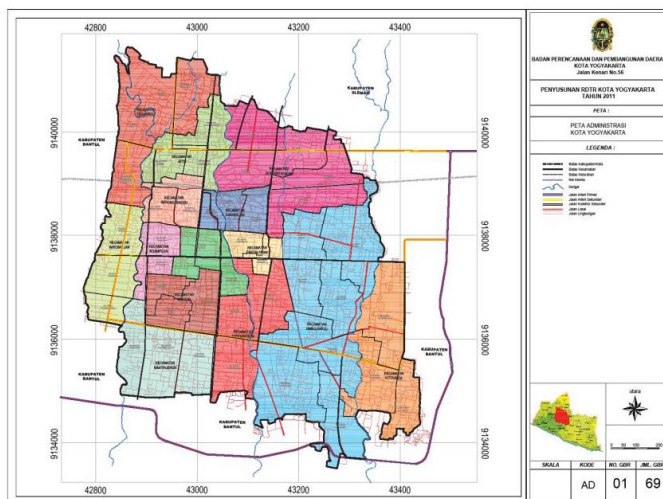
Parameters		Kebijakan UMi
Cell layout		Hexagonal grid, 19 micro sites, 3 sectors, per site (200 m)
Tinggi antenna gNodeB (h_{BS})		10 m
Lokasi UT	Outdoor/Indoor	Outdoor dan Indoor
	LOS/NLOS	LOS dan NLOS
	Height h_{UT}	1,5 – 22,5 m
Pergerakan UT (<i>horizontal plane only</i>)		3 km/h
Jarak minimum BS - UT		10 m
Scenario Penerapan		Micro, urban/densely populated urban

2.2 Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif yang merupakan salah satu upaya pencarian ilmiah (*scientific inquiry*), berdasarkan filsafat positivisme logikal (*logical positivism*) yang beroperasi dengan aturan-aturan ketat mengenai logika, kebenaran, hukum-hukum, dan prediksi [17]. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimen, dimana metode ini digunakan untuk mencari perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali [18].

2.2.1 Deskripsi Wilayah

Kota Yogyakarta secara geografis terletak antara 110°24'19"-110°28'53" Bujur Timur dan 07°15'24"-07°49'26" Lintang Selatan. Kota Yogyakarta memiliki luas wilayah 32,5 Km2 dengan populasi penduduk 414.055 jiwa.

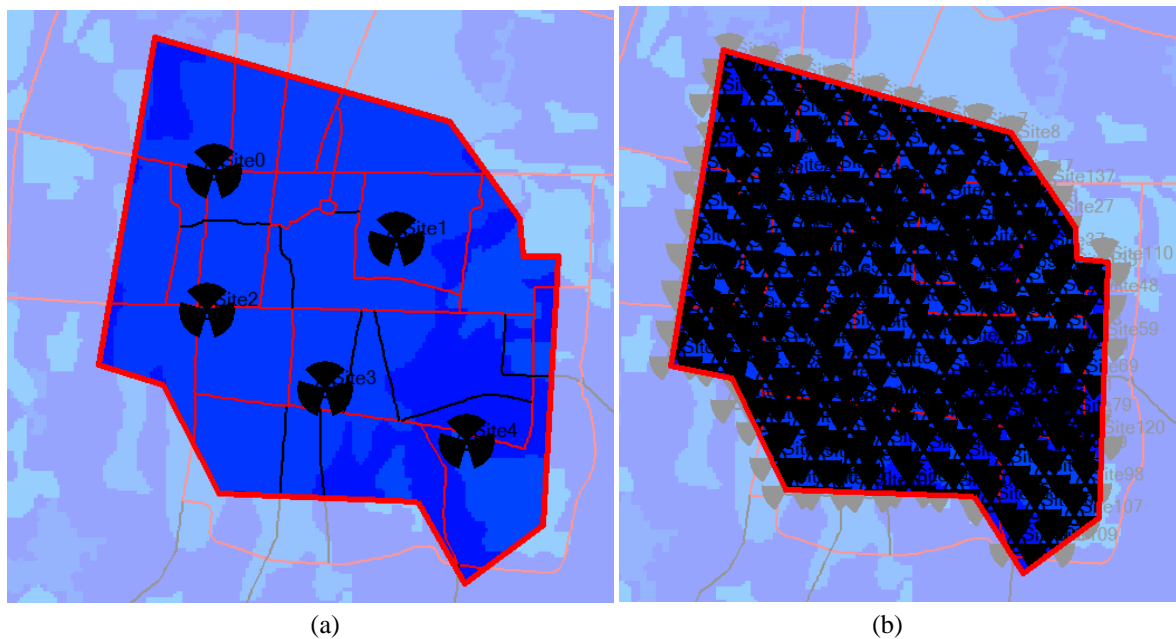


Gambar 1. Peta administrasi kota Yogyakarta

2.2.2 Perencanaan Coverage Jaringan 5G

Penulis menggunakan perhitungan berdasarkan cakupan wilayah untuk menentukan jumlah *site* yang ideal pada kota Yogyakarta yang akan digunakan pada simulasi. Hal ini bertujuan untuk memperhitungkan jangkauan cakupan sebuah *site* yang dilihat berdasarkan luas wilayah. Kota Yogyakarta merupakan daerah kota urban berkembang dengan kepadatan penduduk yang cukup tinggi dan ketinggian gedung berkisar antara 25-50 m. Sehingga model propagasi yang digunakan adalah model propagasi UMi dan UMa.

