

Terakreditasi Kemdikbudristek  
SK. No.158/E/KPT/2021 (SINTA 3)

ISSN 2355-5068

e-ISSN 2622-4852

**Volume 9, Nomor 1, April 2022**

# JURNAL ECOTIPE

Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering

<https://journal.ubb.ac.id/index.php/ecotipe>



Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Bangka Belitung



## Dewan Redaksi (Editorial Board)

### Penerbit (Publisher)

Jurusan Teknik Elektro Universitas Bangka Belitung

### Ketua Redaksi (Editor-in-Chief)

Rudy Kurniawan, S.T., M.T.

### Manajer Jurnal (Journal Manager)

Nurhaeka Tou, S.Kom., M.Kom.

### Mitra Bestari (Peer-Reviewers)

Prof. Ir. Refdinal Nazir, M.S., Ph.D.  
Prof. P. Chandra Sekhar  
Prof. Chuan-Kai Yang  
Ihwan Ghazali, M.Eng. Ph.D.  
Prof. Dr. Azriyenni Azhari Zakri, S.T., M.Eng.  
Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
Anton Yudhana, S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.  
Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.  
Wahri Sunanda, S.T., M.Eng.  
I Made Andik Setiawan, S.S.T., M.Eng. Ph.D.  
Dr. Tedy Juliandhy, S.T., M.Eng.  
Hanalde Andre, S.T., M.T.  
Dr. Yuli Asmi Rahman, S.T., M.Eng.  
Dr. Prajna Deshanta Ibnugraha, S.T., M.T.  
Dr. Riko Arlando Saragih, S.T., M.T.  
Dr. Sabhan Kanata, S.T., M.Eng.  
Rika Favoria Gusa, S.T., M.Eng.  
Esa Prakarsa, M.T., Ph.D.  
Andri Ashfahani, S.T., M.Sc.  
Indra Gunawan, S.Kom., M.Kom.  
Angga Wahyu Aditya, S.S.T., M.T.

### Editor Jurnal (Journal Editors)

Dr. Munirul Ula, S.T., M.Eng.  
Mohamad Abdul Hady, S.T., M.T.  
Rodiatal Adawiyah, S.SI., M.IM.  
Putri Mentari Endraswari, S.Tr.Kom., M.Kom.  
Asmar, S.T., M.Eng.  
Tri Hendrawan Budiarto, S.T., M.T.

### Staf Admin (Admin Staff)

Ridwan Andrian, S.T.  
Hendy, S.T.  
Tirmayadi

### Alamat Redaksi:

Gedung Dharma Penelitian  
Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik  
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung  
Balunijuk, Kab. Bangka, Prov. Bangka Belitung  
Telp. (0717) 4260033 ext. 2125, 2128  
Laman : <https://journal.ubb.ac.id/index.php/ecotipe>  
E-mail : [jurnal.ecotipe@yahoo.com](mailto:jurnal.ecotipe@yahoo.com) / [jurnalecotipe@ubb.ac.id](mailto:jurnalecotipe@ubb.ac.id)

## Kata Pengantar

Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering) Jurusan Teknik Elektro Universitas Bangka Belitung saat ini mulai Volume 7 Nomor 2, Oktober 2020 sampai dengan Volume 12 Nomor 2, Oktober 2025 telah terakreditasi oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia berdasarkan SK. No. 158/E/KPT/2021 dengan peringkat 3 (SINTA 3).

Saat ini, Jurnal Ecotipe Volume 9 Nomor 1, April 2022 telah diterbitkan. Pada jurnal edisi kali ini cover jurnal, susunan dewan redaksi telah mengalami perubahan dan penambahan dari edisi-edisi sebelumnya. Artikel-artikel pada jurnal edisi kali ini berasal dari akademisi di dalam dan di luar instansi. Untuk edisi selanjutnya, yakni artikel-artikel pada Jurnal Ecotipe Volume 9 Nomor 2, Oktober 2022 berikutnya akan menggunakan bahasa inggris dalam penulisan dan penyajiannya.

Fokus dan ruang lingkup Jurnal Ecotipe meliputi bidang Teknik Elektronika, Teknik Kontrol, Teknik Telekomunikasi, Teknik Informatika dan Informatika, dan Teknik Listrik/Ketenagalistrikan baik dari berbagai akademisi maupun praktisi industri dari instansi pemerintah maupun swasta. Harapan kami pada edisi selanjutnya akan lebih banyak memuat tulisan-tulisan ilmiah dari hasil penelitian dan hasil pemikiran penulis di luar lembaga dari dalam negeri maupun dari luar negeri sehingga menjadi wadah untuk membuka wacana ilmiah yang lebih luas baik ditingkat nasional dan internasional.

Penghargaan setinggi-tingginya kami sampaikan kepada Mitra Bestari atau *Peer-Reviewers*, Dewan Redaksi, Penulis dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan dan penerbitan Jurnal Ecotipe Volume 9 Nomor 1 April 2022 ini. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan keilmuan di bidang Teknik Elektro pada khususnya dan keteknikan pada umumnya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun tetap kami harapkan perbaikan dan perbaikannya demi kemajuan jurnal ini.

### Ketua Redaksi

### Jurnal Ecotipe terindeks pada:



## DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Analisis Komunikasi Data Jaringan Nirkabel Berdaya Rendah Menggunakan Teknologi <i>Long Range</i> (LoRa) di Daerah Hijau Universitas Andalas <i>Hanalde Andre, Bobby Arma Sugara, Baharuddin, Rudy Fernandez, Rizky Wahyu Pratama</i>	1-7
Rancang Bangun Turbin Angin <i>Axial Flux Permanent Magnet Generator</i> Aplikasi pada Daerah Berkecepatan Angin Rendah <i>Dean Corio, Rosmawan Arwinda S., Ega Liguna, Munir Azhari, Kiki Kananda, Swadexi Istiqphara</i>	8-18
Pengujian Validitas dan Reliabilitas <i>System Usability Scale</i> (SUS) Untuk Perangkat <i>Smartphone</i> <i>Muhammad Lulu Latif Usman, Muhammad Azrino Gustalika</i>	19-24
Pemilihan Guru Berprestasi Menggunakan Metode <i>Weighted Aggregated Sum Product Assessment</i> <i>Yohani Setiya Rafiq Nur, Yuan Sa'adati, Nurhaeka Tou</i>	25-31
Pengembangan Aplikasi Pembeda Suara Laki-Laki dan Perempuan Berdasarkan <i>Gender, Range</i> Usia, Kelas Frekuensinya Berbasis FFT dan K-Means <i>Andi Sri Irtawaty, Maria Ulfah, Riche Sekar Fathmala</i>	32-39
Perbandingan Teknik Klasifikasi <i>Fast Null-Space Based Linear Discriminant Analysis</i> (FNLDA) dan <i>Direct Linear Discriminant Analysis</i> (DLDA) dalam Pengenalan Citra Multimodal Wajah atau Pembuluh Darah di Telapak Tangan <i>Riko Artando Saragih, Elbara Natanael Saputra, Daniel Setiadikarunia, Judea Janoto Jarden</i>	40-48
Pengendalian Suspensi Kendaraan menggunakan Pengendali <i>Sliding Mode Control</i> dan <i>Propotional Integral Derivative</i> <i>Ahmad Faizal, Elfira Safitri, Rudy Kurniawan</i>	49-56
Perancangan Antena Yagi Cetak untuk Mendeteksi Petir pada Pita <i>Very High Frequency</i> <i>Mia Maria Ulfah, Dean Corio, Rheyuniarto S. Asthan, Achmad Munir</i>	57-64
<i>Device-to-Device (D2D) Communication Power Control for Interference Management in Existing Cellular Network</i> <i>Muhammad Putra Pamungkas, Luluk Muthoharoh, Reni Permatasari</i>	65-72
Peningkatan Koefisien Refleksi Antena Mikrostrip 28 GHz dengan <i>Slit</i> <i>Agatha Elisabet, Syah Alam, Indah Surjati</i>	73-78
Penerapan dan Analisis Perbandingan Metode Antrian Jaringan ( <i>Network Queuing</i> ) pada Jaringan <i>Local Area Network</i> Fakultas Teknik Universitas Tadulako <i>Muh. Aristo Indrajaya, Rizana Fauzi, Hajra Rasmita Ngemba, Syaiful Hendra</i>	79-85
Implementasi <i>Voice Recognition</i> pada Pengendalian Pergerakan Lengan Robot <i>Ary Anugrah Febriansyah, Henry Candra, Susan Sulaiman</i>	86-95
Rancang Bangun Aplikasi Presensi Dosen dan Mahasiswa Berbasis Android dan <i>Cloud Server</i> <i>Rudy Kurniawan, Tri Hendrawan Budianto, Welly Yandi</i>	96-101
Rancangan Sistem Informasi Tabungan Siswa Berbasis Web <i>Putri Mentari Endraswari, Nurhaeka Tou</i>	102-106

## Analisis Komunikasi Data Jaringan Nirkabel Berdaya Rendah Menggunakan Teknologi *Long Range* (LoRa) di Daerah Hijau Universitas Andalas

Hanalde Andre<sup>1</sup>, Bobby Arma Sugara<sup>2</sup>, Baharuddin<sup>3</sup>, Rudy Fernandez<sup>4</sup>, Rizki Wahyu Pratama<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas  
\*hanalde.andre@eng.unand.ac.id<sup>1</sup>

### INTISARI

Jaringan nirkabel berdaya rendah atau *Low Power Wireless Area Network* (LPWAN) umumnya digunakan dalam teknologi *Internet of Thing* (IoT) untuk komunikasi mesin ke mesin. Kelebihan dari komunikasi ini adalah penggunaan daya yang rendah dengan jangkauan yang lebih jauh dibandingkan dengan komunikasi yang lain. Dalam prosesnya komunikasi data nirkabel memiliki karakteristik tertentu yang sesuai dengan medan yang dilaluinya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian jaringan komunikasi berdaya rendah menggunakan teknologi *Long Range* (LoRa) yang beroperasi pada frekuensi 920-923 MHz. Berdasarkan hasil pengujian sistem komunikasi untuk teknologi LoRa di daerah hijau, didapatkan hasil *Packet Delivery Ratio* (PDR) dan *Quality of Service* (QoS). Nilai rata-rata dari parameter PDR yaitu 92,43%. Untuk nilai rata-rata QoS yaitu *throughput* 89,75% dengan kategori “sangat baik”, *latency* sebesar 255,4 ms masuk kategori “baik”, dan *packet loss* 8%, kategori “baik”. Nilai QoS yang didapat memiliki kategori QoS “Baik”.

Kata kunci: IoT, Komunikasi Data, LoRa, LPWAN, PDR, QoS

### ABSTRACT

*Low Power Wireless Area Network (LPWAN) is generally used in Internet of Things (IoT) technology for machine-to-machine communication. The advantage of this communication is the use of low power with a longer range compared to other communications. In the process of wireless data communication has certain characteristics in accordance with the terrain in which it passes. In this study, a low-power communication network was tested using Long Range (LoRa) technology operating at a frequency of 920-923 MHz. Based on the results of testing the communication system for LoRa technology in green areas, the results of Packet Delivery Ratio (PDR) and Quality of Service (QoS) are obtained. The average value of the PDR parameter is 92.43%. The average QoS value is 89.75% throughput in the "very good" category, 255.4 ms latency in the "good" category, and 8% packet loss in the "good" category. The QoS value obtained has a "Good" QoS category.*

**Keywords:** IoT, Data Communication, LoRa, LPWAN, PDR, QoS

### I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi telah berimbas pada berbagai aspek ke-hidupan, tidak terkecuali pada bidang teknologi komunikasi. *Internet of Things* atau sering disebut IoT merupakan salah satu dari wujud perkembangan teknologi dibidang komunikasi tersebut. Teknologi ini merupakan bagian terintegrasi dari internet masa depan yang dapat dijadikan infrastruktur jaringan global yang dinamis dengan kemampuan konfigurasi sendiri berdasarkan standar dan protokol komunikasi. IoT beroperasi dimana benda fisik dan *virtual* memiliki identitas, atribut fisik, dan

kepribadian *virtual* serta terintegrasi dengan mulus ke dalam jaringan informasi[1].

Teknologi IoT dalam pertumbuhannya diprediksi sebagai “*the next big thing*” di dunia teknologi informasi dan komunikasi, hal ini dikarenakan IoT menawarkan banyak potensi yang dapat digali [2]. IoT berpeluang besar untuk mengembangkan aplikasi cerdas hampir pada setiap bidang. Contoh sederhana dari implementasi IoT adalah pintu kendali jarak jauh, yang otomatis dapat mengirimkan informasi via SMS atau email mengenai kondisi rumah.[3][4].

*Low Power Wide Area Network* (LPWAN) merupakan salah satu solusi implementasi dari teknologi IoT. Hadirnya LPWAN menjadikan

teknologi yang dapat digunakan untuk menghubungkan perangkat berdaya rendah seperti sensor dan pengontrol pada IoT [5]. LPWAN memiliki efisiensi yang tinggi hingga 10+ tahun daya tahan baterai dan murah, dengan harga radio *chipset* kurang dari 2\$ dan biaya operasional 1\$ untuk satu alat pertahun [6]. Dalam pengoperasiannya IoT membutuhkan jaringan sensor nirkabel dengan persyaratan jarak jangkauan yang jauh dan masa pakai baterai yang lama [7].

Teknologi LPWAN yang saat ini diimplementasikan pada IoT yaitu *SigFox* dan *Long Range* (LoRa). Dalam pengoperasiannya *SigFox* dan LoRa menggunakan pita ISM tidak berlisensi (*unlicensed band*), pada 868 MHz di Eropa, 915 MHz di Amerika Utara, dan 433 MHz di Asia. Pita ISM adalah spektrum frekuensi bebas dimana diperuntukkan bagi aplikasi industri, sains dan medis (ISM). Perangkat yang menggunakan spektrum ISM harus memiliki ketahanan terhadap interferensi sebab, frekuensi bebas tidak menjamin spektrum frekuensi akan aman dari interferensi pemancar lain [8,9].

Teknologi *SigFox* sangat cocok pada wilayah rural karena jangkauannya mencapai jarak 40 km. Namun, teknologi ini merupakan layanan operator jaringan yang memiliki lisensi, sehingga *SigFox* belum tentu tersedia di wilayah non komersil. Disamping itu, LoRa menjadi opsi lain yang sangat cocok pada daerah rural yang dapat bekerja hingga jarak 20 km [10]. LoRa tidak memerlukan operator jaringan berlisensi sehingga dapat digunakan kapan dan dimanapun.

