

COMPLETE

Journal of Computer, Electronic,
and Telecommunication

Vol.5 No.1 July 2024



JURNAL

KEMAJUAN TEKNIK
KOMPUTER, ELEKTRO, & TELEKOMUNIKASI

ISSN: 2723-4371 E-ISSN: 2723-5912



9 772723 437005

Telkom University

Jl. Telekomunikasi 1 Terusan Buah Batu, Bandung, Provinsi Jawa Barat, 40257
Email: journals@telkomuniversity.ac.id
Web: journals.telkomuniversity.ac.id/complete

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief:

Dr. Chaironi Latif, S.Si, *Telkom University, Indonesia*

Editorial Members:

Dr. Filbert Hilman Juwono, Xi'an Jiaotong-Liverpool University, China

Dr. M. V. Reddy, Hydro-Québec, Canada

Dr. Eng. Muhammad Abdillah, S.T., M.T., *Universitas Pertamina, Indonesia*

Dr. Isa Hafidz., ST., MT, *Telkom University, Indonesia*

Nisa Isrofi., ST., MT, *Telkom University, Indonesia*

Aulia Rahma Annisa, S.ST., M.T., *Telkom University, Indonesia*

Billy Montolalu, S.Kom., M.Kom., *Telkom University, Indonesia*

Peer Reviewers:

Dr. Purba Daru Kusuma, ST, MT, *Telkom University, Indonesia*

Dr. Susijanto Tri Rasmana, S.Kom., M.T, *Telkom University, Indonesia*

Mohamad Ridwan. ST., M.T., *Electronic Eng. Polytechnic Institute of Surabaya, Indonesia*

Rahmat Febrianto Wijanarko, *Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara, Indonesia*

Dimas Adiputra, ST., M.Phil, Ph.D, *Telkom University, Indonesia*

Anifatul Faricha, ST., M.Sc, Ph.D, *Telkom University, Indonesia*

Muhsin, ST., MT, Ph.D, *Telkom University, Indonesia*

Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication

Telkom University

Ketintang Str. No. 156, Surabaya, 60231, East Java, Indonesia

E-mail: complete@ittelkom-sby.ac.id;

Web: journal.ittelkom-sby.ac.id/complete

(This page is intentionally left blank)

TABLE OF CONTENTS

COVER PAGE

EDITORIAL TEAM	1
TABLE OF CONTENTS	3
ABOUT THE JOURNAL	5
PREFACE	7

ARTICLES

1. Analisis Tekno-Ekonomi Pada Perencanaan Jaringan 5G New Radio Frekuensi 2300 MHz di Kota Surabaya	9-22
2. Analisis Model kanal 5G terhadap Pengaruh Suhu dan Kelembaban pada Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz di Jawa Timur	23-34
3. Technical and Economic Analysis for 5G Nr Network Non-Standalone Planning In Yogyakarta City Using 2300 MHz Frequency	35-52
4. Rancang Bangun Buttler Matrix 4X4 Untuk Beamforming Antena Array Pada Aplikasi 5G	53-64
5. Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO Dengan Elemen Triangular pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi Sistem Komunikasi	65-74
6. Analisis Algoritma Music Untuk Deteksi Sudut Kedatangan Pada Perangkat Gunshot	75-86
7. Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Mesin E Fill Berbasis Anfis	87-98
8. Pengujian Performa Mesin E-FILL Dalam Proses Pengisian Air Pada Botol	99-110

(This page is intentionally left blank)

ABOUT THE JOURNAL

COMPLETE : Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication is an official journal of Telkom University. It publishes research or review articles in Computer, Electronic, and Telecommunication technology. This journal provides a platform for research lecturers, reviewers, practitioners, industry, and observers across Indonesia and overseas to promote, share, and discuss new issues and technology development. The scope of the journal includes:

- Technology utilization of maritime resources
- Strengthening infrastructure maritime
- Technology and management safety transportation
- Industrial strengthening technology transportation
- Supporting infrastructure and transportation system
- Operational efficiency
- Electronics Technology
- Telecommunication Technology
- Computer Technology
- System Security
- Advanced Robotics Technology
- Technology and disaster management
- Advanced Power Electronics
- Application of Power System
- Renewable Energy
- Chips Technology
- Sensor Technology
- Smart IoT Devices
- 5G Technology and Ecosystems
- Technology and management environment

COMPLETE published twice a year. Editors invite research lecturers, the reviewer, practitioners, industry, and observers to contribute to this journal. The language used in the form of Indonesian and English. All accepted manuscripts will receive individual digital object identifier (DOI) and indexed by Sinta, Arjuna, and Google Scholar. The online PDF version of the journal is open access from journal.ittelkom-sby.ac.id/complete. Subscription of the hard copy can be requested by email to complete@ittelkom-sby.ac.id.

(This page is intentionally left blank)

PREFACE

Welcome to the Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication, Vol. 5, Issue No. 1. It is my privilege and pleasure to present the fifth volume of this peer-reviewed journal under Telkom University. This journal aims to accommodate the results of research publications through national and worldwide journals as part of continuous improvement.

As the chairman of COMPLETE, I would like to thank many people who supported this journal, especially Research and Community Service Units (LPPM). Furthermore, as the editor-in-chief, I would like to extend my sincere thanks to all members of the editorial and the advisory boards from Telkom University, whose service, dedication, and commitment have made the creation of this journal possible. We work together to improve the quality and excellence of articles published continuously.

We hope that COMPLETE could deliver valuable and interesting information and stimulate further research to the worldwide telecommunications, electrical, and computer engineering communities.

Surabaya, July 2024

Editor-In-Chief of Journal

(This page is intentionally left blank)

Artikel

Analisis Tekno-Ekonomi Pada Perencanaan Jaringan 5G New Radio Frekuensi 2300 MHz di Kota Surabaya

Faria Utami^{1*}, Hamzah Ulinuha Mustakim², dan Arrizky Ayu Faradila Purnama³¹⁻³ Fakultas Teknik Elektro, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia* Korespondensi : fariautmi@student.telkomuniversity.ac.id

Received: 11 Februari 2024; Accepted: 29 Juli 2024; Published: 31 Juli 2024;

Abstrak: Surabaya yakni ibu kota dari Provinsi Jawa Timur yang dikenal dengan sebutan Kota Pahlawan. Sebagai kota kedua terbesar di Indonesia, Surabaya memiliki wilayah yang luas dengan populasi penduduk yang banyak. Perencanaan jaringan 5G *New Radio* dengan frekuensi sebesar 2300 MHz, mencakup teknis *coverage* dan *capacity*. supaya mengetahui kelayakan perencanaan jaringan 5G *New Radio* di Kota Surabaya, maka guna analisis ekonominya menggunakan skala *Capital Expenditure* (CAPEX), *Operational Expenditure* (OPEX), dan *Revenue* kemudian analisis ekonominya menggunakan *Net Present Value* (NPV), IRR, ROI, *Payback Period* (PP), Gross B/C dan Net B/C. Studi ini pada perencanaan *coverage* menghasilkan 325 *site* dan pada perencanaan *capacity* menghasilkan 88 *site*. Dari temuan simulasi perencanaan *coverage* kemudian diimplementasikan optimasi agar temuan yang didapatkan sesuai dengan standar 5G. temuan dari optimasi tersebut menghasilkan 119 *site* dengan hasil SS- RSRP sebesar -56,64 dBm, SS-SINR sebesar 24,43, dan *throughput* sebesar 280,307.82 kbps, pada perencanaan *capacity* dengan menggunakan 88 *site*, hasil sinyal SS-RSRP sebesar -58,01 dBm, rata-rata sinyal SINR sebesar 24,91 dB, dan *throughput* yang dihasilkan sebesar 283,966.91 kbps. Sedangkan temuan dari analisis ekonomi investasi CAPEX diperlukan sebesar -Rp. 8.843.133.240.480, dan *revenue* yang didapat pada setiap tahun selalu mengalami peningkatan sehingga NPV yang didapatkan bernilai positif, dan IRR, ROI, Net B/C, Gross B/C serta *payback period* dari pembangunan jejaring 5G di Kota Surabaya mampu kembali modal dalam waktu 3 tahun.

Kata Kunci: 5G *New Radio*; *Non Stand Alone*; Tekno-Ekonomi

1. Pendahuluan

Surabaya sebagai Kota Pahlawan adalah ibu kota dari Provinsi Jawa Timur dengan penggunaan data internet sebesar 47,10% pada tahun 2019 [1]. Sebagai salah satu kota kedua terbesar di Indonesia, Surabaya memiliki wilayah yang luas sebesar 52.087 Hektar, dengan populasi penduduk 3.157.126 Jiwa [2]. Karena wilayah yang luas dan strategis, Surabaya dijadikan sebagai kota dagang dan pelabuhan. Dengan kemajuan yang pesat, maka teknologi di Kota Surabaya juga sangat dibutuhkan khususnya pada koneksi jaringan seluler. Salah satunya jaringan 5G, yang memiliki kecepatan lebih tinggi 20 kali lebih cepat dari jaringan generasi sebelumnya. Terdapat perbedaan antara jaringan 5G dengan jaringan-jaringan sebelumnya, seperti pada jaringan 1G. Pada jaringan 1G sinyal radio ditransmisikan secara analog sehingga jangkauan jaringan sangat terbatas. Untuk kecepatan jaringan 1G hanya mencapai 14,4 kbps. Selanjutnya ada jaringan 2G yang mulai beralih ke teknologi digital, dengan kecepatan jaringan rendah-menengah sekitar 9- 14,4 kbps, contohnya GSM dan CDMA2000. Pada jaringan 2G ini dijadikan standar komersial digital. Jaringan 3G atau biasa disebut WCDMA/UMTS memiliki kecepatan jaringan satu tingkat dari jaringan EDGE. Untuk kecepatan pada jaringan ini mencapai 480 kbps, sehingga dapat melakukan video streaming dan video calling. Sementara 4G merupakan penerus dari jaringan 3G yang memiliki kualitas jaringan yang lebih

memumpuni. Untuk 5G merupakan generasi kelima dari teknologi seluler nirkabel, menawarkan kecepatan unggah dan unduh yang tinggi [3]. Sehingga pada jaringan 5G dapat memberikan kemudahan layanan khususnya pada bidang komunikasi di area perkotaan.

5G New Radio merupakan bagian dari perkembangan broadband seluler berkelanjutan untuk memenuhi persyaratan dari jaringan 5G, seperti yang dikeluarkan oleh *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* teknologi 5G dapat memberikan perubahan yang signifikan sehingga mampu mengubah peran teknologi telekomunikasi dan dapat melayani kebutuhan digitalisasi masyarakat. Terdapat tiga kategori utama *use cases* pada 5G yaitu *Massive Machine Type Communication (MMTC)*, *Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC)* dan *Enhanced Mobile Broadband (EMBB)* [4].

Perencanaan jaringan 5G di Surabaya dengan menggunakan model propagasi 3GPP TR38.900 dengan jenis *site Urban Macro (UMA)* dilakukan supaya mengetahui dan dapat menganalisis level sinyal yang ada di area Kota Surabaya. Karena di area Kota Surabaya banyak penghalang seperti bangunan yang tinggi dan banyak kawasan industri, maka pada penelitian ini menggunakan frekuensi 2300 MHz Selain itu, untuk analisis Tekno-ekonomi dengan menggunakan tiga unsur biaya utama seperti *Capital Expenditure (CAPEX)*, *Operational Expenditure (OPEX)* dan *Revenue* Serta *Net Present Value (NPV)* membantu untuk menilai peluang keuntungan pada perencanaan jaringan 5G di kota Surabaya. Selain itu penelitian ini juga menggunakan perhitungan *Payback Period (PP)*, *IRR*, *ROI*, *Net B/C*, *Gross B/C* untuk memperkirakan kelayakan perencanaan jaringan 5G *New Radio* di Kota Surabaya.

Sehingga hasil dari penelitian yang akan dilakukan nanti dapat dijadikan rekomendasi baik dari segi teknis maupun dari segi ekonomi untuk penyelenggaraan jaringan 5G *New Radio* di Kota Surabaya.

2. Bahan dan Metode

Terdapat beberapa kegiatan utama pada penelitian ini diantaranya yaitu studi literatur, pada studi literatur ini dilakukan agar peneliti dapat memahami konteks dan latar belakang dari topik yang akan diteliti, dengan meninjau beberapa literatur yang ada, peneliti dapat menemukan beberapa kekurangan pada penelitian sebelumnya. Setelah dilakukan studi literatur maka selanjutnya akan dilakukan penentuan lokasi. Setelah lokasi penelitian telah dilakukan maka selanjutnya dapat dilakukan kalkulasi data dengan mengambil beberapa data dari BPS kota penelitian. Apabila kalkulasi data telah diperoleh maka selanjutnya dapat dilakukan perencanaan *coverage* dan *capacity* yang nantinya akan menghasilkan jumlah gNodeB yang sesuai dengan kebutuhan di lokasi penelitian. Pada perencanaan penelitian ini menggunakan simulasi data dari *software planning and optimization atoll*.

Setelah perancangan sudah dilakukan dan telah mendapatkan hasil yang maksimal, maka selanjutnya akan dilakukan kalkulasi ekonomi, pada penelitian ini menggunakan 3 unsur biaya utama dalam perhitungan ekonomi diantaranya yaitu *capital expenditure*, *operational expenditure*, dan *revenue*. Selanjutnya untuk menganalisis kelayakan dari perancangan menggunakan beberapa analisis ekonomi diantaranya yaitu terdapat *net present value*, *internal rate of return*, *payback period*, *net B/C*, *gross B/C*, dan *return of investment*. Apabila kalkulasi ekonomi dan analisis ekonomi yang dilakukan sudah sesuai dengan standar kelayakan ekonomi maka selanjutnya akan dilakukan pembuatan laporan akhir.

2.1. Arsitektur 5G

Pada arsitektur 5G ini terdapat dua model arsitektur yaitu *stand alone*, dan *non stand alone*. Pada arsitektur *stand alone* merupakan arsitektur 5G layaknya yang berdiri sendiri atau tidak bergantung pada infrastruktur sebelumnya sehingga kecepatan dan kinerja yang diberikan lebih baik dari pada arsitektur *non stand alone*. Untuk menyediakan layanan 5G, teknologi yang digunakan disebut *New Radio (NR)* [8].

Berbeda dengan *stand alone* yang menggunakan infrastruktur mandiri, *arsitektur non stand alone* tersebut masih menggunakan infrastruktur dari layanan jaringan 4G guna mendukung layanan 5G.

2.2. Keadaan Geografis Surabaya

Surabaya yang dikenal sebagai Kota Pahlawan dan juga kota dagang memiliki letak antara 07° 9' s.d 07° 21' Lintang Selatan dan 112° 36' s.d 112° 54' Bujur Timur. Sebagai Ibu Kota dari Jawa Timur, Surabaya memiliki luas wilayah keseluruhan kurang lebih 326,81 km² yang terbagi dalam 31 Kecamatan dan 154 Kelurahan [2].

2.3. Tekno-Ekonomi

2.3.1. Coverage Planning

Coverage planning merupakan suatu perencanaan guna membangun layanan jaringan pada area tertentu, serta objek yang digunakan berupa area yang nantinya dicakup bersama jejaring tersebut. Dalam perencanaan yang nantinya diimplementasikan ada sejumlah proses kalkulasi serta perhitungan *link budget*. Adanya *coverage planning* ini bertujuan untuk menentukan frekuensi *site* sesuai dengan lokasi luas wilayah studi [4]. Perancangan jaringan secara *coverage* dapat digunakan untuk memperkirakan saat terjadi pelemahan sinyal maksimal yang terjadi antara *user equipment* dengan *gNodeB*, maka dari itu dapat diketahui pada radius tertentu perangkat dapat bekerja dengan maksimal dan bisa melayani user, pada jenis pelemahan sinyal ini biasa disebut dengan *Maximal Allowable Path Loss* (MAPL). Pada MAPL ini biasa diperhitungkan secara *uplink* atau *downlink* [16]. Dengan persamaan 1.

$$\text{Path Loss (dB)} = (a - 10x \log_{10}(c) + d - e - f - g - h - i - j - k - l - m - n - o) \quad (1)$$

Keterangan:

- a : gNodeB Transmitter Power (dBm)
- b : Subcarrier Quantity
- c : gNodeB antenna gain (dBi)
- d : gNodeB cable loss (dB)
- e : Penetration loss (dB)
- f : Foliage loss (dB)
- g : Body block loss (dB)
- h : Interference margin
- i : Rain/ice margin
- j : Slow fading margin
- k : UE antenna gain
- m : UT noise figure
- n : Demodulation threshold SINR (dB)

Dalam perencanaan *coverage* perhitungan *Thermal Noise* juga di butuhkan. Sehingga dapat menggunakan persamaan rumus 2.

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

Keterangan:

- K : Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$)
- T : Temperature Kelvin (290°)
- B : Bandwidth (100 MHz)

Setelah didapatkan nilai *Thermal Noise*, selanjutnya menghitung nilai *Subcarrier Quantity* dengan persamaan rumus 3.

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

Untuk mencari nilai dari *cell radius* dibutuhkan jarak antara pemancar dengan penerima (d) dan *frekuensi center* (f_c). Sehingga persamaan rumus *cell radius* seperti 4 dibawah ini [3].

$$\text{Radius Cell } (d_{2D}) = \sqrt{(D_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (4)$$

Keterangan:

h_{BS} : Tinggi antenna base station ($10 \text{ m} < d_{BS} < 150 \text{ meter}$)

h_{UT} : Tinggi antenna user terminal ($1,5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22,5 \text{ meter}$)

2.3.2. Capacity Planning

Perencanaan *Capacity planning* yakni suatu perencanaan kapasitas yang dimana merupakan suatu proses guna merencanakan kapasitas sistem supaya mampu memenuhi kebutuhan pada saat ini serta mampu memperhitungkan laju pertumbuhan ekonomi di masa depan [16]. Dengan adanya *coverage planning* dalam perancangan layanan 5G bisa menentukan banyaknya pelanggan, penetrasi pengaksesan layanan 5G pada kapasitas jaringan tersebut.

2.3.3. CAPEX

Capital expenditure atau CAPEX yakni suatu anggaran atau investasi yang merujuk pada pengeluaran kas modal agar memperoleh atau meningkatkan aset tetap. Pengeluaran CAPEX dilangsungkan guna pengadaan atau pembelian aset yang bisa digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Capital Expenditure memberi manfaat jangka panjang untuk perusahaan dan mampu meningkatkan kapasitas penghasilan atau meminimalisir tarif bisnis, akan tetapi tidak untuk barang yang nantinya dijual dengan laba [15]. Dalam perhitungan CAPEX akan dilakukan perhitungan keseluruhan dari biaya pembangunan base station (BS Cost), Instalasi base station (BS inst), biaya pembangunan backhaul transmisi (BHL) dan biaya lisensi (SP License) yang terdapat seperti persamaan rumus 5. Dibawah:

$$CAPEX_{total} = BS_{cost} + BS_{INST} + BHL + SPL_{licence} \quad (5)$$

Keterangan:

BS_{cost} : Biaya pembangunan *Base Station*

BS_{INST} : Biaya Instalasi *Base Station*

BHL : Biaya pembangunan backhaul transmisi

$SPL_{licence}$: Biaya hak lisensi

2.3.4. OPEX

OPEX atau Operational Expenditure yakni kebutuhan belanja operasional yang dimana terdapat pengeluaran tarif operasional untuk memenuhi kebutuhan operasional serta menjaga kelangsungan perencanaan jaringan telekomunikasi agar mampu beroperasi dengan baik dalam satu periode akuntansi. Adanya belanja operasioanal (OPEX) dalam perencanaan jaringan telekomunikasi terdapat sejumlah tarif pengeluaran meliputi yang pertama terdapat beban (*cost*) yang terdiri dari tarif operasi dan perawatan, kedua beban (*cost*) administrasi dan umum, ketiga beban (*cost*) dalam hal pemasaran, keempat beban (*cost*) telekomunikasi dan tarif lainnya.

$$OPEX_{annual} = OAM_{Cost} + MA \quad (6)$$

Keterangan:

$OPEX_{annual}$: *Operational Expenditure*

OAM_{Cost} : Biaya operasional dan *maintenance*

MA : *Marketing and Advertisement*

2.3.5 Revenue

Revenue yakni banyaknya pendapatan yang hanya memberi manfaat dalam satu periode berjalan, sehingga pendapatan ini nantinya dikeluarkan dan tidak akan diinvestasikan akan tetapi sebagai aset tetap di neraca, serta langsung dibebankan dalam laporan untung rugi saat periode berjalan, dimana pendapatan tersebut dapat dikeluarkan. Pada *revenue* pengeluaran ditujukan untuk biaya perbaikan dan perawatan aset tetap dalam menjaga manfaat keekonomisan pada waktu yang akan datang dan diharapkan pada sebuah perusahaan atau proyek yang sedang berjalan mampu mempertahankan standar kinerja awal atas suatu aset tetap yang diakui sebagai beban pada saat terjadi pengeluaran [20].

2.4. Analisis Ekonomi

Penelitian ini menggunakan beberapa analisis ekonomi untuk mengetahui kelayakan dari penelitian yang nantinya akan dilakukan. Penelitian ini menggunakan beberapa analisis struktur kelayakan ekonomi seperti *net present value*, *internal rate of return*, *payback period*, *profit cost ratio*, dan *gross profit cost ratio*. Dari setiap analisis ekonomi yang digunakan memiliki ketentuan kelayakan yang berbeda-beda. Pada NPV jika NPV bernilai positif maka proyek tersebut mampu diimplementasikan karena memberi keuntungan, akan tetapi jika NPV bernilai negatif maka hal itu berkebalikan dengan angka positif, NPV yang memiliki angka negatif akan merugikan dan proyek tersebut tidak mampu diimplementasikan.

Internal Rate Of Return (IRR) mampu dikatakan layak apabila angka IRR melebihi dari tingkat suku bunga yang berlaku, dan sebaliknya bila IRR lebih kecil dari angka suku bunga yang berlaku maka investasi dikatakan tidak layak.

Payback period merupakan suatu periode yang mengacu pada seberapa lama waktu modal yang diinvestasikan dalam suatu proyek yang ingin diimplementasikan mampu kembali atau seberapa lama waktu yang dibutuhkan agar dana investasi yang masuk dalam kegiatan investasi bisa didapatkan kembali dalam keadaan utuh. Semakin pendek rentan waktu pengembalian, maka suatu investasi akan semakin diminati. Sebab memiliki keuntungan modal yang lebih tinggi.

Net B/C yakni perbandingan dari frekuensi PV *net profit* yang positif dengan yang *negative*. Dengan frekuensi *present value* positif sebagai pembilang dan *negative* sebagai penyebut. Bila $net\ B/C > 1$, maka proyek mampu diimplementasikan, dan bila $net\ B/C < 1$ maka proyek tidak layak untuk diimplementasikan

Gross Profit Cost Ratio yakni perbandingan antara frekuensi present value profit dengan present value cost. Bila $gross\ B/C > 1$, proyek layak untuk diimplementasikan, dan bila $gross\ B/C < 1$ maka proyek tidak layak untuk diimplementasikan [18].

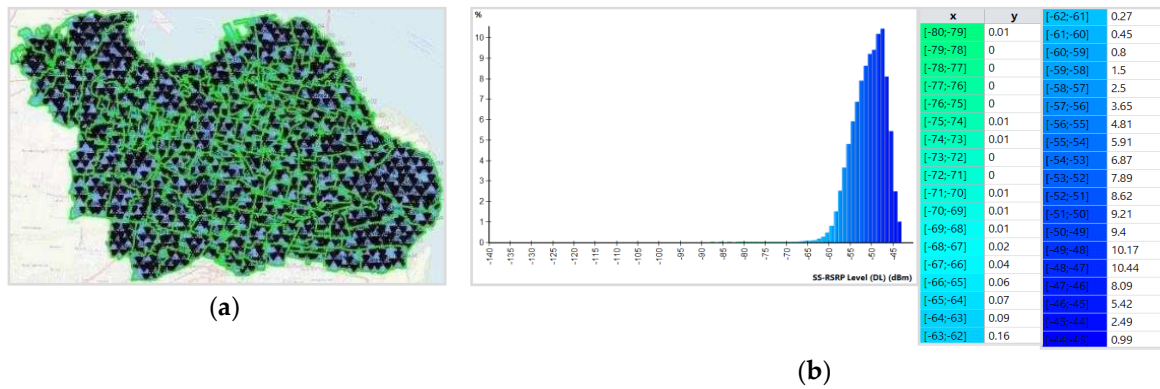
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perancangan Coverage

A. SS-RSRP

Berdasarkan perhitungan *coverage* yang telah diimplementasikan didapatkan jumlah *site* sebanyak 325 *site* dengan menggunakan propagasi *Urban Macro* dan parameter yang digunakan sesuai dengan 3GPP TR.38.900 untuk temuan simulasi *coverage signal level SS-RSRP* ditunjukkan layaknya gambar 2.

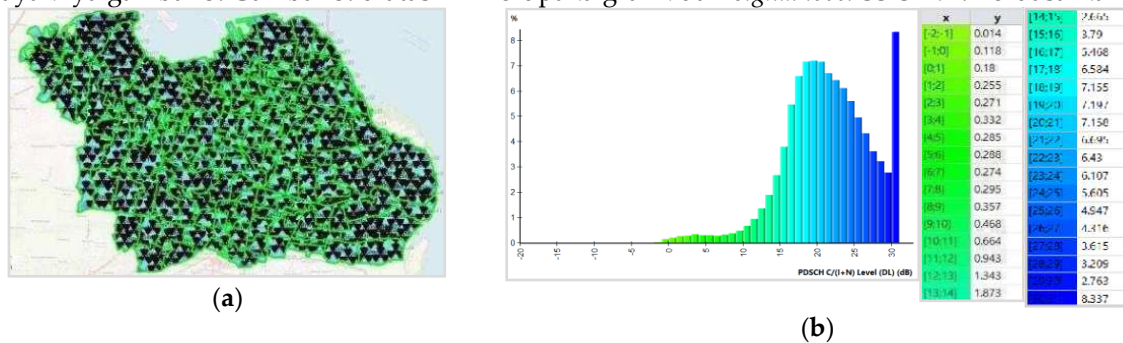
Berdasarkan hasil simulasi perencanaan *coverage* yang telah diimplementasikan. Didapatkan angka rata-rata SS-RSRP -50,73 dBm berdasarkan klasifikasi dari ketentuan tabel parameter SS-RSRP menunjukkan bahwasanya perencanaan *coverage* di Kota Surabaya termasuk kedalam klasifikasi *excellent*, dengan level sinyal tertingginya yakni -43 dBm seluas 0,99% dari keseluruhan area, dan level sinyal terendahnya yakni -80 dBm seluas 0,01% dari keseluruhan wilayah Kota Surabaya.



Gambar 1. Simulasi Signal Level SS-RSRP

B. SS-SINR

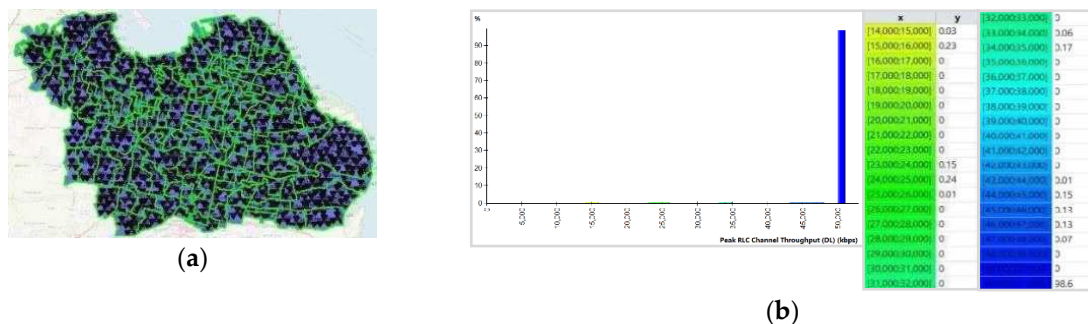
Berdasarkan perhitungan *coverage* yang telah diimplementasikan didapatkan jumlah *site* sebanyak 325 *site* dengan menggunakan propagasi *Urban Macro* dan parameter yang digunakan sesuai dengan 3GPP TR.38.900 untuk temuan simulasi *coverage signal level* SS- RSRP ditunjukkan layaknya gambar 3. Gambar 3. diatas ini merupakan grafik dari *signal level* SS-SINR. Berdasarkan



Gambar 2. Simulasi Signal Level SS-SINR

simulasi perencanaan *coverage* yang telah diimplementasikan, didapatkan angka rata- rata SS-SINR 21,53 dB berdasarkan klasifikasi dari ketentuan tabel parameter SS-SINR menunjukkan bahwasanya perencanaan *coverage* di Kota Surabaya termasuk kedalam klasifikasi sangat baik, dengan level sinyal tertingginya yakni 31 dB sekitar 8,337% dari keseluruhan area, dan level sinyal terendahnya yakni -2 dB sekitar 0,014% dari keseluruhan wilayah Kota Surabaya.

C. Throughput



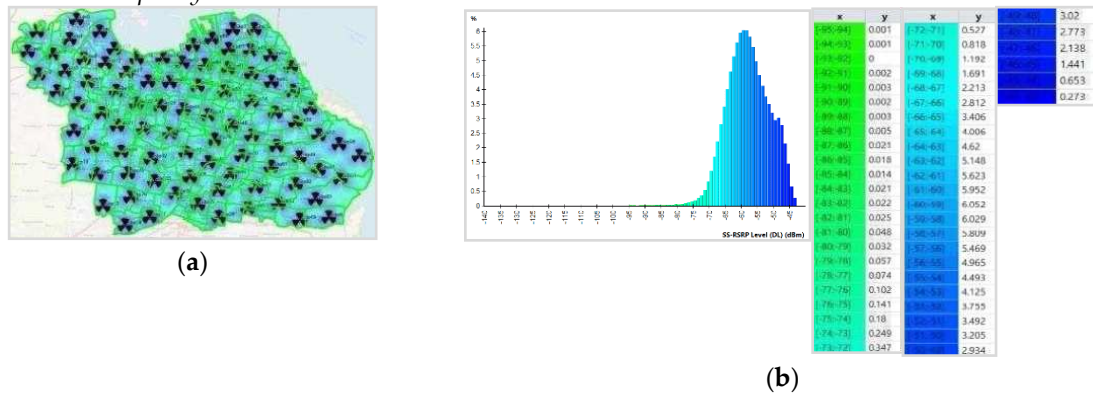
Gambar 3. Simulasi Signal Level Throughput

Gambar 4. diatas ini yakni grafik dari *signal level throughput*. Berdasarkan simulasi perencanaan *coverage* yang telah diimplementasikan, didapatkan angka rata-rata *throughput* 82,297.61 kbps dengan level sinyal tertingginya yakni 51.000 kbps sekitar 60,36% dari keseluruhan area, dan level sinyal terendahnya yakni 14.000 kbps sekitar 1,35% dari keseluruhan wilayah Kota Surabaya.

3.2. Hasil Perencanaan Capacity

A. SS-RSRP

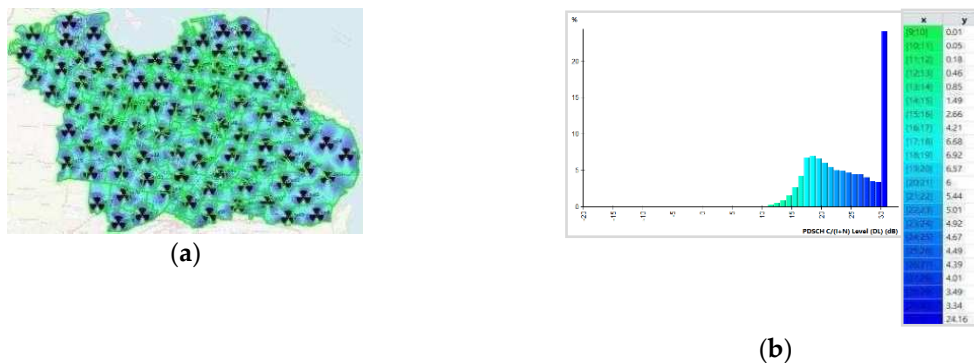
Berdasarkan analisis dari perhitungan *capacity* di Kota Surabaya yang memiliki jumlah penduduk 2.887.223 jiwa, dari perhitungan *capacity* diperoleh jumlah *site* sebanyak 88 *site* pada perencanaan *capacity* ini.



Gambar 4. Simulasi Capacity Signal Level SS-RSRP

Gambar 4. diatas ini yakni grafik dari *signal level* SS-RSRP. Berdasarkan simulasi perencanaan *capacity* yang telah diimplementasikan, didapatkan angka rata-rata SS- RSRP -58,01 dBm berdasarkan klasifikasi dari ketentuan tabel parameter SS-RSRP menunjukan bahwasanya perencanaan *coverage* di Kota Surabaya termasuk kedalam klasifikasi *excellent*, dengan level sinyal tertingginya yakni - 43 dBm sekitar 0,273% dari keseluruhan area, dan level sinyal terendahnya yakni -95 dB sekitar 0,001% dari keseluruhan wilayah Kota Surabaya.

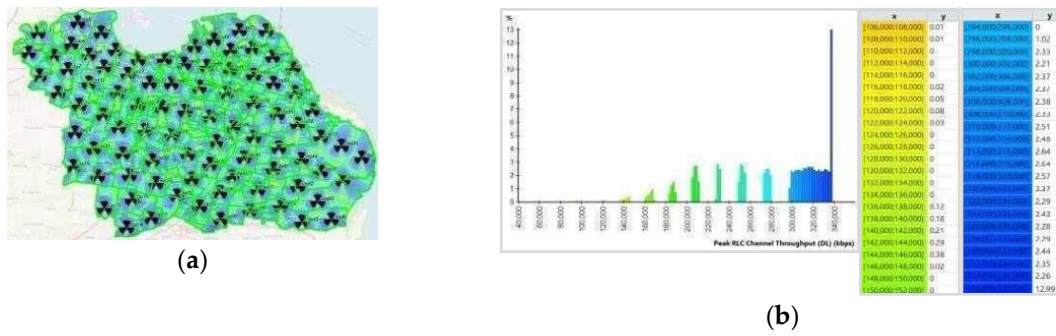
B. SS-SINR



Gambar 5. Simulasi Capacity Signal Level SS-SINR

Gambar 5 diatas ini yakni grafik dari *signal level* SS-SINR. Berdasarkan simulasi perencanaan *capacity* yang telah diimplementasikan, didapatkan angka rata-rata SS- SINR 24,93 dB berdasarkan klasifikasi dari ketentuan tabel parameter SS-SINR menunjukan bahwasanya perencanaan *capacity* di Kota Surabaya termasuk kedalam klasifikasi sangat baik. Pada perencanaan SINR level sinyal tertingginya yakni 31 dB sekitar 24,16% dari keseluruhan area, dan level sinyal terendahnya yakni 9 dB sekitar 0,01% dari keseluruhan wilayah kota Surabaya.

C. Throughput



Gambar 6. Simulasi Capacity Signal Level Throughput

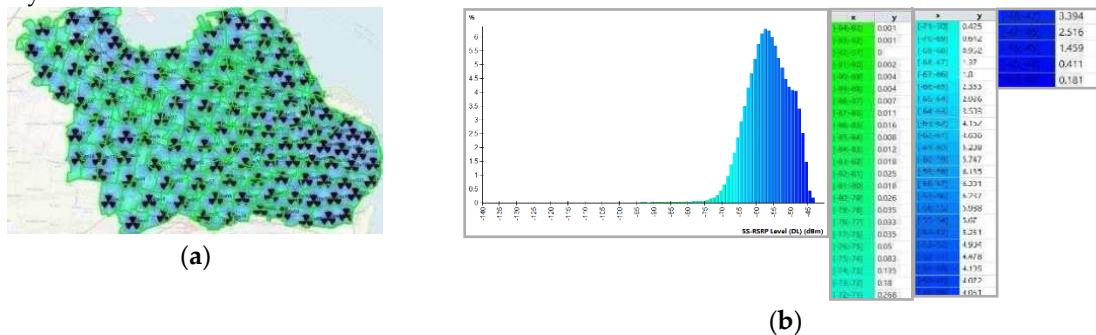
Gambar 6 diatas ini yakni grafik dari *signal level throughput*. Berdasarkan temuan simulasi perencanaan *capacity* yang telah diimplementasikan, didapatkan angka rata-rata *throughput* 283,872.76 kbps dengan level sinyal tertingginya yakni 338.000 kbps sekitar 12,99% dari keseluruhan area dan sinyal terendahnya yakni 106.000 kbps sekitar 0,01% dari keseluruhan area Kota Surabaya.

3.3. Optimasi Coverage

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi perencanaan *coverage* sebanyak 325 *site*, diperlukan optimasi agar mendapatkan jumlah *site* yang lebih maksimal. Berikut hasil dari optimasi perencanaan *coverage*.

A. SS-RSRP

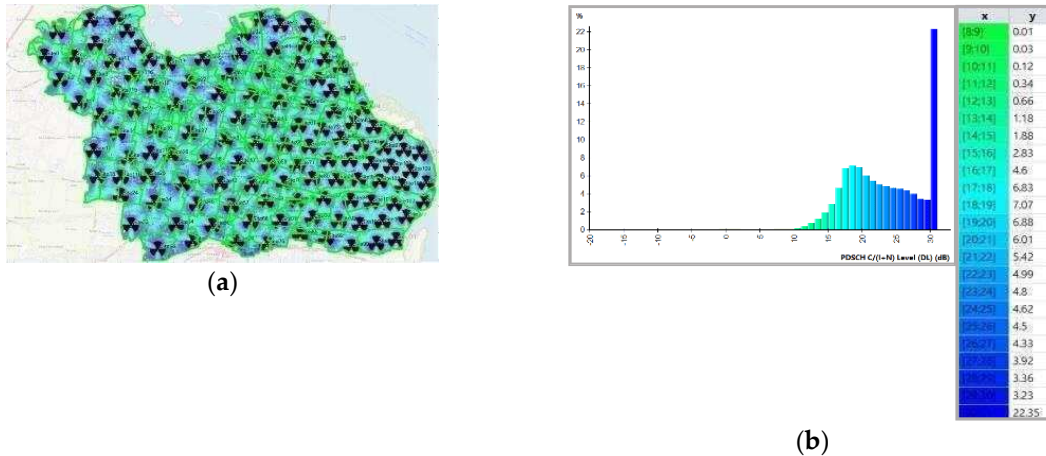
Setelah perencanaan optimasi diimplementasikan, *site* yang didapatkan dari optimasi *coverage* sebanyak 119 *site*.



Gambar 7. Optimasi SS-RSRP

Gambar 7 diatas ini yakni grafik dari *signal level SS-RSRP*. Berdasarkan optimasi menggunakan 119 *site* didapatkan angka SS-RSRP sebesar -56,64 dBm berdasarkan klasifikasi dari tabel parameter SS-RSRP menunjukkan bahwasanya sinyal yang dihasilkan tergolong kedalam klasifikasi *excellent*. Dengan level sinyal tertingginya yakni -43 dBm seluas 0,181 % dari keseluruhan area dan level sinyal terendahnya yakni -94 dBm seluas 0,001% dari keseluruhan area Kota Surabaya.

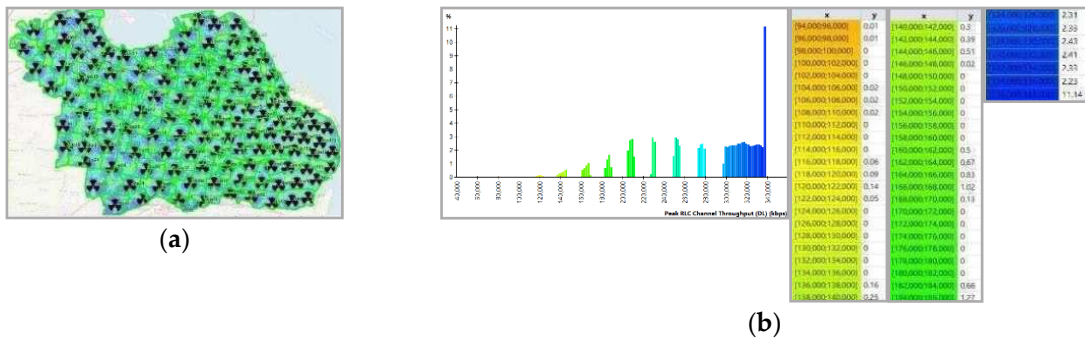
B. SS-SINR



Gambar 8. Optimasi SS-SINR

Gambar 8 diatas ini merupakan grafik dari signal level SS-SINR. Berdasarkan hasil optimasi menggunakan 119 site didapatkan nilai SS-SINR sebesar 24,43 dB berdasarkan klasifikasi dari tabel parameter SS-SINR menunjukan bahwa sinyal yang dihasilkan masuk ke dalam klasifikasi sangat baik. Dengan level sinyal tertingginya adalah 31dB seluas 22,35 % dari keseluruhan area dan untuk level sinyal terendahnya adalah 8 dB seluas 0,01% dari keseluruhan area Kota Surabaya.

