

Perencanaan Jaringan *Mobile Broadband* 5G *Stand Alone* (SA) pada Frekuensi 3500 Mhz di Ibu Kota Nusantara

1st Arya Pratama
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

aryapratama@student.telkomuniversity.
ac.id

2nd Uke Kurniawan Usman
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

ukeusman@telkomuniversity.ac.id

3rd Rizky Satria
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

rizkysat@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) sebagai kota cerdas dan berkelanjutan memerlukan infrastruktur telekomunikasi yang andal untuk mendukung konektivitas digital, salah satunya melalui layanan *mobile broadband* berbasis teknologi 5G. Penelitian ini bertujuan untuk merancang jaringan *mobile broadband* 5G *Stand Alone* (SA) di kawasan KIPP-1A IKN pada frekuensi 3500 MHz, dengan skema arsitektur jaringan opsi 2 sesuai standar 3GPP Release 17 dan IMT-2020. Perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Atoll* dengan parameter pengukuran mencakup SS-RSRP, SS-SINR, dan *Downlink Throughput*. Tahapan simulasi meliputi konfigurasi *site*, pemodelan propagasi, dan prediksi performa jaringan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan mampu mencapai nilai SS-RSRP sebesar -39,69 dBm, SS-SINR sebesar 17,16 dB, serta *Downlink Throughput* sebesar 604,43 Mbps, yang semuanya berada dalam kategori sangat baik berdasarkan Key Performance Indicator (KPI).

Kata kunci— 5G *Stand Alone*, *Mobile Broadband*, *Atoll*

I. PENDAHULUAN

Pemindahan ibu kota negara ke Kalimantan bertujuan untuk menciptakan pertumbuhan ekonomi yang lebih inklusif dan merata dengan mengalihkan pusat gravitasi pembangunan dari Pulau Jawa. Ibu Kota Nusantara (IKN) dirancang sebagai kota berkonsep *smart city and sustainable forest city* dengan teknologi canggih yang terintegrasi, berfokus pada efisiensi, keberlanjutan, dan kenyamanan hidup bagi para penghuninya, serta mengadopsi prinsip ramah lingkungan untuk mendukung pengelolaan sumber daya yang lebih baik [1].

Sejalan dengan visi tersebut, ketersediaan infrastruktur telekomunikasi yang andal dan berkinerja tinggi menjadi kebutuhan utama. Penerapan jaringan *mobile broadband* generasi kelima (5G) menjadi solusi penting untuk mendukung transformasi digital di IKN [1]. Teknologi 5G menawarkan kecepatan data tinggi, latensi rendah, dan kapasitas koneksi masif, yang sangat sesuai untuk mendukung layanan kota pintar seperti sistem transportasi cerdas, pemantauan lingkungan secara *real-time*, serta layanan publik berbasis *Internet of Things* (IoT) [2]. Dalam konteks ini, jaringan 5G dengan arsitektur *Stand Alone* (SA) dinilai lebih optimal karena mampu memanfaatkan penuh kapabilitas jaringan inti 5G dibandingkan dengan pendekatan

Non-Stand Alone (NSA) yang masih bergantung pada jaringan generasi sebelumnya [3].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang jaringan *mobile broadband* 5G *Stand Alone* pada pita frekuensi 3500 MHz di wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN), yang mencakup analisis kebutuhan infrastruktur, estimasi kapasitas dan cakupan jaringan, serta pemodelan distribusi *site* secara optimal untuk mendukung implementasi layanan 5G yang andal dan efisien di kawasan IKN.

II. KAJIAN TEORI

A. 5G *New Radio*

Teknologi 5G *New Radio* dirancang oleh 3GPP sebagai jaringan radio generasi kelima yang memanfaatkan spektrum frekuensi tinggi untuk mendukung komunikasi bergerak serta kebutuhan industri dan ekonomi digital. Tiga komponen utama dalam jaringan 5G adalah mMTC (*massive Machine Type Communications*), URLLC (*Ultra Reliable and Low Latency Communications*), dan eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*). Dibandingkan generasi sebelumnya, 5G menawarkan latensi rendah dan kapasitas *bandwidth* yang jauh lebih besar, serta berperan dalam mempercepat transformasi digital dan pertumbuhan ekonomi [4].