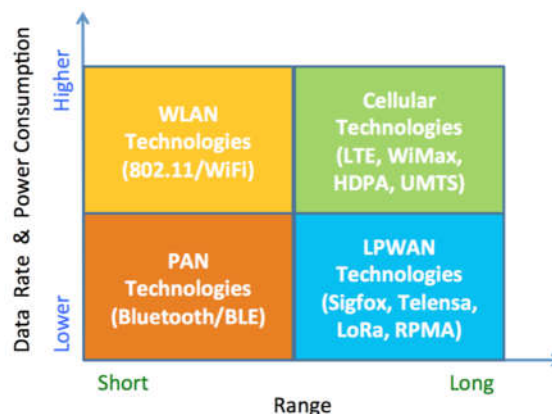
Bercermin pada penelitian terdahulu terhadap penggunaan Zigbee, rentang jarak komunikasi antar sensor-node terlalu dekat terutama pada wilayah hutan. LoRa dapat menjadi solusi dari permasalahan ini. Teknologi LoRa memiliki jangkauan jarak yang jauh, konsumsi daya yang rendah, serta transmisi data yang aman, meskipun memiliki kecepatan data yang rendah. Berangkat dari kelemahan pada penelitian teknologi komunikasi yang pernah dilakukan [10], peneliti hendak merancang sebuah sistem komunikasi LPWAN berbasis LoRa untuk meningkatkan jangkauan jarak dan mengurangi konsumsi daya yang besar. Penelitian ini mengimplementasikan pemantauan *real-time* berbasis LoRa yang bertempat di daerah Hijau Universitas Andalas.

## II. LANDASAN TEORI

### A. LPWAN

*Low Power Wide Area Network* (LPWAN) merupakan kombinasi dua buah teknologi berdaya rendah dan teknologi komunikasi yang memiliki jangkauan jarak yang jauh oleh karena itu menjadikannya teknologi komunikasi unik untuk komunikasi nirkabel dan pilihan yang disukai untuk aplikasi IoT [5]. Karakteristik utama dari teknologi LPWAN yang dibutuhkan agar berhasil mendukung penerapan komersial sistem IoT adalah:

- Komunikasi jarak jauh
- Konsumsi daya rendah
- Kecepatan data rendah
- Biaya perangkat dan penerapan yang rendah



Gambar 1. Perbandingan teknologi LPWAN [5]

Pada Gambar 1 terdapat perbandingan untuk beberapa jenis teknologi komunikasi nirkabel antara lain WLAN, PAN, LPWAN, dan selular. Dapat dilihat bahwa hanya LPWAN yang merupakan teknologi komunikasi yang memiliki konsumsi daya rendah, *data rate* rendah dan jangkauan jarak komunikasi yang jauh. Sedangkan teknologi WLAN, PAN, dan selular tidak memiliki karakteristik yang diperlukan untuk IoT.

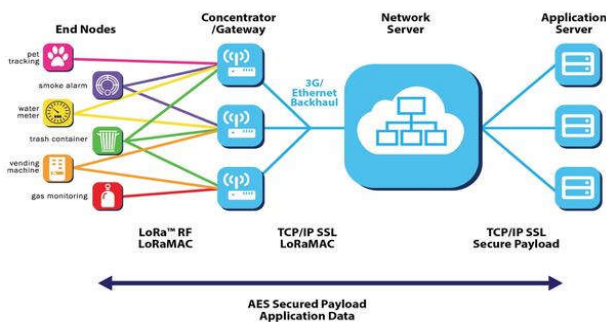
Berdasarkan hal yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya membuat LPWAN sangat cocok digunakan pada teknologi IoT. *SigFox*, LoRaWAN, dan NB-IoT merupakan beberapa teknologi yang paling banyak digunakan pada implementasi IoT.

### B. LoRa

LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dikembangkan dan dipatenkan oleh perusahaan Perancis bernama Cycelo, yang setelah itu diakuisisi

Semtech pada tahun 2013. LoRa menggunakan frekuensi ISM yang tidak berlisensi dan besar frekuensinya berada di bawah 1 GHz, yaitu 433 MHz, 868 MHz, dan 915 MHz. Spektrum penyebaran LoRa menggunakan modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS), secara tradisional CSS digunakan untuk militer dan komunikasi yang memerlukan keamanan.

LoRa menerapkan topologi *star-on-star* dimana pada perangkat terakhir LoRa akan terhubung ke beberapa *gateway* untuk menyampaikan pesan ke server pusat. Tujuan dari menggunakan topologi *star-on-star* yaitu untuk mempertahankan masa pakai baterai sekaligus untuk meningkatkan jangkauan komunikasi LoRa. *Gateway* menerima setiap data dari beberapa *end node* dan data yang telah diterima *gateway* akan diteruskan ke server jaringan. Saat transmisi ini dilakukan pendeteksian keamanan, redundansi, dan penjadwalan untuk *transmitter* pesan. Selain itu dengan menggunakan topologi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 maka akan memudahkan untuk melakukan pelacakan perangkat, karena *end node* dapat melakukan komunikasi ke beberapa *gateway* tanpa adanya kebutuhan untuk melakukan komunikasi antar *gateway*. Dengan adanya server yang terpusat juga dapat mengurangi masalah adanya *collision* [10].



Gambar 2 Arsitektur LoRaWAN

Secara garis besar berikut komponen utama dari LoRa :

- LoRa *end nodes* sebagai sensor/aktuator yang terhubung melalui antarmuka radio LoRa ke satu atau beberapa LoRa *Gateways*.
- LoRa *Gateways* sebagai penghubung *end nodes* ke LoRa *NetServer* yang merupakan elemen pusat dari arsitektur jaringan LoRa.
- LoRa *NetServer* yang berfungsi sebagai server jaringan yang melakukan kontrol semua jaringan

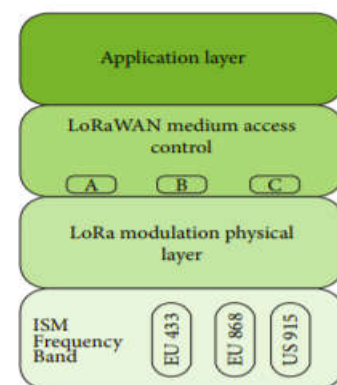
(radio resource management, admission control, security, dan lain-lain).

Tabel 1 Perbandingan teknologi komunikasi wireless

No.	Teknologi	Jarak (m)	Max. Rate	Konsumsi Daya
1	Bluetooth	10	2MB/s	Low
2	WiFi	60	54 MB/s	High
3	RFID	100	10 KB/S	Low
4	Zigbee	1500	250 KB/s	Low
5	LoRa	15000	600 KB/s	Low

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa teknologi komunikasi LoRa memiliki jarak jangkauan yang cukup jauh dibanding dengan teknologi komunikasi yang lain dan mempunyai konsumsi daya yang rendah. Akan tetapi pada teknologi LoRa memiliki kekurangan yaitu nilai *maximum rate* yang tidak terlalu besar.

*Device* pada LoRa melayani berbagai jenis aplikasi oleh karena itu masing-masing *device* memiliki persyaratan yang berbeda di tiap penerapannya. Alasan yang menjadi faktor persyaratan utama adalah mengenai umur pakai baterai dan latensi komunikasi dari *network server* menuju *gateway* sampai ke *device*. Sehingga *device* LoRa digolongkan menjadi *three class*.



Gambar 3. Protokol komunikasi LoRaWAN

- Kelas A : Pada kelas A ini sensor secara berkala mengirimkan paket ke modul *gateway*. Setelah menyelesaikan proses *Transmitter*, *node* membuat *Receiver* aktif selama beberapa waktu, di mana ia dapat menerima data dari *gateway*. Setelah menyelesaikan siklus ini, *file* sensor memasuki kembali *mode* tidur untuk menghemat energi.

2. Kelas B : Tidak seperti kelas A, jenis sensor pada kelas B ini telah diprogram untuk menerima *slot* waktu. Oleh karena itu *node* lebih sering aktif untuk mengunggah data atau pesan dari *gateway*.
3. Kelas C : Pada kelas C efisiensi energi paling terendah, hal ini dikarenakan sensor menjaga *receiver* secara konstan untuk aktif, agar dapat menerima pesan dari modul *gateway* setiap saat.

LoRa diciptakan sebagai solusi infrastruktur *Internet of Things*. Teknologi LoRa dapat dengan mudah diintegrasikan dengan jaringan yang ada dan dapat diaplikasikan untuk IoT yaitu berbiaya rendah dan dapat dioperasikan dengan baterai. LoRa dapat diterapkan untuk berbagai bidang seperti: pertanian, *smarthome*, industri, transportasi, hingga bidang kesehatan. SX1276/77/78/79 merupakan beberapa contoh dari *transceiver* LoRa. Pada penelitian ini menggunakan dua buah *transceiver* dengan tipe SX1276.

### C. ISM Band

Pita ISM adalah spektrum frekuensi bebas (*unlicensed*) dimana diperuntukkan bagi aplikasi industri, sains, dan medis (ISM). Perangkat yang menggunakan spektrum ISM harus memiliki ketahanan terhadap interferensi dikarenakan penggunaan frekuensi bebas tidak menjamin spektrum frekuensi akan aman dari interferensi pemancar lain[11]. Di Indonesia, frekuensi kerja ISM tidak didesain secara khusus untuk dibebaskan sepenuhnya. Oleh karena itu, apabila akan digunakan secara masif dan luas harus berkoordinasi dan izin ke Kemenkominfo.

Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia (TAFSRI) terbaru berdasarkan Permenkominfo No. 13 Tahun 2018, pada frekuensi-frekuensi di sekitar alternatif ISM tersebut, penggunaannya adalah sebagai berikut [13].

1. Sekitar Frekuensi 433 MHz.  
431,5–432,0 MHz dan 432,5–434,0 MHz digunakan untuk komunikasi simpleks TDD. Penggunaannya seperti untuk HT atau *walkie talkie*.
2. Sekitar frekuensi 868 MHz.
  - 851–869 MHz digunakan untuk sistem komunikasi radio trunking (INS14).
  - 869–880 MHz untuk penyelenggaraan jaringan bergerak seluler (INS15).
3. Sekitar frekuensi 915 MHz.

- 890–915 MHz untuk penyelenggaraan jaringan bergerak seluler (INS16).
- 925–935 MHz untuk penyelenggaraan jaringan bergerak seluler (INS15).

### D. Quality of Service (QoS)

Pengolahan data dilakukan dengan cara membandingkan hasil dari pengukuran dengan menggunakan standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network* (TIPHON). TIPHON merupakan standar penilaian parameter QoS yang dikeluarkan oleh badan standar *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). *Quality of Service* (QoS) adalah suatu pengukuran tentang seberapa baik jaringan dan merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari suatu servis. Kategori QoS didapatkan dari jumlah seluruh nilai indeks pada masing-masing parameter seperti *Throughput*, *Latency*, *Packet Loss* lalu dijumlahkan dan dibagi dengan banyak parameter yang digunakan. Salah satu standar QoS adalah THIPON dengan parameter sebagai berikut [14]:

Tabel 2. Indeks parameter QoS

Indeks	Presentase (%)	Kategori
3,8 – 4	95 – 100	Sangat Baik
3 - 3,79	75 - 94,75	Baik
2 - 2,99	50 - 74,75	Sedang
1 - 1,99	25 - 49,75	Buruk

## III. METODE PENELITIAN

Perangkat yang digunakan dalam komunikasi jaringan nirkabel berdaya rendah menggunakan LoRa SX-1276 yang terdapat dalam modul E32-915T20D. Teknik pengujiannya menggunakan dua buah LoRa yang saling berkomunikasi mengirim dan menerima data.

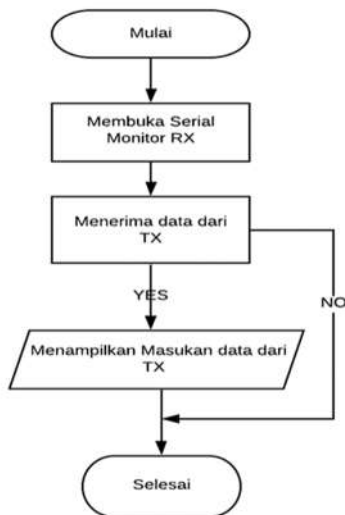
### A. Komunikasi Data

Gambar 4 merupakan gambar diagram alir (*flowchart*) untuk mengirim data. Terdapat kolom serial monitor pada aplikasi Arduino IDE sebagai tempat untuk *input* data. Jika kita memasukkan data maka perangkat pada *transmitter* akan mengirim paket data ke *receiver*.



Gambar 4. Diagram alir pengirim data

Gambar 5 merupakan diagram alir (*flowchart*) pada *receiver* untuk menerima paket data dari *transmitter*. Perangkat yang terdapat pada *receiver* menerima data dari perangkat *transmitter* untuk diproses Arduino dan ditampilkan pada serial monitor aplikasi Arduino IDE.



Gambar 5. Diagram Alir Penerima Paket Data

### B. Titik Lokasi Pengujian

Pengujian sistem komunikasi jaringan nirkabel berdaya rendah menggunakan teknologi LoRa

dilakukan pada daerah hijau Universitas Andalas. Pada Gambar 6 dapat dilihat lokasi pengujian. Pengukuran jarak untuk menentukan lokasi Tx dan Rx menggunakan aplikasi Google Earth.



Gambar 6. Lokasi pengujian

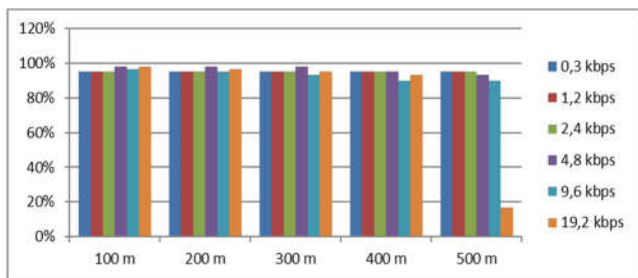
## IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada skenario ini dilakukan pada pengujian kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) yaitu pada daerah hijau Universitas Andalas. Hasil dari pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 3. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data sebanyak 60 kali dengan parameter jarak pada rentang 100 meter hingga 500 meter dengan interval 100 meter. *Data rate* pengiriman juga divariasikan dengan nilai 0,3 kbps, 1,2 kbps, 2,4 kbps, 4,8 kbps, 9,6 kbps. Hasil yang didapatkan paket yang diterima diatas 54 paket kecuali pada jarak 500 m dan *data rate* 19,2 kbps hanya didapatkan 10 paket data.

Tabel 3. Hasil pengujian paket data yang diterima

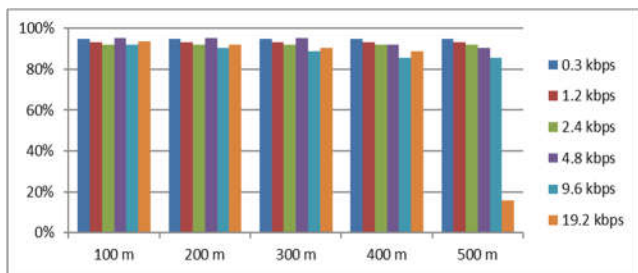
Range	Air Data Rate					
	0,3 kbps	1,2 kbps	2,4 kbps	4,8 kbps	9,6 kbps	19,2 kbps
100 m	57	57	57	59	58	59
200 m	57	57	57	59	57	58
300 m	57	57	57	59	56	57
400 m	57	57	57	57	54	56
500 m	57	57	57	56	54	10

PDR digunakan untuk mengetahui persentase seberapa besar *ratio* paket data yang bisa ditransmisikan antara Tx dan Rx. Pada Gambar 7 dapat dilihat grafik PDR.



