

Analisa Kuantitatif Kualitas Jaringan 5G Non-Stand Alone berdasarkan Pengukuran Empiris di Pacitan

Quantitative Analysis of 5G Non-Stand Alone Signal Quality based on Empirical Measurement in Pacitan

Darmanto¹, Solichah Larasati^{*2}, Khoirun Ni'amah³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
JL. DI. Panjaitan No.128 Purwokerto, Indonesia

*²Corresponding author: solichahl@telkomuniversity.ac.id

¹2212101140@ittelkom-pwt.ac.id, ³khoirunn@telkomuniversity.ac.id

Received on 30-06-2025, accepted on 21-07-2025, published on 30-07-2025

Abstrak

Penelitian ini mengkaji kelayakan operasional jaringan 5G pada frekuensi 2,3 GHz yang diterapkan oleh salah satu operator seluler di Indonesia. Evaluasi performa jaringan 5G Non-Stand Alone (NSA) diimplementasikan pada dua lokasi di klaster 1 wilayah Pacitan, Jawa Timur yaitu site ZMDU_0406 dan ZMDU_0407. Metode yang digunakan meliputi perancangan skenario pengukuran, pengumpulan data, dan analisis data lapangan berdasarkan pada parameter throughput, Secondary Synchronization Reference Signal Received Power (SS-RSRP), dan Synchronization Signal-to-Noise and Interference Ratio (SS-SINR). Pengujian dilakukan menggunakan dua skenario traffic yaitu FTP Server dan UDP Server pada perangkat IDTrium—ATEL 5G CPE (SDX62) dan aplikasi iperf3. Hasil simulasi berdasarkan cakupan menunjukkan bahwa 99% area memiliki kualitas sinyal yang baik dengan nilai SS-RSRP > 80 dBm dan SS-SINR >20 dB pada kedua site. Hasil pengukuran FTP Server menunjukkan nilai rata-rata throughput sebesar 82 Mbps untuk site ZMDU_0406 dan 107 Mbps untuk site ZMDU_0407. Sementara itu, pengukuran UDP, site ZMDU_0406 memiliki rata-rata throughput 123 Mbps dan site ZMDU_0407 memiliki nilai rata-rata throughput 157 Mbps. Hasil penelitian menunjukkan bahwa infrastuktur 5G Non-Stand Alone yang diterapkan di wilayah Cluster 1 Pacitan memiliki performa yang baik untuk aplikasi real time.

Kata kunci: 5G Stand Alone, FTP, SS-RSRP, SS-SINR, UDP.

Abstract

This study examines the operational feasibility of a 5G network operating at 2.3 GHz frequency deployed by a cellular operator in Indonesia. The performance evaluation of the 5G Non-Standalone (NSA) network was conducted at two sites—ZMDU_0406 and ZMDU_0407—located in Cluster 1, Pacitan, East Java. The methodology involved designing measurement scenarios, collecting data, and analyzing field data based on key performance parameters: throughput, Secondary Synchronization Reference Signal Received Power (SS-RSRP), and Synchronization Signal-to-Noise and Interference Ratio (SS-SINR). Testing was performed using two traffic scenarios, namely FTP Server and UDP Server, utilizing the IDTrium—ATEL 5G CPE (SDX62) device and the iperf3 application. The simulation results based on signal coverage showed that 99% of the area demonstrated good signal quality, indicated by SS-RSRP values greater than -80 dBm and SS-SINR values exceeding 20 dB at both sites. Measurements using the FTP Server yielded average download throughput values of 82 Mbps at site ZMDU_0406 and 107 Mbps at site ZMDU_0407. Meanwhile, the UDP Server measurements showed an average throughput of 123 Mbps for ZMDU_0406 and 157 Mbps for ZMDU_0407. Based on these findings, it can be concluded that the implemented 5G NSA infrastructure in Cluster 1 Pacitan exhibits strong performance and is suitable for supporting real-time applications.

Keywords: 5G Stand Alone, FTP, SS-RSRP, SS-SINR, UDP.

1. PENDAHULUAN

Teknologi seluler telah mencapai generasi kelima (5G) yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan akan layanan internet yang berkecepatan tinggi serta mendukung berbagai platform dan aplikasi berbasis data besar (*high bandwidth*) [1]. Teknologi 5G hadir sebagai solusi terhadap meningkatnya permintaan akan koneksi yang lebih cepat, stabil dan efisien khususnya dalam mendukung perkembangan *Internet of Things* (IoT), *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR) dan sistem otomatisasi industri. Indonesia sebagai salah satu negara dengan penetrasi internet yang terus tumbuh, turut mengadopsi perkembangan ini melalui partisipasi aktif operator-operator seluler nasional dalam menghadirkan jaringan 5G di berbagai wilayah [2].

Kebutuhan 5G di Indonesia dengan tingkat urgensi yang tinggi karena dibutuhkan hampir semua orang dalam penggunaan *voice call*, data internet dan video sebagai transmisi daring seperti belajar jarak jauh, *video conference*, serta webinar. Pemakaian massal tersebut membutuhkan lebar band berkapasitas besar dan 5G mampu menjawab kebutuhan ini. Implementasi jaringan 5G telah mulai dilakukan secara bertahap oleh operator seluler, salah satunya melalui pendekatan *Non-Standalone* (NSA) yang memanfaatkan infrastruktur jaringan 4G (LTE) [3]. Salah satu band frekuensi yang digunakan untuk penggelaran 5G NSA adalah 2,3 GHz, yang dikenal memiliki karakteristik propagation yang cukup baik untuk wilayah urban maupun rural [4].