Penulis menggunakan Software Atoll 3.4 yang mendukung teknologi 5G Multi-RAT (*Radio Access Technology*) untuk simulasinya. Peta digital pulau Jawa yang digunakan dalam simulasi ini didapat dari raster Atoll yang mencakup peta terrain, peta *cluster*, peta jalan dan pengaturan koordinat. Berikutnya mencantumkan kota Yogyakarta pada peta digital sesuai dengan koordinatnya dan menempatkan *site* gNodeB untuk frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz seperti pada gambar 2.



Gambar 2. *Plotting site* gNodeB pada jaringan 5G frekuensi (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Simulasi perancangan jaringan 5G dapat dilakukan dengan konfigurasi setiap *site* gNodeB sesuai dengan spesifikasi teknis. Seperti pada perancangan jaringan 5G frekuensi 3,5 GHz menggunakan konfigurasi *macro cell* karena karakteristik frekuensinya yang memiliki cakupan lebih luas, sedangkan pada frekuensi 24 GHz menggunakan konfigurasi *micro cell*. Selanjutnya, simulasi perancangan jaringan 5G menggunakan Atoll untuk memprediksi parameternya. Secara umum, simulasi teknologi 5G dengan teknologi-teknologi sebelumnya pada Atoll ini relatif sama, namun ada beberapa perbedaan pada beberapa parameter *macro cell* 5G, perbedaan pada penggunaan propagasi, *bandwidth* dan frekuensi.

3. PEMBAHASAN

Perhitungan perancangan jaringan 5G ini mencakup perhitungan *pathloss* dan jumlah *site* gNodeB frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz. Hasil perhitungan ini digunakan sebagai masukan dalam simulasi menggunakan *software* Atoll yang memprediksi parameter performansi jaringan mencakup parameter *coverage*, *quality*, *service area* dan *capacity*.

3.1 Kalkulasi Total Site

Total *site* berdasarkan area cakupan atau *coverage* pada jaringan selular seperti 5G dapat dihitung dengan diawali dengan perhitungan *pathloss* sebagaimana persamaan (1), dengan menggunakan parameter *link budget* baik dalam kondisi luar ruangan ke luar ruangan maupun luar ruangan kedalam ruangan baik secara *uplink* maupun *downlink*.

Nilai parameter thermal noise dihitung menggunakan rumus (2), sehingga diperoleh hasilnya yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Thermal Noise } (N_{\text{thermal}}) &= 10 \times \log_{10} K \times T \times B \\ &= 10 \times \log_{10} (1,38 \times 10^{-23} \times 290^\circ \times 100) = -189,5781 \text{ dBm/Hz} \end{aligned}$$

Berdasarkan 3GPP TS 38.521-2 jumlah *resource block* untuk *high frequency band* adalah 132 dengan *subcarrier per resource block*-nya adalah 12[19], maka *subcarrier quantity* yang didapatkan setelah dikalkulasikan memakai rumus (3) adalah:

$$\begin{aligned} \text{Subcarrier Quantity} &= \text{Resource Block} \times \text{Subcarrier Per Resource Block} \\ \text{Subcarrier Quantity} &= 132 \times 12 = 1548 \end{aligned}$$

Perhitungan *pathloss* dan radius sel menggunakan persamaan rumus yang tercantum pada tabel 2-5. Hasil perhitungan *pathloss* ditunjukkan oleh tabel 5 sedangkan hasil perhitungan untuk radius sel tercantum di tabel 6.