Gambar 7. Hasil Pengujian PDR

Pada Gambar 8 didapatkan hasil pengukuran *throughput* bervariasi. *Throughput* paling besar 95.16% dan yang paling rendah adalah 15.87%. Besar dan kecilnya nilai *throughput* dipengaruhi oleh banyaknya data yang diterima dan waktu pengiriman paket data. Rata-rata *throughput* pada pengujian di daerah hijau Universitas Andalas adalah 89,75% dengan indeks 4.



Gambar 8. Throughput pada daerah hijau

Lamanya pengiriman data yang dilakukan pada pengujian dipengaruhi oleh besarnya *data rate*. Ini disebabkan jenis modulasi LoRa yang menggunakan teknologi modulasi *Chirp Spread Spectrum (CSS)*. Pada Tabel 4 dapat dilihat hasil pengukuran *latency* pada pengujian komunikasi data. Nilai *latency* terbesar didapatkan pada pengujian dengan jarak 500 m menggunakan *data rate* 19,2 kbps.

Tabel 4. Latency pada daerah hijau

Jarak	Air Data Rate					
	0,3 kbps	1,2 kbps	2,4 kbps	4,8 kbps	9,6 kbps	19,2 kbps
100 m	50 ms	70 ms	80 ms	50 ms	80 ms	67 ms
200 m	50 ms	70 ms	80 ms	50 ms	105 ms	86 ms
300 m	50 ms	70 ms	80 ms	50 ms	125 ms	105 ms
400 m	50 ms	70 ms	80 ms	80 ms	166 ms	125 ms
500 m	50 ms	70 ms	80 ms	107 ms	166 ms	5300 ms

## V. KESIMPULAN

*Packet Delivery Ratio (PDR)* dari pengujian yang dilakukan mendapatkan hasil rata-rata persentase PDR dengan nilai 92.43% untuk daerah hijau di Universitas

Andalas dan pada wilayah *line of sight* didapatkan rata-rata persentase PDR sebesar 97.85%. *Quality of Service (QoS)* pada daerah hijau yang didapatkan untuk parameter *throughput* dengan rata-rata 95,16%, *latency* dengan rata-rata waktu 255,4 ms dan *packet loss* didapat nilai dengan rata-rata 8%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini mendapatkan Pembiayaan Publikasi Jurnal Nasional Fakultas Teknik Universitas Andalas 2021.

## REFERENSI

- [1] A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, "Internet of Things - Strategic Research Roadmap, Tech. rep., Cluster of European Research projects on the Internet of Things", September 2009.
- [2] Efendi, Yoyon, "Internet of Things (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile", *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, Vol. 4, No. 1, April 2018.
- [3] Ibshar Ishrat, Wajiha Muzaffar Ali, Sana Ghani, Sadia Sami, Maria Waqas, Fakhra Aftab, "Smart Door Lock System With Automation and Security", 2017.
- [4] Faroqi Adam, Fitriadi Adi, Utami Adiningsih Neni, Ali Ramdhani Muhammad, "Automatic Door Control System Using SMS Gateway Base on Arduino Uno and Ultrasonic Sensor", *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.4) 122-126, 2018.
- [5] N. Naik, "LPWAN Technologies for IoT Systems: Choice Between Ultra Narrow Band and Spread Spectrum", *2018 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, Rome, 2018.
- [6] *Overview of Emerging Technologies For Low Power Wide Area Networks in Internet of Things and M2M Scenarios*, [http://www.indigoo.com/dox/itdp/12\\_MobileWireless/LPWAN.pdf](http://www.indigoo.com/dox/itdp/12_MobileWireless/LPWAN.pdf).
- [7] T. Rebbeck, M. Mackenzie, and N. Afonso, "Low-powered wireless solutions have the potential to increase the m2m market by over 3 billion connections", *Analysys Mason*, 2014.

- [8] H. Andre, M. Ghozal, Fitrilina, Baharuddin, R. Fernandez, and Asriyadi, "Optimization signal quality on cellular network based on Tilting-Antenna", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1041, no. 1, p. 012010, Jan. 2021.
- [9] Eko Murdyantoro, Imron Rosyadi, Hilmi Septian, "Studi Performansi Jarak Jangkauan LoRa OLG0 Sebagai Infrastruktur Konektivitas Nirkabel IoT", Hal. 47-56.Vol. 15 No. 1, 2019.
- [10] Tri Istiana , R. Yudha Mardiansyah , G.S. Budhi Dharmawan, "Kajian Pemanfaatan IoT Berbasis LPWAN untuk Jaringan Akuisisi Data ARG", *Elektron Jurnal Ilmiah* Volume 12 Nomor 1 Juni 2020.
- [11] H. Andre and N. Nofriadi, "Analisa Path Loss Spektrum Frekuensi UHF Untuk Penyiaran TV Terrestrial Kota Padang", *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, Mar. 2017.
- [12] Dhaval Patel, "Low Power Wide Area Networks (LPWAN) : Technology Review And Experimental Study on Mobility Effect", South Dakota State University, 2018.
- [13] Kemenkominfo RI., "*Permenkominfo No. 13 Tahun 2018 Tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia*", Republik Indonesia; 2018.
- [14] ETSI, *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)*, Prancis, 1999.

## Rancang Bangun Turbin Angin *Axial Flux Permanent Magnet Generator* Aplikasi pada Daerah Berkecepatan Angin Rendah

Dean Corio<sup>1</sup>, Rosmawan Arwinda S<sup>2</sup>, Ega Liguna<sup>3</sup>, Munir Azhari<sup>4</sup>, Kiki Kananda<sup>5</sup>, Swadexi Istiqphara<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera  
\*dean.corio@el.itera.ac.id<sup>1</sup>

### INTISARI

Seiring dengan meningkatnya konsumsi energi listrik, ketersediaan sumber energi fosil semakin berkurang. Pembentukan energi fosil membutuhkan proses yang panjang, sehingga peneliti dan akademisi mencoba mengembangkan sumber energi alternatif dengan memanfaatkan Energi Baru dan Terbarukan (EBT), salah satunya energi angin. Penelitian ini berfokus pada desain dan implementasi turbin angin. Turbin angin yang dirancang adalah jenis turbin angin dengan sumbu horizontal yang dirancang menggunakan generator listrik tipe *fluks aksial generator magnet permanen*. *Housing generator* didesain menggunakan material besi, dan bilah yang digunakan tipe *inverse taper* yang terbuat dari *styrofoam* yang kemudian dilapisi dengan lembaran kayu balsa dan *monocote*. Sistem kendali yang digunakan adalah *Wind Charge Controller (WCC)* dengan spesifikasi tegangan *break* 30V. Desain turbin angin ini memberikan daya luaran yang baik di daerah kecepatan angin rendah 2,5 m/s. Daya keluaran turbin 14.28W dengan tegangan keluaran rata-rata 29.78V, arus 0.46A. Efisiensi turbin angin dapat dicapai hingga 88,92%.

Kata kunci: *Axial Flux Permanent Magnet Generator*, Energi Terbarukan, Generator Magnet Permanen, *Inverse Taper*, Turbin Angin Horizontal

### ABSTRACT

*Along with the increasing consumption of electrical energi, the availability of fossil energi sources is decreasing. The formation of fossil energi requires a long process, so researchers and academics try to develop alternatif energi sources by utilizing New and Renewable Energi (EBT), one of them is wind energi. This study focuses on the design and implementation of wind turbines. The wind turbine designed is a type of wind turbine with a horizontal axis that is designed using an electric generator of the axial flux type permanent magnet generator. The housing of the generator is designed using iron material, and the blades used are of the inverse taper type made of styrofoam which is then covered with sheets of balsa wood and monocot. The control system used is a Wind Charge Controller (WCC) with a brake voltage specification of 30V. This wind turbine design provides a good output in the low wind speed area of 2.26 m/s. Output power of turbine 14.28W with an average output voltage of 29.78V, current 0.46A. Wind turbine efficiency can be achieved up to 88.92%.*

**Keywords :** *Axial Flux Permanent Generator, Horizontal Wind Turbine, Inverse Taper, Permanent Magnet Generator, Renewable Energy*

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan konsumsi energi listrik, ketersediaan sumber energi fosil semakin berkurang. Sedangkan pembentukan energi fosil membutuhkan proses waktu yang lama, sehingga para peneliti dan akademisi mencoba mengembangkan alternatif sumber energi dengan memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu EBT yang dikembangkan adalah angin menjadi pembangkit listrik tenaga angin. Angin dapat dikonversi menjadi

energi listrik dengan menangkap potensialnya menggunakan baling-baling yang dapat menghasilkan energi kinetik pada turbin. Turbin ini dihubungkan dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Pada aplikasinya, turbin angin dibedakan menjadi dua, yaitu turbin angin dengan poros *horizontal* dan turbin angin dengan poros *vertical*[1], [2].

Beberapa wilayah di Indonesia memiliki wilayah yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi terbarukan sebagai energi alternatif yaitu dengan menggunakan PLTS dan PLTB. Indonesia yang berada

di jalur khatulistiwa memiliki keuntungan dari dua energi alternatif ini yaitu memiliki panas yang cukup untuk menghasilkan energi PLTS di semua wilayah Indonesia. Namun untuk PLTB, wilayah yang memiliki angin yang tinggi hanya di pinggir pantai dan semakin jauh dari pantai maka kecepatan angin menjadi semakin berkurang. Oleh karena itu, Untuk optimalisasi energi PLTB di Indonesia agar dapat di implementasikan pada wilayah yang lebih luas meskipun cukup jauh dari pantai, diperlukan turbin angin PLTB yang mampu bekerja pada kecepatan angin yang rendah yaitu 0.5 – 5 m/s. Pada manuskrip ini akan membahas terkait perancangan dan implementasi turbin angin agar dapat di implementasikan untuk daerah yang memiliki kecepatan angin rendah.

Beberapa penelitian terkait turbin angin telah dilakukan. Pada [3] telah membahas perancangan turbin angin dengan poros horizontal dengan metode *Horizontal Axis Rotor Performance Optimization (HARP-Opt)*. HARP-Opt ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan kinerja rotor pada saat kondisi stabil, konfigurasi rotor dirancang menggunakan parameter kecepatan rotor dan konfigurasi bilahnya. Beberapa bagian penting yang ada pada pembangkit listrik tenaga angin tipe horizontal adalah; *generator, nacelle, blade, shaft, tower, dan gear box*[4]. Jika Generator yang digunakan berbeda, maka sistem turbin angin akan memberi pengaruh kinerja yang berbeda. Umumnya Generator yang digunakan adalah *radial flux permanent magnet generator (RFPMG)* dan *axial flux permanent magnet generator (AFPMG)*[5] di mana fluks magnetik yang dihasilkan arahnya sejajar (aksial) terhadap poros[6]. Generator ini sesuai jika diaplikasikan pada daerah yang memiliki kecepatan angin rendah, dapat menghasilkan daya dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi karena tidak adanya rugi-rugi daya pada kumparan rotor[7], [8].

Turbin angin dengan sumbu horizontal memiliki tiga jenis bilah yang biasa digunakan, yaitu *taper, taperless, dan inverse taper*. *Inverse taper* yang merupakan jenis bilah yang mampu menghasilkan torsi besar, sehingga dapat lebih mudah berputar meskipun pada kecepatan angin yang rendah[9]. Turbin angin dengan torsi yang besar membuat putaran menjadi pelan, sehingga diperlukan *tip speed ratio (TSR)* yang rendah[10].

Perancangan bilah menggunakan *software* QBlade [11] yang merupakan sebuah *software open source*. Dalam memproses simulasi di QBlade terdapat dua metode, yaitu *Blade Element Momentum (BEM)* dan *Double Multiple Streamtube (DMS)*[12]. BEM digunakan untuk memproses simulasi turbin angin dengan sumbu horizontal, sedangkan DMS digunakan untuk memproses simulasi turbin angin dengan sumbu vertikal. Pada QBlade pengguna dapat melakukan desain custom airfoil dan perhitungannya menggunakan panel *method code XFOIL* yang telah terintegrasi dalam QBlade. Proses simulasi dengan menggunakan QBlade meliputi beberapa tahapan, yaitu *airfoil design, Xfoil direct analysis, polar exploration, rotor blade design*[13]. Pada perancangan bilah ini, pemilihan material juga berpengaruh terhadap kinerja bilah, sehingga agar bilah ringan dan tidak membutuhkan torsi yang besar untuk berputar digunakan bahan material styrofoam[14]. Sebagai bingkai styrofoam digunakan kayu balsa dan dilapisi *monocote* sehingga lebih kokoh dan tahan terhadap air hujan dan debu. Bilah dan daerah sapuannya akan menjadi dasar untuk menentukan besarnya daya yang dapat dikonversi oleh sistem[15].