Penerapan 5G NR mengacu pada spesifikasi teknis dari ITU (*International Telecommunication Union*), lembaga internasional yang mengatur spektrum radio dan layanan komunikasi global. ITU menetapkan standar dan koordinasi sistem antarnegara untuk kelancaran komunikasi internasional, serta menerbitkan rekomendasi ITU-R pada 2020 sebagai pedoman pengembangan teknologi 5G NR sesuai dengan kerangka IMT-2020 [5].

B. 5G *Stand Alone*

Arsitektur 5G *Stand Alone* (SA) merupakan sistem yang berdiri sendiri tanpa ketergantungan pada infrastruktur generasi sebelumnya, sehingga mampu memberikan kinerja dan kecepatan yang lebih unggul dibandingkan dengan arsitektur *Non-Stand Alone* (NSA). Untuk mengoperasikan layanan 5G, digunakan teknologi yang disebut *New Radio* (NR). Keunggulan utama dari arsitektur SA meliputi peningkatan produktivitas serta kualitas layanan yang lebih baik, meskipun penerapannya memerlukan biaya investasi yang besar dan menghadapi tantangan dalam implementasi.

5G SA juga mampu meningkatkan performa *throughput* yang tinggi dan latensi yang rendah [3] [6].

C. Atoll

Atoll adalah perangkat lunak yang digunakan untuk perancangan dan optimasi jaringan nirkabel Multi-teknologi yang mendukung kebutuhan operator sepanjang siklus hidup jaringan. Platform ini mendukung desain RAN Multi-RAT yang canggih untuk teknologi radio 2G, 3G, 4G, hingga 5G, serta mendukung fitur-fitur terbaru seperti *massive MIMO*, *3D beamforming*, dan propagasi gelombang mmWave pada jaringan 5G. *Atoll* menyediakan kerangka kerja yang kokoh bagi operator dan vendor dalam merancang serta mengoptimalkan jaringan akses radio, baik untuk lingkungan dalam ruangan maupun luar ruangan. Dengan arsitektur dan fungsi yang lengkap, *Atoll* memberikan solusi yang fleksibel, skala bel, dan andal untuk mempercepat proses perencanaan dan pengoptimalan jaringan [7].

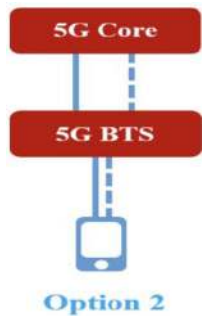
III. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan berbasis simulasi untuk merancang dan mengevaluasi performa jaringan *mobile broadband 5G Stand Alone* (SA) pada frekuensi 3500 MHz di wilayah KIPP-1A Ibu Kota Nusantara (IKN). Perancangan jaringan menggunakan perangkat lunak Atoll, yang berfungsi sebagai alat bantu perencanaan radio untuk memodelkan propagasi sinyal, konfigurasi *site*, dan estimasi kapasitas jaringan.

TABEL 1
Spesifikasi Layanan *Mobile Broadband* [8][9]

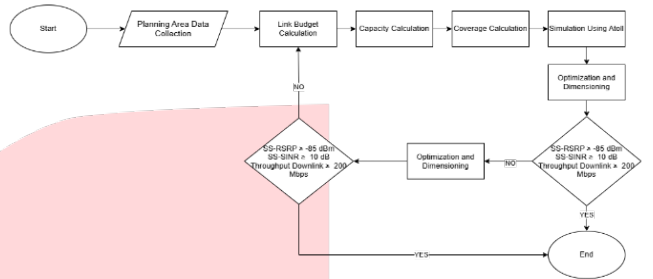
5G Requirements	KPIs	Target
SS-RSRP	$-90 \leq x \leq -85$ (Good)	≥ -85 dBm
SS-SINR	$10 \leq x \leq 30$ (Good)	≥ 10 dB
Throughput (IMT-2020)	DL ≥ 100 Mbps	DL ≥ 200 Mbps

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi layanan *mobile broadband* berdasarkan standar 3GPP TS.38.533 V17.3.0 yang memuat parameter teknis utama yang digunakan untuk menilai kualitas jaringan 5G *Stand Alone* (SA).