Tabel 5. Parameter *link budget* 5G [14] [16]

Transmitter UE		Satuan	OSO Uplink Link Budget	OSO Downlink Link Budget	OSI Uplink Link Budget	OSI Downlink Link Budget
A	<i>gNodeB transmit power (BS Tx power) (dBm)</i>	dBm	35	35	35	35
B	<i>Resource block</i>	*-	132	132	132	132
C	<i>Subcarrier Quantity</i>	*-	1584	1584	1584	1584
D	<i>gNodeB antenna gain</i>	dB	0	0	0	0
E	<i>gNodeB cable loss</i>	dB	0	0	0	0
F	<i>Penetration Loss</i>	dB	12,23	12,23	18	18
G	<i>Foliage Loss</i>	dB	8	8	8	8
H	<i>body block loss</i>	dB	7,5	7,5	7,5	7,5
I	<i>interference margin</i>	dB	0,5	1	0,5	1
J	<i>Rain/ice Margin</i>	dB	3	3	3	3
K	<i>Slow Fading Margin</i>	dB	7	7	8	8
L	<i>UE antenna gain</i>	dB	0	0	0	0
M	<i>Thermal Noise Power</i>	dBm	-189,5781	-189,5781	-189,5781	-189,5781
N	<i>UE noise figure</i>	dB	9	9	9	9
O	<i>Demodulation Threshold SINR</i>	dB	-6	-6	-6	-6
P	<i>Bandwith</i>	MHz	100	100	100	100
PATHLOSS			143,8505482	143,3505482	144,5805482	144,0805482

Tabel 6. Radius sel perancangan 5G frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz

O2O/ O2I	Uplink/ Downlink	Jenis Jarak (meter)	Frekuensi 3,5 GHz	Frekuensi 24 GHz
			Radius Sel (Km)	Radius Sel (Km)
O2O (Outdoor to Outdoor)	Uplink	d _{3D} (meter)	1,64862405	0,292469915
		d _{2D} (meter)	1,648602137	0,291524272
	Downlink	d _{3D} (meter)	1,601849208	0,283980828
		d _{2D} (meter)	1,601826656	0,283006821
O2I (Outdoor to Indoor)	Uplink	d _{3D} (meter)	1,670596745	0,305321775
		d _{2D} (meter)	1,670575121	0,304416058
	Downlink	d _{3D} (meter)	1,670596745	0,296459656
		d _{2D} (meter)	1,670575121	0,29552678

Catatan: d_{3D}= jarak spasial antara hBS dan hUT (m); d_{2D}= jarak horizontal antara hBS dan hUT (m)

Perhitungan luas dan jumlah sel perancangan 5G frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz di kota Yogyakarta didapatkan dengan pendekatan rumus persamaan (4), (5) dan menghasilkan nilai sebagaimana tabel 7.

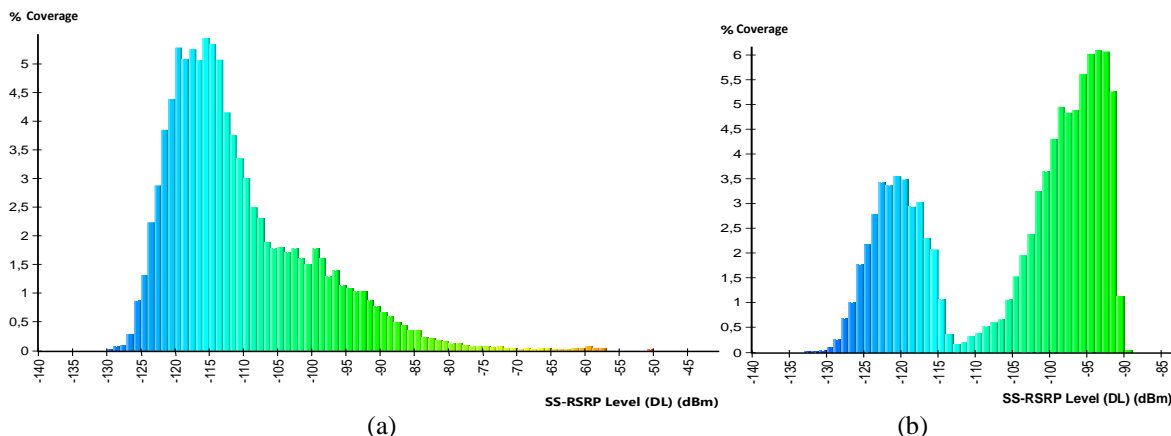
Tabel 7. Hasil perhitungan Luas dan jumlah sel perancangan 5G frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz

O2O/ O2I	Uplink/ Downlink	Frekuensi 3,5 GHz			Frekuensi 24 GHz		
		d _{2D} (Km)	Luas Sel (Km ²)	Jumlah Sel	d _{2D} (Km)	Luas Sel (Km ²)	Jumlah Sel
O2O (Outdoor to Outdoor)	Uplink	1,64860	7,06651	5	0,29152	0,22096	148
	Downlink	1,60182	6,67120	5	0,28300	0,20824	157
O2I (Outdoor to Indoor)	Uplink	1,67057	7,25613	5	0,30441	0,24093	135
	Downlink	1,67057	7,25613	5	0,29552	0,22707	144