Dari beberapa kajian literatur tersebut, maka pada penelitian ini digunakan generator *axial flux permanent magnet generator (AFPMG)* yang akan digunakan sebagai generator turbin angin. Dengan menggunakan AFPMG diharapkan dapat menghasilkan pembangkit listrik dengan efisiensi yang tinggi. Sehingga dapat dimanfaatkan sebagai PLTB pada daerah dengan kecepatan angin rendah.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Daya Angin

Daya angin merupakan jumlah energi angin yang dapat dihasilkan. Kecepatan angin dan daerah sapuan akan mempengaruhi besarnya daya angin. Daya angin dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (1)[16].

$$W = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

di mana

- W = daya angin (W)
- $\rho$  = kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )
- A = luas daerah sapuan ( $\text{m}^2$ )
- V = kecepatan angin (m/s)

**B. Efisiensi Daya Generator**

Generator adalah sebuah alat pembangkit listrik yang terdiri atas dua bagian utama, yaitu bagian rotor dan stator. Rotor terdiri atas magnet permanen dan stator terdiri atas beberapa kumparan kawat konduktor. Generator mengubah energi gerak yang dapat dihitung sebagai daya masukan dengan menggunakan Persamaan (1) menjadi daya listrik sebagai daya luaran. Perbandingan antara daya masukan dan luaran disebut sebagai efisiensi dari generator. Efisiensi yang dimaksud dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) [17]

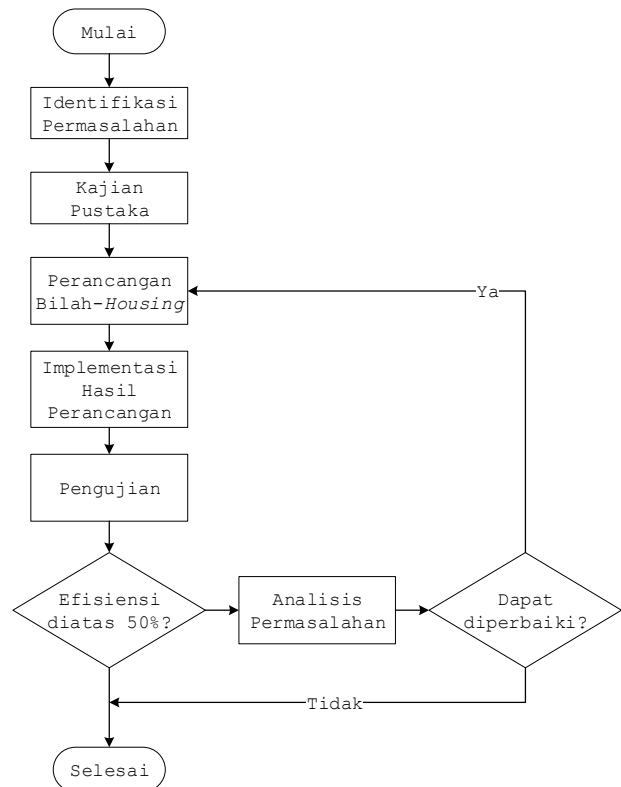
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

di mana

- $\eta$  = efisiensi (%)
- $P_{in}$  = daya masuk (W)
- $P_{out}$  = daya keluar (W)

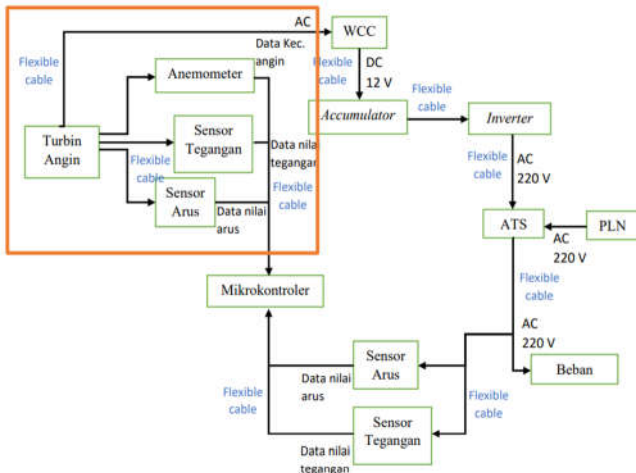
**III. METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini terdapat beberapa kegiatan penelitian yang dilakukan. Kegiatan tersebut dimulai dari studi literatur untuk melakukan kajian penelitian terkait turbin angin dengan menggunakan AFPMG. Kemudian kegiatan selanjutnya adalah dilakukan perancangan bilah dan *housing* untuk turbin angin AFPMG, dan selanjutnya dilakukan implementasi turbin angin AFPMG berdasarkan hasil rancangan yang telah dibuat. Untuk menguji apakah hasil rancangan dan implementasi memiliki hasil yang baik yaitu hasil yang memiliki efisiensi di atas 50% maka dilakukan pengujian AFPMG yang telah dibuat. Berikut merupakan diagram alir metodologi penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Metode penelitian

Pada sistem yang diusulkan ini terdapat perancangan dan implementasi sistem pemantauan turbin angin AFPMG berbasis *Web Monitoring* yang bertujuan untuk melengkapi kelengkapan sistem kerja *Horizontal Axial Wind Turbine* (HAWT). Turbin angin berfungsi sebagai sumber daya pada HAWT *web monitoring* ini. Pada produk HAWT berbasis *web monitoring* terdapat tiga sub sistem utama, yaitu turbin angin, kontroler, dan sistem *monitoring* seperti yang ditunjukkan dalam diagram blok pada Gambar 2. Penelitian ini berfokus pada turbin angin yang ditunjukkan dalam kotak jingga pada Gambar 2.



Gambar 2. HAWT

Pada subsistem turbin angin diperlukan beberapa spesifikasi agar HAWT dapat bekerja, yaitu listrik yang dihasilkan dari konversi disimpan menggunakan *accumulator* dan digunakan sebagai sumber daya alternatif selain listrik PLN. Spesifikasi yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan generator jenis aksial.
2. Memiliki bilah sebanyak tiga buah berjenis *inverse taper*.
3. Mulai bekerja (*cut in*) pada kecepatan angin 2,5 m/s.

#### A. Perancangan Bilah

Perancangan bilah menggunakan beberapa parameter yang digunakan, salah satunya adalah menentukan jenis *airfoil* yang akan digunakan[18]. Pada manuskrip ini digunakan *airfoil* NACA 4412 yang dirancang menggunakan perangkat lunak Qblade. Selain itu dibutuhkan parameter awal, yang ditentukan dengan dua cara, yaitu berdasarkan asumsi dan berdasarkan perhitungan. Data parameter awal dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Pada Tabel 1 nilai kapasitas daya listrik dan efisiensi bilah ( $\eta$ ), generator ( $\eta_g$ ), serta *controller* ( $\eta_c$ ) yang digunakan berdasarkan literatur[19], sedangkan untuk efisiensi sistem ( $K$ ) dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$K = \eta_b \times \eta_g \times \eta_c \quad (3)$$

Tabel 1. Penentuan kapasitas daya dan efisiensi subsistem turbin angin

Kapasitas daya listrik ( $W_e$ )	Efisiensi			
	Bilah ( $\eta_b$ )	Generator ( $\eta_g$ )	Controller ( $\eta_c$ )	Sistem ( $K$ )
Watt	%	%	%	%
600	0,3	0,8	0,8	0,1920

Tabel 2. Perhitungan daya angin, kecepatan angin maksimal, luas sapuan bilah dan jari-jari bilah

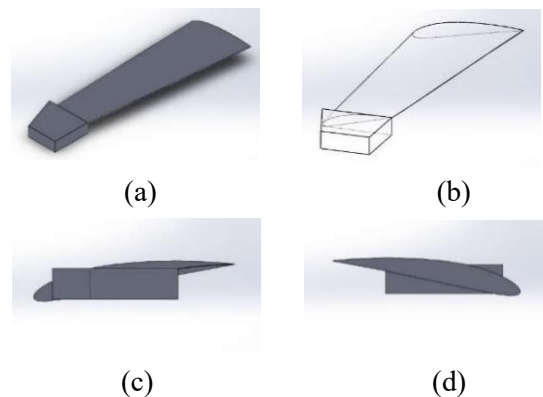
Daya Angin ( $W_a$ )	Kec. Angin Maks ( $V_{max}$ )	Luas Sapuan Bilah ( $A$ )	Jari-jari ( $R$ )
Watt	(m/s)	( $m^2$ )	(meter)
3125	12	1,25	0,55

Kemudian pada Tabel 2 nilai kecepatan angin maksimal ( $V_{max}$ ) dan jari jari ( $R$ ) ditentukan, sedangkan untuk nilai daya angin ( $W_a$ ) dan luas sapuan bilah ( $A$ ) dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 4 dan 5.

$$W_a = \frac{W_e}{K} \quad (4)$$

$$A = \frac{2 \times W_a}{\rho \times V_{max}^3} \quad (5)$$

Dari parameter tersebut dapat dirancang bilah seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain bilah *inverse taper*: (a) tampak 3D; (b) tampak garis dalam; (c) tampak depan; (d) tampak belakang

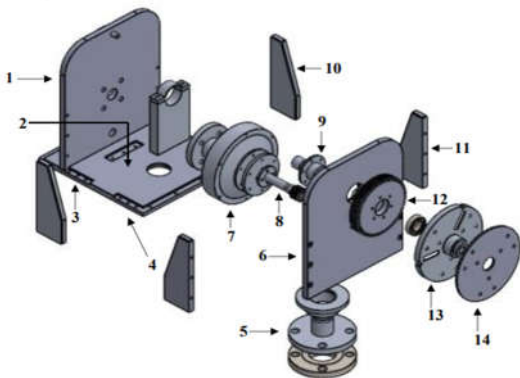
#### B. Perancangan Turbin Angin dan Housing

Perancangan turbin angin terbagi menjadi dua sub-bagian, yaitu menentukan generator elektrik yang akan digunakan dan melakukan perancangan desain housing untuk generator elektrik. Penelitian ini menggunakan generator elektrik berjenis aksial dengan spesifikasi daya 600 W dapat dilihat pada Gambar 4.

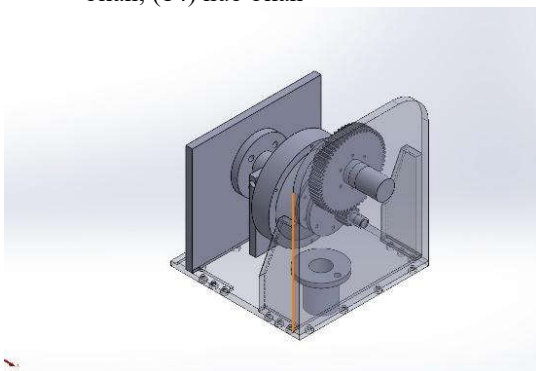


Gambar 4. Generator aksial

Dalam perancangan *housing* generator ini, jenis material yang digunakan adalah besi, dikarenakan memiliki kekuatan yang kuat dan harganya yang lebih terjangkau meskipun kekurangannya adalah berat. Perancangan *housing* generator ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dalam gambar tersebut terdapat beberapa bagian *housing*, seperti *base*, *shaft*, dan *flange*.



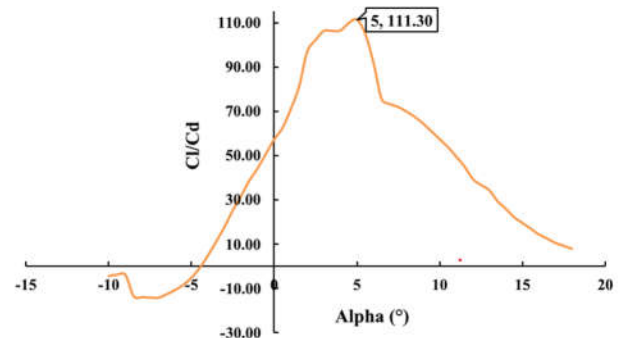
Gambar 5. Komponen *housing*: (1) *housing base* belakang; (2) *housing base* bawah; (3, 4, 10 dan 11) penopang *housing base*; (5) poros *housing*; (6) *housing base* depan; (7) generator; (8) *shaft* pinion; (9) *shaft* bilah; (12) *gear*; (13) *flange* bilah; (14) hub bilah



Gambar 6. *Housing full*

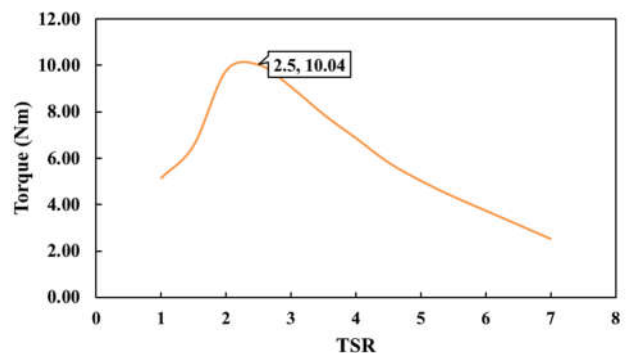
C. Simulasi QBlade

Hasil perancangan bilah disimulasikan menggunakan perangkat lunak QBlade untuk melihat parameter nilai *Cl/Cd*. Nilai *Cl/Cd* yang tinggi artinya bilah tersebut memiliki pengaruh gaya angkat yang lebih besar daripada gaya dorong sehingga bilah dapat berputar. *Coefficient lift* (*Cl*) merupakan koefisien gaya angkat, sedangkan *drag coefficient* (*Cd*) merupakan gaya dorong. Dalam hasil simulasi pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa bilah mempunyai nilai *Cl/Cd* terhadap *Alpha* tertinggi 111 pada sudut serang  $5^{\circ}$  yang membuat sirkulasi udara pada bilah ini mengalir lebih banyak pada permukaan bawah bilah dan mengakibatkan gaya yang dihasilkan lebih besar.

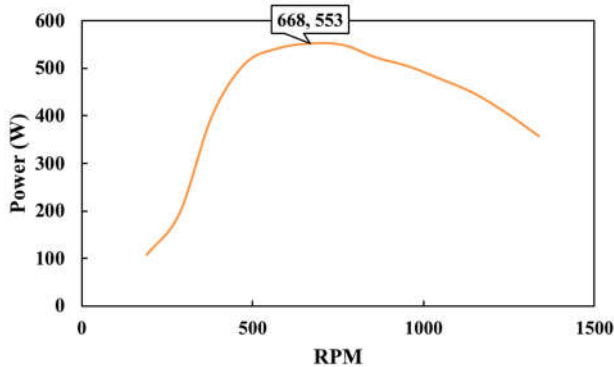


Gambar 7. Grafik *Cl/Cd* terhadap *Alpha*

Simulasi rotor dengan menggunakan metode BEM pada perangkat lunak QBlade dengan parameter jumlah pengulangan sebanyak 1000 kali, viskositas dinamik sebesar  $1,647 \times 10^{-5} \text{Ns/m}^2$ , dan densitas udara sebesar  $1,225 \text{Kg/m}^3$ . Dari hasil simulasi menghasilkan grafik perbandingan torsi terhadap *tip speed ratio* (TSR) yang dapat dilihat pada Gambar 8 dan grafik *power* terhadap kecepatan sudut (rpm) pada Gambar 9.



Gambar 8. Grafik torsi terhadap TSR



Gambar 9. Grafik *power* terhadap kecepatan sudut

Nilai torsi tertinggi yang dihasilkan bilah sebesar 10,04 Nm pada TSR 2,5. Kemudian daya maksimal yang dihasilkan oleh bilah adalah sebesar 553 W pada kecepatan putar 668 rpm dan daya minimum bilah sebesar 104 W pada kecepatan putar 191 rpm.