GAMBAR 1
Arsitektur Jaringan 5G *Stand Alone* Opsi 2 [10]

Gambar 1 menunjukkan arsitektur jaringan 5G *Stand Alone* opsi 2 dan menggambarkan hubungan langsung antara perangkat pengguna (*User Equipment*) dengan jaringan inti 5G (5G Core) melalui *base station* 5G (gNB atau 5G BTS) tanpa keterlibatan infrastruktur jaringan generasi sebelumnya seperti 4G LTE. Arsitektur ini memungkinkan implementasi penuh dari fitur-fitur 5G seperti *ultra-low latency*, *network slicing*, dan *high-throughput* secara *native*, karena semua komponen jaringan dibangun di atas platform 5G secara menyeluruh. Model ini memberikan kinerja yang lebih optimal dibandingkan opsi *Non-Stand Alone*.



GAMBAR 2
Diagram Alur Penelitian

Gambar 2 menunjukkan tahapan perencanaan dan evaluasi jaringan *mobile broadband 5G Stand Alone* (SA) menggunakan perangkat lunak *Atoll*. Proses dimulai dari pengumpulan data wilayah perencanaan, dilanjutkan dengan perhitungan *link budget*, kapasitas, dan cakupan jaringan. Setelah itu dilakukan simulasi di *Atoll* untuk memodelkan performa jaringan. Hasil simulasi dievaluasi berdasarkan parameter SS-RSRP, SS-SINR, dan *Downlink Throughput*. Jika hasil belum memenuhi target teknis (≥ -85 dBm, ≥ 10 dB, dan ≥ 200 Mbps), dilakukan optimalisasi dan *dimensioning* ulang terhadap desain jaringan. Proses evaluasi dan optimasi diulang hingga semua parameter memenuhi standar *Key Performance Indicator* (KPI). Jika semua parameter telah sesuai, maka proses perencanaan dinyatakan selesai.

TABEL 2
Forecasting Number of User

Forecasting Number Of User	
Jumlah Penduduk (2024)	488.409
Pertumbuhan Penduduk	1.93%
Periode Perancangan	5 Tahun
Estimasi Penduduk (2028)	537.396
Penduduk Usia Produktif (%)	0.7193
Penduduk Usia Produktif (Jumlah)	351.350
Market Share (%)	0.48
Market Share	168.648
5G NR Subscriber	0.52
Target User	87.697
Single User Throughput (UL)	345.2 Kbps
Single User Throughput (DL)	1588,5 Kbps
Network Throughput (UL)	30889965,7 Kbps
Network Throughput (DL)	142148318,5 Kbps

Tabel 2 menunjukkan perkiraan jumlah pengguna untuk periode perancangan selama lima tahun. Proyeksi ini diawali dengan jumlah penduduk pada tahun 2024 sebanyak 488.409 jiwa dan asumsi tingkat pertumbuhan penduduk sebesar

1,93% per tahun, yang menghasilkan estimasi populasi mencapai 537.396 jiwa pada tahun 2028. Dari total populasi tersebut, segmen penduduk usia produktif diperkirakan mencapai 71,93% atau sebanyak 351.350 jiwa. Selanjutnya, dengan *market share* sebesar 48%, diperoleh potensi pasar sebanyak 168.648 jiwa. Dari potensi pasar ini, ditetapkan bahwa target pelanggan 5G NR (*New Radio*) adalah sebesar 52%, sehingga menghasilkan target pengguna akhir sebanyak 87.697 pelanggan. Berdasarkan jumlah target pengguna tersebut, tabel ini juga merinci kebutuhan kapasitas jaringan, dengan menetapkan *throughput* per pengguna tunggal sebesar 345,2 Kbps untuk *uplink* (UL) dan 1.588,5 Kbps untuk *downlink* (DL). Dengan demikian, total *throughput* jaringan yang dibutuhkan secara keseluruhan adalah 30.889.965,7 Kbps untuk *uplink* dan 142.148.318,5 Kbps untuk *downlink*.

TABEL 3
Traffic Model

Traffic Model		
UE Behavior	Urban	
	Penetration rate	BHSA
Web Browsing	1	0.4
File Transfer	0.2	0.2
Email	0.1	0.3
P2P File Sharing	0.2	0.3
VoIP	1	1.3
Video Phone	0.2	0.16
Video Conference	0.15	0.15
Streaming Media	0.15	0.15
Real Time Gaming	0.2	0.2

Tabel 3 menunjukkan *traffic model* yang mendefinisikan perilaku pengguna di lingkungan perkotaan (*Urban*). Model ini mengkarakterisasi setiap jenis layanan data, seperti *Web Browse* dan *VoIP*, menggunakan dua parameter utama: *Penetration Rate* dan *BHSA* (*Busy Hour Session Attempts*). *Penetration Rate* menentukan proporsi pengguna yang mengakses setiap layanan, sementara *BHSA* mengukur frekuensi rata-rata seorang pengguna mencoba memulai sesi baru selama jam sibuk. Secara kolektif, parameter-parameter ini berfungsi untuk menyimulasikan beban jaringan yang realistis, yang sangat penting untuk analisis performa dan alokasi sumber daya.

