

ISSN: 2549-6255 (Online) | ISSN: 2549-6247 (Print)

JITE (Journal of Informatics And Telecommunication Engineering) It is a peer reviewed journal in the field of informatics. This journal is published 2 months of the year (July and January) by informatics study program, Faculty of Engineering, University of Medan Area, Indonesia. Manuscripts submitted by the author are blindly reviewed. The accepted writings were published online. JITE publishes original papers in the field of: Informatics: Big Data & Data Mining, Image Processing & Computer Vision, Mobile Software Engineering, Pattern Recognition, etc. Telecommunication Engineering: Networking and Telecommunication System, Wireless Ad-Hoc and Sensor Network, Cognitive Radio, Cooperative Communication, Information Theory, Software Defined Networking, etc. Electrical Engineering: Embedded System, Robotics, Internet of Things, Digital Signal Processing (DSP), Electronic Control System, Control Theory and Application, Control Engineering

CURRENT ISSUE

Vol. 6 No. 2 (2023): Issues January 2023

The full manuscript of the July edition of volume 6 issues 2 2022 can be accessed >> here <<

PUBLISHED: Jan 27, 2023

Articles

Analysis of Vsat Gyro performance based on the power level of the antenna receiver on the Pelni ship
 Author(s): imelda uli vistalina simanjuntak, Sulistyansih Sulistyansih, Ketty Siti Salamah, Krisna Yudha Dewantara
 16 9 344-356
[PDF](#)

Development of Mobile-Based Crowdfunding Application
 Author(s): Rosalina Rosalina
 6 10 357-366
[PDF](#)

Data Clustering Recommendations For Selection Student Majors To Higher Education Using The K-Means Method (Case Study of SMAN 2 Palembang)
 Author(s): Jemakmun makmun Jemakmun, R. Ahmad Dicky Syarief Purboyo
 9 9 367-377
[PDF](#)

Optimization Model of Fishery Products Supply Chain Using Mixed Integer Linear Programming Method
 Author(s): Nurdin Nurdin, Taufiq Taufiq, Bustami Bustami, Marleni Marleni, Khairuni Khairuni
 8 9 378-392
[PDF](#)

Analysis of End-to-End Delay Video Conferencing Services on a Mobile Ad Hoc Network
 Author(s): Riklan Kango, Nurwahidah Jamal, Mohamad Ilyas Abas
 3 5 393-402
[PDF](#)

5G NR Network Planning Analysis using 700 Mhz and 2.3 Ghz Frequency in The Jababeka Industrial Area
 Author(s): Achmad Kirang, Alfin Hikmaturokhan, Khoirun Niramah
 6 11 403-413
[PDF](#)

Design and Build 4G Open Radio Access Network at SmartLab Politeknik Negeri Jakarta
 Author(s): Lusi Damayanti, Damelia Panggabean, Sheren Regina Pingkan, Asri Wulandari, Alfin Hikmaturokhan, Adhi Hidayatullah
 8 25 414-423
[PDF](#)

Bandwidth Enhancement of 2x1 Microstrip Array Antena Using Slit Technique for Wireless Communication System
 Author(s): Erby Virta Joseph Paays, Syah Alam, Indra Sujati
 5 7 424-433
[PDF](#)

Identification of Floods in Palembang Area Using Fuzzy Logic Method of Mamdani and Sugeno
 Author(s): Ade Sukmawati, Lemi Iryana, Pandi Adriansyah, Lucky Indra Kesuma
 15 13 434-444
[PDF](#)

Measuring Information System-Based Village Administration Service Performance Using Boundary Value Analysis Techniques
 Author(s): Dodik Arwin, DYAHAYU, Hafiz Rizqon Adinata
 3 9 445-457
[PDF](#)

Implementation of Link Failover on Metronet Network PT. Telkom Indonesia (Persero) Based on Ipv4 and OSPF
 Author(s): Yosy Rahmawati, Nabila Mutiara Anjani
 2 7 458-472
[PDF](#)

Android-based Rooftop Solar Power Plant Capacity Calculator Application Development
 Author(s): Olines, Muhammad Dominique Mendoza, Denny Haryanto Sinaga, Christin Emiati Panjaitan
 8 9 473-483
[PDF](#)

Optimization of Support Vector Machine and XGBoost Methods Using Feature Selection to Improve Classification Performance
 Author(s): Doni - Andriansyah, Eka Wulansari Fridayanthie
 14 19 484-493
[PDF](#)

Application Of The Backpropagation Method For Digital Image Feature Extraction On Coffee Fruit Classification
 Author(s): Riduan Syahri, Desi Puspita
 15 6 494-505
[PDF](#)

Applications For Detecting The Rate Of Fruit In Mangrove Plants
 Author(s): Sharfina Faza, Meyatul Husna, Ajulio Paddy Sembiring, Rina Anugrahwati, Silmi, Romi Fadillah Rahmat, Rhama Permadi Ahmad
 10 8 506-514
[PDF](#)

Web-Based Online Queuing Information System at the Lendang Nangka Health Center
 Author(s): Muhammad Zamroni Uska, Yosi Nur Kholisho, Jamaludin, Rasyid Hardi Wirasasmita
 17 14 515-525
[PDF](#)

Development of Decision Support Applications for Granting Mortgages using the Fuzzy-Weighted Product method
 Author(s): Nadiva Ramandani, Addin Aditya, Febry Eka Purwiantono
 4 8 526-537
[PDF](#)

Red Onion Customer Relationship Management System Business Process Design Using BPR LC Method
 Author(s): Aditya Rahman, Ika Novita Dewi, Farrikh Alzami, Kukul Biyantama, Muhammad Rizal Nurcahyo, Filmada Ocky Saputra, Rindra Yusianto, Mila Sartika, Firman Wahyudi
 12 9 538-547
[PDF](#)

Business Process Design With BPR Life Cycle in Fertilizer Provision
 Author(s): Ghina Anggun, Farrikh Alzami, Mila Sartika, Sri Handayani, Jumanto, Rindra Yusianto, Firman Wahyudi
 11 11 548-558
[PDF](#)

Business Process Reengineering for Red Onion E-Commerce System
 Author(s): Muhammad Noufal Baihaqi, Candra Irawan, Farrikh Alzami, Mila Sartika, Sri Handayani, Jumanto, Rindra Yusianto, Pulung Nuriantyo Andono
 19 10 559-569
[PDF](#)

Development of Engineering Vocational Choice Systems in Higher Education
 Author(s): esa sabrina, Muhammad Anwar, Hansi Effendi, Resmi Darni
 7 7 570-578
[PDF](#)

Development of Interactive Learning Media in Computer Subjects and Basic Networks in Vocational High Schools
 Author(s): Islapirna Islapirna, Fadhilah, Yeka Hendriyani, Wakhinuddin
 10 11 579-586
[PDF](#)