Pengukuran dan evaluasi performa jaringan merupakan tahap krusial dalam memastikan bahwa infrastruktur yang diimplementasikan mampu memberikan layanan sesuai standar kualitas yang telah ditetapkan. Evaluasi performa jaringan 5G tidak hanya berfokus pada kecepatan data (*throughput*), tetapi juga mencakup parameter kualitas sinyal seperti *Secondary Synchronization Reference Signal Received Power* (SS-RSRP) dan *Synchronization Signal-to-Noise and Interference Ratio* (SS-SINR). Ketiga parameter ini menjadi indikator utama dalam mengukur kualitas pengalaman pengguna (*Quality of Experience/ QoE*) serta efisiensi dan reliabilitas jaringan [5]. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji performa jaringan 5G dengan pendekatan *Non-Standalone* (NSA) pada lingkungan urban dan semi-urban. Sebagai contoh, studi oleh [6] menunjukkan bahwa 5G NSA mampu memberikan throughput hingga 1 Gbps dalam kondisi ideal pada frekuensi mmWave, namun performanya sangat bergantung pada faktor lingkungan, kepadatan pengguna, dan konfigurasi infrastruktur dasar.

Di sisi lain, penelitian di wilayah rural masih tergolong terbatas. Beberapa studi seperti oleh [7] dan [5] memfokuskan pengujian di kota besar atau wilayah metropolitan, yang memiliki karakteristik trafik dan topografi berbeda dengan daerah pedesaan. Penelitian dari [8] mencoba mengevaluasi 5G NSA pada area semi-rural, namun tidak secara spesifik mengulas skenario trafik berbasis FTP dan UDP secara bersamaan. Selain itu, sebagian besar studi menggunakan parameter throughput sebagai metrik utama, tanpa menggali lebih jauh aspek kualitas sinyal seperti SS-RSRP dan SS-SINR dilapangan.

Penelitian ini menekankan pada tiga aspek utama yaitu melakukan evaluasi lapangan dengan kontur yang nyata yaitu di wilayah Pacitan Jawa Timur. Penelitian ini menggabungkan dua skenario traffic yaitu FTP Server untuk simulasi penggunaan berdasarkan file transfer dan UDP Server untuk simulasi secara real-time. Tidak hanya itu, penelitian ini juga mengevaluasi kualitas sinyal (SS-RSRP dan SS-SINR) untuk menilai stabilitas jaringan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk perencanaan jaringan 5G secara efektif dan efisien.

2. KAJIAN PUSTAKA

A. Teknologi Seluler 5G

5G NR juga dirancang untuk mendukung berbagai layanan baru yang memerlukan keandalan dan latensi ultra rendah, seperti kendaraan otomatis, telemedicine, dan aplikasi realitas virtual dan augmented [9]. Dengan latensi end-to-end yang dapat dikurangi hingga di bawah 1 milidetik, 5G NR mendukung komunikasi *ultra-reliable low-latency communication* (URLLC) yang kritis untuk aplikasi-aplikasi ini. Selain itu, 5G NR memungkinkan implementasi jaringan pribadi dan jaringan industri yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, seperti di sektor manufaktur dan infrastruktur kritis. Secara umum, 5G New Radio (NR) berfungsi sebagai basis bagi ekosistem 5G yang lebih besar, dan memainkan peran

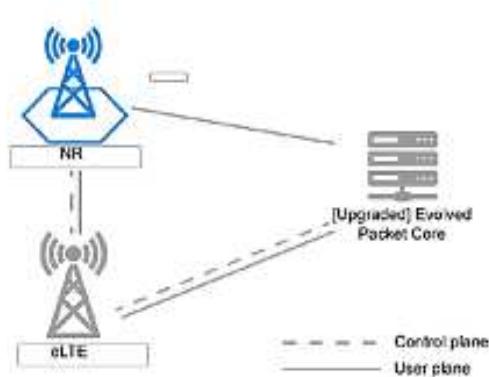
penting dalam aktualisasi tujuan untuk mencapai koneksi yang lebih kuat dan lebih luas [10]. 5G New Radio bukan hanya evolusi dari teknologi komunikasi yang ada, tetapi juga merupakan revolusi yang berpotensi merevolusi cara kita berinteraksi dengan dunia digital di sekitar kita. Ia mampu mendukung berbagai macam kasus penggunaan, mulai dari *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) hingga *Massive Internet of Things* (mIoT) [11].

Teknologi 5G untuk menyediakan layanan yang unggul di atas 4G, iterasi terbaru. Penyediaan layanan baru di berbagai sektor bisnis akan dimungkinkan oleh manfaat-manfaat ini, yang meliputi kapasitas yang lebih tinggi, kecepatan data yang ditingkatkan, latensi yang sangat rendah, dan keandalan yang luar biasa[12]. Teknologi nirkabel generasi kelima (5G) memungkinkan pemanfaatan perangkat seluler yang memiliki kapasitas pita lebar yang lebih tinggi, serta akses ke semua aplikasi yang diinginkan melalui satu perangkat universal yang terintegrasi dengan infrastruktur industri telekomunikasi yang ada [13]. NR 5G memberi penekanan kuat pada peningkatan pengalaman pengguna dari sudut pandang jaringan seluler. Caranya adalah dengan memungkinkan terminal pengguna mengakses berbagai teknologi seluler sekaligus dan menggabungkannya dengan berbagai macam cara. Selain itu, terminal pengguna memiliki kemampuan untuk memilih dari berbagai penyedia layanan seluler guna memperoleh layanan yang paling sesuai dengan kebutuhan user.

B. Arsitektur Jaringan 5G

1. Non-Standalone (NSA)

NSA merupakan opsi penyebaran pertama dalam pemasangan jaringan 5G. Dalam mode ini, sel radio LTE dan *New Radio* (NR) digabungkan untuk menyediakan akses radio dengan menggunakan koneksi ganda. Bergantung pada preferensi operator, konfigurasi ini memungkinkan inti jaringan menjadi Inti 5G (5GC) atau *Evolved Packet Core* (EPC). Pendekatan ini sering digunakan oleh operator yang ingin memanfaatkan infrastruktur jaringan 4G mereka saat ini. Untuk menggunakan Inti Paket yang Dikembangkan atau inti jaringan 5G (5GC) terbaru, mereka menggabungkan sumber daya LTE dan NR [14].



