

**PROCEEDINGS OF  
THE 13<sup>TH</sup> NATIONAL CONFERENCE ON  
INFORMATION TECHNOLOGY AND  
ELECTRICAL ENGINEERING  
(CITEE 2022)**

Yogyakarta, 18 - 19 Oktober 2022

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
UNIVERSITAS GADJAH MADA

# PANITIA 2022

## **Dewan Penasehat**

T. Haryono (Universitas Gadjah Mada)  
Sasongko Pramono Hadi (Universitas Gadjah Mada)  
Tumiran (Universitas Gadjah Mada)  
Lukito Edi Nugroho (Universitas Gadjah Mada)  
P. Insap Santoso (Universitas Gadjah Mada)  
Sarjiya (Universitas Gadjah Mada)  
Hanung Adi Nugroho (Universitas Gadjah Mada)

## **Panitia Program Teknis (Dewan Editor)**

Muhammad Faris (Chalmers University of Technology)  
Guntur Dharma Putra (University of New South Wales)  
Ridwan Wicaksono (Chiba University)  
Reka Inovan (Swiss Federal Institute of Technology)  
Warsun Najib (Universitas Gadjah Mada)  
Muhammad Nur Rizal (Universitas Gadjah Mada)  
Iswandi (Universitas Gadjah Mada)  
Eny Sukani Rahayu (Universitas Gadjah Mada)  
Avrin Nur Widiastuti (Universitas Gadjah Mada)  
D. Dony Ariananda (Universitas Gadjah Mada)  
Yusuf Susilo Wijoyo (Universitas Gadjah Mada)  
Dani Adhipta (Universitas Gadjah Mada)  
Ahmad Nasikun (Universitas Gadjah Mada)  
Azkario Rizki Pratama (Universitas Gadjah Mada)  
Oyas Wahyunggoro (Universitas Gadjah Mada)  
Mokhammad Isnaeni B.S. (Universitas Gadjah Mada)  
Husni Rois Ali (Universitas Gadjah Mada)  
Dzuhri Radityo Utomo (Universitas Gadjah Mada)  
Prapto Nugroho (Universitas Gadjah Mada)  
Fransisco Danang Wijaya (Universitas Gadjah Mada)

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Para hadirin sekalian, dalam kesempatan ini perkenankan saya untuk menyambut semua peserta konferensi ini dengan terlebih dahulu mengucapkan rasa syukur dan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas semua berkat dan rahmat-Nya sehingga kita dapat berkumpul secara virtual dalam keadaan sehat.

Atas nama panitia Joint Conference 2022, saya ucapkan selamat datang di Joint Conference 2022 kepada para akademisi dari seluruh dunia. Joint Conference 2022 ini terdiri atas tiga agenda, yaitu: The 14th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, The 4th International Conference on Biomedical Engineering, dan The 13th National Conference on Information Technology and Electrical Engineering.

Kemudian, saya ucapkan selamat datang kepada pembicara utama, yaitu Prof. Johan Debayle, Dr.Eng. Anto Satriyo Nugroho, dan Dr. Bernardi Pranggono.

Saat ini, pandemi COVID-19 masih melanda di seluruh dunia dan telah mendorong kita untuk memasuki sebuah dunia daring berbasis teknologi. Meskipun ada penyesalan karena pandemi menghalangi kami untuk mengadakan konferensi luring, tetapi kami senang karena masih berkesempatan mengadakan acara daring yang inovatif.

Konferensi ini telah menarik sekitar 300 peserta dari beberapa negara dan telah memilih 83 makalah. Saya berharap konferensi ini akan memotivasi para ilmuwan di seluruh dunia untuk mempresentasikan penelitian inovatifnya di bidang terkait. Konferensi ini akan membahas dan membicarakan semua aspek dari beragam topik yang menarik serta menghasilkan rekomendasi yang akan berkontribusi pada sains.

Pada akhirnya, terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Thailand, IEEE Indonesia Section, Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, panitia penyelenggara, dan semua pihak yang secara langsung dan tidak langsung telah mendukung keberhasilan konferensi ini.

Meskipun kami telah berusaha semaksimal mungkin dalam mempersiapkan acara ini, atas nama Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM, kami mohon maaf atas ketidaknyamanan yang terjadi selama pelaksanaan kegiatan. Kepada semua tamu presenter, dan peserta, terima kasih atas partisipasi Anda, selamat datang, dan selamat mengikuti Joint Conference 2022!

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Hormat saya,  
Adhistya Erna Permasari  
Ketua Joint Conference 2022

## Jadwal CITEE 2022

### Selasa, 18 Oktober 2022

07.30 – 08.00	Registrasi
08.00 – 09.00	Pembukaan Joint Conference 2022
09.00 – 10.00	<i>Plenary Session (Keynote Speech 1) + Q&amp;A</i> Prof. Johan Debayle (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France)
10.00 – 11.00	<i>Plenary Session (Keynote Speech 2) + Q&amp;A</i> Dr.Eng. Anto Satriyo Nugroho, B.Eng., M.Eng. (Research Center for Artificial Intelligence and Cyber Security, BRIN)
11.00 – 12.00	<i>Plenary Session (Keynote Speech 3) + Q&amp;A</i> Dr. Bernardi Pranggono BEng, MDigComms, PhD, FHEA, MIEEE (Department of Engineering and Matematics Sheffield Hallam University, UK)
12.00 – 13.00	<b>Break</b>
13.00 – 15.00	Sesi Paralel ICITEE
15.00 – 15.30	<b>Break</b>
15.30 – 17.30	Sesi Paralel ICITEE

### Rabu, 19 Oktober 2022

08.30 – 09.00	Registrasi
09.00 – 11.00	Sesi Paralel CITEE dan IBIOMED
11.00 – 11.30	Penutupan, Pengumuman Paper Terbaik, dan Pengumuman Lokasi ICITEE 2023

### SESI PARALEL

		Room 1	Room 2	Room 3	Room 4	Room 5	Room 6
Selasa, 18 Oktober 2022	13.00-15.00 WIB	CNT-1	CS-1	IT-1	IT-11	SPMI-6	SPMI-1
		CNT-2	CS-2	IT-2	IT-12	SPMI-7	SPMI-2
		ECS-1	CS-3	IT-3	IT-13	SPMI-8	SPMI-3
		ECS-2	CS-4	IT-4	IT-14	SPMI-9	SPMI-4
		ECS-3	CS-5	IT-5		SPMI-10	SPMI-5
	15.30-17.30 WIB	PS-1	CS-6	IT-6	SPMI-11	SPMI-16	SPMI-20
		PS-2	CS-7	IT-7	SPMI-12	SPMI-17	SPMI-21
		PS-3	ECS-4	IT-8	SPMI-13	SPMI-18	SPMI-22
		PS-4	PS-6	IT-9	SPMI-14	SPMI-19	
		PS-5	PS-7	IT-10	SPMI-15		
Rabu, 19 Oktober 2022	9.00-11.00 WIB	Comm-1	TI-1	IB-1	IB-6	IB-11	IB-16
		Comm-2	TI-2	IB-2	IB-7	IB-12	IB-17
		Comm-3	TI-3	IB-3	IB-8	IB-13	IB-18
		Comm-4	SIE-1	IB-4	IB-9	IB-14	
			SIE-2	IB-5	IB-10	IB-15	

## Daftar Isi

Halaman Judul		i
Komite		ii
Kata Pengantar		iii
Jadwal		iv
Daftar Isi		v
<b>Teknis</b>		
1. Comm-1	Evaluasi Metode Penginderaan Spektrum Kooperatif Berbasis Deteksi Energi pada Teknik Radio Kognitif <i>Ahmad Fakhrudin Ashari (Universitas Gadjah Mada), Izzun Nafis I (Universitas Gadjah Mada), D. Dony Ariananda (Universitas Gadjah Mada), Wahyu Dewanto (Universitas Gadjah Mada)</i>	1
2. Comm-2	Antena Mikrostrip Frekuensi <i>Reconfigurable</i> pada Frekuensi 1,8 GHz dan 3,5 GHz <i>Amanda Nabila Hasya (Universitas Telkom), Harfan Hian Ryanu (Universitas Telkom), Aloysius Adya Pramudita (Universitas Telkom), Zalfa Maitsa Nabila (Universitas Telkom)</i>	9
3. Comm-3	Perancangan Antena Dipol Portabel untuk Radar Frekuensi Tinggi <i>Dery Wahyu Aldio (Universitas Gadjah Mada), Iswandi (Universitas Gadjah Mada), Sigit Basuki Wibowo (Universitas Gadjah Mada)</i>	16
4. Comm-4	Implementasi <i>Automatic Identification System (AIS) Receiver</i> Terrestrial untuk Pemantauan Kapal <i>Wellem Obed Sineri (Badan Riset dan Inovasi Nasional), Farid Armin (Badan Riset dan Inovasi Nasional), Astriany Noer (Badan Riset dan Inovasi Nasional), Rumadi (Badan Riset dan Inovasi Nasional)</i>	21
5. SIE-1	Pengaturan Suhu Penyangrai Kopi Rumahan Bahan Bakar Gas Menggunakan Aktuator <i>Motorized Ball-Valve</i> <i>Enas Dhuhri Kusuma (Universitas Gadjah Mada), Muhammad Ridhwan Habib Abdillah (Universitas Gadjah Mada), Taqiyuddin Hammam (Universitas Gadjah Mada), Prapto Nugroho (Universitas Gadjah Mada)</i>	25
6. SIE-2	Penerapan Metode <i>Tracking Supply</i> pada <i>Audio Power Amplifier</i> Kelas A Guna Meningkatkan Efisiensi Daya <i>Yohanes Gunawan Yusuf (Universitas Surabaya), Veronica Indrawati (Universitas Surabaya), Ong David Kristiawan (Universitas Surabaya)</i>	32
7. TI-1	Analisis Time Series Penutupan Harga Saham PT. Bank Jago Tbk. (ARTO) Menggunakan Algoritma Regresi Linear <i>Melinia Nur Harum Fadila (STMIK Primakara), Nengah Widya Utami (STMIK Primakara), I Gst. Agung Pramesti Dwi Putri (STMIK Primakara)</i>	39
8. TI-2	Rancang Bangun <i>API Point of Sales</i> Terintegrasi dengan <i>Thermal Printer</i> Menggunakan <i>MQTT Gateway</i> <i>Mohamad Fahmi Syaifudin (Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya), Nanang Fakhrur Rozi (Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya)</i>	47
9. TI-3	Perancangan <i>Unified IoT Platform</i> untuk Pengembangan Sistem IoT berbasis OPC UA <i>Sujoko Sumaryono (Universitas Gadjah Mada), Dzakwan Silverdi Hasan (Universitas Gadjah Mada), Dani Adhipta (Universitas Gadjah Mada)</i>	52



# Evaluasi Metode Penginderaan Spektrum Kooperatif Berbasis Deteksi Energi pada Teknik Radio Kognitif

Ahmad Fakhruddin Ashari<sup>1</sup>, Izzun Nafis I<sup>1</sup>, D. Dony Ariananda<sup>2</sup>, Wahyu Dewanto<sup>2</sup>

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi,  
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup>{ahmadfakhruddin, izzunnafis2018}@mail.ugm.ac.id, <sup>2</sup>{dyonisius.dony, wahyud}@ugm.ac.id

**Abstract**—Opportunistic spectrum access (OSA) in cognitive radio (CR) must conduct a spectrum sensing stage to examine the activity status of primary users (PUs) in the spectrum. Cooperative spectrum sensing (CSS) is a technique that can be exploited to minimize the effect of hidden terminals as we have multiple CRs or secondary users (SUs) and they are sparsely located. In this paper, the performance of energy detection-based CSS is considered. The CSS process is configured to ensure that the probability of detection is higher than 0.9 and the probability of false alarm is lower than 0.1 as required by the IEEE 802.22 standard. CSS can be conducted in a centralized or distributed fashion. Our study has shown that, using the averaging method, the IEEE standard can be satisfied by collecting ten thousand samples and having fifteen SUs. The threshold required in the energy detection stage to achieve the probability of detection of 0.1 is 1.0047 times the noise power at SUs.

**Intisari**—Opportunistic spectrum access (OSA) pada cognitive radio (CR) memerlukan tahapan penginderaan spektrum untuk memastikan keberadaan PU (Primary User) dalam spektrum. Cooperative spectrum sensing (CSS) merupakan teknik yang diperlukan dalam meminimalkan dampak efek *hidden terminal* karena jumlah CR atau SU (Secondary User) yang jamak dan tersebar lokasinya. Dalam makalah ini, ditinjau performa metode CSS dengan deteksi energi. Proses CSS diatur agar dapat mencapai probabilitas deteksi di atas 0.9 dan *probability of false alarm* di bawah 0.1 sesuai standar IEEE 802.22. CSS dapat dilakukan secara *centralized* dan *distributed*. Dengan menggunakan metode rerata, standar IEEE terpenuhi dengan sepuluh ribu sampel dan lima belas SU. Nilai *threshold* pada deteksi energi untuk mencapai *probability of false alarm* di angka 0.1 adalah 1.0047 kali daya derau pada SU.

**Kata kunci**—*centralized, cognitive radio, consensus, cooperative, distributed, energy detection, spectrum sensing.*

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan pita frekuensi yang statis menyebabkan pemanfaatan pita frekuensi yang tidak maksimal [1]. Pita frekuensi seharusnya dapat digunakan secara maksimal untuk memfasilitasi proses komunikasi yang terjadi setiap waktu dan pada lokasi manapun. Untuk memaksimalkan penggunaan pita frekuensi, muncul paradigma *dynamic spectrum access* (DSA). Dalam DSA, suatu pita frekuensi yang telah terlisensi dapat digunakan juga oleh pengguna yang tidak terlisensi [2]. DSA merupakan bagian penting dalam

teknik radio kognitif atau *cognitive radio* (CR), yang merupakan radio cerdas dengan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan kondisi spektrum serta secara cerdas memanfaatkan spektrum [3]. Konsep *opportunistic spectrum access* (OSA) merupakan salah satu jenis DSA di mana penggunaan spektrum terlisensi oleh pengguna tak berlisensi (pengguna tak resmi) atau *secondary user* (SU) dimungkinkan saat pengguna terlisensi atau *primary user* (PU) tidak aktif. Untuk dapat menggunakan spektrum dengan mengacu pada konsep OSA, perlu dilakukan penginderaan spektrum atau *spectrum sensing* (SS) guna memastikan tidak adanya PU dalam suatu spektrum. Dalam konsep CR, SU inilah yang berperan sebagai radio cerdas (CR) dan diharapkan proses komunikasi PU maupun SU tetap *reliable* di mana pun dan kapan pun [3].

Deteksi energi atau *energy detection* (ED) merupakan metode SS yang tidak membutuhkan informasi terkait karakteristik isyarat PU dalam spektrum [4]. Metode ED cukup memanfaatkan hasil pengukuran energi spektrum untuk menentukan ada tidaknya PU. Pita frekuensi yang diukur energi spektrumnya disebut dengan *band of interest*.

Permasalahan *hidden terminal* merupakan salah satu tantangan dalam proses SS oleh CR yang dapat menyebabkan kegagalan dalam deteksi keberadaan PU oleh SU. Penyebab dari permasalahan tersebut adalah terlalu jauhnya jarak antara pemancar PU dengan SU atau adanya penghalang antara pemancar PU dengan SU. Cooperative spectrum sensing (CSS) adalah metode SS yang dilakukan secara bersama-sama oleh beberapa SU dalam suatu jaringan CR. Pada CSS, tiap SU pada jaringan CR diasumsikan memiliki kualitas penerimaan isyarat relatif berbeda dan SU-SU tersebut melakukan kerja sama dengan berbagi informasi hasil proses SS yang dilakukan. Metode ini bertujuan untuk memitigasi dampak terjadinya fenomena *hidden terminal* serta meningkatkan akurasi SS. Tercapainya dua tujuan tersebut dapat memaksimalkan penggunaan spektrum [5].

Makalah ini meninjau CSS berbasis ED untuk kanal *narrowband* dengan sebuah PU untuk mempermudah asumsi konten informasi kooperatif. CSS dalam arsitektur *centralized* maupun *distributed* dievaluasi. Pemodelan sistem CSS dalam simulasi dijelaskan pada Bagian II yang meliputi model penerimaan isyarat dan kanal penginderaan. Bagian III membahas CSS secara *centralized* yang menghasilkan metode *fusion* paling

akurat untuk skenario yang digunakan. Metode *fusion* merupakan metode kombinasi hasil proses SS untuk menghasilkan keputusan secara kooperatif. Bagian IV membahas mengenai CSS secara *distributed* yang juga menghasilkan metode *fusion* dengan akurasi tertinggi. Kanal *sensing* atau kanal nirkabel penerimaan isyarat pada SU pada Bab 3 dan 4 adalah kanal AWGN (*additive white Gaussian noise*). Pada Bab 5 diuraikan perancangan spesifikasi CSS untuk arsitektur *centralized* dan *distributed* agar memenuhi standar IEEE 802.22. Sistem CSS harus memiliki probabilitas deteksi atau *probability of detection* ( $P_D$ ) minimal 0.9 dan nilai *probability of false alarm* ( $P_{FA}$ ) maksimal 0.1 pada SNR (*signal-to-noise ratio*) serendah -20 dB. Nilai  $P_D$  dan  $P_{FA}$  divisualisasikan dalam kurva *receiver operating characteristic* (ROC) [2]. Nilai  $P_D$  dan  $P_{FA}$  pada kurva ROC diestimasi melalui simulasi stokastik. Statistik dari simulasi yang diulang-ulang menggambarkan estimasi bagi  $P_D$  dan  $P_{FA}$  sesungguhnya [6]. Hasil perancangan diuji pada variasi kanal *sensing* yang mencakup kanal AWGN, *Rayleigh flat fading*, dan *Rayleigh frequency-selective fading*. Kesimpulan dari makalah ini termuat pada Bab 6.

## II. PEMODELAN SISTEM DAN KANAL KOMUNIKASI

### A. Energy Detection (ED) pada Secondary Users (SU)

Metode ED merupakan metode SS yang berbasiskan pada uji *hypothesis* terhadap pengukuran energi ( $\Lambda$ ) pada *band of interest* sebagai *test statistics*. Ada tidaknya PU pada *band of interest* merupakan hal yang sejatinya tidak diketahui oleh SU. Diformulasikan *null hypothesis* ( $\mathcal{H}0$ ) yang merupakan keadaan tidak ada PU dalam *band of interest* dan *alternative hypothesis* ( $\mathcal{H}1$ ) untuk keadaan adanya PU dalam *band of interest*. Berdasarkan kedua *hypothesis* tersebut, *lowpass equivalent* dari isyarat dengan spektrum pada *band of interest* yang dinotasikan sebagai  $y[n]$  dapat tersusun atas dua kemungkinan seperti persamaan berikut [4], [7]

$$y[n] = \begin{cases} \mathcal{H}0: w[n], \\ \mathcal{H}1: r[n] + w[n], \end{cases} \quad (1)$$

dengan  $w[n]$  adalah derau dan  $r[n]$  adalah isyarat dari PU yang diterima. Hasil pengukuran energi dirumuskan sebagai jumlah kuadrat dari *magnitude* tiap sampel  $y[n]$  yang ternormalisasi seperti diekspresikan berikut

$$\Lambda = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |y[n]|^2. \quad (2)$$

SU memutuskan  $\mathcal{H}0$  atau  $\mathcal{H}1$  berbasiskan proses *thresholding* terhadap nilai  $\Lambda$  dengan suatu *threshold*  $\lambda$ . Dalam kaitannya dengan *thresholding*, permasalahan ED berubah menjadi permasalahan *binary hypothesis testing* untuk  $\mathcal{H}0$  dan  $\mathcal{H}1$

$$D_{SU} = \begin{cases} \mathcal{H}1, & \Lambda > \lambda \\ \mathcal{H}0, & \Lambda \leq \lambda \end{cases} \quad (3)$$

Kondisi  $\mathcal{H}0$  merupakan kondisi murni acak yang dipengaruhi oleh peubah acak. Derau  $w[n]$  didefinisikan sebagai *Gaussian white noise* dengan mean nol dan

variansi sebesar  $\sigma_w^2$  seperti berikut ini

$$w[n] \sim \mathcal{N}(0, \sigma_w^2). \quad (4)$$

Derau  $w[n]$  dihasilkan oleh proses stasioner yang memiliki properti statistik konstan terhadap waktu. Dengan demikian, nilai SNR pada SU dapat dirumuskan sebagai daya ternormalisasi dari isyarat  $r[n]$  dibagi dengan varians derau

$$\gamma = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |r[n]|^2 / \sigma_w^2, \quad \gamma_{dB} = 10 \log(\gamma). \quad (5)$$

Dengan diketahuinya statistik derau, hasil pengukuran energi sebagai *test statistics* dapat dimodelkan distribusinya. Berdasarkan (1), (2), dan fakta bahwa jumlah kuadrat dari peubah acak *Gaussian* terdistribusi *chi-square* ( $\chi^2$ ) [8], maka distribusi  $\Lambda$  untuk  $\mathcal{H}0$  adalah sebagai berikut

$$\Lambda_{\mathcal{H}0} \sim \chi_N^2 \cdot \frac{\sigma_w^2}{N} \quad (6)$$

Dalam proses SS berbasiskan ED,  $P_{FA}$  dan  $P_D$  diekspresikan sebagai *conditional probability* berikut ini

$$\begin{aligned} P_{FA} &= \Pr(\mathcal{H}1|\mathcal{H}0) = \Pr(\Lambda > \lambda|\mathcal{H}0), \\ P_D &= \Pr(\mathcal{H}1|\mathcal{H}1) = \Pr(\Lambda > \lambda|\mathcal{H}1). \end{aligned} \quad (7)$$

Perhatikan bahwa isyarat  $r[n]$  merupakan isyarat PU  $x[n]$  yang telah mengalami perubahan selama propagasi dalam kanal nirkabel. Dengan mendefinisikan tanggapan impuls kanal nirkabel sebagai  $h_{wl}[n]$ , maka kita dapat menuliskan

$$r[n] = h_{wl}[n] * x[n]. \quad (8)$$

Di sini, kanal nirkabel diasumsikan sebagai sistem *linear time invariant* (LTI). Asumsi ini ditandai dengan keberadaan operasi konvolusi pada (8). Pada (8), isyarat  $x[n]$  diasumsikan sebagai peubah acak *Gaussian* standar.

### B. Kanal AWGN

Kanal AWGN merupakan kanal yang mempertimbangkan efek *path loss* dan derau aditif. Derau aditif telah termuat dalam  $w[n]$  dan efek *path loss* direpresentasikan sebagai berikut

$$h_{wl} = \alpha_{pl}, \quad 0 < \alpha_{pl} < 1. \quad (9)$$

Dalam model kanal AWGN,  $h_{wl}$  merupakan sebuah skalar dan bukan respon impuls. Dengan demikian,  $r[n]$  dihasilkan melalui perkalian biasa antara  $\alpha_{pl}$  dengan  $x[n]$  seperti berikut

$$r[n] = \alpha_{pl} \cdot x[n] \quad (10)$$

Dengan demikian, nilai SNR untuk kanal AWGN adalah sebagai berikut

$$\gamma = \frac{\alpha_{pl}^2 \cdot \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2}{\sigma_w^2}. \quad (11)$$

Berhubung  $x[n]$  adalah peubah acak, maka persamaan SNR untuk kanal AWGN dapat ditulis sebagai berikut

$$\gamma = \alpha_{pl}^2 \cdot \sigma_x^2 / \sigma_w^2 \quad (12)$$

### C. Kanal Rayleigh Fading

Kanal *Rayleigh fading* dimodelkan sebagai sistem diskrit yang tiap respon impulsnya adalah acak mengikuti

densitas Rayleigh. Variabel acak Rayleigh merupakan *magnitude* dari peubah acak Gaussian kompleks dengan mean nol [8], [9]. Peubah acak kompleks normal dinotasikan dengan  $\mathcal{CN}(\mu, \sigma^2)$  di mana  $\mu$  adalah *mean* dan  $\sigma^2$  adalah variansi. Dalam pemodelan *Rayleigh fading* ini, tiap respon impuls memiliki distribusi sebagai berikut

$$h_{wl}[n] \sim \mathcal{CN}(0, \alpha_{pl}^2/L), \quad 0 \leq n < L - 1 \quad (13)$$

Tiap respon impuls merupakan peubah acak normal kompleks dengan mean nol dan variansi sebesar kuadrat konstanta *path loss* ( $\alpha_{pl}$ ) dibagi jumlah respon impuls ( $L$ ). Respon impuls yang merupakan nilai acak kompleks memberikan efek geser fase pada masukan. Saat  $L$  bernilai lebih dari satu, kanal disebut dengan *Rayleigh frequency-selective fading* karena kanal memiliki respon frekuensi yang berbeda-beda untuk tiap frekuensi.

Isyarat yang diterima oleh penerima merupakan hasil konvolusi respon impuls kanal Rayleigh dengan isyarat PU  $x[n]$  seperti berikut ini

$$r[n] = \sum_{l=0}^{L-1} h_{wl}[l] \cdot x[n-l]. \quad (14)$$

Persamaan SNR untuk isyarat PU dengan kanal *Rayleigh fading* yang diterima SU adalah sebagai berikut

$$\gamma = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left| \sum_{l=0}^{L-1} h_{wl}[l] \cdot x[n-l] \right|^2}{\sigma_w^2}. \quad (15)$$

Kanal *Rayleigh fading* yang hanya memiliki satu buah respon impuls dinamakan *Rayleigh flat fading*. Pada realitanya, sebuah respon impuls tersebut merupakan beberapa respon impuls yang sangat berdekatan sehingga dapat dianggap sebagai satu impuls saja. Respon frekuensi dari *Rayleigh flat fading* adalah seragam pada semua frekuensi pada *band of interest*. Berikut adalah persamaan distribusi respon impuls dari kanal *Rayleigh flat fading*

$$h_{wl} \sim \mathcal{CN}(0, \alpha_{pl}^2). \quad (16)$$

Dengan respon impuls yang hanya berjumlah satu, operasi konvolusi menjadi operasi perkalian biasa seperti ditunjukkan pada persamaan berikut

$$r[n] = h_{wl} \cdot x[n]. \quad (17)$$

Persamaan SNR untuk isyarat diterima pada kanal *Rayleigh flat fading* dapat dituliskan sebagai berikut

$$\gamma \sim \frac{|\mathcal{CN}(0, \alpha_{pl}^2)|^2 \cdot \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2}{\sigma_w^2}. \quad (18)$$

Nilai SNR untuk kanal *Rayleigh frequency-selective fading* dan *Rayleigh flat fading* adalah tidak selalu sama untuk tiap percobaan karena proses acak. Didefinisikan rerata SNR sebagai *expected value* dari SNR

$$\bar{\gamma} \triangleq E[\gamma]. \quad (19)$$

Model kanal *Rayleigh fading* merupakan kanal *slow fading* di mana respon impuls adalah tidak berubah dalam satu durasi pengamatan.

#### D. Ragam SNR

Tiap SU dimodelkan guna memiliki lokasi dan kualitas penerimaan isyarat yang beragam. Keragaman tersebut dimodelkan dalam kondisi SNR yang bervariasi. Digunakan peubah acak terdistribusi normal di ranah logaritmik (*log10 normal distribution*). Pada pengujian CSS pada bagian selanjutnya, didefinisikan rerata dan variansi SNR dalam dB.

### III. CENTRALIZED CSS

*Centralized CSS* atau CCSS adalah istilah untuk CSS yang melakukan pengolahan informasi secara terpusat. Piranti pusat pengolahan informasi disebut dengan *fusion center* (FC). Tiap SU melakukan proses ED secara terkoordinir. Informasi hasil ED dilaporkan kepada FC melalui *reporting channel*. FC memroses informasi yang diterima dan memutuskan hasil akhir terkait keberadaan PU dalam *band of interest*. Informasi hasil ED yang dilaporkan oleh SU dapat berupa nilai pengukuran energi atau hanya sekadar informasi biner. Untuk pembahasan CCSS, *reporting channel* ditinjau pada keadaan tanpa galat dan pada kondisi dengan galat (*erroneous*). Kanal *reporting* dengan galat disebut dengan *imperfect reporting channel*.

#### A. Imperfect Reporting Channel Modelling

*Imperfect reporting channel* merupakan kondisi kanal *reporting* yang mengalami galat dan tidak handal. Kanal tersebut memberikan galat pada informasi yang dikirimkan oleh SU ke FC. Model *imperfect reporting channel* bergantung pada jenis informasi yang digunakan untuk CCSS. Saat informasi berupa nilai pengukuran energi, maka kanal memberikan perubahan nilai secara acak pada informasi yang dikirimkan [10]. Perubahan nilai dapat dimodelkan dengan derau aditif Gaussian dengan variansi sebesar  $P_e$  dikalikan dengan nilai informasi pengukuran energi. Persamaan luaran *imperfect reporting channel*  $y_{rep}$  untuk masukan  $x_{rep}$  adalah sebagai berikut

$$y_{rep} = x_{rep} + \sqrt{P_e} \cdot x_{rep} \cdot \mathcal{N}(0,1). \quad (20)$$

Saat informasi berupa keputusan (*decision*) pada CCSS, kanal *imperfect reporting channel* dimodelkan sebagai *binary symmetric channel* (BSC). Masukan kanal BSC adalah berupa informasi biner dan kanal BSC dapat merubah informasi biner masukan menjadi lawannya [11]. Perubahan informasi mengikuti suatu nilai probabilitas  $P_e$ . Misalnya untuk masukan kanal bernilai 1, luaran memiliki kemungkinan sebesar  $P_e$  untuk bernilai 0.

#### B. Soft Combining

*Soft combining* atau *data fusion* merupakan istilah untuk CCSS yang menggunakan informasi pengukuran energi sebagai bahan olah FC [5]. Dalam metode *soft combining*, teknik yang ditinjau untuk CSS dengan *blind detection* ini adalah *equal gain combining* (EGC). Metode EGC mererata *test statistic* atau pengukuran energi dari tiap SU seperti persamaan berikut [12]

$$\Lambda_{EGC} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \Lambda_m. \quad (21)$$

Keputusan FC pada EGC adalah sebagai berikut

$$D_{FC}^{EGC} = \begin{cases} 1, & \text{if } \Lambda_{EGC} > \lambda, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (22)$$

### C. Hard Combining

*Hard combining* atau *decision fusion* merupakan skema CCSS yang menggunakan informasi biner hasil keputusan SS tiap SU sebagai bahan olah FC [5]. Informasi biner tiap SU merupakan hasil *hypothesis testing* dari pengukuran energi pada *band of interest* yang dilakukan oleh SU. Tiap SU dapat memiliki hasil *hypothesis testing* yang berbeda. FC mengolah informasi dari SU dan menghitung jumlah SU yang menyatakan mendeteksi PU. Jumlah SU yang mendeklarasikan telah mendeteksi PU pada FC ditampung pada variabel *Vote*. Metode *hard combining* menggunakan logika dasar untuk mengolah informasi dari SU.

$$\begin{aligned} D_{FC}^{AND} &= \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Vote} = M, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \\ D_{FC}^{Major} &= \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Vote} > M/2, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \\ D_{FC}^{OR} &= \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Vote} > 0, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \end{aligned} \quad (23)$$

### D. Estimasi Performa CCSS

Performa proses SS dari CCSS ditentukan oleh keputusan FC terhadap kondisi sesungguhnya. Berikut adalah definisi dari  $P_D$  dan  $P_{FA}$  untuk CCSS

$$\begin{aligned} P_{FA} &= \Pr(D_{FC} = 1 | \mathcal{H}0), \\ P_D &= \Pr(D_{FC} = 1 | \mathcal{H}1). \end{aligned} \quad (24)$$

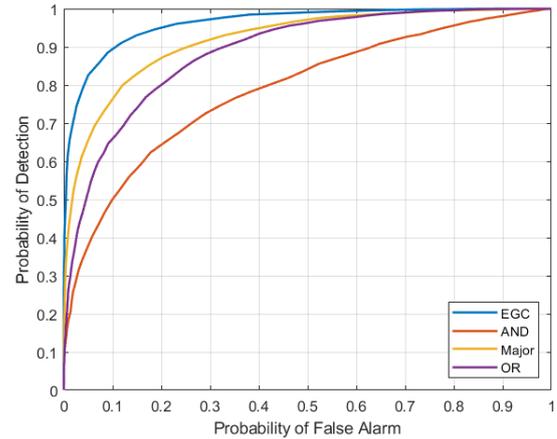
### E. Pengujian CCSS pada Perfect Reporting Channel

Pengujian CCSS pada *perfect reporting channel* berguna untuk menentukan seberapa penurunan performa CCSS saat isyarat yang diterima adalah tidak pasti tetapi komunikasi antar SU dijamin handal dan bebas galat. Simulasi CCSS dilakukan dengan  $M = 10$  SU,  $N = 10000$  sampel, rerata SNR -20 dB, dan variansi SNR 7 dB. Kanal AWGN merupakan kanal tanpa faktor acak pada isyarat PU yang diterima SU. Metode *fusion* yang terbaik berdasarkan pengujian ini adalah metode EGC.

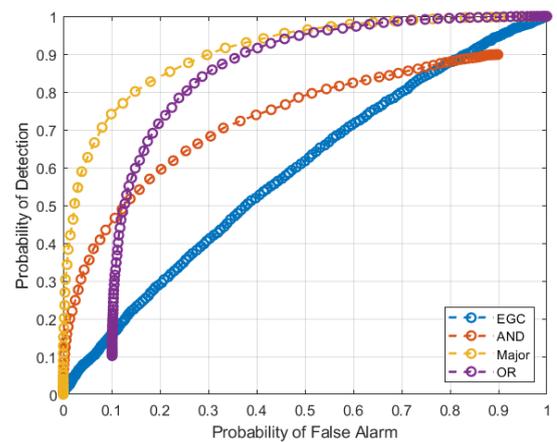
### F. Pengujian CCSS pada Imperfect Reporting Channel

Pengujian *imperfect reporting channel* pada CCSS dilakukan dengan pengaturan SNR, jumlah SU, dan jumlah sampel yang sama dengan pengujian *perfect reporting channel*. Pengujian *imperfect reporting channel* menggunakan  $P_e$  sebesar 0.01. *Imperfect reporting channel* memberikan pengaruh yang cukup berarti untuk *AND-rule*, *OR-rule*, dan EGC. *AND-rule* memerlukan seluruh informasi *decision* dari SU yang sampai ke FC bernilai satu agar dapat memutuskan  $\mathcal{H}1$ . Sebaliknya, *OR-rule* pada FC tidak dapat menyatakan  $\mathcal{H}0$  jika tidak semua informasi yang masuk bernilai nol. Kanal BSC membuat kesamaan *decision* yang diterima FC sulit tercapai. Metode *Majority-rule* merupakan metode *hard combining* yang tidak terlalu terpengaruh dengan kanal BSC karena tidak memerlukan kesamaan *decision* pada

FC. Dalam kondisi tidak optimal semacam *imperfect reporting channel*, metode *fusion* pada CCSS yang paling aman adalah *Majority-rule*.



**Gambar 1.** Kurva ROC CCSS dengan *perfect reporting channel* untuk kanal AWGN.



**Gambar 2.** Kurva ROC CCSS dengan *imperfect reporting channel* pada kanal AWGN dengan  $P_e = 0.01$ .

## IV. DISTRIBUTED CSS

*Distributed CSS* (DCSS) merupakan metode pengolahan informasi SS secara terdistribusi untuk menghasilkan keputusan CSS. Berbeda dengan CCSS di mana keputusan untuk tiap SU adalah seragam dan diputuskan oleh FC, keseragaman keputusan untuk DCSS dicapai melalui pertukaran informasi antar SU.

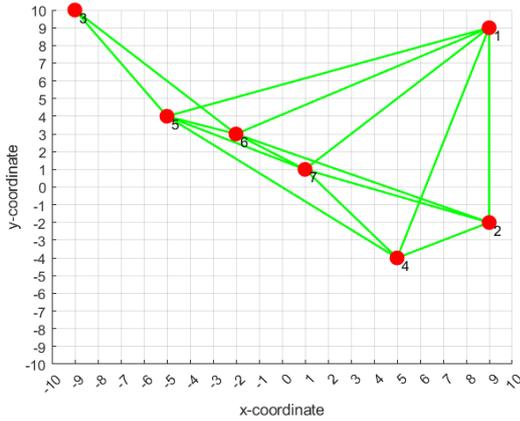
### A. Graph

DCSS menggunakan graf sebagai model dari keterhubungan antar SU [13]. Tiap SU dianggap sebagai *node* atau *vertices* dan hubungan antar *node* disebut dengan *edge*. Diasumsikan terdapat *graph*  $G$  dengan himpunan *vertices*  $V$  dan himpunan *edge*  $\mathcal{E}$  [14]. Himpunan *vertices*  $V$  berisi *node-node* yang ada dalam *graph*. Himpunan *edge*  $\mathcal{E}$  merupakan himpunan yang berisi himpunan pasangan *vertices*. Lalu, didefinisikan himpunan *neighbour* yang berisi *node-node* yang terhubung dengan suatu *node*. Himpunan *neighbour* dari *node-q* ( $\mathcal{N}_q$ ) berisi *node-node* anggota himpunan *vertices* yang tergabung bersama *node-q* sebagai pasangan dalam himpunan *edge*  $\mathcal{E}$ . Himpunan *edge*  $\mathcal{E}$  dapat

direpresentasikan dalam *adjacency matrix*  $A$  yang didefinisikan sebagai berikut

$$A_{qr} = \begin{cases} 1, & \text{if } r \in \mathcal{N}_q, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (25)$$

Variabel  $q$  pada persamaan di atas menunjukkan baris dan  $r$  menunjukkan kolom pada matriks. Jumlah tetangga atau *degree* yang dimiliki suatu *node- $q$*  dituliskan dalam  $|\mathcal{N}_q|$ . Dalam dokumen ini, jumlah SU direpresentasikan dalam  $M$ . Untuk DCSS,  $M$  merupakan jumlah anggota himpunan *vertices*  $V$ . Jenis *graph* yang ditinjau dalam pengujian ini adalah *undirected graph* yang mana tiap *node* yang terhubung adalah secara dua arah.



Gambar 3. Fixed Graph untuk pengujian DCSS.

### B. Random Graph Modelling

Skenario dalam pengujian DCSS adalah *random link failure*. Skenario *random link failure* merupakan skenario terjadinya galat komunikasi antar SU yang pada awalnya terhubung [13]. Galat tersebut menyebabkan informasi gagal tersampaikan. Galat dapat dimodelkan sebagai hilangnya *edge* dalam himpunan *edge* dari *graph*. Akibatnya, pada waktu-waktu tertentu, *graph* dapat berupa *directed graph* (*digraph*). DCSS dapat disimulasikan secara sinkron ataupun asinkron. Pada DCSS dengan mode sinkron, tiap *node* melakukan langkah-langkah SS secara bersamaan. Pada DCSS dengan mode asinkron, tiap *node* melakukan tahapan SS secara tidak bersamaan dan acak. Berdasarkan [15], mode asinkron dapat didekati dengan mode sinkron yang pada tiap iterasinya *graph* cenderung tidak sama dan bersifat acak. Model *graph* tersebut diadopsi sebagai *random graph*. Hal tersebut dapat diimplementasikan dengan memanfaatkan peubah acak. Dalam makalah ini, tiap *edge* pada model *random graph* memiliki peluang yang sama untuk mengalami galat ( $P_e$ ). Peubah acak yang digunakan adalah peubah acak *Gaussian* standar. Pada Gambar 3, diperlihatkan contoh jaringan DCSS dengan *bidirectional link* dalam kondisi optimal atau tanpa galat pada *edge*. Bulatan merah adalah SU atau *node* dan garis hijau adalah *edge* yang berlaku dua arah antar *node*.