Analysis Of Variation In The Number Of MFCC Features In Contrast To LSTM In The Classification Of English Accent Sounds
 Author(s): Afriandy Sharif, Opim Salim Sitompul, Erna Budhiarti Nababan
 10 8 587-601
[PDF](#)

Optimization of Faster R-CNN to Detect SNI Masks at Mandatory Mask Doors
 Author(s): Marah Doly Nasution, Al-Khowarizmi Al-Khowarizmi, Halim Maulana
 11 13 602-611
[PDF](#)

Modeling Of Generator Neutral Ground System Using Labview 2017 Application IEEE std C62.92.2TM
 Author(s): Muhammad fadlan siregar, Ayu Fitriani, Syafrivel, Catra Indra Cahyadi, M. Fitra Zambak, Suprianto
 19 13 612-620
[PDF](#)

Performance Evaluation Of Variations Boosting Algorithms For Classifying Formalin Fish From Photos
 Author(s): Fadlisyah Fadlisyah, Muhathir Muhathir
 19 14 621-629
[PDF](#)

VIEW ALL ISSUES

Language: English

FOCUS AND SCOPE JOURNAL

AUTHOR GUIDELINES

EDITORIAL TEAM

VISITOR STATISTIC

CONTACT US

REVIEWER

AUTHOR FEE

PUBLICATION ETHICS

PLAGIARISM POLICY



STATISTIC

88172938

View My Stats



HOME / Editorial Team

Editorial Team

Editor In Chief

Muhathir Muhathir, Universitas Medan Area, Indonesia

Manager Editor

Arief Goeritno, S.T., M.T, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia

Dr. J.N.V.R. Swarup Kumar, National Institute of Technology Kurukshetra, Kurukshetra, India

Irwan Prasetya Gunawan, Ph.D, Department of Informatics, Faculty of Engineering and Computer Science, Universitas Bakrie, Indonesia

Mehdi Gheisari, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Ata Jahangir Moshayedi, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, China

Section Editor

Rizki Muliono, Universitas Medan Area, Indonesia

Nurul Khairina, Universitas Medan Area, Indonesia

Fadlisyah Fadlisyah, Universitas Malikussaleh

Juanda Hakim Lubis, Universitas Medan Area, Indonesia

Fadhillah Azmi, UNIVERSITAS PRIMA INDONESIA, Indonesia

Zulfikar Sembiring, Universitas Medan Area, Indonesia

Susilawati Susilawati, Universitas Medan Area

Defri Hamdana, Universitas Malikussaleh

Muhammad Hamidi, Akademi Maritim Belawan

Rahmat Widadi, S.Pd., M.Eng, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Reyhan Achmad Rizal, ST., M.Kom, UNIVERSITAS PRIMA INDONESIA, Indonesia

Language: English

FOCUS AND SCOPE JOURNAL

AUTHOR GUIDELINES

EDITORIAL TEAM

VISITOR STATISTIC

CONTACT US

REVIEWER

AUTHOR FEE

PUBLICATION ETHICS

PLAGIARISM POLICY



STATISTIC

00172060 View My Stats



OFFICIAL WEBSITE OF UMA OPEN ACCESS JOURNALS

The UMA Open Access Journals provides quality journal publication services to documenting and preserving scientific article from the results of your research.

CONTACT US

- Phone, 082369659185
Mail, jite@uma.ac.id
Web, https://ojs.uma.ac.id/index.php/jite

INFORMATION

- For Authors
For Readers
For Librarians

SHARE & FOLLOW



HOME / Reviewer

REVIEWER

Reviewer

Dr.Malek Al-Nawashi, Al-Balqa Applied University, Al Salt, Jordan

Roheen Qamar, Quaid-e-Awam University of Engineering, Nawabshah, Pakistan

Prof. Dr. Dadan Ramdan M.Eng. M.Sc., Universitas Medan Area, Indonesia

Dr.nat.techn. Weksi Budiaji, S.Si, M.Sc, Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Anggara Trisna Nugraha, Prodi D4 Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Edy Victor Haryanto, Universitas Potensi Utama

Suherman Ph.D, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Arif Ridho Lubis, Politeknik Negeri Medan, Indonesia

Alfian Ma'arif, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

Ali Ibrahim, Prodi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya, Indonesia

Vivi Nur Wijayaningrum, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Bengawan Alfaresi, S.T, M.T, IPM, Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia

Muhammad Arhami, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Indonesia

Purnawarman Musa, Gunadarma University, Indonesia

Dodi Siregar, Universitas Harapan Medan, Indonesia

Anjar Wanto, STIKOM Tunas Bangsa, Pematangsiantar, Indonesia

Oman Somantri, Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia

Addin Aditya, STIKI Malang

Jani Kusanti, Universitas Surakarta

Adil Setiawan, Universitas Potensi Utama

Desi novianti, MT, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia

Agustinus Fritz Wijaya, S.Kom., M.Cs, Program Studi S1 Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Satya Wacana

Dr Heshalini Rajagopal, ICSDI, UCSI University, Malaysia

Kurnia Paranita Kartika Riyanti, S.ST, MT, Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Riklan Kango, ST., M.T, Prodi Teknik Elektronika, Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan

Eka Pandu Cynthia, S.T., M.Kom, Prodi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau

Joko Kuswanto, M. Kom, Prodi Informatika, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Baturaja

Mudafiq Riyan Pratama, M.Kom, Politeknik Negeri Jember

Dr. Soetam Rizky Wicaksono, Prodi Sistem Informasi Universitas Ma Chung

Ina Sholihah Widiati, M.Kom, Prodi Informatika, STMIK Amikom Surakarta

Petrus Kerowe Goran.S.T.,M.T, Prodi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Indonesia

Iwan Adhichandra, ST, M.Sc, Prodi Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Indonesia

Ghulam Asrofi Buntoro, S.T., M.Eng, Prodi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Univeritas Muhammadiyah Ponorogo, Indonesia

Agustinus Suradi, S.Kom, M.Kom, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Widya Dharma, Indonesia

Teguh Arifianto, S.Kom., M.T, Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Indonesia

Rahmad Hidayat, ST, MT, Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Indonesia

Muhammad Zamroni Uska, M.Kom, Prodi Pendidikan Informatika, Fakultas MIPA, Universitas Hamzanwadi, Indonesia

Language: English

FOCUS AND SCOPE JOURNAL

AUTHOR GUIDELINES

EDITORIAL TEAM

VISITOR STATISTIC

CONTACT US

REVIEWER

AUTHOR FEE

PUBLICATION ETHICS

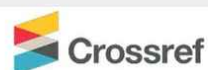
PLAGIARISM POLICY



STATISTIC

00172061

View My Stats

OFFICIAL WEBSITE OF
UMA OPEN ACCESS JOURNALS

The UMA Open Access Journals provides quality journal publication services to documenting and preserving scientific article from the results of your research.