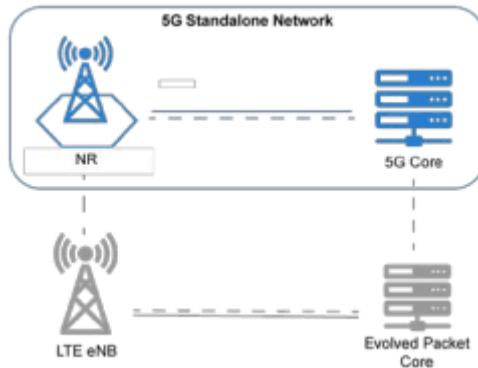
Gambar 1. Arsitektur jaringan NSA 5G

Gambar 1 merupakan arsitektur jaringan 5G NSA, jalur *control plane* dan *user plane* dapat dilihat. *Control plane* mengelola sinyal dan kontrol sistem, sedangkan *user plane* bertanggung jawab untuk lalu lintas data pengguna. Model NSA ini memanfaatkan infrastruktur LTE yang ada untuk mempercepat peluncuran layanan 5G [8]. Fitur koneksi ganda yang menggabungkan *Evolved Universal Terrestrial Radio Access New Radio* (E-UTRA NR) dan *Dual Connectivity* (EN-DC). Melalui pemanfaatan fungsi ini, integrasi 5G NR dengan *Evolved Packet Core* (EPC) ditingkatkan. *User Equipment* (UE) terkoneksi ke eNodeB, yang berfungsi sebagai *Master Node* (MN) dalam pengaturan ini. Di sisi lain, en-gNB berfungsi sebagai *Secondary Node* (SN).

2. Standalone (SA)

Dalam jaringan 5G *Standalone*, desain jaringan beroperasi secara independen, tanpa bergantung pada infrastruktur jaringan 4G LTE. Antarmuka udara 5G yang digunakan oleh jaringan standalone disebut

sebagai New Radio (NR), dan 5G Core (5GC) adalah inti dari jaringan 5G yang digunakan oleh jaringan standalone. Konektivitas 5G menyeluruh disediakan oleh arsitektur ini, yang memungkinkan penerapan teknologi dan kemampuan 5G secara penuh. Fitur-fitur ini meliputi peningkatan kapasitas, latensi yang sangat rendah, dan kecepatan data yang lebih tinggi [15].



Gambar 2. Arsitektur jaringan *Standalone* (SA)

Meskipun berfungsi secara independen, jaringan 5G Standalone tetap dapat terhubung dengan jaringan 4G LTE yang sudah ada. Kemampuan ini memungkinkan kesinambungan layanan antara kedua generasi [16]. Dengan cara ini, penyedia layanan dapat menciptakan pengalaman yang lebih memuaskan bagi pelanggan mereka dan memanfaatkan sepenuhnya manfaat yang ditawarkan kedua teknologi tersebut selama masa transisi. Karena itu, jaringan 5G Standalone tidak hanya mendukung fitur dan aplikasi canggih yang disediakan oleh teknologi 5G, tetapi juga memastikan bahwa jaringan tersebut kompatibel dan dapat dioperasikan dengan infrastruktur yang sudah ada [17].

Untuk mencakup wilayah yang belum tercakup oleh 5G, Gambar 2 menunjukkan bahwa jaringan 5G dapat beroperasi secara independen namun tetap berkolaborasi dengan jaringan LTE. Hal ini memungkinkan koneksi antara pengguna 5G dan pengguna non-5G. Manfaat arsitektur jaringan *Standalone* meliputi hal berikut: efisiensi yang lebih mudah dan lebih baik; pengurangan biaya perangkat; peningkatan kinerja throughput data ke batas jaringan; bantuan dalam pengembangan kasus penggunaan nirkabel; dan *Ultra Reliable Low Latency Communications* (URLLC) [18].

Tabel 1. Perbedaan standalone dan non-standalone [6]

Perbedaan		<i>Standalone</i>	<i>Non-Standalone</i>
<i>Spektrum Availibility</i>	<i>Sub- 6 GHz</i>	Pilihan ideal untuk jangkauan jaringan	Jaringan LTE diperlukan untuk jangkauan yang memadai.
	<i>mmWave band</i>	dapat menggunakan teknologi berbasis hotspot untuk bekerja dengan Stand Alone	diperlukan untuk implementasi jaringan berbasis hotspot
<i>Service offerings</i>		mencakup semua pengguna berdasarkan URLLC dan mMTC, termasuk eMBB.	Hanya penggunaan eMBB yang didukung.
<i>Network KPI</i>	<i>Data rate (DL/UL)</i>	20 Gbps/10 Gbps	20 Gbps/10 Gbps
	<i>Latency</i>	1 ms	4 ms

C. Model Propagasi

Dalam merancang jaringan 5G, berbagai skenario propagasi sinyal harus dievaluasi untuk menjamin efisiensi dan kualitas komunikasi antara pengguna dan *base station*. Skenario uplink memfokuskan pada transmisi sinyal dari pengguna ke *base station* yang vital untuk memastikan pengiriman data ke jaringan

inti berjalan secara efektif. Sebaliknya skenario *downlink* memaparkan proses pemancaran sinyal dari *base station* ke pengguna, esensial untuk memastikan penerimaan data oleh pengguna dengan keandalan tinggi [19]. Dalam konteks *Outdoor-to-Outdoor* (O2O), baik *base station* maupun pengguna berada di luar bangunan, dimana tantangan seperti efek *multipath* dan *fading* akibat lingkungan terbuka harus diatasi. Untuk skenario *Outdoor-to-Indoor* (O2I), dengan *base station* di luar dan pengguna di dalam bangunan, perhatian khusus diperlukan untuk memastikan sinyal menembus struktur bangunan secara memadai. Skenario Line of Sight (LOS) memungkinkan rambatan sinyal tanpa hambatan antara *Transmit* (Tx) dan *Receive* (Rx), menghasilkan kualitas sinyal optimal dengan minim interferensi. Sebaliknya, skenario Non Line of Sight (NLOS) menghadapi hambatan yang menghalangi jalur langsung antara Tx dan Rx, membutuhkan teknik propagasi tambahan agar sinyal tetap mencapai penerima dengan kualitas layak [20].