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil Implementasi Bilah

Dalam melakukan implementasi, bilah menggunakan bahan utama styrofoam yang dilapisi kayu balsa di bagian luarnya. Proses implementasi mengacu pada spesifikasi dan bentuk geometri bilah *inverse taper* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

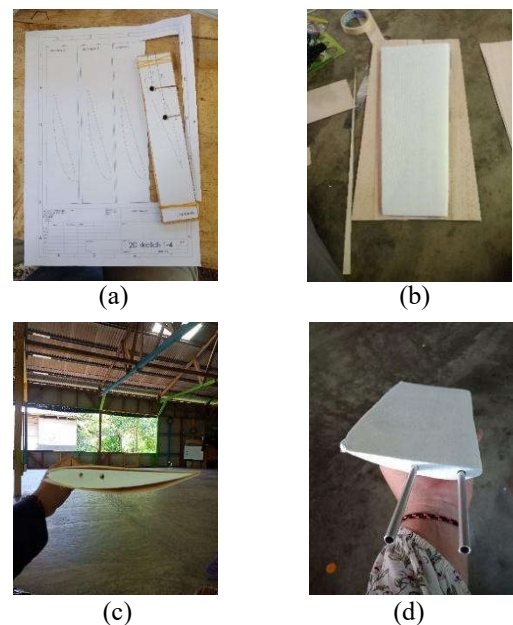
Tabel 3. Geometri bilah

Geometri Bilah <i>Inversetaper</i> NACA4412								
n	r (m)	$\lambda r$	$C_r$ (m)	Cl	$\alpha$ (°)	$\Phi$ (°)	$\beta$ (°)	$\beta$ (°)
1	0,15	1,09	0,120	0,64	2,37	28,34	25,97	12,49
2	0,19	1,41	0,127	0,46	0,9	23,51	22,61	11,94
3	0,24	1,74	0,135	0,36	-0,19	19,95	20,14	11,39
4	0,28	2,06	0,142	0,28	-0,645	17,26	17,89	10,85
5	0,33	2,38	0,150	0,23	-0,99	15,17	16,16	10,30
6	0,37	2,71	0,157	0,20	-1,3	13,52	1,00	9,76
7	0,42	3,03	0,165	0,17	-1,5	12,18	13,68	9,21
8	0,46	3,35	0,172	0,14	-1,7	11,07	12,77	8,66
9	0,51	3,68	0,180	0,13	-1,9	10,14	12,04	8,12
10	0,6	4	0,187	0,11	-2,08	9,36	11,44	7,57

n : elemen bilah  
 $\alpha$  (°) : alpha  
 r (m) : jari-jari parsial  
 $\Phi$  (°) : flow angle  
 $\lambda r$  : TSR parsial  
 $\beta$  (°) : twist  
 Cr (m) : chord  
 $\beta$  (°) : twist linear  
 Cl : *coefficient lift*

Tabel 4. Titik koordinat elemen 0 dan 1

0			1		
x	y	z	x	Y	Z
100	0,13	0	100	0,13	-47,78
95	1,47	0	95	1,47	-47,78
90	2,71	0	90	2,71	-47,78
80	4,89	0	80	4,89	-47,78
70	6,69	0	70	6,69	-47,78
60	8,14	0	60	8,14	-47,78
50	9,19	0	50	9,19	-47,78
40	9,8	0	40	9,8	-47,78
30	9,76	0	30	9,76	-47,78
25	9,41	0	25	9,41	-47,78
20	8,8	0	20	8,8	-47,78
15	7,89	0	15	7,89	-47,78
10	6,59	0	10	6,59	-47,78
7,5	5,76	0	7,5	5,76	-47,78
5	4,73	0	5	4,73	-47,78
2,5	3,39	0	2,5	3,39	-47,78
1,25	2,44	0	1,25	2,44	-47,78
0	0	0	0	0	-47,78



Gambar 10. Proses implementasi bilah: (a) pembuatan sketsa di *styrofoam*; (b) hasil *styrofoam* yang telah dipotong; (c) melapisi *styrofoam* dengan kayu balsa; (d) melapisi bilah dengan *monocote*

Untuk melakukan proses implementasi perlu dilakukan penentuan titik koordinat. Titik koordinat dibuat menjadi beberapa elemen agar bilah tetap presisi saat proses implementasi, terdapat titik koordinat untuk elemen 0 sampai dengan elemen 10. Titik koordinat untuk elemen 0 dan elemen 1 sebagian dapat dilihat pada Tabel 4. Kemudian, parameter yang telah didapat dari proses perancangan digunakan dalam proses implementasi yang dapat dilihat pada Gambar 10. Proses implementasi dilakukan dengan cara memotong styrofoam sesuai dengan desain geometri dan titik elemen yang telah ditentukan. Selanjutnya, styrofoam dilapisi dengan lembar kayu balsa dan monocote.

**B. Hasil Implementasi Generator dan Housing Gdc**



(a) (b)

**Gambar 11.** Proses machining housing: (a) pembuatan shaft; (b) pembuatan flange



(a) (b)



(c)

**Gambar 12.** Hasil implementasi housing dan generator: (a) hasil implementasi flange; (b) hasil implementasi shaft; (c) implementasi housing pada generator

Implementasi generator dan housing yang dilakukan adalah melakukan proses pencetakan (machining) menggunakan mesin CNC milling dan las bubut. Proses dan hasil implementasi dapat dilihat pada Gambar 11 sampai dengan Gambar 12.

**C. Hasil Implementasi Turbin Angin AFPMG**

Implementasi turbin angin dilakukan dengan menggabungkan seluruh bagian, yaitu bilah, generator, dan housing di atas meja yang dapat dilihat pada Gambar 13. Proses ini dilakukan untuk memverifikasi bahwa turbin angin dapat berputar sebelum dilakukan pemasangan pada tiang.



**Gambar 13.** Turbin angin AFPMG

Tiang yang digunakan merupakan tiang triangle dengan tinggi 5 meter di atas permukaan tanah. Proses pemasangan dilakukan dengan menggunakan katrol. Generator dan housing dinaikkan menggunakan katrol, sedangkan bilah dipasang saat generator dan housing telah terpasang pada tiang. Proses pemasangan dan implementasi dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.



**Gambar 14.** Proses pemasangan turbin angin pada tiang



Gambar 15. Implementasi turbin angin AFPMG pada tiang 5 meter

D. Pengujian

Setelah produk diimplementasikan, dilakukan pengujian terhadap kinerja dari turbin angin. Proses pengujian ini untuk meng-generate tegangan, arus, dan daya keluaran dari turbin angin terhadap kecepatan angin. Pengujian turbin angin ini dilakukan selama 11 jam, yaitu mulai dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 18.00 WIB. Berikut merupakan hasil dari pengujian turbin angin AFPMG.

E. Pengujian Generator

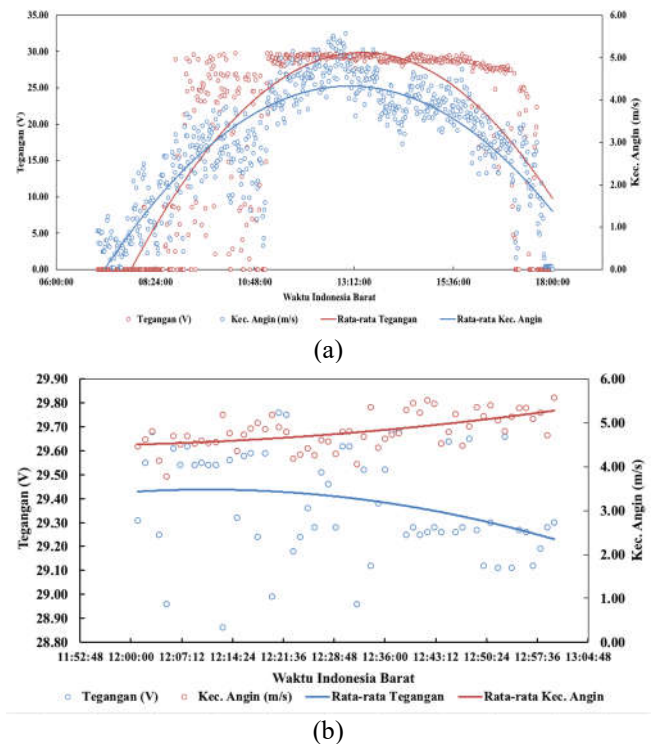
Pada pengujian ini generator diputar dengan menggunakan bor listrik kemudian dilakukan pengukuran terhadap kecepatan putar generator menggunakan tachometer dan tegangan keluaran generator setiap fasa menggunakan multimeter. Berikut hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran generator

RPM	$\omega$	V (UV)	V (UW)	V (VW)
46,15385	4,830769	8,7	9,2	8,8
92,30769	9,661538	16,9	16,58	15,8
184,6154	19,32308	35,02	35,6	33,54
230,7692	24,15385	44,81	46,1	44,57
276,9231	28,98462	56,32	56,3	56,53
323,0769	33,81538	65,2	66,7	66,8
369,2308	38,64615	74,5	74,7	74,2
415,3846	43,47692	83,2	83,7	82,5
461,5385	48,30769	90,4	90,4	92,3
538,4615	56,35897	108,8	109,3	109,5
615,3846	64,41026	124,8	124,7	127,4
692,3077	72,46154	136,9	128,4	136,2
769,2308	80,51282	154,3	154,9	151,7
846,1538	88,5641	169,3	168,7	165,7
923,0769	96,61538	187,5	187,4	189,5
1000	104,6667	204,3	201,9	202,7
1076,923	112,7179	218,7	220,2	219,9

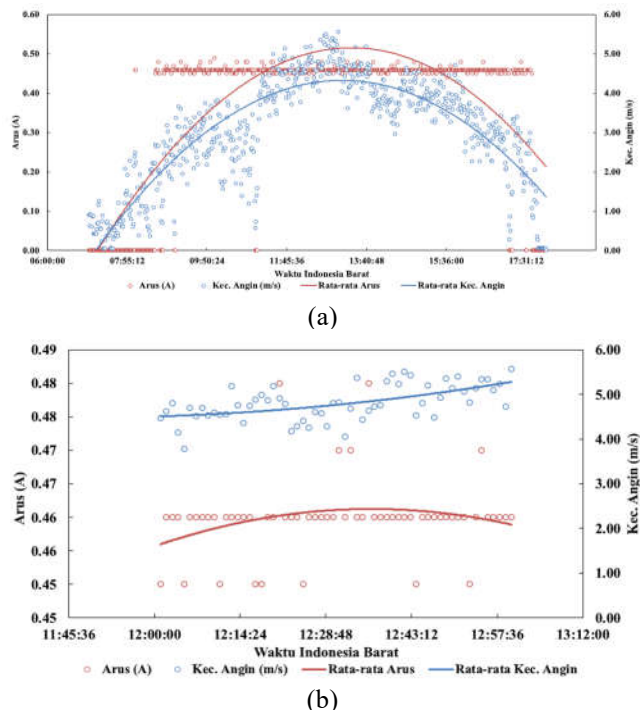
Dari hasil pengujian yang diperoleh pada kecepatan putar antara 46 rpm hingga 1000 rpm, generator dapat mengeluarkan tegangan hingga sebesar 220,2 V pada kecepatan putar 1076.923 rpm dan tegangan terendah yang dihasilkan sebesar 8,7 V pada kecepatan putar 46,15385 rpm. Tegangan antar fasa yang dihasilkan saat pengukuran memiliki selisih rata-rata sebesar 1%.

F. Tegangan dan Arus Keluaran Turbin Angin



Gambar 16. Grafik tegangan keluaran terhadap kecepatan angin: (a) grafik keseluruhan mulai dari pukul 07.00 hingga 18.00 WIB; (b) grafik saat pukul 12.01 hingga 13.00 WIB

Data tegangan dan arus keluaran turbin angin diambil setiap menit. Berikut merupakan data yang diperoleh, dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17. Pada Gambar 16(a) merupakan grafik nilai tegangan dan Gambar 17(a) merupakan grafik arus yang diperoleh dibandingkan dengan kecepatan angin selama proses pengujian. Gambar 16(b) merupakan grafik nilai tegangan keluaran dan Gambar 17(b) merupakan grafik nilai arus keluaran terhadap kecepatan angin saat pukul 12.01 sampai dengan pukul 13.00 WIB.



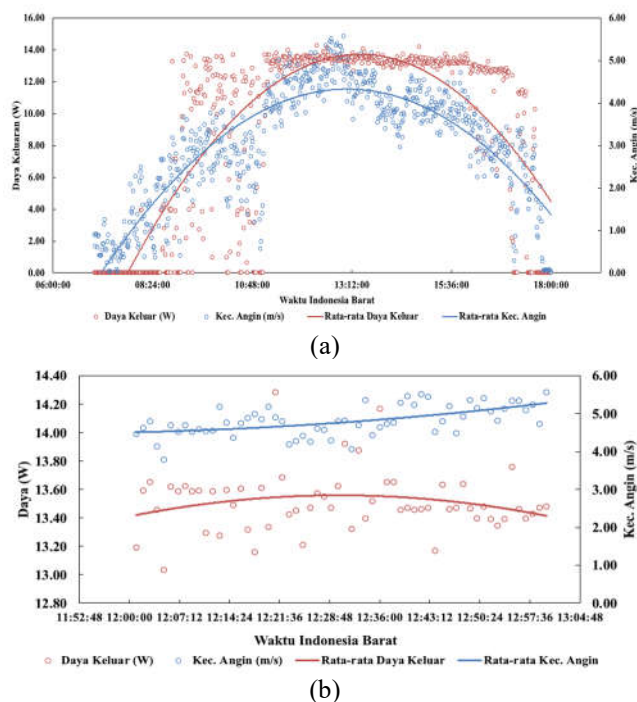
**Gambar 17.** Grafik arus keluaran terhadap kecepatan angin: (a) grafik keseluruhan mulai dari pukul 07.00 hingga 18.00 WIB; (b) grafik saat pukul 12.01 hingga 13.00 WIB

Berdasarkan hasil pengujian, nilai tegangan keluaran maksimum yang dapat dihasilkan adalah sebesar 29,78 V. Berdasarkan data pengujian, nilai tegangan keluaran pada kecepatan angin tinggi berkisar diantara 28 V sampai 29 V. Hal tersebut dikarenakan, kontrol yang digunakan melakukan pengereman generator saat tegangan keluaran mencapai 30 V, dapat dilihat dari Gambar 16, dimana tegangan pengukuran tidak mengalami peningkatan lagi saat mencapai kecepatan angin yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, turbin angin ini membutuhkan kecepatan angin minimal 2.5 m/s untuk membuat bilah dapat bergerak dari kondisi diam. Hal tersebut dibuktikan saat rata-rata kecepatan angin dibawah 2.5 m/s, turbin angin tidak menghasilkan tegangan keluaran. Kemudian untuk nilai arus pada Gambar 17 dapat dilihat bahwa nilainya tidak berubah secara signifikan karena menggunakan beban konstan.

#### G. Daya Keluaran Turbin Angin

Proses pengujian ini dilakukan dengan cara menghitung daya keluaran turbin menggunakan hasil data tegangan dan arus keluaran turbin angin setiap

menit. Berikut merupakan hasil data yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 18. Pada Gambar 19(a) merupakan grafik keseluruhan dari nilai tegangan yang diperoleh terhadap kecepatan angin selama proses pengujian, sedangkan Gambar 19(b) merupakan grafik nilai tegangan keluaran terhadap kecepatan angin saat pukul 12.01 sampai dengan pukul 13.00 WIB.



**Gambar 18.** Grafik daya keluaran terhadap kecepatan angin: (a) grafik keseluruhan mulai dari pukul 07.00 hingga 18.00 WIB; (b) grafik saat pukul 12.01 hingga 13.00 WIB

Berdasarkan hasil pengujian nilai daya keluaran, kecepatan angin paling tinggi yang dihasilkan sebesar 14,28 W. Nilai daya keluaran dipengaruhi oleh tegangan, maka dapat dilihat pada Gambar 18 besar daya yang dikeluarkan juga dipengaruhi oleh kecepatan angin. Akan tetapi karena generator maksimal hanya mampu menghasilkan tegangan tidak lebih dari 30 V, sehingga daya yang dihasilkan tidak terlalu besar.