CONTACT US

Phone: 082369659185
Mail: jite@uma.ac.id
Web: <https://ojs.uma.ac.id/index.php/jite>

INFORMATION

For Authors
For Readers
For Librarians

SHARE & FOLLOW





JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v6i2.7537

Received: 01 July 2022

Accepted: 17 January 2023

Published: 25 January 2023

Design and Build 4G Open Radio Access Network at SmartLab Politeknik Negeri Jakarta

Lusi Damayanti¹⁾ *, Damelia²⁾, Sheren Regina³⁾, Asri Wulandari⁴⁾, Alfin Hikmaturokhman⁵⁾ & Adhi Hidayatullah⁶⁾

1,2,3,4) Prodi Broadband Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

5) Prodi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Indonesia

6) Network Arsitektur & Desain, PT. Telekomunikasi Seluler (Telkomsel), Indonesia

*Corresponding Email: lusi.damayanti.te18@mhs.wpnj.ac.id

Abstrak

Peralihan model pengembangan RAN (*Radio Access Network*) dari model konvensional menuju *Open RAN* dilatarbelakangi karena *Open RAN* menghadirkan layanan baru dengan mengurangi CAPEX (*Capital Expenditure*) dan memiliki kemampuan mengintegrasikan semua teknologi seluler dalam satu server. Teknologi seluler yang dapat dikembangkan menggunakan *Open RAN* yaitu salah satunya jaringan 4G LTE. Jaringan 4G LTE menghasilkan internet dengan *data rate* yang tinggi sistem *latency* yang rendah. Berbagai implementasi *use case* dapat dilakukan, misalnya untuk mendukung pembelajaran di kampus. Pada penelitian ini, pengembangan *Open RAN* 4G diimplementasikan sebagai *use case* untuk membangun SmartLab Politeknik Negeri Jakarta yang menghasilkan jaringan seluler tersendiri. Pentingnya penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui performansi jaringan *Open RAN* 4G dengan menggunakan skenario *Centralized RAN*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari identifikasi masalah, menentukan *tools* yang digunakan, menentukan skenario implementasi, melakukan konfigurasi, dan melakukan pengujian performansi jaringan. Parameter yang diukur untuk menguji performansi jaringan adalah kecepatan *downlink uplink*, nilai RSRP, dan nilai SINR. Berdasarkan skenario yang telah dijalankan, diperoleh hasil bahwa jaringan *Open RAN* 4G memiliki performansi kecepatan *downlink* maksimal sebesar 13.6 Mbps, kecepatan *uplink* maksimal sebesar 7.22 Mbps, SINR maksimal sebesar 22 dB, RSRP sebesar -200 dBm, serta maksimal jangkauan yang dapat dicapai yaitu 5 meter.

Kata Kunci: 4G LTE, *Open RAN*.

Abstract

The transition of RAN (*Radio Access Network*) development from the conventional model to *Open RAN* is motivated by the fact that *Open RAN* presents new services by reducing CAPEX (*Capital Expenditure*) and has the ability to integrate all cellular technologies in one server. One of cellular technology that can be developed using *Open RAN* is 4G LTE networks. The 4G LTE network produces internet with high data rate and low latency system. Various use case implementations can be carried out, for example to support learning on campus. In this study, the development of *Open RAN* 4G is implemented as a use case to build the Jakarta State Polytechnic SmartLab which produces its own cellular network. The importance of this research is to be able to ascertain the performance of the *Open RAN* 4G network using a *Centralized RAN* scenario. The method used in this research consists of knowing the problem, determining the tools used, determining the implementation scenario, configuring, and testing network performance. Parameters measured to test network performance are uplink downlink speed, RSRP value, and SINR value. Based on the scenarios that have been executed, the results show that the *Open RAN* 4G network has a maximum downlink speed performance of 13.6 Mbps, a maximum uplink speed of 7.22 Mbps, a maximum SINR of 22 dB, an RSRP of -200 dBm, and a maximum range that can be reached is 5 meters.

Keywords: 4G LTE, *Open RAN*.

How to Cite: Damayanti, L., Damelia, D., Regina, S., Wulandari, A., Hikmaturokhman, A., & Hidayatullah, A. (2023). Design and Build 4G Open Radio Access Network at SmartLab Politeknik Negeri Jakarta. *JITE (Journal Of Informatics And Telecommunication Engineering)*, 6(2), 414-423.

I. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi telah berkembang dan bertransformasi dalam dua dekade terakhir untuk mengakomodasi inovasi teknologi yang bervariasi. Saat ini model pengembangan RAN (Radio Access Network) masih menggunakan model konvensional dimana software dan hardware yang dikembangkan menggunakan vendor yang sama. Hal ini menyebabkan adanya keterikatan pada salah satu vendor sehingga menyebabkan mahalnya proses pengembangan RAN. Open RAN menghadirkan layanan baru dengan mengurangi CAPEX (Capital Expenditure) dibandingkan RAN konvensional karena Open RAN memiliki kemampuan untuk memberikan layanan yang tidak tergantung pada salah satu vendor saja. Artinya Open RAN dapat mengintegrasikan semua teknologi seluler dalam satu Server atau dapat berupa Virtual Server.

Teknologi seluler yang dapat dikembangkan menggunakan Open RAN yaitu salah satunya jaringan 4G LTE. Jaringan 4G LTE menghasilkan internet dengan data rate yang tinggi dan sistem latency rendah sehingga dapat memberikan konektivitas tanpa batas antara pengguna tanpa adanya gangguan layanan pada saat penggunaan (Magfurlah et al., 2018). Berbeda dengan sistem seluler generasi sebelumnya di mana fungsi jaringan secara tradisional dioperasikan berdasarkan hardware khusus, infrastruktur jaringan Open RAN dilakukan secara virtualisasi dan layanannya disediakan berdasarkan perangkat lunak software dan hardware umum.

Penelitian terdahulu oleh Wypiór, dkk (2022) yang berjudul "Open RAN—Radio Access Network Evolution, Benefits and Market Trends" dimotivasi oleh relatif sedikitnya studi tentang arsitektur Open RAN yang dapat ditemukan dalam literatur dan disertai dengan besarnya investasi dalam pengembangan solusi Open RAN. Tujuan penulis dalam penelitian tersebut adalah menyajikan lanskap Open RAN dan tren Open RAN untuk mengenali prospek saat ini dan yang akan datang dalam penerapan jaringan 5G. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa tidak mudah bagi greenfield suppliers untuk mengimplementasikan semua fitur canggih yang mana saat ini dikembangkan oleh brownfield vendors. Oleh karena itu, cakupan atau kapasitas sel tidak dapat dipastikan akan mudah dipertahankan saat beralih ke Open RAN. Sebelum memperkenalkan teknologi baru, operator jaringan seluler tentunya harus menguji dan memverifikasinya di laboratorium dan uji coba skala besar (Wypiór et al., 2022).