### C. Consensus Method

Metode *consensus* menggunakan informasi pengukuran energi pada *band of interest* yang diperoleh secara

mandiri dan dari tetangga sebagai bahan CSS untuk *node* lokal. Tiap *node* saling mengoreksi pengukuran energi seiring berjalannya iterasi DCSS. Setelah iterasi DCSS dilakukan dalam jumlah yang banyak, didapatkan kesamaan pengukuran energi pada tiap *node*. Metode *consensus* dapat menghasilkan nilai pengukuran energi akhir yang berupa nilai rerata, maksimum, dan minimum dari pengukuran energi awal seluruh *node* [13]. Berikut adalah persamaan pengukuran energi *average-consensus* atau *mean-consensus* untuk SU- $m$  dan iterasi ke- $i$

$$\Lambda_m^i = \Lambda_m^{i-1} + \epsilon \sum_{j \in \mathcal{N}_m} (\Lambda_j^{i-1} - \Lambda_m^{i-1}). \quad (26)$$

Pada (28), nilai  $\epsilon$  dapat dipilih sebagai satu per *degree* tertinggi yang dimiliki oleh *node-node* dalam *graph* [13]

$$\epsilon \cong 1/\max_m(|\mathcal{N}_m|). \quad (27)$$

Secara berturut-turut, berikut ini adalah persamaan dari *max-consensus* dan *min-consensus* untuk SU- $m$  dan iterasi ke- $i$

$$\Lambda_m^i = \max_{j \in \mathcal{N}_m} (\Lambda_j^{i-1}, \Lambda_m^{i-1}), \quad (28)$$

$$\Lambda_m^i = \min_{j \in \mathcal{N}_m} (\Lambda_j^{i-1}, \Lambda_m^{i-1}). \quad (29)$$

Metode *max-consensus* dan *min-consensus* mengasumsikan statistik derau yang sama pada tiap *node*. Uji hipotesis untuk *node- $m$*  dan iterasi ke- $z$  ditunjukkan sebagai berikut

$$D_m^z = \begin{cases} 1, & \Lambda_m^z > \lambda, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (30)$$

### D. Distributed Decision Fusion

Seperti halnya pada CCSS, terdapat jenis informasi biner di samping informasi pengukuran energi pada *band of interest* yang dapat digunakan untuk CSS [16]. Informasi biner atau *decision* awal tiap SU didapatkan dari uji hipotesis secara mandiri yang dinotasikan dengan  $D_m^0$  untuk *node- $m$*  dan iterasi ke-0. Tiap SU menghitung jumlah tetangga yang mendeteksi PU dalam variabel *Vote* untuk SU- $m$  dan iterasi ke- $i$  sebagai berikut

$$\text{Vote}_m^i = D_m^i + \sum_{j \in \mathcal{N}_m} D_j^i. \quad (31)$$

$$D_m^{i,AND} = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Vote}_m^{i-1} = (|\mathcal{N}_m| + 1) \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (32)$$

$$D_m^{i,Maj} = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Vote}_m^{i-1} > (|\mathcal{N}_m|/2 + 1) \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$D_m^{i,OR} = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Vote}_m^{i-1} \geq 1 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Batas *voting* yang digunakan untuk *distributed decision fusion* adalah serupa dengan pada CCSS. Pada DCSS, digunakan *degree* dari *node* sebagai acuan.

### E. Estimasi Performa DCSS

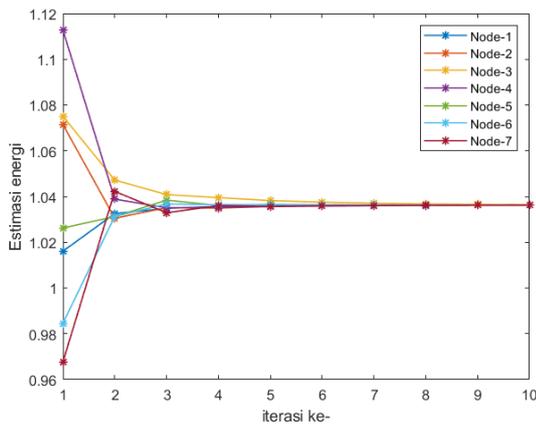
Tiap SU dalam DCSS mengolah informasi secara mandiri berdasarkan informasi yang diperoleh secara mandiri dan dari tetangga. Peninjauan performa DCSS secara optimal dilakukan ketika telah terjadi konvergensi informasi atau keputusan SS untuk *band of interest*. Konvergensi dapat dicek melalui visualisasi *test statistics* atau *decision* dari tiap *node* seperti dicontohkan pada

Gambar 4. Pada gambar tersebut, iterasi pertama adalah *step* ke-0 atau kondisi awal.

Dalam [13], informasi dalam DCSS telah konvergen saat perbedaan antar nilai pada tiap *node* di bawah 1 dB. Untuk mengakomodasi keadaan tidak tercapainya konvergensi, digunakan aturan mayoritas yang dianggap merepresentasikan keseluruhan anggota. Berikut adalah persamaan  $P_D$  dan  $P_{FA}$  untuk DCSS

$$\begin{aligned} P_{FA} &= \Pr\left(\left(\sum_{m=1}^M D_m^z\right) > M/2 \mid \mathcal{H}_0\right), \\ P_D &= \Pr\left(\left(\sum_{m=1}^M D_m^z\right) > M/2 \mid \mathcal{H}_1\right). \end{aligned} \quad (33)$$

Pada (35), nilai  $z$  merupakan suatu bilangan bulat positif dan *nonzero* sebagai penanda iterasi DCSS.



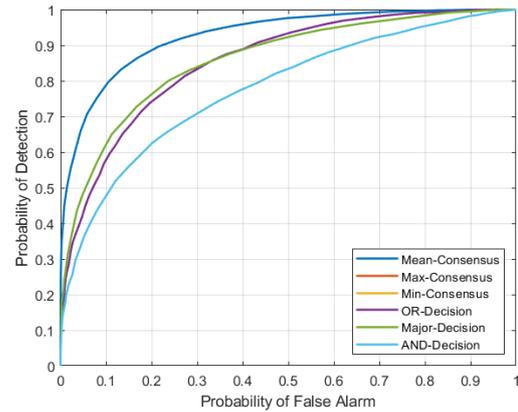
Gambar 4. Uji konvergensi DCSS dengan *average-consensus*.

#### F. Pengujian DCSS pada Fixed Graph

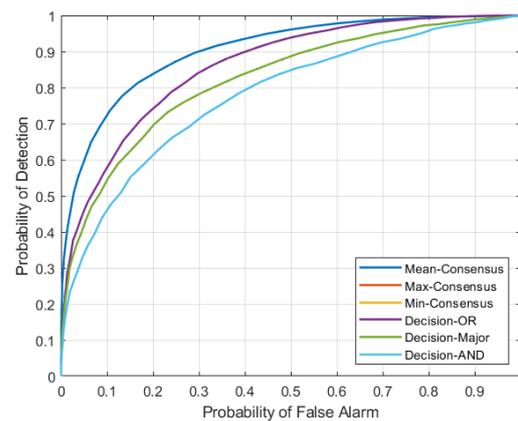
Pada pengujian DCSS dengan *fixed graph* atau skenario sinkron, didapatkan kurva ROC yang timpang tindih. Kurva tersebut adalah kurva ROC untuk metode *max-consensus* dengan *OR-decision* (*OR-rule*) dan *min-consensus* dengan *AND-decision* (*AND-rule*). Berdasarkan kurva ROC hasil pengujian pada Gambar 5, Metode *fusion* pada DCSS yang terbaik adalah *average-consensus* atau *mean-consensus*. Pengujian dilakukan pada kanal AWGN dengan rerata SNR -15 dB dan varians SNR 5 dB. Jumlah *node* yang terlibat adalah tujuh. Jumlah iterasi *distributed* yang digunakan adalah empat kali. Jumlah iterasi untuk pengujian DCSS didasari pada uji konvergensi pada Gambar 4. *Graph* yang diuji konvergensinya adalah *graph* yang sama dengan *graph* untuk pengujian DCSS sehingga dapat mencerminkan hasil simulasi.

#### G. Pengujian DCSS pada Random Graph

DCSS dengan *random graph* atau skenario *random link failure* memberikan efek penurunan performa karena proses pertukaran informasi tidak berjalan seperti seharusnya. Hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 6 yang memiliki kurva ROC lebih buruk dibandingkan pada pengujian *fixed graph*. Semakin besar nilai  $P_e$  semakin besar pula penurunan performa yang terjadi.



Gambar 5. Kurva ROC DCSS dengan *fixed graph* untuk kanal AWGN.



Gambar 6. Kurva ROC dari DCSS dengan *random link failure* pada kanal AWGN dengan  $P_e = 0.5$ .

#### V. CSS DENGAN CCSS DAN DCSS TERHADAP IEEE 802.22

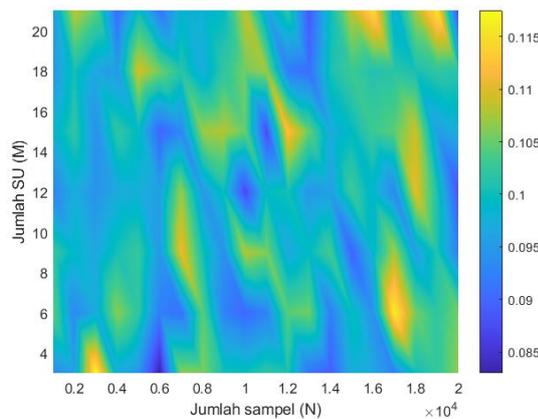
Kesuksesan perancangan ditunjukkan dengan lolos tidaknya hasil perancangan terhadap standar yang berlaku. Standar IEEE 802.22 mengatur bahwa nilai  $P_D$  minimal adalah 0.9 dan  $P_{FA}$  maksimal adalah 0.1 untuk kondisi SNR serendah -20 dB. Dalam konteks perancangan, nilai  $P_{FA}$  lebih menarik karena hanya terikat oleh derau di sisi SU dan tidak dipengaruhi oleh penerimaan isyarat PU yang juga mencakup faktor propagasi. Nilai  $P_{FA}$  dalam densitas *test statistics* merupakan area di bagian *upper tail* dari kurva distribusi  $\Lambda_{\mathcal{H}_0}$ . Dengan menggunakan metode *fusion* EGC, distribusi *test statistics* pada keadaan  $\mathcal{H}_0$  adalah sebagai berikut

$$\Lambda_{\mathcal{H}_0} \sim \chi_{M \cdot N}^2 \cdot \sigma_w^2 / (M \cdot N). \quad (34)$$

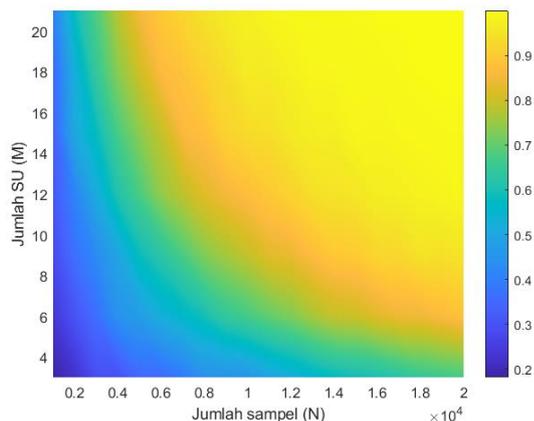
Berdasarkan (34), dapat dicari nilai threshold  $\lambda$  dengan menggunakan invers *central chi-square* CDF (*cumulative distribution function*) untuk mendapatkan performa  $P_{FA}$  tertentu. Metode penentuan *threshold* tersebut dinamakan sebagai *constant false alarm rate* (CFAR) [17]. Berikut ini adalah persamaan *threshold* untuk  $P_{FA}$  tertentu pada CCSS dengan EGC

$$\lambda = F_x^{-1}(1 - P_{FA}, M \cdot N) \cdot \sigma_w^2 / (M \cdot N). \quad (35)$$

Guna memastikan persamaan (34) dan (35), dilakukan simulasi dengan variasi jumlah SU dan sampel. Jumlah SU divariasikan dari 3 hingga 21 dengan *increment* sebanyak 3. Jumlah sampel divariasikan dari 1000 hingga 20000 dengan *increment* sebesar 1000. Hasil simulasi pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai  $P_{FA}$  hasil simulasi telah mendekati nilai  $P_{FA}$  yang diinginkan yaitu 0.1. Estimasi  $P_D$  untuk tiap parameter yang bersesuaian dengan Gambar 7 ditunjukkan pada Gambar 8. Nilai SNR diatur sebesar -20 dB pada tiap variasi jumlah SU dan jumlah sampel. Batas nilai variasi parameter dipilih berdasarkan durasi simulasi yang dapat diterima yaitu selama kurang lebih 10 menit.



**Gambar 7.** Estimasi  $P_{FA}$  saat  $\lambda$  disesuaikan untuk  $P_{FA}$  bernilai 0.1.

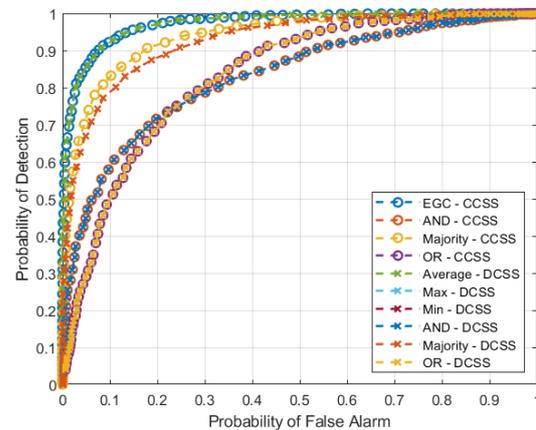


**Gambar 8.** Estimasi  $P_D$  dengan kanal AWGN dan SNR -20 dB saat *threshold* diatur agar mendapatkan  $P_{FA} \cong 0.1$ .

Sejauh ini, telah dimiliki data estimasi  $P_D$  pada  $P_{FA} \cong 0.1$ . Agar sistem CCSS dapat memenuhi standar, perlu dipilih jumlah SU dan sampel minimal yang memiliki  $P_D$  di atas 0.9. Pada Gambar 8, kombinasi jumlah SU dan sampel yang dapat memenuhi syarat adalah SU lebih dari 14 pada 10000 sampel. Pada dokumen ini, dipilih 15 SU dengan 10000 sampel yang berasosiasi dengan warna kuning cerah untuk CCSS.

Untuk skema DCSS, terlebih dahulu diinginkan untuk mengetahui persamaan performa metode *fusion* pada DCSS dengan CCSS. Tiap metode *fusion* pada DCSS dan CCSS dengan 15 SU dan 10000 sampel diuji pada kanal AWGN dengan rerata SNR -20 dB. Iterasi

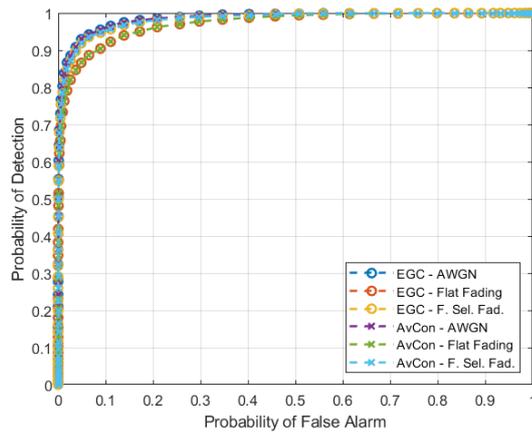
dalam DCSS dilakukan sebanyak 20 kali termasuk inisiasi DCSS. Pengujian CCSS dilakukan dengan mengasumsikan kondisi *perfect reporting channel* dan pengujian DCSS dilakukan dengan mengasumsikan kondisi *fixed graph*. Kurva ROC hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Kurva ROC semua metode pada kanal AWGN dengan 15 SU dan 10000 sampel.

Pada Gambar 9, dapat dilihat bahwa metode *fusion* dari DCSS memiliki kemiripan performa dengan metode *fusion* pada CCSS. Yang dimaksud dengan kemiripan adalah bahwa nilai  $P_D$  yang diperoleh untuk nilai  $P_{FA}$  tertentu adalah tidak jauh berbeda. Hal tersebut dapat menjadi penanda keberhasilan DCSS dalam mengolah informasi SS. Metode *average-consensus* pada DCSS memiliki performa yang sama dengan EGC pada CCSS. Metode *OR-rule* pada CCSS memiliki performa yang mirip dengan *max-consensus* dan *OR-rule* pada DCSS. Metode *AND-rule* pada CCSS memiliki kemiripan performa dengan *min-consensus* dan *AND-rule* pada DCSS. Terakhir, metode *Majority-rule* pada CCSS memiliki kemiripan dengan *Majority-rule* pada DCSS. Dengan fakta ini, dapat diasumsikan bahwa jumlah SU dan sampel yang diperlukan untuk *average-consensus* adalah sama dengan EGC. Nilai  $P_D$  yang dapat dicapai oleh EGC pada CCSS dan *average-consensus* pada DCSS untuk  $P_{FA}$  sebesar 0.1 adalah sekitar 0.92 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Spesifikasi dari CSS untuk CCSS dan DCSS yang memenuhi standar IEEE 802.22 untuk kanal AWGN dapat disusun sebagaimana pada Tabel 1.

Pada persamaan (34), terdapat varians dari derau AWGN sebagai faktor *scaling* pada distribusi *central chi-square*. Oleh karena itu, nilai *threshold* perlu dikalikan dengan estimasi varians derau agar CSS dapat bekerja sesuai rancangan. Nilai 1.0047 pada CFAR didapatkan dengan menggunakan invers fungsi CDF dengan parameter probabilitas 0.9 dan DOF  $15 \times 10000$  pada MATLAB. *Threshold* simulasi didapatkan melalui pengamatan pada statistik hasil simulasi untuk metode EGC saat  $\hat{P}_{FA} = 0.1008$ . Untuk kanal *Rayleigh frequency-selective fading* dan *Rayleigh flat fading*, dimungkinkan performa  $P_D$  tidak tercapai sebagaimana mestinya karena spesifikasi didapatkan dari pengujian untuk kanal AWGN.



**Gambar 10.** Pengujian variasi kanal *sensing* dengan rerata SNR -20 dB dan varians SNR 7 dB.

**Tabel 1.** Spesifikasi CSS untuk EGC dan *average-consensus*.

Parameter	Keterangan
Target SNR	-20 dB
Target $P_{FA}$	$\cong 0.1$
Target $P_D$	$\geq 0.9$
Jumlah SU ( $M$ )	15
Jumlah sampel ( $N$ )	10000
Threshold CFAR	$1.0047 \times \hat{\sigma}_w^2$
Threshold simulasi	$1.0048 \times \hat{\sigma}_w^2$

Hasil pengujian EGC dan *average-consensus* pada variasi kanal *sensing* dengan rerata SNR -20 dB dan varians SNR 7 dB ditunjukkan pada Gambar 10. Pada gambar tersebut, performa CSS dipengaruhi oleh jenis kanal *sensing*. Performa CSS pada kanal *frequency-selective* dengan enam *tap* berada sedikit di bawah kanal AWGN. Sebagai contoh, untuk nilai  $P_{FA} \cong 0.1$ , pendekatan EGC dengan kanal AWGN memberikan nilai  $P_D$  sebesar 0.965, sedangkan EGC dengan kanal *frequency-selective fading* memberikan nilai  $P_D$  sebesar 0.958. Hal yang sama juga berlaku untuk pendekatan *average-consensus*. Saat *tap* kanal *Rayleigh fading* berjumlah satu atau merupakan kanal *Rayleigh flat fading*, performa CSS lebih buruk dibandingkan dua pendekatan kanal sebelumnya. Pada Gambar 10, nilai  $P_D$  yang dapat dicapai pada  $P_{FA} \cong 0.1$  adalah 0.933. Varians SNR turut memengaruhi performa CSS seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10 pada kanal AWGN. Performa CSS relatif meningkat saat varians SNR meningkat.

## VI. KESIMPULAN

Dalam dokumen ini, telah dipaparkan hasil simulasi sistem CSS berbasis ED dengan CCSS dan DCSS dalam skenario-skenario tertentu. CCSS memiliki keuntungan dalam kecepatan pemrosesan informasi SS dibanding DCSS yang memerlukan banyak iterasi untuk tingkat akurasi yang sama. Metode terbaik dalam CCSS adalah EGC dan metode terbaik pada DCSS adalah *average-consensus*. Kedua metode tersebut menggunakan mekanisme rerata pengukuran energi pada tiap SU.

Berdasarkan metode rerata tersebut, standar IEEE 802.22 dapat dipenuhi dengan menggunakan 15 SU dan 10000 sampel. Target  $P_{FA}$  adalah berkisar pada 0.1 dengan  $P_D$  bernilai di atas 0.9.

## REFERENSI

- [1] E. Axell, G. Leus, E. G. Larsson, and H. V. Poor, "Spectrum sensing for cognitive radio: State-of-the-art and recent advances," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 29, no. 3, pp. 8–10, 2012, doi: 10.1109/MSP.2012.2183771.
- [2] Y. C. Liang, *Dynamic Spectrum Management From Cognitive Radio to Blockchain and Artificial Intelligence*. Sichuan: Springer Open, 2020. doi: 10.1201/9781420013542-21.
- [3] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201–220, Feb. 2005, doi: 10.1109/JSAC.2004.839380.
- [4] S. Atapattu, C. Tellambura, and H. Jiang, *Energy Detection Technique for Spectrum Sensing in Cognitive Radio*, vol. 9, no. 1, 2010. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/10028>
- [5] I. F. Akyildiz, B. F. Lo, and R. Balakrishnan, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey," *Physical Communication*, vol. 4, no. 1, pp. 40–62, Mar. 2011. doi: 10.1016/j.phycom.2010.12.003.
- [6] M. C. Jeruchim, P. Balaban, and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication Systems Modeling, Methodology, and Techniques*. New York: Kluwers Academic, 2002.
- [7] B. C. Levy, *Principles of Signal Detection and Parameter Estimation*. 2008. doi: 10.1007/978-0-387-76544-0.
- [8] A. Papoulis and S. U. Pillai, *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*, 4th ed. McGraw-Hill, 2002.
- [9] A. Tkac, V. Wieser, and S. Pollak, "Calculation of impulse response in Rician and Rayleigh channel," in *Proceedings of 9th International Conference, ELEKTRO 2012*, 2012, pp. 99–102. doi: 10.1109/ELEKTRO.2012.6225580.
- [10] M. Ben Ghorbel, H. Nam, and M. S. Alouini, "Soft cooperative spectrum sensing performance under imperfect and non identical reporting channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 2, pp. 227–230, Feb. 2015, doi: 10.1109/LCOMM.2014.2377231.
- [11] C. Altay, H. B. Yilmaz, and T. Tugcu, "Cooperative sensing analysis under imperfect reporting channel," in *2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, Jul. 2012, pp. 000770–000775. doi: 10.1109/ISCC.2012.6249392.
- [12] H. Guo, N. Reisi, W. Jiang, and W. Luo, "Soft combination for cooperative spectrum sensing in fading channels," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 975–986, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2628860.
- [13] Z. Li, F. R. Yu, and M. Huang, "A distributed consensus-based cooperative spectrum-sensing scheme in cognitive radios," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 1, pp. 383–393, 2010, doi: 10.1109/TVT.2009.2031181.
- [14] K. H. Rosen, *Discrete Mathematics and its Applications*, 7th ed. McGraw-Hill, 2011.
- [15] S. Giannini, A. Petitti, D. Di Paola, and A. Rizzo, "Asynchronous max-consensus protocol with time delays: Convergence results and applications," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 63, no. 2, pp. 256–264, 2016, doi: 10.1109/TCSI.2015.2512721.
- [16] N. Noorshams, M. Malboubi, and A. Bahai, "Centralized and decentralized cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A novel approach," in *2010 IEEE 11th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Jun. 2010, pp. 1–5. doi: 10.1109/SPAWC.2010.5670998.
- [17] R. Umar, A. U. H. Sheikh, and M. Deriche, "Unveiling the hidden assumptions of energy detector based spectrum sensing for cognitive radios," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 713–728, 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.081313.00054.

# ANTENA MIKROSTRIP FREKUENSI RECONFIGURABLE PADA FREKUENSI 1,8 GHZ DAN 3,5 GHZ

## RECONFIGURABLE FREQUENCY MICROSTRIP ANTENNA AT FREQUENCY 1,8 GHZ AND 3,5 GHZ

Amanda Nabila Hasya<sup>1</sup>, Harfan Hian Ryanu<sup>2</sup>, Aloysius Adya Pramudita<sup>3</sup>, Zalfa Maitsa Nabila<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia  
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu, Bandung, 40257, Indonesia  
nhmanda01@gmail.com

**Abstract**— Currently, almost all regions in Indonesia can feel the speed of 4G, which will soon be replaced by 5G networks. The installation of this 5G network takes a long time to be enjoyed by all regions in Indonesia. Therefore we need an antenna that can change the working frequency according to the existing network conditions. A reconfigurable antenna is an antenna that can work in a variety of conditions. Reconfigurable antennas can be reconfigurable characteristics. The antenna is designed in two conditions, namely the condition of the off working frequency is 3,5 GHz, and the condition on the working frequency is 1,8 GHz. From the simulation results in the off condition, the return loss is -32,095927 dB. Meanwhile, in the on condition, the return loss is -26,443567 dB. In the off condition measurement results, the return loss value is -18,64405386 dB. While the on condition is -14,96034985 dB.

**Keywords**-Reconfigurable Antenna, Microstrip Antenna, 4G, 5G.

**Abstrak**— Saat ini sudah hampir seluruh wilayah di Indonesia dapat merasakan kecepatan dari 4G, yang dimana sebentar lagi jaringan tersebut akan tergantikan oleh jaringan 5G. Pemasangan jaringan 5G ini membutuhkan waktu yang cukup lama agar dapat dinikmati oleh seluruh wilayah di Indonesia. semua dapat merasakan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu antenna yang dapat merubah frekuensi kerja sesuai dengan kondisi jaringan yang ada. Antena *reconfigurable* merupakan antenna yang dapat bekerja pada berbagai macam kondisi. Antena *reconfigurable* dapat karakteristiknya dapat direkonfigurasi. Antena dirancang pada dua kondisi yaitu kondisi *off* frekuensi kerjanya ialah 3,5 GHz, dan kondisi *on* frekuensi kerjanya ialah 1,8 GHz. Dari hasil simulasi pada kondisi *off* yaitu *return loss* sebesar -32,095927 dB. Sedangkan pada kondisi *on* yaitu *return loss* sebesar -26,443567 dB. Pada hasil pengukuran kondisi *off* nilai *return loss*nya sebesar -18,64405386 dB. Sedangkan pada kondisi *on* yaitu -14,96034985 dB.

**Kata Kunci**- Antena Reconfigurable, Antena Microstrip, 4G, 5G.

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini sangatlah pesat. Dimana perkembangan telekomunikasi sangat bermanfaat untuk seluruh pihak dalam pertukaran informasi. Jaringan internet di Indonesiapun saat ini sudah dapat dikatakan cepat, namun memang belum secepat negara-negara lainnya. Jaringan 4G di Indonesia ini sudah hampir menyeluruh sehingga dapat diakses dimanapun, dan untuk jaringan 5G di Indonesia sudah mulai diterapkan diberbagai kota-kota besar namun belum menyeluruh di Indonesia. Pemasangan jaringan 5G agar dapat dinikmati di seluruh wilayah di Indonesia membutuhkan waktu yang cukup lama. Frekuensi yang paling banyak digunakan di Indonesia untuk jaringan 4G yaitu di frekuensi 1.8 GHz. Sedangkan, untuk frekuensi yang menjadi kandidat terkuat yang akan digunakan untuk jaringan 5G di Indonesia ialah di frekuensi 3.5 GHz. Dalam menunjang berjalannya suatu sistem komunikasi jarak jauh dibutuhkan suatu perangkat yang dapat digunakan untuk mengirim atau menerima gelombang elektromagnetik yaitu antenna.

Antena merupakan suatu media yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal. Untuk antenna dapat berkomunikasi dengan baik dan optimal perlu diperhatikan berbagai macam parameternya. Parameter dari antenna yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*, *bandwidth*, pola radiasi, dan polarisasi. Untuk membuat suatu antenna yang baik juga kita perlu memperhatikan frekuensi kerja dari antenna tersebut. Saat ini kebutuhan manusia dalam berkomunikasi sangatlah meningkat. Memodifikasi perangkat sangat berguna agar dapat meningkatkan efektivitas, dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Dalam upaya meningkatkan efektivitas dan memenuhi kebutuhan manusia dalam berkomunikasi dibutuhkan suatu antenna yang dapat bekerja dengan berbagai macam frekuensi, salah satunya adalah antenna *reconfigurable*.

Antena *reconfigurable* merupakan suatu antenna yang dapat bekerja pada berbagai frekuensi kerja sesuai dengan yang dibutuhkan. Pada sistemnya antenna *reconfigurable* ini menggunakan *switch* untuk dapat melakukan pergantian frekuensi kerja yang dibutuhkan, dimana ketika salah satu frekuensi sedang bekerja maka frekuensi lain tidak bekerja. Hal tersebut dapat mengurangi interferensi yang akan muncul pada frekuensi yang sedang tidak bekerja [1].

Pada makalah ini dirancang suatu antenna *reconfigurable* yang dapat bekerja pada frekuensi 1,8 GHz untuk 4G dan 3,5 GHz untuk 5G. Dalam makalah ini pada

kondisi *off* frekuensi yang akan bekerja yaitu frekuensi 3,5 GHz, sedangkan ketika kondisi *on* frekuensi yang akan bekerja yaitu frekuensi 1,8 GHz.

## II. METODOLOGI

### A. Teknologi Seluler

Teknologi seluler di Indonesia telah berkembang secara pesat. Jaringan 1G, 2G, 3G, dan 4G telah kita rasakan, dan jaringan 5G telah disiapkan di Indonesia. Sistem 4G merupakan pengembangan dari 2G dan 3G yang dapat beroperasi diberbagai frekuensi seperti 700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, dan 2600 MHz. Pada 4G kecepatan akses data sangat cepat sampai dengan 100 Mbps sehingga komunikasi menjadi sangat cepat seperti transfer data, gambar, video, dan lainnya. Di Indonesia teknologi 4G sudah tersebar di kota-kota seluruh Indonesia. Salah satu frekuensi yang telah menyebar diseluruh wilayah Indonesia yaitu frekuensi 1,8 GHz [2]. *Bandwidth* untuk layanan 4G ini fleksibel mulai dari 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz hingga 20 MHz [3].

Di Indonesia, teknologi 5G masih dalam tahap pengembangan. Dalam menerapkan 5G dibutuhkan beberapa syarat yang harus dipenuhi seperti kebutuhan data rate yang tinggi, latensi yang semakin kecil [4]. Kandidat frekuensi 5G yang akan digunakan di Indonesia ialah 700-800, 2,3 GHz, 2,6 GHz, 3,3 GHz, 3,5 GHz, dan 28-30 GHz. Spektrum 1-6 GHz menjadi spektrum yang diperkirakan menjadi pilihan awal bagi para operator untuk menggelar 5G di *range* 3,3-3,8 GHz [5] Frekuensi 3,5 GHz memiliki penyelenggara satelit yang luas di wilayah Indonesia.

### B. Antena Mikrostrip

Antena ialah suatu alat yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima gelombang elektromagnetik [6]. Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang memiliki lempengan tipis, dan bekerja pada frekuensi tinggi [7]. Antena mikrostrip secara fisik terlibat sederhana, karena hanya berupa lempengan PCB [8]. Parameter dari antena yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*, polarisasi, dan pola radiasi [9]. *Return loss* terjadi karena tidak *match*nya impedansi saluran dengan impedansi antena. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) adalah perbandingan antara nilai tegangan maksimum dengan tegangan minimum pada suatu gelombang berdiri. *Gain* adalah nilai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dan radiasi referensi dengan daya yang sama ketika ditransmisikan. Polarisasi adalah arah getar gelombang dari antena. Dan, Pola radiasi adalah suatu gambaran yang menggambarkan radiasi dari suatu antena [9].

Pada umumnya antena mikrostrip terbuat dari tiga lapisan yaitu *patch*, *substrat*, dan *Ground plane* [10]. *Patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* biasanya terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga. Lapisan *patch* terletak pada bagian paling atas [11]. Jenis *patch* pada antena mikrostrip yaitu *rectangular*, *square*, sirkular, segitiga, dan lainnya [11]. *Substrat* adalah lapisan antena mikrostrip yang terletak antara *patch* dan *ground plane*. Fungsi dari *substrat* ialah untuk menyalurkan gelombang

elektromagnetik dari pencatu. Ketebalan *substrat* akan berpengaruh pada nilai *bandwidth*, semakin tebal *substrat* maka *bandwidth* pun akan semakin besar [11]. *Ground plane* merupakan lapisan antena mikrostrip yang terletak pada bagian paling bawah. *Ground plane* ini berfungsi sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal datang yang tidak diinginkan [11].

Agar antena mikrostrip bekerja, dibutuhkan Teknik pencatun. Teknik pencatun berfungsi untuk menyalurkan daya di saluran mikrostrip dengan *patch*. Teknik pencatun yang sering digunakan pada antena mikrostrip ialah *microstrip line*, *proximity coupled*, *coaxial probe*, dan *aperture coupled*. *Microstrip line* menjadi teknik pencatun yang umum digunakan karena mampu memberikan gain yang besar [11].

### C. Antena Reconfigurable

Antena *reconfigurable* adalah antena yang dapat dikonfigurasi ulang dengan karakteristik yang fleksibel atau dapat disesuaikan. Parameter yang dapat dikonfigurasi ulang ialah frekuensi, pola radiasi, dan polarisasi sesuai dengan kebutuhan [12]. Pada antena *reconfigurable* frekuensi, karakteristik antena ini harus direkonfigurasi agar memiliki beberapa frekuensi berbeda [13]. Antena *reconfigurable* menjadi suatu alternatif untuk mengatasi permasalahan yang ada dalam dunia telekomunikasi saat ini. Antena *reconfigurable* dapat digunakan untuk *Cognitive Radio*, *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), aplikasi ruang angkasa dan banyak lagi [13]. Pada antena *reconfigurable* untuk dapat melakukan perubahan parameter diperlukan suatu *switch*.

*Switch* berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan *electrical circuit* dengan menghubungkan dan memutuskan jalur-jalur yang diinginkan. Pada antena, *switch* berfungsi untuk mengatur dan mengalirkan energi dari sinyal RF menuju jalur yang diinginkan. Jenis *switch* yang dapat digunakan yaitu Pin Dioda *Switch*, *Field Effect Transistor* (FET) *Switch*, *Mechanical Switch*, dan *MEMS Switch* [14]. Untuk memilih jenis *switch* yang tepat harus memperhatikan beberapa parameter, yaitu kecepatan *switch*, *level power signal*, impedansi karakteristik, *switch biasing activation conditions*, dan harga *switch*. Jenis *switch* yang sering digunakan ialah Pin-Dioda [15].

### D. Perancangan Antena

Perancangan antena mikrostrip *reconfigurable patch* sirkular dengan menentukan parameter yang diinginkan agar antena tersebut dapat bekerja dengan baik. Parameter antena yang diinginkan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Antena.

Parameter	Spesifikasi
Return Loss	$\leq -10$ dB
<i>Bandwidth</i> (MHz)	$\geq 10$
Gain (dBi)	$\geq 2$
Pola Radiasi	Unidirectional
Polarisasi	Linier

Bahan dielektrik yang digunakan sebagai *substrat* pada perancangan antenna ini ialah FR-4 dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) yaitu 4,3, ketebalan substrat ( $h$ ) yaitu 1,6 mm, dan tebal dielektrik yaitu 0,035 mm. Bahan tersebut dipilih karena biaya yang *relative* murah dan mudah untuk didapat.

**E. Perhitungan Dimensi Antena Reconfigurable**

Pada penelitian ini dirancang antenna *reconfigurable* yang dapat bekerja pada frekuensi 1,8 GHz ketika dalam kondisi *on* atau terhubung dan frekuensi 3,5 GHz dalam kondisi *off* atau tidak terhubung. Dimensi jari-jari *patch* antenna ( $a$ ) dapat diperoleh dari persamaan (2) dengan nilai  $F$  dapat diperoleh dari persamaan (1). Dimensi Panjang *ground plane* antenna dapat diperoleh dari persamaan (3), sedangkan untuk lebar *ground plane* antenna dapat diperoleh dari persamaan (4). Dimensi lebar *feedline* dapat diperoleh dari persamaan (6) dengan nilai  $B$  dapat diperoleh dari persamaan (5). Dimensi panjang *feedline* dapat diperoleh dari persamaan (7) dengan nilai  $\lambda_g$  dapat diperoleh dari persamaan (9), dengan nilai  $\epsilon_{eff}$  diperoleh dari persamaan (8).

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \tag{1}$$

$$a = \frac{1}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^2} \tag{2}$$

$$l_g = 6h + 2a \tag{3}$$

$$w_g = l_f + 2a + 6h \tag{4}$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{5}$$

$$wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \tag{6}$$

$$l_f = \frac{\lambda_g}{4} \tag{7}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12h}{w} \right]^{-2} \tag{8}$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{9}$$

Hasil dari perhitungan dimensi antenna yang diperoleh untuk dimensi frekuensi 1,8 GHz dan 3,5 GHz dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Hasil Perhitungan.