3.2 Hasil Simulasi dan Analisis Jaringan 5G

3.2.1 Simulasi Prediksi Coverage

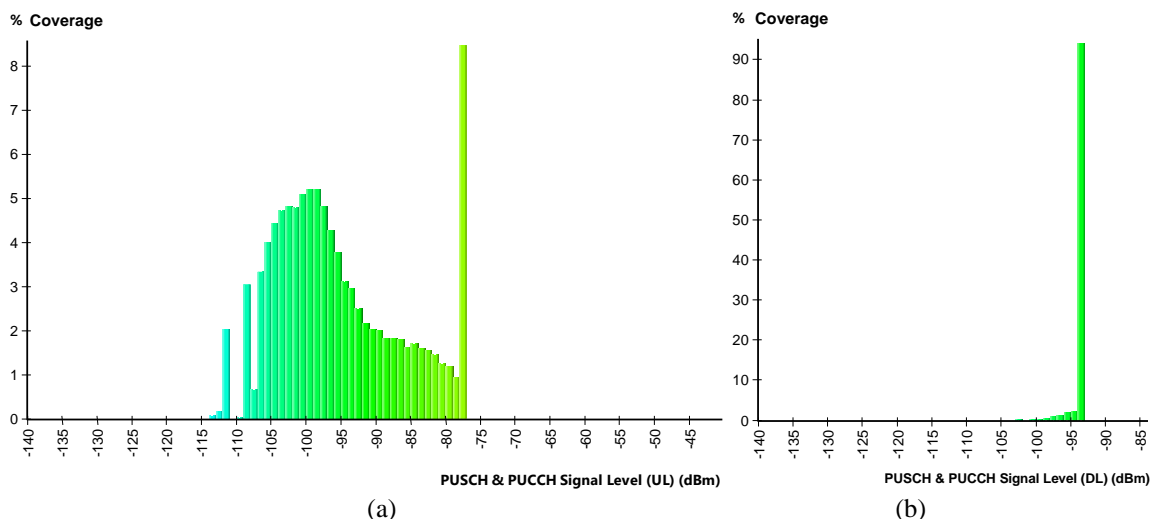
Berdasarkan hasil simulasi Atoll pada perencanaan jaringan 5G *New Radio* menggunakan frekuensi 3,5 GHz di kota Yogyakarta didapatkan bahwa level SS-RSPR *downlink* berada pada kategori cukup baik dengan nilai rata-rata -110,7 dBm dengan standar deviasi 10,43 berada pada rentang -50 dBm hingga -130 dBm. Sedangkan level SS-RSPR *downlink* untuk frekuensi 24 GHz juga berada pada kategori cukup baik dengan nilai rata-rata -105,26 dBm dengan standar deviasi 11,86 berada pada rentang -89 dBm sampai -133 dBm. Sebagaimana ditampilkan histogram pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil simulasi prediksi *downlink coverage* (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Hal tersebut menunjukkan bahwa secara *coverage downlink*, jaringan 5G di kota Yogyakarta pada frekuensi 3,5 GHz dengan jumlah eNode B sebanyak 5 *site* gNodeB cukup layak digelar. Hal ini terlihat dengan nilai rata-rata SS_RSRP dan sebaran standar deviasi yang sangat bervariasi. Walaupun demikian untuk wilayah yang memiliki jarak yang jauh dari *site* gNodeB memiliki nilai SS-RSRP yang kurang baik. Sedangkan pada hasil *coverage downlink* pada frekuensi 24 GHz menunjukkan hasil yang lebih baik. Hal ini dikarenakan jumlah *site* gNodeB yang lebih banyak hingga 157 *site* sehingga mampu mencakup setiap sudut wilayah dengan SS-RSRP yang baik. Dari segi sebaran nilai SS-RSRP, penggunaan frekuensi 24 GHz memiliki standar deviasi yang hampir sama dengan frekuensi 3,5 GHz. Namun, didominasi dengan nilai SS-RSRP diatas -100 dBm terutama di wilayah yang dekat dengan *site* gNodeB.

Pada penelitian ini memiliki wilayah cakupan yang jauh lebih luas dari penelitian [2]-[4], namun diperoleh nilai SS-RSRP yang berada pada kategori cukup baik atau termasuk kategori normal seperti pada penelitian sebelumnya tersebut.