Penelitian terdahulu yang berjudul "A Comprehensive Tutorial on How to Practically Build and Deploy 5G Networks Using Open-Source Software and General-Purpose, Off-the-Shelf Hardware" oleh Iqbal dan Hamamreh (2021) dimotivasi oleh banyak fitur dan manfaat yang dimungkinkan oleh Open RAN, terdapat banyak langkah-langkah yang komprehensif bagi individu atau perusahaan untuk dapat secara praktis membangun dan menggunakan jaringan 5G menggunakan perangkat lunak open source dan perangkat keras commercial off-the-shelf. Penelitian tersebut mengilustrasikan secara rinci bagaimana jaringan 4G/5G dapat disimulasikan dan dibangun secara praktis dengan srsRAN dengan ZMQ dan srsRAN dengan LimeSDR dan Raspberry Pi 4 (Iqbal & Hamamreh, 2021), namun hasil pengujian performansi Open RAN yang dibangun tidak ditampilkan dalam penelitian ini.

Implementasi Open RAN pada penelitian ini dilakukan menggunakan dua platform open source, yaitu srsRAN dan Open5GS untuk mengaktifkan layanan private network yang berbasis 4G. Setelah implementasi, performansi jaringan Open RAN 4G akan diuji menggunakan G-NetTrack dan Speedtest. Dengan adanya pengembangan Open RAN 4G yang bisa mendukung pembelajaran di kampus, maka dapat dilakukan berbagai implementasi use case dari teknologi baru tersebut, salah satunya yaitu yang dilakukan oleh Prodi Broadband Multimedia (BM) di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) berupa pembangunan SmartLab, yang akan memanfaatkan teknologi Open RAN ini untuk menghasilkan jaringan seluler sendiri khususnya jaringan 4G LTE. Manfaat yang diharapkan adalah dapat digunakan untuk pertukaran informasi melalui akses internet serta mengembangkan penelitian terkait Open RAN di PNJ. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka akan dilakukan pengimplementasian jaringan Open RAN 4G pada SmartLab di Prodi Broadband Multimedia, Politeknik Negeri Jakarta.

II. STUDI PUSTAKA

A. Jaringan 4G LTE

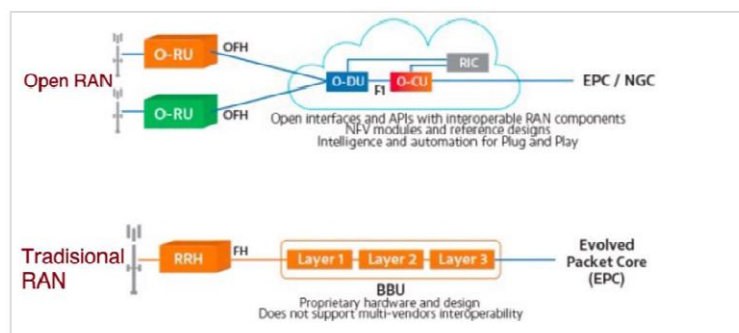
LTE (Long Term Evolution) adalah jaringan akses radio evolusi jangka panjang keluaran dari 3GPP (The Third Generation Partnership Project) yang merupakan teknologi all-IP yang memfokuskan diri pada layanan Packet Switched (PS). Dengan kecepatan downlink hingga 300 Mbps dan uplink 75 Mbps,

LTE dijadikan standar komunikasi nirkabel yang berbasis jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA untuk perangkat komunikasi bergerak. Selain itu, LTE mampu mendukung aplikasi yang secara umum terdiri dari voice, data, video dan termasuk juga IPTV (Magfurrillah et al., 2018).

Sejak awal pengembangan teknologi, LTE memiliki ketersediaan jaringan transmisi yang memadai untuk mengintegrasikan sistem jaringan seluler yang bersifat end-to-end karena didukung oleh fiberisasi jalur serat optik yang membuat terjaminnya ketersediaan jaringan. Ketersediaan jaringan LTE dapat dirasakan pada sisi pelanggan, sehingga dalam mengoptimalkan kecepatan akses di sisi pelanggan rumahan, PT Telekomunikasi Seluler Indonesia meluncurkan layanan LTE Home berbasis modem CPE yang bisa mengantarkan komunikasi pita lebar standar LTE. LTE Home merupakan layanan teknologi wireless broadband yang berbasis teknologi 4G LTE. LTE Home bekerja berdasarkan konsep penguat sinyal dari tower pemancar LTE (Wulandari et al., 2019). Namun, teknologi ini memiliki kelemahan karena tidak dapat memancarkan sinyal sendiri, sehingga penelitian ini mengusulkan rancang bangun jaringan Open RAN untuk membangun jaringan tersendiri yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan SmartLab Politeknik Negeri Jakarta.

B. Open RAN (Radio Access Network)

Open RAN adalah konsep yang didasarkan pada interoperabilitas dan standarisasi elemen RAN untuk hardware dan software yang bersifat Open source dari vendor yang terbuka. Pada Open RAN (Open Radio Access Network) dijelaskan bahwa antarmuka antara BBU dan RRU / RRH adalah antarmuka terbuka (Open interface), sehingga perangkat lunak dari vendor mana pun dapat bekerja pada RRU/RRH yang terbuka. Selain itu, terdapat pemisahan perangkat keras dan perangkat lunak yaitu perangkat keras RRU/RRH menjadi perangkat keras berbasis GPP (General Purpose Processing) atau COTS (Commercial Off The Shelf) yang dapat dibeli dari vendor (Jordan, 2022).



Gambar 1. Arsitektur *Open RAN* Vs Tradisional RAN
Sumber: (Sevinka et al., 2021)

Perbedaan Open RAN dibandingkan dengan RAN Tradisional yaitu Open RAN tidak terikat pada satu vendor melainkan bisa menggunakan beberapa vendor dikarenakan bersifat Open interface sehingga biaya yang digunakan lebih murah dibandingkan dengan RAN Tradisional (Sevinka et al., 2021). Open RAN yang bersifat Open source memungkinkan mengatasi permasalahan teknologi 4G LTE yang tidak dapat memancarkan sinyal sendiri untuk dipakai oleh user. User dapat terkoneksi langsung ke sistem jaringan yang dibuat secara sendiri. Perancangan jaringan Open RAN membutuhkan komponen perangkat keras dan lunak. Penelitian terdahulu melakukan perancangan Open RAN menggunakan komponen hardware USRP N20-eNB sebagai radio pemancar sinyal berbasis Software Define Radio (SDR) yang bertindak sebagai perangkat keras eNodeB operator seluler yang menyediakan layanan 4G LTE (Shodikin, 2021). Sedangkan pada penelitian ini akan menggunakan komponen hardware LimeSDR sebagai eNodeB untuk memancarkan sinyal. Selain hardware, diperlukan juga komponen software. Dalam pengembangan jaringan Open RAN, software bertindak sebagai radio dan core.