Dimensi	Parameter	Nilai Off (mm)	Nilai On (mm)
Jari-jari <i>patch</i>	$a$	10,30	20,95
Lebar <i>ground plane</i> dan substrat	$w_g$	42,055	74,555
Panjang <i>ground plane</i> dan substrat	$l_g$	30,2	51,5
Lebar <i>feedline</i>	$w_f$	3,113	3,113
Panjang <i>feedline</i>	$l_f$	11,855	23,055
Tebal dielektrik	$t$	0,035	0,035
Tebal substrat	$h$	1,6	1,6

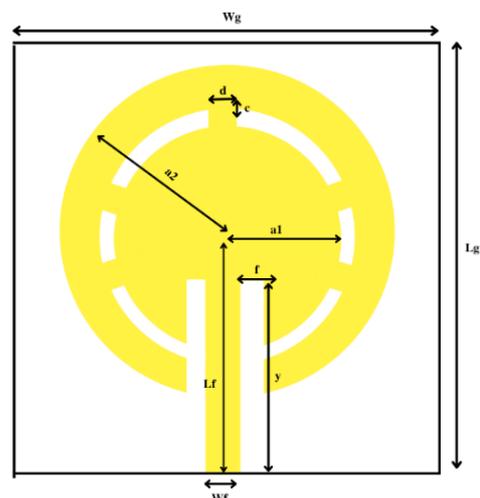
**F. Desain Antena**

Dalam pembuatan desain untuk antenna *reconfigurable* frekuensi memiliki tujuan yaitu agar antenna dapat bekerja dengan baik dan dapat melakukan *switch* frekuensi. Konsep yang diinginkan ialah adanya dua *patch*, yang diantara *patch* tersebut diberi jarak sebagai tempat meletakkan *switch*. Dua *patch*nya yaitu *patch* 1 untuk frekuensi 3,5 GHz (*off*), dan *patch* 2 untuk frekuensi 1,8 GHz (*on*). Ukuran jarak yang digunakan yaitu seperti ukuran PIN-Dioda. Hasil yang diharapkan dari mendesain antenna *reconfigurable* ini yaitu ketika *patch* 1 dan 2 tidak dihubungkan dengan *switch* atau dalam keadaan *off*, maka frekuensi yang akan bekerja ialah frekuensi 3,5 GHz, sedangkan ketika *patch* 1 dan 2 dihubungkan dengan *switch* atau dalam kondisi *on*, maka frekuensi yang akan bekerja ialah frekuensi 1,8 GHz.

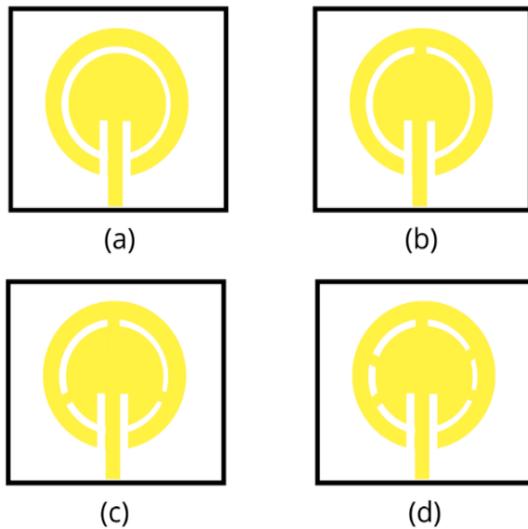
Dalam memalukan proses perancangan antenna *reconfigurable* frekuensi dilakukan beberapa tahapan. Tahapan yang dilakukan demi mendapatkan hasil yang maksimal ini didapat dari pengaturan atau mengubah dimensi dari antenanya itu sendiri. Perubahan dimensi akan berdampak pada hasil yang diperoleh. Hasil akhir dimensi dan struktur antenna dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 1.

Tabel 3. Dimensi Antena.

Dimensi	Parameter	Nilai (mm)
Jari-jari <i>patch</i>	$a$	$a_1 : 19,312$ $a_2 : 12,214$
Lebar <i>ground plane</i> dan substrat	$w_g$	77,5
Panjang <i>ground plane</i> dan substrat	$l_g$	80
Lebar <i>feedline</i>	$w_f$	3,213
Panjang <i>feedline</i>	$l_f$	40
Lebar <i>Insert feed</i>	$f$	1,15
Panjang <i>Insert feed</i>	$y$	38,2
Lebar Brick	$d$	0,75
Panjang Brick	$c$	1,15
Tebal dielektrik	$t$	0,035
Tebal substrat	$h$	1,6

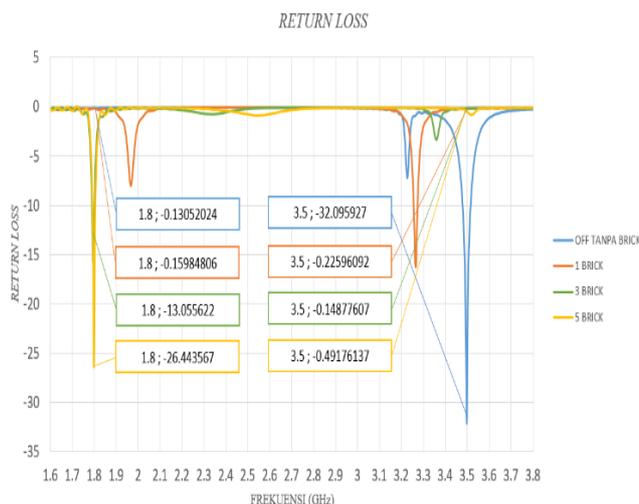


Gambar 1. Struktur Antena.



Gambar 2. Desain Antena (a) Dalam Kondisi Off, (b) Dalam Kondisi On 1 Brick, (c) Dalam Kondisi On 3 Brick, (d) Dalam Kondisi On 5 Brick.

Proses dalam mendesain antenna digambarkan pada Gambar 2. Dalam Gambar 2 (a) menggambarkan desain antenna tanpa menggunakan brick sehingga kondisinya off dan frekuensi yang akan bekerja ialah frekuensi 3,5 GHz. Sedangkan pada Gambar 2 (b)-(d) menggambarkan kondisi on dengan menggunakan brick sehingga frekuensi yang bekerja ialah frekuensi 1,8 GHz, namun yang membedakan antara ketiganya adalah jumlah dan posisi dari brick tersebut. Elemen brick digunakan untuk memodelkan switch pada antenna reconfigurable. Pada Gambar 2 (b) posisi brick berada di sudut 0 derajat, hal tersebut diharapkan daya yang berasal dari feedline bisa langsung disalurkan ke patch terluar. Pada Gambar 2 (c) menggunakan 3 brick, posisi yang digunakan yaitu pada 0, 100, dan -100 derajat. Dan untuk Gambar 2 (d) menggunakan 5 brick, posisi brick yang digunakan berada pada posisi 0, 85, -85, 100, dan -100 derajat.



Gambar 3. Hasil Simulasi Dari Masing-Masing Desain Antena.

Dari percobaan yang telah dilakukan, hasil simulasinya telah tergambarkan pada Gambar 3 untuk semua desain antenna. Untuk Gambar 2 (a) dengan kondisi off atau tanpa menggunakan brick, hasil yang diperoleh yaitu return loss

pada frekuensi 3,5 GHz sebesar -32,095 dB dengan bandwidth 38,7 MHz, dan return loss pada frekuensi 1,8 GHz sebesar -0,130 dB. VSWR pada frekuensi 3,5 GHz sebesar 1,050, dan VSWR pada frekuensi 1,8 GHz sebesar 133,098. Nilai parameter yang memenuhi ialah pada frekuensi 3,5 GHz sehingga antenna hanya bekerja pada frekuensi tersebut. Selanjutnya, Gambar 2 (b) dengan kondisi on menggunakan 1 brick, hasil yang diperoleh yaitu return loss pada frekuensi 3,5 GHz sebesar -0,225 dB, return loss pada frekuensi 1,8 GHz sebesar -0,159 dB, VSWR pada frekuensi 3,5 GHz sebesar 76,883, dan VSWR pada frekuensi 1,8 GHz sebesar 108,679. Nilai yang diperoleh tidak sesuai dengan yang diharapkan sehingga antenna tidak dapat bekerja pada kedua frekuensi tersebut.

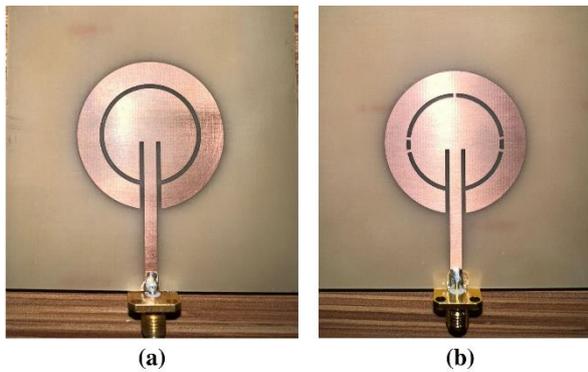
Pada Gambar 2 (c) dengan kondisi on dengan menggunakan 3 brick mendapatkan hasil yaitu return loss pada frekuensi 3,5 GHz sebesar -0,148 dB, return loss pada frekuensi 1,8 GHz sebesar -13,055 dB, VSWR pada frekuensi 3,5 GHz sebesar 114,779, VSWR pada frekuensi 1,8 GHz sebesar 1,560, dan bandwidth pada frekuensi 1,8 GHz ialah 12 MHz. Nilai parameter yang memenuhi ialah pada frekuensi 1,8 GHz sehingga antenna hanya bekerja pada frekuensi tersebut. Gambar 2 (d) dalam kondisi on dengan menggunakan 5 brick memperoleh hasil yaitu return loss pada frekuensi 3,5 GHz sebesar -0,491 dB, return loss pada frekuensi 1,8 GHz sebesar -26,443 dB, VSWR pada frekuensi 3,5 GHz sebesar 35,335, VSWR pada frekuensi 1,8 GHz sebesar 1,100, dan bandwidth pada frekuensi 1,8 GHz ialah 13,9 MHz. Nilai parameter yang memenuhi ialah pada frekuensi 1,8 GHz sehingga antenna hanya bekerja pada frekuensi tersebut.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, posisi dan jumlah brick ini dapat mempengaruhi nilai yang dihasilkan. Posisi brick ini akan lebih baik ketika posisinya simetris, karena daya yang disalurkan menjadi lebih optimal. Jumlah dari brick ini akan mempengaruhi nilai yang dihasilkan seperti VSWR dan return loss, semakin banyak brick maka akan semakin kecil nilai dari VSWR dan return loss. Posisi brick yang akhirnya memberikan nilai terbaik untuk frekuensi 1,8 GHz yaitu pada posisi 0, 85, -85, 100, dan -100 derajat. Sehingga desain yang akan digunakan ketika kondisi off ialah desain pada Gambar 2 (a), sedangkan untuk kondisi on menggunakan desain pada Gambar 3 (d).

### III. HASIL DAN ANALISIS

#### A. Realisasi Antena

Setelah melakukan simulasi antenna mikrostrip patch sirkular, maka dilakukan realisasi antenna dengan menggunakan bahan substrat FR-4 dengan ketebalan 1,6 mm. Gambar 4 (a) menunjukkan hasil realisasi antenna untuk kondisi off. Sedangkan, Gambar 4 (b) menunjukkan hasil realisasi antenna untuk kondisi on. Pengukuran antenna dilakukan di Ruang Anechoic Chamber Universitas Telkom seperti pada Gambar 5, dimana alat yang digunakannya yaitu Vector Network Analyzer (VNA) yang dapat bekerja pada frekuensi 300 KHz - 8 GHz, kabel coaxial N to SMA, matching antenna, dan antenna horn.



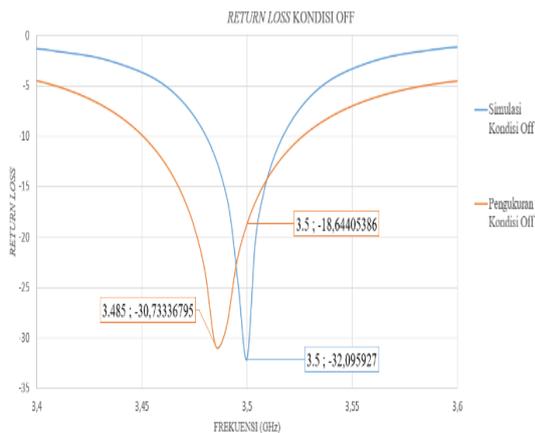
Gambar 4. Realisasi Antena, (a) Kondisi Off, (b) Kondisi On.



Gambar 5. Pengukuran Di Ruang Anechoic Chamber Universitas Telkom.

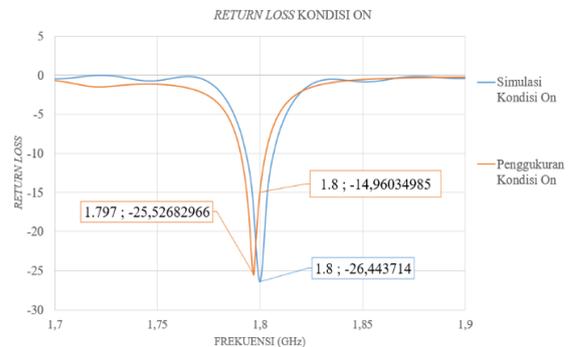
**B. Analisis**

Pada Gambar 6 menggambarkan hasil yang diperoleh ketika antena dalam kondisi off sehingga frekuensi yang bekerja ialah frekuensi 3,5 GHz. Dari gambar tersebut, menggambarkan perbedaan hasil *return loss* yang diperoleh dari hasil simulasi dan hasil pengukuran. Nilai *return loss* pada saat simulasi yaitu sebesar -32,095 dB, sedangkan pada saat pengukuran nilai *return loss*nya sebesar -18,644 dB. Nilai *return loss* terbaik bergeser ke frekuensi 3,485 GHz yaitu senilai -30,733. Nilai *bandwidth* pada simulasi ialah 38,7 MHz, sedangkan pada pengukuran ialah 75 MHz.



Gambar 6. Hasil Return Loss Kondisi Off.

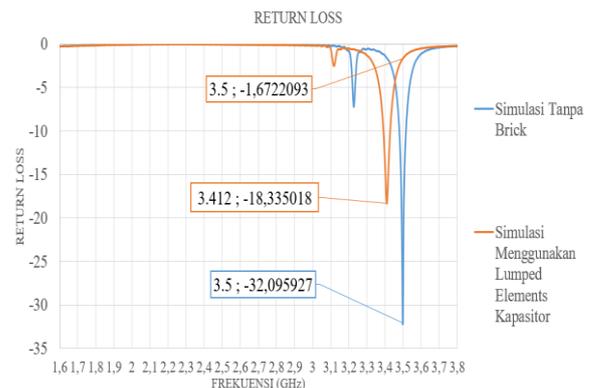
Sedangkan pada Gambar 7 menggambarkan hasil *return loss* dari hasil simulasi dan pengukuran dalam kondisi on sehingga frekuensi yang bekerja ialah 1,8 GHz. Nilai *return loss* kondisi on pada saat simulasi sebesar -26,443 dB, sedangkan pada saat pengukuran yaitu -14,960 dB. Nilai *return loss* terbaiknya bergeser ke frekuensi 1,797 GHz yaitu -25,526. Nilai *bandwidth* pada simulasi ialah 13,9 MHz, sedangkan pada pengukuran ialah 11,2 MHz.



Gambar 7. Hasil Return Loss Kondisi On.

Pada kondisi off dan on, hasil dari simulasi dan pengukuran sama-sama terdapat pergeseran frekuensi. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu kondisi alat yang digunakan, faktor ketelitian pada saat pengamatan, dan proses fabrikasi juga dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

Selain melakukan percobaan dengan menggunakan brick sebagai penyalur daya atau switch, dilakukan juga percobaan menggunakan *lumped elements* yang menggunakan Pin-Dioda BAP 64-02. Pada penggunaan Pin-Dioda terdapat dua kondisi yaitu *forward bias*, dan *reverse bias*. Pada kondisi *forward bias* (kondisi on) dirangkaian RF, dioda berfungsi sebagai resistor, dalam kondisi tersebut *lumped element* dapat dialiri arus listrik ke patch luar antena, sehingga frekuensi yang bekerja ialah frekuensi 1,8 GHz. Sedangkan pada kondisi *reverse bias* (kondisi off), dioda berfungsi sebagai kapasitor, dalam kondisi tersebut *lumped element* tidak dapat dialiri arus ke patch luar, sehingga frekuensi yang bekerja ialah frekuensi 3,5 GHz. Sehingga perubahan frekuensi dapat diamati dengan memodelkan elemen brick sebagai *lumped elements* resistor dan kapasitor.



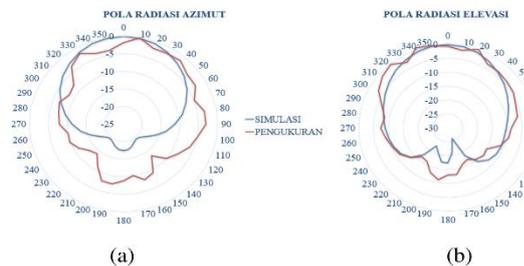
Gambar 8. Hasil Return Loss Kondisi Off Brick Dan Lumped Elements Kapasitor.

Gambar 8 menggambarkan perbandingan hasil simulasi ketika kondisi *off*. Ketika tidak menggunakan *brick* nilai *return loss*nya sebesar -32,099 dB pada frekuensi 3,5 GHz, sedangkan ketika menggunakan *lumped elements* nilai *return loss*nya sebesar -1,672 dB pada frekuensi 3,5 GHz. Pada saat menggunakan *lumped element* terjadi pergeseran frekuensi yaitu 3,412 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -18,334 dB.

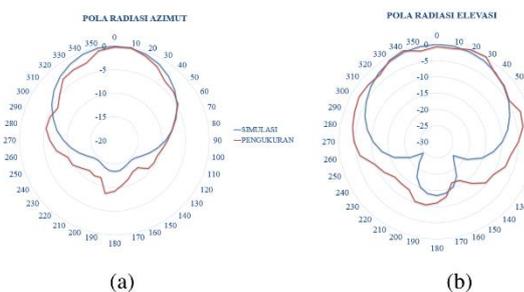


Gambar 9. Hasil Return Loss Kondisi On Brick Dan Lumped Elements Resistor.

Gambar 9 menggambarkan perbandingan hasil simulasi ketika kondisi *on*. Posisi dari *brick* dan *lumped elements* diletakan pada posisi yang sama. Ketika menggunakan *brick* nilai *return loss*nya sebesar -26,443 dB pada frekuensi 1,8 GHz, sedangkan ketika menggunakan *lumped elements* nilai *return loss*nya sebesar -3,407 dB pada frekuensi 1,8 GHz. Pada saat menggunakan *lumped element* terjadi pergeseran frekuensi yaitu 1,784 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -20,821 dB. Dari hasil percobaan menggunakan *brick* dan *lumped elements* dapat disimpulkan pemodelan dengan menggunakan *brick* dapat mendekati kondisi real saat menggunakan pemodelan menggunakan *lumped elements*.



Gambar 10. Pola Radiasi Kondisi Off, (a) Azimut, (b) Elevasi.



Gambar 11. Pola Radiasi Kondisi On, (a) Azimut, (b) Elevasi.

Penelitian ini dilakukan juga pengukuran pola radiasi menggunakan medan jauh secara azimuth, dan elevasi pada kondisi *off* dan *on*. Pengukuran ini dilakukan dengan cara memutar antenna setiap 10°. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi dapat dilihat pada Gambar 10 untuk kondisi *off*, dan Gambar 11 untuk kondisi *on*. Pada kondisi *off*, dari hasil pengukuran pola radiasi pada bidang azimuth diperoleh daya terima maksimum pada sudut 10° dan daya minimum berada pada sudut 220°. Dari hasil pengukuran kondisi *off* pada bidang azimuth diperoleh jenis pola radiasi *unidirectional*. Sedangkan pada simulasi kondisi *off*, daya terima maksimum pada sudut 0° dan daya minimum berada pada sudut 220°. Pada kondisi *on*, dari hasil pengukuran pola radiasi pada bidang azimuth diperoleh daya terima maksimum pada sudut 10° dan daya minimum berada pada sudut 140°. Dari hasil pengukuran kondisi *off* pada bidang azimuth diperoleh jenis pola radiasi *unidirectional*. Sedangkan pada simulasi kondisi *on*, daya terima maksimum pada sudut 0° dan daya minimum berada pada sudut 230°.

Tabel 4. Gain Antena Hasil Simulasi Dan Pengukuran.

Kondisi	Simulasi	Pengukuran
Off	6,897 dBi	6,235 dBi
On	4,417 dBi	3,893 dBi

Perbandingan dari *gain* kondisi *off* dan *on* antara simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai *gain* simulasi lebih besar daripada nilai *gain* pengukuran. Hal tersebut terjadi karena kondisi antenna yang tidak sempurna karena proses fabrikasi, serta keterbatasan alat dan pengamatan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang antenna *reconfigurable* frekuensi yang bekerja pada kondisi *on* yaitu frekuensi 1,8 GHz dan kondisi *off* pada frekuensi 3,5 GHz. *Brick* dapat menjadi salah satu opsi untuk mensimulasikan posisi *switch* pada perancangan antenna *reconfigurable*. Posisi dan jumlah dari *brick* akan mempengaruhi hasil yang dihasilkan. Hasil simulasi dan pengukuran yang diperoleh mendekati hasil menggunakan *lumped elements* pada dioda.

V. REFERENCES

- [1] H. M. Al-Tamimi and S. Mahdi, "A Study of reconfigurable multiband antenna for wireless application," *International Journal of New Technology and Research*, vol. 2, pp. 125-134, 2016.
- [2] J. Haidi, I. Anizar, and A. P. Andri, "Antena mikrostrip bentuk segiempat 1,8 ghz menggunakan metode parsial ground untuk aplikasi antenna 4G lte" *AMPLIFIER Jurnal Ilmiah Bidang teknik Elektro dan Komputer*, vol.7, no.2, pp.1-7
- [3] S. Ariyanti and D. Perdana, "Analisis Kelayakan Implementasi Teknologi LTE 1.8 GHz Bagi Operator Seluler di Indonesia," *Bul. Pos dan Telekomunikasi*, vol. 1, no. 1, p. 63, Mar. 2015, doi: 10.17933/bpostel.2015.130105.
- [4] A. Nabila, H. Lidiyati, and D. Saefudin, "Peningkatan kinerja gain antenna mikrostrip 4x4 mimo menggunakan dielektrik termodifikasi pada frekuensi 1800 mhz," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. Vol. 11,

no. 1, 2020, pp.620-624.

- [5] I. Krisnadi, F. Febriyandi, A. F. Kebijakan, and D. Perencanaan, "Rekomendasi ITU Pada Alokasi Spektrum 5G di Indonesia Related papers."
- [6] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons., USA: John wiley & Sons, 2015.
- [7] Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution).," *SETRUM*, vol. 1, no. 1, pp. 41-45, 2012.
- [8] Y. Christyono, I. Santoso, and R. D. Cahyo, "Perancangan antena mikrostrip array pada frekuensi 850 MHz," *Transmisi*, vol. 18, no. 2, pp. 87-95, 2016.
- [9] Syarifah Muthia Putri, "Analisis Antena Mikrostrip Fraktal Sierpinski Gasket," *J. Elektro dan Telekomun.*, vol. 4, pp. 55-61, 2018.
- [10] F. Rizqa, D. Arseno, and T. Yunita, "Analisis Dan Desain Antena Mikrostrip Untuk Komunikasi Satelit Pada Frekuensi Ka-Band," *AVITEC*, vol. 1, no. 2, Jan. 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i1.590.
- [11] 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.
- [12] S. N. Mastura Zainarry, S. J. Chen and C. Fumeaux, "A Pattern-Reconfigurable Single-Element Microstrip Antenna," 2018 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO), 2018, pp. 1-2, doi: 10.23919/RADIO.2018.8572360.
- [13] V. Y. Deshmukh and S. S. Chorage, "Review of Reconfigurable Antennas for Future Wireless Communication," *2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)*, 2020, pp. 28-33, doi: 10.1109/ESCI48226.2020.9167528.
- [14] N. O. Parchin, H. J. Basherlou, Y. I. A. Al-Yasir, A. M. Abdulkhaleq, and R. A. Abd-Alhameed, "Reconfigurable antennas: Switching techniques— a survey," *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 2. MDPI AG, Feb. 01, 2020. doi: 10.3390/electronics9020336.
- [15] M. F. Ismail, M. K. A. Rahim and H. A. Majid, "The Investigation of PIN diode switch on reconfigurable antenna," 2011 IEEE International RF & Microwave Conference, 2011, pp. 234-237, doi: 10.1109/RFM.2011.6168737.

# Perancangan Antena Dipol Portabel untuk Radar Frekuensi Tinggi

Dery Wahyu Aldio<sup>1</sup>, Iswandi<sup>2</sup>, Sigit Basuki Wibowo<sup>3</sup>

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, Indonesia, 55281

e-mail <sup>1</sup>derywahyu99@mail.ugm.ac.id, <sup>2</sup>iswandi@ugm.ac.id, <sup>3</sup>sigitbw@ugm.ac.id

**Abstract**— The high-frequency radar is a means for ocean surveillance, so it is demanded by a maritime country such as Indonesia. This radar works on the high-frequency (HF) band (3-30 MHz). The radar signal has 10-100 m of wavelength, which needs a large antenna dimension. This large antenna size causes a problem transporting it from one place to another during testing and installation. Therefore a portable antenna is required. This research aims to design a portable dipole antenna for HF radar implementation. The fabrication of the designed antenna shows a resonant frequency of 25.015 MHz, a return loss of -34.02 dB, and a bandwidth of 1.2 MHz. The repeated assemble-disassemble process tests the antenna portability, which shows the resonant frequency with 25.018 MHz mean and 0.058 MHz standard deviation and the return loss with -22.20 dB average and 1.5 dB standard deviation.

**Intisari**— Radar frekuensi tinggi merupakan piranti yang berguna untuk pengawasan wilayah laut sehingga sangat diperlukan dalam jumlah yang besar oleh negara maritim seperti Indonesia. Radar ini bekerja pada pita frekuensi HF (3-30 MHz) dengan panjang gelombang antara 10-100 m, sehingga memiliki dimensi antena yang relatif besar. Ukuran antena ini menimbulkan masalah ketika membawa antena dari satu tempat ke tempat lain dalam proses pengujian maupun pemasangan radar, maka diperlukan antena yang bersifat portabel. Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena dipol portabel yang dapat diimplementasikan pada radar HF. Hasil fabrikasi dari antena yang dirancang menunjukkan frekuensi resonansi sebesar 25,015 MHz dengan *return loss* sebesar -34,02 dB, serta *bandwidth* 1,2 MHz. Uji portabilitas melalui proses bongkar pasang antena secara berulang menunjukkan hasil rerata frekuensi resonansi 25,18 MHz dan standar deviasi 0,056 MHz, serta rerata *return loss* -22,20 dB dan standar deviasi 1,5 dB.

**Keywords**— radar frekuensi tinggi, antena radar, antena portabel, antena dipol.

## I. PENDAHULUAN

Radar frekuensi tinggi atau biasa disebut radar HF (*high frequency*) adalah salah satu teknologi yang sangat berguna untuk pengawasan wilayah laut suatu negara. Radar ini memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh radar jenis lain, yaitu sebagai radar OTH (*over the horizon*) dan sebagai radar oseanografi. Isyarat radar bekerja pada pita frekuensi HF antara 3-30 MHz dengan polarisasi vertikal yang dapat terganggu dengan permukaan air laut, sehingga isyarat dapat merambat

menyusuri permukaan laut. Jarak jangkauan radar HF dapat mencapai 200 mil laut atau 370 km sehingga bersesuaian dengan batas zona ekonomi eksklusif suatu negara [2].

Radar HF pada awalnya berfungsi untuk sensor oseanografi untuk mengestimasi kondisi permukaan laut. Parameter kondisi laut yang dapat diukur antar lain arus permukaan laut, angin, dan spektrum gelombang laut [3]. Disamping itu, radar HF juga telah dikembangkan untuk mendeteksi kapal [1] dan berbagai benda pada atau dekat dengan permukaan laut seperti pesawat terbang rendah [4], gunung es [5], dan tumpahan minyak. Perkembangan terakhir, radar HF juga dikembangkan sebagai piranti deteksi dini tsunami [6]. Tsunami yang menyebabkan perubahan drastis pada arus permukaan laut dapat dikenali pada pola isyarat terima isyarat radar HF, sehingga memungkinkan mekanisme pendeteksian tsunami.

Di Indonesia, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) juga telah memasang radar HF di berbagai lokasi antara lain di selat Bali, Selat Sunda, dan Labuhan Bajo yang memiliki fungsi sebagai sensor oseanografi [7]. Radar HF yang berfungsi sebagai ujicoba pendeteksi tsunami juga dimiliki oleh BMKG yang terpasang di pantai Parangtritis, Yogyakarta dan pantai Kaburuhan, Purworejo [8]. Mengingat Indonesia merupakan negara maritim dengan wilayah laut yang luas maka membutuhkan radar HF dalam jumlah yang sangat banyak. Oleh karena itu diperlukan penelitian-penelitian dalam pengembangan radar HF, sehingga radar ini dapat diproduksi sendiri di dalam negeri.

Dalam penelitian radar HF, pengujian lapangan purwarupa dan pengumpulan data harus dilaksanakan di pantai sebagai lokasi pemasangan radar. Kendala yang dihadapi dalam pengujian lapangan antara lain adalah ukuran antena yang relatif panjang sehingga menyulitkan proses transportasi dan penyimpanan alat. Radar HF yang bekerja pada frekuensi 3-30 MHz memiliki panjang gelombang antara 10 – 100 m, sehingga ukuran antena juga bersesuaian dengan dimensi panjang gelombang tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang antena dengan bersifat portabel sehingga memudahkan dalam proses pengujian lapangan untuk penelitian radar HF.

Mengingat dimensi antena tunggal yang relatif besar, radar HF menggunakan larik antena linier untuk mengatur arah pancar antena [9]. Jenis elemen larik antena yang biasa digunakan adalah antena monopol dan dipol. Antena larik orthogonal juga digunakan oleh radar HF ringkas dengan menggunakan secara bersama antena monopol dan antena kalang-silang [10]. Penelitian ini mengembangkan

TABLE I. SPESIFIKASI RADAR FREKUENSI TINGGI

Deskripsi	Nilai
Frekuensi tengah ( $f_c$ )	25 MHz
Panjang gelombang ( $\lambda$ )	11,99 m
Bandwidth	100 kHz
Polarisasi gelombang	vertikal

antena dipol sebagai elemen dari larik antenna untuk radar HF sesuai dengan penelitian radar yang dilakukan.

## II. PERANCANGAN ANTENA PORTABEL

Penelitian ini bertujuan untuk merancang antenna dipol portabel sebagai elemen dari larik antenna pada radar HF. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi radar yang terkait dengan antenna yang dirancang.

### A. Pemilihan material antenna

Material antenna harus diketahui terlebih dahulu sebelum dilakukan simulasi untuk menentukan bentuk dan dimensi antenna. Jenis material yang digunakan dipilih berdasarkan karakteristik material yang dibutuhkan serta memiliki ketersediaan yang cukup sebagai bahan baku fabrikasi antenna. Hal-hal yang diperhatikan dalam memilih material pada perancangan ini adalah:

- antenna digunakan pada daerah pantai sehingga perlu konduktor yang tidak mudah korosi,
- antenna digunakan pada daerah dengan tiupan angin yang kuat sehingga perlu penopang yang cukup kuat,
- adanya konduktor dapat menyebabkan perubahan karakteristik antenna, sehingga perlu meminimalisir adanya konduktor selain konduktor antenna,
- material yang digunakan tersedia secara mudah di pasaran dengan harga yang relatif tidak mahal.

Dengan pertimbangan tersebut maka radiator antenna dibuat dari bahan aluminium sedangkan penopang antenna menggunakan perpaduan antara pipa pvc (*polyvinil chloride*) dan pipa besi.

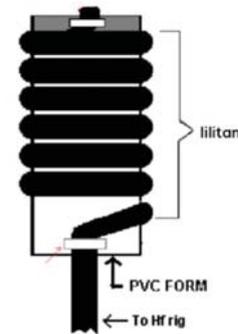
### B. Perancangan antenna dipol

Antenna yang dirancang sebagai pemancar atau penerima pada radar yang berkerja pada frekuensi ( $f_c$ ) 25 MHz atau memiliki panjang gelombang ( $\lambda$ ) 11,99 m. Panjang elemen antenna dipol ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$l_d = \frac{\lambda v}{2} = \frac{cvk}{f_c} \quad (1)$$

dengan  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s adalah cepat rambat gelombang elektromagnetik pada ruang hampa dan  $v$  adalah faktor kecepatan gelombang pada material antenna. Sedangkan  $k$  adalah faktor pengaturan (*adjustment factor*). Faktor ini berguna untuk menyesuaikan dengan jenis material dan penampang bahan pembuatan antenna. Faktor pengaturan dihitung menggunakan persamaan:

$$K = A + \frac{B-A}{(1 + (\frac{R_L/d}{C})^D)^E} \quad (2)$$



Gambar 1. Skematik ugly balun.

dengan  $R_L = \lambda/2,54$  adalah panjang gelombang dalam satuan inci,  $d$  adalah diameter penampang melintang elemen antenna. Sedangkan parameter A, B, C, D, dan E adalah konstanta yang masing-masing memiliki nilai 0,978011, -10,88627, 0,0004490702, -1,792529, dan 0,3004597 [11].

Pada penelitian ini digunakan  $v = 0,95$  sebagai nilai yang biasa digunakan pada perancangan antenna dipol. Berdasarkan persamaan (1), panjang elemen antenna dipol adalah 5,7 m.

### C. Perancangan ugly balun

Untuk meningkatkan kesesuaian impedans antara antenna dan saluran transmisi maka ditambahkan balun (*balance-unbalance*). Pada rancangan ini gunakan balun yang terbuat dari lilitan kabel transmisi yang disebut *ugly balun*. Balun jenis ini merupakan alternatif dari balun 1:1 karena sesungguhnya *ugly balun* yang berfungsi mengeliminasi arus RF yang berasal dari luar kabel dengan menggunakan prinsip yang sama seperti RF *choke* [13]. Alasan digunakannya *ugly balun* adalah karena konstruksi yang sederhana serta biaya yang sangat murah. Gambar 1 menunjukkan konstruksi dari balun yang digunakan.

Perancangan balun dimulai dengan menghitung induktansi kabel transmisi yang dinyatakan dengan persamaan

$$L_{\mu H} = \frac{X_L}{2\pi f_c} \quad (3)$$

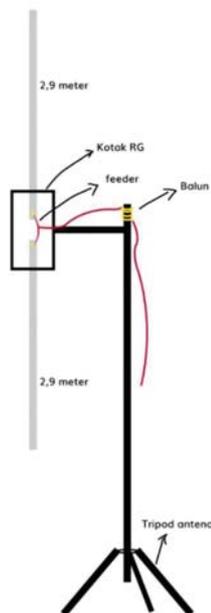
dengan  $X_L = 200 \Omega$  adalah nilai reaktansi induktif antenna yang ditentukan dengan nilai empat impedansi saluran transmisi. Selanjutnya jumlah lilitan dari balun dihitung dengan menggunakan persamaan

$$t^2 = L_{\mu H} \frac{(9r + 10l)}{r^2} \quad (4)$$

dengan  $r$  adalah jari-jari pipa yang digunakan untuk menggulung lilitan dinyatakan dalam inci dan  $l$  adalah panjang lilitan dalam inci [13].

Dari persamaan (3), nilai reaktansi induktif pada frekuensi kerja 25 MHz menghasilkan nilai sebesar 1,27  $\mu H$ . Hasil tersebut kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (4) untuk mendapatkan jumlah lilitan yang harus diberikan.

Dari hasil perhitungan dengan persamaan (3) dan (4) diperoleh hasil bahwa balun memiliki sejumlah 7 lilitan.



Gambar 2. Struktur antenna dan sarana pendukungnya.

#### D. Perancangan pendukung antenna

Konstruksi pendukung diperlukan untuk mendudukan antenna pada posisi yang diinginkan. Dalam hal perancangan antenna portabel, konstruksi pendukung harus dapat memungkinkan mekanisme bongkar pasang yang cepat dan mudah.

Gambar 2 menunjukkan rancangan antenna yang berada pada posisi piranti pendukungnya. Piranti pendukung terdiri dari kotak pelindung konektor antenna, penghubung antenna ke tiang antenna, dan tiang antenna.

### III. FABRIKASI DAN PENGUJIAN ANTENA

Hasil rancangan antenna dipol portabel kemudian difabrikasi dan dilakukan proses pengujian. Gambar 3 menunjukkan hasil fabrikasi dari bagian-bagian antenna serta konstruksi pendukungnya. Untuk memudahkan saat membawa antenna dari satu tempat ke tempat lain, batang elemen antenna dibagi menjadi dua bagian. Bagian ruas tengah memiliki panjang 155 cm dan ruas tepi memiliki panjang 140 cm. Tambahkan panjang 5 cm digunakan untuk proses penyambungan antara kedua ruas. Sebagai keterangan tambahan, kabel koaksial terdiri dari kabel pendek untuk menghubungkan batang antenna dengan balun serta kabel panjang untuk menghubungkan balun dengan perangkat yang terhubung dengan antenna.

Selanjutnya dilakukan proses pemasangan antenna dan bagian-bagiannya. Dengan penomoran bagian-bagian antenna seperti ditunjukkan pada Gambar 3, urutan pemasangan adalah sebagai berikut:

1. memasukan kedua ruas tengah batang antenna (1) ke dalam kotak *feeder* (2),
2. memasang kabel transmisi (5) pada ujung ruas tengah dari batang antenna yang terletak di dalam kotak *feeder*,



Gambar 3. Bagian-bagian hasil fabrikasi antenna dan sarana pendukungnya: (1) elemen antenna, (2) kotak *feeder* dan tiang antenna (3) tripod (4) balun, dan (5) kabel transmisi.

3. Mesang ruang tepi pada ujung luar ruas dalam antenna dan mengencangkannya dengan klem agar tidak mudah tergeser,
4. menghubungkan balun (4) pada kabel transmisi yang sudah dipasang pada kotak *feeder*,
5. menghubungkan kabel koaksial (5) dengan balun,
6. menyusun segmen-segmen penopang antenna (2),
7. memasang antenna yang sudah rakit pada penopang kaki tiga (*tripod*).

Hasil proses pemasangan antenna secara utuh ditunjukkan pada Gambar 4 yang siap untuk digunakan. Untuk proses pembongkaran antenna dilakukan dengan urutan dari proses pemasangan.

Selanjutnya, untuk mengetahui kinerja antenna maka dilakukan serangkaian pengujian yang terdiri dari:

- Pengujian tanpa balun,
- Pengujian dengan balun, dan
- Pengujian pengaruh bongkar pasang antenna.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *vector network analyzer* (VNA) untuk mengukur rugi-rugi pantulan (*return loss*) dan *voltage standing wave ratio* (VSWR). Pengujian dilakukan di ruang terbuka mengingat dimensi antenna yang relatif besar.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan antenna dipol portabel telah berhasil difabrikasi. Selanjutnya dilakukan serangkaian pengujian untuk mengukur kinerja antenna. Seluruh proses pengujian dilakukan pada ruang terbuka yaitu lapangan untuk mengurangi pengaruh pantulan dari benda-benda di sekitar antenna. Kondisi lingkungan sekitar pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Antena dipol portabel dalam kondisi terpasang.

#### A. Pengujian antena tanpa balun

Pengujian tanpa balun dilakukan dengan mengukur rugi-rugi pantulan dan VSWR dengan menggunakan VNA. Rentang frekuensi pengamatan adalah 20-30 MHz. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 5.