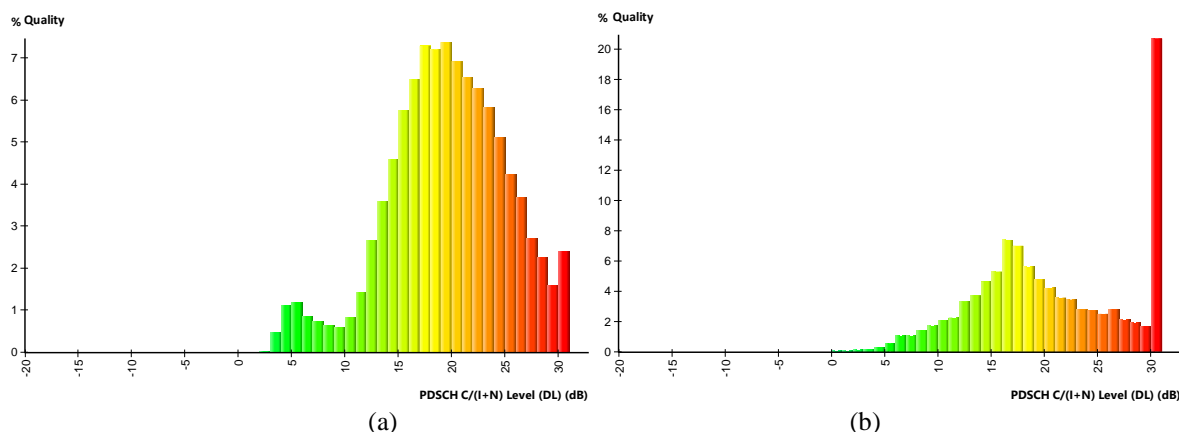


Gambar 4. Hasil simulasi prediksi *uplink coverage* (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Pada sisi *uplink*, penggunaan frekuensi 3,5 GHz berada pada kondisi yang baik menghasilkan level sinyal PUSCH & PUCCH sebesar -95,35 dBm dengan standar deviasi 9,22. Demikian pula dengan penerapan frekuensi 24 GHz yang menghasilkan kondisi yang baik dengan level sinyal PUSCH & PUCCH sebesar -93,73 dBm dengan standar deviasi 1. Sebagaimana ditampilkan pada histogram gambar 4. Berdasarkan hasil simulasi *coverage uplink* jaringan 5G pada frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz menghasilkan level sinyal PUSCH & PUCCH yang hampir sama, hanya saja memiliki sebaran deviasi yang berbeda. Penggunaan frekuensi 3,5 GHz memiliki sebaran nilai yang lebih bervariasi dan heterogen dikarenakan cakupan wilayah yang luas sehingga terpengaruh oleh faktor *multipath fading*. Sedangkan penggunaan frekuensi 24 GHz memiliki sebaran nilai level sinyal PUSCH & PUCCH yang lebih kecil dan *uniform* dikarenakan cakupan gNodeB yang kecil dan pengaruh *multipath fading* yang kecil.

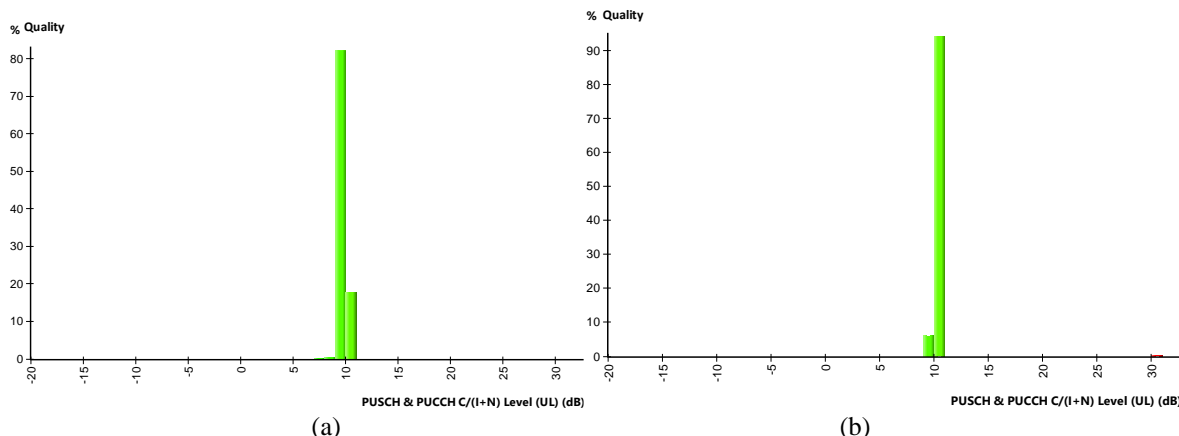
3.2.2 Simulasi Prediksi *Quality*

Berdasarkan hasil simulasi pada sisi *downlink* memiliki kualitas yang sangat baik sekali dengan level PDSCH C/(I+N) memiliki nilai rata-rata sebesar 19,56 dB dengan standar deviasi 5,64. Sedangkan pada penggunaan frekuensi 24 GHz juga memiliki kualitas yang sangat baik dengan level PDSCH C/(I+N) memiliki nilai rata-rata sebesar 21,96 dB dengan standar deviasi 9,2. Sebagaimana ditampilkan pada histogram gambar 5. Penggelaran jaringan 5G menggunakan 3,5 GHz dan 24 GHz menghasilkan kualitas yang sangat baik bila dilihat dari sisi kualitas *downlink*. Berbeda dengan penggunaan pada frekuensi 24 GHz yang cakupannya luas karena jumlah gNodeB lebih banyak.