TABEL 4
Link Budget Downlink

Link Budget (Downlink)	
Transmitter	Value
gNB TX Power (dBm)	35
gNB Gain (dBi) > 8T8R	16
Feeder Loss (dB)	1
Total SC (100 MHz BW)	14.84656107
Total SC (100 MHz BW)	3276
Receiver	Value
UE Noise Figure (dB)	7
Thermal Noise (dBm)	-93.8590465

SINR Demod TH (dB)	5
Receiver Sensitivity (dBm)	-81.8590465
Interference Margin (dB)	15
Slow Fading Margin (dB)	8
Penetration Loss (dB)	12
Receiver	Value
Body Loss (dB)	5
UE Gain (dBi)	5
Beamforming Gain (dB)	5
Vegetation Loss (dB)	0
Rain Loss (dB)	0
MAPL	66.70560756

Tabel 4 menunjukkan perhitungan *Link Budget* yang secara spesifik berfokus pada jalur *downlink*. Perhitungan ini secara komprehensif *mengkalkulasi* total penguatan (seperti daya pancar gNB dan gain antenna) serta keseluruhan pelemahan sinyal (termasuk *fading margin*, *penetration loss*, dan *body loss*), yang menghasilkan nilai MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) sebesar 66,7 dB.

TABEL 5
Non-Line of Sight

NLOS (Non-Line of Sight)	
MAPL	66.70560756
Cell Radius (Km)	0,353992704

Tabel 5 menunjukkan hasil akhir dari analisis cakupan, yaitu perhitungan Radius Sel (*Cell Radius*) untuk skenario propagasi *Non-Line of Sight* (NLOS). Skenario NLOS dipilih karena paling realistis dalam menggambarkan kondisi di lingkungan perkotaan, di mana sinyal sering kali terhalang oleh bangunan dan objek lainnya. Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan bahwa radius cakupan maksimum untuk satu sel dalam kondisi tanpa halangan visual langsung adalah 0,354 km atau sekitar 354 meter.

TABEL 6
Pathloss (3GPP 38.901 UMa)

Pathloss (3GPP 38.901 UMa)	
Pathloss (NLOS) Downlink	66.70560756
D Break (3500 MHz)	100

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan *Pathloss* untuk jalur *downlink* dengan menerapkan model propagasi standar industri 3GPP TR 38.901 pada skenario Urban Macro (UMa) dalam kondisi Non-Line of Sight (NLOS). Hasil kalkulasi menunjukkan nilai pelemahan sinyal sebesar 66,70560756 dB.

TABEL 7
Total Site Downlink

Total Site (Downlink)

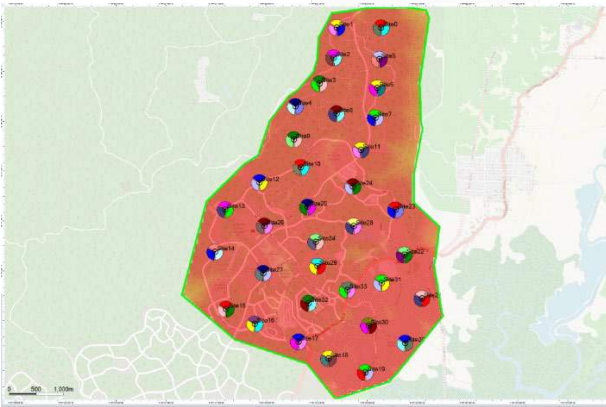
Parameter	Value
Luas Area (Km ²)	21.97
Coverage per Site (3-SECTORAL) (Km ²)	0.635325931
Total Site (3-SECTORAL)	35
3GPP 38.901 Urban Macro (0.5 - 100 GHz)	