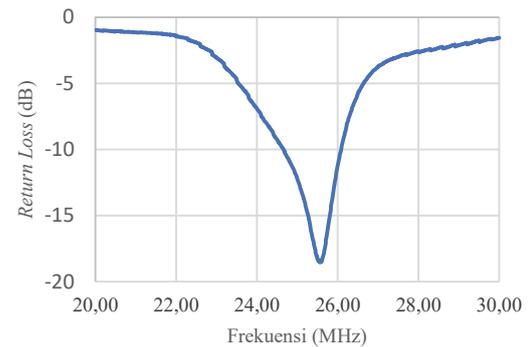
Hasil pengukuran rugi-rugi pantulan dan VSWR pada Gambar 5a dan 5b menunjukkan frekuensi resonansi antena adalah 25,61 MHz. Hasil ini sangat dekat dengan frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 25 MHz.

Nilai batas maksimal rugi-rugi pantulan dari antena agar dapat berfungsi baik adalah sebesar -10 dB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena dapat bekerja dengan baik pada rentang frekuensi antara 24,65 MHz sampai dengan 26 MHz. Dengan total *bandwidth* sebesar 1,65 MHz maka antena telah melebihi dari *bandwidth* yang dibutuhkan oleh radar sebesar 100 kHz.

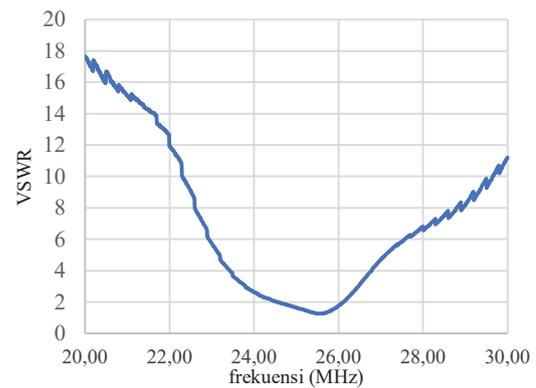
#### B. Pengujian antena dengan Balun

Pengujian selanjutnya bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan balun pada kinerja antena. Hasil pengujian dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa balun dan ditunjukkan oleh Gambar 6.

Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5 meliputi parameter rugi-rugi pantulan (*return loss*) dan VSWR masing-masing pada Gambar 5a dan 5b. Pengamatan dari rugi-rugi pantulan menunjukkan antena memiliki rugi-rugi terendah pada frekuensi 25,015 MHz. Rentang frekuensi dengan rugi-rugi pantulan di bawah -10 dB



(a)



(b)

Gambar 5 Hasil pengujian antena tanpa balun.

adalah antara 24,46 sampai dengan 25,66 MHz yang didapat frekuensi tinggi sebesar 25,66 MHz dan frekuensi rendahnya sebesar 24,46 MHz atau menunjukkan *bandwidth* sebesar 1,2 MHz.

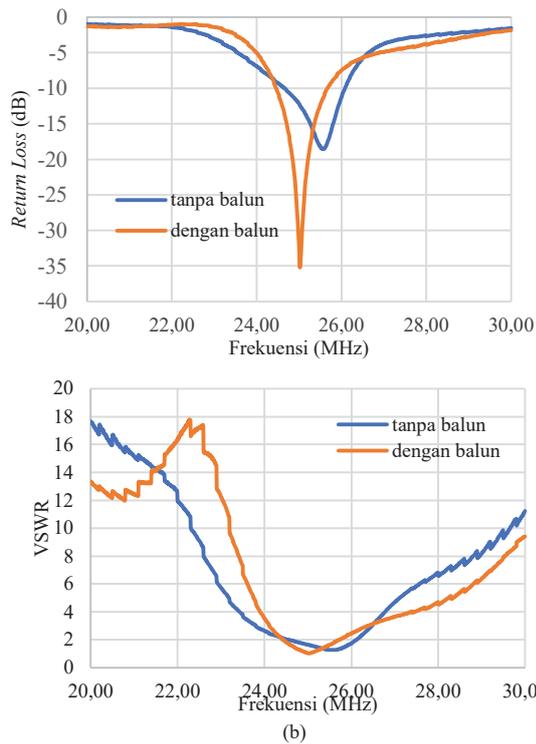
Jika dibandingkan dengan pengukuran tanpa balun, maka penambahan balun menyebabkan perbaikan frekuensi resonansi yang lebih mendekati pada frekuensi yang diinginkan yaitu 25 MHz.

Penambahan balun juga mengubah *bandwidth* antena dari 1,65 MHz menjadi 1,2 MHz. Sedangkan *bandwidth* radar yang dibutuhkan adalah 100 kHz sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Oleh karena itu, antena berfungsi dengan lebih baik pada frekuensi kerja karena memiliki rugi-rugi pantulan yang lebih rendah.

#### C. Pengujian pengaruh bongkar pasang antena

Tujuan utama dari perancangan ini adalah pembuatan antena yang bersifat portabel yaitu dapat dibongkar-pasang secara mudah dan tidak mengubah karakteristik dari antena. Oleh karena itu, pengujian selanjutnya adalah uji bongkar-pasang antena sebanyak 10 kali perulangan dan melakukan pengukuran karakteristik antena untuk setiap pemasangan.

Hasil pengukuran rugi-rugi pantulan dan VSWR untuk 10 kali pengukuran yang dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 5a dan 5b. Nilai hasil pengukuran kedua parameter menunjukkan perubahan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan tingkat presisi hasil pengujian yang diperoleh.



Gambar 5 Hasil pengujian antenna dengan balun.

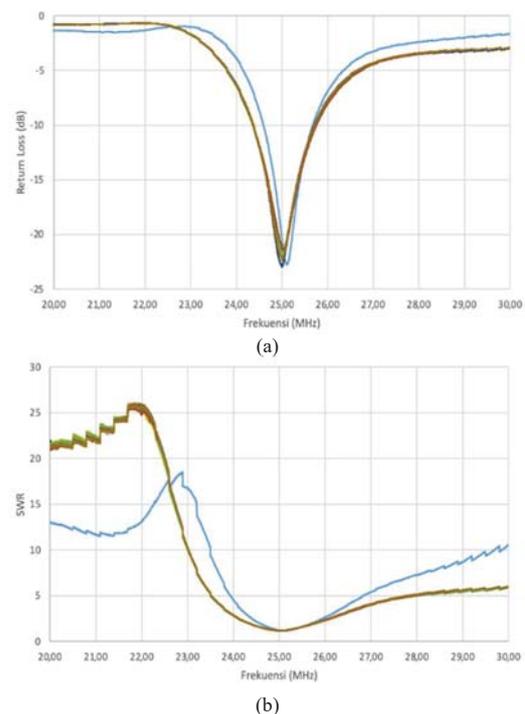
Analisis statistik dari rugi-rugi pantulan menunjukkan nilai rerata frekuensi sebesar 25,018 MHz dengan standar deviasinya bernilai 0,056 MHz. Nilai rugi-rugi pantulan minimum memiliki rerata sebesar 22,20 dB dengan standar deviasinya bernilai 1,5 dB. Sementara itu, nilai SWR pada frekuensi resonansi menunjukkan SWR memiliki nilai rerata sebesar 1,16 dengan standar deviasinya bernilai 0,11. Hal ini membuktikan dari proses bongkar-pasang antenna selalu menghasilkan antenna dengan fungsi yang optimal pada frekuensi kerja radar yaitu 25 MHz.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun purwarupa antenna dipol portable untuk elemen larik antenna pada radar frekuensi tinggi. Antenna dilengkapi dengan balun serta sistem pendukung yang memungkinkan antenna dibongkar-pasang secara mudah dan cepat tanpa mengubah karakteristik antenna. Pengujian dari purwarupa antenna yang dirancang menunjukkan frekuensi resonansi sebesar 25,015 MHz dengan *return loss* sebesar -34,02 dB, serta *bandwidth* 1,2 MHz. Uji portabilitas melalui proses bongkar pasang antenna secara berulang menunjukkan hasil rerata [1]ta frekuensi resonansi 25,18 MHz dan standar deviasi 0.056 MHz, serta rerata *return loss* -22,20 dB dan standar deviasi 1,5 dB.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Cai, H. Zhou, W. Huang, and B. Wen, "Ship Detection and Direction Finding Based on Time-Frequency Analysis for Compact HF Radar," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 18, no. 1, pp. 72–76, 2021, doi: 10.1109/LGRS.2020.2967387.
- [2] S. Maresca, P. Braca, J. Horstmann, and R. Grasso, "Maritime Surveillance Using Multiple High-Frequency Surface-Wave Radars," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 52, no. 8, pp.



Gambar 6 Hasil pengukuran antenna dengan proses bongkar-pasang secara berulang sebanyak 10 kali.

- 5056–5071, 2014.
- [3] S. Fujii *et al.*, "An overview of developments and applications of oceanographic radar networks in Asia and Oceania countries," *Ocean Sci. J.*, vol. 48, no. 1, pp. 69–97, 2013, doi: 10.1007/s12601-013-0007-0.
- [4] K. Zhao, G. Zhou, C. Yu, and T. Quan, "Target flying mode identification and altitude estimation in Bistatic T/R-R HFSWR," in *FUSION 2014 - 17th International Conference on Information Fusion*, 2014, pp. 1–8.
- [5] K. Laws, J. Vesecky, and J. D. Paduan, "High frequency radar for coastal marine monitoring of currents and vessels," in *International Waterside Security Conference (WSS 2010)*, 2010, pp. 1–5, doi: 10.1109/WSSC.2010.5730257.
- [6] Iswandi, R. Hidayat, B. Setiyanto, and S. B. Wibowo, "Study on Detection Mechanism of HF Radar for Early Tsunami Detection and Comparison to Other Tsunami Sensors," 2019, doi: 10.1109/ICITEED.2019.8929984.
- [7] BMKG, "HF Radar Data Viewer." <https://maritim.bmkg.go.id/radar> (accessed Aug. 08, 2022).
- [8] R. Suryandika, "BMKG Bangun Radar Tsunami di DIY dan Jateng." <https://www.republika.co.id/berita/px6rz6335/bmkg-bangun-radar-tsunami-di-diy-dan-jateng> (accessed Aug. 08, 2022).
- [9] W. Wang and E. W. Gill, "Evaluation of beamforming and direction finding for a phased array HF ocean current radar," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 33, no. 12, pp. 2599–2613, 2016, doi: 10.1175/JTECH-D-15-0181.1.
- [10] K. Wang, P. Zhang, J. Niu, W. Sun, L. Zhao, and Y. Ji, "A performance evaluation scheme for multiple object tracking with HFSWR," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 6, pp. 1–20, 2019, doi: 10.3390/s19061393.
- [11] Y. Christiyono, I. Santoso, and B. Setiawan, "PERANCANGAN ANTENA 5/8λ BERPOLARISASI CIRCULAR PADA BAND VHF (30-300 MHz)," *Transmisi*, vol. 11, no. 1, pp. 53–59, 2009.
- [12] TranslatorCafe.com, "Dipole Antenna Calculator."
- [13] J. Portune, "Designing Coiled Coax Ugly Baluns," *ARRL The National Association for Amateur Radio*.
- [14] C. A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*, 4th ed. United State of America: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2016.

# Implementasi *Automatic Identification System (AIS) Receiver* Terrestrial untuk Pemantauan Kapal

Wellem Obed Sineri<sup>1\*</sup>, Farid Armin<sup>2</sup>, Astriany Noer<sup>3</sup>, Rumadi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Balai Kendali Satelit, Pengamatan Antariksa dan Atmosfer, dan Penginderaan Jauh Biak

<sup>4</sup>Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Sumedang

Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi, BRIN

\*e-mail : [wellem.obed.sineri@brin.go.id](mailto:wellem.obed.sineri@brin.go.id)

**Abstract**—With great potential in marine and fishery resources, Biak has become the Development Center for Integrated Marine and Fisheries (PSKPT). In addition, Biak is also a liaison between regions in Papua. Therefore, it is necessary to monitor the Biak waters. Some ships are equipped with an Automatic Identification System (AIS) Transceiver, which functions to transmit signals containing information such as ship ID, ship speed, ship position, and ship steering direction. By utilizing the AIS Transceiver on the ship, we can receive information from the ship. In this study, the authors implemented a terrestrial AIS Receiver at the Center for Satellite Control, Space and Atmospheric Observations, and Biak Remote Sensing. Through this system, we can monitor all ships around the Biak waters area and know the path of each passing ship.

**Keywords**-AIS Receiver; ships; terrestrial;

**Abstrak**—Dengan potensi yang besar pada sumber daya kelautan dan perikanan, Biak dijadikan sebagai Pembangunan Sentra Kelautan dan Perikanan Terpadu (PSKPT). Selain itu, Biak juga menjadi penghubung antara daerah-daerah di Papua. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan pada wilayah perairan Biak. Pada kapal tertentu di lengkapi dengan *Automatic Identification System (AIS) Transceiver* yang berfungsi untuk memancarkan sinyal yang berisi informasi seperti ID kapal, kecepatan kapal, posisi kapal, dan arah kemudi kapal. Dengan memanfaatkan AIS *Transceiver* pada kapal maka kita dapat menerima informasi dari kapal tersebut. Dalam penelitian ini penulis mengimplementasikan AIS *Receiver* terrestrial di Balai Kendali Satelit, Pengamatan Antariksa dan Atmosfer, dan Penginderaan Jauh Biak. Melalui sistem ini, kita dapat memantau semua kapal di sekitar wilayah perairan Biak dan mengetahui jalur setiap kapal yang lewat.

**Kata kunci**-AIS receiver; kapal; terrestrial;

## I. PENDAHULUAN

Potensi yang dimiliki daerah Biak meliputi bagian perikanan budidaya, perikanan tangkap, pengolahan hasil perikanan dan pariwisata [1]. Pemanfaatan sumber daya pada Kawasan Pesisir dan Pulau-pulau Kecil (KP3K) daerah Biak untuk aspek perikanan tangkap masih tergolong berkelanjutan kecuali pariwisata dan perikanan budidaya [2]. Melalui Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 51 tahun 2016, daerah Biak ditetapkan sebagai Pembangunan Sentra Kelautan dan Perikanan Terpadu (PSKPT) di kawasan perbatasan dan pulau-pulau kecil. Dengan posisinya yang strategis, daerah Biak menjadi penghubung daerah-daerah di Papua dengan daerah lainnya hingga tingkat

internasional [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pemantauan di wilayah perairan Biak.

AIS merupakan sistem pelacakan pada kapal yang menggunakan transponder untuk memberikan informasi kepada kapal terdekat, stasiun *Vessel Traffic Services (VTS)* dan satelit. Informasi yang diberikan berupa data statis, data dinamis dan data pelayaran [4]. Penelitian sebelumnya, telah di implementasikan sistem pemantauan lalu lintas kapal yang mengintegrasikan data yang diperoleh dari transponder AIS dan sensor radar [5-6]. Dengan sistem yang lebih kompleks maka lebih cocok digunakan untuk pelabuhan yang sangat padat. Lalu ada juga sistem pemantauan kapal yang memanfaatkan satelit sebagai stasiun penerima data AIS [7-8]. Meskipun akan ada *delay* karena proses *uplink* dan *downlink* dari satelit, dari analisis data AIS LAPAN-A2 dan LAPAN-A3 maka dibutuhkan 8 satelit konstelasi agar pemantauan kapal mendekati *real time* [9].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk pemantauan kapal yang berada di wilayah perairan Biak dengan menggunakan AIS *Receiver* terrestrial. Dengan memanfaatkan AIS *transceiver* yang terpasang di kapal, kita dapat memantau kapal yang sedang beroperasi secara *real time*. Dengan informasi yang diperoleh kita dapat melihat pergerakan kapal, manajemen lalu lintas kapal dan keselamatan maritim.

## II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dibutuhkan perlengkapan untuk mendukung implementasi dari sistem yang ingin dibuat. Adapun perlengkapan yang diperlukan yaitu :

### A. AIS Receiver

AIS *Receiver* dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk pemantauan pelabuhan dan pesisir, solusi manajemen kapal, serta hanya untuk menerima data AIS untuk kesenangan atau hobi sendiri. R200U merupakan *dual channel AIS Receiver*, dengan *output National Marine Electronics Association (NMEA)-0183* dan *Universal Serial Bus (USB)*. Pada Gambar 1 menunjukkan AIS *Receiver* R200U yang dapat membaca dan menerjemahkan semua pesan AIS yang dikirimkan oleh transponder AIS kelas A dan B [10].



Gambar 1. AIS Receiver

### B. Antena Monopol

Antena *monopole* merupakan setengah dari antena *dipole* yang dipasang di atas bidang pertanahan (*ground plane*). Jika bidang pertanahannya cukup besar maka antena *monopole* akan bekerja seperti antena *dipole* karena bidang pertanahan akan menggantikan peran dari setengah antena *dipole* yang lainnya. Dimensi fisik antena *monopole* tergantung operasi frekuensinya, semakin tinggi frekuensinya maka semakin pendek panjang fisik antenanya [11]. Antena *monopole* yang ada di Balai Biak, terletak pada *latitude* -1.177810 dan *longitude* 136.101740.

### C. Layar Monitor

Layar monitor digunakan untuk melihat kapal yang diterima oleh *receiver* di wilayah perairan Biak Numfor yang masih terjangkau antena *Monopole*. Untuk pemantauan ini dibutuhkan Laptop atau Komputer yang terhubung dengan *receiver*

Rancangan sistem ini terdiri dari 3 bagian utama, yaitu antena, AIS *Receiver* dan Monitor. AIS *Receiver* menerima informasi data AIS kelas A dan kelas B yang terjangkau oleh antena. Kemudian informasi yang diterima akan ditampilkan pada layar monitor berdasarkan waktu sebenarnya.

Posisi antena harus dapat menjangkau area perairan yang ingin dipantau. Sehingga dalam menentukan letak antena harus disesuaikan dengan kemampuan jangkauan antena dan area pengamatan. Jenis konektor RF harus sesuai dengan *receiver* yang digunakan. Untuk memastikan kabel dan konektor RF berfungsi dengan baik, maka kita harus melakukan pengetesan dengan menggunakan multimeter.

Perangkat lunak pendukung harus sudah terinstal terlebih dahulu pada komputer agar dapat menampilkan data AIS yang tersimpan di basis data pada layar monitor.

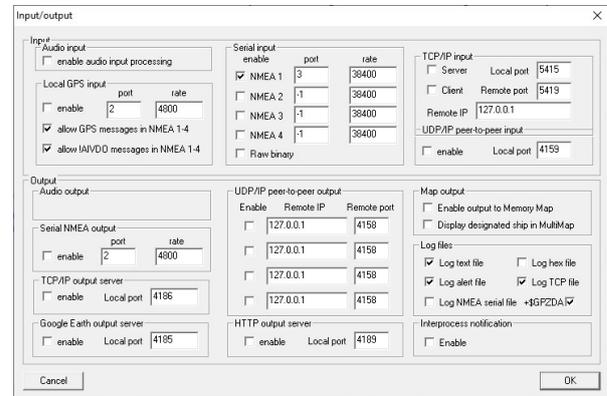
Pada Gambar 2 menunjukkan perancangan sistem yang akan digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. Rancangan Sistem

Setelah semua perangkat terpasang maka kita harus melakukan konfigurasi antara perangkat lunak yang digunakan dengan AIS *receiver*. *Receiver* R200U memiliki satu *output* NMEA-0183 pada 38.400 baud dan satu *input* NMEA pada 4.800 baud. *Output* NMEA diatur

ke 38.400 baud dan terhubung ke *ShipPlotter (Software)* sesuai dengan data AIS yang diterima [10]. Pada input serial, *software* ini dapat menerjemahkan (*decode*) pesan yang diterima dari AIS *Receiver* menggunakan format serial NMEA dan *output* serial dapat menampilkan pesan yang di demodulasi menggunakan format serial NMEA juga. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan konfigurasi perangkat dengan perangkat lunak yang digunakan.



Gambar 3. Konfigurasi Perangkat

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data AIS yang ditampilkan pada monitor adalah AIS kelas A dan AIS kelas B. AIS kelas A menggunakan frekuensi 161,975 MHz dan AIS kelas B menggunakan frekuensi 162,025 MHz sesuai dengan regulasi *International Maritime Organization (IMO)*. Pada Gambar 4 menunjukkan data AIS yang diterima dalam tampilan peta (*chart mode*) dengan mengambil tampilan peta Papua. Dalam tampilan peta, kita dapat melihat posisi dan identifikasi setiap kapal pada area peta. Pada peta terlihat beberapa kapal di antaranya *Mv. Oriental Jade*, *Spaceon01103*, *Merauke*, *Transkowalet*, *Professor Khromov* dan *Tanto Senang*. Melalui tampilan radar, kita dapat menampilkan kapal pada garis melingkar yang berpusat pada posisi stasiun penerima.



Gambar 4. Tampilan Peta Perairan Biak

Jika kita klik kanan pada ikon kapal pada peta maka akan menampilkan semua data yang diterima tentang kapal yang dipilih seperti pada Gambar 5. Saat terhubung dengan internet, ada tombol "*Lookup*" yang akan mengakses basis data ITU dari *callsign* kapal untuk menemukan lebih banyak detail kapal tersebut.

Ship information

Ship mmsi: 525104010

Ship name: TRANSKOWALET

Call sign: YBYQ2  Flag

IMO number: 9821940

Registration: Indonesia

Status: restr.marv

Destination:

Eta at dest: \*\*\*00 24:00

Latitude: 1°11.149S

Longitude: 136° 4.488E

Heading: 102°

Course: 351.0°

Speed: 0.0kts

Length: 30m (forward 10m)

Beam: 8m (port 3m)

Draught: 3.8m

Type: Tug [A]

Range: 9999.0nm (retreating)

Bearing: 0°T

Date/time: 2019-10-16 04:38:06

Plot ship:  Never  Cond.  Always

Label ship:  Never  Cond.  Always

Gambar 5. Tampilan Detail Kapal

Dalam tampilan kapal (*ship mode*), kita dapat menampilkan setiap pesan yang diterjemahkan dalam bahasa biasa (*plain text*) seperti pada Tabel 1. Setiap baris mewakili masing-masing kapal yang berisi nomor MMSI kapal, nama, *callsign*, nomor IMO, posisi terakhir kapal, status, tujuan dan lain sebagainya. Dari data yang diperoleh kita dapat mengecek kebenaran informasi kapal melalui *database* kapal yang terdaftar pada Direktorat Jenderal Pengawasan dan Pengendalian Sumber daya Kelautan dan Perikanan (Ditjen PSDKP).

TABEL 1. DAFTAR KAPAL DI PERAIRAN BIAK

MMSI	Nama Kapal	CallSign	IMO
525104010	TRANSKOWALET	YBYQ2	9821940
525006322	TB.WGM201	YDB4801	0000000
202811090	SAFARI 8	YB.5275	0000000
319117400	TWIZZLE	ZGGQ8	1010363
525107007	GANDA WATI 1	YBVH2	9214044
525005319	HIJAU SEJUK	75	
Umum	53	75	

Dari *file log* data AIS, kita bisa melihat jalur yang biasa dilewati oleh setiap kapal. Pada Gambar 6 menunjukkan jalur yang biasa dilewati oleh Kapal *Transkowalet*. Jalur yang biasa dilewati oleh setiap kapal akan kita jadikan acuan saat memantau pergerakan kapal yang ada di wilayah perairan Biak Numfor. Bila ada kapal yang lintasan atau jalurnya tidak sesuai atau pergerakannya mencurigakan maka kita harus mengecek kondisi kapal tersebut.



Gambar 6. Salah satu Jalur Kapal di Perairan Biak

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini kita telah mengimplementasikan AIS *Receiver* terrestrial di Balai Biak. Sistem ini sudah menjangkau salah satu bagian wilayah perairan Biak Numfor, khususnya bagian Selatan. Dengan menggunakan data AIS yang diterima oleh *receiver*, kita dapat melihat jalur atau lintasan setiap kapal. Sehingga kita dapat memantau pergerakan kapal di perairan tersebut sesuai dengan jalurnya masing-masing. Implementasi dari AIS *Receiver* terrestrial ini diharapkan dapat berguna untuk mendukung program PSKPT dan letak strategis Biak sebagai penghubung daerah-daerah di Papua melalui perairan, khususnya untuk keamanan navigasi dan manajemen lalu lintas kapal laut.

#### REFERENSI

- [1] \_\_\_\_, Review Masterplan dan Bisnisplan Pembangunan Sentra Kelautan dan Perikanan Terpadu (SKPT) Kabupaten Biak Numfor, Direktorat Jenderal PDSKPK Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2017
- [2] Sutaman, "Strategi Keberlanjutan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Wisata Bahari Pada Kawasan Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Kabupaten Biak Numfor", Retrieved from IPB Repository Dissertations and Theses, 2017.
- [3] H. Romdiato, Mujiyani, Z. Fatoni, Fitrianita, "Kondisi Sosial-Ekonomi Masyarakat di Lokasi COREMAP II : Kasus Kabupaten Biak Numfor", Jakarta: CRITC-LIPI, 2007
- [4] \_\_\_\_, "Recommendation ITU-R M.1371-5: Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band", Geneva : International Telecommunication Union, ITU-R, 2014.
- [5] Cope, Samantha, Ellen Hines, Roger Bland, Jerry D. Davis, Brendan Tougher and Virgil E. Zetterlind., "Application of a New Shore-Based Vessel Traffic Monitoring System Within San Francisco Bay." *Frontiers in Marine Science*, 2020.
- [6] Shui-Kai Chang, "Application of a vessel monitoring system to advance sustainable fisheries management—Benefits received in Taiwan", *Marine Policy*, Volume 35, Issue 2, 2011, Pages 116-121, ISSN 0308-597X, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.08.009>.
- [7] S. Shimizu, J. Ishizawa, H. Sakamoto and K. Nakamura, "Ship Monitoring in Japan Using Sar, Ais and Earth Observation Satellites," *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2019, pp. 4731-4733, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8897952.
- [8] M. A. Saifudin, A. Karim and Mujtahid, "LAPAN-A4 Concept and Design for Earth Observation and Maritime Monitoring Missions," 2018 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICARES.2018.8547143.

- [9] Mukhayadi, Mohammad, Abdul Karim, Wahyudi Hasbi and Rizki Permala. "Designing a constellation for AIS mission based on data acquisition of LAPAN-A2 and LAPAN-A3 satellites." TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control), 2019
- [10] \_\_\_\_\_. "User Manual R200U: SKU 001-1034 AIS Dual Channel Parallel Receiver with NMEA 0183 in/out and USB", Comar Systems Ltd., 2018
- [11] Balanis, C. A., "Antenna Theory Analysis and Design (5th ed.)", Canada: John Willey & Sons, 2016

# Pengaturan Suhu Penyangrai Kopi Rumahan Bahan Bakar Gas Menggunakan Aktuator *Motorized Ball-Valve*

Enas Duhri Kusuma, Muhammad Ridhwan Habib Abdillah, Taqiyuddin Hammam, Prpto Nugroho  
 Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada  
 e-mail: enas@ugm.ac.id

**Abstract**—*Home-scale coffee roasting has inconsistencies in the results related to subjective estimation of operators. Each operator has his own standard of roasted coffee beans quality assessments. One reason of that inconsistency is manual fire setting to adjust the roasting temperature. Therefore, the solution offered in this paper is the automatic temperature control based on the gas valve opening. The valve will be controlled by an electric motor connected to an additional module in the form of a relay driver. This additional relay driver module is controlled with a microcontroller running PID controller method to adjust the ball valve opening on the gas line.*

**Keywords**—*coffee beans, coffee roaster, PID control, motorized ball valve*

**Abstract**—*Penyangraian kopi skala rumahan mempunyai ketidakkonsistenan dalam hasil penyangraian yang diakibatkan estimasi kematangan subjektif oleh operator. Setiap operator memiliki standar penilaian tersendiri dalam menilai kualitas biji kopi yang disangrai. Salah satu alasan ketidakkonsistenan ini adalah pengaturan besar kecilnya api secara manual untuk menentukan suhu penyangraian. Oleh karena itu, solusi yang ditawarkan pada makalah ini berupa pengendalian suhu secara otomatis berdasarkan bukaan katup gas yang akan dikendalikan oleh motor listrik yang terhubung ke modul tambahan berupa driver relay. Modul tambahan driver relay ini dikendalikan dengan mikrokontroler yang menjalankan pengendali PID untuk mengatur bukaan ball valve pada saluran gas.*

**Kata kunci**—*biji kopi, roaster kopi, kendali PID, motorized ball valve*

## I. PENGANTAR

Dalam proses penyangraian kopi, terdapat beberapa variabel yang menentukan kualitas hasil penyangraian kopi. Walaupun begitu, tidak semua penyangrai kopi faham mengenai patokan standar penyangraian kopi yang baik. Dibutuhkan pengalaman dengan waktu yang lama agar terbiasa dan menjadi ahli. Dalam melakukan penyangraian kopi, terdapat beberapa proses transmisi panas yakni radiasi, konduksi, dan konveksi pada biji kopi. Hal ini sangat memengaruhi grafik fase perubahan suhu kopi selama waktu pemanggangan atau yang biasa disebut dengan profil suhu kopi [1].

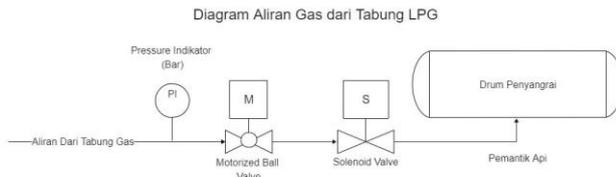
Proses roasting adalah salah satu langkah penting dalam mengubah green bean menjadi minuman kopi yang lezat. Proses ini timbul dari beberapa senyawa kimia pada saat proses roasting dimana banyak senyawa aromatik yang mudah menguap membuat tekstur biji kopi kering

dan rapuh sehingga terjadi penghancuran biji kopi dan dapat diekstraksi. Proses pemanasan kering pada kopi mencapai suhu relatif tinggi hingga 250 °C [1]. Penyangraian kopi adalah salah satu proses pascapanen yang berfungsi mengolah bahan baku dan mendapatkan cita rasa kopi. Pada proses penyangraian, kadar air biji kopi dikurangi sehingga sesuai SNI 8964:2021 yaitu maksimal 5% dari sebelum biji disangrai. Adapun sebelum penyangraian, sesuai SNI 01-2907:2008 kadar air biji kopi idealnya maksimal 12,5%. Profil suhu penyangraian sangat mempengaruhi hasil akhir yang diperoleh. Umumnya, hasil penyangraian dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu light roast, medium roast, dan dark roast [4]. Pengamatan proses sangria dapat dilakukan melalui tiga cara, yang pertama melalui aroma dari asap yang dihasilkan pada proses penyangraian, melalui suhu dari biji kopi saat proses penyangraian dan yang terakhir melalui warna biji kopi setelah proses penyangraian [4]. Proses penyangraian yang dapat dipantau dengan parameter suhu biji kopi membuat penulis melakukan penelitian ini. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengendalikan suhu biji kopi saat proses penyangraian sehingga dapat sama dengan grafik suhu biji kopi referensi.

Pada makalah ini disajikan sebuah solusi berupa modul tambahan atau *add-ons* pada mesin penyangrai kopi. Modul ini dirancang untuk memberikan kemudahan bagi para operator terutama yang awam berupa otomasi pengendalian suhu penyangrai dengan acuan profil suhu penyangraian kopi. Profil suhu tersebut telah teruji menghasilkan kualitas sangrai yang baik untuk biji kopi robusta. Profil suhu penyangraian kopi adalah sebuah garis atau kurva suhu terhadap waktu yang menjadi acuan suhu seharusnya pada mesin penyangrai yang sedang berjalan. Mesin penyangrai akan mengikuti suhu dari referensi yang telah ditetapkan dengan menggunakan kendali PID. Pada bagian umpan balik digunakan data pembacaan dari *thermocouple*[5] yang akan diumpan balik ke mikrokontroler untuk melalui pengolahan isyarat. Pengolahan isyarat dilakukan dengan perhitungan proporsional, integral, dan derivatif. Outputnya digunakan untuk memberi instruksi pada motor servo sebagai aktuator untuk mengendalikan katup gas LPG[6]. Dari situ diharapkan, besar kecilnya api dapat dikendalikan dan suhu penyangraian tetap terjaga mengikuti alur profil suhu penyangraian kopi yang telah ditetapkan.

## II. METODE

### A. Pengukuran Suhu, Pemantikan dan Pengaliran LPG



Gambar 1. Ilustrasi sistem secara garis besar

Ilustrasi aliran gas dari tabung ke kompor secara global ditunjukkan oleh Gambar 1. Pada mesin roaster kopi ini sudah terdapat *ignition control* HW-211 sebagai pemantik yang dipicu oleh *solenoid valve* yang memiliki prinsip kerja *switching on-off*. Pengendalian *on-off* saja menyebabkan grafik kendali suhu kurang halus, sehingga perlu ditambahkan aktuator berupa *motorized ball valve* untuk mengatasi grafik suhu kendali agar perubahan suhunya lebih halus. Gas yang mengalir dari LPG akan diatur keluarannya oleh *motorized ball valve*, selanjutnya gas akan melewati *solenoid valve* dan pemantik akan aktif sehingga api menyala. Fungsi *solenoid valve* adalah sebagai lintasan *bypass* sehingga *solenoid valve* dalam keadaan on dan sebagai *emergency stop* sewaktu-waktu ketika suhu sudah mencapai batas maksimum sehingga *solenoid valve* dapat ditutup. Adanya tambahan berupa *motorized ball valve* diharapkan dapat memperhalus kenaikan dan penurunan suhu menyesuaikan dengan referensi suhu yang sudah ada. Adapun pengukuran suhu aktual dilakukan menggunakan termokopel dengan modul MAX6675 [7,8]. Hasil pembacaan suhu ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai referensi suhu penyangraian yang diinginkan lalu selisih nilai dari keduanya akan menjadi masukan ke pengendali kemudian diproses oleh algoritma kendali untuk mengatur bukaan *ball valve*.

### B. Referensi Suhu dan Metode Tracking-nya

Grafik referensi suhu penyangraian kopi didapat dengan melakukan perekaman suhu roasting di suatu kedai kopi lalu dijadikan referensi untuk menghasilkan sangraian kopi yang baik. Hal ini dijadikan referensi tetap untuk jenis kopi tertentu dengan kualitas, bahan, dan dengan jumlah yang spesifik yang telah ditentukan sebagai batasan-batasan dari mesin roasting pada project ini. Grafik referensi suhu ini dipakai agar proses roasting biji kopi dapat menghasilkan produk dengan kualitas sangrai yang konsisten.

Pengembangan kendali PID berguna untuk mengurangi masalah pada proses roasting dengan kendali *hysteresis*[9,10] yang sering menghasilkan suhu melebihi dari referensi yang diinginkan. Respon dari metode kendali *hysteresis* ini relatif lambat sehingga akan mempengaruhi hasil penyangraian kopi. Oleh karenanya, bukaan katup gas perlu diatur sedemikian rupa agar dapat mengendalikan besar kecilnya api dan suhu penyangraian tetap pada grafik yang diinginkan.

### C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, dilakukan pembatasan masalah. Di antaranya, biji kopi yang digunakan berjenis *robusta*, dengan massa biji kopi 500 gram dan kadar air kurang lebih 12%.

Pembatasan berikutnya adalah terkait suhu maksimum yaitu 250 °C. Terdapat *solenoid valve* sebagai bagian *roaster* yang berfungsi sebagai *emergency stop valve* dan mematikan kompor ketika suhu melebihi 250 °C. Bukaan katup pada pengendalian *roaster* ini dibatasi dengan bukaan katup minimum dan maksimum. Selain itu, motor servo dibatasi dengan sudut menutup sebesar 40° dan pada sudut 0° *ball valve* akan terbuka.

### D. Metode Validasi Hasil

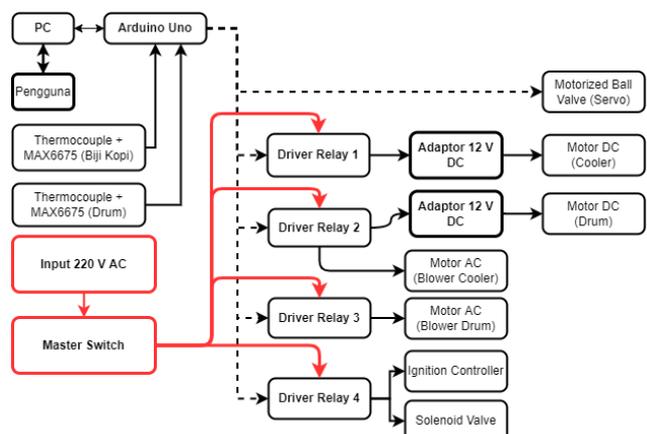
Pada makalah ini, akan dibahas pengendalian suhu roaster untuk mengikuti trajektori suhu yang diberikan. Untuk mengonfirmasi dan memvalidasi hasil pengendalian pada sistem ini, digunakan standar pengukuran berdasarkan galat antara suhu referensi dan suhu yang dihasilkan oleh sistem. Semakin kecil galat, semakin bagus unjuk kerja sistem.

## III. IMPLEMENTASI

### A. Perangkat Keras Secara Umum

Gambar 2 menunjukkan diagram blok implementasi perancangan hardware secara keseluruhan ke mesin roaster kopi. Terdapat dua buah sensor termokopel yang terhubung ke mikrokontroler (MCU) dalam *development board* Arduino Uno. Pada MCU tersebut, terdapat rutin untuk mengendalikan relay serta mengatur sudut bukaan *motorized ball valve*.

Selain itu monitoring suhu dan grafik dilakukan pada PC dengan menampilkan hasil dari pembacaan sensor dari Arduino. Aplikasi GUI yang digunakan disini berupa software *Coffee Roasto GUI* yang merupakan produk *capstone project* yang sudah ada sebelumnya, hanya saja pada penelitian kali ini dilakukan sedikit modifikasi tampilan dan menambah kendali aktuator servo serta indikator pilot lamp pada aplikasi.

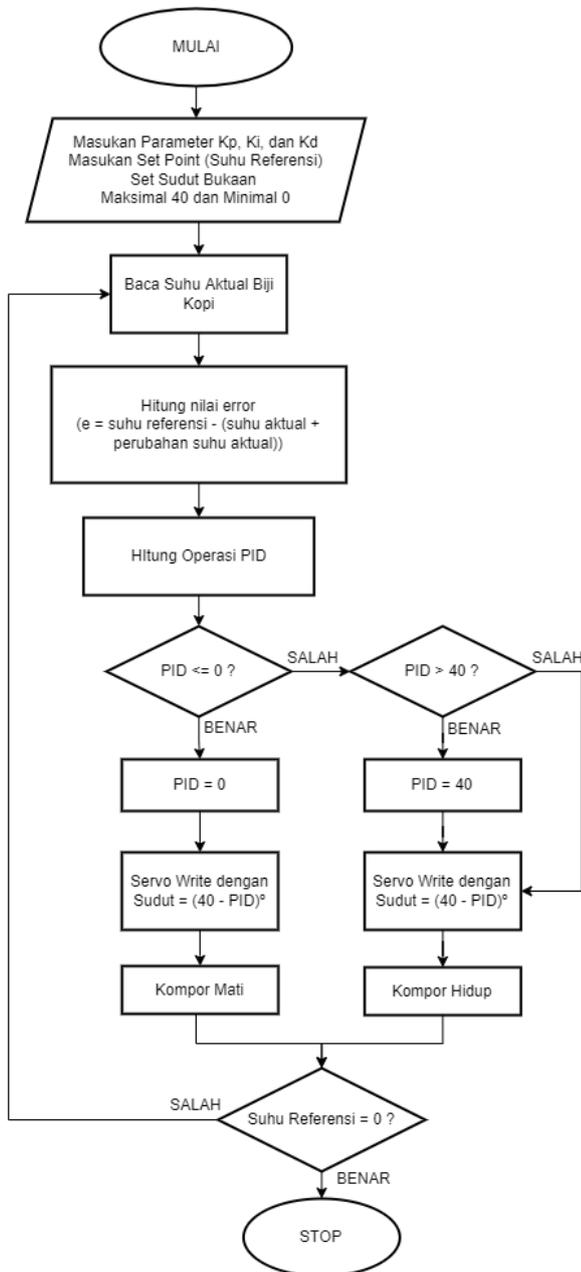


Gambar 2. Blok Diagram Hardware Keseluruhan

**B. Penerapan Algoritma Kendali**

Kendali PID pada penelitian ini mengendalikan bukaan *ball valve* dengan menggunakan motor servo sebagai pemutar *valve*. Bukaan *valve* ini berdasarkan sudut bukaan pada program kendali servo yang nilai sudutnya didapatkan dari hasil perhitungan PID [6].