1. Model Propagasi Urban Macro (UMa)

Model Propagasi UMa digunakan di area dengan kepadatan populasi tinggi, dan sinyal yang digunakan adalah perbandingan sinyal jangka panjang dan jangka pendek [21].

a Line of Sight (LOS)

$$PL_{UMa} - LOS, PL_1 \rightarrow 10 m \leq d2D \leq d'Bp; PL_2 \rightarrow d'Bp \leq d2D \leq 5km$$

$$PL_1 = 32,4 + 20 \log(d3D) + 20 \log f_c \quad (1)$$

$$PL_2 = 32,4 + 40 \log(d3D) + 20 \log f_c - 10 \log((d'Bp)^2 + (hBS - hUT)^2) \quad (2)$$

b Non-Line of Sight (NLOS)

$$PL'UMa - NLOS = 13,45 + 39,08 \log(d3D) + 20 \log f_c - 0,6(hUT - 1,5) \quad (3)$$

$$PLUMa - NLOS = \max(PL_{UMa} - LOS, PL'UMa - NLOS) \quad (4)$$

For $10 m \leq d2D \leq 5km$

2. Model Propagasi Urban Micro (UMi)

Model propagasi UMi digunakan di area yang padat penduduk dan memiliki banyak gedung tinggi. Sinyal yang diterima dalam kasus ini adalah total sinyal tidak langsung yang dominan dan sinyal langsung [21].

a Line of Sight (LOS)

$$PL_1 = 32,4 + 20 \log(d3D) + 20 \log f_c \quad (5)$$

$$PL_2 = 32,4 + 40 \log(d3D) + 20 \log f_c - 9,5 \log((d'Bp)^2 + (hBS - hUT)^2) \quad (6)$$

b Non-Line of Sight (NLOS)

$$PL_{UMi} - NLOS = \max(PL_{UMi} - LOS, PL'UMi - NLOS) \quad (7)$$

$$PL'UMi - NLOS = 22,4 + 35,3 \log(d3D) + 21,3 \log f_c - 0,3(hUT - 1,5) \quad (8)$$

3. Model Propagasi Rural Macro (RMa)

Model propagasi RMa digunakan untuk mengkarakterisasi degradasi sinyal atau kehilangan jalur di lokasi pedesaan yang memiliki cakupan makrosel. Model ini disebut RMa, yang merupakan singkatan dari Rural Macrocell. Area terbuka yang luas dengan jumlah penduduk yang sedikit sangat ideal untuk penerapan RMa [21]. Beberapa contoh lokasi tersebut meliputi area pedesaan, lahan pertanian, dan jalan raya yang terletak di luar kota.

a Line of Sight (LOS)

$$PL_1 = 20 \log\left(\frac{40\pi df_c}{3}\right) + \min(0,3d_1 \times 72,10 \log(d3D) - \min(0,44h_1 \times 72,14 \times 77)) \quad (9)$$

$$+ 0,02 \log(h)(d3D)$$

$$PL_2 = PL_1(dBp) + 40 \log(d3D/dBp) \quad (10)$$

b Non-Line of Sight (NLOS)

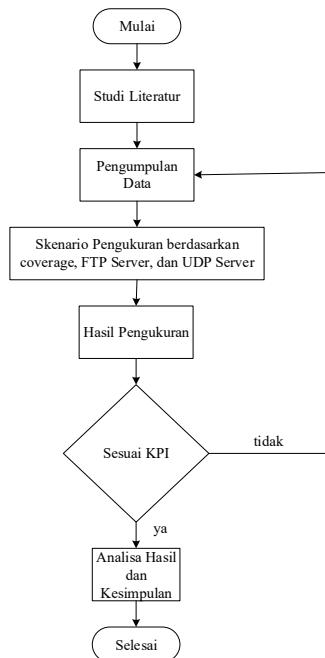
$$PLRMa - NLOS = \max (PLRMa - LOS, PL'RMa0NLOS) \quad (11)$$

$$PL'RMa - NLOS = 161,04 + 7,1 \log W + 7,5 \log h \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & - \left(24,37 - 37 \left(\frac{h}{hBS} \right)^2 \log(hBS) + (43,42 - 3,1 \log(hBS)) \log(d3D) - 3 \right) \\ & + 20 \log f_c - 3,2 \log(11,75hUT)^2 - 4,97 \end{aligned}$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan studi literatur, dilanjutkan dengan pengumpulan data, penentuan skenario, pelaksanaan pengukuran, analisa hasil sesuai dengan standar, dan kesimpulan, dimana alur sistematisnya seperti Gambar 3.

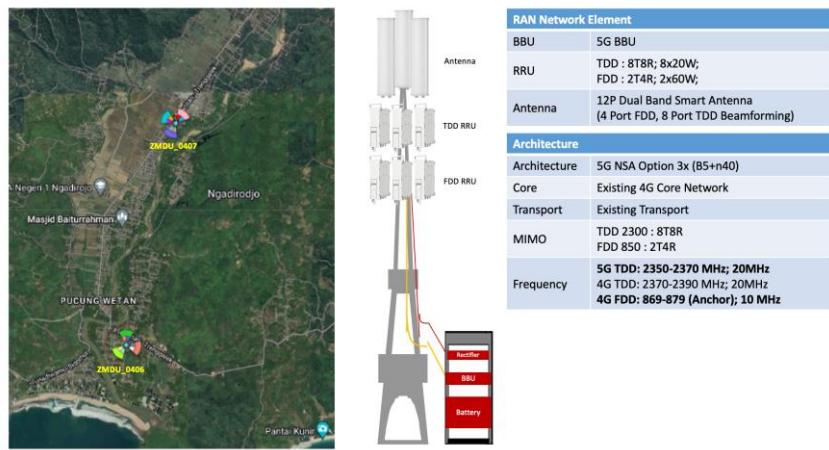


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.