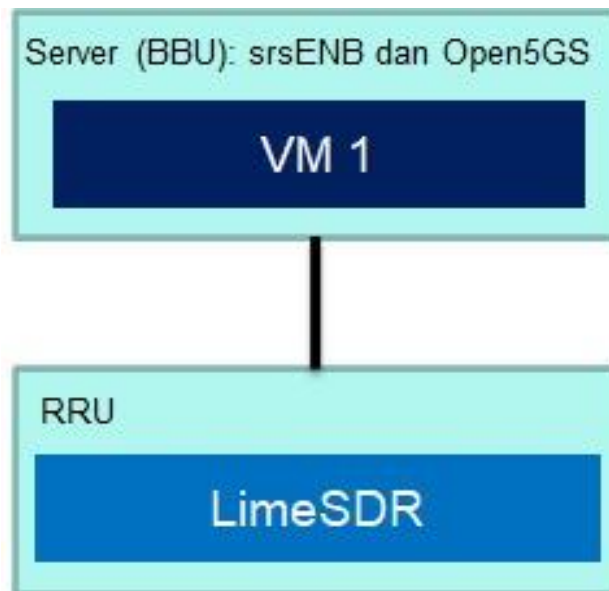
Saat ini, akademisi dan lembaga penelitian dapat memanfaatkan platform open source RAN, seperti srsRAN, OAI, dan OSC, untuk memberikan solusi atas tantangan yang dihadapi industri dalam teknologi RAN. Perangkat lunak open source RAN tidak digunakan untuk produk komersial. Open source dapat digunakan sebagai referensi desain atau proof of concept. Namun, dengan munculnya platform perangkat lunak open source RAN, kita dapat mulai melihat penggunaan perangkat lunak open source dalam produk Open RAN komersial (Azariah et al., 2022).

srsRAN adalah software radio 4G dan 5G yang bersifat Open source dan gratis. srsRAN menampilkan UE dan eNodeB/gNodeB yang dapat digunakan melalui third party sebagai solusi jaringan untuk membangun jaringan nirkabel seluler yang bersifat end to end. srsENB diimplementasikan seluruhnya sebagai base station LTE eNodeB dalam perangkat lunak yang berjalan pada sistem operasi standar berbasis Linux (srsRAN Documentation, 2019). Open5GS merupakan software yang bertindak sebagai sisi core jaringan Open RAN. Open5GS adalah software Open source dari bahasa pemrograman C yang diimplementasikan untuk 5G core dan EPC, yaitu core network dari LTE/NR network. Open5GS digunakan untuk mengkonfigurasi jaringan NR/LTE yang bersifat private network sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan pengembangan jaringan Open RAN 4G tersendiri (Open5GS Documentation, 2022).

III. METODE PENELITIAN

A. Metodologi

Inti dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan Open RAN 4G dengan mempertimbangkan parameter untuk mengukur kinerja dan kehandalan jaringan berdasarkan jangkauan maksimum jaringan Open RAN. Parameter yang diukur dan dianalisa adalah kecepatan downlink dan uplink, serta nilai RSRP dan SINR. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan berdasarkan skenario perancangan jaringan, yaitu dengan menggunakan skenario Centralized RAN yang dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

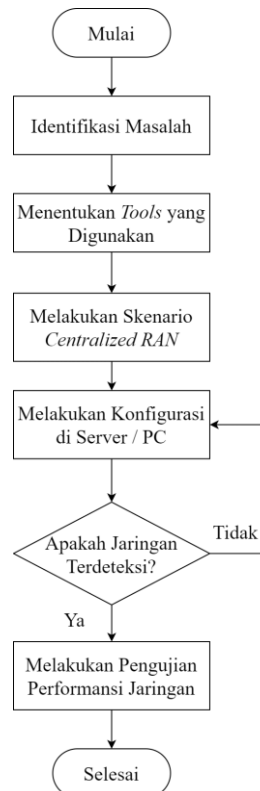


Gambar 2. Diagram Blok Skenario *Centralized RAN*

RAN memiliki dua fungsi utama yaitu Baseband Unit (BBU) dan Remote Radio Unit (RRU). BBU mempunyai fungsi pengolahan sinyal, transport, pengontrolan dan sinkronisasi. BBU ini direpresentasikan oleh srsENB. Sedangkan, RRU mempunyai fungsi sebagai modulasi dan transcoding. Fungsi ini pada Open RAN direpresentasikan pada LimeSDR sebagai air interface antara BTS Open RAN dengan perangkat UE berupa handphone. Pada skenario Centralized RAN di atas, fungsi BBU terdapat pada server yang di-install srsENB dan Open5GS. Sedangkan, fungsi RRU terdapat pada LimeSDR. Dari server ini dapat ditarik kabel ke LimeSDR menggunakan port USB 3.0.

Aplikasi yang digunakan untuk pengambilan data performansi adalah dengan menggunakan aplikasi G-NetTrack dan Speedtest. G-NetTrack digunakan untuk mengukur nilai RSRP & SINR, sedangkan Speedtest digunakan untuk mengukur nilai kecepatan downlink & kecepatan uplink. Performansi nilai diukur terkait kualitas dan coverage dari jaringan Open RAN 4G. Dari hasil nilai performansi yang diperoleh, akan dilihat seberapa jauh jaringan Open RAN 4G dapat menjangkau user dan kecepatan akses downlink serta uplink saat proses pentransmisi.

Secara lengkap, metodologi yang dilakukan dalam melakukan perancangan dan implementasi jaringan Open RAN 4G adalah sebagai berikut:



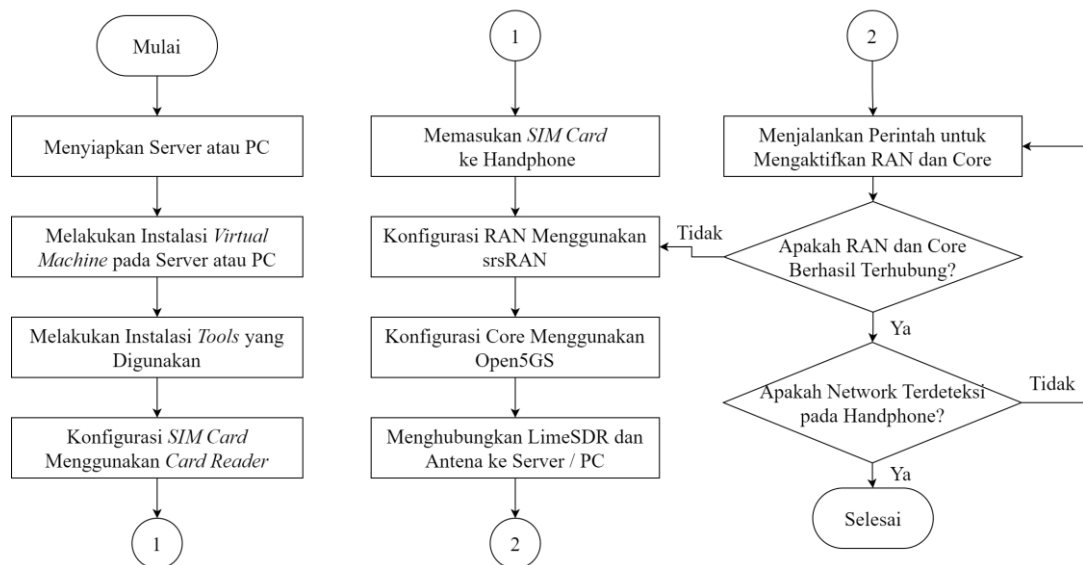
Gambar 3. Alur Perancangan Jaringan Open RAN 4G