Gambar 5. Hasil simulasi prediksi *Downlink Quality* (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Bila dilihat secara kualitas *downlink*, baik penggelaran jaringan 5G menggunakan 3,5 GHz dan 24 GHz menghasilkan kualitas yang sangat baik. Hal tersebut terbukti dengan rata-rata level PDSCH C/(I+N) yang berada diatas 15 dB. Walaupun demikian secara kualitas penggunaan 24 GHz lebih baik hal ini dikarenakan oleh jumlah gNodeB yang lebih banyak sehingga mencakup banyak sudut wilayah dengan kualitas tinggi.



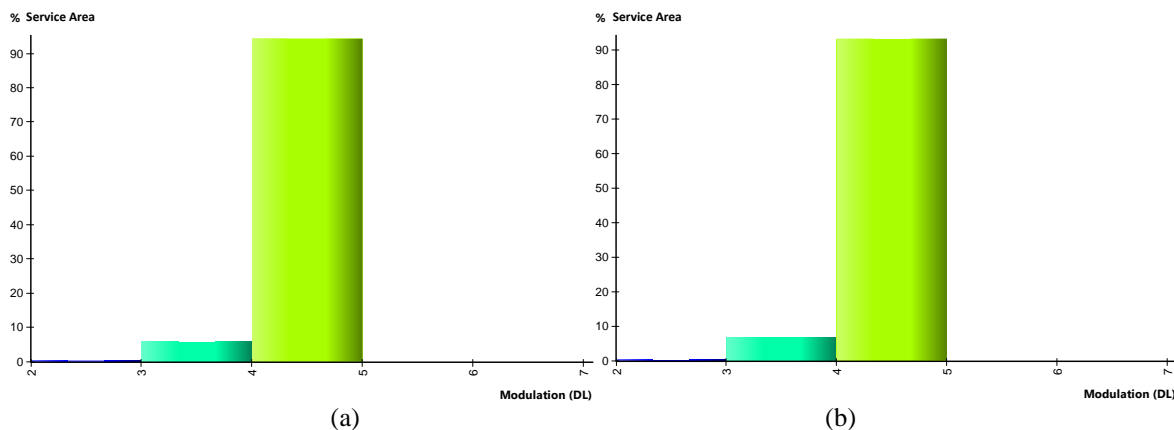
Gambar 6. Hasil simulasi prediksi *uplink quality* (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Hasil simulasi prediksi kualitas jaringan 5G NR frekuensi 3,5 GHz pada sisi *uplink* memiliki kualitas yang sangat baik sekali dengan level PDSCH C/(I+N) memiliki nilai rata-rata sebesar 9,68 dB dengan standar deviasi 0,34. Pada penggunaan frekuensi 24 GHz juga memiliki kualitas yang sangat baik dengan level PDSCH C/(I+N) memiliki nilai rata-rata sebesar 10,35 dB dengan standar deviasi 0,8 seperti yang ditampilkan pada histogram gambar 6.

Pada sisi kualitas *uplink*, jaringan 5G menggunakan 3,5 GHz dan 24 GHz menghasilkan kualitas yang baik, dengan rata-rata berada pada nilai 9-10 dB. Hanya saja sebaran level lebih homogen. Dengan kata lain, hampir semua wilayah memiliki kualitas *uplink* yang sama secara merata.