Lokasi penelitian terletak di Cluster 1 Pacitan, Jawa Timur yaitu pada site Hadiwarno dan site Lorok pada frekuensi 2,3 GHz. Lokasi dipilih karena karakteristik topografi yang mendukung, utilisasi jaringan 4G yang rendah, serta efisiensi BBU tanpa gangguan pada layanan existing. Kedua site juga memiliki kontur lokasi yang seragam sehingga memudahkan dalam *coverage prediction* sesuai dengan *engineering* parameter site existing seperti pada Gambar 4.

Tabel 2. Parameter Site Existing

Parameter	Site Hadiwarno	Site Lorok
Nama eNodeB	ZMDU 0406	ZMDU 0407
Alamat	Jl. Ismail Gg.III, Kangkung, Hadiwarno, Kec. Ngadirojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur	Bandung Kulon, Pagerejo, Kec. Ngadirojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur
Longitude	111,31123	111,31772
Latitude	-8,25053	-8,22209
Azimuth	Sektor 1,2,3 : 10, 100, 220	Sektor 1,2,3 : 40, 205, 300
Tinggi Antena	65	65
Lokasi site	Outdoor	Outdoor



Gambar 4. Desain dan Perangkat 5G yang digunakan.

Untuk mendukung implementasi jaringan 5G, dipasang berbagai perlengkapan teknologi *Baseband Unit* (BBU) dan *Remote Radio Unit* (RRU) yang dirancang untuk mendukung arsitektur *Non-Stand Alone* (NSA).

A. Skenario Pengukuran

Pengambilan sampel pengukuran dilakukan pada titik tertentu di wilayah cakupan yang terletak sekitar 500 meter dari lokasi site ZMDU_0406 dan ZMDU_0407. Parameter pengukuran yang diuji meliputi *throughput*, *Secondary Syncronization Reference Signal Received Power* (SS-RSRP), dan *Syscronization Signal-to-Noise and Interference Ratio* (SS-SINR). Skenario pengukuran dilakukan dengan dua uji coba yaitu menggunakan pengukuran FTP Server dan UDP Server.

B. Skenario Pengujian

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari IDTrium-ATEL 5G CPE (SDX62) dan laptop sebagai perangkat keras utama, serta berbagai perangkat lunak pendukung seperti MapInfo 15, *Google Earth Pro*, *Google Maps*, dan aplikasi open source iperf3. Pengukuran dengan mengakses ke *File Transfer Protocol* (FTP) Server dan *User Datagram Protocol* (UDP) Server, dengan menguji transfer file berukuran 10GB dalam durasi 300 detik. FTP Server disiapkan sebagai host sementara perangkat IDTrium-ATEL 5G CPE (SDX62) dan laptop yang terhubung ke jaringan 5G bertindak sebagai client.

Pengujian dilakukan melalui pengukuran parameter utama yaitu *throughput*, *Secondary Syncronization Reference Signal Received Power* (SS-RSRP), dan *Syscronization Signal-to-Noise and Interference Ratio* (SS-SINR), dengan titik pengukuran berada sekitar 500 meter dari lokasi site untuk menangkap dinamika performa sinyal dalam cakupan nyata. Pengukuran dilakukan secara statis menggunakan protokol FTP dan UDP. Uji FTP bertujuan mengevaluasi kinerja jaringan dalam skenario penggunaan harian yang umum, seperti unggah dan unduh file besar, serta menguji kestabilan jaringan selama proses berlangsung. Sementara itu, Uji UDP digunakan untuk menilai performa jaringan dalam skenario *real-time*, seperti video streaming dan VoIP, dengan fokus pada latensi, jitter, dan ketahanan terhadap hilangnya paket data. Topologi jaringan dirancang untuk memastikan akurasi transmisi data antara client dan server selama proses pengujian. Dengan pendekatan ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan gambaran empiris mengenai efektivitas implementasi jaringan 5G NSA di wilayah Pacitan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa kualitas jaringan 5G *Non-Stand Alone* yang diimplementasikan di dua site wilayah Cluster Pacitan. Analisa hasil dilakukan berdasarkan analisa prediksi cakupan dan divalidasi menggunakan hasil pengukuran.

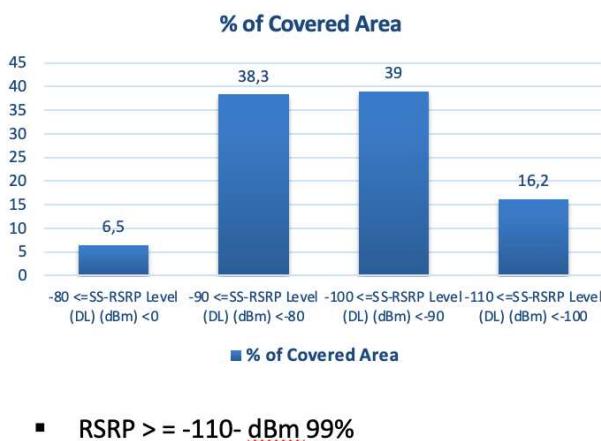
A. Analisa Prediksi Cakupan (*Coverage*)

Hasil prediksi cakupan sinyal jaringan 5G di wilayah Cluster 1 Pacitan ditunjukkan pada Gambar 5. Titik penyebaran lokasi site ditandai dengan label ZMDU_0406 dan ZMDU_0407 yang merupakan titik penyebaran sinyal utama dalam implementasi jaringan 5G Non-Standalone (NSA). Peta menggunakan gradasi warna untuk menggambarkan tingkat kekuatan sinyal berdasarkan RSRP. Distribusi warna biru memperlihatkan bahwa cakupan sinyal terbaik berada disekitar lokasi site dan semakin melemah seiring dengan bertambahnya jarak dari titik pemancar. Gambar ini menegaskan efektivitas dari penempatan site dalam mendistribusikan sinyal ke wilayah prioritas.



Gambar 5. Hasil Prediksi *Coverage Area*.