Gambar 3 merupakan alur perancangan jaringan Open RAN 4G yang dijelaskan secara detail pada tahapan berikut:

1. Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi dalam melakukan implementasi jaringan *Open RAN* 4G sehingga dapat mengambil langkah selanjutnya.
2. Setelah dilakukan identifikasi masalah, tahap selanjutnya adalah menentukan *tools* yang digunakan untuk mengimplementasikan jaringan *Open RAN* 4G. *Tools* yang akan digunakan terdiri dari *software* dan *hardware*. *Software* yang digunakan yaitu *virtual machine* (Ubuntu 18.04), GRSIMwrite untuk mengkonfigurasi SIM Card, srsRAN sebagai sisi *Radio Access Network* (RAN), dan *Open5GS* sebagai sisi *Core network*. *Hardware* yang digunakan yaitu Server, PC, LimeSDR, Antena MIMO 4G LTE, *Blank SIM Card*, *Card Reader*, *Handphone*, dan *SD Card*.
3. Tahap selanjutnya adalah menentukan skenario yang dijalankan yaitu *Centralized RAN*. Penjelasan mengenai skenario ini telah dijelaskan pada diagram blok skenario *Centralized RAN*.
4. Pada skenario *Centralized RAN* dilakukan konfigurasi pada Server / PC sesuai dengan *tools* masing-masing yang digunakan.
5. Ketika konfigurasi skenario telah selesai, maka langkah selanjutnya adalah mendeteksi jaringan pada *handphone* dengan *SIM Card* yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Jika jaringan terdeteksi, maka dapat dilakukan pengujian performansi jaringan. Namun, jika jaringan tidak terdeteksi maka dilakukan pemeriksaan terhadap konfigurasi tersebut.
6. Tahap akhir setelah sisi RAN dan *Core* berhasil terhubung, maka selanjutnya dilakukan pengujian performansi jaringan *Open RAN* 4G. Dalam melakukan pengujian performansi menggunakan *Speedtest* dan *G-NetTrack* untuk mengukur dan menganalisa kecepatan akses internet dari jaringan *Open RAN* 4G yang telah dibuat.

B. Alur Pembuatan Jaringan Open RAN 4G pada Server atau PC

Alur pembuatan jaringan *Open RAN* 4G pada Server atau PC secara detail dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



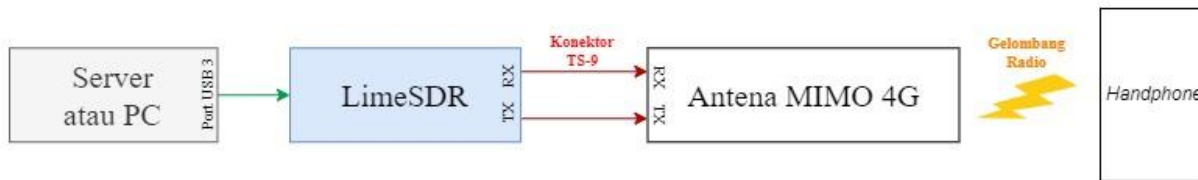
Gambar 4. Alur Pembuatan Jaringan Open RAN 4G pada Server / PC

Gambar 4 merupakan alur pembuatan jaringan *Open RAN* 4G pada Server / PC yang dijelaskan secara detail pada tahapan berikut:

1. Tahap pertama adalah menyiapkan Server / PC dengan mengkoneksikan menggunakan *Anydesk* atau *Secure Shell* (SSH) agar konfigurasi dapat dilakukan dengan *me-remote* Server.
2. Setelah Server / PC sudah siap, tahap selanjutnya adalah melakukan instalasi *virtual machine* menggunakan Ubuntu 18.04 sebagai *Operating System* (OS) pada Server / PC tersebut.
3. Instalasi *tools* yang digunakan dilakukan setelah proses instalasi *virtual machine* pada Server / PC selesai. *Tools* yang digunakan terdiri dari *SoapySDR* sebagai *driver* sisi RAN, *LimeSuite* sebagai *software* yang mendukung *hardware* LimeSDR, *srsRAN*, dan *Open5GS*.
4. Tahap berikutnya adalah melakukan konfigurasi *SIM Card* menggunakan *Card Reader* dan *software* *GRSIMwrite* dengan mengubah nilai *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI), *Key Identification* (KI), dan *Operator Key* (OPC).
5. *SIM Card* yang telah dikonfigurasi siap untuk dimasukkan ke dalam *handphone* yang akan digunakan untuk mendeteksi jaringan *Open RAN* 4G.
6. Untuk sisi RAN diperlukan konfigurasi terlebih dahulu menggunakan *srsRAN* karena *srsRAN* bersifat *Open source* sehingga dapat digunakan secara gratis untuk proses pengembangan jaringan *Open RAN* 4G.
7. Untuk sisi *Core* diperlukan konfigurasi terlebih dahulu menggunakan *Open5GS* karena *Open5GS* memiliki banyak fitur yang lebih baik daripada *srsEPC* untuk proses pengembangan *Core* yang mendukung jaringan 4G dan juga jaringan 5G.
8. Proses dilanjutkan dengan menghubungkan LimeSDR dan Antena MIMO 4G LTE ke Server / PC menggunakan *port* USB 3.0.
9. Setelah LimeSDR dan Antena MIMO 4G sudah terhubung dengan baik pada Server / PC, langkah selanjutnya adalah menjalankan perintah untuk mengaktifkan RAN dan *Core* agar dapat terkoneksi.
10. Apabila RAN dan *Core* berhasil terhubung, maka dapat dilakukan pengecekan apakah jaringan terdeteksi pada *handphone*. Namun jika RAN dan *Core* tidak berhasil terhubung, dilakukan pengecekan terhadap konfigurasi RAN dan *Core* tersebut.

- Tahap terakhir adalah melakukan pengecekan apakah jaringan *Open RAN 4G* yang sudah dibuat terdeteksi pada *handphone*, jika terdeteksi maka dapat dilakukan pengujian performansi jaringan, tetapi jika tidak terdeteksi maka dilakukan pengecekan terhadap perintah dalam menjalankan RAN dan *Core*.