Algoritma kendali diterapkan dalam gaya pemrograman Arduino [9,10,11,12]. Konstanta-konstanta PID yang didapatkan dari fitur *autotune* PID pada MATLAB dan digunakan pada *capstone project* ini yakni:  $K_p = 21.095$ ,  $K_i = 0.2$ , dan  $K_d = 30$ .



Gambar 3. Diagram alir algoritma pengendalian

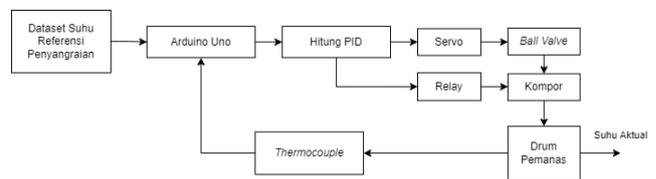
Motorized ball valve yang digunakan untuk penelitian ini, memiliki batasan sudut dari menutup secara penuh sampai membuka penuh. Jika posisi menutup secara

penuh adalah 0°, posisi membuka penuh adalah 40°. Untuk itu, servo yang digunakan adalah servo *custom*, bukan servo standar. Servo *custom*, selain memiliki torsi yang lebih besar untuk memutar *ball-valve*, juga bisa diatur untuk bekerja pada range sudut 0°- 40° saja dan tidak dapat melebihi itu. Rutin pengendalian digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 3. Pada perhitungan PID nilai error didapatkan dari selisih suhu referensi terhadap suhu aktual biji kopi ditambah nilai delta atau perubahan suhu saat ini terhadap suhu sebelumnya.

Ketika perhitungan error menghasilkan nilai positif maka nilai PID akan besar dengan batas maksimum 40 artinya suhu aktual masih kurang dari suhu referensi sehingga mikrokontroler akan memberikan perintah untuk membuka saluran *valve* dengan motor servo. Sedangkan, ketika perhitungan error berupa nilai negatif maka nilai PID akan kecil dan dibatasi sampai 0 artinya suhu aktual telah melebihi suhu referensi sehingga mikrokontroler akan memberikan perintah untuk menutup saluran *valve* dengan motor servo. Selain itu, hasil keluaran persamaan PID juga dijadikan patokan untuk pengendalian *on-off ignition control* pada kompor dan buka tutup *solenoid valve* dengan kondisi sebagai berikut:

- Jika keluaran dari perhitungan PID bernilai maksimum yakni 40 dan kondisi *state* kompor dalam keadaan *false* atau mati maka kompor akan dinyalakan dan *solenoid valve* akan membuka.
- Sedangkan jika keluaran perhitungan PID bernilai minimum yakni 0 dan kondisi *state* kompor dalam keadaan *true* atau nyala maka kompor akan mati dan *solenoid valve* akan menutup.

Pengendalian PID termodifikasi digunakan untuk mengurangi fluktuasi pada saat proses penyesuaian suhu, dan juga mengurangi efek *deadtime* yang ada pada mesin. Diagram sistem kendali yang diterapkan adalah seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram sistem kendali

Mikrokontroler pada rancangan ini, melakukan pembacaan termokopel untuk mengetahui suhu biji kopi. Suhu biji kopi tersebut akan jadi variabel untuk menjalankan algoritma PID, yang juga dieksekusi di mikrokontroler. Dari hasil PID, akan didapatkan nilai untuk diberikan ke servo pengatur laju gas, dan keadaan ON atau OFF relay.

**C. Perhitungan PID**

Algoritma PID yang dijalankan pada Arduino[8] dapat dinyatakan lewat urutan operasi pada Tabel 1. Pada

diagram alir pengendalian Gambar 3, algoritma PID terletak pada proses "Hitung PID".

Tabel 1. Realisasi Algoritma PID[11]

Step	Operasi
1	$\Delta_{Suhu} = Suhu\_Sekarang - Suhu\_Sebelumnya$
2	$Error(n) = Suhu\_Referensi - (Suhu\_Aktual + \Delta_{Suhu})$
3	$Error\_Sebelumnya = Error(n-1)$
4	$Selisih\_Error = Error(n) - Error\_Sebelumnya$
5	$Penjumlahan\_Error = Error(n) + Error\_Sebelumnya$
6	$Proporsional = Error * K_p$
7	$Integral = K_i * Penjumlahan\_Error$
8	$Derivatif = K_d * Selisih\_Error$
10	$PID = Proporsional + Integral + Derivatif$

$K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ , masing-masing adalah konstanta proporsional, integral, dan diferensial pada algoritma PID. Selain ketiga parameter tadi, objek-objek lain pada algoritma Tabel 1 adalah variabel-variabel bantu pengendalian. Ada yang berbentuk vektor, yaitu variabel Error dengan panjang sesuai jumlah pencuplikan, sedangkan variabel-variabel lain berbentuk skalar.

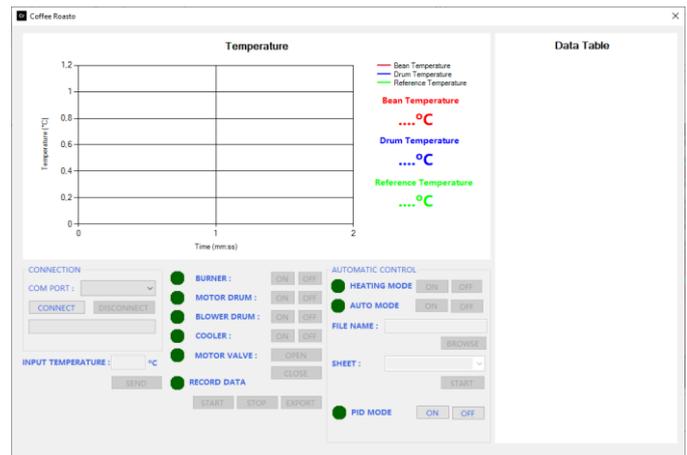
D. User Interface

Antarmuka aplikasi desktop *Coffee Roasto* terdiri dari satu halaman yang sudah mencakup semua fungsi dan fitur yang dibutuhkan pengguna. Diantaranya fitur untuk menampilkan data suhu kedalam grafik dan menampilkan data suhu referensi pada tabel. Fitur otomatis untuk proses *heating* dan penyangraian otomatis membuat pengguna dapat melakukan penyangraian secara otomatis berdasarkan suhu referensi yang dipilih pengguna. Fitur perekaman data untuk dijadikan suhu referensi dalam proses penyangraian otomatis dan fitur untuk mematikan atau menyalakan *burner*, *motor drum*, *blower drum*, *cooler* secara manual.

Kemudian Gambar 5 merupakan modifikasi *user interface* dilakukan dengan menambahkan fitur kendali PID Mode dengan cara memberikan *button on* dan *off* untuk memberikan isyarat masukan melalui komunikasi serial ke Arduino sehingga Arduino dapat menjalankan aktuator servo. Selain itu terdapat tambahan pilot lamp untuk motor valve sebagai indikator buka dan tutup dari ball valve.

Antarmuka pengguna ini berguna untuk menampilkan grafik trajektori suhu penyangraian, dan membandingkannya dengan suhu referensi. Di samping itu, antarmuka, sebagaimana namanya, berfungsi sebagai media interaksi antara pengguna dengan mesin *roaster* dan melakukan *setting* pada mesin tersebut.

IV. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

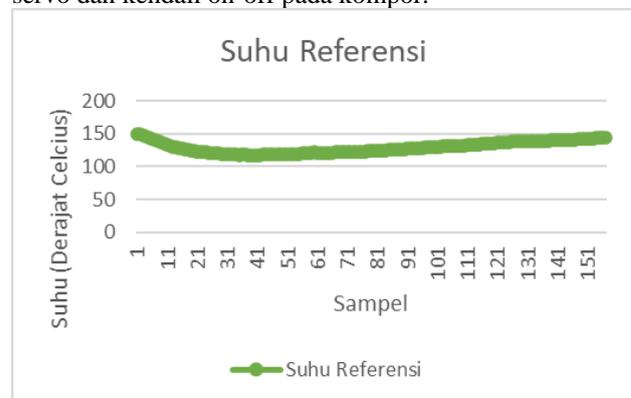


Gambar 5. Tampilan User Interface

A. Pengujian Sistem Kendali Suhu

Pengujian sistem kendali suhu pada mesin roaster dilakukan dengan cara melakukan roasting biji kopi secara otomatis menggunakan kendali PID. Kemudian, hasil pembacaan suhu dan suhu referensi diplot pada sebuah grafik. Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan modul kendali mampu melakukan pengendalian suhu sesuai dengan suhu referensi yang telah ditentukan melalui dataset selain itu dilakukan analisis persen error terhadap suhu referensi[13].

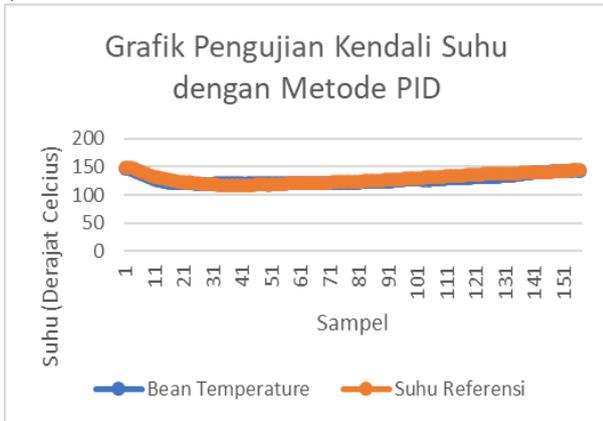
Suhu referensi yang dijadikan acuan merupakan suhu biji kopi yang diambil dengan mesin roaster secara manual. Gambar 6 merupakan grafik suhu referensi yang dijadikan acuan atau setpoint sistem kendali pada pengujian ini. Suhu referensi berupa file excel yang kemudian dimasukkan ke perangkat Arduino untuk kemudian menjadi input perhitungan PID bersama dengan hasil pembacaan suhu biji kopi aktual sehingga keluaran fungsi PID dapat menentukan sudut bukaan servo dan kendali on-off pada kompor.



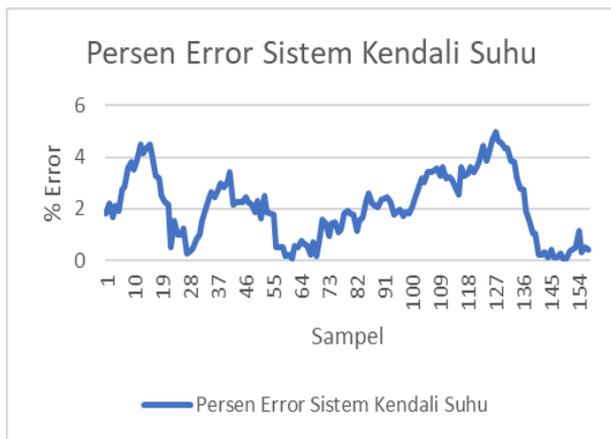
Gambar 6 Grafik Suhu Referensi

Metode pengujian dilakukan dengan membandingkan grafik suhu hasil penyangraian dengan suhu referensi. Gambar 7 menunjukkan hasil grafik suhu dari sistem kendali PID yang diuji. Gambar 8 menunjukkan persen error untuk masing-masing suhu pengujian dari grafik persen error dapat diketahui bahwa suhu biji kopi sudah berhasil dikendalikan agar selalu mengikuti suhu

referensi yang diinginkan dengan persen error paling tinggi sebesar 4,98 %, rata-rata selisih absolut sebesar 2,73 °C.



Gambar 7. Grafik Pengujian Kendali Suhu dengan Metode PID



Gambar 8. Persen Error Sistem Kendali Suhu

**B. Pengujian Warna Biji**

Pengujian warna biji kopi hasil penyangraian bertujuan untuk mengetahui apakah warna hasil penyangraian normal, merata dan tidak gosong. Uji warna dilakukan dengan menggunakan alat *colormeter* yang ditembakkan ke biji kopi hasil penyangraian.

Proses pengujian warna dengan alat ukur yaitu TES 135A *colormeter* seperti pada Gambar 9. Alat ini bekerja dengan mendeteksi warna dalam ruang warna CIELAB yang merupakan ruang warna 3 dimensi dengan L\*, a\* dan b\* merupakan sumbu-sumbunya. Hasil pembacaan pada colormeter L\* menyatakan gelap terang dari biji kopi, semakin besar nilai L\* maka semakin terang warna biji kopi dan semakin kecil angkanya maka semakin gelap warnanya. Range pembacaan untuk gelap hitam diwakili angka nol sedangkan untuk warna sangat terang (putih) diwakili oleh angka 100. Pembacaan a\* mewakili warna merah dan hijau, nilai a\* negatif mewakili hijau sedangkan a\* positif mewakili merah. Pembacaan b\* nilai negatif mewakili warna biru sedangkan nilai positif mewakili warna kuning.



Gambar 9. Pengujian Warna Biji Kopi Hasil Penyangraian dengan Colormeter

Proses pengukuran warna biji kopi dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 10 kali untuk masing-masing batch. Data pengukuran warna biji kopi hasil penyangraian dapat dilihat pada Tabel 5. 5., Tabel 5. 6., dan Tabel 5. 7. Perbedaan nilai yang kecil pada proses ini dikarenakan saat pengambilan data terdapat rongga-rongga kecil antar biji kopi yang menyebabkan bias pembacaan gelap sehingga dilakukan pengukuran sebanyak 10 kali untuk meminimalkan error dan diambil reratanya.

Berdasarkan data warna pada Tabel 2, Tabel 3, dan 4 dilakukan uji T yang bertujuan untuk mengetahui apakah warna biji kopi hasil penyangraian terdistribusi secara normal.

Tabel 2. Data Pengujian Warna Biji Kopi Sangrai Batch 1

L*	L* rata-rata	a*	a* rata-rata	b*	b* rata-rata
10,58	13,182 2	-9,74	-1,7722	2,562	0,4282
14,18		0,745		0,52	
15,2		-3,06		0,948	
14,77		-2,005		0,456	
15,57		-3,18		1,92	
11,69		0,505		-0,556	
11,45		0,79		-1,43	
13,73		-0,13		0,672	
11,47		0,125		-1,238	

Tabel 3. Data Pengujian Warna Biji Kopi Sangrai Batch 2

L*	L* rata-rata	a*	a* rata-rata	b*	b* rata-rata
18,52	18,8778	4,37	1,7917	5,962	6,7462
18,17		4,25		4,492	
18,76		1,77		9,656	
22,19		2,265		6,918	
18,23		1,43		8,02	
18,07		2,55		7,132	
19,19		0,875		5,988	
18,39		0,125		6,832	
18,38		-1,51		5,716	

Tabel 4. Data Pengujian Warna Biji Kopi Sangrai Batch 3

L*	L* rata-rata	a*	a* rata-rata	b*	b* rata-rata
16,68	18,206 7	2,525	2,6644	7,012	8,5913
17,8		2,765		7,06	
19,55		4,03		9,052	
16,96		2,37		9,574	
18,03		2		8,416	
18,45		2,875		8,188	
17,58		3,41		5,82	
19,11		2,4		10,11	
19,7		1,605		12,09	

Tabel 5. Hasil Uji Statistik Saphiro Warna Hasil Penyangraian

Uji Statistik Saphiro Wilk Warna Biji Kopi	Nilai Saviro Wilk	Kesimpulan
Keterangan	W (L*)	
Batch 1	0,8915	Normal
Batch 2	0,9046	Normal
Batch 3	0,9478	Normal

Uji normalitas dilakukan dengan uji Saphiro Wilk. Karena proses penyangraian berpengaruh signifikan terhadap nilai L\* (gelap-terang) maka uji normalitas dikhususkan pada variabel L\*. Hasil uji normalitas pada warna biji kopi dapat dilihat pada Tabel 5. 8. Jika hasil uji normalitas pada Tabel 5. 8 dengan taraf signifikansi 0,05, jumlah sampel 10, selang kepercayaan 95%, dan nilai  $W > 0,83$  maka warna biji terdistribusi normal artinya penyangraian terjadi secara merata.

Selanjutnya dilakukan uji homogenitas untuk mengetahui bahwa data warna biji kopi sangrai homogen data dapat dilihat pada Tabel 5. 9. Jika Nilai F Hitung < F Tabel maka dapat ditarik kesimpulan warna biji kopi homogen. Pada pengujian ini digunakan 10 sampel dari masing masing pasangan batch yang diuji sehingga DF1 = 9 dan DF2 = 9 didapatkan nilai F Tabel = 3,18.

Tabel 5. 1 Uji Homogenitas Warna Biji Hasil Penyangraian

Uji F (Uji Homogenitas)	Nilai Uji F	Kesimpulan
Keterangan		
Batch 1 (6 Juli 2022) dan Batch 2 (7 Juli 2022)	2,1494	<i>In The Region of Acceptance (Homogen)</i>
Batch 1 (6 Juli 2022) dan Batch 3 (7 Juli 2022)	3,0392	<i>In The Region of Acceptance (Homogen)</i>
Batch 2 (7 Juli 2022) dan Batch 3 (7 Juli 2022)	1,414	<i>In The Region of Acceptance (Homogen)</i>

Selanjutnya dilakukan uji T, karena dimensi biji kopi terdistribusi normal dan juga memiliki variance yang homogen. Hasil Uji T warna biji dan bubuk kopi hasil penyangraian dapat dilihat pada Tabel 5. 10. Untuk pengujian ini nilai T Tabel adalah 1,8331 dengan DF = 9, dan taraf signifikansi 0,05. Untuk Batch 2 dan 3 memiliki hasil yang tidak berbeda signifikan dikarenakan diperlakukan secara sama yakni menyangrai dalam waktu 10 menit.

Tabel 6. Uji T Warna Biji Kopi Hasil Penyangraian

Uji T - Berpasangan	Nilai T Hitung	Kesimpulan
Keterangan	L*	
Batch 1 dan 2	8,5579	$T_{Hitung} > T_{Tabel}$ (Berbeda Signifikan)
Batch 1 dan 3	7,4407	$T_{Hitung} > T_{Tabel}$ (Berbeda Signifikan)
Batch 2 dan 3	0,9991	$T_{Hitung} < T_{Tabel}$ (Tidak Berbeda Signifikan)

### C. Kadar Air Biji Kopi Hasil Penyangraian

Pengujian kadar air setelah proses penyangraian dilakukan bertujuan mengetahui biji kopi hasil penyangraian memiliki kadar air sesuai SNI yaitu di bawah 5%. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan pemanasan pada biji kopi selama kurang lebih 24 jam dengan alat berupa oven pada suhu kurang lebih 105°C.

Pengambilan data dilakukan dengan mengambil data massa cawan dan massa bahan basah biji kopi yang telah diroasting dengan timbangan presisi. Kemudian dilakukan pengeringan dengan oven selama 1 hari dan biji kopi serta cawan yang sudah dilakukan pemanasan disimpan ke dalam desikator untuk menjaga kontaminasi uap air dari luar setelah itu ditimbang kembali untuk diketahui massa yang baru. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7 tampak bahwa kopi hasil penyangraian dengan metode kendali PID ini sudah memenuhi standar kadar air kopi menurut SNI yakni maksimal 5%.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Pada penelitian perancangan ini didapatkan kesimpulan bahwa kendali PID untuk pengendalian suhu biji kopi juga dapat digunakan pada mesin roaster kopi karena memiliki hasil penyangraian yang baik dengan persen error pengendalian sebesar 4,9 % dan rata-rata selisih absolut sebesar 2,73 °C. Selain itu untuk biji kopi hasil penyangraian dengan sistem kendali PID ini memiliki hasil yang cukup merata dan sebaran kematangan teruji homogen berdasarkan uji warna dan uji dimensi fisik biji kopi dan kadar air biji kopi setelah penyangraian memiliki kadar air dibawah 5% sesuai dengan SNI.

Tabel 7. Data Pengujian Kadar Air Biji Kopi Setelah Roasting

Kode Sampel	Massa Cawan (Mc)	Massa Bahan Basah (M1)	Massa Cawan + Bahan Kering (M2)	Kadar Air Biji Kopi (%)
R1	3,4991	5,1066	8,4919	2,23
R2	3,7092	5,018	8,6204	2,13
R3	3,4545	5,0127	8,3601	2,14
R4	3,4109	5,084	8,3848	2,17
R5	3,432	5,0365	8,3622	2,11
R6	3,6091	5,0947	8,5965	2,11
R7	3,411	5,095	8,3993	2,09
R8	3,4382	5,0444	8,3782	2,07
R9	3,4314	5,0272	8,3555	2,05
Rerata Kadar Air Biji Kopi (%)				2,12

Profil pengendalian biji kopi hanya bekerja secara spesifik untuk satu jenis kopi dan untuk jenis kopi yang berbeda akan diperoleh hasil yang berbeda pula dari segi warna kematangan. Hasil Uji T warna kematangan biji kopi untuk batch 2 dan 3 memiliki hasil yang tidak berbeda signifikan dikarenakan diperlakukan sama yakni menyangrai dalam waktu 10 menit, artinya pengendalian cukup konsisten.

#### B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu memastikan bahwa kendali PID dapat mengendalikan bukaan valve dan kompor untuk besaran api yang beragam. Akan lebih baik jika ditambahkan sensor flowmeter digital sehingga variabel yang dikendalikan akan lebih spesifik dan hasil penyangraian akan lebih baik lagi. Merancang motorized ball valve yang lebih baik lagi dari segi keamanan dan ketahanan desain. Pengaduk di dalam drum mesin roaster perlu diperbesar penampangnya atau bisa juga dengan menambah kecepatan rpm motor drum menjadi sekitar 50 – 70 rpm sehingga biji kopi dapat tersangrai lebih merata.

#### REFERENCES

- [1] C. L. Hii and F. M. Borém, Eds., *Drying and roasting of cocoa and coffee*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2020.
- [2] “Kemenperin: Industri Pengolahan Kopi Semakin Prospektif.” <https://kemenperin.go.id/artikel/21117/Industri-Pengolahan-Kopi-Semakin-Prospektif> (accessed Nov. 16, 2021).
- [3] “Kemenperin: Terimbas Pandemi, Neraca Dagang Kopi Olahan Masih Surplus USD 211 Juta.” <https://www.kemenperin.go.id/artikel/22036/Terimbas-Pandemi,-Neraca-Dagang-Kopi-Olahan-Masih-Surplus-USD-211-Juta> (accessed Nov. 16, 2021).

- [4] “Kenneth Davids - Home Coffee Roasting, Revised, Updated Edition\_ Romance and Revival-St. Martin’s Press (2003).epub.”
- [5] D. Kho, “Pengertian Termokopel (Thermocouple) dan Prinsip Kerjanya,” *Teknik Elektronika*, Jan. 09, 2015. <http://teknikelektronika.com/pengertian-termokopel-thermocouple-dan-prinsip-kerjanya/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [6] “Austin Hughes, Bill Drury - Electric Motors and Drives\_ Fundamentals, Types and Applications-Newnes (4 Aug 2019).epub.”
- [7] “MAX6675 datasheets.” <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73692/MAXIM/MAX6675.html> (accessed Nov. 16, 2021).
- [8] “Data Acquisition Handbook,” Massachusetts: Measurement Computing Corporation, 2008, p. 145.
- [9] K. Ogata, *Modern control engineering*, 5th ed. Boston: Prentice-Hall, 2010.
- [10] K. J. Åström, T. Hägglund, and K. J. Åström, *PID controllers*, 2nd ed. Research Triangle Park, N.C: International Society for Measurement and Control, 1995.
- [11] M. Margolis, B. Jepson, and N. R. Weldin, “Arduino Cookbook,” p. 796.
- [12] A. Trojnar and P. Ostalczyk, “Simulation of the fuel gas valve PID controller in closed loop system,” in *2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPHDW)*, Swinoujście, May 2018, pp. 13–16. doi: 10.1109/IIPHDW.2018.8388235.
- [13] P. Ramanathan, “Fuzzy Logic Controller for Temperature Regulation Process,” *Middle-East Journal of Scientific Research*, p. 5, 2014, doi: 10.5829/idosi.mejsr.2014.20.11.114162.

# Penerapan Metode Tracking Supply Pada Audio Power Amplifier Kelas A Guna Meningkatkan Efisiensi Daya

Yohanes Gunawan Yusuf<sup>1</sup>, Veronica Indrawati<sup>2</sup> & Ong David Kristiawan<sup>3</sup>

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya

Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia

e-mail: [yohanesgunawan@staff.ubaya.ac.id](mailto:yohanesgunawan@staff.ubaya.ac.id)<sup>1</sup>, [veronica@staff.ubaya.ac.id](mailto:veronica@staff.ubaya.ac.id)<sup>2</sup>, [o.david.k@gmail.com](mailto:o.david.k@gmail.com)<sup>3</sup>

**Abstract**— This research used a Tracking Power Supply (TPS) circuit designed and implemented on an Audio Power Amplifier class A aimed at increasing power efficiency with a small effect on the Total Harmonic Distortion (THD) of the amplifier. The TPS method is a method that combines the High-Speed Voltage Buffer method which can respond to fast voltage changes with the Switching Supply method which can supply power with relatively higher efficiency. By using TPS method, majority of the current required by the Audio Power Amplifier will be controlled and supplied by the TPS circuit which is expected to increase the efficiency of the Audio Power Amplifier (APA). The Switching part of the TPS is controlled using a Hysteresis Comparator, which works based on the amount of current flowing into the circuit. By using the TPS method, the power efficiency of the APA has been improved. The results increase the efficiency of APA by 17%, from 34% to 51%. The realization of the circuit in the PCB obtained in this study using this method can supply a class A push-pull power amplifier of 20 W to a load of 8  $\Omega$  with a THD of 0.0027% at an audio working frequency of 1 kHz.

**Keywords** : *efficiency, pushpull, THD, amplifier, APA, tracking, switching, linear, hysteresis, power supply*

**Intisari**— Penelitian ini menggunakan rangkaian Tracking Power Supply (TPS) yang dirancang dan diimplementasikan pada Audio Power Amplifier (APA) kelas A bertujuan untuk meningkatkan efisiensi daya dengan pengaruh yang kecil pada THD amplifier tersebut. Metode TPS adalah sebuah metode yang menggabungkan metode High Speed Voltage Buffer yang mampu merespons perubahan tegangan yang cepat dengan metode Switching Supply yang mampu mensuplai daya dengan efisiensi yang relatif lebih tinggi. Dengan menggunakan metode TPS ini, mayoritas arus yang dibutuhkan oleh APA akan dikontrol dan disuplai oleh rangkaian TPS sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dari APA. Bagian Switching dari TPS dikontrol menggunakan Histerisis Comparator, yang bekerja berdasarkan besarnya arus yang dialirkan ke dalam rangkaian. Dengan menggunakan metode TPS ini, efisiensi daya dari APA berhasil ditingkatkan. Dari hasil penelitian meningkatkan efisiensi APA sebesar 17%, yaitu dari 34% menjadi 51%. Hasil realisasi rangkaian dalam PCB yang didapatkan pada penelitian menggunakan metode ini mampu mensuplai daya power amplifier pushpull kelas A sebesar 20 W ke beban 8  $\Omega$  dengan THD 0,0027% pada frekuensi kerja audio 1 kHz.

**Kata kunci**: *efisiensi, pushpull, THD, amplifier, APA, tracking, switching, linier, hysteresis, power supply*

## I. PENDAHULUAN

Audio Power Amplifier (Audio PA, APA) adalah perangkat aktif tahap akhir dalam rangkaian proses reproduksi sinyal suara. Dalam proses reproduksi suara ini, pada tahapan akhir, yaitu penguat daya (Power Amplifier / PA) menggunakan daya relatif besar dibandingkan dengan perangkat aktif lainnya ditahapan sebelumnya, seperti pre-amplifier, tone control atau mixer. Faktor efisiensi daya dan distorsi merupakan dua hal parameter yang harus diperhatikan dalam sebuah sistem Power Ampifier. sehingga didalam rangkaian elektronik PA diharapkan memiliki efisiensi daya yang setinggi mungkin dan menghasilkan distorsi serendah mungkin. (Boylestad [6])

Ada berbagai macam metode yang digunakan untuk kepentingan peningkatan efisiensi daya ini, dimana salah satu metode yang digunakan adalah dengan metode menambah rangkaian switching pada tegangan catu yang disebut dengan *Tracking wer Supply* (TPS) seperti yang diberikan pada tulisan paper ini. (Noro [2], Caballero [3]).

*Tracking power supply* (TPS) adalah sebuah sistem rangkaian yang dapat melakukan tracking sinyal inputnya untuk dapat menyesuaikan tegangan sinyal *outputnya* terhadap sinyal input yang variabel. Metode yang digunakan menggunakan teknik power supply *switching* yang secara teoritis mempunyai efisiensi daya yang tinggi. (Pressman [5]).

Dalam penelitian ini, jenis kelas PA yang digunakan adalah kelas A, dimana secara teoritis merupakan power amplifier dengan efisiensi daya yang rendah dan paling tidak efisien, tetapi menghasilkan distorsi sangat rendah atau paling baik dibandingkan dengan kelas lainnya. Menurut Boylestad [8], Power Amplifier kelas A memiliki efisiensi daya maksimum hanya sebesar 25% untuk single polarity supply atau 50% yang dicapai pada metode operasi dual supply dengan *push-pull*. Douglas Self pernah mendesain power amplifier kelas A dengan daya 20W ke beban 8  $\Omega$  yang mampu menghasilkan distorsi serendah 0,0005% (Self [1]).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat berkontribusi pada penelitian dibidang analog yang sudah mulai banyak ditinggalkan, khususnya bidang sistem audio dengan cara mengimplementasikan secara praktikal dan simulasi untuk penerapan metoda Tracking Power Supply pada power amplifier kelas A guna meningkatkan efisiensi daya nya dan masih dapat menghasilkan sinyal audio dengan distorsi yang rendah.

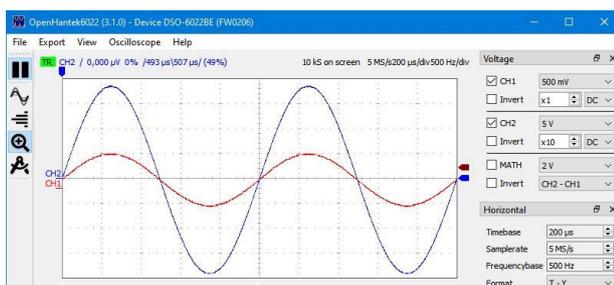


### B. Pemilihan Desain APA

Audio PA yang digunakan adalah PA yang didesain oleh Leo Simpson [4] dan Peter Smith [4]. Mereka mendesain Audio PA ini berdasarkan desain oleh Douglas Self. Audio PA ini mampu memberikan daya *output* sebesar 20 W ke beban  $8 \Omega$ . Gambar skematik Audio PA yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2. Ada beberapa modifikasi atau pengembangan yang dilakukan pada skematik tersebut agar dapat dipadukan dengan rangkaian *Tracking Power Supply* yang akan dibuat dan untuk menurunkan distorsi. Modifikasi pengembangan yang dilakukan adalah:

- Kompensasi Audio PA diubah menjadi memiliki dua kapasitor dan resistor  $2,2 \text{ k}\Omega$ . Hal ini digunakan untuk menambahkan *feedback* dari *output stage* ke Voltage Amplifier Stage (VAS), untuk menurunkan distorsi pada frekuensi tinggi. Djarot [8]
- Perubahan nilai resistor pada emitor transistor *buffer* VAS, pada kolektor transistor VBE *multiplier*, resistor basis pada masing-masing transistor *driver output stage*, dan resistor *speed-up output stage*.
- Penambahan resistor *emitter degeneration* transistor VAS untuk meningkatkan linearitas transistor. Self [1]
- Perubahan nilai kapasitor *low-pass filter input* agar lebih mudah didapat di pasaran.
- Penambahan diode pada transistor *differential pair* untuk mencegah *reverse bias*.
- Perubahan tipe transistor *small signal* karena tipe asalnya tidak ada di perbendaharaan dalam simulator Multisim.

Untuk simulasi serta pengembangan yg diperlukan digunakan Multisim, Audio PA diberi *input* gelombang sinus 1 kHz, kemudian *input* dan *output* diukur menggunakan *oscilloscope*. Hasil pengukuran simulasi ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bentuk gelombang suara serta linieritas antara tegangan input dan outputnya. Terlihat disini tidak terjadi pergeseran phase yang besar.



Gambar 3. Bentuk gelombang tegangan input dan output APA

### C. Perancangan TPS

Rangkaian TPS ini didesain berdasarkan topologi yang didesain oleh Masao Noro untuk Yamaha. Noro [2], yang didalamnya terdapat rangkaian TPS sisi positif dan sisi negatif. Keduanya memiliki prinsip kerja yang sama, hanya polaritasnya berlawanan satu dengan lainnya. Diagram blok dari TPS ditunjukkan pada Gambar 4, dan rangkaian skematik dari TPS ditunjukkan pada Gambar 5.

Bagian utama dari rangkaian ini adalah blok *Switching Supply* dan blok *High Speed Voltage Buffer* (HSVB). Bagian kontrol dari rangkaian ini adalah *Current Sense Resistor* dan *High Speed* komparator. Untuk rangkaian Tegangan *Offset* berfungsi untuk memberikan nilai referensi *offset* pada *input*, sehingga *output* dari rangkaian *Tracking Power Supply* ini selalu lebih tinggi daripada tegangan *output* Audio PA nya. Rangkaian skematik TPS ditunjukkan pada Gambar 5.

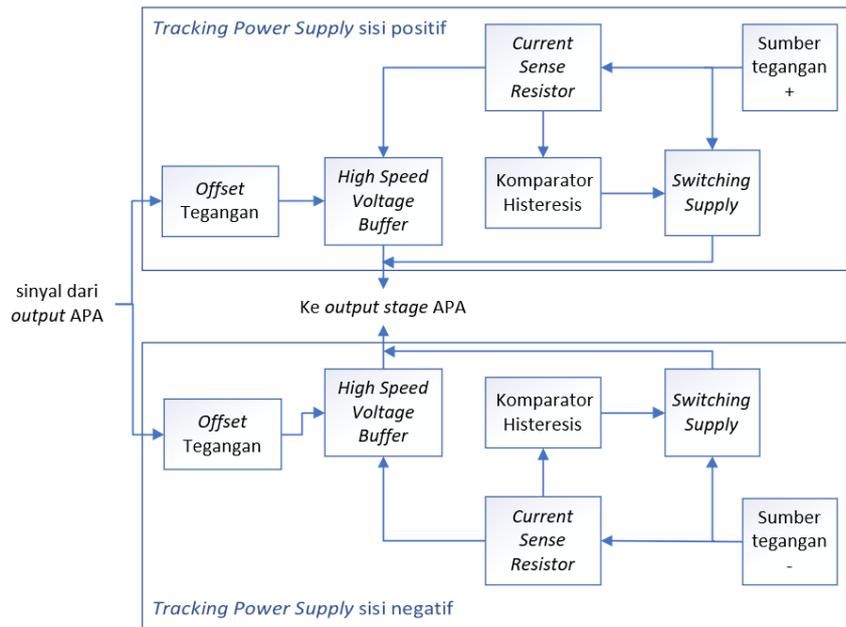
Blok HSVB berfungsi untuk mengendalikan tegangan *output* dari rangkaian TPS Noro [2]. Selain mengendalikan tegangan output, juga sekaligus berfungsi menyuplai arus yang tidak dapat disuplai oleh blok *Switching Supply* ketika ada *input* transien. Hal ini disebabkan karena respon *Switching Supply* tidak secepat HSVB Noro [2]. Rangkaian HSVB ini akan selalu mengikuti sinyal audio dari *output* Audio PA untuk mensuplai tegangan di *output* stagenya, yang mempunyai penguatan tegangan sebesar 1 kali.

Rangkaian HSVB ini menggunakan konfigurasi *double emitter follower* untuk tiap sisi agar didapatkan penguatan arus yang tinggi dengan tidak ada penguatan tegangan (gain mendekati 1), sehingga untuk *drive* rangkaian ini hanya membutuhkan arus yang sangat kecil.

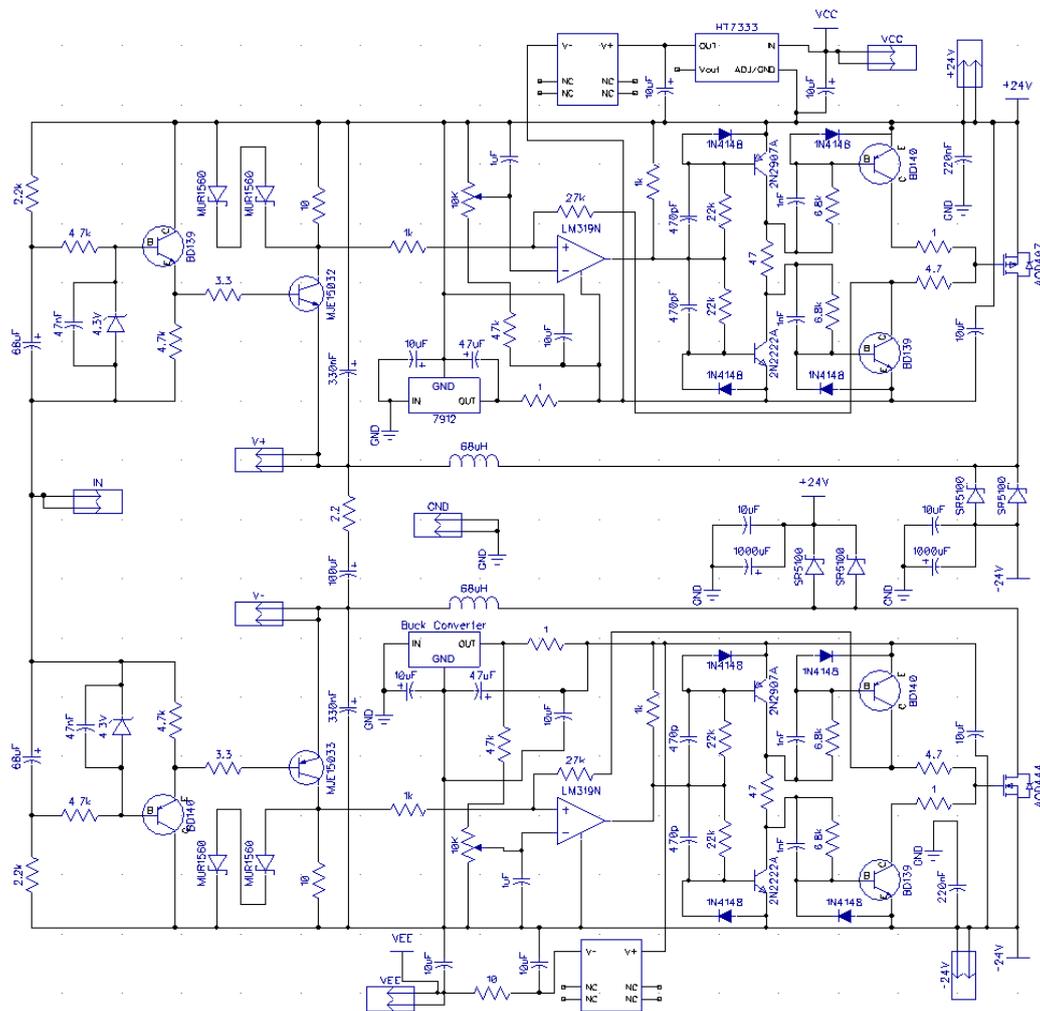
Jadi rangkaian HSVB akan selalu menghasilkan tegangan *output* yang sesuai dengan sinyal *input*, yang akan diumpankan pada *Output Stage* dari Audio PA.