#### H. Efisiensi Turbin Angin

Proses pengujian efisiensi turbin angin dilakukan dengan cara membandingkan daya keluaran dan daya masukan. Daya masukan merupakan daya angin atau besar potensi energi angin dalam satu waktu. Dengan luas daerah sapuan bilah sebesar 1,25 m<sup>2</sup> dan kerapatan udara adalah 1,2 kg/m<sup>3</sup>, maka daya angin dan

efisiensinya dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2) adalah  $W=8.71$  Watt dan  $\eta=88,92\%$ . Nilai efisiensi ini dinyatakan baik karena hanya sebesar 11.08% daya yang hilang. Nilai efisiensi ini dapat dipengaruhi oleh jenis bilah dan generator elektrik yang digunakan pada penelitian ini. Efisiensi ini juga dapat dipengaruhi dari kontrol yang digunakan oleh turbin angin saat digunakan.

## V. KESIMPULAN

Perancangan dan implementasi turbin angin *axial flux permanent magnet generator* untuk mendapatkan nilai koefisien desain bilah yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah berhasil dilakukan. turbin angin AFPMG mampu bekerja pada kecepatan rendah dengan tegangan luaran dibuat konstan 30 V. hasil rancangan menunjukkan efisiensi Turbin angin AFPMG yang baik yaitu 88,92%. Daya luaran turbin angin AFPMG rata-rata 14,28 W dengan kecepatan angin terukur 2,5 m/s.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kemendikbud melalui program Hibah Penelitian Dosen Pemula dengan Nomor SK: 8/E1/KPT/2020 dengan nomor kontrak 009/SPH/LT/DRPM/2020.

## REFERENSI

- [1] A. Bachtiar and W. Hayyatul, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.
- [2] A. Raj, R. B. Gurav, J. B. Sankpal, D. S. Chavan, and P. B. Karandikar, "Study of output parameters of horizontal axis wind turbines using experimental test setup," *1st IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016*, pp. 363–368, 2017, doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853120.
- [3] K. A. Singh and M. R. Ahmed, "Design and Optimisation of a 20kW Horizontal Axis Wind Turbine using HARP-Opt," *2019 9th Int. Conf. Power Energy Syst. ICPEES 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICPEES47639.2019.9105431.
- [4] T. F. Chan and L. L. Lai, "An axial-flux permanent-magnet synchronous generator for a direct-coupled wind-turbine system," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 1, pp. 86–94, 2007, doi: 10.1109/TEC.2006.889546.
- [5] G. Messina, E. T. De Bella, and L. Morici, "HTS Axial Flux Permanent Magnets Electrical Machine Prototype: Design and Test Results," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 29, no. 2, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/TASC.2019.2892560.
- [6] C. P. Butterfield, "Axial Flux, Modular, Permanent-Magnet Generator with a Toroidal Winding for Wind Turbine Applications," no. July, 1998.
- [7] A. Ferreira, A. M. Silva, A. F. Costa, "Prototype of an Axial Flux Permanent Magnet Generator for Wind Energy Systems Applications Department of Electrical and Computer Engineering, FEUP Keywords," *2007 Eur. Conf. Power Electron. Appl.*, 2007.
- [8] M. R. Minaz and E. Akcan, "An Effective Method for Detection of Demagnetization Fault in Axial Flux Coreless PMSG with Texture-Based Analysis," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 17438–17449, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050418.
- [9] T. Ferinando G. S. and M. Awaludin, "Meter Di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau," pp. 2015–2018, 2015.
- [10] A. A. Nada and A. S. Al-Shahrani, "Shape Optimization of Low Speed Wind Turbine Blades using Flexible Multibody Approach," *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 577–587, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.567.
- [11] D. Marten and G. Pechlivanoglou, "Integration of a WT Blade Design tool in XFOIL/XFLR5," *Proc. DEWEK*, no. April 2015, pp. 1–4, 2010.
- [12] R. Rq, H. Dqg, and E. Ko, "Scaled Horizontal Axis Wind Turbine Analysis," *5Th Int. Conf. Renew. Energy Res. Appl.*, vol. 5, pp. 3–8, 2016.
- [13] Mohammad Nachrul Irfan, "Analisa Performansi Mekanisme Passive Variable Pitch Untuk Turbin Hidrokinetik Sumbu Vertikal Tipe Darrieus Dengan Variasi Geometri Airfoil Berbasis Q-Blade," *2017*, vol. 1, no. 1, pp. 1–85, 2017.

- [14] M. A. Ikaningsih and W. Rosihan, "Penggunaan Styrofoam sebagai Material Bilah Turbin Angin," *Rotasi*, vol. 21, no. 1, p. 23, 2019, doi: 10.14710/rotasi.21.1.23-29.
- [15] M. Murshed, M. Y. Arafat, and M. Abdur Razzak, "Analysis of Air Foils and Design of Blades for a Low-Speed 250W Vertical Axis Wind Turbine Suitable for Coastal Areas of Bangladesh," *Ist Int. Conf. Adv. Sci. Eng. Robot. Technol. 2019, ICASERT 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICASERT.2019.8934624.
- [16] T. Yeni Yusuf, "Analisa Kerja Turbin Angin Sederhana Dengan Dua Sudu Poros Horizontal," pp. 2–6, 2006.
- [17] Yudi Prasetyo, "Analisis Perbandingan Bahan Material Magnet Dalam Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg) 12 Slot 8 Kutub Dengan Menggunakan Finite Elemen Method (Fem) Software," 2019.
- [18] S. D. Nikhade, S. C. Kongare, and S. A. Kale, "Design of an airfoil for low wind horizontal axis micro wind turbine," *2017 2nd Int. Conf. Conver. Technol. I2CT 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 850–853, 2017, doi: 10.1109/I2CT.2017.8226249.
- [19] N. H. Sari and W. G. Laksamana, "Perancangan bilah tipe taperless pada kincir angin: Studi kasus di PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya," *Din. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, p. 104, 2019, doi: 10.29303/dtm.v9i2.286.
- [20] A. Anam, I. W. Sujana, and G. Andri, "Pengaruh Parameter Efisiensi dan Daya Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Darrieus Tipe H Naca 4309 Energi angin merupakan energi stokastik yang berhembus pada waktu- waktu tertentu tetapi hal itu dapat diprediksi dengan suatu kemungkinan tertentu . Ke," *Tek. Mesin Inst. Teknol. Nas. Malang*, vol. 8, no. 2, pp. 1–7, 2018.

## Pengujian Validitas dan Reliabilitas *System Usability Scale* (SUS) Untuk Perangkat *Smartphone*

Muhammad Lulu Latif Usman<sup>1</sup>, Muhamad Azrino Gustalika<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

\*lulu@ittelkom-pwt.ac.id<sup>1</sup>, azrino@ittelkom-pwt.ac.id<sup>2</sup>

### INTISARI

Untuk mengukur suatu perangkat lunak lebih spesifik berbasis telepon seluler *smartphone* dapat diterima oleh pengguna maka dilakukan pengujian *Usability*. Untuk membuat kuisisioner yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian *System Usability Scale* (SUS) yang dinyatakan valid dan reliabel. Kuisisioner diuji menggunakan *Expert Review* dan *Product-Moment Coefficient* untuk uji validitas, serta Cronbach Alfa untuk uji reliabilitas. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan didapatkan 10 butir kuisisioner untuk uji SUS dengan seluruh butir dinyatakan valid secara *Expert Review* dan *Product-Moment Coefficient*, serta reliabel dengan skor *Cronbach Alfa* 0,778086452. Terdapat beberapa penelitian terkait pembuatan kuisisioner untuk uji SUS dimana bahasa yang digunakan bahasa Indonesia dan bahasa Inggris dengan jumlah pertanyaan sebanyak 10 butir. Penelitian ini sendiri memberikan opsi lain kuisisioner dengan mengadopsi penelitian yang sudah dilakukan dengan melakukan pengujian validitas dan reliabilitas untuk menguji suatu perangkat lunak menggunakan uji SUS.

Kata kunci: *Usability*, SUS, Kuisisioner

### ABSTRACT

*To measure a more specific software based on smartphone cellular phones can be accepted by users, usability testing is carried out. To make a questionnaire that can be used to test the System Usability Scale (SUS) which is declared valid and reliable. The questionnaire was tested using an Expert Review and the Product-Moment Coefficient for validity testing, and Cronbach's Alpha for reliability testing. Based on the results of the tests carried out; there were 15 questionnaire items for the SUS test with all items declared valid by an Expert Review and Product-Moment Coefficient, and reliable with a Cronbach Alpha score of 0.835095216. Several studies related to making questionnaires for the SUS test where the language used is Indonesian and English with a total of 10 questions. This study itself provides another option for a questionnaire by adopting research that has been done by testing the validity and reliability to test software using the SUS test.*

**Keywords :** *Usability, SUS, Questionnaire*

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan dinamis pada pasar bidang perangkat lunak membuat perusahaan saat ini harus bisa menyesuaikan produknya terhadap keinginan pengguna di pasar [1]. Perkembangan yang terjadi membuat perusahaan harus mampu membaca tren yang berkembang terutama dalam bidang perangkat lunak. Dalam perkembangannya sendiri tampilan atau *User Interface* dari suatu perangkat lunak saat ini menjadi sangat penting [2]. Penggunaan berbagai fitur dan fungsi dari suatu aplikasi saat ini juga menjadi semakin kompleks [3], Hal ini tentu harus menjadi suatu atensi

tersendiri dalam pengembangan perangkat lunak. Memberikan suatu *User Interface* yang mampu mempermudah pengguna akhir dalam menggunakan perangkat lunak menjadi sangat penting.

Perkembangan pembuatan perangkat lunak dengan basis *smartphone* sangat tinggi. Hal ini terjadi salah satunya karena peningkatan penggunaan telepon seluler terutama di Indonesia. Menurut data penggunaan telepon seluler non-*smartphone* di Indonesia 2013 sebanyak 83,7%[4], 2014 sebanyak 83,2%[5], 2015 sebanyak 84,3%[6], 2016 sebanyak 84,4%[7], 2017 sebanyak 53,85%[8]. Pada tahun 2017

terjadi penurunan penggunaan telepon seluler non-*smartphone* dimana hal ini terjadi karena pada tahun 2017 sendiri terdapat peralihan penggunaan dari telepon seluler non *smartphone* ke telepon seluler *smartphone* dengan angka penggunaan 66,31%. Intensitas waktu yang dibutuhkan untuk masyarakat Indonesia dalam mengoperasikan *smartphone* dikategorikan tinggi[9].

Untuk mengukur suatu perangkat lunak dapat diterima oleh pengguna maka dilakukan pengujian *Usability*. *Usability* merupakan teknik analisa untuk mengukur kemudahan perangkat lunak dimana pengujiannya melibatkan pengguna akhir [10]–[12]. Proses pengujian *Usability* aspek yang menentukan ketercapaian suatu perangkat lunak adalah penerimaan pengguna akhir [13], [14]. Pengujian *Usability* biasanya digunakan *System Usability Scale* (SUS) yang merupakan suatu kuesioner yang digunakan untuk penilaian kegunaan pengguna [15]. SUS sendiri merupakan penilaian yang paling populer dalam melakukan pengujian *Usability* [16]–[18].

SUS sebagai kuisisioner pengujian *Usability* membutuhkan instrument kuisisioner yang harus mampu memberikan penilaian yang valid dan reliabel. Untuk mencapai tersebut tentu instrumen yang ada dalam SUS juga perlu dilakukan uji terlebih dahulu sebelum digunakan dalam pengujian *Usability*. Hal ini bertujuan agar instrumen yang digunakan benar-benar mampu mengukur tingkat *Usability* dari perangkat lunak. Benar tidaknya data dalam suatu penelitian ditentukan oleh instrument yang digunakan untuk mengukur objek suatu penelitian [19]. Terdapat beberapa penelitian terkait pembuatan kuisisioner untuk uji SUS dimana bahasa yang digunakan bahasa Indonesia dan bahasa Inggris dengan jumlah pertanyaan sebanyak 10 butir [20], [21]. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur validitas dan reliabilitas penggunaan pengujian SUS untuk perangkat lunak berbasis *smartphone*.

## II. LANDASAN TEORI

*System Usability Scale* atau biasa disebut SUS sendiri merupakan pengujian yang dikembangkan oleh Brooke (1996) sebagai pengujian “*Quick and Dirty*” dimana participant dapat secara cepat dan mudah mengakses pengujian usabilitas untuk menilai suatu produk atau layanan[22]. SUS sendiri menjadi salah satu pilihan pengujian Usabilitas[23]. Butir soal

yang dibuat terdapat 10 butir soal [22] untuk Uji SUS dimana butir soal yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Butir Kuisisioner SUS

No	Butir Soal
1	<i>I think that I would like to use this product frequently</i>
2	<i>I found the product unnecessarily complex</i>
3	<i>I thought the product was easy to use</i>
4	<i>I think that I would need the support of a technical person to be able to use this product</i>
5	<i>I found the various functions in the product were well integrated</i>
6	<i>I thought there was too much inconsistency in this product</i>
7	<i>I imagine that most people would learn to use this product very quickly</i>
8	<i>I found the product very awkward to use</i>
9	<i>I felt very confident using the product</i>
10	<i>I needed to learn a lot of things before I could get going with this product</i>

## III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian pengujian kuisisioner uji usabilitas menggunakan metode validitas dan reliabilitas. Metode ini merupakan standar yang biasanya digunakan untuk menentukan suatu kuisisioner layak digunakan sebagai instrument penelitian atau tidak.

### A. Validitas

Hasil penelitian dikatakan valid apabila terdapat kesamaan antara data yang terkumpul dengan data yang sesungguhnya terjadi pada obyek diteliti [24]. Artinya data yang terkumpul dalam penelitian harus sama dari data yang ada dilapangan. Bila terdapat perbedaan antara data yang terkumpul dengan data yang dilapangan maka penelitian yang dilakukan tidak valid. Instrumen yang valid berarti alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data (mengukur) itu valid [24]. Valid berarti instrumen dapat digunakan untuk mengukur apa yang seharusnya diukur. Uji validitas isi pada instrumen menggunakan *Expert Review* (pendapat ahli) dimana instrumen dapat dikatakan layak atau tidak. Hasil penelitian yang valid adalah kondisi dimana data yang dikumpulkan dengan data yang ada dilapangan sama [24]. Instrumen yang valid berarti alat ukur digunakan untuk mengambil data itu valid [24]. Valid berarti instrumen yang digunakan

dapat dijadikan sebagai instrumen atau alat ukur dalam penelitian.