Gambar 6 menunjukkan hasil distribusi kekuatan sinyal yang terbagi menjadi empat rentang nilai SS-RSRP yang menunjukkan penerimaan sinyal yang berbeda. Hasil menunjukkan sebagian besar wilayah memiliki kualitas sinyal yang baik ditandai dengan 39% area tercakup dalam rentang -100 dBm hingga -90 dBm dan 38,3 % berada pada rentang -90 dBm hingga -80 dBm. Sementara itu, hanya sekitar 6,5% area yang tercatat memiliki rentang nilai sangat kuat yang umumnya merupakan daerah dekat dengan lokasi site. Hasil simulasi prediksi cakupan yang dilakukan sebelum implementasi menunjukkan bahwa 99% area memiliki nilai RSRP ≥ -110 dBm. Hal tersebut menindikasikan bahwa cakupan sinyal kuat sudah merata ke seluruh wilayah dan layak sesuai dengan standar teknis awal. Hasil ini menunjukkan keberhasilan sesuai dengan standar KPI dari hasil penempatan strategis site ZMDU_0406 dan ZMDU_0407 dalam mendukung implementasi infrastuktur jaringan 5G di wilayah tersebut.

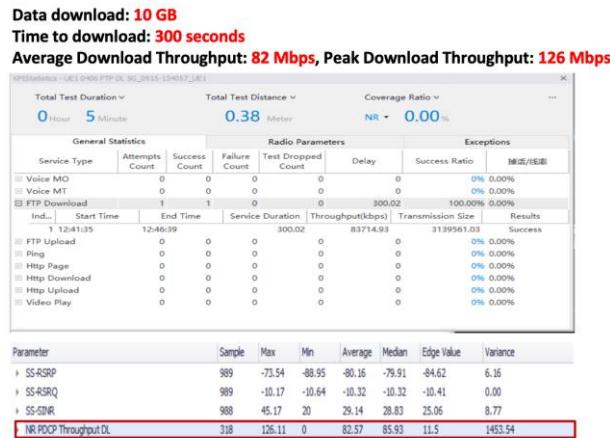


Gambar 6. Grafik Prediksi Cakupan Cluster 1 Area Pacitan

B. Hasil Pengukuran

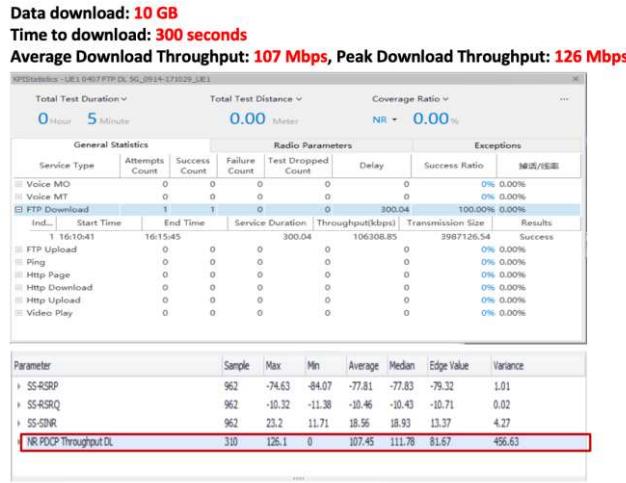
Pengukuran pada site ZMDU_0406 dilakukan di koordinat -8.246125; 111.313139, yaitu di Masjid Ar Rayan yang berjarak 537 meter dari Site. Sedangkan pada site ZMDU_0407 titik pengukuran berada di koordinat -8.217564; 111.320817, yaitu di Alfamart Lorok Pacitan yang berjarak 624 meter dari Site

Pengukuran dilakukan melalui akses ke FTP Server (Smartfren Server) dan UDP Server, menggunakan file berukuran 10GB yang diuji selama 300 detik. Sebelum pengujian, FTP Server (Smartfren Server) dipersiapkan sebagai host. Perangkat IDTrium-ATEL 5G CPE (SDX62) dan laptop yang terhubung ke jaringan 5G sebagai client digunakan sebagai end point pengukuran. uji aktivitas download dan upload menggunakan aplikasi iperf3 pada skenario FTP dan UDP.



Gambar 7. Hasil Pengukuran FTP Server pada site ZMDU_0406.

Gambar 7 merupakan hasil statistik pengukuran FTP server pada site ZMDU_0406 dimana nilai *average download throughput* mencapai 82 Mbps dengan *peak download throughput* 126 Mbps. Parameter SS-RSRP dan SS-SINR hasil pengukuran menghasilkan nilai rata-rata -80,16 dBm dan 29,14 dB. Hal ini membuktikan bahwa jaringan 5G yang diuji mampu menyediakan kecepatan data yang memenuhi standar dan memiliki stabilitas yang baik.



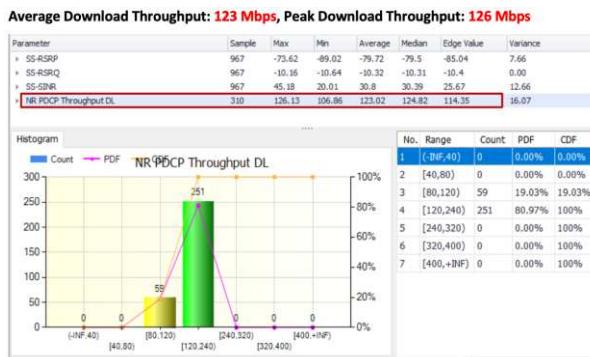
Gambar 8. Hasil Pengukuran FTP Server pada site ZMDU_0407.

Hasil pengukuran pada site ZMDU_0407 seperti pada Gambar 7 menunjukkan hasil download throughput sebesar 107 Mbps dengan peak download throughput sebesar 126 Mbps. Sedangkan rata-rata kualitas sinyal hasil pengukuran (SS-RSRP) sebesar -77,81 dBm dan rata-rata SS-SINR sebesar 18,56 dB. Hall ini menunjukkan bahwa jaringan 5G pada lokasi site ini mempunyai performa dan kualitas sinyal yang baik. Adapun hasil pengukuran dan pengujian FTP server dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengukuran FTP Server Site ZMDU_0406 dan ZMDU_0407.