C. Throughput

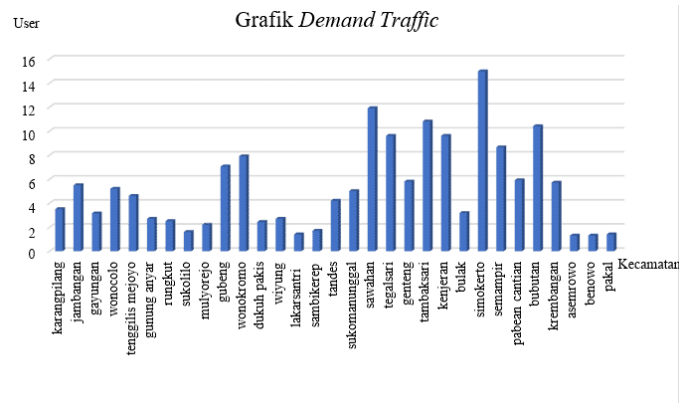


Gambar 9. Optimasi Throughput

Gambar 9 berikut ini yakni grafik dari *signal level throughput* berdasarkan optimasi menggunakan 119 *site* didapatkan angka *throughput* sebesar 280,307.82 kbps. Dengan level sinyal tertingginya yakni 338.000 seluas 11,14 % dari keseluruhan area dan level sinyal terendahnya yakni 94.000 seluas 0,01% dari keseluruhan area Kota Surabaya.

D. Demand Traffic

Perhitungan demand traffic ini akan dilakukan perhitungan kepadatan pengguna pada jaringan per kilometer dalam area yang ditentukan untuk menentukan kebutuhan lalu lintas seperti pada gambar grafik 10 dibawah:



Gambar 10. Grafik Demand Traffic

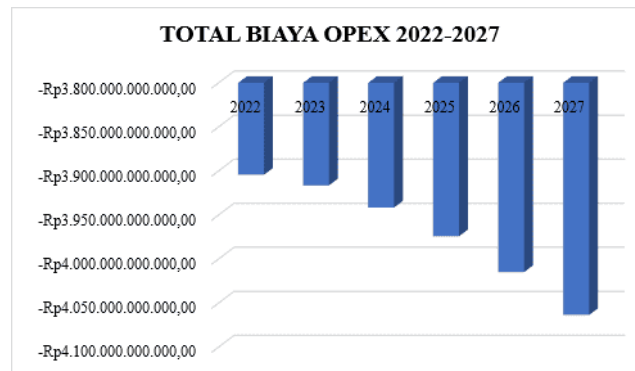
3.4. Kalkulasi Ekonomi

A. Kalkulasi CAPEX

Dalam pembangunan layanan jaringan 5G perlu dilakukan kalkulasi dalam beberapa tahun mendatang, hal ini dikarenakan pada perencanaan infrastruktur jejaring 5G membutuhkan biaya modal (CAPEX) yang besar, sehingga dengan melakukan kalkulasi biaya mampu mengetahui apakah implementasi jejaring 5G di Kota Surabaya dapat memberi keuntungan atau kerugian di tahun-tahun berikutnya. Biaya CAPEX yang dibutuhkan guna merancang layanan 5G di Kota Surabaya sebesar Rp. 8.543.493.240.480.

B. Kalkulasi OPEX

Dalam perhitungan OPEX (Operational Expenditure) mencakup tarif operasional keseluruhan yang dikeluarkan untuk menjalankan serta memelihara jaringan 5G yang sudah dibangun pada lokasi penelitian. total biaya OPEX dari tahun 2022-2027 terdapat layaknya gambar grafik 11

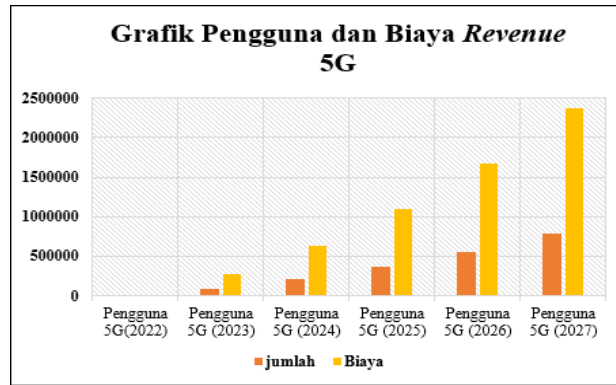


Gambar 11. Grafik OPEX 2022-2027

Dari grafik diatas mampu diketahui bahwasanya pada biaya OPEX terdapat pengeluaran pada setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan pada OPEX terdiri dari biaya operasional dan perawatan pada suatu layanan jaringan yang memang terdiri dari biaya yang berulang serta terkait dengan operasi sehari-hari.

C. Kalkulasi Revenue

Revenue yakni pendapatan rata-rata pengakses atau ARPU, pendapatan tersebut mampu dihasilkan dari pengakses seluler. Dari perhitungan yang sudah diimplementasikan terdapat layaknya gambar 12 yakni biaya Revenue yang didapatkan dari tahun 2022-2027.



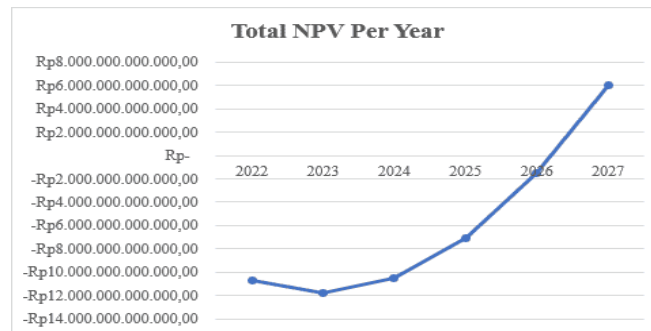
Gambar 12. Grafik Revenue 2022-2027

3.5. Analisis Ekonomi

Setelah melakukan perhitungan ekonomi dari perencanaan jaringan 5G di Kota Surabaya, selanjutnya yakni menganalisis kelayakan dari pembangunan jejaring 5G termasuk tarif pendapatan, tarif modal, pengembalian modal, serta dampak ekonomi yang dihasilkan.

A. Net Present Value

Net present value per year pada perhitungan ekonomi perancangan jaringan 5G diimplementasikan untuk mengetahui banyaknya keseluruhan pendapatan arus kas yang didapatkan dari investasi pembangunan 5G yang dikurangi dengan tarif operasional. Pada gambar 13 yakni grafik dari NPV Per Year dari tahun 2022-2027.



Gambar 13. NPV 2022-2027

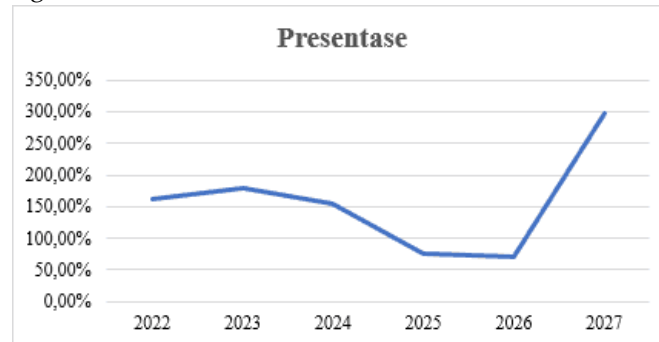
Dari grafik diatas diketahui bahwasanya, pada pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya di tahun 2027 keuntungan yang diperoleh mencapai Rp. 6.004.263.875.532,83. Maka profit yang didapatkan dari pembangunan layanan jaringan 5G tersebut mampu memberi keuntungan dalam jangka waktu panjang. NPV yang tinggi ini menunjukkan bahwasanya pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya bisa dikatakan layak karena menghasilkan keuntungan yang melebihi dari pada biaya modal awal dan biaya operasional yang dikeluarkan.

B. Internal Rate of Return

Perhitungan IRR diimplementasikan untuk mengevaluasi profitabilitas dari proyek pembangunan layanan 5G di Kota Surabaya, dan setelah diimplementasikan kalkulasi biaya didapatkan IRR sebesar 28%. Hal ini menunjukkan bahwasanya pembangunan layanan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak karena IRR yang didapatkan melebihi dari pada suku bunga yang telah ditetapkan.

C. Return of Investment

Return On Investment (ROI) yakni suatu kalkulasi ekonomi pada pembangunan layanan jaringan 5G di Kota Surabaya, kalkulasi ini digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan proyek infrastruktur jaringan 5G. dari kalkulasi yang telah diimplementasikan ROI 2022-2027 didapatkan layaknya pada gambar grafik 14 berikut:



Gambar 14. Grafik ROI 2022-2027

Meskipun dari perhitungan menunjukkan bahwasanya di setiap tahun ROI memiliki presentase yang tidak pasti akan tetapi pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak, sebab selain memperhitungkan ROI dari tiap tahun penulis juga melakukan kalkulasi ROI dari tahun pembangunan hingga tahun proyeksi, yang dimana temuan ROI dari tahun pembangunan hingga tahun proyeksi didapatkan sebesar 2,98. Kalkulasi yang telah didapatkan menunjukkan bahwasanya angka ROI yang sudah didapatkan melebihi indikator yang sudah ditentukan, maka proyek infrastruktur dari pembangunan jejaring 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak. Tingginya ROI ini dikarenakan Surabaya merupakan kota besar dengan populasi penduduk yang begitu padat serta memiliki ekonomi yang dinamis. Dengan tingginya jumlah pengguna dan permintaan akan layanan 5G dapat memberikan pendapatan yang cukup tinggi sehingga bisa meningkatkan ROI.

D. Payback Period

Dalam perhitungan *payback period* ini mencakup layaknya biaya awal modal (CAPEX), biaya operational (OPEX), serta biaya pendapatan. aspek tersebut sudah diperhitungkan layaknya diatas, sehingga *payback period* dalam pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu kembali modal dalam kurun waktu 3 tahun. Hal ini menunjukkan bahwasanya pembangunan jaringan 5G termasuk dalam klasifikasi layak, sebab *payback period* yang didapatkan tidak lebih dari 5 tahun.

E. Net Profit Cost Ratio

Net Profit Cost Ratio yakni suatu metrik yang digunakan guna mengevaluasi kelayakan dari proyek pembangunan jejaring 5G. Net B/C didapatkan dari membagi total pendapatan proyek dengan total tarif proyek. Bila Net B/C melebihi dari 1 maka proyek mampu diimplementasikan atau dikatakan layak. Dari kalkulasi yang sudah diimplementasikan Net B/C didapatkan sebesar 2,77, sehingga proyek pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak, sebab kalkulasi yang sudah diimplementasikan melebihi angka indikator yang ditentukan.

F. Gross Profit Ratio

Gross Profit Ratio pada pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya adalah komparasi kelayakan antara biaya PV profit dengan PV cost, yang dimana pada kalkulasi yang telah diimplementasikan didapatkan, Gross B/C sebesar 1,07. Hal ini menunjukkan bahwasanya pembangunan jejaring 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak sebab Gross B/C bernilai lebih dari 1.

4. Kesimpulan

Penelitian jejaring 5G *New Radio* diimplementasikan di Kota Surabaya dengan luas wilayah keseluruhan Kota Surabaya sebesar 334,45 km² dengan menggunakan frekuensi 2300 MHz dan menggunakan propagasi *Urban Macro* untuk menganalisis dan mengetahui site *coverage* dan *capacity* dari layanan jaringan 5G di Kota Surabaya. Dengan rata-rata sinyal RSRP yang didapatkan sebesar -50,73 dBm rata-rata sinyal tersebut termasuk kedalam klasifikasi *excellent*, rata-rata sinyal SINR sebesar 21,53 dB klasifikasi sinyal tersebut termasuk kedalam kategori sangat baik menurut KPI, dan *throughput* sebesar 259,954.22 kbps.

Perencanaan berdasarkan *capacity* menghasilkan 88 *site* dengan rata-rata sinyal SS-RSRP sebesar -58,01 dBm klasifikasi sinyal tersebut termasuk kedalam kategori *excellent*, rata-rata sinyal SINR sebesar 24,93 dB klasifikasi sinyal tersebut termasuk kedalam kategori sangat baik menurut KPI, dan *throughput* yang dihasilkan sebesar 283,872.76 kbps. Setelah diimplementasikan optimasi *coverage*, *site* yang didapatkan berkurang menjadi 119 *site* dengan angka SS-RSRP -56,64 dBm, SS-SINR sebesar 24,43, dan *throughput* sebesar 280,307.82 kbps.

Modal awal (CAPEX) yang digunakan dalam pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya sebesar -Rp. 8.843.133.240.480. Sehingga nilai IRR yang didapatkan sebesar 28%. Hal ini menunjukkan bahwasanya proyek pembangunan jejaring 5G mampu dikatakan layak, sebab angka IRR yang didapatkan melebihi dari angka suku bunga yang telah ditetapkan. *Return On Investment* 2022-2027 didapatkan sebesar 2,98. hal ini menunjukkan bahwasanya kalkulasi ROI yang sudah diimplementasikan melebihi indikator yang sudah ditentukan, sehingga proyek pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak.

Dari sisi ekonomi pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya layak untuk diimplementasikan sebab periode pengembalian modal mampu kembali dalam 3 tahun serta NPV yang didapatkan bernilai positif. Dari kalkulasi yang sudah diimplementasikan Net B/C diperoleh sebesar 2,77, sehingga dari kalkulasi tersebut mampu diketahui bahwasanya pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak, sebab kalkulasi yang sudah didapatkan melebihi dari angka indikator yang ditentukan. *Gross Profit Ratio* pada pembangunan jejaring 5G di Kota Surabaya adalah komparasikelayakan antara biaya PV *profit* dengan PV *cost*, yang dimana pada kalkulasi yang telah diimplementasikan didapatkan, *Gross B/C* sebesar 1,07. Hal ini menunjukkan bahwasanya pembangunan jaringan 5G di Kota Surabaya mampu dikatakan layak sebab *Gross B/C* bernilai lebih dari 1.

Referensi

1. BPS provinsi Jawa Timur. (n.d.). <https://jatim.bps.go.id/indicator/2/559/1/banyaknya-desakelurahanmenurut-kabupaten-kota-dan-penerimaan-sinyal-internettelepon-seluler.html>
2. Bappeda, "Kota Surabaya," Bappeda Potensi Wil., vol. 4, no. 1, pp. 1–27, 2020, [Online]. Available: <http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensikab-kota-2013/kota-surabaya-2013.pdf>
3. Yuliana, F. M. Santoso, S. Basuki, and M. R. Hidayat, "Analisis Model Propagasi 3GPP TR38. 900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area Urban Analysis of Propagation Model 3GPP TR38 . 900 for 5G New Radio (NR) Network Planning at 2300MHz in Urban Areas," *Telekontran*, Vol. 10, No. 2, Oktober 2022, vol.10, no.2, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/download/8233/3321>
4. Liu, Y. Huang, Z. Chen, L. Liu, Q. Wang, and N. Li, "5G Deployment: Standalone vs. Non-Standalone from the Operator Perspective," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 11, pp. 83–89, 2020, doi:10.1109/MCOM.001.2000230.
5. R. D. Kumar, S. Chavhan and J. J. P. C. Rodrigues, "Integration of 5G Standalone and Non-Standalone Network Architectures for V2X Networks," 2022 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Split / Bol, Croatia, 2022, pp. 1- 6, doi: 10.23919/SpliTech55088.2022.9854222.
6. R. D. Kumar, S. Chavhan and J. J. P. C. Rodrigues, "Integration of 5G Standalone and Non-Standalone Network Architectures for V2X Networks," 2022 7th International Conference on Smart and

- Sustainable Technologies (SpliTech), Split / Bol, Croatia, 2022, pp. 1- 6, doi: 10.23919/SpliTech55088.2022.9854222.
7. E. Dahlman and S. Parkvall, "NR - The New 5G Radio-Access Technology," 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Porto, Portugal, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTCspring.2018.8417851.
 8. D. ARYANTA, "Analisis Kinerja Single User Troughput 5G NR pada Sel Indoor dengan Antena MIMO," ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron., vol. 10, no. 3, p. 500, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i3.500.
 9. F. Febriyandi and I. Krisnadi, "Rekomendasi ITU Pada Alokasi Spektrum 5Gdi Indonesia," Bul. Pos dan Telekomun., pp. 1–6, 2019.
 10. H. U. Mustakim, "Tantangan Implementasi 5G di Indonesia," INTEGER J. Inf. Technol., vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2019, doi: 10.31284/j.integer.2019.v4i2.561.
 11. S. Ahmed, A. Mahmud, and S. M. Hossain, "Challenges in 5G Network Planning: Design and Optimization using Atoll By Department of Electrical and Electronic Engineering Challenging 5G Network Planning, Designing and Optimization using ATOLL Radio Planning Tool," no. March, 2021.
 12. Rianti, A. Hikmaturokhman, and D. Rachmawaty, "TechnoEconomic 5G New Radio Planning Using 26 GHz Frequency at Pulogadung Industrial Area," 2020 3rd Int. Semin. Res. Inf. Technol. Intell. Syst. ISRITI 2020, pp. 272–277, 2020, doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315455.
 13. Iskandar, A. (2022). Analisa Tekno ekonomi terhadap kebutuhan regulasi untuk bisnis model 5G di Indonesia. Retrieved from <https://repository.mercubuana.ac.id/65193/>
 14. M. Haidar, U. K. Usman, and L. Meylani, "Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 900 MHz Pada Perairan Selat Sunda," pp. 273–278, 2016.
 15. A. S. Gorshkov, N. I. Vatin, P. P. Rymkevich, and O. O. Kydrevich, "Payback period of investments in energy saving." Magazine of Civil Engineering, 2018.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Artikel

Analisis Model kanal 5G terhadap Pengaruh Suhu dan Kelembaban pada Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz di Jawa Timur

Luthfiah Arbiah Nasir ^{1*}, Hamzah U. Mustakim ², Arrizky Ayu Faradila Purnama ³¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia* Korespondensi : luthfiahhh@student.telkomuniversity.ac.id

Received: 13 Februari 2024; Accepted: 15 Maret 2024; Published: 31 Juli 2024;

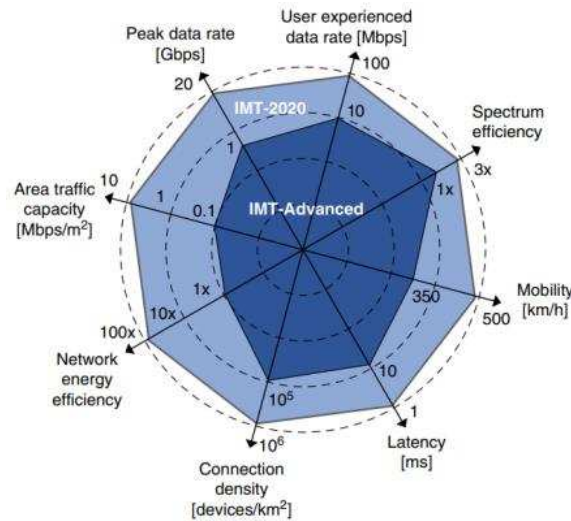
Abstrak: Perkembangan teknologi akan terus berkembang sehingga layanan telekomunikasi dijadikan sebagai kebutuhan utama. Untuk mendukung perkembangan revolusi industri 4.0, penggunaan 5G *New Radio* merupakan solusi yang tepat. Teknologi 5G *New Radio* dirancang lebih baik daripada teknologi 4G sebelumnya, terutama pada bagian pita frekuensi. Penggunaan frekuensi tinggi sangat sensitif dan terpengaruh oleh kondisi alam, seperti suhu dan kelembaban yang akan menimbulkan redaman pada perambatan gelombang. Penelitian ini dilakukan analisis terhadap dua variabel, yaitu variabel tetap dan variabel berubah pada Provinsi Jawa Timur. Variabel tetap meliputi frekuensi 26 GHz dan 28 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz. Sedangkan variabel berubah meliputi suhu (suhu maksimum dan minimum) dan kelembaban (kelembaban maksimum dan minimum). Hasil yang didapatkan berdasarkan pengujian *delay spread* diantara ketiga lokasi penelitian, Kota Batu yang paling bagus. RMS delay yang dihasilkan yaitu 20 ns dan 32 ns, dengan daya terima simulasi sebesar -60,2 dBm. Sedangkan untuk kalkulasi *capacity channel* dan *bit rate* didapatkan Kabupaten Pasuruan memiliki hasil yang lebih bagus. Nilai *capacity channel* yang didapatkan sebesar 780,089 Mbps dan *bit rate* sebesar 78009 Mbps. Berdasarkan hasil tersebut dipengaruhi oleh besar frekuensi yang digunakan. Penggunaan frekuensi 26 GHz jauh lebih bagus karena menghasilkan nilai *delay* yang lebih kecil dengan kondisi skenario minimum.

Kata kunci: Teknologi 5G; Model Kanal; *Power Delay Profile*

1. Pendahuluan

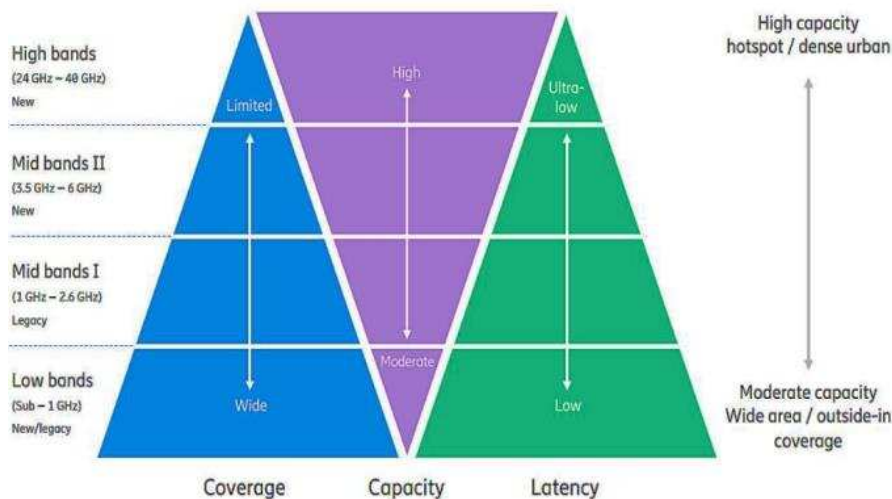
Seiring perkembangan zaman, layanan telekomunikasi menjadi kebutuhan utama. Teknologi baru yang dikenal sebagai 5G akan menawarkan semua aplikasi yang dibutuhkan dengan menghubungkan ke infrastruktur telekomunikasi saat ini dan hanya menggunakan satu perangkat *universal* [1]. Jaringan seluler 5G akan berupaya untuk menciptakan terminal *client* yang dapat mengakses beberapa teknologi seluler secara bersamaan dan mengkonsolidasikan berbagai cara dari berbagai teknologi. Teknologi 5G adalah pengembangan yang dapat terhubung ke semua perangkat, tidak hanya untuk telekomunikasi, dan 5G ini diantisipasi memiliki kecepatan tiga kali lebih cepat dari generasi sebelumnya. Sebagai perkembangan dari generasi berikutnya, penggunaan 5G diusulkan ketika jumlah *User Equipment* (UE) dan lonjakan *bandwidth* meningkat [2,3].

Layanan dan kebutuhan masa depan diperhitungkan saat merancang infrastruktur jaringan 5G. Secara kuantitatif, parameter kinerja teknologi 5G ditentukan oleh ITU-R (*International Telecommunication Union*) melalui IMT-2020 yang dapat dilihat pada Gambar 1 [2,4].



Gambar 1. Kemampuan Utama 5G menurut IMT Vision

Teknologi 5G *New Radio* dioperasikan pada frekuensi tinggi antara 1 GHz – 100 GHz. Pada teknologi 5G ini, menurut Ericsson (2018) kandidat frekuensi dibagi menjadi 3 *band*, yaitu *low band* (<1 GHz), *middle band* (1 - 6 GHz) dan *high band* (24 – 49 GHz) [2] [5]. Desain untuk telekomunikasi yang beroperasi di kisaran 10 hingga 30 GHz. Frekuensi tersebut tergolong ke dalam level frekuensi tinggi, sehingga untuk mengimplementasikannya membutuhkan persiapan infrastruktur yang baik, terutama pada desain parameter berdasarkan model kanal. Model kanal adalah masalah utama dari 5G *New Radio*, dimana kapasitas (per-link) yang dihasilkan oleh sistem komunikasi nirkabel tergantung pada kanal tersebut, sehingga pemodelan kanal itu sangat penting [6].



Gambar 2. Spektrum Frekuensi 5G oleh Ericsson (2018) [7]

Model kanal 5G di Indonesia berbeda dengan model saluran di negara lain karena kondisi kelembaban, suhu, dan cuaca yang unik di negara ini yang di mana disebabkan oleh fluktuasi kondisi atmosfer di tempat yang sama. Untuk mencipatakan sistem komunikasi sebaik mungkin, sangat berguna untuk memahami dan menghitung model kanal dengan dampak suhu dan kelembaban pada propagasi mengingat bahwa Indonesia adalah negara tropis dengan suhu dan kelembaban yang terkadang sangat tinggi dan rendah [8]. Sebagai contoh, komunikasi nirkabel dalam *mmWave/THz* memiliki difraksi gelombang elektromagnetik yang signifikan karena panjang gelombang yang sangat kecil. Komunikasi nirkabel pada *band* ini sangat dipengaruhi oleh kebisingan penyerapan molekul dan atenuasi. *Band* ini dipengaruhi oleh komposisi kimia medium dalam dua cara berbeda. Pertama, sinyal radio dilemahkan karena molekul dalam saluran menyerap energi

dalam *band* frekuensi tertentu. Kedua, energi yang diserap ini dipancarkan kembali oleh molekul yang menciptakan kebisingan di saluran. Redaman dan kebisingan umumnya turun di tengah hari ketika suhu naik dan kelembaban turun, tetapi tetap tinggi pada malam hari. Akhirnya, karena tingkat keparahan penyerapan molekul juga sensitif terhadap suhu udara, setiap variasi suhu-kelembaban akan secara langsung mempengaruhi atenuasi dan kebisingan pada *band* frekuensi tinggi [9].

Kemudian perbedaan utama antara komunikasi nirkabel yang ada pada frekuensi yang lebih rendah dan *mmWave* adalah bahwa molekul air (H_2O) di udara, yang dapat menyerap energi sinyal pada tingkat yang sangat tinggi jika tereksitasi, memiliki frekuensi resonansi alami mereka dalam pita frekuensi tinggi. Ini berarti bahwa pita frekuensi tinggi sensitif terhadap jumlah air (kelembaban, lembab, atau hujan) di udara [8].

Berdasarkan data geografi dan iklim yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik – Provinsi Jawa Timur dalam angka 2023, daerah Jawa Timur memiliki rata-rata curah hujan sebesar 254,9 mm pada tahun 2022. Dilihat dari rata-rata curah hujan tersebut, daerah Jawa Timur termasuk kota dengan curah hujan cukup tinggi, sepanjang tahun 2022. Dengan golongan curah hujan cukup tinggi, kondisi suhu serta kelembaban pada daerah Jawa Timur dapat berubah-ubah. Rata-rata suhu di Provinsi Jawa Timur pada dua musim berkisar antara $14,6^{\circ}C$ hingga $31,4^{\circ}C$, sedangkan untuk rata-rata kelembaban berkisar antara 34% dari 99% [10].

Berdasarkan desain telekomunikasi yang menggunakan *range* frekuensi tinggi, sangat amat memungkinkan penggunaan model kanal pada frekuensi tersebut dapat terganggu oleh perubahan faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban. Hal tersebut dapat mengakibatkan atenuasi atau redaman yang signifikan. Dari penjelasan tersebut, maka penulis mengusulkan judul penelitian “Analisis Model Kanal 5G terhadap Pengaruh Suhu dan Kelembaban pada Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz di Jawa Timur”.

Penelitian ini akan menganalisis model kanal 5G pada beberapa daerah di Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan nilai suhu maksimum dan minimum, serta kelembaban maksimum dan minimum menggunakan parameter berdasarkan data-data yang ada di lapangan. Model kanal dapat ditunjukkan dengan representatif PDP yang dimana menunjukkan daya rata-rata yang berkaitan dengan *multipath delay*. Untuk mendapatkan nilai representatif PDP, penulis menggunakan *New York University (NYU) Wireless Channel Simulator*.

2. Bahan dan Metode

Model Kanal

Kanal adalah media antara antena pemancar dan antena penerima. Penting untuk memodelkan saluran untuk membuat desain sistem komunikasi yang mengurangi kesalahan dan memaksimalkan transfer informasi atau *bit rate* [11]. Untuk memetakan sinyal model kanal ini dapat dinyatakan atau diwakili oleh *Power Delay Profile*, yang dimana PDP ini merupakan daya sinyal yg diterima dengan penundaan yang tepat. Berdasarkan *Power Delay Profile* tersebut dapat menunjukkan *power* rata-rata yang berkaitan dengan *multipath delay* yang berbeda [12][13].

Power Delay Profile (PDP) adalah intensitas dari sinyal yang diterima oleh *receiver* melalui *multipath channel* sebagai fungsi dari waktu *delay*. *Power delay profile* (PDP) merupakan faktor utama untuk menentukan kinerja sistem dari simulasi/pengukuran data. *Inter-Symbol Interference* (ISI) secara langsung berkaitan dengan fenomena *multipath* yang dihasilkan dari lingkungan (seperti kelembaban, suhu, dan tekanan udara) melalui saluran propagasi antara pemancar dan penerima [14][15].

Adapun langkah-langkah untuk merepresentasikan *Power Delay Profile* (PDP) dari model kanal 5G sebagai berikut [16][17]:

1. Mengubah PDPi pada dBm ke numerik, dimana i adalah angka indeks dari PDP. $i = \{1,2,3,..,K\}$. K merupakan banyaknya percobaan PDP.

2. Menggabungkan setiap α timeslot τ pada setiap PDPi kemudian ditempatkan menjadi timeslot 1. Simbol α adalah *grouping index*. Pada penelitian ini mempertimbangkan $\alpha = 40$ dan $l = 1, 2, 3, \dots, L$, dimana L merupakan total dari τ pada PDPi dibagi dengan α .

$$\tau_{(l-1)\alpha+1}^{PDPi} = \frac{1}{\alpha} \cdot \sum_{n=(l-1)\alpha+1}^{l\alpha} \tau_n^{PDPi} \quad (1)$$

3. Menggabungkan tiap $\tau(l-1)\alpha + 1$ dari seluruh PDPi lalu menghitung *Cumulative Distribution Function* (CDF).
4. Melakukan CDF sebesar 90% pada setiap $\tau(l-1)\alpha + 1$ dari semua PDP untuk dijadikan representatif daya.
5. Melakukan *threshold* sebesar -140 dB dari PDP *representative*. Nilai *threshold* ini adalah nilai inialisasi atau asumsi sensitivitas *device* 5G di Indonesia pada waktu yang akan datang.

Delay Spread

Mean excess delay adalah momen pertama dari PDP yang dinormalisasi dengan daya sinyal rata-rata. Secara matematis *mean excess delay* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 [18].

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=0}^k P(\tau_k) \cdot \tau_k}{\sum_{k=0}^k P(\tau_k)} \quad (2)$$

Dimana $\bar{\tau}$ adalah *mean excess delay* (μs), $P(\tau_k)$ adalah daya normalisasi pada waktu τ_k (dBm), dan τ_k adalah waktu *delay* ke- k (μs)

Maximum excess delay merupakan rentang *delay* dari munculnya *impulse* pertama sampai dengan *impulse* terakhir pada PDP, dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 [18].

$$\tau_d = \tau_{max} - \tau_0 \quad (3)$$

Dimana τ_d adalah *maximum excess delay* (μs), τ_{max} adalah *excess delay spread*, dan τ_0 adalah *first arriving signal*.

Root Mean Square delay spread (RMS *delay spread*) adalah momen kedua dari PDP. RMS ini termasuk parameter penting yang dapat membantu mengatasi *multipath fading*. Apabila nilai RMS *delay spread* diperkecil, maka *intersymbol interference* menjadi lebih kecil. Hal tersebut dapat membuat *error rate* menjadi kecil dan *data rate* meningkat. RMS *delay spread* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4 [18].

$$\sigma_\tau = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (4)$$

Dengan

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_{k=0}^k P(\tau_k) \cdot \tau_k^2}{\sum_{k=0}^k P(\tau_k)} \quad (5)$$

Dimana σ_τ adalah RMS *delay spread*, $\bar{\tau}$ adalah *mean excess delay*, dan $\bar{\tau}^2$ adalah momen kedua dari PDP

Capacity Channel

Kapasitas kanal (C) adalah salah satu parameter kinerja saluran nirkabel. Kapasitas saluran adalah jumlah informasi yang dapat ditransmisikan melalui saluran frekuensi, diukur dalam bit per detik per *hertz* (bps/Hz). Semakin besar kapasitasnya, maka akan semakin baik. Kapasitas kanal adalah informasi timbal balik maksimum dari pesan yang dikirim dan diterima, dimana probabilitas dari kesalahan mendekati nol jika rasio *coding rate* (R) kurang dari C . Kapasitas kanal dapat dinyatakan dalam Persamaan 6 [13][19],

$$C = B \cdot \log_2(1 + \gamma) \quad (6)$$

dimana B adalah *bandwidth* kanal (Hz) dan γ adalah rasio daya *signal-to-noise* pada kondisi cerah, mendung dan hujan.

Bit Rate

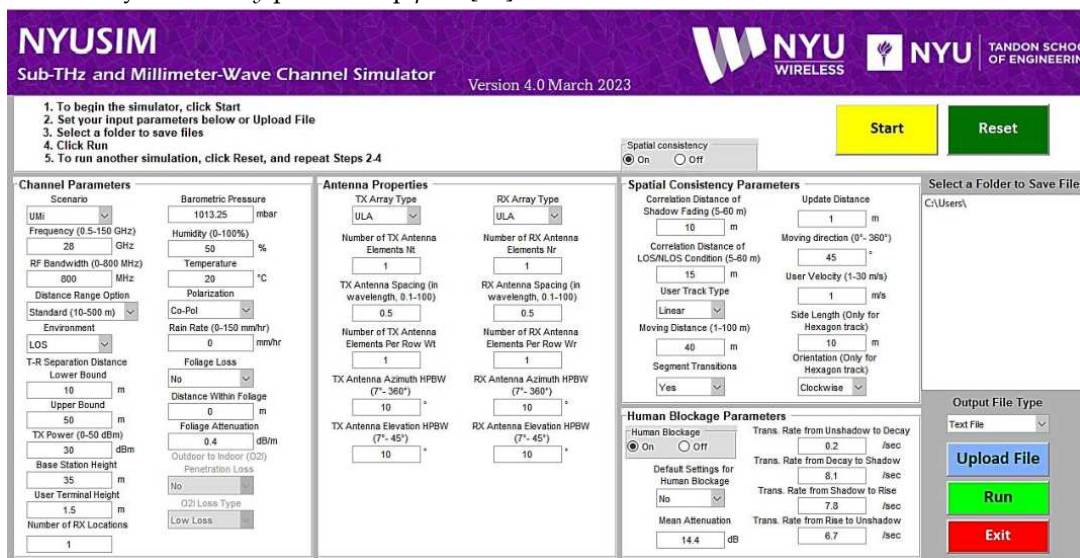
Bit rate adalah jumlah bit yang ditransmisikan dalam satu detik. Pada model kanal, *bit rate* adalah ukuran kecepatan pengiriman bit-bit sinyal dalam komunikasi digital dalam waktu 1 detik. Hubungan antara *bit rate* dan model kanal adalah bahwa *bit rate* mempengaruhi kinerja pada sistem komunikasi pada model kanal tertentu. Semakin tinggi *bit rate*, maka semakin banyak informasi yang ditransmisikan dalam satu detik, dan semakin besar kemungkinan terjadinya kesalahan transmisi.

Oleh karena itu, model kanal harus dirancang untuk meminimalkan kesalahan transmisi dan memastikan kualitas sinyal yang baik. Sistem komunikasi yang baik harus mempertimbangkan *bit rate* dan model kanal untuk memastikan kinerja yang optimal. Adapun untuk perhitungan *bit rate* dapat dilihat pada Persamaan 7.

$$Bit\ Rate = C \times B \tag{7}$$

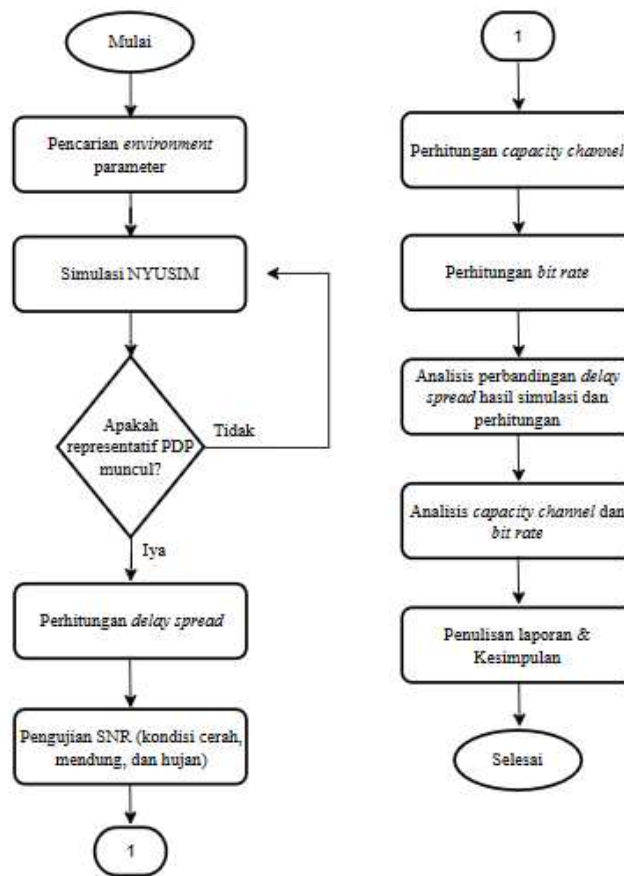
NYU Wireless Simulator

NYU Wireless simulator adalah salah satu aplikasi simulasi gelombang 5G berbasis Matlab yang dikembangkan oleh New York University. Aplikasi ini menghasilkan sejumlah *sample Channel Impulse Respon* (CIR) pada jarak tertentu antara pengirim (Tx) dan penerima (Rx), yang dimana jaraknya dapat diatur oleh pengguna. NYU Wireless simulator memiliki beberapa fitur yang dapat digunakan untuk mengatur atau mengkonfigurasi parameter yang akan digunakan. Kemudian hasil yang didapatkan pada saat penggunaan aplikasi ini berupa *instantaneous power delay profile* (PDF) yang terdiri dari daya dan *delay* pada setiap *path* [20].



Gambar 3. Tampilan aplikasi NYU wireless simulator

Alur Penelitian dan Environment Parameter



Gambar 4. Alur Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Provinsi Jawa Timur tepatnya pada Kota Surabaya (Juanda), Kabupaten Pasuruan (Kec. Pandaan) dan Kota Batu (Desa Punten). Adapun beberapa data titik koordinat lokasi penelitian yang dibutuhkan yaitu koordinat garis lintang (*latitude*) dan koordinat garis bujur (*longitude*). Kedua koordinat tersebut didapatkan dengan menggunakan metode studi literatur melalui aplikasi *Google Earth*.

Pada penelitian ini melakukan implementasi *mmWave* 26 GHz dan 28 GHz dengan *bandwidth* sebesar 100 MHz untuk komunikasi seluler 5G di Provinsi Jawa Timur tepatnya pada Kota Surabaya (Juanda), Kabupaten Pasuruan (Kec. Pandaan) dan Kota Batu (Desa Punten), dengan empat skenario yaitu suhu maksimum, suhu minimum, kelembaban maksimum dan kelembaban minimum. Karena frekuensi *mmWave* dipengaruhi dengan kondisi alam seperti curah hujan, tekanan udara, kelembaban dan suhu udara, maka penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data parameter *environment* tersebut berdasarkan data statistik sektoral pada periode rata-rata 1 Januari 2023 hingga 30 September 2023 agar merepresentasikan kondisi alam yang sesungguhnya. Parameter *environment* akan menjadi inputan pada *channel parameters* pada simulator NYU *wireless simulator* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Channel Parameters

Parameter	Kota Surabaya	Kabupaten Pasuruan	Kota Batu
Suhu Maksimum	34.36°C	27.83°C	-
Suhu Minimum	22.2°C	17.94°C	20.13°C
Kelembaban Maksimum	95.4%	98.6%	98.4%
Kelembaban Minimum	50%	54.24%	67.7%
Curah Hujan	197.01 mm	324.65 mm	128.5 mm
Tekanan Udara	1010.84 Mbs	-	-

Tabel 2. Perancangan Pengujian

Lokasi	Input		Banyak Percobaan	Output
	Variabel Tetap	Variabel Berubah		
Kota Surabaya, Kabupaten Pasuruan, dan Kota Batu	26 GHz	T_{max}	12 kali	Representatif PDP dan kinerja model kanal berdasarkan <i>capacity channel</i> dan <i>bit rate</i> .
	28 GHz	H_{max} T_{min} H_{min}		

Perancangan Pengujian dan Metode Analisis Data

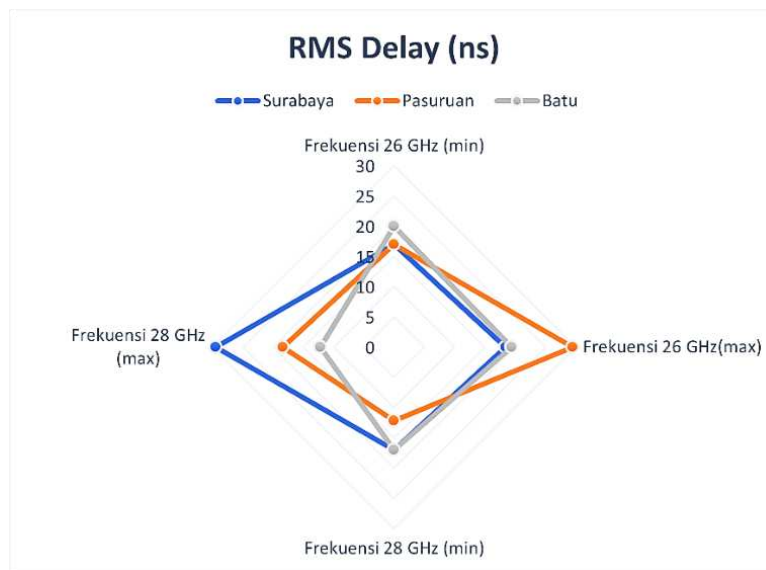
Pada pengujian ini terdapat 3 lokasi (Kota Surabaya, Kabupaten Pasuruan, dan Kota Batu), untuk inputan dari pengujian ini terdapat 2 variabel, yaitu frekuensi sebagai variabel tetap dan 4 skenario (kelembaban maksimum, kelembaban minimum, suhu maksimum, dan suhu minimum) sebagai variabel berubah. Total banyaknya percobaan yaitu 12 kali, dengan tiga lokasi, dimana masing-masing lokasi dilakukan 4 kali percobaan untuk dua variabel tetap, dan empat variabel berubah.