Tabel 7 menunjukkan jumlah total *site* yang akan digunakan dalam simulasi perencanaan jaringan menggunakan perangkat lunak *Atoll*, yaitu sebanyak 35 *site* yang ditujukan untuk wilayah IKN KIPP-1A. Pemilihan jumlah *site* ini didasarkan pada perhitungan cakupan area dengan mempertimbangkan konfigurasi 3-sectoral, di mana setiap *site* memiliki kapasitas jangkauan tertentu. Fokus pada skenario *downlink* dipilih karena aspek ini memiliki peran penting dalam menjamin kualitas layanan yang diterima oleh pengguna akhir, seperti kecepatan unduh, stabilitas koneksi, dan kontinuitas layanan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

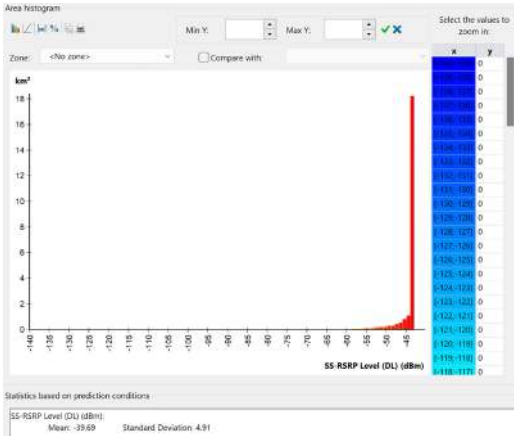
TABEL 8
KPI SS-RSRP [8]

SS-RSRP (dBm)	Kategori
$x > -85$	Sangat Baik
$-95 < x \leq -85$	Baik
$-105 < x \leq -95$	Normal Menuju Buruk
$-110 \leq x \leq -105$	Buruk



GAMBAR 3
Persebaran SS-RSRP di KIPP-1A

Gambar 3 menunjukkan hasil persebaran SS-RSRP di wilayah IKN KIPP-1A, yang ditandai dengan gradasi warna mulai dari merah tua hingga jingga muda. Area berwarna merah tua mengindikasikan kekuatan sinyal yang sangat baik, sementara area yang lebih terang menunjukkan kekuatan sinyal yang relatif lebih rendah namun masih dalam kategori memadai.

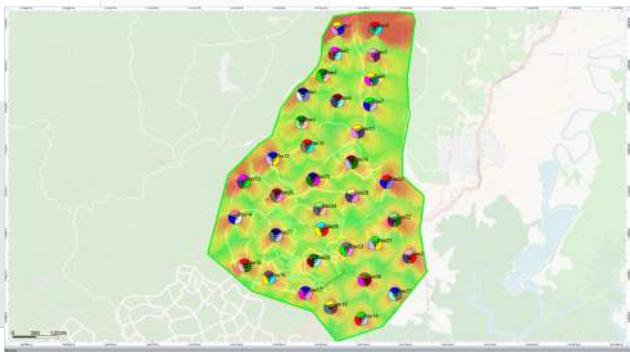


GAMBAR 4
Histogram SS-RSRP

Gambar 4 menunjukkan histogram distribusi nilai SS-RSRP dalam satuan dBm untuk cakupan *downlink* jaringan 5G NR. Berdasarkan statistik yang ditampilkan di bagian bawah, nilai rata-rata SS-RSRP adalah -39.69 dBm dengan standar deviasi sebesar 4.91, yang menunjukkan bahwa nilai sinyal di wilayah ini tidak terlalu bervariasi dan cenderung berada dalam kisaran yang hampir sama. Tidak terdapat cakupan signifikan di area dengan nilai SS-RSRP di bawah -50 dBm, seperti ditunjukkan oleh frekuensi nol pada sebagian besar rentang di sisi kiri grafik.

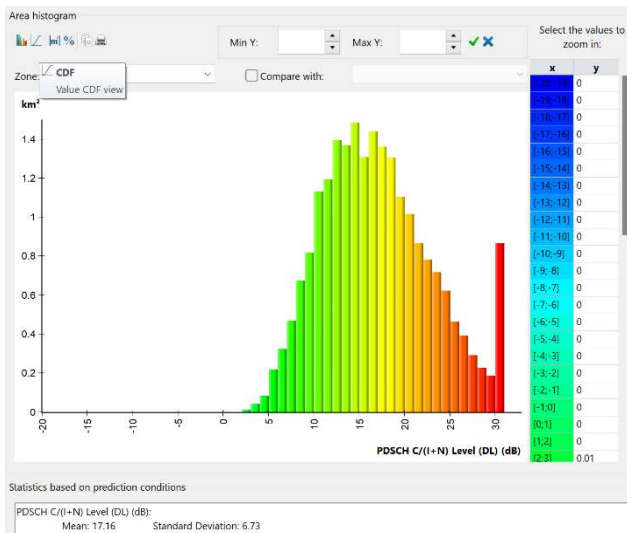
TABEL 9
KPI SS-SINR [8]