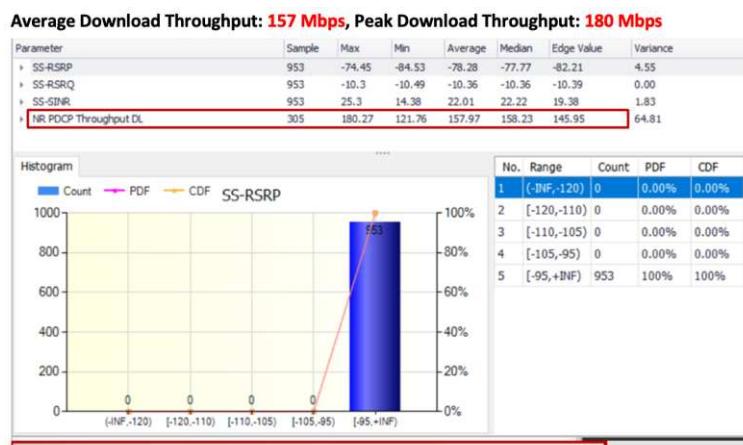
Parameter	Site	Site ZMDU_0407
Peak DL Throughput	126 Mbps	126 Mbps
Average DL Throughput	82 Mbps	107 Mbps
SS-RSRP	-88,95 dBm	-77,81 dBm
SS-SINR	20 dB	18.56 dB

Setelah memperoleh hasil pengukuran FTP, selanjutnya adalah hasil pengukuran UDP Server. Pengukuran UDP server digunakan untuk menganalisa kapasitas jaringan dalam mentransmisikan data secara real time. Hasil pengujian statistic test menggunakan UDP server pada site ZMDU_0406 dan ZMDU_0407 dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Hasil Pengukuran UDP Server pada site ZMDU_0406.

Berdasarkan hasil dari 310 sampel data, diperoleh rata-rata throughput sebesar 123,02 Mbps dengan nilai tertinggi mencapai 126,13 Mbps. Median throughput sebesar 124,82 Mbps menunjukkan konsistensi performa yang mengindikasikan kestabilan performa selama periode pengujian. Histogram distribusi throughput memperlihatkan bahwa 80,97% sampel berada pada rentang throughput 120–240 Mbps, sedangkan 19,03% sisanya berada pada rentang 80–120 Mbps. Nilai SS-RSRP selama pengukuran memiliki nilai rata-rata sebesar -79,72 dBm, sedangkan SS-SINR menghasilkan nilai rata-rata sebesar 30,8 dB. Kedua parameter ini menunjukkan kualitas sinyal yang sangat baik dan mendukung kapasitas jaringan untuk mencapai throughput tinggi.



Gambar 10. Hasil Pengukuran UDP Server pada site ZMDU_0407.

Dari total 305 sampel, diperoleh rata-rata throughput sebesar 157,97 Mbps dengan nilai puncak (peak throughput) mencapai 180,27 Mbps dan nilai minimum sebesar 121,76 Mbps. Nilai median throughput sebesar 158,23 Mbps menunjukkan konsistensi performa jaringan yang sangat baik, dengan nilai edge value 145,95 Mbps yang juga menunjukkan bahwa mayoritas data berada di atas ambang performa tinggi. Nilai

SS-RSRP selama pengukuran memiliki nilai rata-rata sebesar -78,28 dBm, sedangkan SS-SINR menghasilkan nilai rata-rata sebesar 22,01 dB. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa site ZMDU_0407 mampu memberikan performa jaringan 5G yang baik, dengan throughput tinggi, sinyal stabil, dan kualitas layanan yang baik, serta pada site ZMDU_0407 memiliki penyebaran sinyal yang optimal. Adapun hasil pengukuran dan pengujian UDP server dapat dilihat pada Tabel. 4.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengukuran UDP Server Site ZMDU_0406 dan ZMDU_0407.

Parameter	Site ZMDU 0406	Site ZMDU 0407
Peak DL Throughput	126 Mbps	180 Mbps
Average DL Throughput	123 Mbps	157 Mbps
SS-RSRP	-79,72 dBm	-78,28 dBm
SS-SINR	30,8 dB	22,01 dB

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi berdasarkan *coverage* dan pengukuran lapangan disimpulkan bahwa implementasi jaringan 5G *Non-Stand Alone* pada Cluster 1 Pacitan menunjukkan hasil performa yang baik dalam hal cakupan dan kualitas layanan. Hasil cakupan menunjukkan hampir 99% area memiliki rata-rata kualitas sinyal (SS-RSRP) sebesar -88,95 dBm untuk site ZMDU_0406 dan -77,81 dBm untuk site ZMDU_0407. Sedangkan, nilai SS-SINR sebesar -20 dB untuk site ZMDU_0406 dan 18,56 dB untuk site ZMDU_0407. Pada kedua site (ZMDU_0406 dan ZMDU_0407), nilai Peak DL Throughput sama yaitu 126 Mbps. Hal ini menunjukkan bahwa kedua site memiliki kapasitas maksimal yang setara dalam hal kecepatan unduh. Hasil ini membuktikan bahwa penerapan 5G Non-Stand Alone pada wilayah Cluster 1 Pacitan, Jawa Timur dapat memenuhi kebutuhan layanan komunikasi modern, terutama untuk aplikasi real time dan data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada pihak operator seluler PT. Smartfren yang telah mengizinkan dalam pengambilan data dan dukungan teknis dalam pelaksanaan pengukuran jaringan 5G di wilayah Pacitan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Telkom atas bantuan dan dukungannya.