Pengujian validitas menggunakan uji *Expert Review* dan uji *Product-Moment Coefficient*. *Expert Review* merupakan pengujian yang dilakukan oleh ahli dalam bidangnya dimana para ahli diminta pendapat untuk menentukan instrumen yang telah dibuat sudah valid atau belum. Uji *Product-Moment Coefficient* dilakukan dengan menggunakan persamaan [25]:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2)(n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2)}} \quad (1)$$

r = koefisien korelasi  
 n = jumlah responden  
 $x_i$  = skor setiap item pada instrumen  
 $y_i$  = skor setiap item pada kriteria

Setelah mendapatkan koefisien korelasi kemudian untuk mencari validitas dengan membandingkan  $t_{hitung}$  dengan  $t_{table}$  dimana  $t_{table}$  didapatkan sesuai dengan signifikansi penelitian. Nilai signifikansi yang digunakan dalam penelitian ini sendiri adalah 5% atau 0.05. Butir dikatakan valid apabila  $t_{hitung} > t_{table}$ . Sedangkan nilai  $t_{hitung}$  didapatkan dengan menggunakan rumus [25]:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

r = koefisien korelasi  
 n = jumlah responden  
 t = nilai  $t_{hitung}$

#### B. Reliabilitas

Penelitian yang reliabel merupakan penelitian yang terdapat persamaan data dalam waktu yang berbeda [24] artinya data hasil penelitian diperoleh tidak berubah ketika terdapat perubahan waktu. Reliabilitas terkait dengan masalah kepercayaan dimana penelitian dikatakan reliabel apabila data memiliki tingkat kepercayaan tinggi. Pengujian reliabilitas menggunakan uji *Cronbach Alfa* dimana dengan uji tersebut sangat dapat digunakan dalam menguji instrumen penelitian dalam bentuk angket [26]. Batas nilai dalam uji *Cronbach Alfa* memiliki nilai antara lebih dari 0,7 [27] dan kurang dari 0,9 [28]. Pengujian reliabilitas menggunakan rumus *Cronbach Alfa* dengan rumus [25], [29]:

$$r_i = \frac{k}{(k-1)} \left\{ 1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right\} \quad (3)$$

$r_i$  = koefisien reliabilitas *Cronbach Alfa*

k = jumlah item soal

$s_i^2$  = varians tiap item

$s_t^2$  = varians total

Sedangkan nilai varians items dan varians total sendiri didapatkan dari rumus [25]:

$$s_i^2 = \frac{JK_i}{n} - \frac{JK_s}{n^2} \quad (4)$$

$$s_t^2 = \frac{\sum (X_t)^2}{n} - \frac{(\sum X_t)^2}{n^2} \quad (5)$$

$s_i^2$  = varians tiap item

$s_t^2$  = varians total

JK<sub>i</sub> = jumlah kuadrat seluruh skor item

JK<sub>s</sub> = jumlah kuadrat subjek

n = jumlah responden

X<sub>t</sub> = skor total

## IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Uji Validitas

Hasil validasi yang dilakukan pada butir soal yang sudah dibuat sebelumnya dibagi menjadi dua dimana satu menggunakan *Expert Review* dan uji *Product-Moment Coefficient*. Untuk *Expert Review*, terdapat 5 orang ahli yang dilakukan wawancara terkait dengan butir soal untuk melakukan validasi butir soal yang sudah dibuat. 5 orang ahli itu sendiri terdiri dari 2 pakar dalam bidang informatika dan 3 akademisi. Hasil wawancara *Expert Review* sendiri butir soal sudah dinyatakan valid tanpa ada perbaikan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pengolahan angka yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk uji *Product-Moment Coefficient* dilakukan uji pada 97 peserta dan nilai  $t_{table}$  1,6611. Nilai  $t_{table}$  - didapatkan berdasarkan jumlah n adalah 95 (jumlah peserta dikurangi 2) dan taraf signifikansi 5% atau 0,05. Hasil penghitungan *Product-Moment Coefficient* akan menghasilkan nilai  $t_{hitung}$  dimana nilai  $t_{hitung}$  apabila lebih besar dari  $t_{table}$  maka butir soal dinyatakan valid. Untuk hasil uji validitas masing-masing butir soal dapat dilihat pada Tabel 2.

Gambar 1. Aplikasi Pengolah Angka Untuk Uji Validitas

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

No	Skor $t_{hitung}$	Validitas
1	7,094336536	Valid
2	6,286759533	Valid
3	6,280472409	Valid
4	9,496277024	Valid
5	6,728314514	Valid
6	7,49895049	Valid
7	3,836244254	Valid
8	6,496697349	Valid
9	6,704772922	Valid
10	9,236423396	Valid

Hasil Tabel 2 menunjukkan pada 10 butir soal yang dibuat, seluruh butir soal dinyatakan valid berdasarkan perbandingan  $t_{hitung}$  dan  $t_{table}$ . Hal ini menunjukkan dari 10 butir soal yang dibuat tidak diperlukan perubahan karena seluruh butir soal mendapatkan validitas baik secara *Expert Review* ataupun hasil uji *Product-Moment Coefficient*.

### B. Uji Reliabilitas

Hasil reliabilitas menggunakan rumus *Cronbach Alfa* dimana apabila nilai *Cronbach Alfa* lebih dari 0,7 dan kurang dari 0,9 maka butir soal dinyatakan reliabel. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pengolah angka yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Aplikasi Pengolah Angka Untuk Uji Reliabilitas

Untuk hasil uji reliabilitas butir soal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Reliabilitas

Indikator	Nilai
$k$	10
$s_i^2$	10,43707
$s_t^2$	3,12822
$r_i$	0,778086452

Hasil Tabel 3 menunjukkan butir soal yang dihasilkan nilai *Cronbach Alfa* sebesar 0,778086452. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai *Cronbach Alfa* lebih dari 0,7 dan kurang dari 0,9 serta dinyatakan butir soal reliabel.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini didapatkan 15 butir soal yang dapat dijadikan instrumen penelitian dengan menggunakan uji SUS. Validitas dari 15 butir soal adalah 100% valid baik secara *Expert Review* ataupun hasil uji *Product-Moment Coefficient* tanpa ada perbaikan. Reliabilitas soal didapatkan skor *Cronbach Alfa* sebesar 0,778086452 dan dapat dikatakan reliabel. Butir soal yang didapatkan kemudian dapat dijadikan instrumen penelitian pada penelitian-penelitian selanjutnya tanpa harus melakukan uji validitas dan reliabilitas, namun uji reliabilitas dan validitas juga dapat dilakukan kembali pada butir soal ini sebagai bahan evaluasi butir soal dari penelitian ini.

Penelitian ini validitas dan reliabilitas pada butir soal untuk uji SUS masih dibahas secara umum belum dispesifikasikan berdasarkan jenis perangkat lunak seperti untuk *website*, perangkat seluler, maupun dekstop. Penelitian terkait validitas dan reliabilitas terutama untuk pengujian berdasarkan jenis tertentu masih dibutuhkan untuk meningkatkan tingkatan keabsahan butir soal dalam melakukan pengukuran uji SUS.

## REFERENSI

- [1] L. Fabisiak, "Web service usability analysis based on user preferences," *J. Organ. End User Comput.*, vol. 30, no. 4, pp. 1–13, 2018.
- [2] J. Nielsen, *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.
- [3] P. W. Jordan, *An introduction to usability*. CRC Press, 2020.
- [4] B. S. D. M. Kominfo, "Survey Indikator Akses dan Pengguna TIK pada Rumah Tangga Tahun 2013." Jakarta, 2014.
- [5] B. S. D. M. Kominfo, "Survey Indikator Akses dan Pengguna TIK pada Rumah Tangga Tahun 2014." Jakarta, 2015.
- [6] B. S. D. M. Kominfo, "Survey Indikator Akses dan Pengguna TIK pada Rumah Tangga Tahun 2015." Jakarta, 2016.
- [7] B. S. D. M. Kominfo, "Survey Indikator Akses dan Pengguna TIK pada Rumah Tangga Tahun 2016." Jakarta, 2017.
- [8] B. S. D. M. Kominfo, "Survey Indikator Akses dan Pengguna TIK pada Rumah Tangga Tahun 2017." Jakarta, 2018.
- [9] Sharen Gifary dan Iis Kurnia N., "Intensitas Penggunaan Smartphone Terhadap Perilaku Komunikasi," *Fak. Komun. dan Bisnis, Univ. Telkom, Indones.*, 2014, doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [10] J. Nielsen and others, "Usability 101: Introduction to usability," 2012.
- [11] E. Susilo, B. S. WA, and H. Al Fatta, "Evaluasi Aplikasi Mobile SSP (Secure System Of Payment) menggunakan Prinsip Usability," *SEMNASTEKNOMEDIA ONLINE*, vol. 5, no. 1, pp. 2–6, 2017.
- [12] B. Pudjoatmodjo and R. Wijaya, "Tes Kegunaan (Usability Testing) Pada Aplikasi Kepegawaian Dengan Menggunakan System Usability Scale (Studi Kasus: Dinas Pertanian Kabupaten Bandung)," *SEMNASTEKNOMEDIA ONLINE*, vol. 4, no. 1, pp. 2–9, 2016.
- [13] Y. Nurhadryani, S. K. Sianturi, I. Hermadi, and H. Khotimah, "Pengujian usability untuk meningkatkan antarmuka aplikasi mobile," *J. Ilmu Komput. dan Agri-Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 83–93, 2013.
- [14] U. Ependi, T. B. Kurniawan, and F. Panjaitan, "System usability scale vs heuristic evaluation: a review," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 65–74, 2019.
- [15] J. R. Lewis, "The system usability scale: past, present, and future," *Int. J. Human-Computer Interact.*, vol. 34, no. 7, pp. 577–590, 2018.
- [16] J. R. Lewis, B. S. Utesch, and D. E. Maher, "UMUX-LITE: when there's no time for the SUS," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2013, pp. 2099–2102.
- [17] R. A. Grier, A. Bangor, P. Kortum, and S. C. Peres, "The system usability scale: Beyond standard usability testing," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2013, vol. 57, no. 1, pp. 187–191.

- [18] J. R. Lewis, "Measuring perceived usability: The CSUQ, SUS, and UMUX," *Int. J. Human-Computer Interact.*, vol. 34, no. 12, pp. 1148–1156, 2018.
- [19] S. Arinkunto, "Prosedur penelitian suatu pendekatan praktek," *Jakarta PT Rineka Cipta*, 2010.
- [20] J. R. Lewis, "Usability testing," *Handb. Hum. factors Ergon.*, vol. 12, p. e30, 2006.
- [21] Z. Sharfina and H. B. Santoso, "An Indonesian adaptation of the system usability scale (SUS)," in *2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 2016, pp. 145–148.
- [22] J. Brooke and others, "SUS-A quick and dirty usability scale," *Usability Eval. Ind.*, vol. 189, no. 194, pp. 4–7, 1996.
- [23] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, "An empirical evaluation of the system usability scale," *Intl. J. Human-Computer Interact.*, vol. 24, no. 6, pp. 574–594, 2008.
- [24] D. Sugiyono, "Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D," *Bandung Alf*, 2014.
- [25] F. Yusup, "Uji validitas dan reliabilitas instrumen penelitian kuantitatif," *Tarb. J. Ilm. Kependidikan*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [26] K. A. Adamson and S. Prion, "Reliability: measuring internal consistency using Cronbach's  $\alpha$ ," *Clin. Simul. Nurs.*, vol. 9, no. 5, pp. e179–e180, 2013.
- [27] J. C. Nunnally, "Psychometric Theory 3rd ed." McGraw hill book company, 1994.
- [28] D. L. Streiner, "Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency," *J. Pers. Assess.*, vol. 80, no. 1, pp. 99–103, 2003.
- [29] D. Sugiyono, "Statistika untuk penelitian," *Bandung Alf*, 2014.

## Pemilihan Guru Berprestasi Menggunakan Metode *Weighted Aggregated Sum Product Assessment*

Yohani Setiya Rafika Nur<sup>1</sup>, Yuan Sa'adati<sup>2</sup>, Nurhaeka Tou<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut Teknologi Telkom Purwokerto

<sup>2</sup> Universitas Qamarul Huda Badaruddin

<sup>3</sup> Universitas Bangka Belitung

\*yohani@ittelkom-pwt.ac.id<sup>1</sup>, yuan@uniqba.ac.id<sup>2</sup>, nurhaeka@ubb.ac.id<sup>3</sup>

### INTISARI

SDN 003 Loa Janan Ulu merupakan sekolah dasar di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Pada tiap akhir tahun ajarannya, kepala sekolah SDN 003 selama ini melakukan pemilihan guru berprestasi. Kepala sekolah mengidentifikasi guru berprestasi di SDN 003 Loa Janan sejauh ini masih secara subjektif. Pemilihan tersebut dirasa kurang efektif karena juga dipengaruhi oleh faktor diluar dari ketentuan kriteria sehingga menimbulkan konflik dan hasil keputusan tidak sesuai dengan hasil keputusan yang sebenarnya. Kriteria yang digunakan seperti masa lama kerja, pendidikan terakhir, pangkat golongan, kompetensi dan kedisiplinan para guru. Pada penelitian bertujuan untuk mengkaji terkait metode pada Sistem Pendukung Keputusan (SPK) dengan menggunakan *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS). Konsep dasar metode tersebut yakni melakukan proses perhitungan secara kompleks sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan untuk mendapatkan hasil perankingan. Hasil didapatkan bahwa penerapan metode WASPAS dapat memberikan kepala sekolah dalam menentukan salah satu guru berprestasi berdasarkan hasil ranking nilai tertinggi.

Kata kunci : Guru Prestasi, Sistem Pendukung Keputusan, WASPAS

### ABSTRACT

*SDN 003 Loa Janan Ulu is an elementary school located in Kutai Kartanegara, East Kalimantan Province. The headmaster of SDN 003 has been choosing outstanding teachers at the end of each school years. The principal identified the outstanding teacher at SDN 003 Loa Janan so far still subjectively. However, this technique is considered less helpful because it is caused by variables outside the criteria rules, resulting in conflicts and decision that are not in line with the actual results. SDN 003 Loa Janan Ulu has several criteria, such as long working periods, tertiary education, civil servant rank, competency, and discipline of the teachers. Therefore, the study decided to review the decision support system using the WASPAS method. The basic concept of this method is to perform a complex calculation process in accordance with established criteria that have been set to get the results of the calculation. The results of this study found that the application of the WASPAS method can provide the principal in determining one of the outstanding teachers based on the results of the highest score ranking.*

**Keywords :** *Outstanding Teacher, Decision Support System, WASPAS*

### I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki beberapa jenjang dalam dunia pendidikan formal, seperti Sekolah Dasar (SD), Sekolah Menengah Pertama (SMP), Sekolah Menengah Atas (SMA) atau Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Sekolah Dasar (SD) adalah pendidikan jenjang dasar yang harus ditempuh selama 6 tahun. Menurut data statistik dari Pusdatin Kemendikbud tahun 2020 menunjukkan bahwa terdapat 131.879 Sekolah Dasar Negeri (SDN) di

Indonesia [1]. SDN 003 Loa Janan Ulu merupakan salah satu pendidikan jenjang dasar di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Keberadaan guru memiliki peran utama dalam tercapainya keberhasilan kegiatan pembelajaran, guru harus mengarahkan siswa sehingga dapat mencapai penguasaan materi maupun tujuan pembelajaran, membuat siswa berkualitas baik dalam akademis, emosional, spiritual dan moral. Tujuan pembelajaran tersebut dapat tercapai maka diperlukanlah sosok guru

berprestasi. Prestasi guru dapat ditingkatkan dengan beberapa cara yakni melakukan penilaian dan evaluasi. Adanya pemilihan guru berprestasi tersebut bertujuan untuk dapat memacu dedikasi, loyalitas, dan kinerja para guru dalam proses belajar mengajar [1].