Guna mengantisipasi arus *ripple* yang cukup besar dan pada frekuensi tinggi sekitar 200 kHz sampai 400 kHz, rangkaian ini menggunakan transistor yang memiliki frekuensi kerja yang tinggi untuk meminimalkan distorsi. Pada sisi positif, Transistor yang digunakan adalah transistor NPN BD139 sebagai transistor *driver*, dan MJE15032 sebagai transistor *output*, dan pada sisi negatif, transistor yang digunakan adalah transistor PNP BD140 sebagai transistor *driver*, dan MJE15033 sebagai transistor *output*.

*Current Sense Resistor* terdiri dari resistor dan diode dalam hubungan paralel. Besarnya arus yang melewati HSVB terukur dengan tegangan pada *Current Sense Resistor*. Rangkaian ini menggunakan Komparator Histerisis (Boylestad[6], Moghimi[7]), yang akan mengukur tegangan pada *Current Sense Resistor* dan membandingkannya dengan tegangan referensi, dengan tujuan agar ketika arus yang melewati HSVB sudah melebihi batas atas, terjadi *switching* pada *output* komparatornya. Hal ini diperlukan untuk mengaktifkan rangkaian *Switching Supply* yang memiliki efisiensi relatif tinggi. Noro [2].



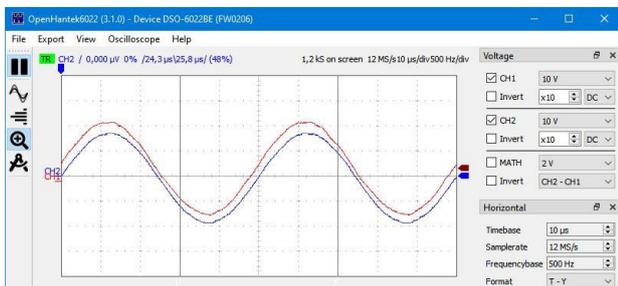
Gambar4. Diagram blok rangkaian TPS sisi positif dan negatif.



Gambar5. Skema TPS

Dengan aktifnya rangkaian *Switching Supply*, besar arus yang melewati HSVB akan berkurang. Hal ini terdeteksi oleh komparator histerisis, yang kemudian akan menonaktifkan rangkaian *Switching Supply* ketika arus HSVB sudah kurang dari batas bawah. Dengan tidak aktifnya *Switching Supply*, arus HSVB akan naik kembali sampai mencapai batas atasnya. Siklus ini akan terulang secara terus menerus.

Untuk pengujian efektifitas dan kemampuan *tracking* dari *Tracking Power Supply* ini, Rangkaian Audio PA yang telah digabung dengan TPS disimulasikan dan diukur menggunakan *oscilloscope*, dengan metode diberi *input* gelombang sinus 20 kHz. Hasil dari simulasi untuk *output* Audio PA yang ditunjukkan dengan garis biru dan hasil *output* dari rangkaian TPS sisi positif yang ditunjukkan dengan garis merah seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6. tersebut, terlihat linieritas yang terjadi antara tegangan output rangkaian TPS terhadap signal audio output dari Audio Panya. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian TPS tersebut berjalan sesuai dengan harapan yang diinginkan pada penelitian ini.



Gambar 6. Bentuk gelombang tegangan *output* APA dan TPS sisi positif.

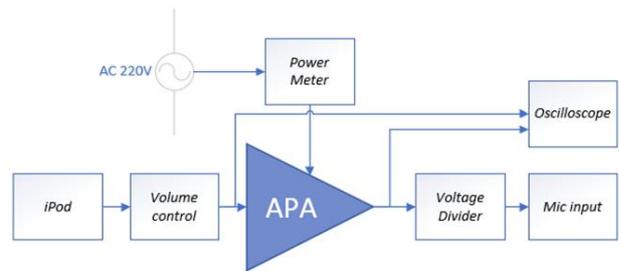
### III. HASIL

Hasil simulasi dari rangkaian Audio PA dan rangkaian TPS yang telah berhasil pada tahap simulasi kemudian direalisasikan dengan rangkaian sesungguhnya dengan merealisasikan rangkaian pada papan cetak rangkaian (PCB, Printed Circuit Board). Hasil realisasi ini kemudian diuji terhadap distorsi nya dengan mengukur besarnya Total Harmonic Distortion (THD) serta diukur efisiensinya.

Metode pengujian untuk efisiensi dan distorsi yang dilakukan adalah dengan membandingkan performa pada rangkain Audio PA tanpa TPS dibandingkan dengan Audio PA dengan TPS. Perangkat alat ukur yang digunakan adalah *Power Meter*, *Oscilloscope*, *Multimeter*, dan komputer *laptop* yang difungsikan sebagai *Audio Spectrum Analyzer* dan *THD Meter*. Cara atau metode pengujian yang dilakukan menggunakan konfigurasi pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

Untuk pengukuran distorsi THD dilakukan menggunakan cara membandingkan distorsi pada Audio PA dengan TPS dan tanpa TPS. Besarnya THD diukur pada rentang frekuensi audio, yaitu pada 20 Hz, 50 Hz,

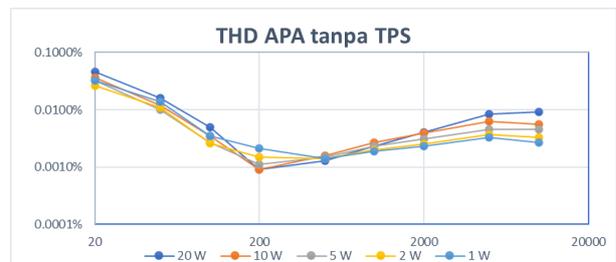
100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 20 kHz.



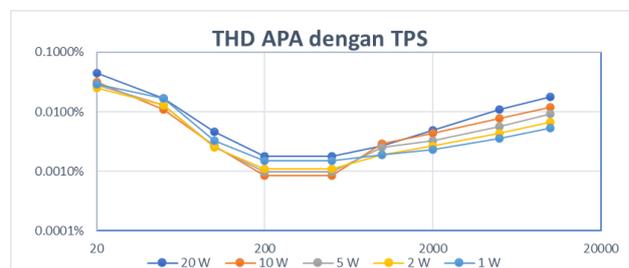
Gambar 7. Konfigurasi alat ukur untuk mengukur THD dan efisiensi.

Pengukuran THD juga dilakukan pada variasi daya output, yaitu untuk daya *output* 1 W, 2 W, 5 W, 10 W, dan 20 W terhadap beban speaker 8 Ω.

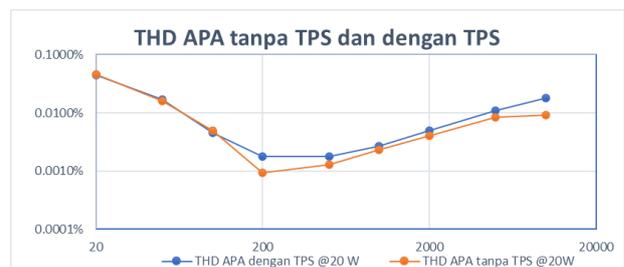
Hasil pengukuran THD Audio PA tanpa TPS ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil pengukuran THD Audio PA dengan menggunakan rangkaian TPS ditunjukkan pada Gambar 9. Pada Gambar 10 menunjukkan perbandingan untuk THD Audio PA tanpa TPS dan dengan TPS secara bersamaan dengan variasi frekuensi untuk daya output 20 Watt



Gambar 8. Grafik THD APA tanpa TPS.



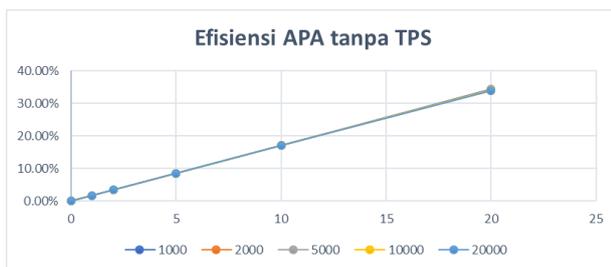
Gambar 9. Grafik THD APA dengan TPS.



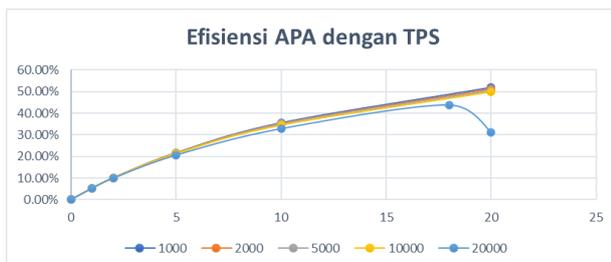
Gambar 10. Grafik THD APA tanpa TPS dan dengan TPS

Catatan untuk pengukuran tidak dilakukan pada frekuensi 20KHz, hal ini disebabkan terjadi distorsi cukup besar yang terukur pada frekuensi 20 kHz. Hal ini terjadi karena semua hasil terpengaruh oleh *low-pass* filter pada *input microphone* laptop yang digunakan untuk mengukur. Jadi pengukuran tidak dilakukan untuk frekuensi 20 kHz.

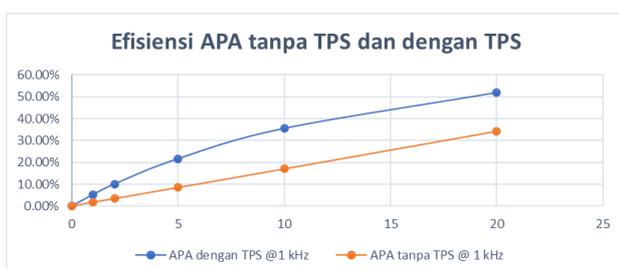
Untuk pengukuran efisiensi daya diukur pada 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 20 kHz. Untuk masing-masing frekuensi, pengukuran efisiensi daya dilakukan untuk daya *output* 1 W, 2 W, 5 W, 10 W, dan 20 W ke beban 8  $\Omega$ . Daya *input* diukur menggunakan *Power Meter*. Hasil pengukuran efisiensi Audio PA tanpa TPS ditunjukkan pada Gambar 11, sedangkan hasil pengukuran efisiensi Audio PA dengan TPS ditunjukkan pada Gambar 12. Pada Gambar 13 ditunjukkan perbandingan pengukuran efisiensi Audio PA tanpa TPS dan dengan TPS secara bersamaan dalam sebuah grafik untuk memudahkan melihat analisa hasil pengukurannya



Gambar 11. Grafik Efisiensi APA tanpa TPS



Gambar 12. Grafik Efisiensi APA dengan TPS



Gambar 13. Grafik Efisiensi APA tanpa TPS dan dengan TPS

Catatan pada frekuensi 20 kHz dan daya *output* 20W yang ada pada Gambar 12, terlihat kecepatan *tracking* TPS tidak cukup untuk melakukan *tracking* secara penuh, sehingga efisiensi menjadi menurun secara signifikan. Kecepatan *tracking* TPS hanya mampu mengikuti sinyal *output* Audio PA pada daya maksimum *output* 18 W untuk frekuensi sinyalnya 20 kHz. Untuk kondisi tersebut efisiensi daya yang didapatkan adalah 43,78%.

Berdasarkan data-data yang sudah didapatkan dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan TPS pada Audio PA kelas A berhasil meningkatkan efisiensi daya dari Audio PA tersebut. Terlihat bahwa efisiensi daya maksimum Audio PA tanpa TPS didapatkan sekitar 34%, sedangkan efisiensi daya maksimum Audio PA dengan TPS bisa didapatkan mencapai 51% pada power maksimum 20W. Jadi adanya TPS akan terjadi peningkatan efisiensi daya dari 34% menjadi 51%, atau terjadi kenaikan efisiensi sebesar 17%.

#### IV. DISKUSI

Penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian ini pernah dilakukan sebelumnya oleh Noro[2] pada tahun 1992, dan oleh Caballero[3] pada tahun 2004. Noro meneliti rangkaian TPS untuk diterapkan pada Audio PA kelas AB, sedangkan Caballero meneliti penggunaan Audio PA kelas D sebagai Tracking Power Supply untuk meningkatkan efisiensi dari Audio PA kelas A. Namun penelitian ini terealisasi karena kesulitan mendesain filter *output* pada Audio PA kelas D tersebut.

Penelitian sejenis yang dilakukan oleh oleh Noro menggunakan Audio PA kelas AB. Noro[2], sedangkan pada penelitian disini menggunakan Audio PA kelas A dengan dua polaritas tegangan, yang transistor *output stagenya* menghantarkan arus selama 360° dari siklus sinyal *output*, sehingga desain rangkaian disesuaikan agar dapat melakukan *full wave tracking*, tidak hanya pada setengah gelombang saja.

Rangkaian TPS yang didesain pada penelitian ini masih memiliki beberapa kelemahan, yang mungkin dapat diperbaiki di penelitian selanjutnya, diantaranya: Audio PA dengan TPS akan beresilasi jika diberi *input* gelombang kotak dengan *rise time* dan *fall time* yang terlalu cepat. Juga kecepatan *tracking* TPS tidak cukup tinggi untuk meningkatkan efisiensi Audio PA pada kondisi frekuensi 20KHz yang memberikan daya *output* 20 W.

#### V. KESIMPULAN

Beberapa simpulan yang dapat diambil setelah melakukan perancangan alat, pengujian, dan analisis pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Audio PA dengan TPS telah berhasil disimulasikan dan direalisasikan pada papan cetak rangkaian PCB.. Berdasarkan pengujian, Audio PA dengan TPS berhasil memberikan *output* gelombang sinus dengan daya sebesar 20 W ke beban yang direncanakan (8  $\Omega$ ) sampai ke frekuensi audio 20 KHz
2. Adanya rangkaian TPS, dapat meningkatkan efisiensi Audio PA. Berdasarkan perbandingan efisiensi daya pada Gambar 13, terlihat bahwa efisiensi Audio PA tanpa TPS maksimal mencapai 34%, sedangkan efisiensi Audio PA dengan TPS maksimal mencapai 51%. Artinya ada peningkatan efisiensi sebesar 17%.
3. Pada peningkatan efisiensi dengan TPS, terjadi penambahan harmonic, yaitu peningkatan THD. Hal ini terlihat pada grafik perbandingan THD pada Gambar 10, yang menunjukkan THD Audio PA tanpa TPS pada daya *output* 20W dengan frekuensi

10 kHz adalah 0,009%, sedangkan THD Audio PA dengan TPS pada daya dan frekuensi *output* yang sama menjadi 0,018%, yang berarti ada peningkatan THD sebesar 0,009%.

4. Pada grafik perbandingan THD pada Gambar 10, terlihat pengaruh TPS terhadap THD cenderung membesar seiring dengan bertambahnya atau membesarnya frekuensi kerja audio.
5. Ada batasan kecepatan *tracking* yang mampu dilakukan oleh TPS. Berdasarkan pengujian, pada frekuensi 20 kHz dan daya *output* 20 W, efisiensi Audio PA dengan TPS menurun cukup signifikan seperti terlihat pada grafik Gambar 12.

#### PUSTAKA ACUAN

- [1] D. Self, *Audio Power Amplifier Design Handbook*, 4th ed., vol. 84, no. 1505. Elsevier, 2006.
- [2] M. Noro, *Amplification Circuit*, 5347230, 1992.
- [3] A. A. Caballero, *A Class-D-Tracking-Rail Class-A Audio Power Amplifier by*, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [4] B. Leo Simpson and P. Smith, *Constructional Project 20W Class-A Amplifier Module*, *Everyday Pract. Electron.*, no. October, 2008.
- [5] A. I. Pressman, *Switching Power Supply Design*, 3rd ed., vol. 72, no. 16. 2009.
- [6] R. L. Boylestad, *Electronic Devices and Circuit Theory*. Pearson, 2011.
- [7] B. R. Moghimi, *Curing Comparator Instability with Hysteresis*, vol. 7, pp. 4–6, 2000.
- [8] Djarot, *HiFi 100W Class-AB rev.A2* - AudioShare, 2014.

# ANALISIS *TIME SERIES* PENUTUPAN HARGA SAHAM PT. BANK JAGO TBK. (ARTO) MENGGUNAKAN ALGORITMA *REGRESI LINEAR*

Melinia Nur Harum Fadila<sup>1</sup>, Nengah Widya Utami<sup>2</sup>, I Gst. Agung Pramesti Dwi Putri<sup>3</sup>

Program Studi Sistem Informasi Akuntansi, STMIK Primakara

Jl. Tukad Badung No. 135, Renon Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali

[1mharumfadila@gmail.com](mailto:mharumfadila@gmail.com), [2widya@primakara.ac.id](mailto:widya@primakara.ac.id), [3pramesti@primakara.ac.id](mailto:pramesti@primakara.ac.id)

**Abstract**— Saham merupakan surat kepemilikan atas suatu perusahaan. Harga saham dapat mengalami perubahan dalam waktu yang singkat, maka dari itu untuk mengamati perubahan harga saham investor dapat menggunakan alat prediksi serta analisis untuk membuat keputusan investasi. Salah satu emiten yang harga sahamnya dapat di prediksi adalah PT. Bank Jago Tbk. (ARTO). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil dari analisis *prediksi* penutupan harga saham PT Bank Jago Tbk. (ARTO). Harga saham ARTO dapat dianalisa menggunakan teknik *Data Mining*. Harga saham ARTO akan di prediksi menggunakan *Algoritma Regresi Linear*. Tingkat akurasi dan evaluasi dalam penelitian ini diukur menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). Penelitian ini menghasilkan penutupan harga saham ARTO dengan *dataset* sebanyak 678 data yang di prediksi menggunakan metode *Regresi Linear* dengan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing* menghasilkan nilai akurasi prediksi RMSE 103,064 yang dimana nilai akurasi prediksi tersebut merupakan yang paling baik diantara VAR Model dan ARIMA Model. Untuk penelitian berikutnya yang ingin melakukan prediksi penutupan harga saham berkelanjutan di sarankan untuk menggunakan VAR model dan ARIMA model.

**Kata kunci:** *Data Mining, Time Series, Saham, ARTO, Regresi Linear*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan reformasi teknologi 4.0 saat ini sangat berpengaruh terhadap mata pencaharian masyarakat hampir di segala bidang yang ada khususnya di Indonesia. Dukungan dan peran digital saat ini memudahkan seseorang untuk mendapatkan penghasilan lebih dengan memanfaatkan kegunaan internet seperti melakukan investasi secara online pada beberapa platform digital. Investasi merupakan penanaman modal untuk satu atau lebih aktivitas yang dimiliki dan umumnya untuk jangka waktu yang panjang dengan harapan dapat menghasilkan keuntungan di masa yang akan datang[1]. Seseorang dapat melakukan investasi melalui pembelian tanah, mesin, emas dan bangunan. Selain itu kegiatan investasi juga dapat berupa pembelian aset finansial seperti deposito, saham maupun obligasi. Saham adalah surat kepemilikan atas suatu perusahaan. Membeli saham menandakan bahwa seseorang telah memiliki sebagian atas kepemilikan perusahaan tersebut. Pemilik saham berhak atas keuntungan perusahaan dalam bentuk dividen[2].

Perubahan harga saham merupakan indikator yang diperhatikan oleh investor dimana perubahan harga saham ini memiliki laju yang cukup cepat. Terdapat berbagai macam faktor yang mempengaruhi pergerakan harga saham seperti besar kecilnya tingkat suku bunga deposito, pergerakan tingkat inflasi, kondisi keuangan perusahaan, strategi pemasaran dan tingkat keuntungan yang diperoleh perusahaan[3]. Berdasarkan data pada *idx.co.id* bulan Oktober tahun 2021 terdapat 750 emiten yang tercatat pada Bursa Efek Indonesia, salah satunya adalah PT Bank Jago Tbk. dengan kode ARTO. PT Bank Jago Tbk berdiri dengan nama PT. Bank Artos Indonesia di Bandung tahun 1992. Pada tahun 2020 lalu, PT Bank Artos Indonesia melakukan perubahan nama menjadi PT. Bank Jago Tbk. Berdasarkan perubahan kondisi yang dialami oleh PT. Bank Jago Tbk. yang sebelumnya merupakan sebuah Bank Konvensional dan berubah menjadi sebuah Bank Digital, diketahui bahwa saham ARTO mengalami fluktuasi.

Fluktuasi yang dialami oleh ARTO membuat investor ingin mengetahui bagaimana kinerja saham ARTO kedepannya, apakah kenaikan harga saham ARTO akan terus terjadi setelah berubah menjadi bank digital atau harga saham ARTO akan kembali turun seperti sebelum menjadi sebuah bank digital. Oleh karena itu, penulis berencana membuat alternatif untuk memanfaatkan teknik *data mining* dengan menggunakan algoritma *Regresi Linear* dalam melakukan prediksi pada penutupan harga saham ARTO. Metode *Regresi Linear* adalah salah satu metode yang digunakan untuk melakukan prediksi menggunakan garis lurus sehingga dapat dilihat dan digambarkan hubungan di antara dua variabel atau lebih. Salah satu kelebihan dari metode *Regresi Linear* adalah metode ini dapat digunakan untuk peramalan pada penutupan harga saham di masa yang akan mendatang[4].

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan oleh penulis diatas serta fenomena yang telah terjadi, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "**Analisis Time Series Penutupan Harga Saham PT Bank Jago Tbk. (ARTO) Menggunakan Algoritma Regresi Linear**" dimana penelitian ini bertujuan untuk membantu investor dalam memprediksi bagaimana alur investasi bekerja pada masa yang akan mendatang, khususnya investor yang menanamkan modalnya di saham ARTO.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terkait

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu yang berkaitan dengan prediksi harga saham menggunakan algoritma Regresi Linear. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Merfin dan Raymond Sunardi Oetama, tahun 2019 dengan judul “Prediksi Harga Saham Perusahaan Perbankan Menggunakan Regresi Linear. Studi Kasus Bank BCA Tahun 2015-2017” dengan hasil MAPE terbesar dengan angka 14.765,67 dan terkecil dengan angka 234,64[5].

Penelitian yang serupa juga telah dilakukan oleh Ekka Pujo Ariesanto Akhmad (2020) yang berjudul “Data Mining Menggunakan Regresi Linear untuk Prediksi Harga Saham Perusahaan Pelayaran” dengan hasil Evaluasi nilai Root Mean Square Error (RMSE) menunjukkan angka plus 7,522 dari data aktual harga penutupan saham periode harian PT.BULL[5].

Penerapan algoritma *Regresi Linear* dalam memprediksi harga saham juga telah dilakukan oleh Vaishnavi Gururaj, Shriya VR dan Dr.Ashwini K. (2019) dengan judul penelitian “Stock Market Prediction Using Linear Regression and Support Vector Machines” dimana hasil dari penelitian tersebut adalah Pengujian algoritma Linear Regressi memperoleh hasil RMSE 3.22, MAE 2.53, UMK 10.37 dan R-Kuadrat 0.73. Sedangkan pengujian menggunakan Support Vector Machine memperoleh hasil RMSE 1.58, MAE 1.33, UMK 2.51 dan R-Kuadrat 0.93[6].

Selain itu, penelitian lain juga dilakukan oleh R.Seethalaksmi (2018) dengan judul “Analisis Variabel Prediktor Pasar Saham Menggunakan Regresi Linier” dimana hasil dari penelitian tersebut adalah Model 1 dengan semua fitur memperoleh nilai  $R_2$  0,997. Ini menunjukkan pembukaan, tinggi, rendah, volume dan penutupan adj sangat penting untuk memprediksi nilai penutupan secara akurat. Model 2 dengan nilai tutup prediksi terbuka, tinggi dan rendah yang memperoleh nilai  $R_2$  0,992. Hal ini menunjukkan prediksi nilai close tidak terpengaruh dengan adj close[7].

Penerapan algoritma *Regresi Linear* dalam prediksi harga saham juga telah dilakukan oleh Subhash Chand Agrawal (2021) dengan judul penelitian “Deep Learning Based non-Linear Regression for Stock Prediction” dimana hasil dari penelitian tersebut adalah Pengujian algoritma Linear Regressi memperoleh hasil RMSE 5.76 untuk saham Google dan 0.56 untuk saham Apple[8].

Berdasarkan penelitian terdahulu diatas, maka penelitian ini menerapkan metode *Regresi Linear* dalam memprediksi penutupan harga saham PT. Bank Jago Tbk. (ARTO).

### B. Investasi

Investasi adalah sumber daya keuangan atau lainnya yang dikeluarkan untuk memiliki suatu aset di masa sekarang dan dirancang untuk menghasilkan keuntungan di masa yang akan depan. Aset investasi dapat berupa aset finansial seperti saham, deposito, obligasi dan surat berharga pasar uang lainnya. Selain aset finansial, aset investasi juga dapat berupa aset berwujud seperti bangunan, mesin, tanah serta benda fisik lainnya yang bernilai ekonomi. Pihak yang menanamkan modal dapat disebut investor yang dapat berupa individual dan institusional. Investor institusional biasanya dapat berupa perusahaan pada sektor keuangan, seperti perusahaan asuransi, bank dan bank tabungan, perusahaan investasi dan lain sebagainya[9].

### C. Saham

Saham merupakan surat berharga yang menunjukkan bagian kepemilikan suatu perusahaan. Harga saham adalah harga yang terjadi di pasar saham pada waktu tertentu, yang ditentukan oleh permintaan dan penawaran saham yang dilakukan oleh pelaku pasar di pasar saham[10].

### D. Data Mining

*Data mining* merupakan aktivitas yang berhubungan dengan pengumpulan data, penggunaan data historis untuk mendapatkan informasi, pengetahuan, keteraturan, pola atau hubungan pada data yang berukuran besar. Hasil dari *data mining* dapat dimanfaatkan sebagai alternatif untuk pengambilan keputusan atau dapat dipergunakan untuk memperbaiki pengambilan keputusan di masa mendatang[11].

### E. Time Series

*Time series* merupakan sekumpulan nilai yang diperoleh dari pengukuran berurutan dari waktu ke waktu. *Time series* dapat diartikan juga sebagai hasil pengamatan dari proses yang mendasar di mana nilai – nilai dikumpulkan dari pengukuran yang dilakukan pada waktu yang beragam. *Time series* mencakup kumpulan data lengkap yang disediakan oleh pengamatan suatu proses yang cukup panjang[12].

### F. Regresi Linear

Regresi merupakan teknik yang terdapat dalam data mining dimana dapat dimanfaatkan untuk memprediksi nilai – nilai numerik yang ada pada *range* sekumpulan data yang diketahui[4]. Regresi memiliki dua model dasar, yaitu regresi linear sederhana dan regresi linear berganda. Regresi linear sederhana digunakan untuk memprediksi hubungan antara dua variabel, sedangkan regresi linear berganda memiliki dua atau lebih dari dua variabel. Persamaan umum dari regresi linear berganda adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan:

Y: Variabel terikat

X: Variabel – variabel bebas

a: Konstanta

b: Koefisien regresi pada masing – masing variabel bebas

G. Orange Data Mining

Orange Data Mining merupakan Machine Learning (ML) Data Mining yang menggunakan skrip python serta pemrograman visual yang menampilkan analisa data interaktif dan perakitan sistem Data Mining berbasis komputer. Platform Orange Data Mining memberikan beberapa pilihan kepada user untuk digunakan sebagai eksperimen, pemodelan prediktif serta sistem rekomendasi[13].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Knowledge Discovery in Database (KDD)

KDD adalah proses penemuan informasi pada sebuah database. KDD merupakan seluruh proses ekstraksi atau identifikasi pola, pengetahuan serta informasi potensial yang didapatkan dari himpunan data besar. Pengetahuan serta informasi yang dihasilkan pada proses KDD bersifat sah, baru, mudah dipahami dan bermanfaat[14]. Terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan secara berurutan dari awal hingga akhir dalam proses KDD:

1. Selection

Selection merupakan proses penyaringan data setelah mempersiapkan data yang akan digunakan dalam proses KDD, karena tidak semua data yang sudah dimiliki dapat dipergunakan[14]. Data histori saham yang diperoleh dari PT.Bank Jago Tbk. (ARTO) merupakan data histori saham yang di seleksi dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2021 sebanyak 737 data.

2. Pre-processing/Cleaning

Proses cleaning meliputi pembuangan data yang sama, perbaikan data yang tidak konsisten serta perbaikan data yang memiliki kesalahan[14]. Proses cleaning terhadap 737 data dilakukan dengan menghapus beberapa atribut dan data yang tidak dapat digunakan seperti data null. Sebanyak 737 data tersebut menghasilkan 678 data yang telah tersaring.

3. Transformation

Data yang telah dipersiapkan untuk digunakan dalam proses KDD terlebih dahulu harus diubah sesuai dengan algoritma yang akan digunakan dalam data mining[14].

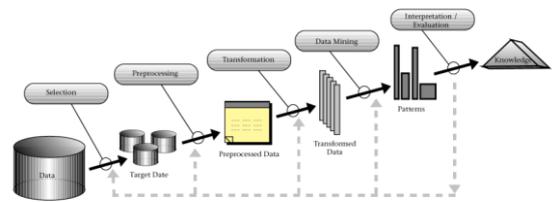
4. Data Mining

Data mining merupakan pengkajian serta penggalan informasi dan pengetahuan yang bermanfaat dengan menerapkan algoritma yang sesuai dengan pengetahuan atau informasi yang dicari[15]. Penelitian ini menggunakan metode Regresi Linear serta aplikasi yang digunakan untuk perhitungan dalam penelitian ini adalah Orange Data Mining.

5. Interpretation/Evaluation

Pengetahuan atau informasi yang telah dihasilkan dalam proses data mining akan diperiksa terlebih dahulu apakah hasil tersebut

bertentangan atau tidak dengan fakta atau hipotesis yang sebelumnya[14].



Gambar 1 Metode KDD

B. Langkah Perhitungan Manual Algoritma Regresi Linear

Dibawah ini merupakan tahapan – tahapan dari perhitungan algoritma Regresi Linear secara manual dengan menggunakan contoh dari 10 data history saham ARTO:

I. Tahap 1 Menentukan Dataset Saham ARTO dengan 5 Variabel Bebas dan 1 Label

Tabel 1 Contoh Data Saham ARTO

Date	Close (Y)	Open (X1)	High (X2)	Low (X3)	Volume (X4)
04/01/21	3.516	3.566	3.641	3.467	2.032.849
05/01/21	3.691	3.566	3.981	3.550	12.598.749
06/01/21	3.491	3.732	3.815	3.433	16.386.151
07/01/21	3.574	3.508	3.608	3.508	6.066.475
08/01/21	3.550	3.574	3.608	3.541	2.570.996
11/01/21	3.566	3.550	3.583	3.458	4.609.754
12/01/21	3.566	3.566	3.599	3.525	3.458.220
13/01/21	3.608	3.566	3.807	3.550	5.122.217
14/01/21	3.765	3.632	3.815	3.632	4.986.565
15/01/21	4.706	3.782	4.706	3.765	31.613.653
	<b>ΣY</b>	<b>ΣX1</b>	<b>ΣX2</b>	<b>ΣX3</b>	<b>ΣX4</b>
	37.033	36.042	38.163	335.429	89.445.629

II. Menentukan Nilai X1Y, X2Y, X3Y dan X4Y

Tabel 2 Nilai X1Y, X2Y, X3Y dan X4Y

X1Y	X2Y	X3Y	X4Y
12.538.056	12.801.756	12.189.972	7.147.497.084
13.162.106	14.693.871	13.103.050	46.501.982.559
13.028.412	13.318.165	11.984.603	57.204.053.141
12.537.592	12.894.992	12.537.592	21.681.581.650
12.687.700	12.808.400	12.570.550	9.127.035.800
12.659.300	12.776.978	12.331.228	16.438.382.764
12.716.356	12.834.034	12.570.150	12.332.012.520
12.866.128	13.735.656	12.808.400	18.480.958.936
13.674.480	14.363.475	13.674.480	18.774.417.225
17.798.092	22.146.436	17.718.090	148.773.851.018
<b>ΣX1Y</b>	<b>ΣX2Y</b>	<b>ΣX3Y</b>	<b>ΣX4Y</b>
133.668.222	142.373.763	131.488.115	356.461.772.697

III. Menentukan Nilai X1X2, X1X3, X1X4 dan X2X3

Tabel 3 Nilai X1X2, X1X3, X1X4 dan X2X3

X1X2	X1X3	X1X4	X2X3
12.983.806	12.363.322	7.249.139.534	12.623.347
14.196.246	12.659.300	44.927.138.934	14.132.550
14.237.580	12.811.956	61.153.115.532	13.096.895
12.656.864	12.306.064	21.281.194.300	12.656.864
12.894.992	12.655.534	9.188.739.704	12.775.928
12.719.650	12.275.900	16.364.626.700	12.390.014
12.834.034	12.570.150	12.332.012.520	12.686.475
13.575.762	12.659.300	18.265.825.822	13.514.850
13.856.080	13.191.424	18.111.204.080	13.856.080
17.798.092	14.239.230	119.562.835.646	17.718.090
<b>ΣX1X2</b>	<b>ΣX1X3</b>	<b>ΣX1X4</b>	<b>ΣX2X3</b>
137.753.106	127.732.180	328.435.832.772	Σ135.451.093

IV. Menentukan Nilai X2X4, X3X4 dan X1<sup>2</sup>

Tabel 4 Nilai X2X4, X3X4 dan X1<sup>2</sup>

X2X4	X3X4	X1 <sup>2</sup>
7.401.603.209	7.047.887.483	12.716.356
50.155.619.769	44.725.558.950	12.716.356
62.513.166.065	56.253.656.383	13.927.824
21.887.841.800	21.281.194.300	12.306.064
9.276.153.568	9.103.896.836	12.773.476
16.516.748.582	15.940.529.332	12.602.500
12.446.133.780	12.190.225.500	12.716.356
19.500.280.119	18.183.870.350	12.716.356
19.023.745.475	18.111.204.080	13.191.424
148.773.851.018	119.025.403.545	14.303.524
<b>ΣX2X4</b>	<b>ΣX3X4</b>	<b>ΣX1<sup>2</sup></b>
Σ 367.495.143.385	Σ 321.863.426.759	Σ 129.970.236

V. Menentukan Nilai X2<sup>2</sup>, X3<sup>2</sup> dan X4<sup>2</sup>

Tabel 5 Nilai X2<sup>2</sup>, X3<sup>2</sup> dan X4<sup>2</sup>

X2 <sup>2</sup>	X3 <sup>2</sup>	X4 <sup>2</sup>
13.256.881	12.020.089	4.132.475.056.801
15.848.361	12.602.500	158.728.476.365.001
14.554.225	11.785.489	268.505.944.594.801
13.017.664	12.306.064	36.802.118.925.625
13.017.664	12.538.681	6.610.020.432.016
12.837.889	11.957.764	21.249.831.940.516
12.952.801	12.425.625	11.959.285.568.400
14.493.249	12.602.500	26.237.106.995.089
14.554.225	13.191.424	24.865.830.499.225
22.146.436	14.175.225	999.423.056.004.409
<b>ΣX2<sup>2</sup></b>	<b>ΣX3<sup>2</sup></b>	<b>ΣX4<sup>2</sup></b>
146.679.395	125.605.361	1.558.514.146.381.880

VI. Menentukan Matriks A, A1, A2, A3, A4 dan A5

$$A = \begin{pmatrix} n & \Sigma X1 & \Sigma X2 & \Sigma X3 & \Sigma X4 \\ \Sigma X1 & \Sigma X1^2 & \Sigma X1X2 & \Sigma X1X3 & \Sigma X1X4 \\ \Sigma X2 & \Sigma X1X2 & \Sigma X2^2 & \Sigma X2X3 & \Sigma X2X4 \\ \Sigma X3 & \Sigma X1X3 & \Sigma X2X3 & \Sigma X3^2 & \Sigma X3X4 \\ \Sigma X4 & \Sigma X1X4 & \Sigma X2X4 & \Sigma X3X4 & \Sigma X4^2 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 10 & 36.042 & 38.163 & 35.429 & 89.445.629 \\ 36.042 & 129.970.236 & 137.753.106 & 127.732.180 & 328.435.832.772 \\ 38.163 & 137.753.106 & 146.679.395 & 135.451.093 & 367.495.143.385 \\ 35.429 & 127.732.180 & 135.451.093 & 125.605.361 & 321.863.425.759 \\ 89.445.629 & 328.435.832.772 & 367.495.143.385 & 321.863.426.759 & 1.558.514.146.381.880 \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} 37.033 \\ 133.668.222 \\ 142.373.763 \\ 131.488.115 \\ 356.461.772.697 \end{pmatrix}$$

$$A1 = \begin{pmatrix} 37.033 & 36.042 & 38.163 & 35.429 & 89.445.629 \\ 133.668.222 & 129.970.236 & 137.753.106 & 127.732.180 & 328.435.832.772 \\ 142.373.763 & 137.753.106 & 146.679.395 & 135.451.093 & 367.495.143.385 \\ 131.488.115 & 127.732.180 & 135.451.093 & 125.605.361 & 321.863.425.759 \\ 356.461.772.697 & 328.435.832.772 & 367.495.143.385 & 321.863.426.759 & 1.558.514.146.381.880 \end{pmatrix}$$

$$A2 = \begin{pmatrix} 10 & 37.033 & 38.163 & 35.429 & 89.445.629 \\ 36.042 & 133.668.222 & 137.753.106 & 127.732.180 & 328.435.832.772 \\ 38.163 & 142.373.763 & 146.679.395 & 135.451.093 & 367.495.143.385 \\ 35.429 & 131.488.115 & 135.451.093 & 125.605.361 & 321.863.425.759 \\ 89.445.629 & 356.461.772.697 & 367.495.143.385 & 321.863.426.759 & 1.558.514.146.381.880 \end{pmatrix}$$

$$A3 = \begin{pmatrix} 10 & 36.042 & 37.033 & 35.429 & 89.445.629 \\ 36.042 & 129.970.236 & 133.668.222 & 127.732.180 & 328.435.832.772 \\ 38.163 & 137.753.106 & 142.373.763 & 135.451.093 & 367.495.143.385 \\ 35.429 & 127.732.180 & 131.448.115 & 125.605.361 & 321.863.425.759 \\ 89.445.629 & 328.435.832.772 & 356.461.772.697 & 321.863.426.759 & 1.558.514.146.381.880 \end{pmatrix}$$

$$A4 = \begin{pmatrix} 10 & 36.042 & 38.163 & 37.033 & 89.445.629 \\ 36.042 & 129.970.236 & 137.753.106 & 133.668.222 & 328.435.832.772 \\ 38.163 & 137.753.106 & 146.679.395 & 142.373.763 & 367.495.143.385 \\ 35.429 & 127.732.180 & 135.451.093 & 131.448.115 & 321.863.425.759 \\ 89.445.629 & 328.435.832.772 & 367.495.143.385 & 356.461.772.697 & 1.558.514.146.381.880 \end{pmatrix}$$

$$A5 = \begin{pmatrix} 10 & 36.042 & 38.163 & 35.429 & 37.033 \\ 36.042 & 129.970.236 & 137.753.106 & 127.732.180 & 133.668.222 \\ 38.163 & 137.753.106 & 146.679.395 & 135.451.093 & 142.373.763 \\ 35.429 & 127.732.180 & 135.451.093 & 125.605.361 & 131.448.115 \\ 89.445.629 & 328.435.832.772 & 367.495.143.385 & 321.863.426.759 & 356.461.772.697 \end{pmatrix}$$

VII. Menentukan Nilai Determinan Matriks

$$\begin{aligned} \det(A) &= 2,65339E + 29 \\ \det(A1) &= -8,75442E + 32 \\ \det(A2) &= -7,55071E + 28 \\ \det(A3) &= 6,17712E + 28 \\ \det(A4) &= 5,24984E + 29 \\ \det(A5) &= 3,85812E + 24 \end{aligned}$$

VIII. Menentukan Nilai a, b2, b3, b4 dan b5

$$\begin{aligned} a &= \frac{\det(A1)}{\det(A)} = -3,299 \\ b1 &= \frac{\det(A2)}{\det(A)} = -0,285 \\ b2 &= \frac{\det(A3)}{\det(A)} = 0,233 \\ b3 &= \frac{\det(A4)}{\det(A)} = 2 \\ b4 &= \frac{\det(A5)}{\det(A)} = 0,000015 \end{aligned}$$

IX. Menentukan Persamaan Regresi

$$\begin{aligned} Y &= a + b1X1 + b2X2 + b3X3 + b4X4 \\ Y &= -3,299 - 0,285X1 + 0,233X2 + 2X3 + 0,000015X4 \end{aligned}$$

X. Percobaan Menggunakan Salah Satu Data

Peneliti menggunakan data dari variabel bebas tanggal 15 Januari 2021.

$$Y = -3.299 - 0,285(3.782) + 0,233(4.706) + 2(3.765) + 0,000015(31.613.653)$$

=> Menggunakan data variabel bebas tanggal 15 Januari 2021

$$Y = -3.299 - 1.078 + 1.096 + 7.530 + 474$$

$$Y = 4.724$$

=> Prediksi penutupan harga saham pada tanggal 15 Januari 2021

XI. Menentukan nilai akurasi menggunakan Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

Keterangan:

- RMSE = Nilai *Root Mean Square Error*
- Y = Nilai hasil observasi/actual/fakta
- $\hat{Y}$  = Nilai hasil prediksi
- i = Urutan data pada *database*
- n = Jumlah data

Tabel 6 Menentukan Nilai RMSE

Date	Open (X1)	High (X2)	Low (X3)	Volume (X4)	Close (Y)	Prediction ( $\hat{Y}$ )	Y - $\hat{Y}$	(Y - $\hat{Y}$ ) <sup>2</sup>
04 Januari 2021	3.566	3.641	3.467	2.032.849	3.516	3.498	18	341
05 Januari 2021	3.566	3.981	3.550	12.598.749	3.691	3.901	-210	44.203
06 Januari 2021	3.732	3.815	3.433	16.386.151	3.491	3.638	-147	21.629
07 Januari 2021	3.508	3.608	3.508	6.066.475	3.574	3.649	-75	5.607
08 Januari 2021	3.574	3.608	3.541	2.570.996	3.550	3.644	-94	8.768
11 Januari 2021	3.550	3.583	3.458	4.609.754	3.566	3.509	57	3.222
12 Januari 2021	3.566	3.599	3.525	3.458.220	3.566	3.625	-59	3.496
13 Januari 2021	3.566	3.807	3.550	5.122.217	3.608	3.749	-141	19.755
14 Januari 2021	3.632	3.815	3.632	4.986.565	3.765	3.894	-129	16.531
15 Januari 2021	3.782	4.706	3.765	31.613.653	4.706	4.724	-18	318
<b>TOTAL</b>								123.871

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{123871}{10}}$$

$$RMSE = 111$$

Setelah menghitung nilai RMSE diatas dapat diketahui bahwa nilai RMSE dari 10 sample *data history* saham ARTO adalah +-111.