Bentuk topologi jaringan yang dirancang untuk menganalisa dan mengevaluasi implementasi jaringan *Open RAN 4G* dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Rancangan Topologi Jaringan *Open RAN 4G*

Pada Gambar 5 di atas, terdapat beberapa komponen dalam topologi yang dirancang, yaitu:

- Server atau PC yang berfungsi sebagai *Baseband Unit* (BBU) untuk pemrosesan sinyal yang didalamnya terdiri dari *software srsENB* dan *Open5GS*. *srsENB* berperan sebagai eNodeB dan *Open5GS* sebagai *core*. Kedua *software* ini terhubung melalui IP yang sama pada *virtual machine*.
- LimeSDR yang berfungsi sebagai *software define radio* atau *air interface* antara BTS *Open RAN* dengan perangkat UE.
- Antena MIMO 4G yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang radio.
- Handphone* sebagai *client* yang berfungsi untuk mengukur kualitas layanan melalui *drive test*.
- Aplikasi G-NetTrack dan Speedtest yang digunakan untuk mengukur performansi jaringan *Open RAN 4G*.

C. Parameter Kinerja Pengujian Jaringan *Open RAN 4G*

Pengujian jaringan *Open RAN 4G* mencakup pengujian berdasarkan nilai kecepatan *downlink uplink*, RSRP, dan SINR, sehingga parameter kinerja dalam melakukan analisa performansi implementasi jaringan *Open RAN 4G* dengan skenario *Centralized RAN* dilakukan secara lengkap meliputi:

1. Parameter *Data Rate*

Data rate didefinisikan sebagai jumlah data yang dikirimkan selama periode waktu tertentu melalui jaringan. Data rate merupakan kecepatan pentransmisian data yang diukur dalam satuan Mbps.

2. Parameter RSRP

RSRP didefinisikan sebagai daya rata-rata yang diterima dari sinyal referensi dalam satuan dBm. RSRP merupakan parameter kuat sinyal yang berfungsi untuk mengetahui luas jangkauan antara site dan UE. Nilai RSRP yang akan digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter RSRP

Kategori	Range Nilai RSRP
Sangat bagus	$-85 < x < 0$
Bagus	$-95 \leq x < -85$
Normal	$-105 \leq x < -95$
Buruk	$-120 \leq x < -105$
Sangat Buruk	$-140 \leq x < -120$

3. Parameter SINR

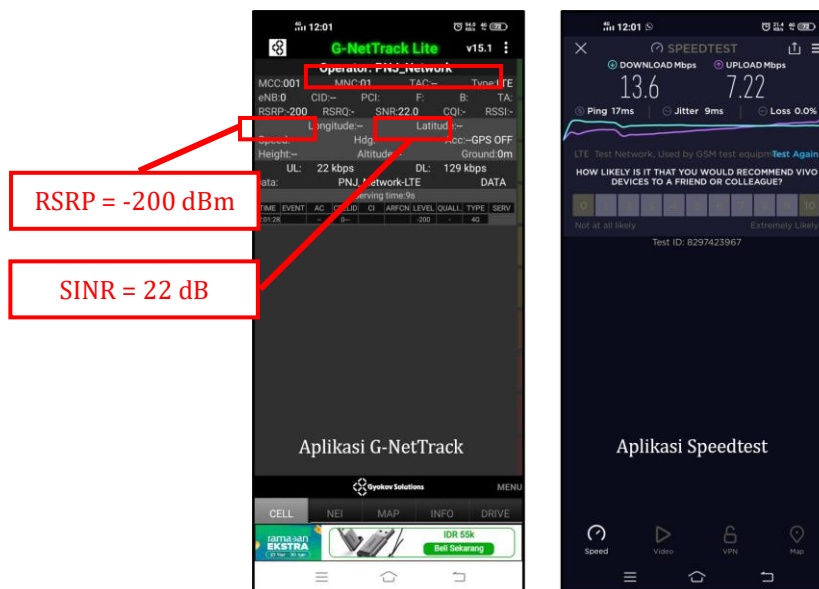
SINR (Signal to Interference Noise Ratio) didefinisikan sebagai rasio antara rata-rata power yang diterima dengan rata-rata interferensi dan noise. SINR merupakan kualitas sinyal yang diterima berupa daya interferensi dan daya noise yang mempengaruhi saat pengiriman atau penerimaan data yang dilakukan oleh user. Nilai RSRP yang akan digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Parameter SINR

Kategori	Range Nilai SINR
Sangat Bagus	$20 < x < 40$
Bagus	$10 \leq x < 20$
Normal	$0 \leq x < 10$
Buruk	$-5 \leq x < 0$
Sangat Buruk	$-40 \leq x < -5$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metodologi, pengecekan konektivitas jaringan *Open RAN 4G* pada *handphone* dilakukan menggunakan 2 aplikasi sebagai pengujian performansi jaringan *Open RAN 4G* yaitu G-NetTrack dan Speedtest. G-NetTrack digunakan untuk mengukur nilai RSRP & SINR, sedangkan Speedtest digunakan untuk mengukur nilai kecepatan *downlink* & kecepatan *uplink*. Hasil pengukuran performansi jaringan *Open RAN 4G* tampak seperti pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Konektivitas Jaringan *Open RAN 4G* pada *Handphone*

Terlihat pada Gambar 6 bahwa jaringan *Open RAN 4G* telah terkoneksi pada *handphone* dengan nama operator "*PNJ_Network*". Kemudian hasil Speedtest menunjukkan nilai kecepatan *download* sebesar 13.6 Mbps dan nilai kecepatan *upload* sebesar 7.22 Mbps.

Selanjutnya untuk melakukan pengukuran nilai kecepatan *downlink*, kecepatan *uplink*, RSRP, SINR, dan apakah koneksi jaringan *Open RAN 4G* tersebut dapat digunakan untuk melakukan *video call* menggunakan WhatsApp yang terdiri dari 3 skenario pengujian yaitu:

1. **Skenario Pengujian 1** : Mengukur nilai kecepatan *downlink* dan *uplink* berdasarkan jarak tiap 1 meter.
2. **Skenario Pengujian 2** : Mengukur nilai RSRP dan SINR berdasarkan jarak tiap 1 meter.
3. **Skenario Pengujian 3** : Mengukur keberhasilan dalam melakukan *video call* menggunakan WhatsApp berdasarkan jarak tiap 1 meter.