Metode dalam menganalisis data, yaitu dilakukan perbandingan hasil representatif PDP antara frekuensi 26 GHz dan 28 GHz yang didapatkan dari simulasi pada aplikasi NYUSIM. Setelah melakukan tahapan pengujian pada aplikasi NYUSIM, maka representatif PDP yang dihasilkan berdasarkan sampel yang dimasukkan akan dilihat perbandingannya. Kemudian, untuk validasi *outage performance* dapat dilihat dari analisis kinerja model kanal berdasarkan *capacity channel* dan *bit rate* yang didapatkan dari perhitungan manual. Berdasarkan dari analisis tersebut akan disimpulkan pada ketiga lokasi tersebut untuk penggunaan model kanal 5G, frekuensi manakah yang bagus dan

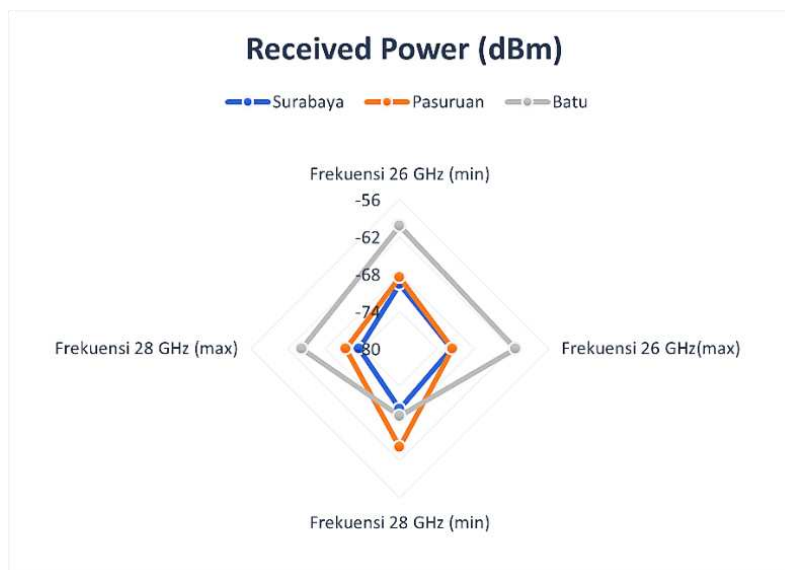
apakah besar kecilnya suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi kinerja performansi dari model kanal 5G atau tidak.

3. Hasil dan Diskusi

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan aplikasi NYU *Wireless simulator*, didapatkan nilai hasil pengukuran untuk masing-masing tempat penelitian dengan kondisi yang berbeda itu nilainya berbeda juga. Dapat dilihat pada grafik Gambar 5 dan Gambar 6 tersebut menunjukkan hasil simulasi pada ketiga lokasi pada frekuensi 26 GHz dan 28 GHz, serta dalam kondisi minimum dan maksimum. Dapat dianalisis bahwa dari keempat grafik tersebut Kota Batu memiliki hasil yang cukup bagus, karena nilai RMS *delay* yang didapatkan tidak terlalu besar dan daya terima yang didapatkan juga jauh lebih besar dibandingkan Kota Surabaya dan Kabupaten Pasuruan.



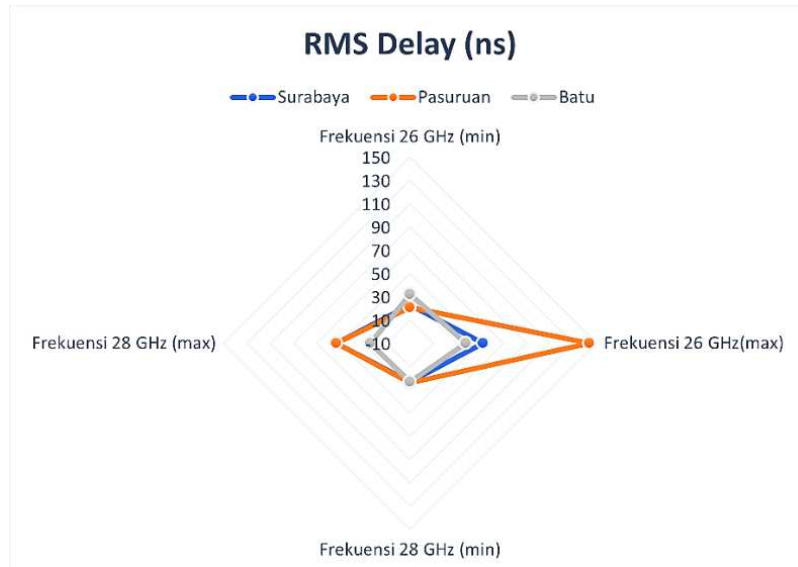
Gambar 5. Grafik RMS Delay Simulasi Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz



Gambar 6. Grafik Received Power Simulasi Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz

Pada Gambar 7 menunjukkan grafik hasil perhitungan manual. Jika dibandingkan dengan grafik hasil simulasi sangat jauh berbeda untuk besaran nilainya pada kondisi maksimum. Pada

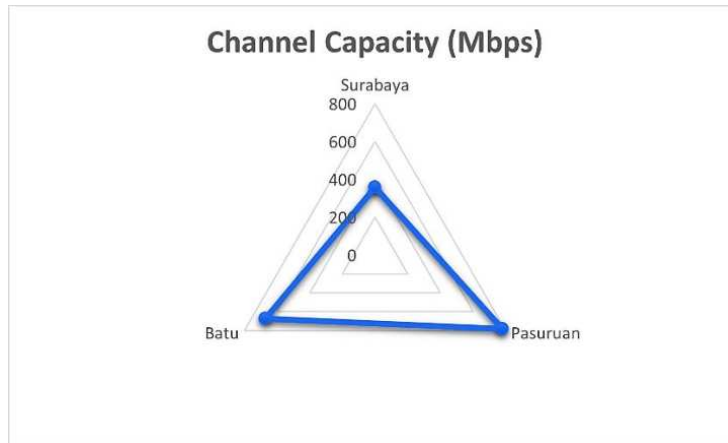
kondisi minimum yang ditunjukkan pada grafik masih dapat dikatakan bagus karena nilai *RMS delay* yang didapatkan tidak terlalu besar, sedangkan disaat kondisi maksimum pada frekuensi 26 GHz dan 28 GHz nilai *RMS delay* yang didapatkan sangat besar. Besarnya nilai dari *RMS delay* ini dapat menyebabkan ISI (*Inter-Symbol Interference*). Akan tetapi dari hasil grafik, Kota Batu dapat dikatakan cukup bagus dibandingkan dengan kedua lokasi penelitian lainnya, karena hasil yang didapatkan bernilai tidak terlalu besar yaitu pada frekuensi 26 GHz kondisi minimum sebesar 32 ns dan kondisi maksimum sebesar 38 ns, sedangkan pada frekuensi 28 GHz kondisi minimum sebesar 23 ns dan kondisi maksimum sebesar 24 ns.



Gambar 7. Grafik RMS Delay Kalkulasi Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz

RMS delay dibutuhkan nilai yang rendah untuk kapasitas kanal yang lebih tinggi, karena hal tersebut menunjukkan bahwa kanal memiliki distorsi waktu yang lebih rendah. Akan tetapi *RMS delay* dengan nilai terlalu rendah juga dapat menyebabkan masalah, seperti efek *doppler* yang lebih besar, penurunan kualitas sinyal dan peningkatan sensitivitas terhadap interferensi koheren. Jadi, nilai *RMS delay* yang optimal adalah sesuai dengan durasi simbol sinyal yang ditransmisikan, sehingga menghindari ISI (*Inter-Symbol Interference*) dan memaksimalkan kapasitas saluran. Apabila didapatkan nilai *RMS delay* yang besar dan menimbulkan ISI maka cara untuk menguranginya adalah dengan menggunakan teknik equalisasi, seperti memasang *adaptive equalizer* pada sisi *receiver*. Sedangkan untuk daya terima, semakin besar daya yang diterima maka akan semakin bagus kinerja model kanal tersebut dan akan lebih optimal.

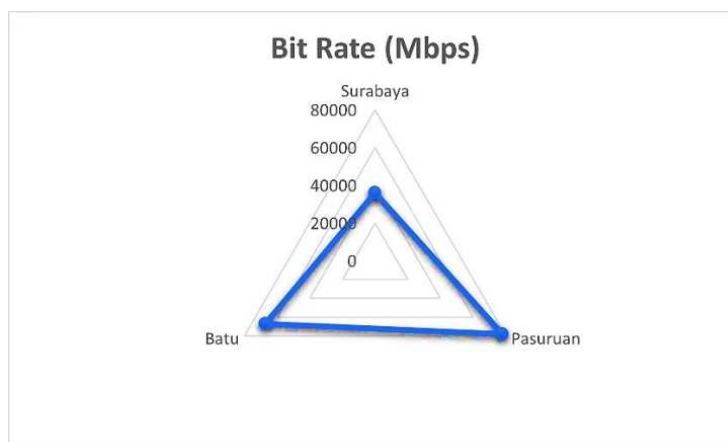
Selanjutnya, analisis mengenai *channel capacity* harus diketahui dahulu bahwa semakin besar informasi yang ingin ditransmisikan maka semakin besar pula kapasitas kanal yang dibutuhkan. Kapasitas kanal yang besar juga dapat membantu untuk mentoleransi kesalahan. Pada Gambar 8, kapasitas kanal pada Kabupaten Pasuruan lebih besar dibandingkan dengan Kota Surabaya dan Kota Batu. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai SNR yang didapatkan saat pengujian *power strength* dan nilai SNR juga dipengaruhi oleh banyak faktor dua diantaranya adalah kekuatan sinyal dan kondisi lingkungan. Nilai SNR yang didapatkan saat pengujian pada Kabupaten Pasuruan 222 dB, Kota Surabaya 11 dB, dan Kota Batu 104 dB.



Gambar 8. Grafik Hasil Kalkulasi Channel Capacity

Semakin besar informasi yang dibutuhkan dengan kesalahan yang kecil maka semakin besar pula SNR yang dibutuhkan. Jadi dapat dikatakan bahwa, dengan besarnya nilai SNR tersebut sesuai dengan besarnya kapasitas kanal yang digunakan. Besar kecilnya kapasitas kanal tergantung dengan jumlah informasi dan SNR yang dibutuhkan. Berdasarkan hal tersebut, bisa berkaitan juga dengan kondisi cuaca. Nilai SNR yang dihasilkan dari pengujian dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi cuaca, sehingga dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai dari kapasitas kanal. Penggunaan frekuensi tinggi untuk 5G mengakibatkan rentan terhadap cuaca. Semakin tinggi suhu maka nilai SNR yang dihasilkan akan semakin kecil dikarenakan adanya hambatan konduktor. Selain suhu, curah hujan juga dapat mempengaruhi nilai SNR yang dihasilkan.

Kemudian, analisis mengenai *bit rate* harus diketahui juga terlebih dulu bahwa *bit rate* ini juga dapat mempengaruhi model kanal. Semakin tinggi *bit rate*, maka semakin besar kemungkinan kemungkinan terjadi kesalahan transmisi. Oleh karena itu, untuk perancangan kapasitas kanal harus meminimalkan kesalahan transmisi dan memastikan kualitas sinyal. Jadi, antara *bit rate* dan kapasitas kanal ini saling berkaitan. Pemilihan model kanal harus dilakukan dengan baik agar tidak mempengaruhi kualitas sinyal dan tidak menyebabkan kesalahan bit atau *bit error*. Jadi, semakin besar kapasitas kanal maka *bit rate* atau bit yang ditransmisikan juga bisa lebih besar. Dari analisis sebelumnya mengenai kapasitas kanal, didapatkan Kabupaten Pasuruan memiliki nilai kapasitas kanal yang paling besar. Hal tersebut membuat nilai bit yang dapat ditransmisikan di Kabupaten Pasuruan ini jadi lebih besar dengan nilai 78009 Mbps, dibandingkan dengan Kota Surabaya 35849,63 Mbps dan Kota Batu 67142,46 Mbps.



Gambar 9. Grafik Hasil Kalkulasi Bit Rate

Berdasarkan analisis tersebut, perbedaan hasil yang didapatkan tergantung dari kondisi cuaca yang ada di lokasi tersebut, seperti Kota Surabaya yang panas, Kota Batu yang dingin dan Kabupaten Pasuruan yang berada diantara keduanya, tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas. Kondisi cuaca tersebut juga bisa dipengaruhi dari kontur bumi, jadi Kota Surabaya yang berada di dataran rendah akan jauh lebih panas dibandingkan dengan Kota Batu yang berada di dataran tinggi. Pada Kota Surabaya tepatnya kecamatan semampir terletak pada ketinggian 6 mdpl, Kota Pasuruan tepatnya kecamatan Pandaan terletak pada ketinggian 100-500 mdpl, dan Kota Batu tepatnya pada kecamatan Bumiaji desa Punten terletak pada ketinggian 950 mdpl.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengujian *delay spread* simulasi dan perhitungan manual, diantara ketiga lokasi penelitian, Kota Batu yang paling bagus karena memiliki nilai RMS *delay* yang kecil dan daya yang diterima lebih besar dibandingkan dengan kedua lokasi penelitian lainnya. Kemudian *outage performance* dapat dilihat dari *channel capacity* dan *bit rate*. *Channel capacity* pada Kabupaten Pasuruan lebih bagus dibandingkan dengan kedua lokasi penelitian lainnya, dengan nilai SNR 222 dB dan kapasitas saluran sebesar 780,089 Mbps, sedangkan *bit rate* Kabupaten Pasuruan lebih bagus dibandingkan dengan kedua lokasi lainnya, karena kapasitas saluran yang dimiliki juga bernilai besar sehingga *bit rate* yang dapat ditransmisikan juga bisa lebih besar, yaitu 78009 Mbps. Sebagai bahan perbandingan, penggunaan frekuensi 26 GHz pada penelitian ini lebih bagus dibandingkan dengan frekuensi 28 GHz, hal tersebut dikarenakan nilai *delay* yang didapatkan jauh lebih kecil. Kemudian kondisi lingkungan dan kondisi cuaca juga sangat amat berpengaruh pada penelitian ini. Dengan menggunakan frekuensi yang tinggi, maka besar kemungkinan terjadinya interferensi yang disebabkan oleh kondisi alam. Sehingga untuk penggunaan skenario pada kondisi cuaca, skenario minimum mendapatkan hasil jauh lebih bagus dibandingkan dengan skenario maksimum.

Referensi

1. K. NI'AMAH, S. NURJANA, and A. R. DANISYA, "Model Kanal 5G Frekuensi 28 GHz dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 276, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i2.276.
2. H. U. Mustakim, "Tantangan Implementasi 5G di Indonesia," *INTEGER J. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2019, doi: 10.31284/j.integer.2019.v4i2.561.
3. D. M. Hidayatulloh, "Perkembangan Teknologi 5G," *Univ. Pendidik. Indones.*, vol. 1, no. 1, pp. 2–5, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.19061.81127.
4. R. N. Esa, A. Hikmaturokhman, and A. R. Danisya, "5G NR Planning at Frequency 3.5 GHz : Study Case in Indonesia Industrial Area," *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, no. January, pp. 187–193, 2020, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9277427.
5. R. D. WAHYUNINGRUM, K. NI'AMAH, and S. LARASATI, "Model Kanal 5G dengan Pengaruh Kelembapan pada Frekuensi 3,3 GHz dan Bandwidth 99 MHz Berbasis Convolutional Codes," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 4, p. 878, Oct. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.878.
6. R. Febriliana, "Teknologi 5G," no. January, pp. 7–9, 2021.
7. Ericsson, "5G Deployment Considerations".
8. M. N. Rahman, K. Anwar, and L. O. Nur, "Indonesia 5G Channel Model Considering Temperature Effects at 28 GHz," *3rd Symp. Futur. Telecommun. Technol. SOFTT 2019*, vol. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/SOFTT48120.2019.9068606.
9. E. D. Wardihani, H. W. Astuti, A. Suharjo, and S. Pramono, "Performance of 5G-NR under Semarang Channel Model," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1096, no. 1, p. 012078, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1096/1/012078.
10. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, "Provinsi Jawa Timur Dalam Angka 2022," 2022.
11. K. Anwar, E. Christy, and R. P. Astuti, "Indonesia 5G Channel Model Under Foliage Effect [Model Kanal 5G Indonesia dengan Pengaruh Dedaunan]," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 17, no. 2, p. 75, 2019, doi: 10.17933/bpostel.2019.170201.

12. S. P. Syafiqulamin, "MODEL KANAL 5G FREKUENSI 28 GHZ DENGAN PENGARUH SUHU DI KOTA JAKARTA," 2021.
13. D. Version, *Aalborg Universitet Channel Characterization and Modeling for Future Wireless Communication Systems Zhang, Guojin Publication date* : 2023.
14. I. Rahayu and A. Firdausi, "5G Channel Model for Frequencies 28 GHz, 73 GHz and 4 GHz with Influence of Temperature in Bandung," *J. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 2, p. 94, 2022, doi: 10.22441/jte.2022.v13i2.006.
15. R. Baihaqi, K. Anwar, and R. Astuti, "Barometric Pressure Effect on 5G Channel Model Validated using Convolutional Codes," pp. 10–17, 2020, doi: 10.4108/eai.11-7-2019.2298020.
16. H. Suwoyo, Y. Tian, W. Wang, M. M. Hossain, and L. Li, "HUMIDITY EFFECT TO 5G PERFORMANCES UNDER PALEMBANGCHANNEL MODEL AT 28 GHZ," *SINERGI*, vol. 24, no. 1, p. 37, Dec. 2019, doi: 10.22441/sinergi.2020.1.006.
17. E. Christy, R. P. Astuti, and K. Anwar, "Telkom University 5G Channel Models under Foliage Effect and Their Performance Evaluations," *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDEv 2018*, no. March 2020, pp. 29–34, 2018, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706848.
18. S. Nurjanah, "Analisis Performansi Mmwave Frekuensi 28 GHz 16 QAM OFDM dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta," *ejournal Inst. Teknol. Telkom Purwokerto*, p. 17101030, 2019.
19. M. E. Alfaroby, N. M. Adriansyah, and K. Anwar, "Study on Channel Model for Indonesia 5G Networks," pp. 125–130, 2018.
20. K. Ni'amah, R. D. Wahyuningrum, and S. Larasati, "Broadband Channel Based on Polar Codes At 2.3 GHz Frequency for 5G Networks in Digitalization Era," *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 247–257, 2022, doi: 10.31289/jite.v6i1.7310.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Article

Technical and Economic Analysis for 5G Nr Network Non-Standalone Planning In Yogyakarta City Using 2300 MHz Frequency

Ridho Prasetyo Wicaksono^{1*}, Hamzah Ulinuha Mustakim², Arrizky Ayu Faradila Purnama³¹⁻³ Department of Telecommunication Engineering, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Correspondence: ridhoprasetyo@student.telkomuniversity.ac.id

Received: 19 February 2024; Accepted: 13 March 2024; Published: 31 July 2024;

Abstract: Yogyakarta City covers a total area of 32,819 km² with a population of 378,913 in 2022. Yogyakarta City has the potential to improve connectivity and enhance telecommunication services, which will benefit the population and overall city development. Additionally, the adoption of 5G NR technology can also support various sectors such as education, business, tourism, and governance, benefiting the community and the local economy. Therefore, Yogyakarta City's support for the establishment of 5G NR planning can be explained by the potential benefits offered by the technology in improving the quality of life and overall city development. This research utilizes the Technical Planning of 5G New Radio networks in Yogyakarta City with the architecture of 5G New Radio (NR) in Non-Standalone (NSA) mode. It encompasses technical design aspects related to coverage and capacity, cost planning (NPV, PP, IRR, ROI), and economic analysis (Capex, Opex, and Revenue). In the simulation, coverage for 47 sites was achieved, meeting the criteria for good signal quality, and for capacity, 43 sites with good signal quality were obtained. The cost and economic results obtained over 4 years show that the initial capital will be recouped, indicating that the investment is feasible to proceed with.

Keywords: 5G New Radio (NR); Network; Non – Standalone; Techno Economy

1. Introduction

Yogyakarta City has a total area of 32,819 km² with a population of 378,913 people in 2022, with a population density of 11,659 people every km² [1]. The existing population density makes one of the reasons for the impetus for this research to be carried out, both technically and economically, services are needed that are able to run and operate properly to meet user needs. Yogyakarta City supports the establishment of 5G NR planning due to awareness of the importance of technological advancements in improving telecommunication services. With the design of 5G NR networks, Yogyakarta City has the potential to improve connectivity and enhance telecommunication services, which will benefit the population and overall city development. Additionally, the adoption of 5G NR technology can also support various sectors such as education, business, tourism, and governance, which will benefit the community and the local economy. Therefore, Yogyakarta City's support for the establishment of 5G NR planning can be explained by the potential benefits offered by the technology in improving the quality of life and overall city development.

5G NR network technology is the 5th generation network standard, 5G NR technology is expected to be able to improve the technology that has existed before [4]. For this reason, in order to implement the 5G NR network properly in the city of Yogyakarta, a comprehensive technical design is needed both in terms of coverage and in terms of capacity (Coverage and Capacity), cost structure (Capex, Opex, Revenue), and economic analysis (NPV, PP, IRR, ROI). this is due to the many references

and plans that can be used, one of which is by 3GPP which issues a formula regarding the propagation model that can be used, the Urban Macro (UMa) propagation model is one of the propagation models suggested by 3GPP [2].

This research employs the Technical Planning of 5G New Radio (NR) networks in Yogyakarta City using the architecture of 5G New Radio (NR) in a Non-Standalone (NSA) mode with a frequency of 2300 MHz. After conducting simulations, the study will determine the number of gNodeBs in the Coverage Planning, along with the values of SS-RSRP, SS-SINR, and Throughput. Similarly, in Capacity Planning, the study will determine the number of gNodeB sites, along with the values of SS-RSRP, SS-SINR, and Throughput. The results obtained in the study will be evaluated according to the Key Performance Indicator (KPI) parameter category [3].

2. Research Materials and Methods

2.1. 5G New Radio Network

Mobile networks are communication networks that connect users wirelessly using radio waves. Indonesia is one of the countries that follows technological advancements. The 5G network is an advancement from previous generations such as 4G, 3G, 2G, and 1G [4].

2.2. 5G Network Architecture

5G Non-Standalone (NSA) means that 5G networks will be supported by existing 4G infrastructure. This architecture elevates the Evolved Packet Core (EPC)-based 5G NR cell as a core that is still under the 4G LTE network. Here, 5G-enabled smartphones will be connected to 5G radio frequencies to get faster data throughput but will still use 4G's core network [5].

2.3. Geographical Situation

Yogyakarta City is the capital city of the Special Region of Yogyakarta province. Yogyakarta City as a leading tourist destination city, rests on the strength and excellence of local tourism, business and education which has brought many changes and become a driving force for the overall development of Yogyakarta City [6]. Therefore, the city of Yogyakarta is one of the tourist destinations that is widely considered and becomes its own attraction [10].

2.4. Network Planning

Network planning in this study is carried out with 2 methods, namely Coverage Planning and Capacity Planning in order to get maximum results, network analysis is also carried out with two methods of observing in terms of coverage or size of the area and in terms of the capacity of the population or users of network services [7], network planning as follows:

2.4.1. Coverage Planning

Coverage Planning is used to estimate the number of cells needed in the planned area. Coverage Planning is cellular network planning based on the coverage area in one cell originating from the gNodeB. The calculation in Coverage planning is very considering the loss that occurs between gNodeB and User Terminal (UT) as well as in the planned area [8].

2.4.1.1. Link Budget

The Link Budget is a total calculation to determine the gain and loss in a system in order to ascertain the Received Signal Level (RxSL) received by the User Equipment (UE) receiver. The received Received Signal Level is then compared to the receiver's Receiver Sensitivity (RxS) to check whether the channel status is pass or fail. The link budget calculation is a power level calculation carried out to ensure that the received power level is greater than or equal to the transmitted power level.

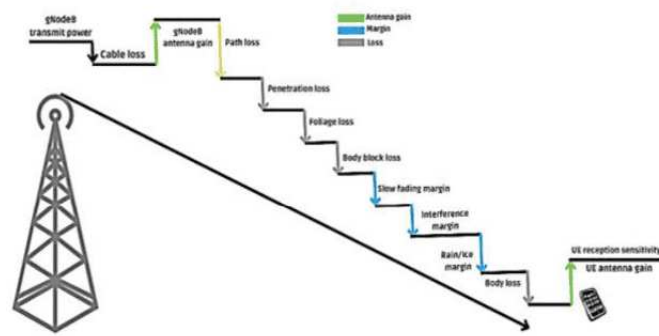


Figure 1. Factors Affecting Link Budget

The aim is to maintain a balance of gain and loss from the transmitter antenna (Tx) to the receiver antenna (Rx). From the link budget calculation, the Maximum Allowable Path Loss (MAPL) or maximum signal attenuation received between the mobile antenna and the mobile station antenna on the downlink side can be obtained [12]. To find the Allowable Path Loss (APL) value, it can be calculated using the link budget parameters in Figure 1. [9].

2.4.1.2. Thermal Noise

Thermal Noise is Noise or obstructions that affect the signal formula used to calculate Noise is:

$$N_{\text{thermal}} = 10 \times \log (K \times T \times B) \quad (1)$$

Description:

- K = Boltzman constanta (1.38×10^{-20} Joule/K).
- T = Temperature (293° K).
- B = Bandwidth (Hz)

2.4.1.3. Subcarrier Quantity

After calculating the value of Thermal Noise then calculate the value of Subcarrier Quantity with the following formula:

$$S_{\text{Cq}} = R_B \times S_{\text{RB}} \quad (2)$$

Description:

- S_{Cq} = Subcarrier Quantity
- R_B = Resource Block
- S_{RB} = Subcarrier Resource Block

2.4.1.4. Pathloss

In this Pathloss calculation, the amount is influenced by several parameters used in the Link Budget. The formula for calculating pathloss is as follows [11]:

$$\begin{aligned} \text{Path loss (dB)} = & \text{gNodeB transmit power (dBm)} - 10 \times \log(\text{subcarrier quantity}) \\ & + \text{gNodeB antena gain (dBi)} - \text{gNodeB cable loss (dB)} \\ & - \text{penetration loss (dB)} - \text{foliage loss (dB)} - \text{body blok loss(dB)} \\ & - \text{obtrusion margin (dB)} - \text{rain snow margin (dB)} \\ & - \text{slow fading margin (dB)} + \text{UE antena gain (dB)} \\ & - \text{Thermal noise power(dBm)} - \text{UE noise figure (dB)} \\ & - \text{demodulation threshold SINR (dB)} \end{aligned} \quad (3)$$

The $d3D$ value from the Pathloss formula above requires $d'BP$, Value $h'UT$, This using the formula:

$$h'_{BS} = h_{BS} - hE \quad (4)$$

$$h'_{UT} = h_{UT} - hES_{cq} = R_B \times S_{RB} \quad (5)$$

$$d'_{BP} = 4 \times h'_{BS} \times h'_{UT} \times f_c / cS_{cq} = R_B \times S_{RB} \quad (6)$$

Description:

hE = Height of Equipment

h_{BS} = Heigh of Base Station

h'_{UT} = Height of User Terminal

d'_{BP} = Distance of Break Point

2.4.1.5. Propagation Model Urban Macro (UMa)

Propagation model is a modeling used based on density justification and also needs in a certain area on a network. Yogyakarta is classified as a fairly dense city, so it uses the Urban Macro (UMa) propagation model [11]. The formula for calculation is:

$$PL = 28.0 + 40 \log_{10} d_{3d} + 20 \log_{10} f_c - 9 \log_{10} ((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (7)$$

Description:

PL = Pathloss value (dB).

$d_{3d} = (h_{BS} \times h_{UT})$ with value d_{2d}

2.4.1.6. Cell Radius

After calculating the propagation model, the next step is to find the value of $d2D$, obtained as the Cell Radius value that conforms to the Pythagorean principle with the following formula:

$$\text{Cell Radius } (d_{2d}) = \sqrt{((d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2)} \quad (8)$$

Description: d_{2d} = Pythagoras cell radius

2.4.1.7. gNodeB Coverage Area

From the value obtained for the Cell Radius, the Coverage Area served by a Single Site can also be determined, which is needed for the area's size calculation, and can be calculated using the following formula:

$$\text{gNodeB Coverage Area} = 1,9 \times 2,6 \times d_{2D}^2 \quad (9)$$

Description:

C_A = gNodeB Coverage Site (m²)

d_{2d} = Cell radius (m)

2.4.1.8. Number of gNodeB

For a research area, it is necessary to determine the number of Sites required by knowing the area's size to conduct planning in a network. This can be calculated using the following formula:

$$N \text{ gNodeB} = \frac{\ell \text{ area}}{C_A} \quad (10)$$

Description:

$N \text{ gNodeB}$ = Number of gNodeB

$\ell \text{ area}$ = Area total (m²)

C_A = Coverage area gNodeB (m²)

2.4.2. Capacity Planning

Planning based on capacity prioritizes meeting the needs of user traffic. Data estimates of the number of customers in several districts in the city of Yogyakarta are obtained from the Central Statistics Agency for the Yogyakarta area [1].

2.4.2.1. Bass Model

The Bass model is used to make estimates/predictions of network users to measure the number of consumers and also the potential for network planning in this research. The formula used is:

$$N(t) = M \frac{1 - e^{-t(p+q)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-t(p+q)}} \quad (11)$$

Description:

$N(t)$ = Users Market Predicted

M = Market Volume

p = Innovation value, $p \geq 0$

q = Imitation value, $q \leq 0$

2.4.2.2 Demand Traffic

The density of network users must be estimated within the research area. In order to determine the traffic needs within each kilometer, and to achieve optimal results, this research uses the following formula:

$$G(t) = \rho \cdot \frac{8}{N_{dh} N_{md}} \cdot \varphi(t) \cdot D_k \quad (12)$$

Description:

$G(t)$ = Traffic demand forecast

N_{dh} = Daily busy hours

N_{md} = Number of days in a month

$\varphi(t)$ = Peak traffic demand

D_k = Traffic demand of month

2.4.2.3 Data Rate

Data Rate is a measure indicating the amount of data in the transmission process that can be sent in unit of time, measured in bits in second. The calculation formula is as follows:

$$\text{Data rate} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J (v_{layer}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{max} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW.(j).\mu} \cdot 12}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH^{(j)})) \quad (13)$$

Description:

J = Number of aggregated carrier components

$Q_m^{(j)}$ = Modulation order

$f^{(j)}$ = Scaling factor where its values are 1; 0.8; 0.75; and 0.4

T_s^μ = Average duration of OFDM symbol in a subframe for numerology

$N_{PRB}^{BW.(j).\mu}$ = Maximum bandwidth allocation

$OH^{(j)}$ = Overhead for channel control

2.4.2.4 Number of gNodeB

After obtaining the previously sought values in capacity planning, the number of gNodeB sites is also calculated based on the number of users and the capacity used by customers. The formula used is as follows:

$$\text{Number of gNodeB} = \frac{G(t)}{\text{Data Rate}} \tag{14}$$

2.4.3. Cost Economic Structure

In the cost structure, there are 3 planning methods: Capital Expenditure (CAPEX), Operational Expenditure (OPEX), and Revenue. Meanwhile, in the economic planning of this research, Net Present Value (NPV), Payback Period (PP), Internal Rate of Return (IRR), and Return On Investment (ROI) are used.

2.4.3.1 Net Present Value (NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + K)^t} - I_0 \tag{15}$$

Description:

CF_t = Net cash flow

K = Interest rate

2.4.3.2 Playback Period (PP)

$$PP = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Arus Kas per Periode}} \tag{16}$$

2.4.3.3 Internal Rate of Return (IRR)

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \tag{17}$$

Description:

I_0 = Initial investment value

CF_t = Net cash flow

IRR = Interest rate at which the loss is sought

2.4.3.4 Return of Investment (ROI)

$$ROI = \frac{\text{Net Profit After Tax}}{\text{Total Asset}} \times 100\% \tag{18}$$

Parameters:

- If $ROI > 0$, then the investment is profitable
- If $ROI < 0$, then the investment is a loss
- If $ROI = 0$, then the investment is a breakeven investment (no provide advantages or disadvantages)

The scheme can be seen in the following figure 2.:

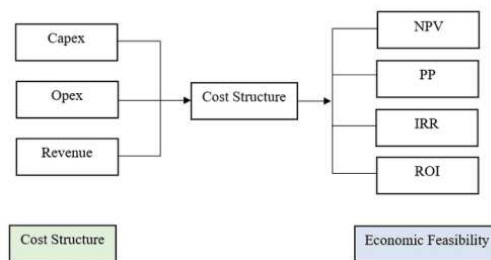


Figure 2. Flowchart of Cost Structure Calculation and Feasibility

The financial parameters in this study are chosen because this method allows us to determine and analyze the feasibility in designing a 5G NR Non-Standalone network in the city of Yogyakarta with a frequency of 2300. This can be considered feasible for network implementation because the cost and economic calculations are in line with the reference financial parameters.

3. Results and Analysis

3.1 Classification of Research Areas

Classification of regions is necessary for justifying an area for propagation modeling. In Yogyakarta city, regional justification is used in calculations and analysis in coverage planning as well as in terms of the population or users used in analysis and calculations in capacity planning. Both of these are used in classification or justification based on the geographical conditions of the area type, which falls into categories such as Rural, Suburban, Urban, or Dense Urban. The following is the population data in 2022, which can be seen in figure 3 [10]. The area of Yogyakarta City falls under the Urban category as shown in the above figure, with a population density ranging from 10,000 to 50,000 people in square kilometer. The parameters for the regional classification categories can be seen as follows:

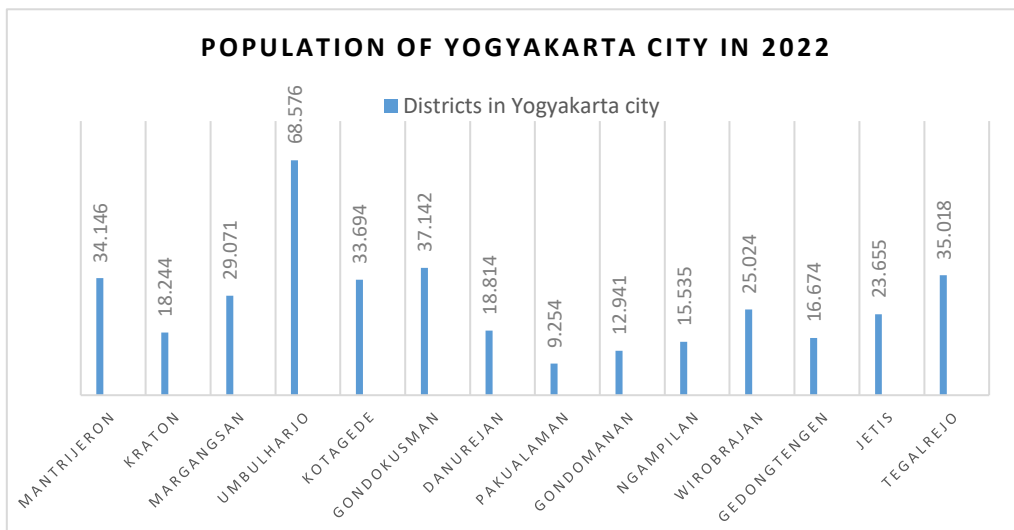


Figure 3. Population of Yogyakarta City in 2022

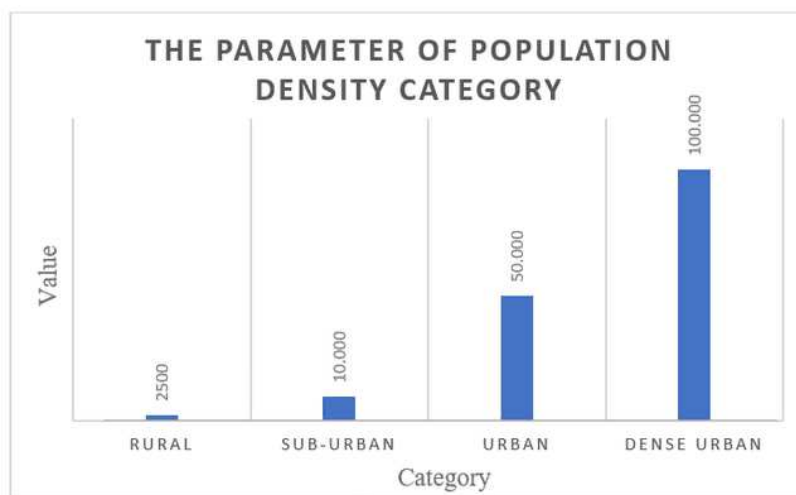


Figure 4. Parameters for Regional Classification Categories

3.2 Coverage Planning

In this Coverage planning, the aim is to estimate the number of gNodeB used to cover the research area of Yogyakarta City, based on the geographic conditions of the region, classification of area types, link budget, propagation model, and cell radius to determine the number of gNodeB sites needed to cover the research area in that region.

Table 1. MAPL Parameters

Maximum Allowable Path Loss (MAPL)		
Comment Parameter	Notasi	Value
gNodeB Transmitter Power (dBm)	a	49
Resource Block		273
Subcarrier Quantity	b	3276
gNodeB Antena Gain (dBi)	c	18,6
gNodeB Cable Loss (Dbi)	d	0
Penetration Loss	e	26,85
Foliage Loss	f	19,59
Body Block Loss (dB)	g	3
Interference Margin (dB)	h	6 2
Rain/Ice Margin (dB)	i	0
Slow Fading Margin (dB)	j	7
UE Antena Gain (dBi)	k	0
Bandwidth (MHz)		100
Boltzman Constant (mWs/K)		$1,38 \times 10^{-20}$
Temperature (Kelvin)		293
Termal Noise Power (dBm)	l	-153,93
UE Noise Figure (dB)	m	9
Demodulation ThresholdSINR (dB)	n	22,9

3.2.1 Thermal Noise

The results of the Thermal Noise calculation yield the following values:

$$N_{\text{thermal}} = 10 \times \log(1,38 \times 10^{-20} \times 293 \times 100)$$

$$N_{\text{thermal}} = -153,93253 \text{ dBm}$$

3.2.2 Subcarrier Quantity

The results of the Subcarrier Quantity calculation yield the following values:

$$S_{\text{cq}} = 3276$$

3.2.3 Pathloss

According to the reference values of MAPL used, the following are the results of the Pathloss calculation:

$$\begin{aligned} \text{Pathloss} &= 49 - 10 \log(3276) + 18,6 - 0 - 26,85 - 19,59 - 3 - 6 - 0 - 7 + 0 \\ &\quad - (-153,93253) - 9 - 22,9 \end{aligned}$$

$$\text{Pathloss} = 92,0365611 \text{ dB}$$

After calculating the Pathloss values above, the value of $d3D$ is also required along with the values of h'_{UT} and d'_{BP} . These values are used to determine the correct height at the Transmitter (Tx) and Receiver (Rx). The results obtained from the calculation are as follows:

$$h'_{\text{BS}} = 25 \text{ m} - 1 \text{ m} = 24 \text{ m}$$

$$h'_{\text{UT}} = 1,5 \text{ m} - 1 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

$$d'_{\text{BP}} = 4 \times 24 \times 0,5 \times 2,3 \times 10^9 / 3 \times 10^8 = 368 \text{ m}$$

3.2.4 Urban Makro Propagation (UMa)

According to the population density justification, the propagation model used in this study is the Urban Macro (UMa) propagation model. The results obtained from the calculations are as follows:

$$99,43 = 28.0 + 40 \log_{10}(d_{3d}) + 20 \log_{10}(2,3) - 9 \log_{10}((368)^2 + (24 - 1,5)^2)$$

$$d_{3d} = 375,906034 \text{ m}$$

3.2.5 Cell Radius

The results of the calculation to obtain the Cell Radius value are:

$$\text{Cell Radius } (d_{2d}) = \sqrt{((375,906034)^2 - (25 - 1,5)^2)}$$

$$\text{Cell Radius } (d_{2d}) = 375,170756 \text{ m}$$

3.2.6 gNodeB Coverage Area

From the values obtained for the cell radius, it is also known the coverage area served by each site, which is required for the size of a certain area as follows:

$$CA = 1,9 \times 2,6 \times (375,170756)^2$$

$$CA = 0,6953203 \text{ km}^2$$

3.2.7 Number of gNodeB

After obtaining the values from the previous calculations in coverage planning, the next step is to determine the number of gNodeB sites that can cover the research area's extent. The calculation results for the number of gNodeB sites obtained are as follows:

$$N \text{ gNodeB} = 47 \text{ gNodeB}$$

3.3. Capacity Planning

Capacity Planning involves efficiency calculations within a network in terms of users or user capacity. This can estimate the number of gNodeB needed based on the number and density of 5G network users for a five-year projection.