C. Metode Pengumpulan Data

1. Dokumentasi

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dokumentasi yang berupa catatan data historis saham ARTO dari bulan Januari tahun 2019 sampai dengan bulan Desember tahun 2021 sebanyak 737 data yang di dapatkan melalui situs *ticmi.co.id*

2. Studi Literatur

Studi literatur adalah metode dimana peneliti mengumpulkan data untuk memperoleh informasi dari teori – teori yang sesuai dan dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian. Peneliti menggunakan jurnal dan buku dari tahun 2017 sampai dengan 2021 dalam penelitian ini.

D. Sumber dan Jenis Data

1. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder, dimana data sekunder tersebut diperoleh dari hasil dokumentasi berupa data historis saham ARTO dari bulan Januari tahun 2019 sampai dengan bulan Desember tahun 2021 sejumlah 737 data.

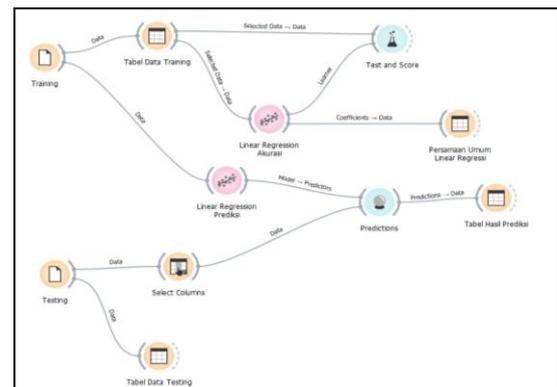
2. Jenis Data

Penelitian ini menggunakan jenis data kuantitatif berupa dataset dari data historis saham ARTO bulan Januari tahun 2019 sampai dengan bulan Desember tahun 2021 dengan sejumlah 737 data. Data kuantitatif yang diperoleh akan diuji menggunakan rumus algoritma Regresi Linear.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Orange Data Mining menggunakan Algoritma Regresi Linear

Penelitian ini menggunakan *tools Orange Data Mining* untuk melakukan penelitian terhadap saham ARTO dalam memprediksi penutupan harga saham. Data penutupan harga saham dikelola menjadi dua data, yaitu data *training* dan data *testing* dengan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing* atau 610 data *training* dan 68 data *testing*.



Gambar 2 Tampilan Orange Data Mining

Adapun kegunaan widget pada software *Orange Data Mining* adalah sebagai berikut:

### 1. Training

*Data training* pada widget file sebagai data latih sebanyak 610 data dengan 6 variabel yang dibagi menjadi 5 variabel bebas dan 1 variabel terikat.

### 2. Testing

*Data testing* pada widget file sebagai data yang akan di uji dengan 5 variabel bebas dan 1 variabel terikat yaitu kategori yang menunjukkan penutupan harga saham pada data yang diuji.

### 3. Test and Score

Widget Test and Score memiliki fungsi untuk menunjukkan nilai RMSE data yang diuji.

### 4. Regresi Linear

*Widget Regresi Linear* menjadi algoritma yang berfungsi untuk menghitung nilai RMSE dan menghitung prediksi pada data *testing*.

### 5. Predictions

*Widget Predictions* berfungsi untuk melakukan prediksi data *testing*.

## B. Hasil Analisa Data

Berdasarkan pengujian akurasi dan analisa time series pada penutupan harga saham ARTO dengan melakukan pengujian data training dan data testing menggunakan model Regresi Linear pada tools Orange Data Mining. Perbandingan dalam penelitian ini dilakukan dengan menganalisa 90% data training dan 10% data testing atau sebanyak 610 data training dan 68 data testing. Berikut merupakan hasil akurasi data dari model Regresi Linear:

**Tabel 7 Hasil RMSE Regresi Linear**

Model	Data Training	Data Testing	RMSE
Regresi Linear	90%	10%	103,064

Tabel 1 menunjukkan hasil RMSE dengan analisa *time series* menggunakan model *Regresi Linear* dengan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing* atau sebanyak 610 data *training* dan 68 data *testing* dengan hasil RMSE sebesar 103,064. Hal ini membuktikan bahwa analisa *Time Series* penutupan harga saham ARTO memanfaatkan model *Regresi Linear* menghasilkan nilai akurasi yang baik.

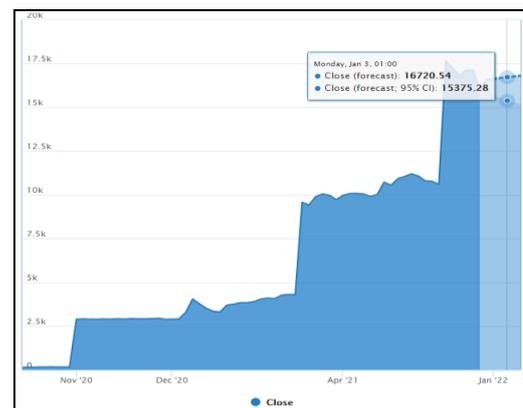
	Close	Linear Regression Prediksi	Date	Open Price	High	Low	Volume
1	148	176.853	2019-06-11 00:00:00	164	167	148	300
2	155	169.467	2019-06-12 00:00:00	157	157	149	28500
3	160	171	2019-06-13 00:00:00	157	160	147	24500
4	163	179.099	2019-06-14 00:00:00	168	168	151	35000
5	173	185.836	2019-06-17 00:00:00	173	173	173	100
6	170	182.912	2019-06-18 00:00:00	170	170	170	100
7	168	179.965	2019-06-19 00:00:00	168	168	160	2400
8	168	180.652	2019-06-21 00:00:00	167	168	167	6700
9	2900	2870	2020-11-11 00:00:00	2930	2930	2900	91200
10	2910	2881.85	2020-11-12 00:00:00	2920	2950	2910	188300
11	2900	2855.88	2020-11-13 00:00:00	2920	2920	2860	26000
12	2890	2843.26	2020-11-16 00:00:00	2900	2900	2890	85900
13	2910	2863.16	2020-11-17 00:00:00	2900	2930	2900	132900
14	2900	2871.85	2020-11-18 00:00:00	2910	2940	2900	158800
15	2920	2868.59	2020-11-19 00:00:00	2920	2930	2900	207300
16	2900	2865.99	2020-11-20 00:00:00	2910	2930	2900	183800
17	2930	2869.86	2020-11-23 00:00:00	2930	2930	2900	75100
18	2920	2876.23	2020-11-24 00:00:00	2920	2940	2920	92700
19	2920	2875.62	2020-11-25 00:00:00	2900	2950	2900	169900
20	2930	2893.22	2020-11-26 00:00:00	2950	2960	2900	114300

**Gambar 3 Hasil Prediksi Regresi Linear**

Gambar 3 diatas menunjukkan hasil dari analisa *Time Series* penutupan harga saham ARTO menggunakan model *Regresi Linear* dengan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing*. Hasil analisa *time series* menunjukkan harga prediksi saham dan harga aktual saham. Algoritma *Regresi Linear* dapat melakukan prediksi tunggal atau dapat melakukan prediksi terhadap data yang telah berlalu. Hasil penelitian menggunakan metode *Regresi Linear* ini kemudian dibandingkan dengan VAR model dan ARIMA model menggunakan dataset yang serupa dengan model *Regresi Linear*.

### 1) VAR Model

Vector Autoregressive (VAR) model digunakan untuk memodelkan ketergantungan temporal dalam rangkaian waktu multivarian yang memprediksi nilai – nilai seperangkat variabel pada suatu titik waktu tertentu yang banyak digunakan dalam peramalan dan tes kausalitas[16].



**Gambar 4 Hasil Prediksi VAR Model**

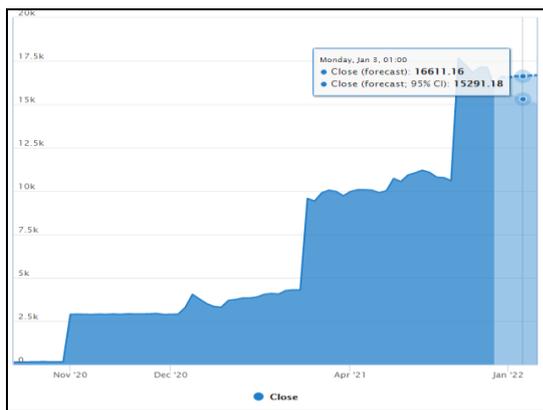
Gambar 4 diatas menunjukkan hasil dari analisa *time series* penutupan saham berkelanjutan menggunakan VAR model dengan dataset saham ARTO menggunakan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing*. Pada tabel diatas, peneliti hanya memprediksi 3 hari kedepan dari kinerja penutupan harga saham ARTO. Berdasarkan hasil prediksi berkelanjutan yang telah dilakukan, maka diketahui bahwa harga prediksi mengalami peningkatan secara perlahan dari tanggal 03 Januari 2022 sampai dengan tanggal 05 Januari 2022. Berikut merupakan tabel hasil prediksi penutupan harga saham ARTO selama tiga hari menggunakan VAR model:

**Tabel 8 Hasil Prediksi VAR Model**

No	Date	Price	Price (Low)	Price (High)
1	03 Januari 2022	Rp16.720	Rp15.375	Rp18.066
2	04 Januari 2022	Rp16.766	Rp15.257	Rp18.275
3	05 Januari 2022	Rp16.810	Rp15.153	Rp18.275

## 2) ARIMA Model

ARIMA model adalah model yang mengabaikan independen variabel dalam pembuatan peramalan. ARIMA menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat, namun untuk peramalan jangka panjang ketepatan peramalannya kurang baik[17].

**Gambar 5 Hasil Prediksi ARIMA Model**

Gambar 5 diatas menunjukkan hasil dari analisa *time series* penutupan saham berkelanjutan menggunakan ARIMA model dengan dataset saham ARTO menggunakan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing*. Pada tabel diatas, peneliti hanya memprediksi 3 hari kedepan dari kinerja penutupan harga saham ARTO. Berdasarkan hasil prediksi berkelanjutan yang telah dilakukan, maka diketahui bahwa harga prediksi mengalami peningkatan secara perlahan dari tanggal 03 Januari 2022 sampai dengan tanggal 05 Januari 2022. Berikut merupakan tabel hasil prediksi penutupan harga saham ARTO selama tiga hari menggunakan ARIMA model:

**Tabel 9 Hasil Prediksi ARIMA Model**

No	Date	Price	Price (Low)	Price (High)
1	03 Januari 2022	Rp16.611	Rp15.291	Rp17.931
2	04 Januari 2022	Rp16.664	Rp15.191	Rp18.136
3	05 Januari 2022	Rp16.671	Rp15.053	Rp18.289

Berdasarkan hasil prediksi berkelanjutan penutupan harga saham ARTO dengan membandingkan VAR model dengan ARIMA model yang telah dilakukan, diketahui bahwa hasil prediksi dengan menggunakan VAR model menghasilkan

prediksi penutupan harga saham ARTO yang lebih tinggi dibandingkan dengan ARIMA model selama tiga hari kedepan.

Penelitian ini juga membandingkan hasil nilai akurasi RMSE dari model *Regresi Linear*, VAR model dan ARIMA model. Berikut hasil RMSE dari model *Regresi Linear*, VAR model dan ARIMA model:

**Tabel 10 Hasil Perbandingan RMSE**

Model	Data Training	Data Testing	RMSE
<i>Regresi Linear</i>	70%	30%	117,185
	80%	20%	142,080
	90%	10%	103,064
VAR Model	70%	30%	834,1
	80%	20%	834,2
	90%	10%	428,1
ARIMA Model	70%	30%	742,7
	80%	20%	746,4
	90%	10%	396,3

Berdasarkan Tabel 4.6 diatas, diketahui bahwa akurasi RMSE dari metode *Regresi Linear* dengan menggunakan perbandingan 90% data *training* dan 10% data *testing* menghasilkan angka terkecil dari metode *Regresi Linear* dengan perbandingan 70%:30% dan 80%:20%. Akurasi RMSE dengan metode *Regresi Linear* menggunakan perbandingan 90%:10% menghasilkan nilai RMSE sebesar 103,064. Nilai RMSE tersebut memiliki hasil yang paling kecil diantara VAR model dan ARIMA model, yang dimana dalam akurasi RMSE sebuah prediksi dapat dikatakan lebih akurat jika memiliki nilai RMSE yang paling kecil (mendekati 0). Hal ini dapat di artikan bahwa metode *Regresi Linear* dengan perbandingan 90%:10% mampu menghasilkan nilai akurasi prediksi paling baik diantara VAR model dan ARIMA model.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengujian dataset dalam prediksi penutupan harga saham pada PT Bank Jago Tbk. (ARTO), dengan pengujian data sebanyak 678 dataset dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2021 menggunakan 6 variabel yang diuji. Sebanyak 678 dataset dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 jenis data yaitu data latih (data training) dan data uji (data testing) dengan menggunakan perbandingan 90% data training dan 10% data testing atau sebanyak 610 data training dan 68 data testing. Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa Time Series penutupan harga saham pada PT Bank Jago Tbk. (ARTO) menggunakan metode Regresi Linear dengan Tools Orange Data Mining mampu melakukan prediksi tunggal atau mampu menunjukkan harga prediksi penutupan harga saham dengan harga aktual penutupan harga saham menggunakan data yang sudah berlalu.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Regresi Linear menggunakan tools Orange Data Mining mampu menghasilkan nilai akurasi RMSE sebesar 103,064. Dimana nilai akurasi prediksi ini menjadi yang paling baik dibandingkan dengan VAR model dan ARIMA model.

Hal ini menunjukkan bahwa metode Regresi Linear memiliki tingkat akurasi yang paling baik untuk memprediksi penutupan harga saham ARTO dibandingkan dengan VAR model dan ARIMA model. Dari hasil uji yang di dapat, metode Regresi Linear mampu melakukan prediksi penutupan harga saham dengan menunjukkan harga saham aktual dan harga saham prediksi menggunakan data yang sudah berlalu. Sedangkan, penelitian ini juga menggunakan dua metode tambahan untuk melakukan prediksi penutupan harga saham berkelanjutan, yaitu dengan menggunakan VAR model dan ARIMA model.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. HARSONO, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Nilai Perusahaan Non Keuangan Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia," *J. Bisnis dan Akunt.*, vol. 20, no. 2, pp. 117–126, 2019, doi: 10.34208/jba.v20i2.416.
- [2] I. Halimi and W. A. Kusuma, "Prediksi Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) Menggunakan Algoritma Neural Network," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 4, no. 1, p. 24, 2018, doi: 10.26418/jp.v4i1.25384.
- [3] W. R. U. Fadilah, D. Agfiannisa, and Y. Azhar, "Analisis Prediksi Harga Saham PT. Telekomunikasi Indonesia Menggunakan Metode Support Vector Machine," *Fountain Informatics J.*, vol. 5, no. 2, p. 45, 2020, doi: 10.21111/fij.v5i2.4449.
- [4] M. Arhamni and M. Nasir, *DATA MINING Algoritma dan Implementasi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2020.
- [5] E. P. Ariesanto Akhmad, "Data Mining Menggunakan Regresi Linear untuk Prediksi Harga Saham Perusahaan Pelayaran," *J. Apl. Pelayaran dan Kepelabuhanan*, vol. 10, no. 2, p. 120, 2020, doi: 10.30649/japk.v10i2.83.
- [6] V. Gururaj and S. V R, "Stock Market Prediction using Linear Regression and Support Vector Machines," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 14, no. 8, pp. 1931–1934, 2019, [Online]. Available: <http://www.ripublication.com>.
- [7] R. Seethalakshmi, "Analisis Variabel Prediktor Pasar Saham Menggunakan Regresi Linier," vol. 3395, no. 15, pp. 369–378, 2018.
- [8] S. C. Agrawal, "Deep learning based non-linear regression for Stock Prediction," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1116, no. 1, p. 012189, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1116/1/012189.
- [9] T. A. Lubis, *Manajemen Investasi (Pendekatan Teoritis dan Empiris)*. 2009.
- [10] S. Elviani, R. Simbolon, and S. P. Dewi, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Harga Saham Perusahaan Telekomunikasi," *J. Ris. Akunt. Multiparadigma*, vol. 6, no. 1, pp. 29–39, 2019.
- [11] N. W. Utami and A. Paramitha, "Penerapan Data Mining Untuk Mengetahui Pola Pemilihan Program Studi Di Stmik Primakara Menggunakan Algoritma K-Means ...," *J. Teknol. Inf. dan ...*, vol. 3, pp. 456–463, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.undhirabali.ac.id/index.php/jutik/article/view/1540>.
- [12] P. Esling and C. Agon, "Time-series data mining," *ACM Comput. Surv.*, vol. 45, no. 1, 2012, doi: 10.1145/2379776.2379788.
- [13] R. A. raffaidy Wiguna and A. I. Rifai, "Analisis Text Clustering Masyarakat Di Twitter Mengenai Omnibus Law Menggunakan Orange Data Mining," *J. Inf. Syst. Informatics*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2021, doi: 10.33557/journalisi.v3i1.78.
- [14] E. Buulolo, *Data Mining Untuk Perguruan Tinggi*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish, 2020.
- [15] N. W. Utami, I. N. Sukajaya, I. Made Candiasa, and E. G. A. Dewi, "The implementation of data mining to show UKT (students' tuition) using fuzzy C-means algorithm: (Case study: Universitas Pendidikan Ganesha)," *2019 Int. Conf. Adv. Comput. Sci. Inf. Syst. ICACISIS 2019*, pp. 101–106, 2019, doi: 10.1109/ICACISIS47736.2019.8979933.
- [16] A. Wulandari, "Perbandingan Klasifikasi Pergerakan Harga Saham Pt. Astra Internasional Tbk Menggunakan Vector Auto Regressive (var) Stasioner Dan Logistic ...," *eProceedings Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 2614–2626, 2020.
- [17] Sismi and M. Y. Darsyah, "Perbandingan Prediksi Harga Saham PT.BRI, Tbk dengan METODE ARIMA dan MOVING AVERAGE," *Pros. Semin. Nas. Mhs. Unimus*, vol. 1, no. 1, pp. 351–360, 2018, [Online]. Available: [http://prosiding.unimus.ac.id/index.php/mahasi\\_swa/article/view/170](http://prosiding.unimus.ac.id/index.php/mahasi_swa/article/view/170).

# Rancang Bangun API Point of Sales Terintegrasi dengan Thermal Printer Menggunakan MQTT Gateway

## Designing Point of Sales API Integrated with Thermal Printer Using MQTT Gateway

Mohamad Fahmi Syaifudin, Nanang Fakhru Rozi

Jurusan Teknik Informatika, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Jl. Arief Rahman Hakim No. 100, Sukolilo, Surabaya

[fahmisyiaifudin00@gmail.com](mailto:fahmisyiaifudin00@gmail.com),

**Abstract**— A point of sale is a place where customers pay to buy a product. Nowadays, there are many platforms providing services for mobile or desktop-based points of sale. However, web-based point of sale is seldom used as it does not support interconnection with thermal printer hardware for printing receipts. Therefore, this study aims to design and develop a point-of-sale Application Programming Interface (API) that is integrated with thermal printer. By using this system, business owners are expected to be able to monitor their sales transactions and print transaction receipts when an order comes in and easily integrate the existing applications with thermal printers, including those with web, Android, or desktop bases. The integration process utilizes the payload data of transactions sent to the API Server. After that, it sent the payload data to the printer driver using the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol. This research employed the method of software development known as Agile Extreme Programming (XP). The development model consists of the planning, design, coding, and testing processes. The researcher involved integration testing, payload data testing, API performance testing, and user acceptance testing. After conducting those tests, the results indicated that the built-in integrator could be integrated with the web, WordPress, Android, and desktop. It could send the payload data up to 5 MB. The API Server could handle requests from up to 1000 users simultaneously with an average latency of 11.58 ms. The results of user acceptance testing met the user's needs and the respondents could understand it easily as it got an average score of 92.68% (strongly agree) based on the Likert scale calculation.

**Keywords** : Point of sales, Thermal Printer, POS API, MQTT, Agile Extreme Programming

**Abstrak**— Point of sales adalah tempat pembayaran para pelanggan dalam membeli sebuah produk. Saat ini banyak beredar di pasaran, platform penyedia layanan point of sales berbasis mobile atau desktop, sedangkan point of sales berbasis web sangat jarang digunakan karena tidak mendukung interkoneksi dengan hardware thermal printer untuk mencetak struk. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun Application Programming Interface (API) point of sales yang terintegrasi dengan thermal printer. Harapannya para pemilik usaha dapat memonitor transaksi penjualannya dan mencetak struk transaksi ketika ada pesanan yang masuk dan memudahkan dalam mengintegrasikan aplikasi yang sudah ada dengan thermal printer, baik aplikasi berbasis web, Android, maupun desktop. Proses integrasi yang dimaksud adalah dengan memanfaatkan payload data transaksi yang dikirim ke API Server, kemudian mengirimkan payload data tersebut kepada driver printer menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). Penelitian ini menggunakan metode pengembangan perangkat lunak Model Agile extreme programming (XP). Model pengembangan tersebut terdiri dari

proses *planning, design, coding* dan *testing*. Pengujian dari penelitian ini terdiri dari *integration testing, payload data testing, API performance testing*, dan *user acceptance testing*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrator yang dibangun dapat diintegrasikan dengan web, Wordpress, Android, dan desktop. Payload data yang dapat dikirim hingga 5MB. API Server dapat meng-handle request hingga 1000 user secara bersamaan dengan rata-rata latency 11,58ms. Hasil user acceptance testing telah memenuhi kebutuhan pengguna dan mudah dipahami oleh responden dengan mendapatkan rata-rata skor 92,68% (sangat setuju) berdasarkan perhitungan skala likert

**Kata Kunci** : Point of sales, Thermal Printer, POS API, MQTT, Agile Extreme Programming

### I. PENDAHULUAN

Saat ini banyak beredar di pasaran platform penyedia layanan point of sales beserta printer-nya untuk mencetak struk transaksi jual beli oleh pelaku usaha. Platform tersebut menggunakan aplikasi berbasis mobile apps, atau desktop app di sisi point of sales-nya, dan menggunakan website untuk memantau dashboard penjualan, menambahkan barang, stok atau melihat report penjualan di periode tertentu. Penggunaan aplikasi berbasis mobile apps, atau desktop app di sisi point of sales bukan tanpa alasan, Hal ini disebabkan karena aplikasi berbasis website tidak mendukung interkoneksi dengan hardware printer untuk mencetak struk [2].

Pelaku usaha dapat memilih memakai platform penyedia layanan point of sales, atau mengembangkan sendiri aplikasi mereka sesuai kebutuhan. Website builder dan e-commerce merupakan solusi bagi pelaku usaha kecil dan menengah untuk membangun sistem penjualan usaha mereka, tanpa harus menyusun program dan menyewa tim pengembang dengan biaya yang mahal. Beberapa website builder dan e-commerce tidak memiliki dashboard khusus untuk pelaku usaha untuk memantau dan memonitor usahanya, dan juga website builder dan e-commerce memiliki keterbatasan interkoneksi antar-hardware printer point of sales untuk cetak struk dikarenakan beberapa website builder dan e-commerce dijalankan dalam server cloud

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis mendapatkan ide untuk mengembangkan API Point of Sales yang terintegrasi dengan Thermal Printer. Rancangan sistem tersebut dapat dijalankan dengan memanfaatkan API (Application Programming Interface) yang disediakan. Sehingga memudahkan tim pengembang

dan pemilik usaha dalam mengintegrasikan aplikasi yang sudah ada dengan *printer Point of Sales*, baik aplikasi berbasis web, Android, maupun desktop.

## II. DASAR TEORI

### A. Point of Sales

*Point of sales* atau POS adalah tempat pembayaran para pelanggan dalam membeli sebuah produk. Biasanya POS berbentuk mesin, tablet, smartphone, mesin EDC atau perangkat lainnya yang digunakan untuk transaksi di toko seperti pada gambar 1. Manfaat POS bagi pelaku usaha adalah menyimpan harga barang, mencatat pendapatan pengeluaran dan laba, mencatat secara otomatis barang yang masuk dan keluar, dan menghemat budget dalam merekrut tim khusus [4].



Gambar 1. Point of Sales [4]

### B. REST API

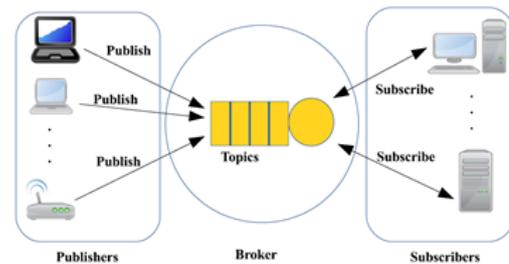
REST API (*Representational State Transfer Application Programming Interface*) merupakan standar dari arsitektur untuk pengembangan sistem berbasis web sebagai protokol untuk komunikasi data. Arsitektur REST merupakan hubungan antara client dan server, yang dimana sumber daya/data disediakan oleh REST server dan sumber daya/data tersebut untuk selanjutnya diakses dan ditampilkan oleh REST client. Setiap sumber daya/data diidentifikasi oleh URL (*Universal Resource Identifiers*) [5]. Setiap sumber daya/data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk teks, XML atau JSON. Umumnya menggunakan XML dan JSON. REST menjelaskan bagaimana aplikasi berkomunikasi melalui *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP).

### C. MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol pengiriman pesan yang diperkenalkan oleh Andy Stanford-Clark dari IBM dan Arlen Nipper dari Arcom di tahun 1999 dan telah distandardisasi pada 2013 di OASIS. MQTT bertujuan menghubungkan perangkat *publisher* dan *subscriber* menggunakan aplikasi dan *middleware*. Perangkat terkoneksi menggunakan mekanisme *routing* (*one-to-one, one-to-many, many-to-many*). MQTT biasanya digunakan untuk menghubungkan protokol untuk *Internet of Things* (IoT) dan *Machine to Machine* (M2M) [1].

MQTT menggunakan prinsip *publish subscribe* seperti yang pada Gambar 2. *Publisher* mengirim *topics* yang berisi data ke *broker*, kemudian *subscriber* meminta

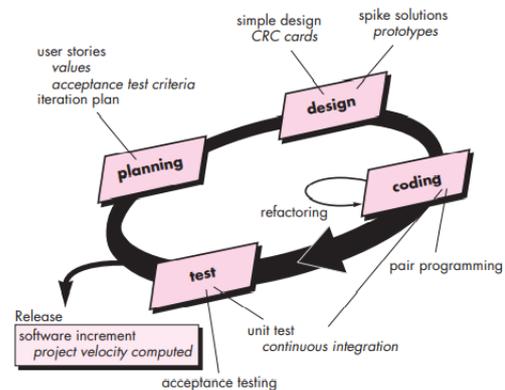
*topics* yang dikirim *publisher*, sehingga *publisher* dan *subscriber* dapat berkomunikasi



Gambar 2. Arsitektur MQTT [1]

## III. METODE

Metode yang digunakan dalam Menyusun siklus pengembangan aplikasi adalah dengan metode *agile extreme programming*. Metode *agile extreme programming* adalah metodologi pengembangan perangkat lunak tangkas yang menangani perubahan yang cepat dalam persyaratan dan lingkungan secara bertahap dan siklus rilis [7]. Tahapan-tahapan yang harus dilalui antara lain: *Planning, Design, Coding, dan Testing* [8] seperti tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Metode Agile Extreme Programming [8]

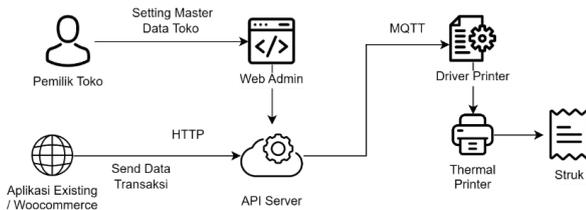
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Planning

Perencanaan terhadap software yang diinginkan mengacu pada *user stories*. *User stories* menggambarkan fitur dan fungsi yang dibutuhkan terhadap software tersebut. Ketika semua *user stories* telah ditentukan, *developer* akan menentukan lama pengerjaan untuk tiap-tiap *user stories*. Adapun beberapa fungsi dan kebutuhan dari aplikasi *Point of Sales* sebagai berikut

- 1) Mencetak struk transaksi penjualan melalui aplikasi yang sudah ada
- 2) Membuat halaman untuk mengatur informasi pada struk, seperti nama toko, alamat dan nomor telepon
- 3) Membuat *dashboard* monitoring dan analisis penjualan selama periode waktu tertentu dari data transaksi

B. Desain



1) Desain Sistem

Gambar 3. Perancangan Sistem

Pada gambar 3 perencanaan Aplikasi yang sudah tersedia (*existing*) akan mengirim data transaksi dalam bentuk JSON ke API Server. API Server akan mengirim *message* ke *broker* MQTT yang nantinya akan ditangkap oleh *driver* untuk selanjutnya dicetak kedalam perangkat *thermal printer*.

Penggunaan REST API merupakan arsitektur komunikasi yang sering digunakan dalam pertukaran data antar aplikasi. Penggunaan REST API sifatnya universal artinya hampir semua Bahasa pemrograman mempunyai fitur untuk mengirim *request* API.

Penggunaan protokol MQTT bertujuan karena merupakan protokol yang populer dalam *Internet of Things*, dikarenakan *low latency*, hemat bandwidth dan hemat energi [3]. Selain itu MQTT adalah teknologi *messaging* berbasis antrean yang artinya seluruh *request* yang masuk akan diantri satu per satu sehingga tidak terjadi *request* yang terlewatkan.

2) Desain Aplikasi

Di sisi aplikasi dibagi menjadi tiga bagian, yang pertama adalah web admin, API Server, dan *driver*. Web admin berfungsi untuk mengatur management perangkat dan management data toko. API Service berfungsi untuk menerima *request* data transaksi yang masuk dari aplikasi *existing* lalu mengirimnya ke sisi hardware. *Driver printer* merupakan sebuah *gateway* untuk menghubungkan data yang diterima dari MQTT kemudian dikonversi menjadi perintah ESC/POS. ESC/POS adalah sebuah standard sintaks perintah yang digunakan beberapa *thermal printer*.

C. Coding

Proses coding mengimplementasikan *Framework MVC* (*Model, view, controller*), dengan menggunakan *Framework MVC* hasil *source code* dipecah menjadi beberapa bagian, sehingga aplikasi yang dikembangkan memiliki arsitektur yang selaras dan terkelola lebih baik [6].

1) API Server

API Server berfungsi untuk menerima *request* data transaksi yang masuk dari aplikasi *existing* lalu mengirimnya ke sisi hardware, Selain itu API Server ini juga memiliki fungsi untuk meng-*handle* proses logika yang ada didalam web admin mulai dari *login, register,*

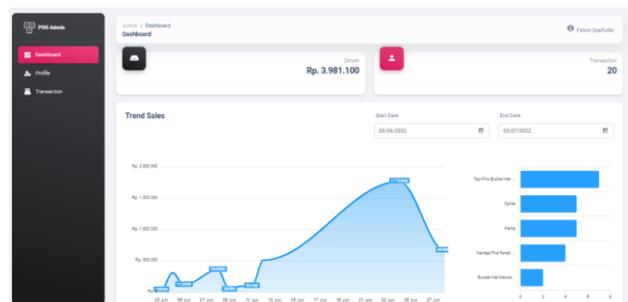
dan informasi dan credential *merchant* seperti pada tabel 1 .