SS-SINR (dB)	Kategori
$x > 20$	Sangat Baik
$10 < x \leq 20$	Baik
$0 < x \leq 10$	Normal Menuju Buruk
$-10 \leq x \leq 0$	Buruk



GAMBAR 5
Persebaran SS-SINR di KIPP-1A

Gambar 5 menunjukkan hasil persebaran nilai SS-SINR di wilayah IKN KIPP-1A, yang ditandai dengan gradasi warna merah merepresentasikan SS-SINR yang tinggi atau sangat baik, sedangkan warna hijau hingga kuning menggambarkan area dengan kualitas SS-SINR yang lebih rendah.

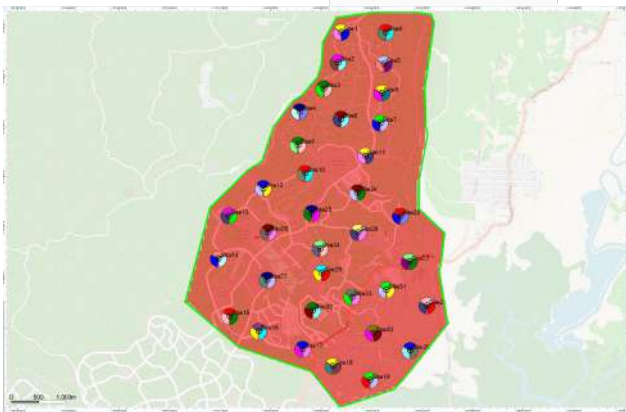


GAMBAR 6
Histogram SS-SINR

Gambar 6 menunjukkan histogram distribusi nilai PDSCH C/(I+N) atau SS-SINR dalam satuan dB untuk cakupan *downlink* jaringan 5G NR. Berdasarkan statistik yang ditampilkan, nilai rata-rata SS-SINR adalah 17.16 dB dengan standar deviasi sebesar 6.73. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah IKN KIPP-1A secara umum memiliki kondisi interferensi dan *noise* yang terkendali, namun tetap terdapat beberapa area dengan performa SS-SINR yang bervariasi.

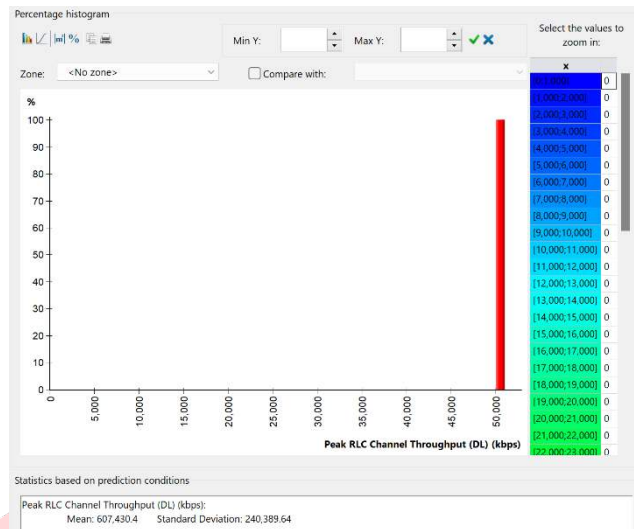
TABEL 10
KPI *Downlink Throughput* [9]

Parameter		IMT-2020
Throughput	Downlink	≥ 100 Mbps



GAMBAR 7
Persebaran *Downlink Throughput* di KIPP-1A

Gambar 7 menunjukkan peta persebaran *throughput downlink* di wilayah IKN KIPP-1A. Visualisasi yang ditampilkan menunjukkan dominasi warna merah yang relatif merata di seluruh area, mengindikasikan tingkat keseragaman performa *throughput* yang tinggi. Keseragaman ini mencerminkan bahwa kapasitas jaringan telah terdistribusi secara konsisten tanpa adanya indikasi area dengan penurunan performa signifikan.