3.3.1 Bass Model

In the Bass Model, it is used to predict the estimated number of users on the network in the next five years in Yogyakarta City. The calculations in the Bass Model are as follows:

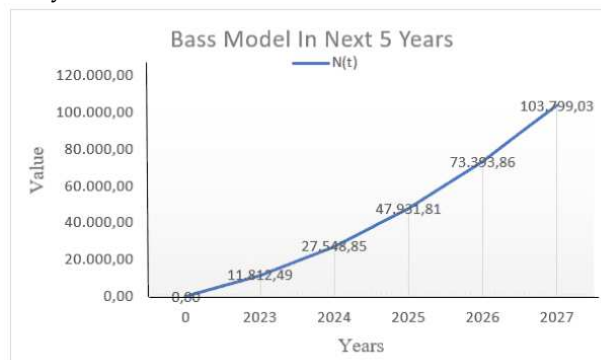


Figure 5. Bass Model in 5 years

3.3.2 Demand Traffic

Demand Traffic is useful for calculating the density of network users to determine traffic needs in each kilometer of the research area. The calculation for Demand Traffic over the next five years is computed as follows:



Figure 6. ρ value 2022 until 2027

3.3.3 Data Rate

The calculation for Data Rate will be used to find the data speed in a transmission. Data Rate calculation also serves to determine the number of gNodeB sites obtained in terms of user capacity. The Data Rate calculation is as follows:

$$\text{Data rate} = 10^{-6} (4 \times 4 \times 1 \times 0,926 \times \frac{273 \times 1 \times 12}{10^{-3} \times 14 \times 2^1}) \times (1 - 0,14) = 1,169 \text{ Gbps (gNodeB)}$$

3.3.4 Number of gNodeB

The calculation results for the number of gNodeB sites in each district in Yogyakarta City can be computed using the following formula and obtained results as shown in the table below:

Table 2. Number of gNodeB In Each District

District	Number of gNodeB
Mantrijeron	3
Kraton	3
Margangsan	3
Umbulharjo	2
Kotagede	3
Gondokusuman	2
Danurejan	4
Pakualaman	3
Gondomanan	3
Ngampilan	4
Wirobrajan	3
Godongtengen	4
Jetis	3
Tegalrejo	3

3.4. Simulation Network Planning

3.4.1 Simulation Results of Coverage Planning

3.4.1.1 Simulation Secondary Synchronization - Reference Signal Received Power (SS-RSRP)

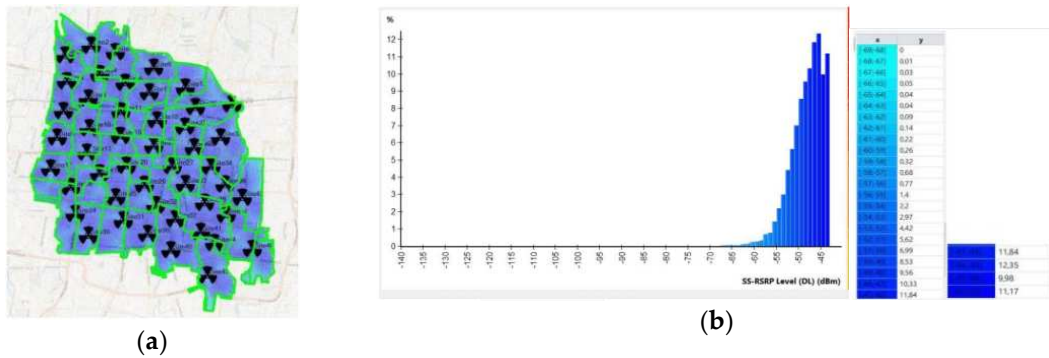


Figure 7. Signal Level SS-RSRP

According to the Coverage simulation, the SS-RSRP value is -47.97 dBm, with the highest Signal Level being -44 dBm at 11.168% or 3.685 km² and the lowest Signal Level being -67 dBm at 0.01% or 0.003 km² of the entire area of Yogyakarta City. The obtained signal falls into the Very Good category according to the (KPI).

3.4.1.2 Simulation Secondary Synchronization-Signal to Noise and Interference Ratio (SS-SINR)

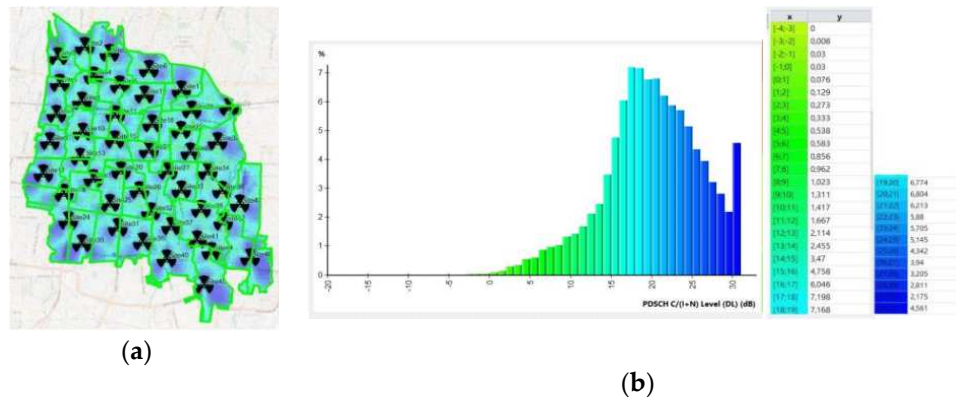


Figure 8. Signal Level SS - SINR

According to the Coverage simulation, the minimum number of gNodeB required is 47 gNodeB. The simulation results show that the SS-SINR value is 20.09 dB, with the highest signal level being 30 dB at 1.505 km² or 4.561% and the lowest signal level being -2 dB at 0.008 km² or 0.003% of the entire area of Yogyakarta City. The obtained signal falls into the Good category according to the Key Performance Indicator (KPI).

3.4.1.3 Troughput Simulation

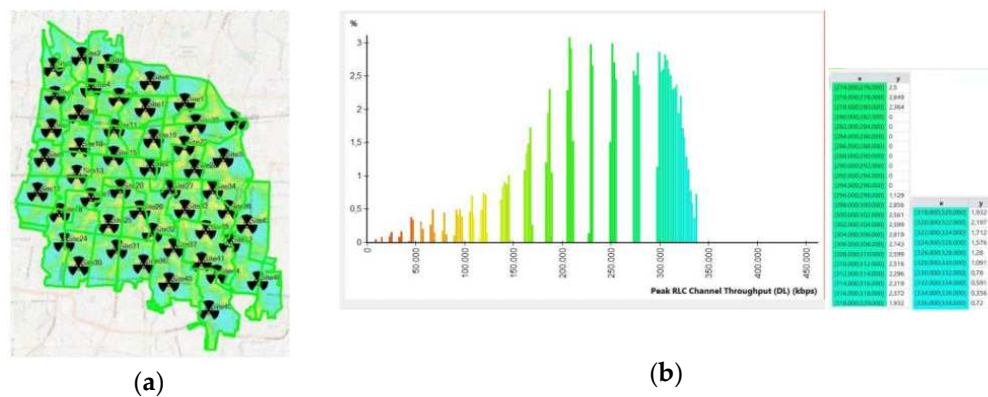
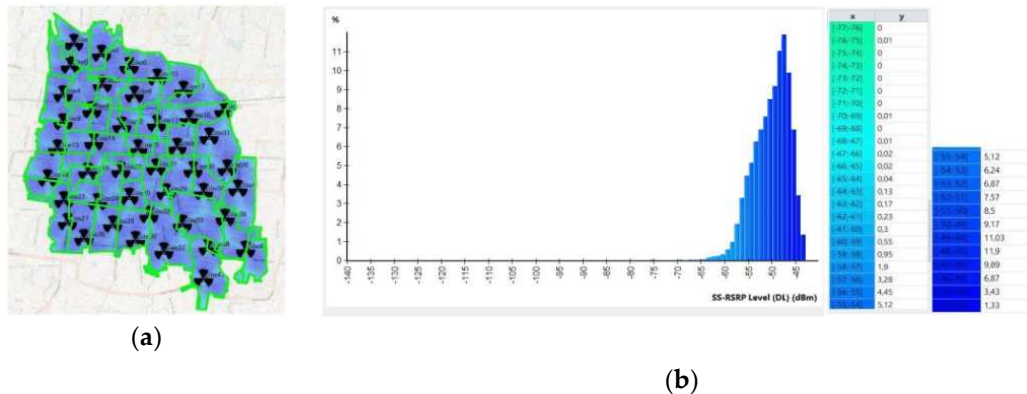


Figure 9. Signal Level Troughput

The results obtained from the Signal Level Throughput Coverage simulation in Yogyakarta City with a minimum of 47 gNodeB show that the average Throughput value is 243,947.8 Kbps. The highest Signal Level Throughput is 336,000 Kbps at 0.2375 km² or 0.72%, and the lowest Signal Level Throughput is 10,000 Kbps at 0.0125 km² or 0.038% of the entire area of Yogyakarta City.

3.5.1 Simulation Results of Capacity Planning

3.5.1.1 Simulation Secondary Synchronization - Reference Signal Received Power (SS-RSRP)



3.5.1.3 Troughput Simulation

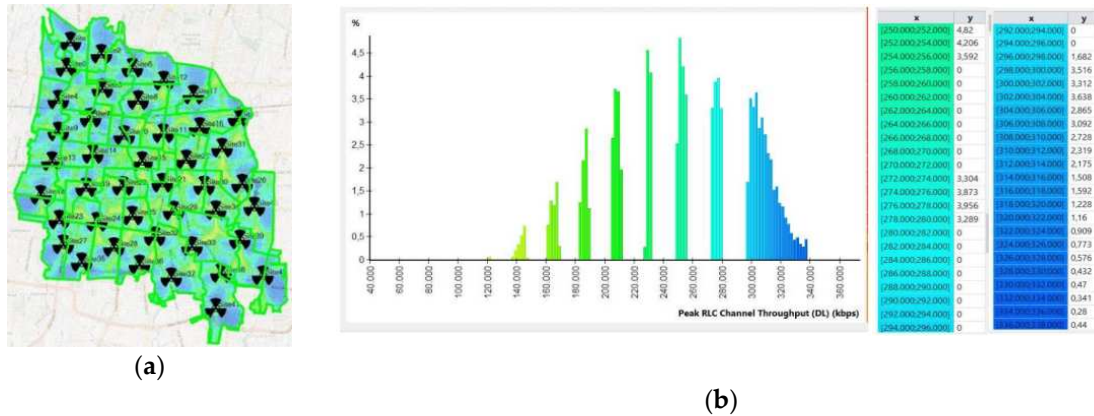


Figure 12. Signal Level Throughput

The Throughput signal level in Yogyakarta City resulted in 43 gNodeB. The Throughput signal level graph yielded an average Throughput value of 256,913.8 kbps, with the highest signal level at 336,000 Kbps covering 0.145 km² or 0.44% and the lowest signal level at 122,000 Kbps covering 0.018 km² or 0.053% of the entire area of Yogyakarta City.

3.6 Analysis Results Simulation

3.6.1. Analysis in Coverage Planning using Atoll

In the Coverage Planning simulation in Yogyakarta City with 47 sites, the SS-RSRP simulation resulted in a value of -47.97 dBm, classified as very good. The SS-SINR result was 20.09 dB, classified as good, and the Throughput value was 243,947.8 Kbps. These results align with the KPI.

In Coverage Planning, the number of gNodeB sites is based on the calculation of the area's extent and the propagation model used. Therefore, the calculation to find the sites is influenced by pathloss calculations, propagation models, obtained cell radius, coverage area size of gNodeB, and the size of the research area. This determines the number of sites in Coverage Planning.

3.6.2. Analysis in Capacity Planning using Atoll

In the Capacity Planning simulation results in Yogyakarta City with 43 sites, the SS-RSRP result from the simulation was -50.17 dBm, classified as very good. The SS-SINR result was 7,820.66 dB, categorized as very good, and the Throughput value was 256,913.8 Kbps. The results are in accordance with the Key Performance Indicator (KPI).

The number of gNodeB sites in Capacity Planning is influenced by the number of users. So, after calculating N(t) (market user prediction) and determining ρ (user density in the area) and also G(t) (traffic demand forecast), we obtain User Data Rate and Data Rate capacity gNodeB, thus determining the number of gNodeB sites in each district. However, some districts have a high number of gNodeB sites despite having a smaller area. In Capacity Planning, the calculation is based on the number of users and the calculation of data rate user and capacity gNodeB. Therefore, if a district has many users but insufficient gNodeB capacity, the number of gNodeB sites will increase in each district.

3.7. Results Capacity Expenditure

In Capital Expenditure, the calculation involves the cost incurred to purchase or lease network infrastructure and serves as an initial capital investment in Year 0, while in subsequent years, it becomes maintenance costs.

Table 3. List of Capex

List of CAPEX	Cost Calculation
Base Band Unit (include UMPT,UBBP)	Rp 382.005.070.620
RRU Module,Three Sectoral	Rp 587.815.543.900
Antenna Sectoral (macro)	Rp 376.329.002.115
Combiner (3 pieces)	Rp 140.675.700.235
Additional Rectifier	Rp 63.943.502.585
Supporting Material Installation	Rp 174.778.900.705
Installation Equipments	Rp 306.928.797.415
Software and License	Rp 4.980.554.045

3.8 Operational Expenditure (OPEX)

In Operational Expenditure, the calculation involves the expenses incurred for operational costs including maintenance costs, site rentals, personnel payments, etc., as explained in the table below:

Table 4. List of OPEX

List of OPEX	Cost Description	Cost
Power Consumption	Power consumption components on gNodeB	Rp 1.149.611.620,00
Transport Fee of gNodeB Optic	Optical transport on gNodeB that is required	Rp 6.707.199.975,00
Consumable Parts	Consumable Parts	Rp 1.814.000.025,00
Operational and Maintenance (5% of CAPEX)	Operation and maintenance	Rp 612.593.370.055,00
Marketing and Advertisement (7% Revenue)	Marketing and advertising	Rp 26.257.758.840,00
Spectrum License	Spectrum license	Rp 29.043.065,00
BHP USO	Components that telecommunication service providers must pay to government (non-tax)	Rp 3.067.495.155,00
BHP for Telecommunication	Components that telecommunication service providers must pay to government (non-tax)	Rp 1.226.998.120,00
Depreciation of Equipments	Depreciation of equipment used	Rp 32.617.927.045,00

The operational cost calculation is carried out to estimate the total components used, and the calculation can be seen in the figure 13.



Figure 13. Value Total Opex 5 Years

3.9 Revenue

Revenue calculation is done every year to determine whether the revenue obtained increases or decreases each year. The revenue result is calculated from the first year to the total value of the next five years. The percentage value of the revenue calculation is also depicted in the graph below in the following figure 14 and 15.



Figure 14. Cost Revenue

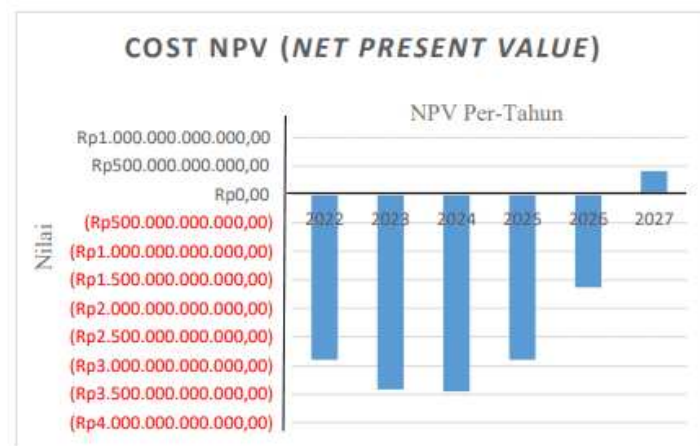


Figure 15. Cost NPV

3.10 Economic Results

3.10.1 Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) is the difference between the present value and the net cash income obtained in the future. NPV can be calculated every year for the next 5 years as shown below:

3.10.2 Playback Period (PP)

In the Payback Period (PP), it is an estimate of the time period or the duration in which a design that will be implemented by the company will return the initial investment that has been made. The shorter the time period obtained in the payback period, the better in network planning calculations. In this calculation, the result is approximately around a duration of 4 years.

3.10.3 Internal Rate of Return (IRR)

In the Internal Rate of Return (IRR) calculation, it functions to determine the rate at which the present value of future expected cash flows equals the initial investment outlay and operational costs. In this study, the IRR value obtained is 10%, which is considered feasible because the IRR value is greater than the interest rate of 3.20%. Therefore, IRR in this study is considered feasible.

3.10.4 Return on Investment (ROI)

Return on Investment (ROI) functions to analyze from a financial report to calculate a rate of return on a company's operations, which is done to calculate within a company to achieve an effective operational level. ROI value is calculated every year as shown in the following table:

Table 5. ROI Value

Years	ROI Value (%)
2023	2,1%
2024	4,8%
2025	8,3%
2026	12,8%
2027	18,1%

3.11. Cost and Economic Structure Analysis

3.11.1 Cost Feasibility Analysis

According to the calculation of the cost structure based on Capex, Opex, and Revenue. The calculation results where Capex and Opex are calculated over the next 5 years to determine the amount of expenses incurred each year for the purchase of goods and operational expenses, while Revenue is the income obtained each year. Cost structure calculation on Capex is only done in Year 0 (2022) because in Capex, the capital expenditure is used to purchase devices, installation necessities, etc. Whereas in Opex, the expenses for operations are always present every year, so the cost in Opex is calculated every year, and after entering the calculation process, the expenses in Opex incurred an increase every year, this is also influenced by the increasing number of 5G customers built from the first year, to the second and so on the number of users continues to increase, therefore the operational expenses incurred increase every year, and in revenue, the value is obtained every year from the first year to the next five years. Revenue is the income value to cover the amount spent by Capex and Opex. The results for cost structure calculations are obtained.

3.11.2 Economic Feasibility Analysis

The calculation of the economic structure is calculated using NPV and PP, in this calculation, it is also calculated with a projection of the next 5 years. The results obtained in the first 4 years of NPV show negative values, and in the 5th year, a positive value/profit is obtained. In PP, it is the time period where the value obtained in NPV also shows how long the initial investment can return the capital, in this calculation, it takes 4 years to return the initial capital, so the parameter in the payback period of the investment is considered feasible if PP.

4. Conclusion

Based on the data collection, planning, simulation results, and analysis of the final project entitled "Technical and Economic Analysis in 5G NR Non-Standalone Network Planning in Yogyakarta City Using 2300 MHz Frequency," it can be concluded that, In the Coverage Planning simulation results in Yogyakarta City with an area of 32.5 km², 47 sites were obtained. The SS-RSRP result from the simulation was -47.97 dBm, categorized as Very Good. The SS-SINR result was 20.09 dB, categorized as Good, and the Throughput value was 243,947.8 Kbps. In the Capacity Planning simulation results in Yogyakarta City with 14 districts, a total of 43 sites were obtained. The SS-RSRP result from the simulation was -50.17 dBm, classified as Very Good. The SS-SINR result was 20.66 dB, classified as Good, and the Throughput value was 256,913.8 Kbps.

In the cost calculation, Capital Expenditure (CAPEX) was required for expenses in Year 0 (2022) for component costs, installation, and others. Operational Expenditure (OPEX) was calculated as annual expenses in operational costs, and the total Revenue was obtained each year from the first year to the fifth year. In the economic calculation, the Net Present Value (NPV) was Rp412,007,923,481.78 with a rate of 3.20%, which is considered feasible. The Payback Period (PP) value with a parameter of $PP < 5$ years resulted in a Payback Period (PP) of 4 years, which is considered feasible. The Internal Rate of Return (IRR) value was 10%, which is considered feasible because the Internal Rate of Return (IRR) value exceeds the interest rate of 3.20%. The Return On Investment (ROI) value is considered feasible because the Return On Investment (ROI) value has a percentage above 0 and an average percentage value of 9.22%. The financial parameters of profit are chosen because through this method, one can determine and analyze the profits and losses in the design of a 5G NR Non-standalone network in Yogyakarta city with a frequency of 2300. It is profitable because the cost and economic calculations can be recouped in approximately 4 years in the design phase, thus making it deemed feasible for network implementation.

References

1. U. M. D. E. C. D. E. Los, "Kota Yogyakarta Dalam Angka 2023", [Online]. Available: data bps/Kota Yogyakarta Dalam Angka 2023.
2. Sophia Antipolis, "3GPP Technical Report: Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (3GPP TR 38.901 version 16.1.0 Release 16)," 3GPP Tech. Rep., vol. 3GPP TR 38, no. 16, 2020.
3. K. Khotimah et al., "Analisis Key Performance Indicator (Kpi) Jaringan Telekomunikasi Gsm Pada Pt .Hutchison 3 Indonesia (H3I)," 1999, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/191284-ID-analisis-key-performance-indicator-kpi-j.pdf>
4. U. Aryanto, "Bab III - Metode Penelitian Metode Penelitian," Metod. Penelit., pp. 32–41, 2018.
5. S. B. Barutu, A. Hikmaturokhman, and M. P. K. Praja, "Planning of 5G New Radio (NR) mmWave 26 GHz in Karawang Industrial Area," 2020 IEEE Int. Conf. Commun. Networks Satell. Comnetsat 2020 - Proc., pp. 42–49, 2020, doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9329010.
6. P. Jogja, "Peta Administrasi Kota Yogyakarta," 2023, [Online]. Available: <https://dokumen.tips/documents/peta-jogja.html?page=1>
7. R. Desi, "Analisis Tekno Ekonomi Perencanaan Jaringan 5G Menggunakan Frekuensi 26 GHz Di Daerah Kawasan Industri Pulogadung," 2021, doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315455.
8. F. K. Karo, A. Hikmaturokhman, and M. A. Amanaf, "5G New Radio (NR) Network Planning at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta," in 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020, 2020, pp. 278–283. doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315504.
9. Huawei Technologies Co., "5G Link Budget: Best Partner for Innovation," pp. 1–15, 2018.
10. B. P. Statistik Yogyakarta, "Kota Yogyakarta Dalam Angka 2022," vol. 4, no. 1, pp. 64–75, 2022.
11. H. Yuliana, F. M. Santoso, S. Basuki, and M. R. Hidayat, "Analisis Model 91 Propagasi 3GPP TR38 . 900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area Urban Analysis of Propagation Model 3GPP TR38 . 900 for 5G New Radio (NR) Network Planning at 2300 MHz in Urban Areas," Telekomtran, Vol. 10, No. 2, Oktober 2022, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/download/8233/3321>
12. M. I. Nashiruddin, P. Rahmawati, and M. A. Nugraha, "Assessment of 5G Non-Stand Alone Network Deployment Using 700 MHz for Urban Scenario," 2022 10th Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2022, pp. 299–304, 2022, doi: 10.1109/ICoICT55009.2022.9914879.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Artikel

Rancang Bangun Buttler Matrix 4X4 Untuk Beamforming Antena Array Pada Aplikasi 5G

Alfiqril Khaikal ¹, Fannush Shofi Akbar. ^{2*}, Nilla Rachmaningrum ³¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia* Korespondensi : fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

Received: 10 Februari 2024; Accepted: 15 Maret 2024; Published: 31 Juli 2024:

Abstrak: Penelitian ini membahas perancangan *Buttler Matrix* 4x4 untuk *beamforming* antena *array* pada aplikasi 5G. Antena *array* digunakan untuk menciptakan variasi arah pancaran radiasi utama dengan mengatur fasa suplai arus secara berbeda untuk setiap elemen. *Buttler Matrix* adalah rangkaian *microwave* dengan N input dan N output yang digunakan dalam *beamforming*. Hasil pengukuran menunjukkan *reflection coefficient* dan *transmission coefficient* yang sesuai dengan target frekuensi 2.35 GHz. Antena *array* menggunakan antena mikrostrip *rectangular patch*. Hasil dari penyusunan *Buttler matrix* dan antena *array* menunjukkan perubahan frekuensi kerja setelah fabrikasi, dengan beberapa perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran. Meskipun demikian, hasil pengukuran hampir memenuhi atau sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi antena untuk aplikasi 5G, dengan fokus pada peningkatan cakupan, kapasitas, *beamforming*, dan struktur *array*.

Kata Kunci: Buttler Matrix; Beamforming; Antena Array; Reflection Coefficient; Transmission Coefficient.

1. Pendahuluan

Dunia media dan komunikasi mengambil langkah maju baru dengan rencana koneksi jaringan *fifth generation* (5G). Jaringan 5G merupakan pengembangan lebih lanjut dari jaringan nternet 4G LTE (*Long Term Evolution*) berkecepatan tinggi yang saat ni banyak digunakan di ponsel pintar. Di masa depan, jaringan 5G akan menawarkan nternet nirkabel yang lebih cepat untuk berbagai tujuan [1], [2]. Antena 5G memerlukan setidaknya dua antena di setiap pita frekuensi, yang berarti antena tersebut mendukung *multiple input-multiple output* (MIMO) dan *beamforming*. [3]. Antena *array* adalah susunan beberapa antena dentik. Tujuan dari pembuatan antena *array* antara lain meningkatkan gain antena, meningkatkan arah antena, mengarahkan daya pancaran ke daerah sudut yang diinginkan, menentukan arah sinyal masuk, dan memaksimalkan SINR (*Signal-to-Interference Noise Ratio*) [4], [5]. *Beamforming* adalah pembuatan pola radiasi antena yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. *Beamforming* memiliki fungsi untuk memfokuskan sinyal [6]. Pada *beamforming* analog terdapat *Buttler Matrix* yang kedepannya akan di gunakan pada tugas akhir ni. Buttler matrix adalah suatu jenis matriks yang digunakan dalam sistem antena *array* untuk membagi sinyal masukan ke setiap elemen antena dan mengkombinasikan sinyal keluaran dari setiap elemen antena menjadi sinyal keluaran tunggal [7]. Matrix Buttler mempunyai N input dan N output, dan dapat digunakan untuk membagi daya *input* ke setiap elemen antenna yang terhubung ke dalamnya dengan cara yang terukur [8], [9].

Pada penelitian terdahulu yang berjudul dengan judul *A Compact Design of 4X4 Buttler Matrix with Four Liniear Array Antenna at 38 GHz* membahas mengenai pembuatan *buttler matrix* 4X4 yang terhubung dengan antena *array* yang bekerja pada frekuensi 38 GHz. Pada pembuatan design nya

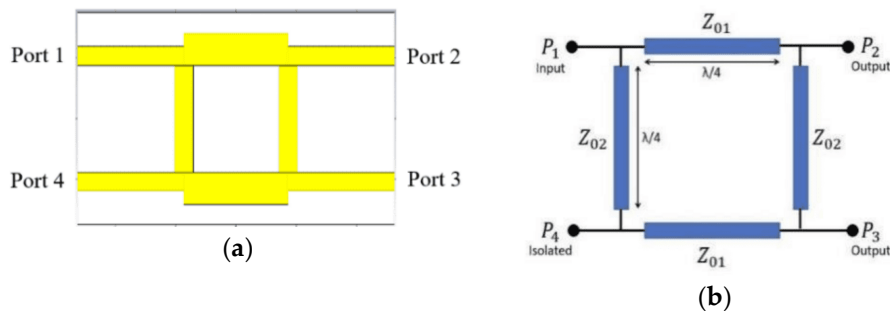
buttler matrix dan *antenna array* digabung menjadi 1 komponen dan bekerja pada frekuensi 38 GHz[10]. Maka dari itu pada penelitian ini akan dirancang *Buttler Matrix* 4x4 yang memiliki 4 *input* dan 4 *output* pada frekuensi 2.35 GHz dan akan digunakan pada *antenna array*. Pada proses perancangan *Buttler Matrix* 4x4 komponen *buttler matrix* akan dibuat terpisah dengan *antenna array* untuk mengetahui apakah ketika kedua komponen tersebut dipisah akan mempengaruhi hasil polarisasinya atau tidak serta frekuensi yang digunakan berada pada 2.35 GHz untuk aplikasi 5G. Pemilihan menggunakan *Buttler Matrix* 4x4 tergantung pada persyaratan aplikasi tertentu. Contohnya pada penelitian ni membuat *Buttler Matrix* yang dimana setiap *port output* yang berjumlah 4 akan di sambungkan ke *antenna array*. Pembuatan desain antenna menggunakan aplikasi CST Studio suite 2019. Pada perancangan, antenna yang dibuat memiliki target frekuensi 2.35 GHz dengan *reflection coefficient* > 10 dB sebagai *input* untuk P1, P2, P3, P4 dan *transmission coefficient* > 6dB sebagai *output* untuk P5, P6, P7, P8 serta beda fase setiap *port output* yaitu 45°. Setelah dilakukan perancangan akan ada fabrikasi dengan menggunakan bahan FR 4 sebagai media pencetakan desain *Buttler Matrix* 4x4. Kemudian akan dilakukan pengujian *prototipe* untuk memastikan kinerja dan kekurangan dari *antenna array* yang telah di buat dengan cara melihat nilai dari *Reflection Coefficient*, *Transmission coefficient*, *Bandwidth*, dan polaradiasi dengan menggunakan alat *Virtual Network Analyzer* (VNA).

2. Perancangan Buttler Matrix

Buttler Matrix terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *Brach-line Coupler*, *Crossover*, *Phase Shifter*[11]. Ketiga komponen ni dapat digunakan pada jalur mikrostrip karena mudah pembuatannya dan murah. Sistem ni dapat menghasilkan sinar sempit dalam arah berbeda dengan penguatan lebih tinggi karena diproduksi pada platform yang sama[12].

2.1. Perancangan Branch-line Coupler

Branch-line Coupler sering disebut *coupler* 3 dB atau *hybrid* 90°. Komponen ni dimaksudkan untuk membagi daya *input* menjadi dua daya *output* pada *port output* secara merata. Secara teoritis, *coupler* harus mentransmisikan setengah daya (-3 dB) ke kedua *port output* dan menghasilkan perbedaan fase 90°[13],[14].



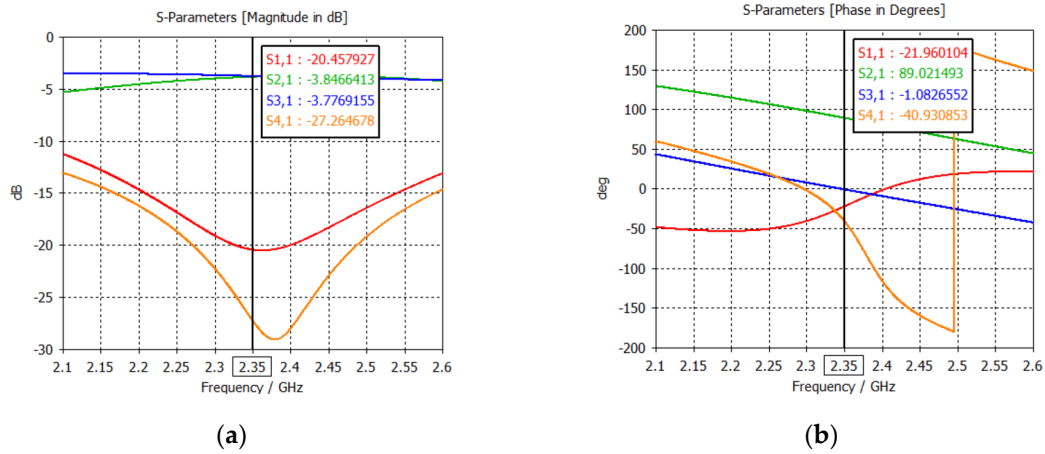
Gambar 1. Branch-line Coupler (A) Struktur, (B) Parameter impedansi

Dapat dilihat pada gambar 1 (A) struktur dari *branch-line coupler* terdapat daya *input* pada *port* 1, daya *output* pada *port* 2 dan *port* 3, dan solasi pada *port* 4. Cabang *horizontal* dan *vertikal* diwakili oleh impedansi dan, masing-masing kedua cabang memiliki *electrical lengths*. Pada gambar (B) ditunjukkan parameter pengukuran impedansi pada *Branch-line Coupler* yang berupa Z_{01} dan Z_{02} . Formulasi matematis untuk mendapatkan impedansi kedua garis cabang ditunjukkan dalam rumus berikut [15]:

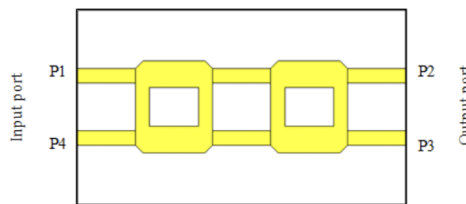
$$Z_{01} = Z_o \times \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{1}}} = Z_o \sqrt{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$Z_{02} = Z_0 \times \sqrt{\frac{1}{1}} = Z_0\sqrt{1} \quad (2)$$

Berikut merupakan hasil simulasi dari *branch-line coupler* yang telah dibuat dan telah dilakukan optimasi yang bekerja pada frekuensi 2.35 GHz.



Gambar 2. Hasil Simulasi Branch-line Coupler (A) Magnitude, (B) Phase

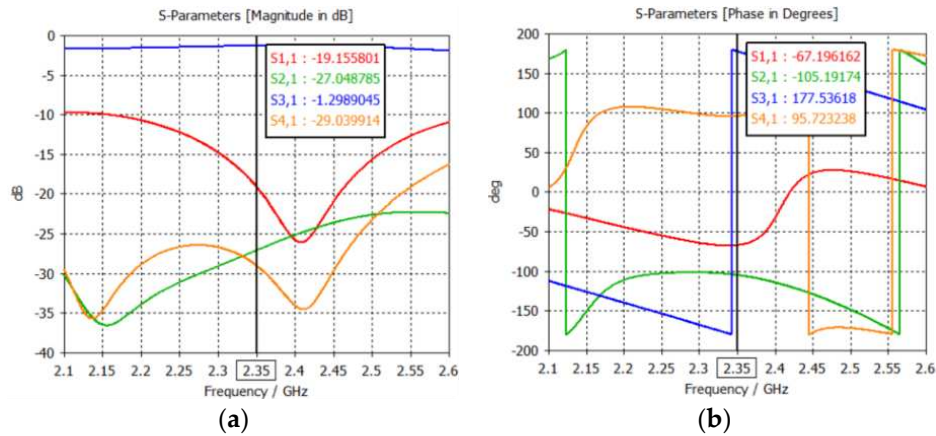


Gambar 3. Struktur Crossover

Pada gambar 4 (A) setelah dilakukan optimasi didapatkan hasil *transmission coefficient* S2.1 : -3.84 dB dan S3.1 : -3.77 dB pada frekuensi 2.35 GHz. Hasil tersebut sudah sesuai dengan hasil yang diinginkan yang dimana hasil *output* dari S2.1 dan S3.1 hasilnya harus sama. Serta didapatkan juga *reflection coefficient* sebesar S1.1 : -20.45 dB dan *solation* sebesar S4.1 : -27.26 dB pada frekuensi 2.35 GHz. Pada gambar 4 (B) dapat dilihat perbedaan fasa antara parameter S2.1 : 89.02° dan S3.1 : -1.08°. hasil dari perbedaan fasa antara *port* 2.1 dan *port* 3.1 yaitu 90.1° sangat mendekati 90° yang dimana secara teori hasil tersebut sangat bagus dan sesuai dengan target.

2.2. Crossover

Komponen utama kedua yang telah dibuat adalah *crossover*. Komponen ni umumnya dibuat dengan menggabungkan dua *coupler* 3 dB[16]. *Crossover* adalah komponen yang terdiri dari empat *port* simetris dengan dua *port input* dan dua *port output*. Untuk mencapai antarmuka yang dirancang sempurna, semua *port* yang berdekatan dengan konektor harus dipisahkan secara sempurna satu sama lain.[17]. Berikut merupakan hasil dari simulasi *crossover*

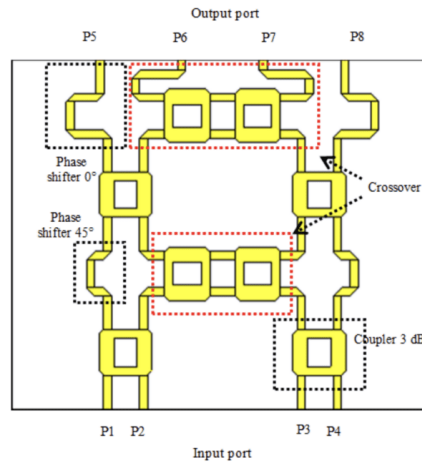


Gambar 4. Hasil Simulasi Crossover (A) Magnitude, (B) Phase

Gambar 4 merupakan hasil desain pada aplikasi CST yang sudah dirancang baik setelah dilakukan optimasi. Hasil dari S-Parameter *magnitude* setelah dioptimasi didapatkan hasil S3.1: -1.29 dB pada frekuensi 2.35 GHz. Hasil dari S-Parameter *crossover* setelah dioptimasi masih < 0 dB. Akan tetapi hasil S3.1 tersebut sudah sangat mendekati 0 dB.

2.3. Butler Matrix 4X4

Butler Matrix dirancang setelah tiga komponen utama: *branch-line coupler*, *crossover*, dan *Phase Shifter*[11]. Matriks Butler 4x4 dalam penelitian ni terdiri dari empat *branch-line coupler*, dua *crossover*, dan ada beberapa *Phase Shifter*. Gambar 5 menunjukkan struktur *Buttler Matrix* 4x4.

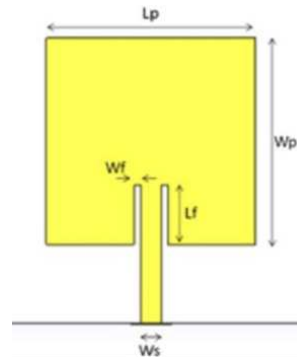


Gambar 5. Struktur Buttler Matrix 4X4

2.4. Perancangan Antena Array Mikrostrip

Bentuk *patch* yang banyak digunakan dalam pembuatan antenna mikrostrip adalah persegi panjang (*rectangular patch*). Antena *patch* persegi panjang adalah susunan beberapa antena mikrostrip persegi panjang yang beroperasi bersama-sama. Antena ni biasa digunakan dalam berbagai aplikasi seperti radar kapal, komunikasi satelit, dan teknologi komunikasi nirkabel 5G[18]. *Patch* persegi panjang adalah bagian dari antena mikrostrip dan bertindak sebagai pemancar gelombang elektromagnetik[19]. Antena *patch* mikrostrip persegi panjang terdiri dari lebar (W) dan panjang (L) pada permukaan dielektrik substrat dengan ketebalan (h) dan konstanta dielektrik (ϵ_r)[20]. Pada penelitian ni menggunakan antena mikrostrip *rectangular patch* sebagai *antenna array* atau antena *output* dari *buttler matrix* yang telah dibuat.

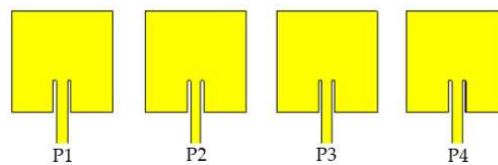
Dimensi antena *mikrostrip patch* persegi dengan pencatutan *insert feeding* dapat dilihat pada tabel 1. Setelah didapatkan ukuran dimensi dari *rectangular patch* selanjutnya *patch* tersebut di susun menjadi *antenna array* seperti pada gambar 7.



Gambar 6. Struktur Rectangular Patch

Tabel 1. Ukuran Dimensi *Rectangular Patch*

Parameter	Nilai
W_p	30.2 mm
L_p	30.2 mm
W_f	1 mm
L_f	9.5 mm
W_s	3.2 mm
L_s	10 mm



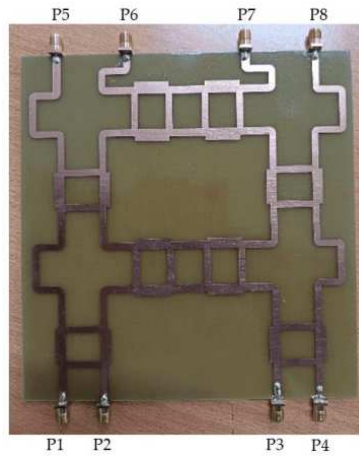
Gambar 7. Struktur Antenna Array

3. Hasil dan Analisa

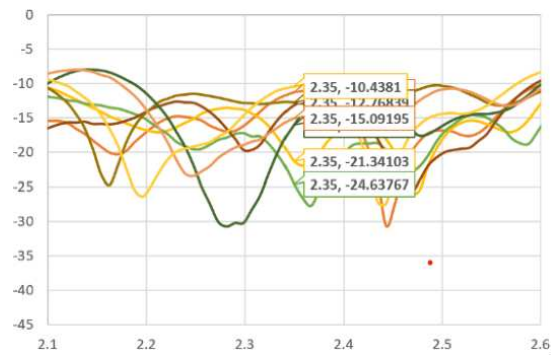
Pada desain *Buttler Matrix* 4X4 yang bekerja pada frekuensi 2.35 GHz yang telah dibuat memiliki dimensi 16 mm X 17 mm X 1.6 mm serta desain *antenna array* yang telah dibuat memiliki dimensi 16 mm X 5 mm X 1.6 mm. Berikut merupakan hasil dari simulasi serta pengukuran *Buttler Matrix* 4X4 dan *antenna array* yang telah dibuat.