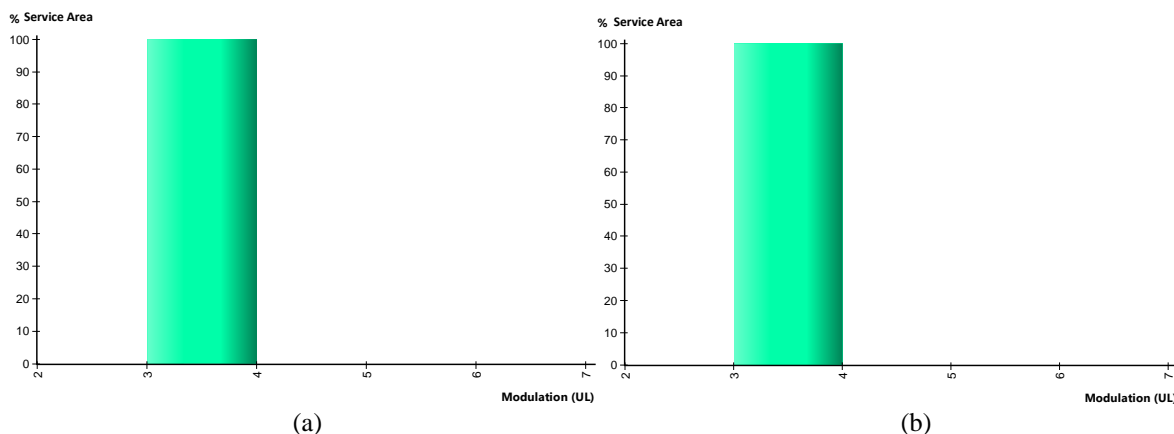
3.2.3 Simulasi Prediksi *Service Area*

Pada simulasi prediksi *downlink service area* menghasilkan nilai yang hampir sama antara implementasi frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz dimana nilai rata-rata adalah 3,94 dan 3,93 dengan standar deviasi yang sangat kecil sekitar 0,2. Artinya secara dominan modulasi pada kedua frekuensi tersebut menggunakan 64 QAM. Sebagaimana ditunjukkan pada histogram gambar 7.



Gambar 7. Hasil simulasi prediksi *Downlink Service Area* (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Sedangkan pada implementasi frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz disisi *uplink* memiliki hasil seragam dengan nilai rata-rata prediksi *service area* adalah 3, sehingga modulasi yang digunakan yaitu 16 QAM. Sebagaimana ditunjukkan pada histogram gambar 8.

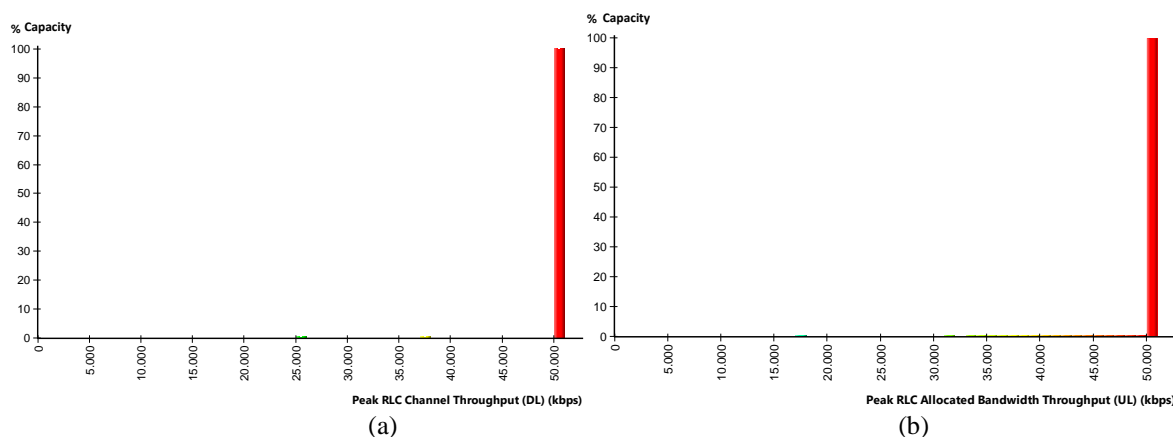


Gambar 8. Hasil simulasi prediksi *Uplink Service Area* (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Penggunaan 64 QAM pada sisi *downlink* dikarenakan besarnya *throughput* yang dikirimkan daripada *uplink* yang menggunakan 16 QAM. Walaupun demikian penggunaan 64 QAM tersebut masih belum memenuhi standar 5G dan masih dapat ditingkatkan hingga 256 QAM.

3.2.4 Simulasi Capacity

Hasil simulasi prediksi *capacity downlink* 3,5 GHz dan 24 GHz menghasilkan nilai yang sama yaitu 180 Mbps, sedangkan *uplink* 117 Mbps. Sebagaimana ditampilkan pada histogram gambar 9. Walaupun demikian nilai tersebut masih jauh dari standar jaringan 5G yang mampu memberikan *throughput* hingga lebih dari 2 Gbps. Untuk memperoleh kinerja *data rate* yang baik, diperlukan parameter antena, modulasi, dan parameter lain yang didukung di Indonesia.



Gambar 9. Hasil simulasi prediksi Capacity Downlink dan Uplink (a) 3,5 GHz dan (b) 24 GHz

Beberapa parameter yang masih belum memenuhi standar ini kedepan dapat dilakukan simulasi untuk optimasi agar menghasilkan kinerja yang optimal dan sesuai dengan standar. Optimasi yang dapat dilakukan dengan penggunaan modulasi 256 QAM dan penambahan *bandwidth*, serta menggunakan kombinasi band frekuensi atau penggunaan frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz secara *co-existing* sehingga saling mendukung antara *macro cell* dan *micro cell*-nya.