GAMBAR 8
Histogram *Downlink Throughput*

Gambar 8 menunjukkan histogram persentase distribusi nilai *Peak RLC Channel Throughput* (DL) pada jaringan 5G di wilayah IKN KIPP-1A. Berdasarkan histogram, rata-rata *throughput* mencapai 607.430,4 kbps atau 607.43 Mbps dengan standar deviasi sebesar 240.389,64 kbps. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas kanal *downlink* tersebar

secara merata dengan performa tinggi di seluruh area perencanaan. Distribusi ini mencerminkan efektivitas konfigurasi jaringan dan penyebaran infrastruktur BTS yang mampu memberikan layanan data berkecepatan tinggi secara konsisten.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Atoll pada skema Standalone (SA) jaringan 5G dengan frekuensi 3500 MHz diperoleh Kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai rata-rata SS-RSRP sebesar -39,69 dBm. Nilai ini tergolong dalam kategori sangat baik berdasarkan indikator *Key Performance Indicator* (KPI), yang menunjukkan bahwa kekuatan sinyal pada area cakupan berada dalam kondisi optimal dan sangat mendukung untuk layanan *mobile broadband*.
2. Nilai rata-rata SS-SINR sebesar 17,16 dB, yang termasuk dalam kategori baik berdasarkan indikator *Key Performance Indicator* (KPI). Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal yang diterima cukup stabil, dengan tingkat gangguan (interferensi) yang masih dalam batas toleransi, sehingga memungkinkan layanan berjalan dengan kualitas yang dapat diterima oleh pengguna akhir.
3. Nilai rata-rata *throughput downlink* sebesar 604,43 Mbps. Capaian ini termasuk dalam kategori sangat baik, karena telah jauh melampaui standar minimum yang ditetapkan oleh IMT-2020, yaitu sebesar ≥ 100 Mbps. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan 5G yang dirancang mampu memberikan kecepatan data tinggi dan kualitas layanan yang sangat baik bagi pengguna, serta siap mendukung kebutuhan aplikasi digital masa kini seperti video *streaming* resolusi tinggi, layanan *real-time*, dan integrasi perangkat IoT.

REFERENSI

- Case for Intelligent Transportation System," *Sustainability*, vol. 13, no. 9, hal. 5188, Mei 2021.
- [1] Amallya, D. et al., "Cetak Biru Kota Cerdas Nusantara," *IKN Official Website*, Dec. 22, 2023. [Online]. Available: https://www.ikn.go.id/storage/thd/blueprint/cetak_biru_kota_cerdas_nusantara.pdf
- [2] A. A. Siddiqi, E. A. Al-Ammar, dan H. M. Al-Gumaei, "The Role of 5G Technologies in a Smart City: The
- [3] Ericsson, "Non-standalone and Standalone: two standards-based paths to 5G," *Ericsson Blog*, 24 April 2023. [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/blog/2023/4/standalone-and-non-standalone-5g-nr-two-5g-tracks>
- [4] M. N. Fadhilah, *Perencanaan Jaringan Backhaul gNodeB dan Distribusi Jaringan 5G NR di Kota Makassar*, Universitas Telkom, Surabaya, 2024.
- [5] International Telecommunication Union (ITU), "Requirements for IMT-2020," *ITU Radiocommunication Sector (ITU-R)*, S01-1, Rev. [Online]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/S01-1_Requirements%20for%20IMT-2020_Rev.pdf. [Accessed: Nov. 17, 2024].
- [6] M. Adennio, *Analisis Tekno Ekonomi 5G NR Menggunakan Frekuensi N258 di Wilayah Ibu Kota Nusantara*, Universitas Telkom, Surabaya, 2025.
- [7] M. A. Hibrizi, *Perancangan Jaringan Seluler 5G NR pada Frekuensi 2.3 GHz di Pulau Madura*, Universitas Telkom, Surabaya, 2025.
- [8] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), *TS 38.533 V17.3.0: NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio Resource Management (RRM) (Release 17)*, Jun. 2022. [Online]. Available: https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG5_Test_ex-T1/Working_documents/draft_specs_with_CRs_imple mented/after_RAN5-95/clean/38533-h30_cover.pdf
- [9] International Telecommunication Union (ITU), *IMT-2020: Vision, Requirements, and Evaluation Criteria for 5G Networks*, 2020. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-R/>. [Accessed: Jun. 27, 2025].
- [10] "5G SA Options - Option 2, Option 5," Hocell, [Online]. Available: <https://www.hocell.com/newsinfo/507102.html>. [Accessed: May 27, 2025]