3.1. *Buttler Matrix* 4X4

Buttler Matrix yang sempurna dan deal untuk di fabrikasi terdiri dari gabungan antara *Branch-line Coupler*, *crossover*, dan *Phase Shifter*. *Phase Shifter* memiliki ukuran panjang (L) dan lebar (W) yang berbeda-beda. *Phase shifter* juga berperan dalam mengoptimalkan kinerja antena array[21]. Dapat dilihat pada gambar 8 hasil dari fabrikasi *buttler matrix* 4X4 yang dimana P1, P2, P3, dan P4 sebagai *input* dan P5, P6, P7, dan P8 sebagai *output*. Berikut merupakan nilai *reflection coefficient* dari pengukuran *battler matrix* yang telah difabrikasi.



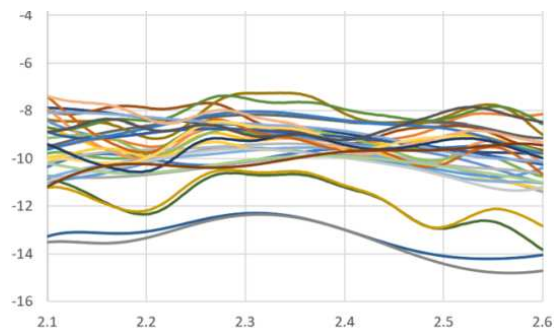
Gambar 8. Buttler Matrix 4X4 yang Telah Difabrikasi



Gambar 9. Grafik hasil Pengukuran Reflection Coefficient Buttler Matrix 4X4

Tabel 2. Nilai Hasil Pengukuran Buttler Matrix 4X4

<i>Port</i>	<i>S-Parameter</i>	<i>Bandwidth</i>
1	11.23 dB	600 MHz
2	21.53 dB	760 MHz
3	24.63 dB	790 MHz
4	13.17 dB	560 MHz
5	12.76 dB	400 MHz
6	15.97 dB	411 MHz
7	15.05 dB	432 MHz
8	10.36 dB	456 MHz



Gambar 10. Grafik Hasil Pengukuran Transmission Coefficient Buttler Matrix 4X4

Tabel 3. Nilai Transmission Coefficient Buttler Matrix 4X4

Port	Transmissio Coefficient
5.1	8.889119 dB
6.1	9.115906 dB
7.1	8.936133 dB
8.1	8.861545 dB
5.2	7.288182 dB
6.2	10.65578 dB
7.2	9.169137 dB
8.2	9.559458 dB
5.3	8.721014 dB
6.3	9.162804 dB
7.3	10.5356 dB
8.3	7.675084 dB
5.4	8.585118 dB
6.4	8.762975 dB
7.4	8.979973 dB
8.4	8.986133 dB

Bisa dilihat pada tabel 2 hasil yang didapatkan berbeda-beda terdapat jarak yang cukup jauh. Dari hasil pengukuran nilai *reflection coefficient* yang paling rendah terdapat pada port 8 yaitu 10.36 dB dan nilai *reflection coefficient* yang paling tinggi yaitu di port 3 yaitu 24.63 dB. Pada hasil *bandwidth* yang didapatkan hasil juga berbeda-beda. *Bandwidth* terendah terdapat pada port 5 yaitu 400 MHz dan yang paling tinggi ada di port 3 yaitu 790 MHz. Berikut merupakan nilai hasil dari simulasi pengukuran *transmission coefficient* pada *Buttler Matrix 4X4*

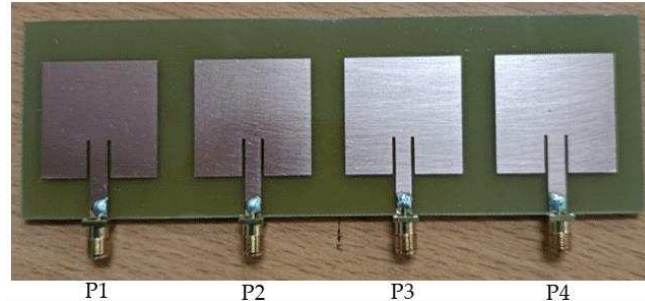
Dapat dilihat Tabel 3 yang merupakan hasil dari pengukuran *transmission coefficient* *Buttler matrix 4X4*. Dari hasil pengukuran tersebut hasilnya cukup stabil walaupun hasil dari pengukuran yang didapatkan tidak sesuai dengan target yang diinginkan yaitu > 6 dB serta *error* yang didapatkan juga cukup tinggi, ada beberapa yang *error* nya berada di atas 50% dan efisiensi nilai *transmission coefficient* hasil dari pengukuran setelah fabrikasi yaitu rata-rata berada di 50% pada setiap port.

Pada tabel 4 merupakan hasil pengukuran *Phase output* pada setiap port input yang telah dinormalisasi pada port output 5 pada *buttler matrix*. Dari hasil di atas dapat dilihat banyak terjadi *error* dari hasil yang didapatkan. Hasil perbedaan fasa didapat dari hasil simulasi menggunakan CST dan hasil dari pengukuran menggunakan VNA. *Error* dari perbedaan fasa hasil pengukuran berbeda-beda, ada yang *error* nya tinggi dan ada juga yang *error*-nya rendah. Dapat dilihat juga hasil polarisasi pada bagian *main lobe direction* yang juga terdapat *error* setelah dilakukan pengukuran pada *Buttler Matrix*.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Phase Output Buttler Matrix 4X4

Port	Keterangan	Perbedaan Fasa				Main Lobe Direction	Main Lobe Direction (Error)
		5	6	7	8		
1	Target	0°	-45°	-90°	-135°	-21°	2°
	Hasil	-0°	-9°	-82°	-115°	-19°	
2	Target	-90°	45°	180°	-45°	58°	23°
	Hasil	-90°	78°	-169°	-22°	35°	
3	Target	-45°	180°	45°	-90°	-58°	25°
	Hasil	-45°	-176°	46°	-105°	-33°	
4	Target	-135°	-90°	-45°	0°	20°	0°

3.2. Antenna Array



Gambar 11. Antena Array Setelah Fabrikasi

Pada tabel 5 merupakan hasil pengukuran S-Parameter menggunakan VNA. Hasil pengukuran yang dilakukan terjadi pergeseran frekuensi saat fabrikasi sehingga menyebabkan nilai atau titik terendah dari S-Parameter tidak tepat berada di frekuensi 2.35 GHz. Sehingga hasil dari pengukuran S-Parameter tidak sesuai dengan hasil simulasi yang telah dilakukan.

3.3. Integrasi Butler Matrix dan Antenna Stray

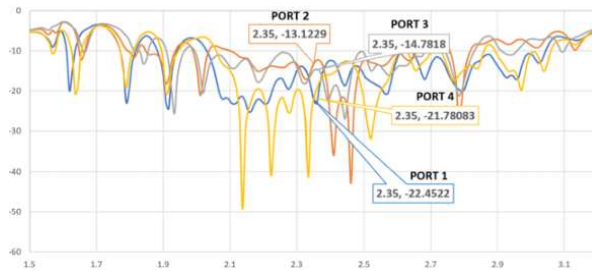
Berikut merupakan hasil dari pengukuran *Buttler Matrix* yang sudah dihubungkan dengan *antenna array* menggunakan kabel konektor dan di ukur untuk mencari polaradiasi dari antenna *output* setelah terhubung dengan *Buttler Matrix*. Untuk gambar dari penggabungan antara *Buttler Matrix* dengan *antenna array* dapat dilihat pada gambar 12.

Tabel 5. Nilai Hasil Simulasi dan Sesudah Fabrikasi Antena Array

Port	S-Parameter		Bandwidth	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
1	21.36 dB	12.42 dB	88 MHz	53 MHz
2	17.85 dB	21.18 dB	75 MHz	72 MHz
3	17.87 dB	16.53 dB	75 MHz	69 MHz
4	22.49 dB	13.56 dB	86 MHz	69 MHz



Gambar 12. Buttler Matrix 4X4 dan Antena Array

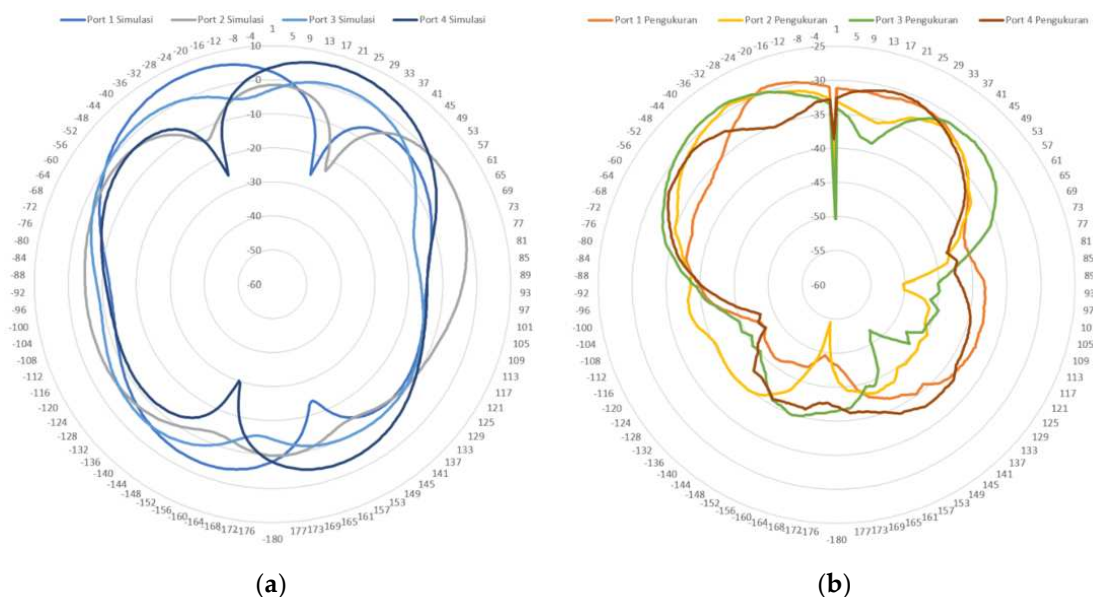


Gambar 13. Grafik Hasil Pengukuran Buttler Matrix 4X4 dan Antena Array

Tabel 6. Nilai Hasil Pengukuran Buttler Matrix 4X4 dan Antena Array

Port	S-Parameter	Bandwidth
1	22.54 dB	579 MHz
2	13.02 dB	561 MHz
3	14.89 dB	451 MHz
4	21.88 dB	545 MHz

Pada tabel 6 terdapat nilai *reflection coefficient* dan *bandwidth* dari *Buttler Matrix* yang telah digabung dengan *antenna array*. Hasil yang didapatkan yaitu bervariasi, nilai terendah terdapat pada port nput 2 yaitu 13.03 dB dan nilai tertinggi terdapat pada port nput 1 yaitu 22.54 dB. *Bandwidth* yang didapatkan juga bervariasi yang terendah pada port nput 3 yaitu 451 MHz dan yang tertinggi di port nut 1 yaitu 579 MHz. Setelah dilakukan pengukuran menggunakan VNA untuk mencari nilai dari *reflection coefficient* dan *bandwidth* selanjutnya dilakukan pengukuran untuk mencari hasil polaradiasi dari *Buttler Matrix* yang telah digabungkan dengan *antenna array*. Pengukuran dapat dilihat pada gambar 14. Pada gambar 14 merupakan hasil polaradiasi dari *buttler matrix* dan *antena array*. Dari hasil simulasi pada aplikasi CST Studio polaradiasi yang dapatkan yaitu pada port 1 hasil -21° , pada port 2 hasilnya yaitu 59° , pada port 3 hasilnya -37° , dan pada port 4 hasilnya -19° . sedangkan dari hasil pengukuran polaradiasi *Buttler Matrix with antenna array* didapatkan hasilnya yaitu port 1 polaradiasinya yaitu -19° dan dengan *gain* sebesar -29.2 dBi, pada port 2 polaradiasinya yaitu 35° dan dengan *gain* sebesar -31.9 dBi, pada port 3 polaradiasinya yaitu -33° dan dengan *gain* sebesar -28.8 dBi, dan pada port 4 polaradiasinya yaitu 20° dan dengan *gain* sebesar -30.5 dBi. Perbedaan hasil dari simulasi dan hasil pengukuran terjadi dikarenakan adanya pergeseran frekuensi yang terjadi pada saat fabrikasi akibat adanya penambahan atau pengurangan dimensi secara tidak sengaja sehingga terjadinya pergeseran frekuensi.



Gambar 14. Hasil Polaradiasi Buttler Matrix 4X4 dan Antena Array (A) Simulasi, (B) Pengukuran

4. Kesimpulan

Dari hasil penyusunan *Buttler matrix*, diperoleh kesimpulan bahwa setiap patch menghasilkan parameter yang berbeda karena dimensi yang berbeda pula. *Buttler matrix* 4X4 dengan dimensi 16,4 cm x 17 cm memiliki 4 *port input* dan 4 *port output*, sedangkan desain *antenna array* memiliki dimensi 16 cm x 5 cm dengan 4 *port input*. Kedua desain tersebut menggunakan bahan dasar FR-4 untuk *substrate* dan *copper* untuk *patch* dan *ground*. Keduanya digabungkan menggunakan 4 kabel *coaxial*, di mana *port 5* pada *Buttler matrix* disambungkan dengan *port 1* antena *array*, *port 6* *Buttler matrix* dengan *port 2* antena *array*, *port 7* *Buttler matrix* dengan *port 3* antena *array*, dan *port 8* *Buttler matrix* dengan *port 4* antena *array*.

Adanya perubahan frekuensi kerja pada *Buttler matrix* dan *antenna array* terjadi setelah fabrikasi karena penambahan atau pengurangan dimensi serta perubahan nilai ϵ_r pada saat fabrikasi antena. Pergeseran frekuensi ini berdampak pada perubahan parameter seperti S-Parameter, *reflection coefficient*, *bandwidth*, *transmission coefficient*, *phase output*, dan polarisasi dari *Buttler matrix* dan *antenna array* yang telah difabrikasi. Hasil pengukuran *Buttler matrix* dan *antenna array* setelah fabrikasi menunjukkan beberapa perbedaan dengan hasil simulasi, dengan *reflection coefficient* pada frekuensi 2.35 GHz menunjukkan nilai S1.1: 22.45 dB, S2.2: 13.12 dB, S3.3: 14.78 dB, dan S4.4: 21.78 dB, Serta efisiensi hasil *transmission coefficient* pada *port 1* : 50%, *port 2* : 50%, *port 3* : 51%, *port 4* : 55%, dan hasil Polaradiasi pada *Port 1*: -19° , *Port 2*: 35° , *Port 3*: -33° , *Port 4*: 20° . Hasil dari pengukuran *Buttler matrix* dan *antenna array* setelah fabrikasi hampir memenuhi atau sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

Referensi

1. T. Yuniarto, L. Kompas, and J. P. Selatan, "Masa Depan Jaringan 5G dan Perilaku Komunikasi Digital," *Warta ISKI*, vol. 02, no. 01, pp. 1–7, 2019, doi: <https://doi.org/10.25008/wartaiski.v2i01.22>.
2. N. Al-Falahy and O. Alani, "Coverage and capacity improvement of millimetre wave 5G network using distributed base station architecture," *IET Networks*, vol. 8, no. 4, pp. 246–255, Jul. 2019, doi: 10.1049/iet-net.2018.5059.
3. F. Amillia, E. Setijadi, and G. Hendrantonoro, "Subarray 4x4 for 5G MIMO Antenna with Elements that Implement Parasitic Techniques," *JNTETI*, vol. 12, no. 1, pp. 8–14, 2023.
4. Prasetiadi and Ananto E, "PENGARUH DISTRIBUSI PEMBOBOTAN TERHADAP POLA ARRAY PADA DELAY AND SUM BEAMFORMING," 2012. Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.unnur.ac.id/index.php/indept/about>
5. K. Quzwain, O. Ardiansyah, and V. Rahmawati, "Implementasi Struktur Array 8x2 Pada Antena Mikrostrip Yagi," *Journal of Informatics and Communications Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 74–88, 2023, doi: 10.52661.
6. A. Farino, D. Suryadi,) Program, S. Teknik, E. Jurusan, and T. Elektro, "RANCANG BANGUN ANTENA ARRAY MIKROSTRI PATCH TRIANGULAR-CIRCULAR UNTUK APLIKASI WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN)," *J3EIT*, vol. 7, no. 1, 2019.
7. A. Vosoogh, P. S. Kildal, and V. Vassilev, "A multi-layer gap waveguide array antenna suitable for manufactured by die-sink EDM," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2016*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., May 2016. doi: 10.1109/EuCAP.2016.7481259.
8. C. Mahardhika, S. Nugroho, and B. Syihabuddin, "PERANCANGAN BUTLER MATRIKS 4X4 UNTUK PENGARAHAN BERKAS ANTENA PADA STASIUN BUMI," *Prosiding SENIATI*, vol. 3, no. 1, Feb. 2017, Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/1631>
9. N. M. Jizat, Z. Yusoff, A. S. M. Marzuki, N. Zainudin, and Y. Yamada, "Insertion Loss and Phase Compensation Using a Circular Slot Via-Hole in a Compact 5G Millimeter Wave (mmWave) Butler Matrix at 28 GHz," *Sensors*, vol. 22, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/s22051850.
10. Y. Rahayu, J. R. M. Simanihuruk, and Y. Wahyu, "A Compact Design of 4x4 Butler Matrix with Four Linear Array Antenna at 38 GHz," 2022. [Online]. Available: <http://www.ijeeipse.ejournal.unri.ac.id>
11. N. Kamila, B. Setia Nugroho, and B. Syihabuddin, "Perancangan Butler matrix 4x4 pada Frekuensi 1,27 GHz untuk Aplikasi Synthetic Aperture Radar (SAR)," *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-10 2015*,

- pp. 1–8, Jan. 2017, Accessed: Jun. 09, 2023. [Online]. Available: <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/398>
12. S. Vijaykumar Kalam Snehal Vijaykumar Kalam and A. Bhagwandas Rathi, "Optimum Design of 4X4 Symmetrically Structured Butler Matrix," 2016. [Online]. Available: www.ijsret.org
 13. Y. Rahayu, J. R. M. Simanihuruk, and Y. Wahyu, "A Compact Design of 4x4 Butler Matrix with Four Linear Array Antenna at 38 GHz," *International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 80–85, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.31258/ijeepe.5.3.80-85>.
 14. Y. Barnadi, "PENGARUH PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP NILAI ISOLASI PADA BRANCH LINE COUPLER," 2021.
 15. F. S. Akbar and N. Rachmaningrum, "Design and Realization Of 2-Way Unequal-Split Power Divider Based On Branchline Coupler For S-Band Radar Applications," *EAI*, Feb. 2023, doi: [10.4108/eai.6-10-2022.2327432](https://doi.org/10.4108/eai.6-10-2022.2327432).
 16. P. G. Student, M. Prashant, and S. Malge, "Design & Simulation of Switched-Beam Antenna using Butler Matrix Feed Network Mr. Amit N. Kshirsagar," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 7, pp. 441–445, 2014, [Online]. Available: www.ijert.org
 17. N. L. Yusup, E. S. Nugraha, and P. K. Goran, "Perancangan Antena Mikrostrip Rectangular Array Untuk Teknologi 5G Pada Frekuensi 28 GHz," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 11, no. 2, p. 100, Aug. 2021, doi: [10.22441/incomtech.v11i2.10814](https://doi.org/10.22441/incomtech.v11i2.10814).
 18. B. B. Harianto, M. A. Aditiyawarman, N. Pambudiyatno, Y. S. Politeknik, and P. Surabaya, "Desain Antena Mikrostrip Rectangular Array 2x1 Desain Antena Mikrostrip Rectangular Array 2x1 untuk Radar Kapal," *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya Edisi XXXIII*, vol. 6, no. 3, 2021.
 19. K. S. Jones Andrean, L. Olivia Nur, and B. Syihabuddin, "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIMO 4x4 ARRAY RECTANGULAR PATCH DENGAN U-SLOT UNTUK APLIKASI 15 GHZ DESIGN AND REALIZATION MIMO 4x4 ARRAY RECTANGULAR PATCH ANTENNA WITH U-SLOT FOR 15 GHZ APPLICATION," *Telkom University Repository*, 2017.
 20. S. Alam, "PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY 2x1 UNTUK MENINGKATKAN GAIN UNTUK APLIKASI LTE PADA FREKUENSI 2.300 MHz," *ResearchGate*, vol. 7, no. 28, pp. 365–378, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327594703>
 21. Z. R. Omam *et al.*, "Ka-Band passive phased-array antenna with substrate integrated waveguide tunable phase shifter," *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 68, no. 8, pp. 6039–6048, Aug. 2020, doi: [10.1109/TAP.2020.2983838](https://doi.org/10.1109/TAP.2020.2983838).



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Artikel

Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO Dengan Elemen *Triangular* pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi Sistem Komunikasi

Dinda Aprilia Kasda^{1*}, Fannush Shofi Akbar², dan Nilla Rachmaningrum³¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia* korespondensi : fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

Received: 10 Februari 2024; Accepted: 15 Maret 2024; Published: 31 Juli 2024;

Abstrak: Penelitian ini membahas tentang Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO *Triangular* yang akan di aplikasikan pada sistem komunikasi dengan frekuensi yang mampu bekerja pada band N40 dan memiliki rentang frekuensi 2.3 GHz sampai 2.4 GHz serta antena ini memiliki *patch* yang berbentuk *triangular* dan pencatuan dengan teknik *insert feeding*. Proses perancangan antenna dimulai dengan perhitungan teori dimensi antenna 1 elemen, lalu penyusunan antenna MIMO dengan menggunakan 3 skenario atau metode yaitu antenna MIMO 4 elemen sejajar, antenna MIMO 4 elemen berhadapan, dan antenna MIMO 4 elemen menyilang. Dari ketiga metode penyusunan tersebut di dapatkan hasil yang cukup optimal pada antenna MIMO 4 elemen berhadapan. Perancangan tersebut berada pada frekuensi 2.35 GHz, polarisasi yang dihasilkan ialah *circular* juga pola radiasi yang dihasilkan ialah *directional* dan *bi directional* serta *gain* terbaik sebesar 5 dBi dengan efisiensi sebesar 23%, mutual kopling lebih kecil dari -20 dB, *return loss* juga lebih kecil dari -10 dB, dan *VSWR* yang kurang dari 2.

Kata kunci: Mikrostrip; *insert feeding*; MIMO; Sistem Komunikasi; *Triangular*

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, berbagai teknologi yang menunjang sumber daya manusia yang tangguh akan bermunculan dan semakin canggih, tanpa terikat oleh kecanggihan teknologi saat ini. Dimulai dengan adanya 1G, 2G, 3G, 4G bahkan 5G, perkembangan tersebut telah menunjukkan dampak yang signifikan terhadap aktivitas manusia sehari-hari dan sangat penting bagi kemajuan teknologi baik di Indonesia maupun dunia. Sejalan dengan teknologi mutakhir, kita perlu peka terhadap perkembangan teknologi agar dapat mengembangkan teknologi yang dapat mengubah kehidupan masyarakat, sehingga dapat dimanfaatkan secara tepat dan mendukung aktivitas manusia [1].

Dalam jangka panjang, 5G diharapkan menyediakan konektivitas yang disesuaikan untuk memenuhi permintaan khusus dari berbagai kelompok pengguna, termasuk industri tertentu [2].

1.1. MIMO

Antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan teknologi yang menggunakan banyak antena baik pada sisi pengirim maupun penerima. Teknologi ini dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja sistem komunikasi nirkabel. Pada aplikasi 5G, antena MIMO digunakan untuk meningkatkan kapasitas jaringan dengan cara memungkinkan lebih banyak pengguna untuk menggunakan bandwidth yang sama secara bersamaan. Antena MIMO juga dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja jaringan dengan cara mengurangi efek *multipath fading* [3].

1.2. Antena Mikrostrip Triangular

Antena mikrostrip terdiri dari tiga komponen utama, yaitu konduktor yang membentuk pola radiasi, substrat dielektrik yang mendukung pola radiasi, dan lapisan penggantung (*ground plane*) yang berada di bawah substrat. Antena ini umumnya memiliki bentuk yang datar dan dapat diintegrasikan dengan mudah dalam perangkat elektronik [4]. Hal ini memungkinkan cakupan yang lebih merata dan kuat dalam mentransmisikan atau menerima sinyal, sehingga dapat memberikan kinerja komunikasi yang lebih baik. Bentuk segitiga pada antena *triangular* memberikan kekuatan struktural yang baik [5].

Jaringan 4G, juga dikenal sebagai, adalah generasi sebelumnya dari teknologi nirkabel yang digunakan secara luas di seluruh dunia. Diperkenalkan pada awal 2010-an, 4G memiliki kecepatan data yang lebih tinggi dari pada pendahulunya, yaitu 3G, dan menyediakan kinerja yang lebih baik untuk *streaming* video, pengunduhan *file*, dan aplikasi berat data lainnya [6]. Sedangkan 5G menghadirkan teknologi seperti *network slicing*, *massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)*, dan *edge computing* yang memberikan kemampuan jaringan yang lebih canggih untuk mendukung berbagai aplikasi seperti *Internet of Things (IoT)*, mobil otonom, *augmented reality (AR)*, dan *virtual reality (VR)* [7].

Karena geometri dasar antena mikrostrip yang berbeda-beda, antena patch segitiga ini masih jarang digunakan sebagai objek, namun memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bentuk antena lainnya. Artinya, ia dapat berfungsi sebaik bentuk dasar lainnya, area tambalan menjadi lebih besar. Karena ukurannya yang kecil, dan masih banyak peluang untuk mengeksplorasi antena ini [8]. Ground plane biasanya terbuat dari bahan konduktif yang sama dengan patch [9]. Bidang tanah bertindak sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan [10]. Untuk menentukan dimensi awal antena mikrostrip segitiga yang akan disimulasikan, maka harus diketahui parameter bahan yang akan digunakan yaitu ketebalan dielektrik (*h*) dan konstanta dielektrik *relative* (ϵ_r). Untuk mengetahui ukuran *patch* pada antena *triangular*, maka dapat di cari dengan persamaan 1 [11] :

$$a = \frac{2c}{3f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Dimana,

a = Sisi patch

c = Kecepatan cahaya (3×10^8)

f_r = Frekuensi kerja antenna (Hz)

ϵ_r = konstanta dielektrik relative

Untuk mengetahui lebar dan panjang ground plane serta substrate pada antena triangular, maka dapat di cari dengan persamaan 2

$$W_g = 6h + a \quad (2)$$

Dimana,

W_g atau L_g = Lebar ground

h = ketebalan dielektrik

a = Sisi patch

1.3. Pencatuan Inset Feeding

Feed line mikrostrip juga merupakan strip konduktif, biasanya lebarnya jauh lebih kecil daripada patch. Umpan jalur mikrostrip mudah dibuat, mudah diatur dengan mengontrol lokasi penyisipan, dan cukup mudah untuk dimodelkan. Namun, peningkatan ketebalan substrat akan meningkatkan gelombang permukaan dan emisi palsu, yang membatasi bandwidth (biasanya 2–5%).

Untuk mengetahui ukuran dari pencatutan pada antenna mikrostrip *insert feeding*, maka dapat di cari dengan persamaan 3.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{4 \sqrt{1 + \frac{12h}{a}}} \quad (3)$$

Dimana,

ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif

ϵ_r = konstanta dielektrik relative

h = ketebalan dielektrik

a = Sisi patch

Untuk menentukan lebar saluran pencatu (W) pada antenna mikrostrip *insert feeding*, maka dapat di cari dengan persamaan 4.

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ \beta - 1 - \ln (2\beta - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln (\beta - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (4)$$

Dimana,

W = lebar saluran pencatu

ϵ_r = konstanta dielektrik relative

h = ketebalan dielektrik

β = nilai beta

dan untuk menentukan nilai beta (β) dari nilai impedensi 50 Ω menggunakan persamaan 5.

$$\beta = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5)$$

Dimana,

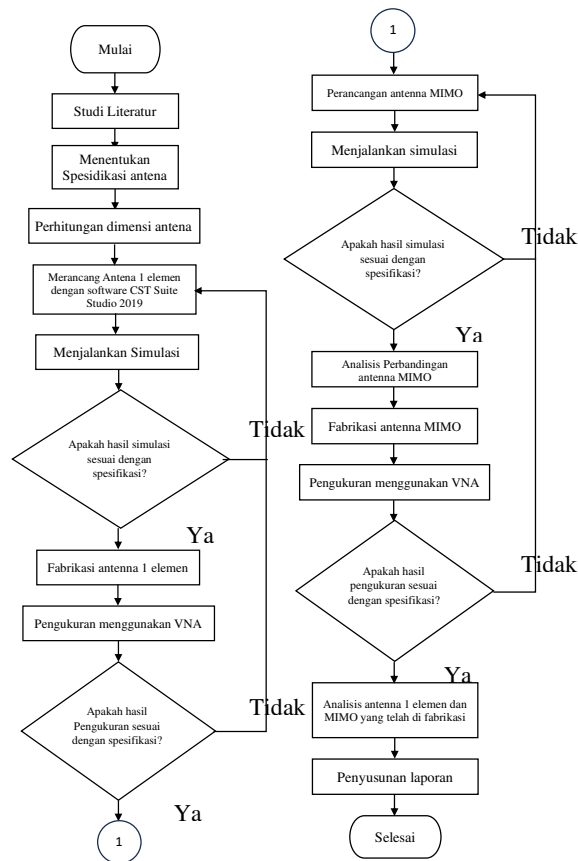
Z_0 = impedansi input

ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif

2. Perancangan dan Simulasi

2.1. Alur Penelitian

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa sebelum membuat desain antenna mikrostrip *MIMO*, peneliti terlebih dahulu melakukan studi literatur tentang topik apa yang akan diteliti lalu menentukan spesifikasi antenna yang akan di gunakan dalam penelitian ini, setelah itu barulah mulai menghitung dimensi antenna dan di terapkan pada perancangan di *software CST suite studio 2019*, perancangan tersebut lalu disimulasikan dan dilihat hasilnya apakah telah sesuai dengan spesifikasi atau tidak, jika belum maka di haruskan melakukan optimasi pada perancangan, jika sudah sesuai maka bisa dilanjutkan dengan memfabrikasi antenna 1 elemen kemudian diukur menggunakan *VNA* dan dilihat lagi hasilnya, jika hasil tidak memenuhi spesifikasi maka diperlukan optimasi pada perancangan di *software CST suite studio 2019*, jika telah memenuhi maka bisa dilanjutkan dengan merancang antenna *MIMO* 4 elemen dengan 3 skenario yaitu; antenna *MIMO* 4 elemen sejajar, antenna *MIMO* 4 elemen berhadapan, dan antenna *MIMO* 4 elemen menyilang. Ketiga perancangan tersebut lalu di simulasikan juga dan dilihat hasilnya, lalu di analisis manakah yang lebih baik dan akan difabrikasi. Setelah antenna di fabrikasi antenna selanjutnya akan di ukur menggunakan *VNA* dan dilihat hasilnya lagi.



Gambar 1. Alur Penelitian

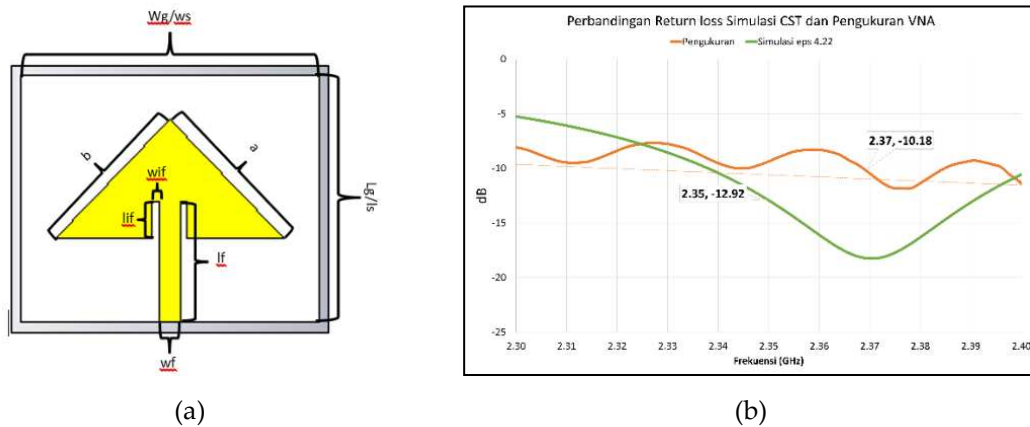
2.2. Spesifikasi Antena

Antena yang akan di desain pada penelitian ini ialah antena *MIMO* yang menggunakan antena mikrostrip *triangular* yang nantinya akan bekerja pada frekuensi 5G di Indonesia. Berikut adalah spesifikasi yang diharapkan dipenuhi pada penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi Antena

Jenis Spesifikasi	Nilai / Bahan
Frekuensi	2.35 GHz
Band Frekuensi	2.3 GHz – 2.4 GHz
VSWR	≤ 2
Return Loss	≤ -10 dB
Gain	≥ 5 dBi
Mutual Coupling	< -20 dB
Pola Radiasi	<i>Directional</i>
Bahan Substrate	Fr-4
Jarak Antar Elemen Antena	1λ

2.3. Perancangan Antena 1 Elemen



Gambar 2. (a) desain pada software CST, (b) Grafik Perbandingan S1.1

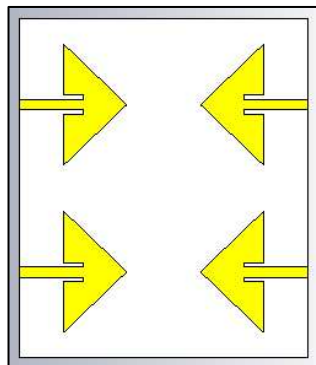
Tabel 2. Hasil Perancangan pada Software CST Suite Studio 2019

Jenis Spesifikasi	Hasil Simulasi
S1,1	-17.985699 dB
VSWR	1.2885913
Gain	-0.0397 dBi
Bandwidth	63.7 MHz
Directivity	5.963 dBi

Setelah membuat perhitungan seperti sub bab di atas, selanjutnya ialah memasukkan hasil tersebut kedalam perancangan antenna yang di buat pada *Software CST Suite Studio 2019*. Setelah proses perancangan selesai selanjutnya ialah menjalankan simulasi, dan karena hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi maka di perlukan optimasi. Pada gambar 2 (a) merupakan desain antenna pada *Software CST suite Studio 2019*, sedangkan gambar 2 (b) merupakan grafik perbandingan S-Parameter dari desain simulasi dan pengukuran.

Optimasi dilakukan karena tidak sesuainya hasil simulasi dengan spesifikasi yang diharapkan, pada desain sebelum optimasi terdapat spesifikasi yang tidak dapat diabaikan, berikut hasil setelah optimasi:

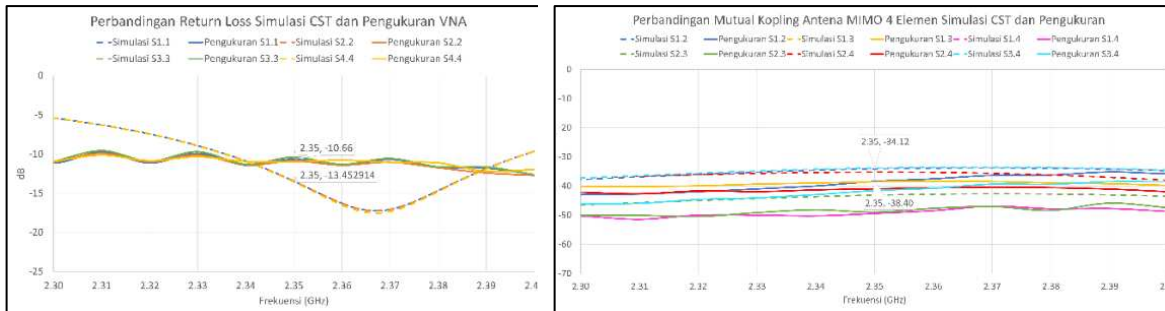
2.4. Perancangan Antena MIMO 4 Elemen



Gambar 3. Desain Antena MIMO 4 Elemen

Tabel 3. Hasil Simulasi

Jenis Spesifikasi	Hasil Simulasi
S1,1	-17.985699 dB
VSWR	1.2885913
Bandwidth	63.7 MHz



(a)

(b)

Gambar 4. (a) Grafik Perbandingan Return Loss, (b) Grafik Perbandingan Mutual Kopleng

Bisa dilihat dari gambar 3 merupakan desain antenna MIMO 4 elemen dengan posisi berhadapan, Antenna tersebut disusun dari antenna 1 elemen yang di di *duplicate* dan *transform* ke sisi kanan dan ke sisi atas, serta *ground plane* yang digabung hingga menjadi 1, dimana jarak antar elemen antenna ialah 1λ (lambda) atau 127 mm ke kanan dan ke atas. Dari simulasi yang dilakukan pada *Software CST Studio Suite 2019*. Dari gambar 4 (a) dapat dilihat perbandingan S-Parameter simulasi dan pengukuran dari masing masing port sedangkan pada gambar 4 (b) merupakan perbandingan mutual kopleng dari antenna MIMO 4 Elemen pada simulasi CST dan Pengukuran VNA.

Ketika telah menentukan perancangan yang akan di fabrikasi, selanjutnya ialah mengukur antenna mikrostrip *triangular* satu elemen dengan *Vector Network Analyzer* untuk mengetahui apakah antenna tersebut memiliki hasil yang masih sesuai dengan spesifikasi atau tidak.

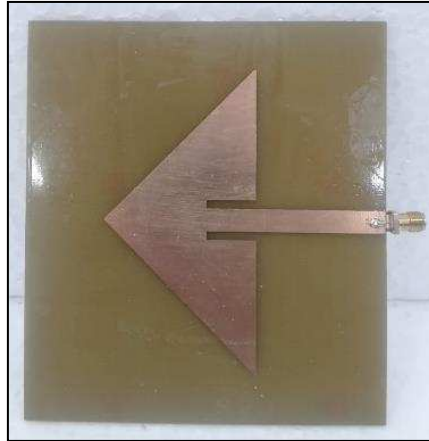
3. Hasil dan Analisis

Antenna yang telah difabrikasi atau dicetak selanjutnya akan di ukur menggunakan VNA, untuk mengukur S-parameter, VSWR serta *bandwidth*nya. Setelah itu untuk mengukur polarisasi dan pola radiasi, antenna diletakkan pada rotator antenna yang telah di hubungkan oleh antenna horn sebagai antenna pengukurnya dengan VNA dengan jarak antar antenna yang telah di tentukan sebelumnya [15].

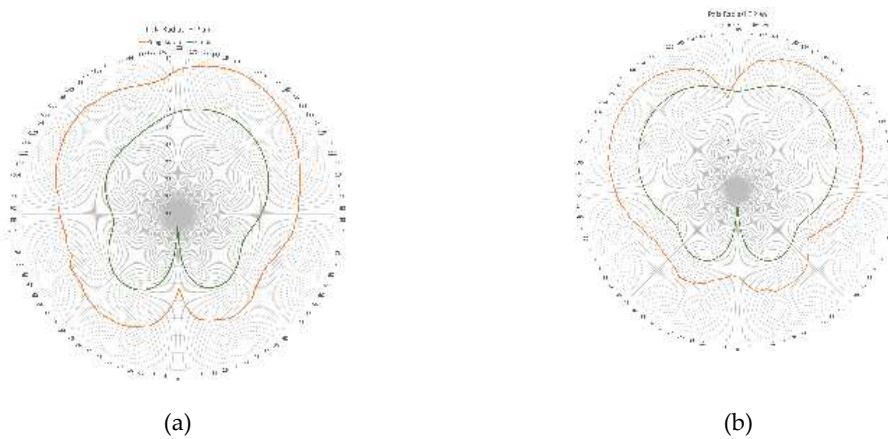
Bagian ini dapat dibagi dengan subjudul. Ini harus memberikan gambaran yang ringkas dan tepat dari hasil percobaan, interpretasinya serta kesimpulan percobaan yang dapat ditarik.

3.1. Realisasi Antenna Microstrip Triangular Satu Elemen

Antenna yang telah difabrikasi merupakan bahan yang akan di gunakan untuk di ukur menggunakan VNA (*vector network analyzer*). Dibawah ini ialah gambar antenna yang telah difabrikasi dan akan di ukur:



Gambar 5. Antena 1 Elemen setelah difabrikasi



Gambar 6. H Plane Antena 1 Elemen (a) dan E Plane Antena 1 Elemen (b)

Tabel 4. Hasil Pengukuran dari Antena 1 Elemen yang Telah Difabrikasi

Frekuensi	S1.1	VSWR	Bandwidth	Gain	Dir.
2.35 GHz	-12.905372 dB	1.5851182	63.1 MHz	-0.4776 dBi	5.855 dBi

Gambar 5 dan 6 merupakan antenna microstrip satu elemen dengan Panjang 12 cm dan tinggi 10 cm yang berbahan FR-04 pada substratnya. Perbandingan hasil dari simulasi dan pengukuran menggunakan VNA dapat dilihat pada gambar 2 dan tabel 3 berikut hasil pengukuran dari antenna 1 elemen yang telah difabrikasi:

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari antenna 1 elemen semua parameternya telah memenuhi spesifikasi kecuali nilai parameter *gain*, dan dari gambar 3.2 juga bisa di lihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna 1 elemen ini, antenna *triangular* 1 elemen ini pada H *plane* (a) memiliki polarisasi linear sedangkan untuk E *plane* (b) memiliki polarisasi *circular*.