4. KESIMPULAN

Dari data hasil dan pembahasan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan pendekatan *coverage* didapatkan hasil jumlah gNodeB untuk frekuensi 3,5 GHz adalah 5 *site* sedangkan frekuensi 24 GHz maksimal 157 *site*.
2. Pada simulasi prediksi *coverage level* SS-RSRP dan level sinyal PUSCH & PUCCH mendapatkah kasil yang cukup baik untuk frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz dengan nilai yang tidak jauh berbeda baik pada kondisi *uplink* maupun *downlink*.
3. Pada simulasi prediksi *quality downlink level* PDSCH C/(I+N) berada pada kategori sangat baik untuk frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz, sedangkan prediksi *quality downlink level* PDSCH C/(I+N) memiki kategori baik untuk frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz.
4. Pada simulasi prediksi *service area downlink* untuk frekuensi 3,5 GHz dan 24 GHz menggunakan modulasi 64 QAM, sedangkan *uplink* menggunakan 16 QAM. Hal tersebut masih belum memenuhi standar 5G dan masih dapat ditingkatkan hingga 256 QAM.
5. Pada simulasi prediksi *Capacity Downlink* 3,5 GHz dan 24 GHz menghasilkan nilai yang sama yaitu 180 Mbps, sedangkan *Uplink* 117 Mbps. Walaupun demikian nilai tersebut masih jauh dari standar jaringan 5G yang mampu memberikan *throughput* hingga lebih dari 2 Gbps.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat, R., et. Al., "Key Potential Analysis of 5G Technology for Optimal Implementation: Case Study in West Java," *The 2018 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, Bali, 2018. pp. 125–130.

- [2] Esa, R. N., Hikmaturokhman, A., & Danisya, A. R., "5G NR Planning at Frequency 3.5 GHz : Study Case in Indonesia Industrial Area," *Proceeding - 2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, pp. 187–193, Oktober 2020.
- [3] Fahira, G., Hikmaturokhman, A., & Danisya, A.R., "5G NR Planning at mmWave Frequency: Study Case in Indonesia Industrial Area," *The 2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, Lombok, 2020. pp. 205-210.
- [4] Karo, F.K., Hikmaturokhman, A., & Amanaf, M.A., "5G New Radio (NR) Network Plannig at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta," *The 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, pp. 278-283, Desember 2020.
- [5] Indonesia. Pemerintahan Kota Yogyakarta. *Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 100 Tahun 2018 Tentang Masterplan Pengembangan Smart City Kota Yogyakarta Tahun 2018 – 2022*, Yogyakarta: Pemerintah Kota Yogyakarta, 2018.
- [6] Peneliti, T., & SDPPI, P., *Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 Spektrum Outlook dan Use Case untuk Layanan 5G Indonesia*, Jakarta: Puslitbang SDPPI, 2018.
- [7] Hikmaturokhman, A., Ramli, K., & Suryanegara, M., "Spectrum Considerations for 5G in Indonesia," *Proceeding - 2018 International Conference on ICT for Rural Development: Rural Development through ICT: Concept, Design, and Implication, IC-ICTRuDEv 2018*, pp. 23–28, October 2018.
- [8] Alfaresi, B., dan Ardianto, F., "Analisa Tekno Ekonomi pada Implementasi Jaringan 5G Frekuensi mm-Wave di Area Sumatera Selatan," *Prosiding Seminar Nasional AVoER X 2018*, pp. 411-419, Oktober 2018.
- [9] Muslim, A., "Indonesia Punya Banyak Frekuensi untuk implementasi 5G," Oktober 7, 2021, Available: <https://investor.id/it-and-telecommunication/268706/indonesia-punya-banyak-frekuensi-untuk-implementasi-5g>
- [10] Zulpratita, U. S., "Kunci Teknologi 5G," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 166–173, Apr. 2018.
- [11] Admaja, A. F. S., "Kajian Awal 5G Indonesia," *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, vol. 13, no. 2, pp. 97-114, Des. 2015.
- [12] Manalu, R. O., & Soim, S., "Pemodelan Empiris Cost 231-Walfisch Ikegami Guna Estimasi Rugi-Rugi Lintasan Antena Radar di Perum LPPNPI Indonesia," *Prosiding SENDI_U3*, pp. 221–228, Agustus 2017.
- [13] Wardhana, L., et. al., *4G Handbook Bahasa Indonesia*, In *4G Handbook Indonesia*, Jakarta: nulisbuku.com, 2014.
- [14] Huawei Technologies Co. *5G Link Budget, Best Parnet for Innovation*.
- [15] Coupechoux, M. (2016). *Link Budget 4G*. Available: <https://marceaucoupechoux.wp.imt.fr/files/2018/02/BdL-4G-eng.pptx.pdf>
- [16] *5G Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz*, 3GPP TR 38.901 version 14.0.0 Release 14, Mei 2017.
- [17] Sudarwan, D., *Metode Penelitian untuk Ilmu-Ilmu Perilaku*. Jakarta: Bumi Aksara, 2020.
- [18] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2017.
- [19] *5G; NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 2: Range 2 standalone*, 3GPP TS 38.521-2 version 15.3.0 Release 15, Mei 2019.