TABEL I. API SPESIFIKATION

Method	Endpoint	Deskripsi	Body
POST	/register	Mendaftarkan <i>merchant</i> baru	{ "name": "", "phone": "", "email": "", "password": "", "repeat_password": "" }
GET	/profile	Mengambil data <i>profile</i>	
POST	/print	Menambahkan dan mencetak transaksi	{ "cashier": "", "customer": "", "cash": "", "items": [ { "name": "", "qty": "", "price": "" } ] }
PUT	/api/profile	Meng-update <i>profile merchant</i>	{ "name": "", "address": "", "password": "", "repeat_password": "" }
GET	/api/dashboard/summary?start=&end=	Mengambil ringkasan transaksi periode tertentu	
GET	/api/dashboard/graph?start=&end=	Mengambil grafik transaksi selama periode tertentu	
GET	/api/dashboard/top-product?start=&end=	Mengambil trend produk selama periode tertentu	
GET	/api/transaction	Mengambil seluruh data transaksi	
GET	/api/download-config	Men-download file konfigurasi <i>driver printer</i>	

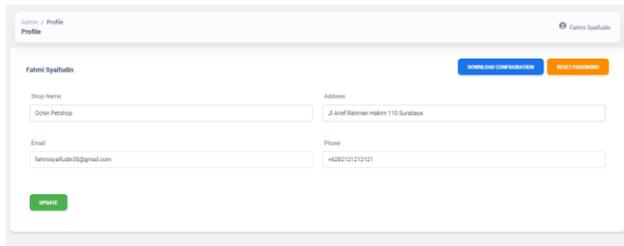
2) Web Admin

Web admin merupakan halaman web sebagai tempat *merchant* untuk melihat profile, data konfigurasi, dan memonitor transaksi yang masuk beserta visualisasinya dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4 dan 5. Selain



fitur tersebut web admin juga berfungsi untuk mendownload file konfigurasi untuk menjalankan *driver printer*

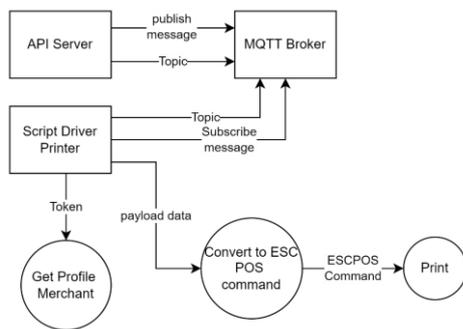
Gambar 4. Tampilan Dashboard



Gambar 5. Tampilan Profile

3) Driver Printer

Driver printer merupakan sebuah gateway untuk menghubungkan data yang diterima dari MQTT kemudian dikonversi menjadi perintah ESC/POS seperti dijelaskan pada gambar 6. ESC/POS adalah sebuah standard sintaks perintah yang digunakan beberapa thermal printer



Gambar 6. Alur kerja driver printer

D. Testing

1) Integration Testing

Tujuan integration testing dalam pengujian perangkat ini adalah memastikan integrator printer POS dapat dipakai di beberapa perangkat lunak yang akan diintegrasikan dan dapat mencetak struk dari transaksi yang diinputkan. Hasil integration testing ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL II. INTEGRATION TESTING TERHADAP BEBERAPA PLATFORM

Platform	Metode Integrasi	Keberhasilan (Berhasil/Gagal)
Web (Codeigniter)	REST API	Berhasil
Wordpress (Woocommerce)	Webhook	Berhasil
Android (React Native)	REST API	Berhasil
Desktop (Electron)	REST API	Berhasil

2) User Acceptance Testing

User Acceptance Testing (UAT) terhadap system diperlukan untuk mengukur system yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan user dan kenyamanan end-user terhadap aplikasi dan system yang sudah dibuat. Tolak ukur kualitas kebergunaan aplikasi adalah ISO 9126, sehingga pertanyaan disusun berdasarkan karakteristik kualitas perangkat lunak ISO 9126. Responden dari User acceptance testing (UAT) ini adalah 16 orang para pengembang (developer) dari latar belakang perusahaan yang berbeda-beda dan dihitung menggunakan

perhitungan skala likert. Hasil user acceptance testing ditunjukkan pada tabel 3

TABEL III. USER ACCEPTANCE TESTING MENGGUNAKAN ISO 9126

Sub faktor	Deskripsi	Persentase	Penilaian
Suitability	Kemampuan perangkat lunak untuk menyediakan serangkaian fungsi yang sesuai untuk tugas-tugas tertentu dan tujuan pengguna	97,08%	Sangat Bagus
Interoperability	Kemampuan perangkat lunak untuk berinteraksi dengan satu atau lebih sistem tertentu	93,75%	Sangat Bagus
Security	Kemampuan perangkat lunak untuk mencegah akses yang tidak diinginkan	96,25%	Sangat Bagus
Understandability & Learnability	Kemampuan perangkat lunak dalam kemudahan untuk dipahami dan dipelajari	85%	Sangat Bagus
Operability	Kemampuan perangkat lunak dalam kemudahan untuk dioperasikan	82,5%	Sangat Bagus

Berdasarkan hasil keseluruhan sub faktor User Acceptance Testing, mendapatkan rata rata skor 92,68% (sangat setuju) menggunakan perhitungan skala likert

3) Payload Data Testing

Tujuan dari pengujian payload data adalah mengetahui apakah data yang dikirim sama atau tidak antara disisi pengirim dan penerima. Pengertian sama disini adalah sama dari sisi ukuran datanya dalam bentuk (byte), maupun keseluruhan karakter (string) datanya. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menverifikasi hasil sha256 checksum disisi pengirim dan penerima. Hasil payload data testing ditunjukkan pada tabel 4

TABEL IV. PAYLOAD DATA TESTING

Jumlah Item	Data (dalam Byte)		Hasil Checksum
	Dikirim	Diterima	
5	384	384	Sesuai
10	673	673	Sesuai
20	1251	1251	Sesuai
40	2407	2407	Sesuai
60	3563	3563	Sesuai
80	4719	4719	Sesuai
100	5875	5875	Sesuai

4) API Performance Testing

Pengujian performansi API service dilakukan dengan menggunakan aplikasi JMeter. Skenario pengujianya adalah mensimulasikan jumlah user yang mengakses dengan mendefinisikan number of threads. kemudian mengamati performansi nya dalam latency, maximum latency, dan success rate. Hasil API Performance testing ditunjukkan pada tabel 5

TABEL V. API PERFORMANCE TESTING

Jumlah User	Rasio Kesuksesan (%)	Total Latency (ms)	Total Packet (bytes)	Latency (ms)
1	100	1595	396	4,02
10	100	1340	396	3,38
20	100	1289	396	3,25
50	100	1509	396	3,80
100	100	1388	396	3,50
200	100	1343	396	3,39
500	100	3780	396	9,54
1000	100	4588	396	11,58

## V. KESIMPULAN

Dari pembuatan API *Point of Sales* Terintegrasi dengan *Thermal Printer* Menggunakan MQTT Gateway ini didapat beberapa kesimpulan yaitu:

- 1) Perancangan API *Point of Sales* Terintegrasi dengan *Thermal Printer* berhasil dibangun dengan model *Agile Extreme Programming*. Proses integrasi dengan cara mengirimkan *payload* data transaksi ke API Server, kemudian dari API Server mengirimkan *payload* data tersebut kepada *driver printer* menggunakan protokol MQTT
- 2) Perancangan Integrator *thermal printer Point of Sales* berhasil diintegrasikan dengan aplikasi berbasis web. web *builder* (Woocommerce), Android dan desktop
- 3) API server yang juga berfungsi sebagai API *gateway* yang telah dibangun dapat mengirimkan hingga 5MB data *payload* transaksi dan dapat meng-*handle request* hingga 1000 user secara bersamaan dengan maksimal *latency* aktual sebesar 11,58ms
- 4) Aplikasi yang dibangun telah memenuhi kebutuhan pengguna dan mudah dipahami oleh responden

dengan mendapatkan rata rata skor 92,68% (sangat setuju) berdasarkan perhitungan skala *likert*

## REFERENCES

- [1] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, Protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015
- [2] A. Bjørn-Hansen, T. A. Majchrzak, and T.-M. Grønli, "Progressive web apps: The possible web-native unifier for Mobile Development," *Proceedings of the 13th International Conference on Web Information Systems and Technologies*, 2017.
- [3] A. Zainudin, M. F. Syaifudin, and N. Syahroni, "Design and implementation of node gateway with MQTT and CoAP protocol for IOT Applications," 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), 2019.
- [4] C. Jessica, "Point of sales: Pengertian, Jenis, Dan Fungsinya bagi bisnis," *Glints Blog*, 14-Mar-2022. [Online]. Available: <https://glints.com>. [Accessed: 14-Jul-2022].
- [5] I.G.M Ariantara, I Arwani., and W.H.N Putra. "Penerapan REST API dalam Pengembangan Aplikasi Pemesanan Rental Mobil berbasis Web dan Mobile". *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Vol 4, No. 8, pp. 2569-2576, 2020.
- [6] N. F. Rozi, M. Ruswiansari, A. Rachman, S. R. Wardhana, and L. Istiyanto, "The development of lidi: A web-based car rent marketplace application in Sidoarjo, Indonesia," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 462, p. 012052, 2019.
- [7] R. Parlita, M. F. Hidayat, H. R. Putra, V. H. Satria, H. F. Lesmana, and F. H. Pralas, "Studi Komparatif model proses Perangkat Lunak TERHADAP Karakteristik Sistem Erp," *Jurnal IPTEK*, vol. 22, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [8] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software engineering: A practitioner's approach*. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2020.

# Perancangan *Unified IoT Platform* Untuk Pengembangan Sistem IoT berbasis OPC UA

Sujoko Sumaryono<sup>1)</sup>, Dzakwan Silverdi Hasan<sup>2)</sup>, Dani Adhipta<sup>3)</sup>

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, DI Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup>sujoko@ugm.ac.id

<sup>2</sup>dzakwansilverdi@mail.ugm.ac.id

<sup>3</sup>dani@ugm.ac.id

**Abstract**— Based on data obtained by the Indonesian Internet of Think (IoT) Association (ASIOTI), in 2022 the number of IoT devices or sensors used in Indonesia will reach 400 million sensors with a market value of around Rp 350 trillion. To bridge sensors and user applications, an IoT platform is needed that can provide interoperability solutions to the data provided by IoT devices. For this reason, a Konnex IoT platform was designed with the aim of helping the development of IoT systems to bridge sensor data and user applications through the Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA) protocol. The OPC UA protocol has the advantage of being Plug and Play so that the system can access data sent by the OPC UA protocol without the need to manually reconfigure or install device drivers. Based on the performance tests that have been carried out, through a load of 1000 virtual users, the system that has been designed is able to support data requests of 698 QPS (queries per second) to 2886 QPS. The system also supports an average response time of under 300 ms. All processed data requests have been served without any failures.

**Keywords**— *Internet of Things, OPC UA, IoT Platform.*

**Intisari**— Berdasarkan data yang diperoleh oleh Asosiasi IoT Indonesia (ASIOTI), pada 2022 jumlah perangkat atau sensor IoT (*Internet of Think*) yang digunakan di Indonesia mencapai 400 juta sensor dengan nilai pasar sekitar Rp 350 triliun. Untuk menjembatani sensor dan aplikasi pengguna, dibutuhkan suatu *platform* IoT yang dapat menyediakan solusi interoperabilitas terhadap data yang disediakan oleh piranti IoT. Untuk itu, dirancang sebuah *platform* IoT Konnex dengan tujuan membantu pengembangan sistem IoT untuk menjembatani data sensor dan aplikasi pengguna melalui protokol OPC UA (*Open Platform Communication - Unified Architecture*). Protokol OPC UA memiliki keunggulan berupa *Plug and Play* sehingga sistem dapat mengakses data yang dikirim oleh protokol OPC UA tanpa perlu melakukan konfigurasi ulang atau pemasangan pengandar (*driver*) peranti secara manual. Berdasarkan pengujian performa yang telah dilakukan, melalui beban sebesar 1000 pengguna virtual, sistem yang telah dirancang mampu mendukung *request* data sebesar 698 QPS (*query per second*) hingga 2886 QPS. Sistem juga telah mendukung rata rata *response time* dibawah 300 ms. Seluruh *request* data yang diproses telah dilayani tanpa adanya kegagalan.

## I. PENDAHULUAN

Sistem *Internet of Things* (IoT) dapat dibangun dengan menggunakan berbagai piranti yang memiliki konfigurasi dan spesifikasi yang berbeda. Namun, untuk mengintegrasikan berbagai piranti yang memiliki spesifikasi berbeda tersebut, diperlukan proses yang rumit

dalam menyesuaikan konfigurasinya. *Open Platform Communication Unified Architecture (OPC-UA)* adalah suatu *platform* yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan piranti yang memiliki spesifikasi dan konfigurasi yang berbeda dapat direalisasikan. Berbagai piranti IoT dapat dihubungkan melalui suatu *server* OPC-UA, kemudian data yang diproses dapat dibaca dengan menggunakan aplikasi klien OPC-UA.

Pengembangan sistem IoT berbasis *server* OPC-UA akan mempermudah perancangan suatu *Platform* IoT, sehingga pengembang IoT tidak perlu melakukan proses berulang dalam membangun sistem berbasis OPC-UA. Pembangunan *platform* IoT berbasis teknologi OPC-UA, maka pengembang sistem IoT dapat membangun *server* OPC-UA dan menghubungkan dengan piranti IoT melalui antarmuka interaktif tanpa melakukan pemrograman, sehingga alur pengembangan sistem IoT dapat dipersingkat dengan memanfaatkan fungsionalitas yang tersedia pada *platform* IoT yang akan dibangun.

Makalah ini akan menjelaskan mengenai rancangan berbasis spesifikasi *engineering* dari *project* yang akan dihasilkan. Beberapa fitur akan ditambahkan serta menjelaskan bagaimana piranti IoT dapat terhubung dengan server OPC melalui *platform* IoT. Makalah ini memuat penjelasan mengenai dasar teori pendukung dan analisis studi pustaka kunci, juga akan dipaparkan rancangan detail teknis dari solusi yang diusulkan. Metode dan hasil pengujian untuk memastikan kelayakan rancangan solusi dan kesesuaiannya terhadap spesifikasi teknis yang telah ditetapkan dalam rancangan akan dibahas dalam makalah ini.

## II. LANDASAN TEORI

### A. *Internet of Things*

Sistem IoT merupakan sebuah konsep keterhubungan antara suatu mesin mekanik atau digital, objek, hingga makhluk hidup dengan suatu alat berbasis elektronik, sensor, aktuator, dan koneksi internet yang memiliki kemampuan untuk mengumpulkan dan mentransfer data tanpa membutuhkan campur tangan manusia. Definisi tersebut, menjadikan sistem berbasis IoT merupakan komponen penting dalam pembangunan industri 4.0.

Industri 4.0 dicirikan dengan sebuah pergeseran paradigma dari sistem kontrol terentralisasi menjadi sistem kontrol desentralisasi yang memungkinkan adanya komunikasi antara manusia, mesin, dan sumber daya. IoT memungkinkan sebuah obyek seperti RFID, sensor, aktuator, smartphone, dengan melalui sebuah protokol

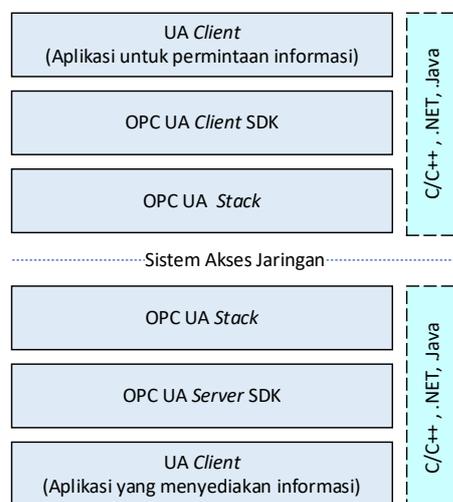
tertentu sehingga dapat berinteraksi dengan sebuah sistem pintar untuk mencapai tujuan tertentu [1].

### B. Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA)

*Open Platform Communication* atau OPC merupakan sebuah standar interoperabilitas untuk pertukaran data yang aman dan andal di lingkup otomasi industri. OPC merupakan *platform* yang independen dan memastikan aliran informasi yang lancar di antara perangkat dari beberapa vendor. OPC UA dirilis pada tahun 2008 yang merupakan integrasi antara *platform* individual dari versi klasik OPC yang diantaranya berupa *OPC Data Access* yang mendefinisikan pertukaran data; *OPC Alarms & Events* yang mendefinisikan pesan informasi, *state variable* serta *state management*; dan *OPC Historical Data Access* yang mendefinisikan metode kueri dan analitik yang bisa diaplikasikan untuk data historis atau data berbasis *time-series* [2].

Komponen Fundamental dari OPC UA adalah mekanisme *transport* dan *data modelling*. *Transport* mendefinisikan berbagai mekanisme yang digunakan untuk kasus yang berbeda. Penggunaan protokol TCP biner untuk komunikasi intranet dengan performa tinggi serta sebagai *mapping* ditujukan untuk menerima komunikasi internet standar seperti *Web Services*, XML, dan HTTP. *Data modelling* mendefinisikan aturan atau *building blocks* yang diperlukan untuk mengekspos model informasi melalui OPC UA. Komponen ini juga mendefinisikan *entry points* untuk tempat alamat dan *base types* yang digunakan untuk membuat tipe hirarki [2].

Arsitektur aplikasi OPC UA menggunakan mode komunikasi berbasis *client-server*. Server OPC UA mengekspos dan menyediakan metode ke perangkat dan aplikasi lain, dan klien dapat menerima informasi dari server dan melakukan serangkaian operasi di server. Meski memiliki fungsi yang berbeda, server dan klien OPC UA harus memiliki tiga lapisan perangkat lunak yaitu, *specific application function* (API), *OPC UA Software Development Kit* (SDK), dan *OPC UA Communication Stack* [3]. Gambar 1 memperlihatkan suatu arsitektur aplikasi OPC UA.



Gambar 1. Arsitektur Aplikasi OPC UA

Lapisan aplikasi spesifik (*specific application function*), Klien UA memanipulasi dan mengeksplorasi *address space* yang disediakan oleh server. OPC UA SDK Lapisan *Software Development Kit* (SDK) merupakan lapisan *level* tinggi yang memiliki tugas seperti mengelola koneksi, dan memproses pesan layanan. Pada bagian ini diperlukan implementasi terhadap konsep, model informasi, dan layanan yang berkaitan dengan spesifikasi OPC UA. SDK untuk OPC UA adalah bagian lapisan aplikasi, yang dapat mengurangi beban kerja pengembangan. Bagian ini perlu menerapkan konsep, informasi model, layanan, dan spesifikasi terkait lainnya dari OPC UA. Lapisan *OPC UA Stack* mengimplementasikan berbagai pemetaan *transport* dari OPC UA. Terdapat tiga lapisan utama yang didefinisikan pada *OPC UA Stack*. Di antaranya yaitu, lapisan *encoding*, lapisan keamanan, dan lapisan *transport* [4].

### C. IoT Platform

*Platform* IoT merupakan sebuah teknologi *multi-layer* yang menyediakan kumpulan fitur yang siap pakai untuk mempercepat proses pengembangan sistem IoT [5]. Secara umum, arsitektur IoT terdiri atas lima komponen, yang diantaranya berupa *hardware*, *gateway*, pemrosesan data berbasis *cloud*, konektivitas IoT, dan aplikasi antarmuka pengguna. Tanpa adanya *platform* IoT, akan terdapat antara *hardware* dan lapisan aplikasi yang akan menjadi sangat rumit untuk membuat kedua lapisan ini dapat bekerja sama.

Berdasarkan peran dan fitur yang dilayani, *platform* IoT terdiri atas tiga jenis yaitu *Gateway Platform*, *Middleware Platform*, dan *Cloud IoT Platform*. *Gateway* merupakan sebuah piranti keras atau program *software* yang melayani koneksi antara piranti IoT dan layanan *Cloud*. *Middleware Platform* berperan sebagai jembatan penghubung antara komponen yang heterogen serta menyediakan layanan seperti manajemen sumber daya, manajemen data, ekstraksi informasi, hingga pengembangan privasi dan keamanan. *Cloud IoT Platform* merupakan *platform* IoT yang berjalan diatas infrastruktur komputasi awan serta memiliki kelebihan seperti kemampuan untuk skalabilitas, layanan komputasi serta penyimpanan berbasis *cloud*, hingga keandalan infrastruktur yang dikembangkan dan dirawat oleh organisasi teknologi besar seperti Google, Amazon, dan Microsoft [5].

## III. METODOLOGI

### A. Unified IoT Platform

Untuk memperoleh produk aplikasi yang memiliki keandalan dan ketahanan sistem, maka perlu dilakukan uji performa pada aplikasi tersebut. Hasil pengembangan *platform* Konnex ini, diharapkan dapat memberikan layanan dengan baik, apabila diberikan beban hingga 1000 pengguna yang mengakses *platform* Konnex secara bersamaan, maka sistem *platform* ini harus dapat mendukung metrik performa sebagai berikut;

- minimum 300 *request* per detik untuk fungsionalitas *login*, fungsionalitas *read data*, serta fungsionalitas prolehan klien dan *server* OPC UA,

- b. rata-rata nilai *response time* kurang dari 300 ms untuk semua *request*,
- c. maksimum 1% *request* yang gagal.

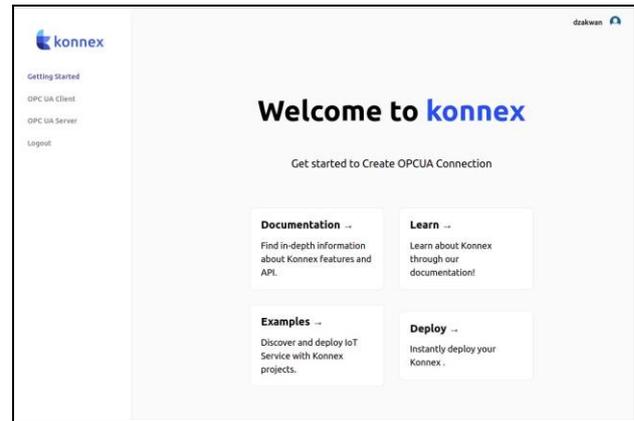
### B. Desain Antarmuka

Desain antarmuka pengguna pada *platform* luaran ini dirancang sedemikian rupa untuk memudahkan penggunaan *platform* IoT untuk pengembangan sistem berbasis OPC UA. Gambar 2 dan Gambar 3 berikut menunjukkan antarmuka *login* dan *register* pengguna.

Gambar 2. Antarmuka Login Pengguna

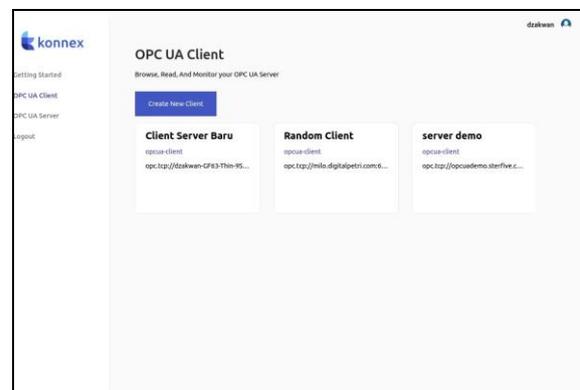
Gambar 3. Antarmuka laman pendaftaran pengguna

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3, Kedua halaman ini berupa tampilan *form* sederhana sebagai masukan data pengguna seperti *username*, dan *password* yang kemudian dikirimkan ke sistem *backend* untuk otentikasi pengguna. Apabila otentikasi sukses, pengguna akan diarahkan ke antarmuka halaman utama *platform* Konnex yang ditunjukkan pada Gambar 4.



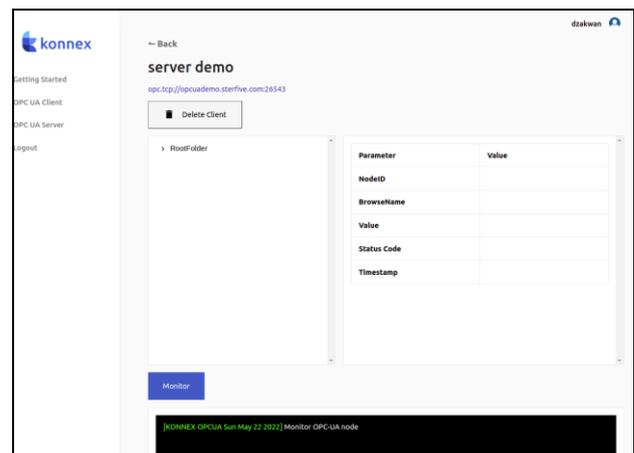
Gambar 4. Antarmuka Halaman Utama

Halaman Utama merupakan halaman yang pertama kali dimasuki pengguna setelah sukses melakukan otentikasi pada halaman login. Halaman ini terdiri atas menu panduan penggunaan dalam membuat sistem IoT pada *platform* Konnex. Pada *platform* Konnex ini selain menu utama, terdapat dua menu lain yaitu laman klien OPC UA dan laman server OPC UA.



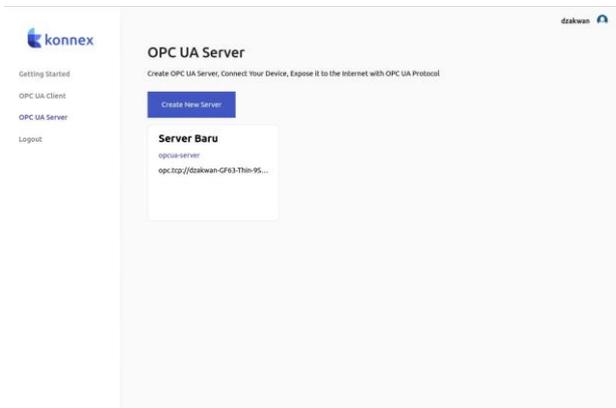
Gambar 5. Antarmuka Halaman Utama Klien OPC UA

Laman Klien OPC UA pada Gambar 5 menampilkan daftar klien OPC UA yang terhubung dengan suatu *server* OPC UA. Pada laman ini juga terdapat tombol pembuatan klien OPC UA yang dapat mengarahkan pengguna ke laman pembuatan klien.



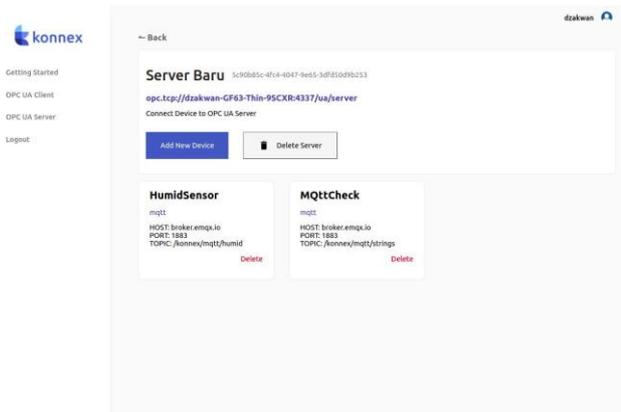
Gambar 6. Antarmuka Halaman Monitor Data OPC UA

Laman Monitor data yang ditunjukkan pada Gambar 6 menampilkan daftar *node* yang tersedia pada suatu *server* OPC UA serta menunjukkan data yang ditunjukkan pada *node* tersebut seperti nilai *value*, *nodeid*, hingga *status code*. Pada laman ini juga dapat *button* monitor untuk memperoleh *streaming* data dari suatu piranti IoT yang terhubung pada *server* OPC UA yang terhubung.



Gambar 7. Antarmuka Halaman Utama *Server* OPC UA

Laman *server* OPC UA pada Gambar 7 menampilkan daftar *server* yang dibuat melalui *platform* Konnex. Pada laman ini terdapat tombol `Create New Server` yang akan mengarahkan pengguna pada laman pembuatan *server* OPC UA.



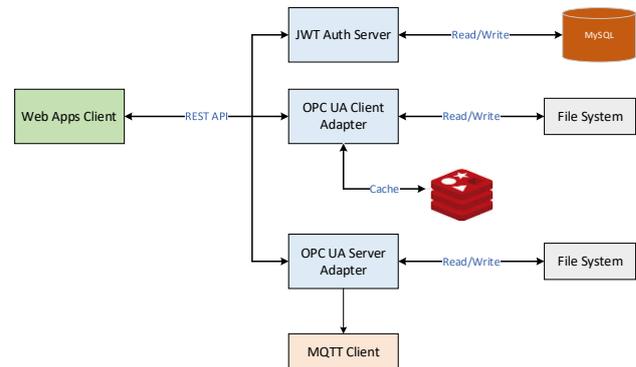
Gambar 8. Antarmuka Dashboard *Server* OPC UA

Laman *dashboard server* OPC UA pada Gambar 8 menampilkan detail dari setiap *server* OPC UA yang telah dibuat. Pada halaman ini terdapat daftar kumpulan piranti IoT yang terhubung pada *server* OPC UA. Pada laman ini terdapat tombol fungsionalitas yang akan mengarahkan pengguna ke laman penambahan piranti IoT pada *server* OPC UA tersebut.

C. Arsitektur Sistem

Pola arsitektur yang digunakan pada perancangan perangkat lunak *platform* IoT ini menggunakan pendekatan *microservices*. *Microservices* merupakan sebuah pendekatan arsitektur yang terdiri atas layanan-

layanan kecil dan otonom yang dapat bekerja sama [6]. Pada *platform* IoT ini terdapat tiga layanan yang bekerja, yaitu, layanan otentikasi, layanan adaptor OPC UA *server*, dan layanan adaptor OPC UA *client*. Rancangan arsitektur perangkat lunak *platform* Konnex dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Arsitektur *Platform* Konnex

Layanan otentikasi bertugas dalam mengatur sistem otentikasi dan manajemen pengguna. Layanan ini memiliki hubungan *read/write* dengan *server* basis data MySQL. Layanan adaptor klien OPC UA bertugas sebagai monitor dan penghubungan komunikasi data dengan *server* OPC UA. Layanan ini menggunakan sistem file sebagai penyimpanan konfigurasi klien OPC UA. Layanan adaptor *server* OPC UA bertugas sebagai pembuatan *server* OPC UA serta menyediakan koneksi protokol IoT.

D. Application Programming Interface

Pada pengembangan *platform* Konnex, rancangan API dibagi menjadi tiga bagian yang masing masing merepresentasikan API dari layanan autentikasi pengguna, adaptor klien OPC UA, hingga adaptor *server* OPC UA. Kontrak API untuk layanan autentikasi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

TABEL 1. API OTENTIKASI PENGGUNA

Fungsi	Alamat
Register	[POST] http://<HOST>:<PORT>/register
Authorize	[POST] http://<HOST>:<PORT>/Authorize

Layanan otentikasi pengguna menyediakan dua API yaitu *register user* dan *authorize user*. API *register user* digunakan untuk mendaftarkan pengguna ke dalam *platform* Konnex dengan mengirim data *e-mail* dan *password* menuju alamat API register. API *authorize user* digunakan sebagai fungsionalitas otentikasi dan otorisasi pengguna dalam menggunakan *platform* Konnex. API ini memanfaatkan teknologi *JSON web token* sebagai enkripsi data pengguna dan verifikasi sistem otentikasi.

TABEL 2. API ADAPTOR KLIEN OPC UA

Fungsi	Alamat
Save Client	[POST] http://<HOST>:<PORT>/register
Get Client	[POST] http://<HOST>:<PORT>/Authorize
Browse Node	[GET]http://<HOST>:<PORT>/client/browse?id=<client-id>&node=<node-id>
Read Node	[GET]http://<HOST>:<PORT>/client/read?id=<clientID>&node=<nodeID>
Delete Client	[DELETE]http://<HOST>:<PORT>/client?id=<client ID>

Layanan klien OPC UA memiliki fungsionalitas yang berhubungan dengan pembuatan klien OPC UA, komunikasi data server OPC UA, hingga monitor data server OPC UA. Berdasarkan pada Tabel 2, layanan adaptor klein OPC UA menyediakan lima API yang terdiri atas API *save client*, *browse client*, *get client*, *read node*, *delete client*.

API *save client* berfungsi sebagai fungsionalitas pembuatan klein OPC UA dengan mengirimkan data berupa nama klien beserta alamat OPC UA *server* yang hendak dihubungi. API *browse client* berfungsi sebagai fungsionalitas untuk mengeksplorasi setiap node yang berada pada server OPC UA yang telah terhubung. API *get client* berfungsi untuk memperoleh daftar klien OPC UA yang telah dibuat oleh pengguna. API *read node* berfungsi untuk melihat deskripsi dan nilai yang tertera pada suatu node pada *server* OPC UA. API *delete client* berfungsi untuk menghapus klien OPC UA yang dibuat oleh pengguna beserta koneksinya dengan *server* OPC UA yang terhubung.

TABEL 3. API ADAPTOR SERVER OPC UA

Fungsi	Alamat
Get Server List	[GET]http://<HOST>:<PORT>/uaserver
Get Server	[GET]http://<HOST>:<PORT>/uaserver?id=<server ID>
Create Server	[POST]http://<HOST>:<PORT>/uaserver
Add MQTT Device	[POST]http://<HOST>:<PORT>/uaserver/variable?type=mqtt
Delete Device	[DELETE]http://<HOST>:<PORT>/uaserver/variable?id=<serverID>&node=<nodeID>
Delete Server	[DELETE]http://<HOST>:<PORT>/uaserver?id=<serverID>

Layanan *server* OPC UA memiliki fungsionalitas yang berhubungan dengan pembuatan *server* OPC UA, dan pembuatan koneksi dengan piranti IoT. Berdasarkan pada daftar API yang telah ditunjukkan pada Tabel 3, layanan adaptor *server* OPC UA memiliki enam API yang terdiri atas API *get server list*, *get server*, *create server*, *add MQTT device*, *delete device*, dan *delete server*.

API *get server list* memiliki fungsi untuk memperoleh daftar *server* OPC UA yang telah dibuat oleh pengguna.

API *get server* memiliki fungsi untuk memperoleh server spesifik sesuai dengan parameter *id server* yang dimasukkan. API *create server* memiliki fungsi untuk membuat server OPC UA dengan memasukkan input *request body* berupa nama *server* dan nomor *port server* yang akan dibuat. API *add MQTT device* berfungsi untuk menyambungkan *server* OPC UA dengan piranti IoT melalui protokol MQTT. API *delete device* berfungsi untuk memutuskan dan menghapus koneksi piranti IoT yang terhubung ke *server* OPC UA. API *delete server* berfungsi untuk menghentikan jalannya *server* OPC UA beserta menghapus obyek *server* OPC UA yang telah dibuat oleh pengguna.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian performa produk aplikasi dilakukan dengan menggunakan metode *load testing* dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menilai kinerja sistem yang ada pada saat dikenai beban tipikal hingga beban puncak,
2. untuk memastikan sistem memenuhi spesifikasi performa dalam berbagai kondisi beban.

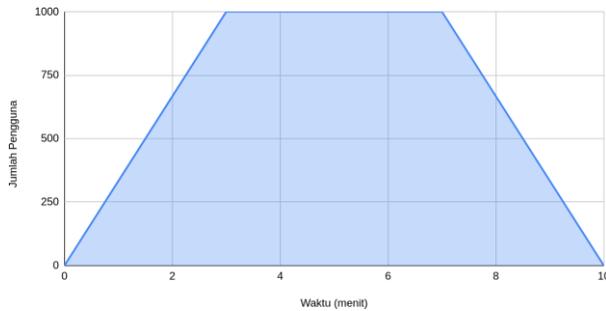
Perangkat yang digunakan pada pengujian ini yaitu K6. K6 merupakan alat *load testing* sumber terbuka yang dikembangkan oleh Grafana. Dengan menggunakan K6, dapat dilakukan pengujian performa dan kehandalan sistem serta mampu memperoleh data berupa kecacatan performa serta isu terkait masalah pada sistem [7].

Dalam pengujian performa, perlu diperhatikan metrik metrik pengujian yang akan dijadikan acuan penilaian. K6 sudah memiliki metrik yang otomatis terkalkulasi melalui proses pengujian. Berdasarkan dokumentasi yang tersedia pada situs dokumentasi K6, metrik pengujian yang akan dilihat dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

TABEL 4. METRIK PENGUJIAN PERFORMA

Metrik	Satuan	Keterangan
<i>vus</i>	<i>user</i>	Jumlah pengguna virtual
<i>http_req_duration (response time)</i>	ms ( <i>milisecon</i> )	Waktu respon sistem
<i>iteration</i>	<i>transaction</i>	Jumlah Iterasi pengujian
<i>iteration speed</i>	<i>transaction per second (TPS)</i>	Jumlah Iterasi pengujian dalam satu detik
<i>http_reqs</i>	<i>query</i>	Jumlah <i>request</i> yang diajukan ke sistem
<i>http_reqs speed</i>	<i>query per secon (QPS)</i>	Jumlah <i>request</i> yang diajukan ke sistem dalam satu detik
<i>Failed Request</i>	persen	Jumlah <i>request</i> yang gagal diproses pada sistem

K6 mengenal konsep *virtual users* (VU), yaitu sebuah pengguna virtual yang dapat meniru skenario penggunaan sistem pada produk aplikasi. Dalam kasus pengujian ini, digunakan VU sebanyak 1000 pengguna, yang akan berjalan secara bersamaan dengan skenario yang ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9 Skenario Pengguna Virtual

Berdasarkan grafik pada Gambar 9, selama tiga menit pertama, pengguna ditingkatkan dari nol hingga 1000 pengguna, kemudian jumlah pengguna dipertahankan pada 1000 pengguna selama empat menit, dan selanjutnya jumlah pengguna diturunkan hingga nol selama tiga menit terakhir. Sehingga, diperoleh durasi pengujian performa selama 10 menit. Perancangan skenario yang seperti ini, ditujukan untuk meniru skenario pengguna pada kasus nyata.

Pada pengujian performa akan dilakukan pengujian pada lima fungsionalitas penting. Fungsionalitas sistem yang akan dilakukan pengujian diantaranya yaitu fungsionalitas: *login user*, fungsionalitas *get server* dan *get client*, fungsionalitas *read node* (pembacaan informasi *node* OPC UA), hingga fungsionalitas *browse node* (eksplorasi *address space* pada OPC UA). Hasil pengujian pada fungsionalitas tersebut ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

TABEL 5. HASIL PENGUJIAN PERFORMA

Fungsionalitas	Metrik	Hasil
Login	<i>Response time</i>	2,1 ms
	<i>Query per Sekon</i>	698,278 QPS
	<i>Failed Request</i>	0 %
Get Server	<i>Response time</i>	638,65 ms
	<i>Query per Sekon</i>	721,493 QPS
	<i>Failed Request</i>	0 %
Get Client	<i>Response time</i>	1.47 ms
	<i>Query per Sekon</i>	699,171
	<i>Failed Request</i>	0 %
Read Node	<i>Response time</i>	2,08 ms
	<i>Query per Sekon</i>	2886,31 QPS
	<i>Failed Request</i>	0 %
Browse Node	<i>Response time</i>	2.17 ms
	<i>Query per Sekon</i>	2777,19
	<i>Failed Request</i>	0 %

Berdasarkan hasil pengujian performa yang telah dilakukan pada lima fungsionalitas sistem, system yang telah dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Namun, perlu adanya perbaikan pada sistem *get server* untuk mengurangi nilai *response time* menjadi dibawah 300 ms. Dengan adanya pengujian performa ini, *platform* Konnex sudah dapat dipastikan dapat berjalan untuk 1000 pengguna sekaligus tanpa ada kendala apapun.

## V. KESIMPULAN

Pengembangan *platform* Konnex ditujukan untuk memudahkan pembuatan sistem IoT berbasis OPC UA tanpa memerlukan pemrograman. *Platform* Konnex dirancang dengan memiliki fungsionalitas penting yang diantaranya pembuatan server OPC UA, pembuatan klien OPC UA, penghubungan piranti IoT dengan server OPC UA, hingga pembacaan dan monitor data informasi melalui klien OPC UA.

Perancangan sistem yang telah di implementasi pada *platform* Konnex juga memiliki performa yang baik. Dengan pengujian beban sebanyak 1000 pengguna virtual, *platform* Konnex mampu memenuhi standar spesifikasi performa yang diinginkan yaitu, sistem mampu mendukung transaksi lebih dari 300 QPS (*query per second*), sistem juga mampu mendukung rata rata *response-time* di bawah 300 ms, dan seluruh *request* yang diajukan pada sistem tidak mengalami kegagalan (tidak terdeteksi adanya *Failed Request*).

## REFERENSI

- [1] Hermann, H., "Design Principle for Industries 4.0 Scenarios," 2016, IEEE Explore, ISSN: 1530-1605.
- [2] Wolfgang Mahnke, Stefan-Helmut Leitner, and Matthias Damm, *OPC unified architecture*. Berlin ; New York: Springer-Verlag, 2009.
- [3] Hui Ren, Yang Liu, Huiqin Wang, "Research on Communication Method of OPC UA Client Based on ARM," IEEE Explore, 2019.
- [4] Mahnke, W. Leitner, S. H., and Damm, M., *OPC Unified Architecture*. Berlin ; New York: Springer-Verlag, 2009.
- [5] Yajuan Guan, Carna Zivkovic, and Christoph Grimm, *IoT platforms, use cases, privacy, and business models : with hands-on examples based on the VICINITY platform*. Cham, Switzerland: Springer, 2021.
- [6] Newman, S., *BUILDING MICROSERVICES : designing fine-grained systems*. oreilly, 2018.
- [7] Grafana Labs, "k6 Documentation," *k6.io*. <https://k6.io/docs/>