Tabel 6. Hasil Mutual Kopling Antena MIMO 4 Elemen

Parameter	Mutual Kopling
S1.2	-38.40 dB
S.13	-38.51 dB
S1.4	-49.39 dB
S2.3	-48.96 dB
S2.4	-40.95 dB
S3.4	-41.53 dB

Gambar 8 merupakan desain *antenna MIMO* 4 elemen yang menggunakan ukuran *patch* yang telah di optimasi kemudian di *duplicate* dan di *rotate* sehingga menjadi 4 elemen berhadapan, ukuran *substrate* dan *ground* yang di gunakan pada perancangan ini ialah tinggi 25.7 cm dan lebar 22 cm. Antena *triangular MIMO* 4 elemen yang telah di fabrikasi kemudian di ukur menggunakan *VNA* untuk mengetahui beberapa hal seperti pada tabel 6.

Dari hasil pengukuran *VNA* untuk S-parameter dan *VSWR* bernilai memenuhi spesifikasi namun untuk *bandwidth*nya mengalami penyempitan. Kemudian untuk hasil polarisasi yang di dapatkan *antenna MIMO* 4 elemen ini adalah *circular* sedangkan untuk pola radiasinya ialah *directional* dan *bi directional* seperti pada gambar 9.

Polarisasi antena pada arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi gelombang yang diradiasikan ketika antena berperan sebagai pemancar, dan polarisasi gelombang yang menghasilkan daya yang sama dengan port antena ketika antena berperan sebagai penerima sebuah gelombang [12].

Mutual kopling yang dihasilkan dapat dilihat pada table 3.3, Jumlah elemen terhadap kinerja antena menggunakan desain *MIMO* memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kinerja dari *directivity gain* sebesar 2 dBi. Pengaruh mutual kopling dengan *antenna MIMO* yaitu dapat memaksimalkan parameter kerja jarak antar antena jika nilai mutual kopling tersebut dibawah -20 dB.

3.3. Analisis

Dapat dianalisis bahwa antena microstrip *MIMO* triangular berada pada frekuensi 2.35 GHz, polarisasi yang dihasilkan ialah *circular* juga pola radiasi yang dihasilkan ialah *directional* dan *bi directional* serta gain terbaik sebesar 12.2 dBi dengan efisiensi sebesar 23%, mutual kopling lebih kecil dari -20 dB, return loss juga lebih kecil dari -10 dB, dan *VSWR* yang kurang dari 2. Pengaruh jumlah elemen terhadap kinerja antena menggunakan desain *MIMO* memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kinerja dari gain sebesar 2 dBi. Saat elemen antena bertambah akan mempengaruhi nilai gain dan mutual koplingnya, sedangkan untuk nilai return loss dan *VSWR* tidak terlalu berubah secara signifikan dari hasil antena 1 elemen. Pengaruh mutual kopling dengan antena *MIMO* yaitu dapat memaksimalkan parameter kerja jarak antar antena jika nilai mutual kopling tersebut dibawah -20 dB.

4. Kesimpulan

Beberapa hasil pengukuran dari perancangan antena microstrip *MIMO* triangular pada frekuensi 2.35 GHz untuk aplikasi sistem komunikasi tidak dapat memenuhi spesifikasi antena untuk sistem komunikasi itu sendiri, namun antena *MIMO* tersebut telah berada pada frekuensi 2.35 GHz, hanya saja perbandingan daya radiasi atau gain dan lebar pitanya atau *bandwidth* belum memenuhi spesifikasi antena untuk aplikasi sistem komunikasi. Hasil optimasi desain antena 1 elemen dengan menggunakan software *CST studio suite 2019* mendapatkan hasil yang lebih baik dari sebelum optimasi, begitu juga dengan antena *MIMO* 4 elemen. Jumlah elemen terhadap kinerja antena menggunakan desain *MIMO* memiliki kelebihan yaitu meningkatkan kinerja dari gain sebesar 2 dBi. Pengaruh mutual kopling dengan antena *MIMO* yaitu dapat memaksimalkan

parameter kerja jarak antar antenna jika nilai mutual kopling tersebut dibawah -20 dB. Polarisasi yang dihasilkan ialah circular yang memiliki keunggulan membantu mengatasi tantangan NLOS karena polarisasi circular memiliki toleransi yang lebih baik terhadap variasi orientasi antena dan pantulan sinyal. Juga pola radiasi yang dihasilkan ialah directional dan bi directional serta gain 0.08843 dBi dan 0.1066 dBi, mutual kopling lebih kecil dari -20 dB, return loss juga lebih kecil dari -10 dB, dan VSWR yang kurang dari 2.

Referensi

1. A. Wijaya and U. P. Indonesia, "Perkembangan teknologi 5G," *Jurnal Sains dan Teknologi Universitas Pendidikan Indonesia*, vol. 8, no. 2001619, pp. 5–7, 2016, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/348307461_PERKEMBANGAN_TEKNOLOGI_5G
2. M. K. Adityo and I. Krisnadi, "Tinjauan Frekuensi 5G Di Indonesia," *Jurnal Sains dan Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh November*, vol. 17, pp. 1–4, 2018.
3. O. S. Baskoro, I. P. Ardana, P. K. Sudiarta, S. Teknik, and I. T. Bandung, "Karakterisasi Antena Susun Mikrostrip Patch Sirkular untuk Komunikasi Long Term Evolution Frekuensi 1 , 8GHz," *Seeminat Nasional Microwave, Antena dan Ppropagasi*, vol. 10, pp. 37–42, 2018.
4. D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Hoboken, New Jersey: Don Fowley, 2011.
5. C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN*, 4th ed., vol. 4. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
6. G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renew Energy*, vol. 146, pp. 2589–2625, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.092.
7. J. G. Andrews *et al.*, "What will 5G be?," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.
8. D. Medianto and M. Y. Hardiman, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz," *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*, vol. 9, no. 2, pp. 109–116, 2018, [Online]. Available: <https://jte.mercubuana.ac.id/publications/327297/>
9. E. Sumpena, Mochamad Rizal, Hanny Madiawati, "Desain dan Realisasi Antena Mikrostrip Rectangular Patch 4x2 Untuk Aplikasi 5G," in *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung: IRWNS, 2020, pp. 26–27.
10. M. Anthoni, R. S. Asthan, A. Pascawati, D. Maryopi, and M. R. K. Aziz, "Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip MIMO 4x4 Rectangular Patch dengan Double U-Slot dan DGS pada Frekuensi 26 GHz untuk Aplikasi 5G," *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. 5, no. 2, p. 371, 2021, doi: 10.35472/jsat.v5i2.336.
11. E. Cahyani and M. U. S. T, "RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP MIMO TRIANGULAR PATCH FREKUENSI 2300 MHz UNTUK TEKNOLOGI 4G LTE (Long Term Evolution) DESIGN OF ANTENNA MICROSTRIP MIMO TRIANGULAR PATCH 2300 Long Term Evolution atau sering," in *Prosiding SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*, Balikpapan: SNITT- Politeknik Negeri Balikpapan, 2020, pp. 233–242.
12. A. S. Nugraha and Y. Christyono, "Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Diponegoro*, vol. 13, no. 1, pp. 39–45, 2011.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Artikel

Analisis Algoritma Music Untuk Deteksi Sudut Kedatangan Pada Perangkat Gunshot

Rizal Reynaldi ¹, Nilla Rachmaningrum^{2*}, Risdillah Mimma Untsa ³.¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia* Korespondensi: nrachmaningrum@telkomuniversity.ac.id

Received: 5 Februari 2024; Accepted: 15 Maret 2024; Published: 31 Juli 2024;

Abstrak: Pada zaman perang dunia, teknologi memiliki peranan penting untuk membawa kemenangan suatu negara dan aliansinya pada saat itu. Sudah menjadi tugas dari TNI untuk menjaga persatuan dan kesatuan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Salah satu sebab banyaknya korban adalah kurangnya teknologi untuk mengetahui arah asal tembakan dari lawan yaitu anggota KKB. Pada penelitian ini, perkembangan teknologi digunakan sebagai alat bantu untuk mempermudah dan meminimalisir terjadinya korban yang akan menyebabkan suatu kerugian pada TNI. Algoritma dari DoA (*Direction of Arrival*) dapat memberikan perkiraan arah datangnya suara tembakan yang cukup akurat. Dengan dikombinasikan dengan algoritma MUSIC (*Multiple signal Classification*), bisa memberikan informasi asal suara tembakan. Pada penelitian ini mendapatkan hasil informasi sudut kedatangan asal suara tembakan dan dapat mengetahui nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) nya. SNR digunakan untuk membandingkan sinyal informasi dengan noise yang terdapat pada sebuah transmisi. Pengukuran SNR dilakukan dengan cara melakukan pengukuran kekuatan sinyal dan pengukuran kekuatan sinyal noise yang sudah diatur. Hasil pengukuran nilai SNR untuk semua sudut memiliki nilai rata-rata 7,30 dB. Hasil tersebut berarti semakin tinggi nilai SNR, maka kualitas sinyal semakin baik dan nilai noise semakin kecil. Hasil penelitian ini juga menunjukkan tingkat keakuratan pendeteksian sudut kedatangan mencapai 99,21%.

Kata kunci: Algoritma MUSIC; DoA; SNR; Mikrofon Array.

1. Pendahuluan

Menjaga keutuhan dan persatuan suatu negara adalah menjadi salah satu tugas dari TNI. Terjadinya konflik antara KKB (Kelompok kriminal bersenjata) dan TNI belakangan ini menyebabkan banyak korban di pihak TNI. Salah satu penyebab banyaknya korban dari pihak TNI yaitu kurangnya teknologi yang mampu membantu TNI untuk mencegah timbulnya lebih banyak korban di TNI. TNI kesulitan untuk mencari dimana asal suara tembakan KKB yang berlimbung di hutan, dimana hutan tersebut sangat bagus untuk berkamufase dan bersembunyi. Hutan yang ditumbuhi oleh banyak pepohonan dan juga sudut pandang yang luas juga menjadi salah satu faktor yang membuat TNI kesulitan mendeteksi asal suara tembakan. Untuk itu, pengembangan teknologi di bidang pertahanan terus diupayakan sebagai langkah untuk mencegah dan meminimalisir dampak konflik. Salah satunya yaitu dengan membuat sistem yang dapat mendeteksi asal suara tembakan pada perangkat gunshot.

Pengembangan teknologi di bidang pertahanan tidak hanya pada pengembangan alat pertahanan diri saja. Teknologi pencarian sudut kedatangan pada perangkat gunshot dirasa cukup penting, mengingat terjadinya konflik saat ini di daerah yang cukup sulit bagi TNI untuk mengetahui

darimana asalnya suara tembakan yang dilesatkan dan juga mengarah kemana tembakan tersebut. Penelitian yang akan dilakukan, akan sangat membantu pihak TNI dalam menjaga dan mengurangi jatuhnya korban lebih banyak lagi. Konflik tersebut tidak hanya menasar kepada TNI, melainkan dari warga sipil dan beberapa orang penting dengan berbagai profesi yang turut menjadi korban. Sampai dengan tahun 2022 total kasus KKB Papua adalah sebanyak 90 kasus. Data korban yang dikutip dari [1], pada tahun 2021 sebanyak 34 korban dan 53 korban pada tahun 2022, yang berarti bahwa korban dari tahun ke tahun terus bertambah. Dengan kombinasi antara algoritma MUSIC dan deteksi sudut kedatangan dapat membantu untuk mendeteksi asal suara tembakan sehingga dapat mendeteksi sudut dari datangnya peluru yang ditembakkan oleh kelompok KKB Papua. Deteksi sudut kedatangan menggunakan algoritma MUSIC adalah salah satu metode yang menggunakan dasar dari estimasi sudut kedatangan.

Prinsip dasar dari algoritma MUSIC adalah dengan mengubah sinyal suara yang diterima oleh mikrofon menjadi bentuk data spasial. Data spasial ini kemudian diolah menggunakan teknik pemrosesan sinyal yang kompleks untuk mengestimasi sudut kedatangan sinyal suara. Dalam pemrosesan sinyal, algoritma MUSIC memanfaatkan perhitungan spektrum frekuensi dari sinyal suara yang diterima oleh mikrofon. Pada beberapa riset, algoritma MUSIC sukses digunakan sebagai algoritma untuk meningkatkan akurasi serta kecepatan deteksi sumber suara tembakan pada gunshot. Perbandingan dengan algoritma ESPRIT, setelah ujicoba didapatkan hasil bahwa algoritma MUSIC lebih akurat daripada algoritma ESPRIT. Akan tetapi, algoritma MUSIC juga mempunyai batasan dalam penggunaannya, salah satunya yaitu bergantung pada jumlah mikrofon yang digunakan sebagai penangkap suara tembakan yang sangat rentan terhadap noise di area tersebut. Salah satu keunggulan dari algoritma MUSIC ialah memiliki dua space, yaitu space utama atau subspace dimana space ini berisi informasi penting yang akan diproses dan space tempat noise yang tidak digunakan. Keunggulan algoritma MUSIC dibandingkan dengan algoritma lain seperti ESPRIT adalah algoritma MUSIC memiliki persentase kesalahan estimasi yang lebih kecil, kurang dari 1 derajat. Algoritma MUSIC memiliki probabilitas perkiraan yang jauh lebih baik daripada ESPRIT [2].

Algoritma MUSIC sering digunakan pada pemrosesan sinyal digital. Contohnya adalah pada bidang sonar dan radar. Algoritma MUSIC pada bidang sonar dan radar digunakan untuk menentukan posisi dan arah kedatangan suatu pesawat agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan meskipun penggunaan algoritma MUSIC pada lingkungan yang banyak noise serta interferensi. Contoh lain penggunaan algoritma MUSIC adalah pada bidang antenna yang digunakan sebagai algoritma yang berfungsi untuk mencari arah datangnya sinyal. Relevansi algoritma MUSIC untuk digunakan pada deteksi sudut kedatangan gunshot karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu tingkat akurasi yang tinggi dan kemampuan untuk menangani interferensi yang terdapat di lingkungan sekitar ujicoba sangat penting untuk deteksi gunshot yang akurat. Kemampuan untuk memperkirakan jumlah sumber sinyal suara juga penting untuk deteksi gunshot, di mana terdapat kemungkinan beberapa tembakan yang ditembakkan secara bersamaan dan dapat mengurangi adanya sinyal suara tembakan yang tidak terproses.

Algoritma MUSIC didasarkan pada spektrum spasial. Dengan bantuan orthogonality, sinyal dipisahkan pada 2 ruang, ruang sinyal suara dan ruang sinyal noise. Kemudian dengan bantuan FFT, spektrum dari algoritma MUSIC dihitung dan diestimasi, lalu diperoleh arah kedatangan dengan mencari puncak dari spektrum[3]. Matriks X dari sensor array ialah I dengan n matriks dimana I ialah jumlah dari sensor dan n melambangkan jumlah snapshots yang diambil [4]. Setelah semua data diperoleh, selanjutnya akan dibuat manifold spektrum, dimana gambaran yang berbentuk grafis dari hasil pengolahan sinyal. Eigenvalue digunakan untuk menentukan sudut kedatangan sinyal atau suara tembakan dan Eigenvector digunakan untuk membuat spektrum manifold. Nilai eigen yang paling signifikan akan digunakan untuk menentukan sudut kedatangan sinyal. Setelah itu estimasi DoA dapat diperoleh dengan memilih puncak dari frekuensi sinyal tersebut. Puncak dari frekuensi tersebut terindikasi sebagai sudut kedatangan dari suara gunshot yang ditembakkan. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi desain sistem estimasi sudut kedatangan asal suara tembakan menggunakan software MatLab. Selanjutnya digunakan parameter DoA dan SNR untuk mengukur kualitas sinyal yang diterima oleh mikrofon.

Usulan yang dapat dilakukan pada penelitian ini yaitu pengembangan algoritma MUSIC yang dioptimalkan, sehingga dapat memproses sinyal suara tembakan secara lebih baik dan akurat. Selanjutnya bisa dengan melakukan penilaian terhadap kinerja algoritma ini. Penilaian kinerja dari algoritma ini dinilai sangat penting untuk dapat mengetahui seberapa fungsi / bekerja algoritma ini sesuai dengan penelitian ini. Pengembangan sistem deteksi gunshot yang lebih baik, tentunya dengan penggunaan algoritma MUSIC akan dinilai sangat efektif karena keandalannya dalam menghadapi tantangan terbesar dalam pengaplikasiannya yaitu interferensi *noise*. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan keandalan deteksi gunshot.

2. Bahan dan Metode

2.1. Perangkat Lunak

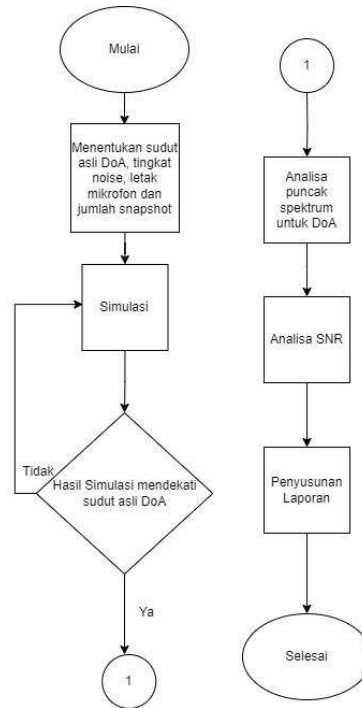
Pada sub-bab ini akan dibahas metode serta bahan-bahan pendukung utama penelitian. Perangkat lunak yang digunakan adalah aplikasi Matlab. Matlab yang digunakan pada penelitian ini menggunakan matlab R2019a. Matlab adalah software yang dikembangkan oleh MathWorks yang populer digunakan untuk melakukan pemrosesan data. Matlab memiliki kode sintaks yang mudah dipahami, sehingga banyak digunakan oleh peneliti, insinyur, dan ilmuwan untuk menciptakan suatu pemodelan dari data-data yang berupa matriks, grafik, bahkan antarmuka pengguna.

2.2. Perangkat Uji Coba

Perangkat uji coba yang digunakan pada penelitian ini adalah gunshot. Gunshot adalah suara tembakan dari senjata api seperti pistol, meriam, atau senapan. Suara gunshot identik dengan suara ledakan yang keras dan dapat dengan mudah dikenali. Hasil perubahan suara dari gunshot dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, jenis senjata, amunisi, dan lingkungan tempat gunshot ditembakkan. Deteksi sudut kedatangan pada penelitian ini adalah bidang penelitian yang digunakan untuk membantu menjaga keamanan suatu daerah atau negara dengan memudahkan untuk mengetahui asal suara tembakan dengan mendeteksi sudut kedatangan suaranya. Sampel suara yang digunakan berupa sinyal suara yang dibuat secara otomatis oleh sistem. Gunshot memiliki ciri khas sinyal suara yang keras dan memiliki frekuensi yang tinggi, frekuensi tinggi tersebut menyebabkan bentuk sinyal yang memiliki bentuk Suara tersebut memiliki kekuatan sinyal acak yang dibuat sebanyak jumlah snapshot dan sistem secara otomatis akan memilih hasil yang paling bagus antara tingkat keakuratan sudut dan juga nilai dari SNR. DoA adalah salah satu bagian penting pada pemrosesan sinyal yang banyak digunakan pada komunikasi nirkabel, navigasi, sonar, radar, dan astronomi radio.[8]

2.3 Metode Penelitian

Dalam bab ini, akan dijelaskan metodologi penelitian yang digunakan dalam analisis algoritma MUSIC untuk deteksi sudut kedatangan pada perangkat gunshot. Metodologi ini akan memberikan arahan tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, termasuk pengumpulan data, proses analisis, dan evaluasi hasil. Software Matlab digunakan untuk perancangan simulasi penelitian ini. Berikut flowchart alir penelitian berdasarkan topik penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Berikut penjelasan mengenai alur dari flowchart tahapan penelitian ini.

1. Simulasi dilakukan dengan menentukan parameter-parameter yang akan digunakan pada simulasi, seperti sudut yang akan digunakan, jumlah mikrofon, tingkat noise, jumlah snapshot, dan jarak mikrofon. Simulasi awal dilakukan untuk menentukan parameter – parameter yang akan digunakan dengan tujuan untuk mengetahui dan menguji kinerja dari sistem. Adapun parameter – parameter yang digunakan sebelum simulasi awal dijalankan. Parameter tersebut digunakan agar sistem memberikan hasil sesuai tujuan penelitian ini. Setelah menjalankan simulasi awal, maka selanjutnya akan dilakukan proses untuk menentukan nilai – nilai dari parameter agar hasil sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat memberikan hasil yang bervariasi, hasil uji coba sistem tersebut digunakan untuk mempertajam analisis. Hasil analisis yang tajam dapat mempermudah penelitian yang akan dilakukan selanjutnya sesuai dengan inti dari penelitian ini yaitu DoA dan algoritma MUSIC.
2. Selanjutnya menentukan letak dan penyusunan mikrofon array. Secara singkat, mikrofon array merupakan sekelompok mikrofon yang berjumlah lebih dari 1, yang disusun dengan pola tertentu. Penyusunan Mikrofon array bertujuan untuk meningkatkan hasil, kualitas, serta ketepatan penerimaan sinyal suara. Menentukan letak serta susunan mikrofon array dapat didasari oleh beberapa hal, seperti lingkungan sekitar, distribusi sumber suara, serta tujuan dari penelitian. Pada penelitian ini, nilai jarak dan letak antar mikrofon sudah ditentukan berdasarkan hasil simulasi awal, yang mana selisih jarak antar mikrofon yang digunakan pada penelitian ini dipilih pada nilai optimal yang dapat mempengaruhi hasil yang didapatkan.
3. Setelah itu dilakukan simulasi pada software Matlab dengan menggunakan kode syntax. Kode syntax yang digunakan untuk mencari hasil sudut dan nilai SNR. Pencarian kedua hasil tersebut dilakukan dengan perubahan nilai pada parameter – parameter yang sudah ditetapkan.
4. Setelah dilakukan proses simulasi, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap hasil simulasi untuk meninjau sejauh mana perbedaan antara sudut yang diperoleh dari hasil simulasi dan sudut yang sebenarnya. Tahap ini adalah tahap penting untuk mengamati dan mengevaluasi kinerja dari sistem. Jika kinerja dari sistem baik dan sesuai dengan apa yang ingin diperoleh, maka akan dilanjutkan simulasi dengan parameter yang berbeda. Jika pada tahap ini sudut yang dihasilkan memiliki perbedaan yang terlalu jauh ataupun tidak sesuai, maka akan dilakukan

simulasi ulang yang bertujuan untuk mencari hasil yang terbaik pada penggunaan variasi – variasi dari parameter yang sudah ditentukan.

5. Tahap ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian data yang dihasilkan dengan penggunaan parameter yang telah ditetapkan sebelumnya. Jika data tersebut sesuai dengan apa yang dicari, maka dilanjut pencarian sudut kedatangan sesuai yang merujuk pada gambar plot dengan hasil gelombang spektrum. Pada gambar plot dari hasil tersebut, akan dicari titik maksimum atau titik tertinggi pada hasil gelombang. Jika diperoleh puncak dari gelombang tersebut yang berjumlah lebih dari satu puncak, maka akan dipilih salah satunya. Puncak dari gelombang tersebut adalah asal datangnya suara atau DoA.
6. Langkah selanjutnya setelah mengetahui sudut datangnya suara adalah dilakukan proses analisis nilai SNR. SNR yang dicari pada uji coba ini adalah SNR dengan nilai positif karena SNR merupakan parameter yang penting untuk menentukan kualitas dari sinyal yang dihasilkan.

2.4. Parameter yang digunakan

Parameter – parameter yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2 pada penelitian ini untuk pembangkitan sinyal adalah sebagai berikut:

1. Input sudut datangnya sinyal suara tembakan merupakan gambaran dari sudut sinyal suara tembakan yang sebenarnya. Sudut tersebut ialah sudut yang menjadi acuan dalam menentukan tingkat keakuratan pada program uji coba ini.
2. Jumlah sinyal input dapat diganti dengan catatan jumlah elemen lebih banyak dari jumlah sinyal ($N < M$) untuk menghindari terjadinya sinyal yang tidak diproses pada satu kali uji coba.
3. Amplitudo pada data yang dikirimkan dapat dilihat pada variabel (S).
4. Batasan SNR untuk simulasi uji coba ini adalah lebih dari 0dB dan nilai maksimal 20dB.
5. Sudut θ berkisar dari 0° sampai 180° . Akan tetapi sudut 0° tidak dilakukan uji coba.

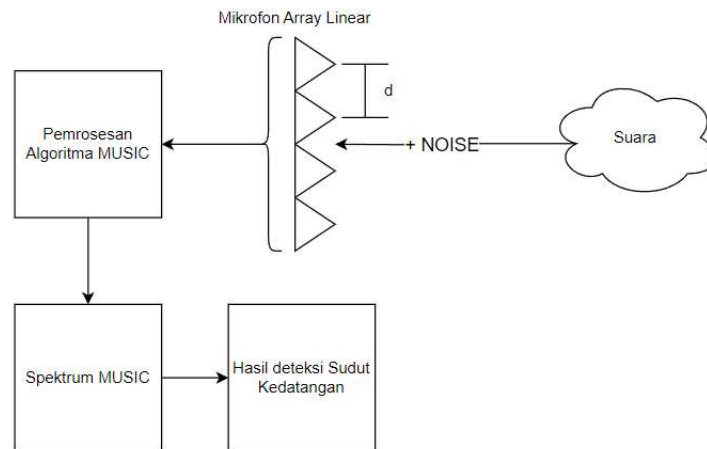
2.4.1. Pembangkitan Sinyal Suara

Diawal simulasi hal yang terlebih dahulu dilakukan adalah pembangkitan sinyal suara tembakan dengan perintah audioread pada software matlab. Untuk penambahan sinyal suara yang digunakan pada penelitian ini, perlu menggunakan file .wav dan ditambahkan dengan noise agar simulasi berjalan seperti nyata pada implementasi yang sebenarnya. Berikut kode matlab untuk membuat sinyal suara dan penambahan noise. Sampel suara yang digunakan berupa sinyal suaradengan ekstensi .wav yang diambil dari website. Jenis senjata yang digunakan ada 3 jenis, yaitu AK-12, DesertEagle, dan MP5. Senjata tersebut memiliki jenis dan suara yang berbeda - beda.[10]

2.4.2. Tingkat Noise

Noise yang digunakan sebagai salah satu parameter uji coba, akan digunakan juga sebagai parameter untuk mengetahui nilai SNR yang didapatkan. Tingkat noise pada uji coba ini nilai nya dapat diatur sesuai kebutuhan penelitian yang akan dilakukan. Noise akan ditambahkan pada saat sinyal ditransmisikan dan sebelum diterima oleh mikrofon. Setelah sinyal suara yang sudah ditambahkan dengan noise, maka sinyal gabungan tersebut akan diterima oleh mikrofon.

2.4.3. Pemodelan Simulasi



Gambar 2. Pemodelan Simulasi

Mikrofon mendeteksi adanya sinyal suara tembakkan sebanyak jumlah dari snapshot, lalu ditambahkan noise sesuai dengan tingkatan noise yang sudah diatur sebagai parameter uji untuk algoritma MUSIC. Mikrofon array sebagai penerima sinyal suara, akan ditentukan jaraknya sebagai parameter uji coba. Lalu dilakukan pemrosesan sinyal suara dengan menggunakan algoritma MUSIC. Hasil akan didapatkan berupa puncak sinyal pada suatu sudut untuk menggambarkan sinyal yang datang berasal dari sudut tersebut

2.4.4. Perancangan Pengujian

Perancangan pengujian dibuat tabel beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil dari sudut kedatangan (target). Sudut sinyal suara memakai satu sudut saja, tetapi dengan parameter yang dikombinasi sehingga menghasilkan variasi yang banyak. Sudut yang dipakai sudah cukup mewakili beberapa sudut lain karena nilai sudut tidak berpengaruh pada hasil SNR dan presentase keakuratan. Sudut yang digunakan yaitu 45° , 90° , 135° , dan 180° . Dengan penggunaan beberapa sudut ini, dimaksudkan untuk mencari hasil yang dapat menggambarkan seberapa baik penggunaan algoritma MUSIC dapat mengestimasi sudut kedatangan pada berbagai sudut atau arah. Pemilihan sudut tersebut merupakan sudut – sudut yang menjadi representasi dari sudut – sudut yang berlawanan arah dari sudut yang digunakan.

Untuk menggambarkan kondisi uji coba yang sebenarnya atau nyata, maka akan ditambahkan dengan noise yang umum digunakan. Jenis noise yang umum digunakan yaitu noise dengan jenis AWGN. Noise ini memberikan pengaruh penurunan tingkat kualitas sinyal yang diterima oleh mikrofon. Noise memberikan ujian tambahan untuk algoritma MUSIC. Tingkat noise yang digunakan akan memiliki sebanyak 3 variasi. Variasi tingkat noise yang digunakan membantu memahami akan kinerja dari algoritma MUSIC dapat bekerja meskipun terpengaruh oleh noise.

Mikrofon sebagai penerima sinyal suara dengan menggunakan mikrofon yang digunakan sebanyak 4 buah dengan jarak mikrofon yang diatur yaitu 0,5. Jarak mikrofon yang digunakan adalah dalam satuan lambda (panjang gelombang). Variasi jarak antar mikrofon juga dapat membantu memahami bagaimana dampak variasi dari jarak antar mikrofon dapat berpengaruh kepada kinerja algoritma MUSIC. Susunan mikrofon memiliki peran penting untuk meningkatkan hasil yang ingin didapatkan, penggunaan jumlah serta susunan mikrofon yang tepat akan memiliki hasil yang optimal sesuai dengan penggunaannya.[9]Variasi dari snapshot juga digunakan pada uji coba ini untuk mencari sudut paling akurat dan nilai SNR paling bagus pada satu kali program dijalankan. Jumlah snapshot yang digunakan memiliki 3 variasi dengan nilai yang berbeda beda.

3. Hasil

3.1 Hasil pengukuran sudut dan keakuratan sudut

Hasil dari pengolahan data pada sub bab sebelumnya, dapat diperoleh hasil tingkat keakuratan dari algoritma MUSIC dan nilai SNR sesuai dengan kombinasi dari parameter yang digunakan. Hasil pengolahan data pada semua sudut uji coba ditunjukkan pada tabel 2 sampai tabel 5 yang merupakan tabel hasil dari uji coba yaitu sudut 45°, 90°, 135°, 180°.

Tabel 1. Hasil uji coba Algoritma MUSIC

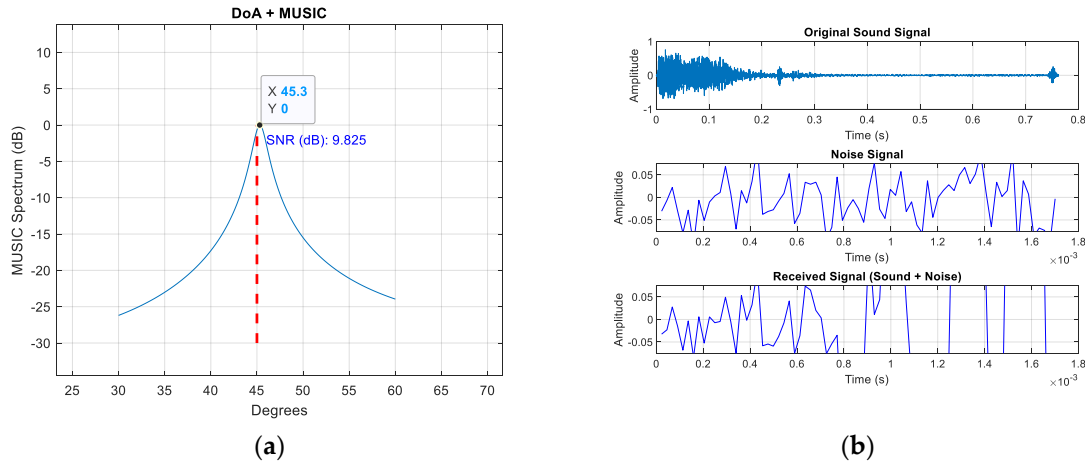
Parameter					Sudut 45°		Sudut 90°		Sudut 135°		Sudut 180°	
Jumlah mikrofon	Jarak antar mikrofon	Jenis Senjata	Tingkat Noise(%)	Snap Shot	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan
4	0,5	AK-12	0,05	75	45,3	99,34%	90	100,00%	134,4	99,56%	180,4	99,36%
				100	44,4	98,67%	90	100,00%	134,5	99,63%	179,5	99,72%
				125	45,2	99,56%	90	100,00%	134,9	99,93%	180,2	99,56%
			0,1	75	45,5	98,90%	90	100,00%	134,4	99,56%	179,4	99,67%
				100	44,5	98,89%	90	100,00%	134,8	99,85%	180,4	99,36%
				125	44,9	99,78%	90	100,00%	134,8	99,85%	180,1	99,88%
			0,15	75	46,5	96,70%	90	100,00%	134,3	99,48%	181,5	96,70%
				100	46,2	97,36%	90	100,00%	135,5	98,89%	180,4	99,36%
				125	45,4	99,36%	90	100,00%	134,6	99,70%	180,3	99,34%
		Desert Eagle	0,05	75	45,6	98,67%	90	100,00%	135,5	98,89%	180,6	98,67%
				100	44,8	99,56%	90	100,00%	135,5	98,89%	179,7	99,83%
				125	44,9	99,78%	90	100,00%	134,8	99,85%	179,9	99,94%
			0,1	75	44,2	98,22%	90	100,00%	135,5	98,89%	179,3	99,61%
				100	45,7	98,44%	90	100,00%	135,4	99,36%	180,6	99,56%
				125	45,5	98,89%	90	100,00%	135,2	99,56%	179,9	99,94%
			0,15	75	46,1	98,12%	90	100,00%	134,3	99,48%	180,8	98,22%
				100	45,6	98,67%	90	100,00%	135,5	98,89%	180,6	98,67%
				125	44,8	99,56%	90	100,00%	134,7	99,78%	180,2	99,56%
		MP5	0,05	75	45,5	98,89%	90	100,00%	133,9	99,19%	181,1	97,58%
				100	43,9	97,56%	90	100,00%	134	99,26%	181,1	97,58%
				125	44,4	98,67%	90	100,00%	134,8	99,85%	179,9	99,94%
			0,1	75	44,3	98,44%	90	100,00%	134	99,26%	181,4	99,36%
				100	45,8	98,22%	90	100,00%	134	99,26%	180,5	98,89%
				125	45,1	99,88%	90	100,00%	134,6	99,70%	180,4	99,36%
0,15	75		45,9	98,02%	90	100,00%	138,1	93,18%	180,6	98,67%		
	100		44,3	98,44%	90	100,00%	137,4	94,72%	180,3	99,34%		
	125		44,5	98,89%	90	100,00%	136,1	97,58%	179,9	99,94%		

3.2. Hasil pengukuran SNR

Tabel 2 merupakan tabel hasil uji coba Algoritma MUSIC pada 4 sudut, yaitu sudut 45°, 90°, 135°, dan 180°. Parameter uji coba yang digunakan ada jumlah mikrofon, jarak antar mikrofon, jenis senjata, tingkat noise (%), dan jumlah snapshot. Rata-rata keakuratan uji coba sebesar 99,21% menunjukkan konsistensi dalam mengidentifikasi arah kedatangan sinyal. Dengan tingkat keakuratan yang tinggi ini memperkuat pemilihan algoritma MUSIC untuk deteksi sudut kedatangan atau DoA (Direction of Arrival) bisa dikatakan tepat, hal itu bisa dilihat dari hasil keakuratan sudut yang dihasilkan. Dengan demikian, hasil simulasi ini memberikan dasar kuat bagi penggunaan algoritma MUSIC untuk uji coba lebih lanjut.

Tabel 2. Hasil uji coba pengukuran SNR

Parameter					Sudut 45	Sudut 90	Sudut 135	Sudut 180
Jumlah mikrofon	Jarak antar mikrofon	Jenis Senjata	Tingkat Noise(%)	Snapshot	SNR (dB)			
4	0,5	AK-12	0,05	75	9,82	9,35	9,5	10,26
				100	11,29	10,8	11,34	10,79
				125	11,96	11,5	12,18	12,28
			0,1	75	3,49	4,05	3,87	3,72
				100	5,28	5,19	4,7	5,25
				125	5,86	5,77	5,75	6,1
			0,15	75	0,019	0,63	0,23	0,4
				100	1,71	1,5	1,79	1,66
				125	2,27	2,03	1,9	2,28
		Desert Eagle	0,05	75	10,32	10,7	10,54	10,78
				100	11,91	11,31	11,82	11,84
				125	11,58	11,81	11,69	11,43
			0,1	75	4,41	4,45	4,63	4,41
				100	5,84	5,48	5,89	6,06
				125	5,27	5,79	5,39	5,58
			0,15	75	1,01	1,15	1,14	1,18
				100	2,72	2,41	2,45	1,91
				125	1,51	2,01	1,91	1,92
		MP5	0,05	75	13,33	12,57	13,01	12,65
				100	15,42	15,66	16,83	16,59
				125	16,65	16,58	16,7	17,07
			0,1	75	7,02	6,65	6,91	7,37
				100	10,31	9,1	10,04	10,1
				125	10,71	10,71	10,8	10,67
0,15	75		3,49	3,28	3,12	3,41		
	100		6,85	5,59	6,92	6,58		
	125		7,41	6,92	7,46	7,46		



Gambar 3. Hasil simulasi pengukuran sudut dan SNR algoritma MUSIC

Setelah dilakukan simulasi, diperoleh hasil rata-rata nilai SNR dari tiap sudut yaitu 45° , 90° , 135° , 180° , ditunjukkan Gambar 3. Dimana hasil tersebut terbilang sangat baik dengan hasil rata-rata nilai SNR semua sudut mencapai 7,30 dB. Nilai tersebut berarti algoritma ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengatasi noise yang mengakibatkan menurunnya tingkat keakuratan yang didapatkan. Jadi sinyal informasi yang didapatkan masih bisa teridentifikasi untuk menentukan sudut kedatangan dari sinyal suara tersebut. Rata-rata nilai SNR dari tiap sudut yang didapatkan terbilang konsisten. Hal tersebut sangat baik, mengingat variasi dari sudut dan parameter yang digunakan cukup bervariasi. Ini menjadi penting bahwa sistem dapat mengatasi perubahan data-data maupun nilai parameter yang digunakan dapat diatasi dengan baik. Dengan demikian, hasil ini memberikan efek positif pada penggunaan algoritma MUSIC bahwa dapat menghasilkan dan menjaga kualitas sinyal meskipun terganggu oleh noise.

4. Diskusi

Kombinasi antara beberapa parameter yang digunakan, dapat diperoleh hasil yang bervariasi. Parameter tersebut memberikan pengaruh kepada hasil keakuratan sudut dan nilai SNR. Berikut beberapa parameter serta pengaruhnya kepada hasil penelitian ini. Tingkat keakuratan sudut paling tinggi berada pada sudut 90° dengan tingkat akurasi 100%. Tingkat keakuratan sudut paling rendah berada pada sudut $93,18^\circ$ berada pada variasi parameter dengan tingkat noise 15%, jumlah snapshot 75 dan tipe senjata MP5. Sedangkan pada SNR nilai paling bagus dengan nilai 16,83 dB ditunjukkan pada hasil uji coba dengan jenis senjata MP5 dan tingkat noise 0,05, dengan jumlah snapshot 100 pada sudut 135° . Dan nilai SNR paling rendah ditunjukkan pada sudut 45° dengan nilai SNR mencapai 0,0019 dB.

- Tingkat Noise

Tingkat noise berpengaruh signifikan kepada nilai SNR yang dihasilkan. Nilai SNR yang baik dapat diperoleh juga dari sinyal kuat yang diterima oleh mikrofon, karena pada penelitian ini tingkat noise ditetapkan. Tingkat noise paling tinggi pada penelitian ini dikombinasikan dengan jumlah snapshot yang rendah menghasilkan tingkat keakuratan sudut paling rendah yaitu 93,18%. Sedangkan untuk nilai SNR paling rendah yaitu 0,0019 dB yang berarti simulasi ini masih layak untuk dilanjutkan dengan catatan untuk data sampel suara dengan nilai SNR paling rendah yaitu AK-12 bisa digantikan dengan sampel suara senjata yang lain tetapi masih memiliki jenis yang sama yaitu assault rifle. Pada tingkat noise paling rendah menghasilkan estimasi sudut serta nilai SNR paling bagus diantara variasi noise lainnya. Hal ini disebabkan karena noise tidak terlalu memberikan pengaruh pada pemrosesan sinyal. Tingkat noise paling tinggi menyebabkan dampak yang sangat berpengaruh pada hasil SNR. Hasil SNR paling rendah disebabkan oleh tingkat noise paling tinggi dan jumlah snapshot paling rendah. Nilai SNR paling rendah ditunjukkan pada variasi senjata AK-12 dengan parameter tingkat noise 15%, jumlah snapshot 75 pada sudut 45° . Sedangkan nilai SNR paling bagus ditunjukkan pada uji coba pada senjata MP5 dengan tingkat noise paling

rendah yaitu 5%, dan jumlah snapshot paling banyak yaitu 125. Nilai SNR pada percobaan ini tidak ada yang bernilai negatif, maka dari itu percobaan ini layak untuk dijalankan karena sinyal suara lebih mendominasi daripada nilai noise.