Secara lengkap hasil pengujian berdasarkan dari masing-masing skenario tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

A. Hasil Pengujian 1

Hasil pengujian 1 terdiri dari pengukuran nilai kecepatan *downlink* dan *uplink* menggunakan aplikasi Speedtest berdasarkan jarak tiap 1 meter yang ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian 1 Performansi Jaringan *Open RAN 4G*

Jarak (m)	Speedtest DL (Mbps)	Speedtest UL (Mbps)
0	13.6	7.22
1	11.9	3.99
2	5.37	1.18
3	2.53	1.44
4	0.49	1.00
5	0.43	0
6	-	-

Dari Tabel 3 di atas terlihat bahwa pada jarak 0 m, nilai kecepatan *downlink* sebesar 13.6 Mbps dan nilai kecepatan *uplink* sebesar 7.22 Mbps. Kecepatan *downlink* dan *uplink* ini seiring bertambahnya jarak akan semakin kecil nilainya. Kecepatan terkecil dicapai pada jarak 5 m yaitu dengan nilai kecepatan *downlink* sebesar 0.43 Mbps dan nilai kecepatan *uplink* sebesar 0 Mbps. Kemudian pada jarak 6 m sudah tidak terbaca kecepatan pada Speedtest baik *downlink* maupun *uplink*. Hal ini menunjukkan jarak jangkauan terjauh jaringan *Open RAN 4G* yaitu pada jarak 5 m.

B. Hasil Pengujian 2

Hasil pengujian 2 terdiri dari pengukuran nilai RSRP dan SINR menggunakan aplikasi G-NetTrack berdasarkan jarak tiap 1 meter yang ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian 2 Performansi Jaringan *Open RAN 4G*

Jarak (m)	SINR (dB)	RSRP (dBm)
0	22	-200
1	13	-200
2	7	-200
3	0	-200
4	-1	-200
5	-3	-200
6	-	-

Dari Tabel 4 di atas terlihat bahwa pada jarak 0 m, nilai SINR sebesar 22 dB. Nilai SINR ini tergolong “sangat bagus” karena sesuai dengan standar nilai KPI SINR yaitu antara 20 dB sampai 40 dB. Untuk nilai RSRP pada jarak 0 m sebesar -200 dBm. Nilai RSRP ini tergolong “sangat buruk” karena sesuai dengan standar nilai KPI RSRP yaitu < -120 dBm. Kemudian terlihat juga nilai SINR ini seiring bertambahnya jarak akan semakin kecil nilainya. Walaupun jaringan *Open RAN 4G* ini memiliki *coverage* yang sangat buruk, tetapi memiliki nilai kualitas yang sangat bagus. Hal ini ditandai dengan jarak yang dapat dijangkau tidak lebih dari 5 meter.

C. Hasil pengujian 3

Hasil pengujian 3 terdiri dari pengukuran keberhasilan dalam melakukan *video call* menggunakan WhatsApp berdasarkan jarak tiap 1 meter yang ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian 3 Performansi Jaringan *Open RAN 4G*

Jarak (m)	Video Call WhatsApp
0	Berhasil
1	Berhasil
2	Berhasil
3	Berhasil
4	Berhasil
5	Berhasil
6	Tidak Berhasil

Dari Tabel 5 di atas terlihat bahwa pada jarak 0 m sampai 5 meter, berhasil melakukan video call menggunakan WhatsApp. Namun pada jarak 6 m sudah tidak berhasil melakukan video call, hal ini menunjukkan jarak jangkauan terjauh jaringan Open RAN 4G yaitu pada jarak 5 m.

Secara keseluruhan, jaringan Open RAN 4G dengan antenna MIMO sebagai pemancar sinyal memerlukan adanya repeater agar jaringan dapat bekerja secara non-LOS (Line of Sight), sehingga dapat digunakan dalam jarak yang cukup jauh. Konektifitas antara eNB dan core terkadang juga tidak stabil, yang ditandai ketika UE sudah berhasil terhubung ke eNB namun tidak ada pertukaran data yang terjadi. Selain itu, apabila terdapat dua IMSI yang akan terhubung ke jaringan, maka eNB tidak dapat menangkap kedua sinyal tersebut dan hanya dapat saling bergantian untuk bertukar/transfer data. Hal ini menandakan bahwa penelitian ini dapat dikembangkan menggunakan use case lainnya.

V. SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah setelah berhasil merancang dan mengimplementasikan jaringan Open RAN 4G, biaya yang digunakan pada Open RAN lebih murah dibandingkan dengan RAN Tradisional. Dikarenakan Open RAN bersifat Open interface yang tidak terikat pada satu vendor melainkan bisa menggunakan beberapa vendor. Berdasarkan data hasil penelitian, jaringan Open RAN 4G mampu menjangkau jarak maksimal 5 meter untuk tetap terkoneksi dengan handphone. Jaringan ini juga memiliki performansi kecepatan downlink maksimal sebesar 13.6 Mbps, kecepatan uplink maksimal sebesar 7.22 Mbps, SINR maksimal sebesar 22 dB, dan RSRP sebesar -200 dBm. Walaupun jaringan Open RAN 4G memiliki coverage yang sangat buruk, tetapi memiliki nilai kualitas yang sangat bagus. Hal ini ditandai dengan jarak yang dapat dijangkau tidak lebih dari 5 meter. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk melakukan perancangan menggunakan antenna dengan power yang lebih besar sehingga jarak yang dijangkau dapat sampai 10 meter atau lebih.

DAFTAR PUSTAKA

- Azariah, W., Bimo, F. A., Lin, C.-W., Cheng, R.-G., Jana, R., & Nikaein, N. (2022). A Survey on Open Radio Access Networks: Challenges, Research Directions, and Open Source Approaches. <http://arxiv.org/abs/2208.09125>
- Iqbal, S., & Hamamreh, J. M. (2021). A Comprehensive Tutorial on How to Practically Build and Deploy 5G Networks Using Open-Source Software and General-Purpose, Off-the-Shelf Hardware. *RS Open Journal on Innovative Communication Technologies*, 2(6). <https://doi.org/10.46470/03d8ffbd.4ccb7950>
- Jordan, E. (2022). Open RAN 101–Open RAN: Why, what, how, when? *RCR Wireless News*.
- Magfurlah, R. A., Elektro, J. T., Industri, F. T., & Indonesia, U. I. (2018). PERANCANGAN JARINGAN 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) 1800 MHz di KOTA MATARAM. In Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Open5GS Documentation. (2022). Introduction to Open5GS.
- Sevinka, S. Z., Wulandari, A., & Gilang, P. (2021). Analisis Implementasi Open RAN pada Jaringan 2G dan 4G di Frekuensi 900 MHz. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-VII*, 7(1), 34–41.
- Shodikin, M. (2021). Analisis Perancangan LTE Home Pada Jaringan 4G LTE Berbasis Open Radio Access Network. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(1). <https://doi.org/10.29303/jpmppi.v4i1.596>
- srsRAN Documentation. (2019). srsRAN 21.10 Documentation.
- Wulandari, A., Supriyanto, T., & Itsnan, M. (2019). Perancangan dan Analisa Implementasi LTE Home pada Jaringan 4G LTE di Frekuensi 2300 Mhz. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 5(1). <https://doi.org/10.32487/jst.v5i1.585>
- Wypiór, D., Klinkowski, M., & Michalski, I. (2022). Open RAN—Radio Access Network Evolution, Benefits and Market Trends. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/app12010408>