KONTRIBUSI PENULIS

Penelitian ini merupakan hasil kolaborasi antara anggota tim peneliti dengan peran Darmanto sebagai perancangan studi dan pengambilan data di Lapangan. Solichah Larasati berkontribusi dalam analisa data dan hasil serta melakukan penyusunan naskah awal. Khoirun Ni'amah yang berkontribusi dalam analisis hasil dan penyuntingan akhir naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. B. Ginting, "Perancangan Jaringan Narrowband Internet of Things (NB-IoT) Menggunakan Skenario In-Band di Area Jakarta," vol. 11, no. 1, 2023.
- [2] C. Adila, "Analisa Tekno Ekonomi Perencanaan Pembangunan Evdo Rev. B Telkom Flexi Divre Iii Area Jawa Barat," 2013.
- [3] A. Kirang, A. Hikmaturokhman, dan K. Ni'amah, "5G NR Network Planning Analysis using 700 Mhz and 2.3 Ghz Frequency in The Jababeka Industrial Area," *JITE*, vol. 6, no. 2, hlm. 403–413, Jan 2023, doi: 10.31289/jite.v6i2.8270.
- [4] R. D. Indah Permatasari dan Dikko Pramudy, "Model Kanal 5G Di Bawah Pengaruh Human Blockage Pada Frekuensi 3,5 GHz 5G Channel Model Under the Effect of Human Blockage at 3.5 GHz Frequency," *Com, Engine, Sys, Sci*, vol. 7, no. 1.
- [5] T. Oktavianto, T. Prakoso, dan M. A. Riyadi, "Analisis Jaringan 5g 2300 Mhz Dengan Menggunakan Menara 4g Lte Yang Tersedia Di Kota Semarang," *Transmisi J.Ilm. Tek. Elekt.*, vol. 26, no. 1, hlm. 1–9, Jan 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.1-9.
- [6] A. Wulandari, M. Hasan, A. Hikmaturokhman, Ashamdono, L. Damayanti, dan Damelia, "5G Stand Alone Inter-Band Carrier Aggregation Planning in Kelapa Gading Jakarta Utara," dalam *2021 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev)*, Jogjakarta, Indonesia: IEEE, Okt 2021, hlm. 1–6. doi: 10.1109/IC-ICTRuDev50538.2021.9656497.
- [7] D. Marya dan A. Wahyudin, "Analisis Perbandingan Performa Pada Perancangan Jaringan 5g New Radio Menggunakan Frekuensi 3,5 Dan 24 Ghz Di Kota Yogyakarta," vol. 9, no. 1.

- [8] A. Wulandari, T. Supriyanto, dan L. Damayanti, "Perancangan Skenario Non Stand Alone (Nsa) Jaringan 5g Untuk Menunjang Revolusi Industri 4.0".
- [9] S. Larasati dan K. Ni'Amah, "Sub-Optimal Degree Distribution untuk Prioritas Komunikasi Manusia menggunakan Proyeksi EXIT Chart pada Jaringan Masa Depan," *ELKOMIKA*, vol. 7, no. 3, hlm. 442, Sep 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i3.442.
- [10] R. D. Wahyuningrum, M. B. Ginting, K. Ni'Amah, dan S. Larasati, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dengan Pengkodean QC-LDPC dan Polar," *ELKOMIKA*, vol. 12, no. 1, hlm. 190, Jan 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i1.190.
- [11] P. D. A. Puthuraya, G. Srinivasan, H. Kumar, dan K. N. Reddy, "Polar Coding in 5G systems," *IRJASH*, vol. 5, no. 05, hlm. 175–180, Mei 2023, doi: 10.47392/irjash.2023.033.
- [12] D. Rianti, A. Hikmaturokhman, dan D. Rachmawaty, "Techno-Economic 5G New Radio Planning Using 26 GHz Frequency at Pulogadung Industrial Area," dalam *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, Yogyakarta, Indonesia: IEEE, Des 2020, hlm. 272–277. doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315455.
- [13] A. Irawan, A. Hikmaturokhman, dan D. Pranindito, "Analisis Tekno Ekonomi Perancangan 4g Lte Di Kabupaten Banyumas," *ECTP*, vol. 5, no. 1, hlm. 15–32, Apr 2018, doi: 10.33019/ectipe.v5i1.31.
- [14] Telecommunication Engineering Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Purwokerto 53147, Indonesia, P. Rahmawati, A. Hikmaturokhman, K. Ni'amah, dan M. I. Nashiruddin, "LoRaWAN Network Planning at Frequency 920-923 MHz for Electric Smart Meter: Study Case in Indonesia Industrial Estate," *jcm*, hlm. 222–229, 2022, doi: 10.12720/jcm.17.3.222-229.
- [15] G. H. Fahreja, K. Ni'amah, dan R. D. Wahyuningrum, "The Effect of Spreading Factor Value on the Number of Gateways in the LoRaWAN Network at Bandung City," *Journal of Communications*, vol. 18, no. 12, 2023.
- [16] S. L. Larasati, Khoirun Ni'amah, dan Zein Hanni Pradana, "Analysis of 5G Network Performance in Line-of-Sight Conditions Using 3.3 GHz Frequency at Sawahan, Surabaya," *JITU*, vol. 5, no. 2, hlm. 31–40, Des 2022, doi: 10.56873/jitu.5.2.4892.
- [17] S. Venkatesan dan R. A. Valenzuela, "OFDM for 5G: Cyclic prefix versus zero postfix, and filtering versus windowing," dalam *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, Mei 2016, hlm. 1–5. doi: 10.1109/ICC.2016.7510757.
- [18] A. Sukarno, A. Hikmaturokhman, dan D. Rachmawaty, "Comparison of 5G NR Planning in Mid-Band and High-Band in Jababeka Industrial Estate," dalam *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, Batam, Indonesia: IEEE, Des 2020, hlm. 12–17. doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9329000.
- [19] G. R. MacCartney dan T. S. Rappaport, "Study on 3GPP rural macrocell path loss models for millimeter wave wireless communications," dalam *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Paris, France: IEEE, Mei 2017, hlm. 1–7. doi: 10.1109/ICC.2017.7996793.
- [20] M. B. Ginting, S. Larasati, A. Hikmaturokhman, dan N. Amelia, "The Design of NB-IoT Network for Smart Metering Infrastructure in Residential Area," *J. Telecomm. Electr. Control Eng.*, vol. 7, no. 1, hlm. 23–31, Jan 2025, doi: 10.20895/jtece.v7i1.1619.
- [21] G. Fahira, A. Hikmaturokhman, dan A. Rizal Danisya, "5G NR Planning at mmWave Frequency : Study Case in Indonesia Industrial Area," dalam *2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, Lombok, Indonesia: IEEE, Okt 2020, hlm. 205–210. doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9277451.