- Snapshot

Snapshot berpengaruh juga kepada nilai SNR dan tingkat keakuratan sudut. Pengaruh tersebut dikarenakan sinyal yang dibuat pada tiap simulasi berbeda-beda. Nilai SNR dan tingkat keakuratan paling baik pada tiap uji coba akan ditampilkan pada plot. Semakin banyak jumlah snapshot semakin baik tingkat keakuratan serta nilai SNR nya. Tingkat keakuratan dengan jumlah snapshot paling banyak memperoleh hasil keakuratan lebih dari 99%. Nilai snapshot yang semakin banyak memungkinkan untuk memperoleh hasil pada tiap simulasinya menjadi lebih baik, karena pada suatu nilai snapshot memiliki hasil yang berbeda-beda meskipun dengan nilai parameter lainnya yang berbeda-beda.

- Jenis Senjata

Sampel suara yang berasal dari tiap senjata yang digunakan berpengaruh pada hasil tingkat keakuratan serta nilai SNR, dikarenakan tiap sampel suara memiliki kualitas sinyal suara serta noise bawaan dari sampel suara yang berbeda juga. Pada penelitian ini jenis senjata yang memiliki hasil keakuratan sudut serta nilai SNR adalah jenis senjata MP5 dengan golongan SMG (sub machine gun). Sedangkan jenis senjata AK-12 memiliki hasil yang paling rendah dalam hal keakuratan sudut serta nilai SNR. Hal tersebut dikarenakan sampel suara dari AK-12 memiliki noise yang cukup signifikan. Dapat didengar dari sampel suara yang dimainkan, terdapat noise berupa efek dari suara tembakan maupun dari lingkungan sekitar saat pengambilan sampel suara.

Jadi, beberapa parameter diatas dapat mempengaruhi hasil jika parameter tersebut tidak menggunakan nilai yang ideal. Parameter-parameter yang digunakan saling terhubung untuk dapat mempengaruhi nilai SNR dan tingkat keakuratan yang dihasilkan setelah melalui pemrosesan sinyal digital.

5. Kesimpulan

Algoritma MUSIC mempunyai kemampuan yang cukup baik dalam membantu untuk mencari sudut kedatangan sinyal suara. Seperti yang ditunjukkan pada bab sebelumnya, algoritma MUSIC memiliki tingkat keakuratan mencapai 99,21% yang membuktikan bahwa algoritma ini mampu memberikan tingkat keakuratan yang cukup baik. Tingkat keakuratan yang tinggi ini membuktikan bahwa algoritma tersebut mampu untuk menangani noise dengan cukup baik. Dengan nilai SNR yang tergolong bagus mencapai nilai rata-rata 7,30 dB. Hal itu menggambarkan bahwa algoritma MUSIC berfungsi dengan baik untuk memisahkan antara sinyal suara dan noise, yang menjadikan algoritma MUSIC dapat diandalkan untuk mengendalikan noise yang dapat mempengaruhi sinyal suara. Adanya fungsi dari ruang noise pada algoritma MUSIC terbukti membantu dalam meningkatkan ketepatan identifikasi sudut DoA. Pengaruh tingkat noise dapat mengurangi keakuratan pada sudut DoA. Pengaruh noise juga dapat dilihat pada nilai SNR. Nilai SNR yang semakin kecil menunjukkan bahwa kekuatan noise pada uji coba kali ini mempengaruhi sinyal suara dan akurasi dari sudut DoA. Jumlah snapshot dapat mempengaruhi tingkat akurasi sudut dan tingkat ketajaman pada ujung spektrum. Jenis senjata juga mempengaruhi hasil dari keakuratan sudut dan juga nilai SNR. Sampel suara yang tergolong kurang baik akan mendapatkan hasil yang kurang baik juga.

References

1. Jonh Roy Purba, "53 Orang Tewas Akibat Ulah KKB Papua Selama 2022, 2021 Sebanyak 34 Orang Baca artikel detiknews, '53 Orang Tewas Akibat Ulah KKB Papua Selama 2022, 2021 Sebanyak 34 Orang' selengkapnya <https://news.detik.com/berita/d-6486149/53-orang-tewas-akibat-ulah-kkb-papua-selama-2022-2021-sebanyak-34-orang,>" detikNews.
2. C.-B. Ko and J.-H. Lee, "Performance of ESPRIT and Root-MUSIC for Angle-of-Arrival (AOA) Estimation," in *2018 IEEE World Symposium on Communication Engineering (WSCE)*, IEEE, Dec. 2018, pp. 49–53. doi: 10.1109/WSCE.2018.8690541.

3. M. M. Gunjal and A. A. B. Raj, "Improved Direction of Arrival Estimation Using Modified Music Algorithm," in *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, IEEE, Jun. 2020, pp. 249–254. doi: 10.1109/ICCES48766.2020.9137982.
4. C. B. Muhammad, H. Wijanto, and A. D. Setiawan, "ANALISIS PENCARIAN SUDUT KEDATANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA MUSIC UNTUK ADAPTIVE BEAMFORMING," *Jurnal TEKTRIKA*, Vol.3, No.2, Juli 2018.
5. S.-H. Jeong, B. Son, and J.-H. Lee, "Asymptotic Performance Analysis of the MUSIC Algorithm for Direction-of-Arrival Estimation," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, p. 2063, Mar. 2020, doi: 10.3390/app10062063.
6. R. M. Untsa, G. Hendranto, and P. Handayani, "Clutter Mitigation Technique on OFDM MIMO Radar," in *2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT)*, IEEE, Mar. 2019, pp. 145–150. doi: 10.1109/ICAIIIT.2019.8834528.
7. Mei JZhou PXiong X et al, "DOA Estimation Method for Ultra-Wide-Band Insect Radar Based on Variable Conical Conformal Array: Adjustable MUSIC Algorithm" in *2022 Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi, Volume 2022, Article ID 9443023, 10 pages. doi: 10.1155/2022/9443023
8. Zhang ZZhao WHuang Y et al, "Implementation of DOA Estimation System Based on HackRF One", in *2022 International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi, Volume 2022, Article ID 7901714, 12 pages. doi: 10.1155/2022/7901714
9. Ali Movahed, Thomas Waschkes, and Ute Rabe, "Air Ultrasonic Signal Localization with a Beamforming Microphone Array", in *2019 Advances in Acoustics and Vibration*, Hindawi, Volume 2019, Article ID 7691645, 12 pages, doi: 10.1155/2019/7691645
10. Emrah Aydemir, "Gunshot Audio Dataset," Kaggle, Jan. 8, 2024. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/emrahaydemr/gunshot-audio-dataset>
11. Georgios K. Papageorgiou, Mathini Sellathurai, and Yonina C, "Deep Networks for Direction-of-Arrival Estimation in Low SNR", in *2021 Transactions on Signal Processing*, IEEE, June. 2021, pp. 3714 – 3729. doi: 10.1109/TSP.2021.3089927
12. R. Untsa, F. Akbar, H. Briantoro, N. Rachmaningrum, and H. Mustakim, "Filter Least Mean Square (LMS) untuk Mengurangi Noise pada Sinyal Suara Tembakan", *CENTIVE*, vol. 3, no. 1, pp. 104-112, Dec. 2023.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Artikel

Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Mesin E-Fill Berbasis Anfis

Ii Munadhif^{1*}, Deni Almunawar², Muhammad Dhifa Alfitra³, Muhammad Dzi WashfilHasin⁴, Mohammad Abu Jami'in⁵, Ryan Yudha Adhitya⁶, Dwi Rizky Anto⁷, Anggara TrsinaNugraha⁸, Dimas Pristovani Riananda⁹, Zindhu Maulana Ahmad Putra¹⁰, Mohammad Fajar Adiatmoko¹¹.

¹⁻¹¹ Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Korespondensi: iimunadhif@ppns.ac.id

Received: 31 Oktober 2023; Accepted: 15 Desember 2023; Published: 31 Juli 2024;

Abstrak: Mesin E-Fill merupakan bagian penting dalam proses produksi di industri manufaktur, khususnya untuk mengisi cairan ke dalam kemasan botol. Pengoperasiannya memerlukan keahlian khusus sehingga diperlukan sistem pendukung keputusan. Penelitian ini merancang sistem pendukung keputusan untuk mesin E-Fill dengan metode ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) yang menggabungkan kecerdasan buatan dan logika *fuzzy*. Pemantauan kinerja mesin menggunakan metode OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) berdasarkan aspek availability, performance, dan quality. Berdasarkan percobaan pada mesin E-Fill diperoleh nilai OEE rata-rata hanya 57,3% (*cycle time* 15 detik) dan 61,7% (*cycle time* 16 detik). Nilai ini jauh di bawah standar sistem baik minimum 85%, sehingga performa mesin perlu optimalisasi lebih lanjut. Sementara pemodelan dengan ANFIS menghasilkan akurasi prediksi yang sangat tinggi didasarkan nilai RMSE sebesar 0,000312 dari 27 data pengujian. Perbandingan nilai aktual dan hasil prediksi ANFIS juga hanya memiliki selisih yang sangat kecil. Dapat disimpulkan bahwa performa mesin E-Fill perlu ditingkatkan, dan ANFIS terbukti sangat akurat sehingga variable untuk implementasi pada sistem pendukung keputusan mesin E-Fill. Studi ini berkontribusi pada pengembangan teknologi cerdas di industri manufaktur Indonesia.

Kata Kunci: ANFIS, Mesin E-Fill, Overall Equipment Effectiveness (OEE), RMSE, sistem pendukung keputusan,

1. Pendahuluan

Sistem dalam industri manufaktur mesin memegang peranan penting dalam proses produksi. Salah satu mesin yang digunakan dalam proses produksi adalah mesin E-Fill untuk mengisi cairan ke dalam kemasan botol. Mengoperasikan mesin E-Fill memerlukan keahlian khusus dan pengalaman yang cukup, sehingga diperlukan suatu sistem yang dapat mendukung pengambilan keputusan terkait pengoperasian mesin E-Fill.

Sistem pendukung keputusan atau *Decision Support System* (DSS) merupakan suatu sistem yang dapat mendukung pengambilan keputusan dengan menggunakan data dan informasi yang tersedia. DSS dapat digunakan di berbagai bidang seperti bisnis, industri, kesehatan, dan pendidikan. Dalam penerapannya di industri, DSS dapat membantu pengambilan keputusan terkait produksi, kualitas, dan efisiensi.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam perancangan sistem pendukung keputusan pada mesin E-Fill adalah sistem inferensi *neuro-fuzzy* adaptif atau lebih dikenal dengan ANFIS. ANFIS merupakan metode yang menggabungkan kecerdasan buatan berupa jaringan syaraf tiruan dan logika *fuzzy* untuk membangun model sistem. Alasan mengapa menggunakan ANFIS

dibandingkan dengan metode yang lain adalah ANFIS dapat digunakan di berbagai berbagai aplikasi, seperti pengenalan pola, prediksi, dan pengambilan keputusan serta ANFIS dapat digunakan untuk memodelkan sistem nonlinier yang kompleks dan memiliki kemampuan belajar dari data. Pada saat merancang sistem pendukung keputusan mesin E-Fill berbasis ANFIS, sistem akan menggunakan data dan informasi yang tersedia untuk membuat rekomendasi keputusan yang optimal pada saat menggunakan mesin E-Fill.

Dalam industri manufaktur, metode efektivitas peralatan secara keseluruhan (OEE) dapat diterapkan untuk memantau kinerja mesin. OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengukur efektivitas dan produktivitas dari peralatan produksi. OEE menentukan persentase waktu produksi dan menghitung berbagai jenis kerugian. OEE mencakup tiga faktor, yaitu ketersediaan, kinerja, dan kualitas. OEE dapat dihitung dengan mengalikan faktor OEE dengan tiga atau dengan mengalikan jumlah produk sempurna dengan waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit, kemudian membaginya dengan waktu produksi yang diharapkan.

Efisiensi sistem produksi menjadi faktor kunci daya saing industri manufaktur. Namun nilai OEE rendah menunjukkan performa mesin yang belum optimal. Untuk itu diperlukan sistem cerdas prediktif berbasis ANFIS yang mampu merekomendasikan parameter operasional mesin guna meningkatkan efisiensi. Data aktual dimanfaatkan ANFIS untuk permodelan dan prediksi kondisi optimal agar performanya maksimal, yang akhirnya tercermin pada peningkatan nilai OEE. Maka penerapan OEE dan ANFIS menjadi solusi yang saling berkaitan untuk optimasi berkelanjutan.

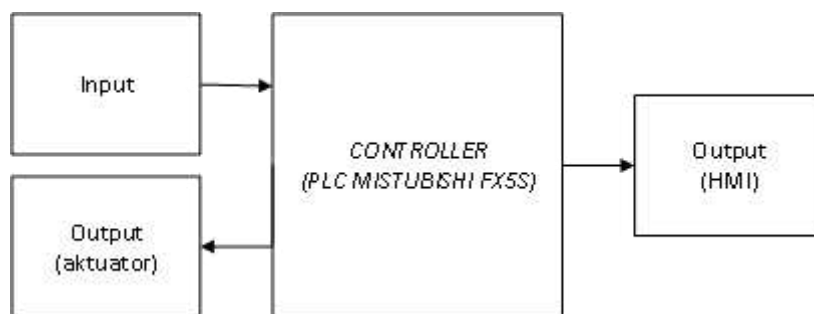
Untuk mendapatkan performa ANFIS yang sesuai dengan tujuan penelitian, parameter *root mean square error* (RMSE) digunakan untuk mengukur keakuratan model prediktif. RMSE adalah ukuran selisih antara nilai prediksi dan nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin tinggi keakuratan model prediksi. Pada artikel kali ini akan dibahas mengenai perancangan sistem pendukung keputusan mesin E-Fill berbasis OEE dan ANFIS.

Penelitian ini bertujuan untuk mendukung pengambilan keputusan terkait pengoperasian mesin E-Fill. Penelitian ini akan membahas tentang konsep dasar ANFIS, perancangan sistem, dan implementasi sistem. Penelitian ini juga akan membahas penerapan OEE dan RMSE dalam monitoring kinerja mesin. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi dan industri di Indonesia.

2. Metode Penelitian

2.1. Desain keseluruhan sistem

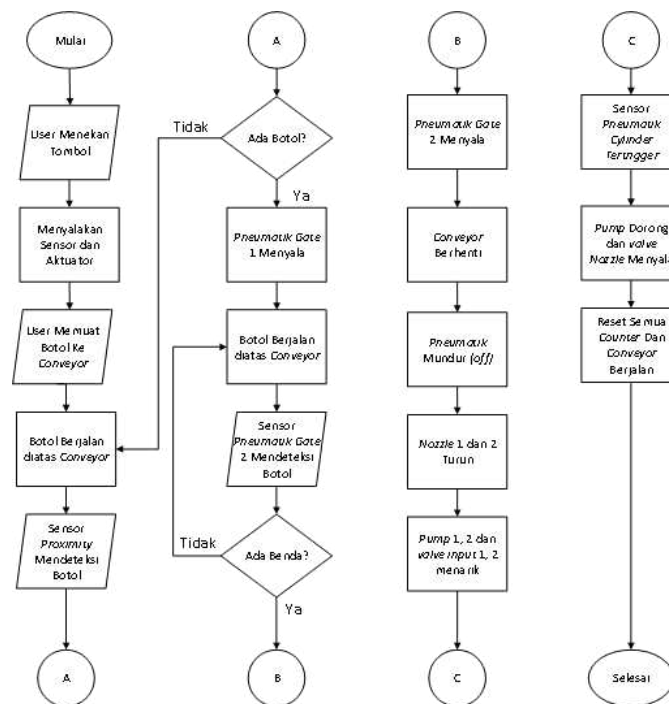
Mesin e-fill memiliki sistem pengisian cairan botol dan panel kontrol yang berjalan secara otomatis. Pada Gambar 1 terlihat data masukan dan keluaran berasal dari sensor dan aktuator. Mesin dikendalikan dengan menggunakan PLC Mitsubishi seri FX5S. Kemudian data *plant* dikumpulkan menggunakan metode ANFIS dan diukur menggunakan metode OEE.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1 Diagram Blok Sistem dapat dilihat pada penelitian ini untuk data *input* akan dikontrol melalui PLC lalu tampilan HMI atau *output* dapat dilihat apabila sistem kontrol telah

melakukan *input* data. Alur kerja dari mesin pengisian cairan dijelaskan pada Gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Alur Kerja Plant Botol Sortir

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa alur kerja sistem dimulai dari menekan tombol start pada HMI kemudian sensor dan aktuator akan menyala. Kemudian botol akan ditaruh pada konveyor dan akan berjalan. Lalu sensor *proximity* akan mendeteksi botol. Jika tidak ada botol maka konveyor akan tetap berjalan dan jika *proximity* mendeteksi botol pertama maka pneumatik gate 1 akan menyala, jika sensor *proximity* mendeteksi botol yang kedua maka pneumatik gate 2 akan menyala dan bersamaan konveyor akan berhenti. Lalu pneumatik mundur menyala bersamaan dengan *nozzle* 1 dan *nozzle* 2 turun. Kemudian cylinder pneumatik akan menarik cairan dan membuka valve *input* 1 dan valve *input* 2 sesuai dengan batas sensor *cylinder* pneumatik. Setelah cylinder pneumatik terisi selanjutnya *cylinder* pneumatik akan mendorong cairan sampai titik top bersamaan dengan terbukanya *valve output* 1 dan *valve input* 2 lalu mengirim air pada *nozzle* melalui selang cairan. Kemudian sistem akan mereset secara otomatis dan konveyor kembali berjalan.

2.2. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Penelitian ini dilakukan pada mesin e-fill pengisian cairan otomatis berdasarkan data yang telah diambil. Analisis data dilakukan dengan menghitung nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai dasar penentuan langkah perbaikan. *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) didefinisikan sebagai ukuran kinerja suatu peralatan dalam menunjang proses produksi sesuai dengan yang telah ditetapkan. Parameter OEE terdiri *Availability*, *Performance* dan *Quality*. Nilai ketiga parameter tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi efektivitas peralatan dalam periode tertentu. Table 1 Variable dan sumber data penelitian.

Tabel 1. Variabel dan sumber data penelitian

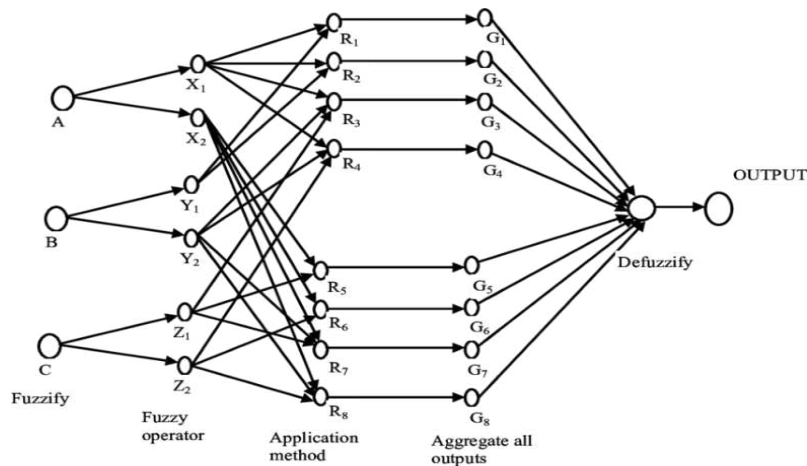
Variable	Sumber data
Waktu keseluruhan mesin beroperasi (<i>Loadingtime</i>)	Diambil berdasarkan waktu keseluruhan system bekerja (mulai dari saat system <i>start</i> hingga saatsystem <i>stop</i>)
Waktu mesin diambil kondisi <i>setup</i>	Data diambil dari waktu saat system dalam kondisi pergantian model dan saat system dalam keadaan perbaikan <i>maintenance</i> . Pada system ini pergantian model dilakukan dengan cara mengubah value berat cairan yang ditampung pada botol
Jumlah keseluruhan produk yang dihasilkan (<i>Actual output</i>)	Data ini diambil dengan memanfaatkan sensor <i>proximity</i>
Lama waktu mesin dalam memproduksi satu unit produk (<i>Cycle time</i>)	Data ini direkam saat system dalam kondisi pergantian model. Pada saat pergantian model, system akan berjalan selama sekali proses untuk mendapatkan waktu mesin dalam satu unit produk
Jumlah produk yang berhasil	Data ini didapatkan dari jumlah sensor <i>proximity</i> pada tiang <i>filling</i> mendeteksi keberadaan botol

$$\begin{aligned}
 \text{Availability (\%)} &= \frac{\text{Operating Time}}{\text{Loading Timr}} \times 100\% \\
 \text{Performance (\%)} &= \frac{\text{Loading Time} - \text{Down Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Cycle Time} \times \text{Actual Output}}{\text{Operating Time}} \times 100\% \tag{1} \\
 \text{Quality (\%)} &= \frac{\text{Good Output}}{\text{Actual Output}} \times 100\% \\
 \text{OEE} &= A \times P \times Q (\%)
 \end{aligned}$$

2.3. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan penggabungan dari logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan (JST). Logika *fuzzy* memiliki kelebihan dalam memodelkan aspek kualitatif dari pengetahuan manusia dan proses pengambilan keputusan dengan menerapkan basis aturan (*rules*). JST memiliki kelebihan dalam mengenali pola, belajar dan berlatih dalam menyelesaikan suatu permasalahan tanpa memerlukan pemodelan matematik. Serta dapat bekerja berdasarkan data historis yang dimasukkan kepadanya dan dapat melakukan prediksi kejadian yang akan datang berdasarkan data-data tersebut. Sehingga ANFIS memiliki kemampuan keduanya.

Framework dari metode ANFIS mempunyai lima layer, yaitu layer *fuzzifikasi*, *layer rule*, *layer normalisasi*, *layer defuzzifikasi*, dan hasil *neuro* Tunggal. Adapun struktur ANFIS seperti pada Gambar 3:



Gambar 3. Struktur ANFIS

Pada Struktur ANIFIS yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan 3 Input 6 layer dan 1 output. 3 Input: 1 Layer (Node 1-3) masing masing input disebut t sebagai variabel linguistik yang dapat mewakili kondisi atau atribut tertentu dalam sistem. 6 Layer: Layer 2 (Node 4-9) ini adalah layer yang disebut sebagai "Node Layer" atau "*Fuzzification Layer*". Pada layer ini, setiap node mengukur sejauh mana setiap input memenuhi kondisi linguistik tertentu. Fungsi keanggotaan *fuzzy* digunakan di sini untuk menentukan sejauh mana suatu input cocok dengan kondisi linguistik tertentu (seperti "dingin", "hangat", "panas"). Layer 3 (Node 10-15) Layer ini disebut sebagai "*Rule Layer*" atau "*Rule Layer*". Setiap node pada layer ini mengalikan keluaran dari node pada layer sebelumnya, merepresentasikan kecocokan input terhadap kondisi linguistik tertentu, dengan bobot tertentu. Dalam Anfis, khususnya, ada aturan-aturan yang digunakan untuk menentukan bobot ini. Layer 4 (Node 16- 21) Layer ini disebut sebagai "*Consequent Layer*". Setiap node di layer ini mengalikan keluaran dari node pada layer sebelumnya dengan input sesungguhnya (input numerik asli) dan memberikan keluaran untuk masing-masing aturan. Layer 5 (Node 22-24) Layer ini disebut sebagai "*Normalization Layer*". Tujuan dari layer ini adalah untuk menormalisasi keluaran dari layer sebelumnya. 1 Output: Output sistem Anfis adalah hasil akhir dari proses inferensi yang dilakukan oleh sistem.

2.4. Pengukuran Akurasi RMSE

Pada penelitian ini pengukuran hasil prediksi dilakukan dengan menggunakan *root mean square error* (RMSE). RMSE adalah suatu pengukuran tingkat akurasi dengan mengukur rata – rata nilai. Nilai didapat dari selisih hadil peramalan dengan target dimana semakin kecil kecil atau semakin rendah nilai RMSE yang didapat, maka semakin valid akurasi yang didapat. Rumus RMSE dinotasikan sebagai berikut:

$$\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - f_t)^2}{n}} \tag{2}$$

- Dimana: A_t = Nilai data actual
- F_t = Nilai hasil peramalan
- N = Banyaknya data
- Σ = Summation (Jumlahkan keseluruhan nilai)

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Pengujian meliputi Data Asli, Hasil Analisa OEE, dan pemodelan ANFIS dengan dibuktikan melalui grafik serta RMSE.

Table 2. Hasil pengambilan data

No	Waktu Nozzle Berjalan	Waktu Perngisian botol	Target	Volume	Error %	Ketepatan Filling Nozzle
1	10 detik	5 detik	135ml	0ml	100%	Gagal
2	10 detik	6 detik	135ml	0ml	100%	Gagal
3	10 detik	5 detik	135ml	138ml	0.74%	Tepat
4	10 detik	6 detik	135ml	135ml	0.74%	Tepat
5	10 detik	5 detik	135ml	136ml	1,48%	Tepat
6	10 detik	6 detik	135ml	133ml	0%	Tepat
7	10 detik	5 detik	135ml	135ml	0.74%	Tepat
8	10 detik	6 detik	135ml	133ml	0.74%	Tepat

Table 3. Hasil perhitungan OEE

No	Availability	Performance	Quality	OEE	Ket
Hasil OEE Data Asli Percobaan Pertama					
1	92%	105%	75%	72.50%	Bad
2	92%	105%	75%		72.50%
3	92%	105%	100%	96.67%	Good
4	92%	105%	100%	96.67%	Good
5	92%	105%	100%	96.67%	Good
6	92%	105%	100%	96.67%	Good
7	92%	105%	100%	96.67%	Good
8	92%	105%	100%	96.67%	Good
9	92%	105%	100%	96.67%	Good

Pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat dilihat perbandingan data dari 8 botol pengujian yang pertama, pada pengujian yang pertama terlihat bahwa percobaan pertama dan kedua memiliki kondisi bad sedangkan pengujian ketiga hingga kesembilan memiliki kondisi good. Kondisi Bad terjadi dikarenakan adanya kesalahan tata letak botol saat mengambil data.

Table 4. Hasil Pengambilan data percobaan ke 2

No	Waktu Nozzle	Waktu Pengisian	Target	Volume	Error %	Ketepatan Filling Nozzle
	Berjalan	botol				
1	10 detik	5 detik	135ml	132ml	2.20%	Tepat
2	10 detik	6 detik	135ml	130ml	3.70%	Tepat
3	10 detik	5 detik	135ml	136ml	0.74%	Tepat
4	10 detik	6 detik	135ml	134ml	0.74%	Tepat
5	10 detik	5 detik	135ml	133ml	1.48%	Tepat
6	10 detik	6 detik	135ml	135ml	0.00%	Tepat
7	10 detik	5 detik	135ml	134ml	0.74%	Tepat
8	10 detik	6 detik	135ml	136ml	0.74%	Tepat

Table 5. Hasil Perhitungan OEE data aktual

No	Availability	Performance	Quality	OEE	Ket
Hasil OEE Data Asli Percobaan Ketiga					
1	92%	105%	100%	96.67%	Good
2	92%	105%	100%	96.67%	Good
3	92%	105%	100%	96.67%	Good
4	92%	105%	100%	96.67%	Good
5	92%	105%	100%	96.67%	Good
6	92%	105%	100%	96.67%	Good
7	92%	105%	100%	96.67%	Good
8	92%	105%	100%	96.67%	Good
9	92%	105%	100%	96.67%	Good

Pada tabel 3.5 dan tabel 3.6 dapat dilihat tidak adanya perbandingan data dari 8 botol pengujian yang pertama hingga kesembilan dikarenakan tidak adanya kesalahan dalam tataletak botol.

3.1. Hasil Training

Perhitungan OEE ini berdasarkan kondisi pergerakan plant. Data utama yang diperlukan dalam perhitungan ini yaitu lama waktu mesin beroperasi selama 124 detik, lama waktu mesin dalam kondisi setup, jumlah keseluruhan produk yang dihasilkan, lama waktu mesin dalam memproduksi satu unit produk (waktu diambil selama 15 dan 16 detik) dan jumlah produk yang berhasil (dari 8 hingga 0). Berikut table 3.4 merupakan table variable OEE yang diperlukan.

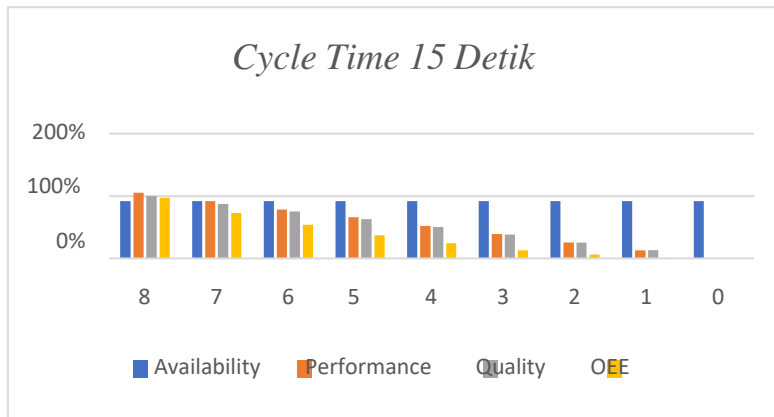
Table 6. Hasil percobaan data training

No	Availability	Performance	Quality	OEE	Ket
Data Pada Saat Cylce Time 15 Detik					
1	92%	105%	100%	96.6%	Good
2	92%	92%	87.6%	73%	Bad
3	92%	78%	75%	54%	Bad
4	92%	66%	62.5%	37%	Bad
5	92%	52%	50%	23.9%	Bad
6	92%	39%	37.5%	13%	Bad
7	92%	26%	25%	5.98%	Bad
8	92%	13%	12.5%	1.4%	Bad
9	92%	0%	0%	0%	Bad
Data Pada Saat Cycle Time 16 Detik					
1	92%	112%	100%	103%	Good
2	92%	98%	87.6%	78%	Bad
3	92%	84%	75%	57.9%	Bad
4	92%	70%	62.5%	40.2%	Bad
5	92%	56%	50%	25.7%	Bad
6	92%	42%	37,5%	14.5%	Bad
7	92%	28%	25%	6.44%	Bad
8	92%	14%	12,5%	1.61%	Bad
9	92%	0%	0%	0%	Bad

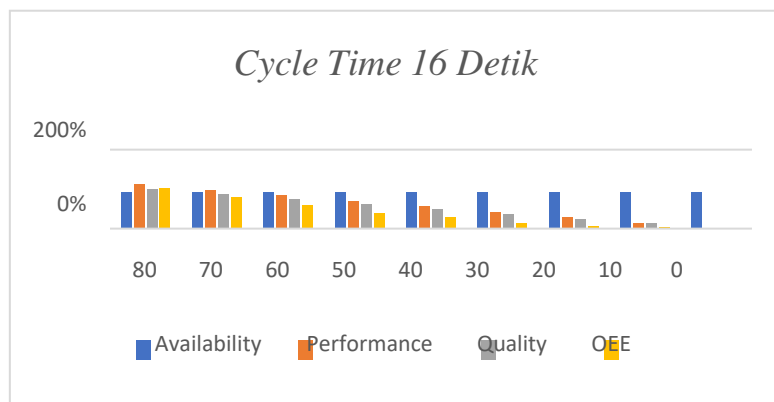
Hasil percobaan dari Tabel 3.4 diatas dapat dilihat bahwa berdasarkan data keterangan terlihat memiliki kondisi good dan bad. Untuk mesin yang memiliki system good dan efektif memiliki nilai presentase OEE diatas 85%. Sedangkan mesin yang memiliki system bad memiliki nilai presentase OEE dibawah 85%.

Gambar 4 adalah data bar chart yang ditampilkan sesuai dengan data training yang dihitung dalam kondisi waktu Cylce Time 15 detik.

Gambar 5 adalah Data bar chart yang ditampilkan sesuai dengan data Training yang dihitung dalam kondisi waktu Cycle Time 16 detik.



Gambar 4. Bar Chart hasil Training



Gambar 5. Bar Chart hasil Training

3.2. Hasil data Testing ANFIS

Sebelum dilakukan pemodelan ANFIS dilakukan beberapa kali percobaan pada pembahasan hasil data training sebagai parameter untuk menguji ketepatan pada metode ANFIS. Dari hasil training dengan kondisi cycle time 15 dan 16 detik diperoleh nilai minimal RMSE adalah 0.000312. Adapun pembandingan nilai aktual dengan data prediksi dapat dilihat pada gambar 8 dibawah.

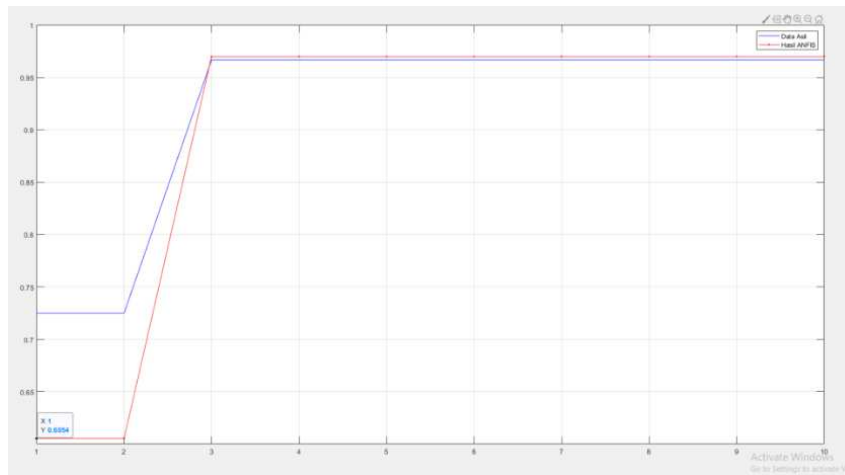
Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa hasil dari pengujian data asli dan hasil ANFIS memiliki perbedaan ketika uji coba pertama dan kedua. Pada uji coba pertama data asli menghasilkan nilai 0.72 berasal dari perhitungan manual data asli sedangkan hasil ANFIS menghasilkan nilai 0.60. Sama dengan uji coba pertama pada uji coba kedua data asli dan hasil ANFIS memiliki nilai yang sama. Bisa disimpulkan untuk ketepatan prediksi pada uji coba pertama dan kedua hanya memiliki selisih nilai yaitu 0.12. sedangkan pada uji coba 3 hingga uji coba ke10 nilai data asli dan hasil ANFIS memiliki kesamaan yang artinya ketepatan prediksi dari uji coba tersebut adalah 100% tepat.

```

Editor: C:\Users\ASUS\Documents\Program\khghum
Untitled - khghum
1 - clear all;
2 - clear;
3 - dataset = 'dataset.xlsx';
4 - dataset = xlsread(dataset, 'B2:E20');
5
6 - datates = 'datates.xlsx';
7 - datates = xlsread(datates, 'B2:E10');
8
9
10 - % Membuat dataset
11 - x1 = dataset(:, 1);
12 - x2 = dataset(:, 2);
13 - x3 = dataset(:, 3);
14 - y1 = dataset(:, 4);
15
16 - % Membuat datates
17 - x4 = datates(:, 1);
18 - x5 = datates(:, 2);
19 - x6 = datates(:, 3);
20 - y2 = datates(:, 4);
21
22 - % Menetapkan input dan output ke dalam variabel
23 - input1 = [x1 x2 x3];
24 - output1 = [y1];
25 - input2 = [x4 x5 x6];
26 - output2 = [y2];
27
28 - % Menginisialisasi ANFIS
29 - genOpt = genfisOptions('GridPartition');
30 - genOpt.NumMembershipFunctions = [3 6 4];
31 - genOpt.InputMembershipFunctionType = ['trapmf'];
32 - inFIS = genfis(input1, output1, genOpt);
33
Command Window
3 0.00082155
4 0.00031934
5 0.000801415
6 0.000324112
Step size decreases to 0.000900 after epoch 6.
7 0.000321135
8 0.000315979
9 0.000314224
Step size increases to 0.000990 after epoch 9.
10 0.00031217
Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 10.
Minimal training RMSE = 0.000312
Epoch 10/10, Loss: 0.000900
>>

```

Gambar 6. Hasil Nilai RMSE



Gambar 7. Grafik data asli dan hasil ANFIS

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan pada paper ini menjelaskan tentang perancangan sistem pendukung keputusan untuk mesin e- fill berbasis sistem inferensi *neuro-fuzzy* adaptif “ANFIS”. Hal ini bertujuan untuk mendukung pengoperasian mesin e-Fill. Berdasarkan Perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), performa mesin e-fill dalam pengujian 3 kali percobaan masih rendah dengan nilai OEE rata - rata hanya 57,3% (*Cycle Time* 15 detik) dan 61,7% (*Cycle Time* 16 detik). Nilai Availability cenderung konstan 92% sedangkan nilai Performance dan Quality bervariasi tergantung pada waktu *Cycle Time* dan jumlah produk yang berhasil. Pemodelan dengan metode ANFIS menghasilkan akurasi prediksi yang sangat baik dengan RMSE sebesar 0,000312. Hasil prediksi juga sangat mendekati data aktual.

Referensi

1. S. P. Della, Sistem Pengolahan Data Produksi Berbasis SCADA Menggunakan Metode OEE Dilengkapi dengan Fuzzy Decision Pada Automatic Filling Bottle Machine, Surabaya, 2021.
2. R. P. & S. E. P. Sari, "Applied Technology and Computing Science Journal.," Pengaruh Korelasi Data pada Peramalan Kelembaban Udara Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)., 2019.
3. N. R. D. H. S. T. S. Ryan Yudha Adhitya, Pengembangan PV Solar Tracking System Dua Sumbu Putar Berbasis Model Fuzzy Sugeno Oorde Nol, 2020.
4. A. M. Ma'ruf, U. Ema and A. H. Dwi, "Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi," Optimasi Anfis Untuk Prediksi Data Time Series, vol. Vol.9, 3 September 2022.
5. M. Anrinda, M. S. Edy and I. M. Jaka, "Prosiding Seminar Nasional," ANALISIS PERHITUNGAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE), 21 Agustus 2021.
6. N. and I. Anfasa, "Diploma Thesis," RANCANG BANGUN INTEGRASI SCADA PADA SISTEM CRUSHING DAN BARGE LOADING CONVEYOR, 2022.
7. B. Y. Pandji, I. I. and A. A. Rohmawati, "Indonesia Journal on Computing," Perbandingan Prediksi Harga Saham dengan model ARIMA dan Artificial Neural Network, vol. Vol.4 No.2, September 2019.
8. A. T. Nugraha and R. P. Eviningsih, ZETA Converter as a Voltage Stabilizer with Fuzzy Logic Controller Method in The Pico Hydro Power Plant, vol. Vol.4 No.2, 23 Agustus 2022.
9. I. M. A. A. and A. A. Mustofa, "Jurnal Ilmiah Rekayasa," Sistem Pengendalian Penanganan Kebakaran Gedung Menggunakan Metode Fuzzy, vol. Vol 11 No 2, Oktober 2018.
10. D. H. Triwardani, A. Rahman and C. F. M. Tantrika, ANALISIS OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DALAM, 2021.
11. W. Atikno and H. H. Purba, "Journal of Industrial and Engineering System (JIES)," Sistematika Tinjauan Literature Mengenai Overall Equipment Effectiveness (OEE), vol. 2, no. 2722-7979, pp. Hal 29-39, 2021.
12. S. A. Hardiyanti and Q. S., PREDIKSI KASUS COVID-19 DI INDONESIA MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS), vol. Vol 6, 2020.
13. H. S. D. O. Prabawanti, M. S. R. N. Hasanah, U. W. and A. H., Forecasting of Wind Speed in Malang City of Indonesia using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Autoregressive Integrated Moving Average Methods, September 2020.
14. I. A. J. and Y., Perancangan Unit Pengisian Pada Mesin Pengisian Botol Otomatis Berbasis PLC, vol. Vol. 3 No. 2, 2023.
15. A. H. Saputra, T. T. and B. W., ANALISIS DATA RUNTUN WAKTU DENGAN METODE ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS), vol. Vol. 1 No.1, pp. 31-38, 2012.
16. A. K. R. R. and I. P. Solihin, Pengujian Algoritma Long Short Term Memory untuk Prediksi Kualitas Udara dan Suhu Kota Bandung, vol. Vol. 15 No. 1, 2020.
17. M. and T. R., Prediksi Waktu Kegagalan Mesin Raw Mill Menggunakan Active Learning. Otherthesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., 2023.
18. A. D. Wiratmoko, A. W. Syauqi, M. S. Handika, D. B. Nurriszki, M. W. M. S. I. S. M. K. Hasin, I. M. A. Z. Arfianto, A. W. B. Santosa and V. Y. P. Ardhana, Design of Potholes Detection as Road's Feasibility Data Information Using Convolutional Neural Network (CNN), 2019.
19. Richo, R. Y. Adhitya, M. K. Hasin, M. S. and E. S., Analisis Pengaruh Optimizer pada Model CNN untuk Identifikasi Cacat pada Perekat Kemasan, vol. Vol.13 No.2, 2023.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Artikel

Pengujian Performa Mesin E-FILL Dalam Proses Pengisian Air Pada Botol

Ii' Munadhif^{1*}, Ryan Yudha Adhitya², Mohammad Abu Jami'in³, Anggara Trsina Nugraha⁴, Dimas Pristovani Riananda⁵, Zindhu Maulana Ahmad Putra⁶, Mohammad Fajar Adiatmoko⁷, Muhammad Dzi Washfil Hasin⁸, Dwi Rizky Anto⁹, Muhammad Dhifa Alfitra¹⁰, Deni Almunawar¹¹

¹⁻¹¹ Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negri Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Korespondensi: iimunadhif@ppns.ac.id

Received: 31 Oktober 2023; Accepted: 15 Desember 2023; Published: 31 Juli 2024;

Abstrak: Dalam sebuah industri skala kecil maupun dalam skala besar, otomatisasi sangat berpengaruh dalam jalannya kinerja dan pengoptimalan sistem. Seperti merancang atau mengembangkan sebuah mesin filling cairan otomatis. Selain itu dengan adanya sistem otomatis dapat meringankan tenaga kerja dalam hal ini adalah operator mesin. Oleh karena itu penulis merancang sebuah alat pengisi cairan otomatis pada botol dengan sistem terintegrasi berbasis PLC (Programmable Logic Controller) dengan bantuan sensor proximity dan sensor pneumatik cylinder, sebagai bukti berhasilnya dengan sistem tersebut, maka dibuatlah sistem otomatisasi dengan bantuan kontrol PLC (Programmable Logic Controller). Dari mesin tersebut dapat diuji dan dilakukan observasi untuk nilai rata-rata waktu pengisian, nilai rata-rata persen error (%) dan nilai rata-rata volume pengisian. Pada dua kali percobaan yang dilakukan didapatkan rata – rata pengisian 117,5 ml dari setpoint 135 ml yang ditetapkan, dengan rata – rata waktu pengisian untuk kedua percobaan adalah 5,5 detik dan error rata – rata sebesar 13,4 %. Secara keseluruhan sistem yang dirancang dinilai berhasil merealisasikan fungsi otomatisasi pengisian cairan pada botol dengan akurasi dan presisi yang baik, meskipun masih ada peluang untuk optimasi lebih lanjut.

Kata Kunci: Mesin pengisian air otomatis, PLC, Proses manufaktur

1. Pendahuluan

Sistem otomasi merupakan sistem yang dirancang untuk memudahkan pekerjaan manusia atau manusia hanya sebagai operator dari teknologi tersebut. Oleh karena itu, peran serta manusia hanya sebagai pengendali pekerjaan. Dalam dunia industri, sistem otomasi jelas berdampak pada biaya proses produksi sehingga seluruh proses transformasi menjadi lebih efisien [2].

Tentunya dalam proses pengembangan sistem otomasi sebagian besar sistem elektronik industri menggunakan PLC dan sensor sebagai komponen utama sistem otomasi. Karena lebih flexible dan universal, dapat diprogram ulang dengan mudah dan diterapkan, tahan terhadap lingkungan industri yang ekstrim, memiliki kecepatan tinggi dalam eksekusi program dan mudah diintegrasikan dengan komponen lain. PLC (Programmable Logic Controller) juga mempunyai sebuah kekurangan yakni memerlukan pengetahuan pemrograman khusus, harga perangkat yang lebih mahal, memerlukan modul input/output tambahan untuk menambah I/O dan konsumsi daya yang tinggi untuk tipe tertentu.

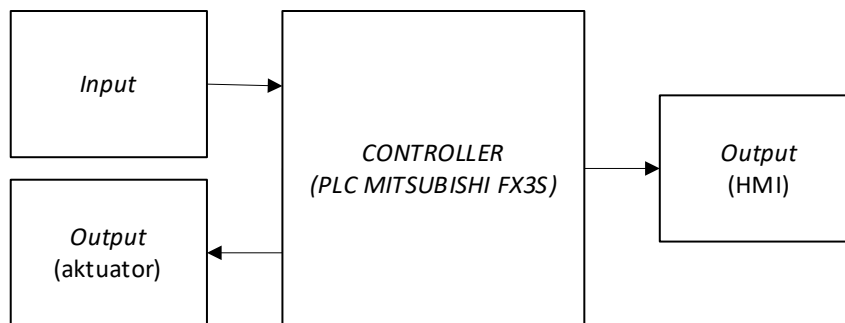
Di dalam mesin pengisian otomatis ini terdapat bagian-bagian yang sangat berperan penting dalam pengoperasian mesin, diantaranya adalah PLC (Programmable Logic Controller) yang merupakan suatu perangkat pengendali utama yang digunakan. Sensor mempunyai fungsi

menganalisa, memantau kondisi dan merespon perubahan lingkungan. Dari permasalahan tersebut, penulis memiliki ide inovasi yang terbaru untuk membuat sistem pengisian cairan pada botol otomatis yang berkapasitas 135ML berbasis PLC Mitsubishi dengan tipe FX3S dengan bantuan trigger sensor proximity. Penelitian ini dapat diterapkan pada sub-plant bagian pengisian produk cairan industri produk air minum dalam kemasan.

2. Metode Penelitian

2.1. Desain Keseluruhan Sistem

Secara umum, penelitian ini terdiri dari 2 bagian yaitu perancangan *hardware* dan analisa data percobaan. *Hardware* meliputi *plant* pengisian cairan pada botol dan panel *controller* yang berisi PLC. Pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa data *input* dan *output* berasal dari sensor dan aktuator yang dirangkai menjadi *plant* pengisian cairan botol dan dikontrol oleh PLC Mitsubishi FX3S. Kemudian data dari *plant* tersebut dianalisa dengan menghitung nilai rata-rata data percobaan.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa inputan ini merupakan sebuah sensor *proximity*, sensor *minimum pump*, sensor *maximum pump*, sensor *maximum tank*, tombol on/off dan inverter. Inputan ini akan mengirim sinyal pada PLC yang berprinsip sebagai penerima sinyal atau sistem kendali dari inputan. Kemudian PLC akan menghasilkan 2 *output* (aktuator) dan *output* (HMI). *Output* (aktuator) ini akan menjalankan *conveyor*, pneumatik *gate* akan menutup jika sensor *proximity* mentrigger botol, pneumatik maju akan menyala, *cylinder* pneumatik akan mendorong cairan, *valve input* akan membuka jika *cylinder* pneumatik menarik cairan dari *tank*, *valve output* akan membuka jika *cylinder* pneumatik mendorong cairan, pneumatik turun akan menyala dan pengisian *tank* akan menyala jika cairan dalam *tank* dalam kondisi surut. Kemudian untuk *output* (HMI) ini akan menyalakan indikator *output* dan *input* pada mesin.

2.2. Desain Hardware

Hardware pada penelitian ini terdiri dari *plant* pengisian cairan pada botol dan panel *controller* seperti yang tertera pada Gambar 2 dan Gambar 4. *Plant* pengisian cairan pada botol terdiri dari 2 sensor *proximity* untuk mengetahui botol yang akan datang atau botol yang sudah lewat (terisi cairan) dan sebagai *trigger* untuk menyalakan pneumatik *gate 1* dan pneumatik *gate 2*, untuk sensor pneumatik *cylinder* berfungsi untuk mengatur berapa banyak cairan yang akan diisi, aktuator (motor) berfungsi untuk menggerakkan kecepatan *conveyor*. *Plant* ini juga dilengkapi HMI sebagai *interface* kontrol, *lamp indicator* untuk indikasi dari *conveyor* dan *emergency stop* untuk mematikan mesin dalam kondisi darurat atau kondisi *maintenance*. Dalam pengontrolan *plant* pengisian cairan pada botol, diperlukan pemetaan I/O yang digunakan untuk sensor dan aktuator. Pada penelitian ini, hanya digunakan saluran *input* digital dan *output* digital. Tabel 1 menunjukkan pemetaan *input* I/O yang digunakan dalam PLC Mitsubishi FX3S. Untuk botol yang diindikasikan sebagai *good product* memiliki ketinggian air 135ml sedangkan botol yang diindikasikan *bad product* memiliki ketinggian

±135ml. Alur kerja dari *plant* pengisian cairan pada botol tersebut direpresentasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

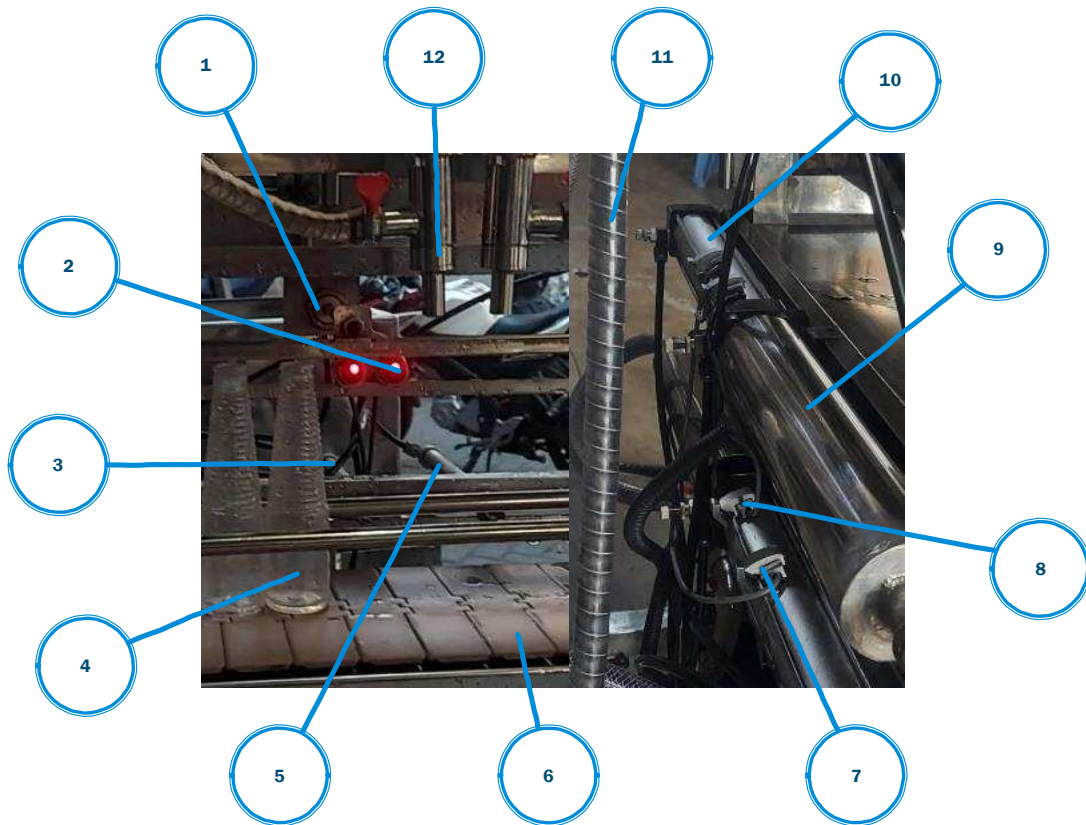
Tabel 1. Mapping I/O PLC Mitsubishi FX3S

PLC	Hardware	Address
<i>Input 1</i>	<i>Stop Engine</i>	X0
<i>Input 2</i>	<i>Start Engine</i>	X1
<i>Input 3</i>	<i>Sensor Minimum Pump 1</i>	X2
<i>Input 4</i>	<i>Sensor Minimum Pump 2</i>	X3
<i>Input 5</i>	<i>Photosensor 2</i>	X4
<i>Input 6</i>	<i>Photosensor 1</i>	X5
<i>Input 7</i>	<i>Maksimum Pump 1</i>	X6
<i>Input 8</i>	<i>Maksimum Pump 2</i>	X7
<i>Input 9</i>	<i>Sensor Minimum Tank</i>	X10
<i>Input 10</i>	<i>Sensor Maksimum Tank</i>	X11

Tabel 2 menunjukkan pemetaan output I/O yang digunakan dalam PLC Mitsubishi FX3S.

Tabel 2. Mapping I/O Output PLC Mitsubishi FX3S.

No	PLC	HARDWARE	Address
1	<i>Output 1</i>	<i>Pengisian Tank</i>	Y0
2	<i>Output 2</i>	<i>Pneumatik Turun</i>	Y1
3	<i>Output 3</i>	<i>Pneumatik Maju</i>	Y2
4	<i>Output 4</i>	<i>Valve Input 1</i>	Y3
5	<i>Output 5</i>	<i>Valve Output 2</i>	Y4
6	<i>Output 6</i>	<i>Pump Tarik 1</i>	Y5
7	<i>Output 7</i>	<i>Pump Dorong 1</i>	Y6
8	<i>Output 8</i>	<i>Pump Tarik 2</i>	Y7
9	<i>Output 9</i>	<i>Pump Dorong 2</i>	Y10
10	<i>Output 10</i>	<i>Valve Input 2</i>	Y11
11	<i>Output 11</i>	<i>Valve Output 2</i>	Y12
12	<i>Output 12</i>	<i>Pneumatik Gate 1</i>	Y13
13	<i>Output 13</i>	<i>Pneumatik Gate 2</i>	Y14
14	<i>Output 14</i>	<i>Conveyor</i>	Y15



Gambar 2. Plant Pengisian Cairan Pada Botol.

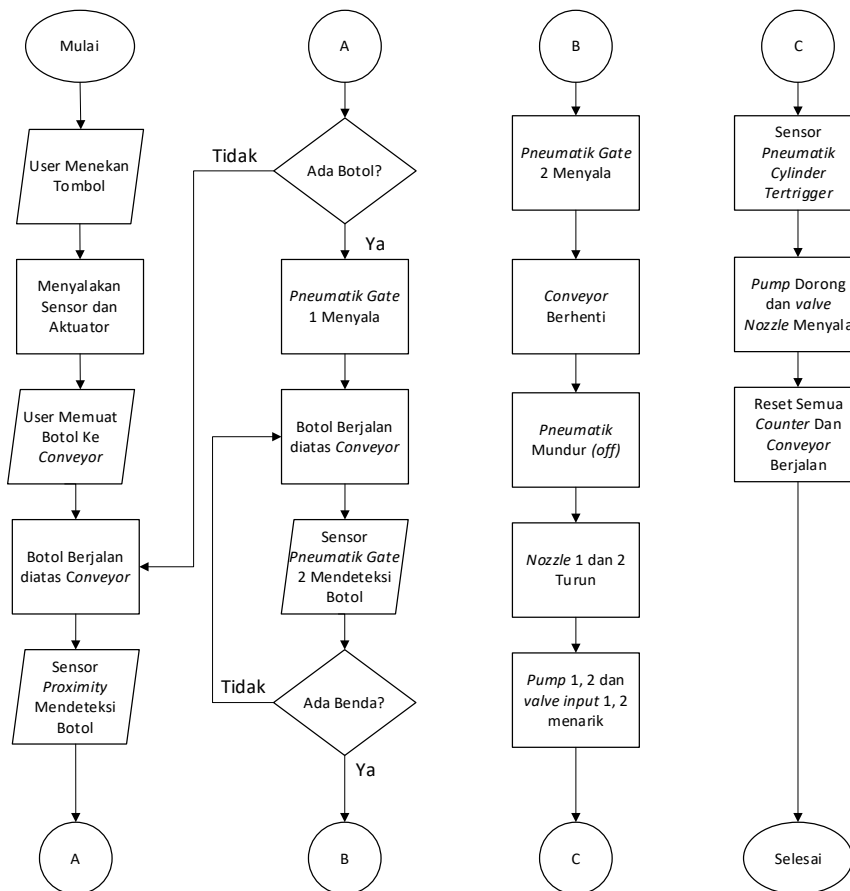
Plant pengisian cairan pada botol pada **Gambar 2** terdiri bagian dari beberapa sensor dan aktuatur yang ditunjukkan dengan panah. Bagian-bagian yang ditunjukkan oleh panah adalah berikut.

1. Pneumatik maju.
2. Sensor *Proximity*.
3. Pneumatik *Gate 2*.
4. Botol.
5. Pneumatik *Gate 1*.
6. *Conveyor*.
7. Sensor Pneumatik *Cylinder maximum*.
8. Sensor Pneumatik *Cylinder minimum*.
9. Tabung piston Pneumatik *Cylinder*.
10. Pneumatik *Cylinder*.
11. Selang cairan.
12. *Nozzle*.

Penjelasan panah pada **Gambar 2** adalah berikut:

1. Pneumatik maju yang digunakan sebagai wadah atau penampung sisa tetesan cairan dari *Nozzle*.
2. Sensor *Proximity* yang digunakan sebagai pendeteksi botol yang lewat untuk mentrigger Pneumatik *Gate 1* dan 2.
3. Pneumatik *Gate 2* yang digunakan sebagai penutup botol kedua yang telah masuk pada area pengisian cairan.
4. Botol merupakan sebuah wadah yang akan diisi oleh mesin.
5. Pneumatik *Gate 1* yang digunakan sebagai penutup jalan botol pertama yang telah masuk pada area pengisian.
6. *Conveyor* digunakan sebagai penggerak jalannya botol.

7. Sensor pneumatik *cylinder maximum* yang digunakan sebagai titik acuan maksimal pada piston pneumatik *cylinder* menarik cairan.
8. Sensor pneumatik *cylinder minimum* yang digunakan sebagai titik acuan minimum atau titik 0 pada piston pneumatik *cylinder*.
9. Tabung piston pneumatik *cylinder* yang digunakan wadah dari piston untuk menarik dan mendorong cairan.
10. Pneumatik *cylinder* yang digunakan sebagai aktuator menarik dan mendorong piston.
11. Selang yang digunakan sebagai tempat jalan penghubung cairan.
12. *Nozzle* yang digunakan sebagai pintu keluarnya cairan dan menyalurkan pada botol.



Gambar 3. Alur Kerja Plant Pengisian Cairan Pada Botol.



Gambar 4. Panel Kontrol.

Pada **Gambar 3** dapat dilihat bahwa alur kerja sistem dimulai dari menekan tombol *start* pada HMI kemudian sensor dan aktuator akan menyala. Kemudian botol akan ditaruh pada *conveyor* dan akan berjalan. Lalu sensor *proximity* akan mendeteksi botol. Jika tidak ada botol maka *conveyor* akan tetap berjalan dan jika sensor *proximity* mendeteksi botol pertama maka pneumatik *gate 1* akan menyala, jika sensor *proximity* mendeteksi botol yang kedua maka pneumatik *gate 2* akan menyala dan bersamaan *conveyor* akan berhenti. Lalu pneumatik mundur menyala bersamaan dengan *nozzle 1* dan *nozzle 2* turun. Kemudian *cylinder* pneumatik akan menarik cairan dan membuka *valve input 1* dan *valve input 2* sesuai dengan batas sensor *cylinder* pneumatik. Setelah *cylinder* pneumatik terisi selanjutnya *cylinder* pneumatik akan mendorong cairan sampai titik *top* bersamaan dengan terbukanya *valve output 1* dan *valve input 2* lalu mengirim air pada *nozzle* melalui selang cairan. Kemudian sistem akan mereset secara otomatis dan *conveyor* kembali berjalan.

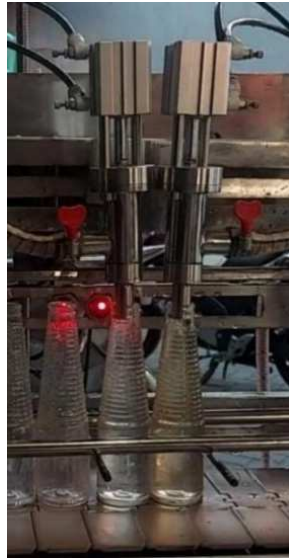
Panel kontrol mesin sendiri terdiri PLC Mitsubishi FX3S, *solenoid valve*, *relay*, *inverter*, *power supply* 110/245V, selang udara dan MCB. Panel ini merupakan titik kumpul penghubung saluran *power* dari semua *input* dan *output* menuju ke PLC.

3. Hasil dan Pembahasan

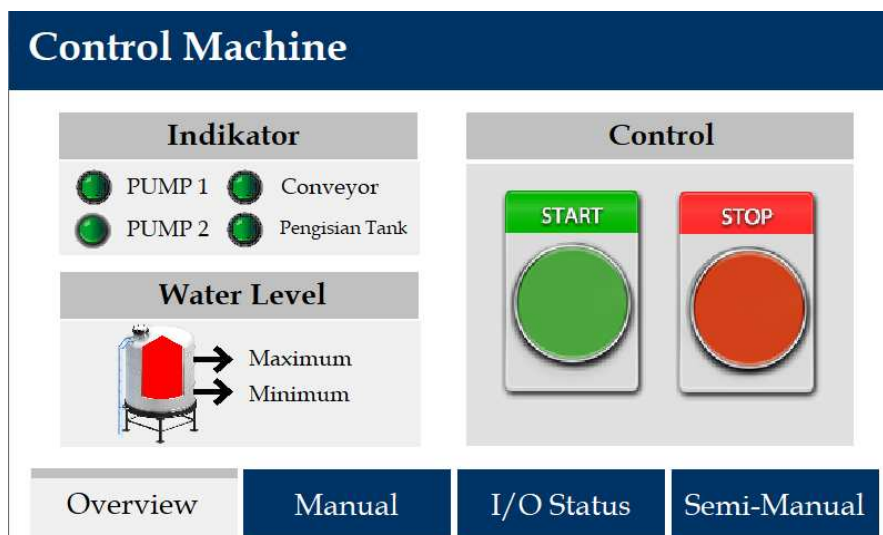
Pada bab ini akan dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Pengujian meliputi pengujian *hardware* dan perhitungan hasil rata-rata percobaan.

3.1. Pengujian Hardware

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian *hardware* dengan 2 kali percobaan dengan cara membuktikan keberhasilan dari integrasi PLC dan *plant* pengisian cairan pada botol. *Controller* diberikan logika agar dapat mengolah hasil pembacaan sensor *proximity* dan sensor pneumatik *cylinder* untuk mentakar volume air dengan ukuran yang tepat dan menggerakkan aktuator lainnya. Keberhasilan uji tersebut dibuktikan dengan mengisi cairan pada botol dengan *good product* dan *bad product* seperti yang terlihat pada Gambar 5, Tabel 2 dan Tabel 3.



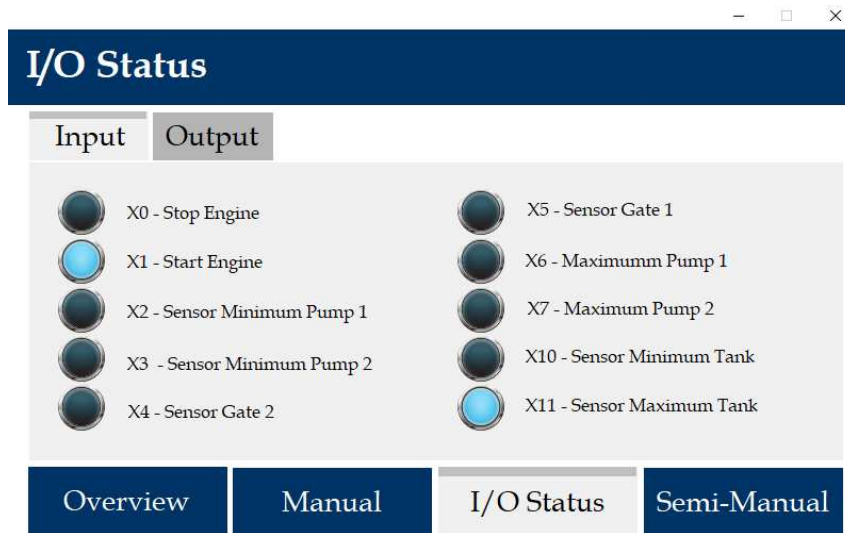
Gambar 5. Integrasi PLC Dengan Plant Pengisian Cairan Pada Botol.



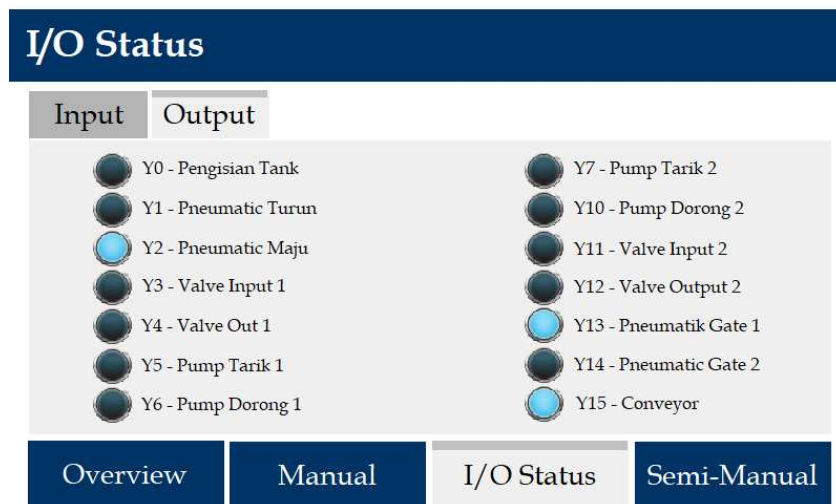
Gambar 6. Tampilan HMI Awal Start.

Perbandingan hasil dari pengisian cairan pada botol yang telah diisi sesuai dengan *plant* dapat dilihat dari Gambar 5.

Tampilan awal dari HMI bisa dilihat pada Gambar 6, dalam tampilan HMI terdiri dari atas tombol *Start*, tombol *Stop* sebagai *controller* dan lampu indikator, lampu indikator tersebut terdiri dari *pump 1*, *pump 2*, *conveyor*, *pengisian tank* dan *water level*. Tampilan HMI ini juga dilengkapi dengan *overview* untuk tombol otomatis berjalannya mesin, tombol mode manual, tombol I/O Status digunakan untuk melihat indikator *on off* dari *input output* dan tombol semi manual untuk mengatur semi manual pengisian.



Gambar 7. Indikator Input Pada HMI.



Gambar 8. Indikator Output Pada HMI.

Tampilan dari indikator *input* mesin bisa dilihat pada Gambar 7 jika lampu indikator berwarna biru muda seperti indikator X1 maka tandanya adalah X1 menyala dan jika berwarna hijau gelap maka tandanya adalah mati.

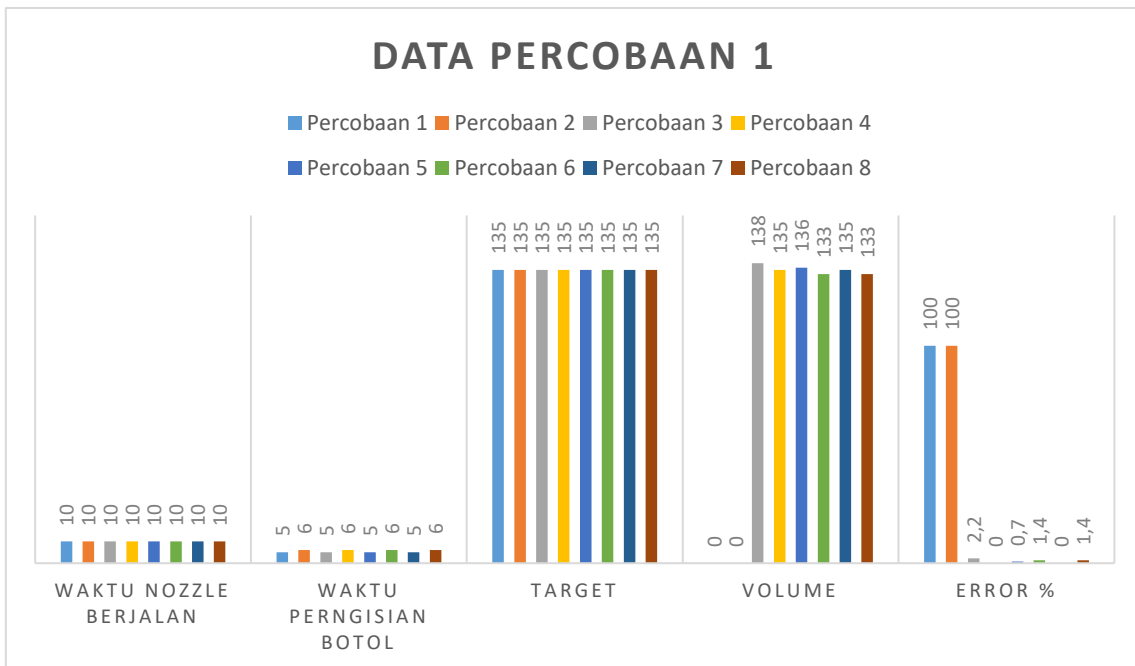
Tampilan dari indikator *output* mesin bisa dilihat pada Gambar 8. Jika lampu indikator berwarna biru muda seperti Y2 maka tandanya adalah Y2 menyala dan jika berwarna hijau gelap maka tandanya adalah mati.

3.2 Hasil Percobaan Hardware

Berikut adalah hasil pengujian mesin pada percobaan yang pertama yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengambilan Data percobaan 1 Mesin Filling.

No	Waktu Nozzle Berjalan	Waktu Perngisian botol	Target	Volume	Error %	Ketepatan Filling Nozzle
1	10 detik	5 detik	135ml	0ml	(135ml) 100%	Gagal
2	10 detik	6 detik	135ml	0ml	(135ml) 100%	Gagal
3	10 detik	5 detik	135ml	138ml	(3ml) 2,2%	Tepat
4	10 detik	6 detik	135ml	135ml	(0ml) 0%	Tepat
5	10 detik	5 detik	135ml	136ml	(1ml) 0,7%	Tepat
6	10 detik	6 detik	135ml	133ml	(2ml) 1,4%	Tepat
7	10 detik	5 detik	135ml	135ml	(0ml) 0%	Tepat
8	10 detik	6 detik	135ml	133ml	(2ml) 1,4%	Tepat

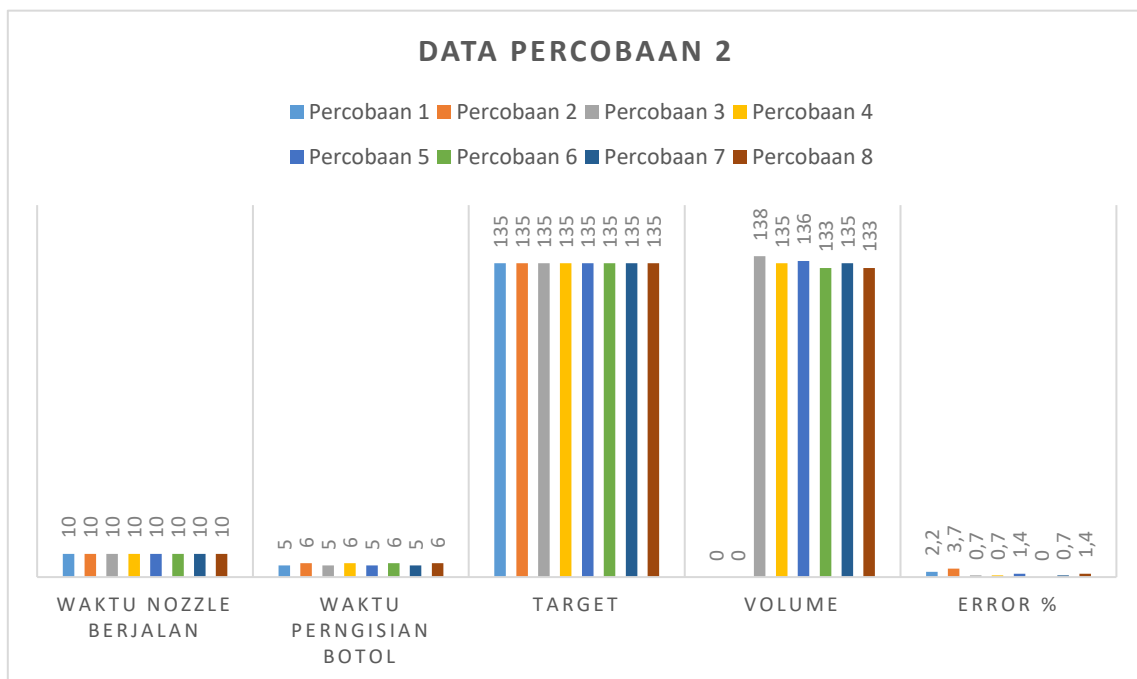


Gambar 9. Data Grafik Percobaan 1.

Pada Tabel 3 dan Gambar 9 dapat dilihat perbandingan data dari 8 botol pengujian yang pertama, pada pengujian yang pertama menggunakan jarak *start* awal botol sampai dengan pneumatik *gate* 1 adalah 20 cm dengan total waktu pengisian selama 60 detik. Nilai rata-rata waktu pengisian adalah 5,5 detik, nilai rata-rata volume yang dihasilkan adalah 101,25 ml dan nilai rata-rata eror pada pengisian adalah 25,7%. Berikut adalah hasil pengujian mesin pada percobaan yang kedua yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengambilan Data percobaan 2 Mesin Filling.

No	Waktu Nozzle Berjalan	Waktu Pengisian botol	Target	Volume	Error %	Ketepatan Filling Nozzle
1	10 detik	5 detik	135ml	132ml	(3ml) 2,2%	Tepat
2	10 detik	6 detik	135ml	130ml	(5ml) 3,7%	Tepat
3	10 detik	5 detik	135ml	136ml	(1ml) 0,7%	Tepat
4	10 detik	6 detik	135ml	134ml	(1ml) 0,7%	Tepat
5	10 detik	5 detik	135ml	133ml	(2ml) 1,4%	Tepat
6	10 detik	6 detik	135ml	135ml	(0ml) 0%	Tepat
7	10 detik	5 detik	135ml	134ml	(1ml) 0,7%	Tepat
8	10 detik	6 detik	135ml	136ml	(1ml) 0,7%	Tepat

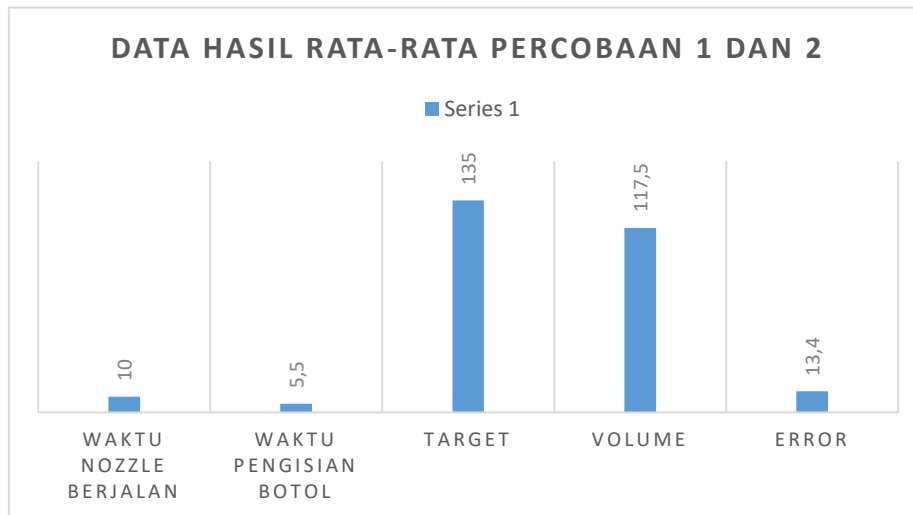


Gambar 10. Grafik Percobaan 2.

Pada Tabel 4 dan Gambar 10 dapat dilihat perbandingan data dari 8 botol pengujian yang kedua, pada pengujian yang pertama menggunakan jarak *start* awal botol sampai dengan pneumatik *gate* 1 adalah 20cm dengan total waktu pengisian selama 60 detik. Nilai rata-rata waktu pengisian adalah 5,5 detik, nilai rata-rata volume yang dihasilkan adalah 133,75 ml dan nilai rata-rata error pada pengisian adalah 1,26%. Berikut adalah hasil rata-rata pengujian mesin pada percobaan 1 dan 2 yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Rata-rata Pengambilan Data dari percobaan 1 dan Percobaan 2 Mesin Filling.

No	Waktu Nozzle Berjalan	Waktu Pengisian botol	Target	Volume	Error %
1	10 detik	5,5 detik	135ml	117,5ml	(17,5ml) 13,4%



Gambar 11. Data Hasil Rata-rata Percobaan 1 Dan 2.

Pada Tabel 5 dan Gambar 11 dapat dilihat hasil rata-rata pengambilan data dari percobaan yang 1 dan 2, pada pengujian yang pertama dan pengujian kedua dengan rata rata waktu pengisian selama 10 detik. Nilai rata-rata waktu pengisian adalah 5,5 detik, nilai rata-rata volume yang dihasilkan adalah 117,5 ml dan nilai rata-rata eror pada pengisian adalah 13,4%.

Pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 terlihat ada sebuah nilai eror yang muncul dikarenakan ada beberapa faktor dari percobaan 1 dan percobaan 2 yaitu sebagai berikut.

1. Pada percobaan 1 tingkat nilai eror lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan 2 dikarenakan masih awal mula mesin berjalan, disaat mesin awal mula berjalan bisa dikatakan nilai ketepatan nozzle masih belum pas sesuai *set-point*.
2. Pada percobaan 2 terlihat nilai eror lebih rendah dibandingkan dengan percobaan 1 dikarenakan percobaan 2 lanjutan dari percobaan 1 yang dimana mesin sudah lebih stabil terhadap nilai *set-point* yang telah ditentukan.
3. Pada awal percobaan, selang pada jalur cairan masih terdapat udara yang masuk dari selang piston, maka terjadi kelebihan dan kekurangan pada saat pengisian berlangsung dan pada saat pengisian selanjutnya lebih stabil karena udara sudah dikeluarkan bersamaan dengan cairan yang masuk pada botol.

Solusi dari permasalahan pada percobaan mesin *filling* ini adalah penambahan mekanisme proses *flushing*, pengertian proses *flushing* adalah kegiatan membersihkan pipa bagian dalam dengan cara membiarkan air mengalir terus menerus melalui pipa pada waktu dan tekanan yang diinginkan hingga dipastikan pipa bagian dalam benar-benar bebas dari kotoran, udara ataupun hal yang dapat mempengaruhi aktifitas sistem kerja selang. Proses *flushing* ini dapat membuang udara dari selang piston pneumatik. Jika udara pada selang tidak dilakukan proses *flushing* maka akan mengakibatkan kurang optimalnya pada saat awal proses pengisian.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dirancang sebuah mesin E-Fill dengan menggunakan pneumatik cylinder, pneumatik gate, pneumatik, solenoid valve, sensor proximity dan sensor pneumatik cylinder yang dikontrol oleh PLC Mitsubishi FX3S. Pada dua kali percobaan yang dilakukan didapatkan rata – rata pengisian 117,5 ml dari setpoint 135 ml yang ditetapkan, dengan rata – rata waktu pengisian untuk kedua percobaan adalah 5,5 detik dan error rata – rata sebesar 13,4 %. Kesimpulan dari kedua percobaan tersebut dapat dikatakan secara keseluruhan sistem yang dirancang dinilai berhasil merealisasikan fungsi otomatisasi pengisian cairan pada botol dengan akurasi dan presisi yang baik, meskipun masih ada peluang untuk optimasi lebih lanjut. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penerapan konsep

otomasi dengan PLC pada studi kasus pengisian cairan otomatis beserta analisis kinerjanya. Hasilnya dapat menjadi acuan untuk pengembangan sistem serupa di bidang industri.

References

1. Andre Dwi Sevtian, Fadli A. Kurniawan, Yulfitra, & Muhammad Arifin. (2022). Pemograman Sistem Pada Mesin Filling Bottle PLC Dengan Menggunakan Penggerak Pneumatik Dan Intelegensi Sensor. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 3(2), 11–17. <https://doi.org/10.53695/jm.v3i2.807>
2. Arif, I., Tobing, M. T. L., & Junaidi, Y. (2022). *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) Perancangan Unit Pengisian Pada Mesin Pengisian Botol Otomatis Berbasis PLC*. 3(2), 37–44.
3. Billah, A. M. (2021). RANCANG BANGUN SISTEM SCADA FILLING KECAP DI PT HEINZ ABC INDONESIA PASURUAN MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) DENGAN FASILITAS REDUNDANT (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya). repository.ppn.ac.id. <http://repository.ppn.ac.id/4211/#>
4. Finali, A., & Lusi, N. (2023). Pengaruh Sensor Pada Filling Bottle and Cupping Berbasis Plc Kapasitas 500 Ml. *Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi Dan Otomotif*, 1(2), 129–139.
5. Kuliah, M., & Otomasi, S. (2022). Rancangan Pengisian cairan berdasarkan warna botol dengan sensor TCS230. December.
6. Laksmna, G. A., Santoso, P., & Pasila, F. (2017). Aplikasi untuk memonitor PLC pada mesin filling dan capping. *J. Teknik Elektro*, 10(2), 48–53. <https://doi.org/10.9744/jte.10.2.48-53>
7. Manullang, R. S., Junaidi, & Ritonga, D. A. (2022). Perancangan Conveyer Pada Mesin Pengisi Botol Otomatis. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 3(2), 30–36. <https://doi.org/10.53695/jm.v3i2.819>
8. Nurhidta, Ihza Anfasa Dua (2021). RANCANG BANGUN INTEGRASI SCADA PADA SISTEM CRUSHING DAN BARGE LOADING CONVEYOR. Diploma thesis, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. <http://repository.ppn.ac.id>. <http://repository.ppn.ac.id/4249/>
9. Studi, P., Mesin, T., & Medan, U. H. (2022). Desain nozle sistem pengisi botol otomatis. 10(1), 52–57.
10. Suradi, S., Hanafie, A., Rusli, M., & Muzdalifah, M. (2017). Evaluasi Mesin Filling Pada Bagian Produksi Pt. Dharana Inti Boga (Suntory Garuda). *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 12(02), 1785–1789. <https://doi.org/10.47398/iltek.v12i02.382>



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).