Pemilihan guru berprestasi di SDN 003 Loa Janan selama ini dilakukan tiap akhir tahun ajaran oleh kepala sekolah. Kepala sekolah mempertimbangkan beberapa kriteria yaitu masa lama kerja, pendidikan terakhir, pangkat, kompetensi dan kedisiplinan para guru. Namun, kepala sekolah dalam pengambilan keputusan masih secara subjektif dan dipengaruhi oleh beberapa faktor lain dalam penentuan guru-guru berprestasi tersebut dan membuat hasil keputusan yang terpilih tidak sesuai dengan hasil sebenarnya sehingga menimbulkan konflik kecemburuan bagi guru-guru yang tidak terpilih oleh kepala sekolah.

Berdasarkan dari permasalahan yang telah dijabarkan maka dibutuhkan sistem pendukung keputusan (SPK) untuk membantu kepala sekolah untuk menentukan salah satu guru prestasi. Pengambilan keputusan yang melibatkan banyaknya kriteria diperlukan suatu metode dalam menentukan pengambilan keputusan multi kriteria [2]. Pada penelitian ini untuk menghasilkan keputusan pemilihan dari guru berprestasi tersebut, peneliti akan menerapkan salah satu metode dalam SPK yaitu *Weight Aggregated Sum Product Assesment* (WASPAS). Metode tersebut mampu memberikan hasil atau rekomendasi pengambilan keputusan dalam suatu persoalan yang kompleks berdasarkan kriteria penilaian dengan hasil akhir berbentuk perbandingan [1][3].

## II. LANDASAN TEORI

### A. Studi Literatur

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa referensi jurnal dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah menerapkan metode WASPAS dalam Sistem Pendukung Keputusan (SPK) dan referensi tersebut sebagai penguat dalam terbentuknya penelitian ini. Penelitian yang berjudul “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Pegawai Bank Terbaik dengan metode *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS)”. Penelitian ini menghasilkan suatu kesimpulan bahwa metode WASPAS dalam permasalahan pemilihan pegawai bank terbaik

mendapatkan hasil yang cukup baik dalam sebuah instansi, tergantung dari kriteria yang digunakan [3].

Penelitian kedua, terkait “Sistem Pendukung Keputusan Pengangkatan Guru Tetap” dengan menggunakan WASPAS sebagai metode yang digunakan untuk mengambil keputusan. Hasil yang didapatkan bahwa dalam studi kasus pengangkatan guru tetap ini dapat menentukan hasil keputusan berdasarkan satu atau lebih dari beberapa alternatif [4].

Penelitian ketiga dengan judul “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Guru Terbaik dengan menerapkan metode WASPAS”. Penelitian ini menghasilkan suatu keputusan dalam memutuskan atau memilih guru terbaik dari beberapa kandidat sehingga diharapkan membantu untuk memutuskan salah satu guru berdasarkan kriteria yang menjadi penilaian oleh SMPN 7 Rambah [5].

### B. Sistem Pengambilan Keputusan (SPK)

Sistem pendukung keputusan atau disebut dengan *Decision Support System* (DSS) merupakan suatu sistem yang dapat memberikan suatu informasi maupun kemampuan terhadap pemodelan guna mengambil keputusan dalam suatu permasalahan [6]. Penerapan SPK bertujuan untuk pengambilan suatu keputusan dengan permasalahan tertentu dari banyaknya kriteria yang dimiliki baik secara terstruktur maupun tidak [7][8]. Pada dasarnya SPK, akan memberikan alternatif suatu keputusan dan hasil selanjutnya diserahkan kepada user dalam penentuan keputusannya [9].

### C. *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS)

*WASPAS Method* yaitu metode yang dapat mengoptimalkan dan dapat meminimkan hasil kesalahan-kesalahan dalam penaksiran guna menentukan pilihan terhadap nilai tertinggi dan nilai terendah. Metode tersebut juga merupakan salah satu metode dari pendekatan MCDM [10]. Pendekatan MCDM memiliki tujuan utama yakni untuk memilih opsi terbaik berdasarkan dari beberapa kumpulan alternatif dan kriteria yang saling bertentangan [3]. Proses perhitungan dengan menerapkan metode WASPAS, sebagai berikut [3][11]:

1. Membuat matriks keputusan  $x$

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

2. Melakukan normalisasi pada matriks  $x$  dengan dua persamaan sifat kriteria yaitu *Benefit* dan *Cost*:

a) Persamaan Kriteria *Benefit*:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (2)$$

b) Persamaan Kriteria *Cost*:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \quad (3)$$

3. Melakukan perhitungan nilai dari normalisasi matriks dan perhitungan dengan metode WASPAS berdasarkan pengambilan keputusan ( $Q_i$ ) dengan persamaan berikut:

$$Q_i = 0,5 \sum_{j=1}^n x_{ij}w + 0,5 \prod_{j=1}^n (x_{ij})^{w_j} \quad (4)$$

#### D. Guru

Seorang guru adalah tonggak utama dalam dunia pendidikan. Keberadaan peran seorang guru tidak lepas dalam mengajar maupun membimbing peserta didik guna mengembangkan kemampuan dan prestasi siswanya. Berdasarkan pasal 1 dari Undang-undang Republik Indonesia no. 14 pada tahun 2005 tentang Guru dan Dosen dijelaskan menjelaskan guru merupakan pendidik secara profesional dengan tugas utamanya untuk mendidik, membimbing, mengajar, dan mengevaluasi peserta didik baik pada pendidikan anak usia dini jalur pendidikan formal, pendidikan dasar, maupun pendidikan menengah [1].

Guru juga diartikan secara luas menjadi seorang pendidik yang dibutuhkan secara dikotomis berkaitan dengan dunia pendidikan. Pendidik merupakan seorang tenaga profesional yang bertugas merencanakan dan melaksanakan keberlangsungan proses pembelajaran [4][12]. Berdasarkan, pada peraturan Pemerintah Republik Indonesia pada nomor 74 Tahun 2008 Tentang Guru, terdapat kriteria penilaian yang perlu dipenuhi, meliputi beberapa kompetensi yakni kompetensi pedagogik, profesionalisme, kompetensi, dan kepribadian maupun sosial.

### III. METODE PENELITIAN

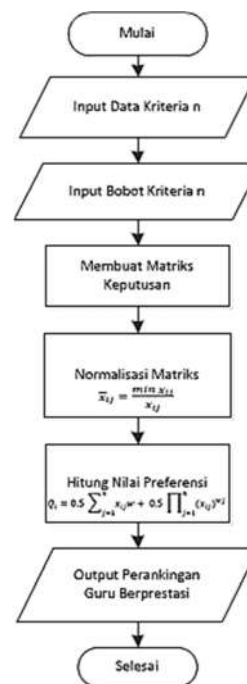
Pada penelitian ini, berdasarkan uraian latar belakang. Proses penelitian digambarkan pada tahapan alur dalam proses penelitian ini. Alur dari tahapan penelitian tersebut, dimulai dari studi literatur, lalu melakukan pengumpulan data, analisis data, perancangan dan implementasi metode yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, tahap penelitian dimulai dengan studi literatur untuk meninjau terkait penelitian terdahulu [3-5] yang relevan dengan pembahasan dalam penelitian ini. Tahapan kedua yaitu melakukan pengumpulan data dengan cara melakukan wawancara terhadap kepala sekolah SDN 003 Loa Janan Ulu sehingga peneliti mendapatkan informasi dan data yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Tahap ketiga yaitu melakukan analisis data yang telah dimiliki dengan menerapkan metode WASPAS untuk mendapatkan hasil pembobotan dan perankingannya. Tahap keempat adalah implementasi sistem dengan menggunakan skema metode WASPAS pada

Gambar 22.



Gambar 2. Skema Diagram Alir Sistem

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada proses penentuan guru berprestasi, diperlukan beberapa teknik dalam menentukannya. Kepala Sekolah dalam menentukan kasus pemilihan tersebut masih secara manual dan dipengaruhi oleh beberapa faktor lain dalam penentuan guru berprestasi. Oleh sebab itu, dalam membantu kepala sekolah untuk menentukan dan memilih guru berprestasi diperlukan suatu sistem pendukung keputusan untuk memilih dari beberapa alternatif yang dimiliki.

##### A. Deskripsi Data Penelitian

Secara khusus, kepala sekolah memiliki beberapa alternatif dan kriteria-kriteria sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihannya. Kriteria tersebut yakni masa lama kerja, pangkat, pendidikan terakhir, kompetensi sosial dan kedisiplinan (Tabel 1) dan alternatif-alternatif pada penelitian ini (lihat pada Tabel 2).

Tabel 1. Kriteria Guru Berprestasi

Kode Kriteria	Kriteria	Bobot	Sifat Kriteria
C1	Masa Lama Kerja	0,3	Benefit
C2	Pendidikan Terakhir	0,2	
C3	Golongan	0,2	Benefit
C4	Kedisiplinan	0,15	
C5	Kompetensi	0,15	

Tabel 2. Alternatif Guru Berprestasi

Kode Alternatif	Nama
A1	Mohani, A.Ma.Pd
A2	Kuslan, S.Pd
A3	Linda Lidya, S.Pd
A4	Kartini, S.Pd
A5	Dewi Ratnawati, S.Pd
A6	Andi Wahyudi, S.Pd

Data yang digunakan selanjutnya akan dikonversi ke skala penilaian kriteria untuk dapat dilakukannya proses penilaian, sehingga dapat mengetahui guru berprestasi terbaik diantara kandidat guru-guru berprestasi. Skala penilaian dapat dilihat pada Tabel 3. Skala Penilaian Kriteria

Tabel 3. Skala Penilaian Kriteria

Kriteria	Indikator	Nilai
Golongan	IV	5
	III	4
	II	3
Pendidikan Terakhir	Magister dan Doktor	5
	Sarjana	4
	Diploma	3
	SMA/Sederajat	2
Masa Lama Kerja (tahun)	>21	5
	16-20	4
	11-15	3
	6-10	2
	<5	1
Kompetensi	Sangat Baik	5
	Baik	4
	Cukup	3
	Kurang Baik	2
	Tidak Baik	1
Kedisiplinan	Sangat Aktif	5
	Aktif	4
	Cukup Aktif	3
	Kurang Aktif	2
	Tidak Aktif	1

##### B. Penyelesaian Metode WASPAS

Tahap selanjutnya dari membuat matriks keputusan dari skala penilaian berdasarkan nilai alternatif-alternatif kriteria, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Pada Alternatif Tiap Kriteria

Kode Alternatif	Kriteria				
	C1	C2	C3	C4	C5
A <sub>1</sub>	5	3	5	5	4
A <sub>2</sub>	1	4	4	5	4
A <sub>3</sub>	3	4	4	4	5
A <sub>4</sub>	4	4	4	3	4
A <sub>5</sub>	5	4	5	4	5
A <sub>6</sub>	2	4	3	3	5
Max	5	4	5	4	5
Weight	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15

Berdasarkan hasil Tabel 4 terkait nilai alternatif terhadap kriteria tersebut, maka langkah-langkah penyelesaian pada metode WASPAS dalam menentukan guru berprestasi yakni sebagai berikut:

##### 1. Matriks keputusan $x$

Matriks keputusan  $x$  diambil dari berdasarkan nilai tiap alternatif ( $A_i$ ) dan kriteria ( $C_i$ ) sehingga

menjadi matriks dari keputusan  $X$ , sebagai berikut:

$$x = \begin{bmatrix} 5 & 3 & 5 & 5 & 4 \\ 1 & 4 & 4 & 5 & 4 \\ 3 & 4 & 4 & 4 & 5 \\ 4 & 4 & 4 & 3 & 4 \\ 5 & 4 & 5 & 4 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 3 & 5 \end{bmatrix}$$

## 2. Normalisasi terhadap matriks $x$

Berdasarkan hasil matriks keputusan  $x$  diatas, karena seluruh kriteria yang digunakan bersifat keuntungan (*benefit*) maka proses untuk melakukan normalisasi dari matriks  $x$ , peneliti menggunakan persamaan ke 2 yaitu persamaan *benefit*, sehingga menjadi matriks normalisasi sebagai berikut:

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0,75 & 1 & 1 & 0,8 \\ 0,2 & 1 & 0,8 & 1 & 0,8 \\ 0,6 & 1 & 0,8 & 0,8 & 1 \\ 0,8 & 1 & 0,8 & 0,6 & 0,8 \\ 1 & 1 & 1 & 0,8 & 0,8 \\ 0,4 & 1 & 0,6 & 0,6 & 1 \end{bmatrix}$$

## 3. Nilai Akhir Setiap Alternatif ( $Q_i$ )

Setelah mendapatkan hasil dari matriks normalisasi, maka dilakukan perhitungan terhadap nilai masing-masing alternatif ( $Q_i$ ) yang dimiliki untuk menentukan perankingannya. Nilai dari alternatif ( $Q_i$ ) tertinggi merupakan alternatif yang terpilih menjadi salah satu guru berprestasi. Komponen perhitungan dari masing-masing alternatif ( $Q_i$ ), sebagai berikut:

$$Q_1 = 0,5\sum(1 * 0,3) + (0,75 * 0,2) + (1 * 0,2) + (1 * 0,15) + (0,8 * 0,15) + 0,5\prod(1)^{0,3} * (0,75)^{0,2} * (1)^{0,2} * (1)^{0,15} * (0,8)^{0,15}$$

$$Q_1 = 0,46 + 0,46 = 0,92$$

$$Q_2 = 0,5\sum(0,2 * 0,3) + (1 * 0,2) + (0,8 * 0,2) + (1 * 0,15) + (0,8 * 0,15) + 0,5\prod(0,2)^{0,3} * (1)^{0,2} * (0,8)^{0,2} * (1)^{0,15} * (0,8)^{0,15}$$

$$Q_2 = 0,35 + 0,29 = 0,64$$

$$Q_3 = 0,5\sum(0,6 * 0,3) + (1 * 0,2) + (0,8 * 0,2) + (0,8 * 0,15) + (1 * 0,15) + 0,5\prod(0,6)^{0,3} * (1)^{0,2} * (0,8)^{0,2} * (0,8)^{0,15} * (1)^{0,15}$$

$$Q_3 = 0,41 + 0,40 = 0,81$$

$$Q_4 = 0,5\sum(0,8 * 0,3) + (1 * 0,2) + (0,8 * 0,2) + (0,6 * 0,15) + (0,8 * 0,15) + 0,5\prod(0,8)^{0,3} * (1)^{0,2} * (0,8)^{0,2} * (0,6)^{0,15} * (0,8)^{0,15}$$

$$Q_4 = 0,41 + 0,40 = 0,81$$

$$Q_5 = 0,5\sum(1 * 0,3) + (1 * 0,2) + (1 * 0,2) + (0,8 * 0,15) + (0,8 * 0,15) + 0,5\prod(1)^{0,3} * (1)^{0,2} * (1)^{0,2} * (0,8)^{0,15} * (0,8)^{0,15}$$

$$Q_5 = 0,47 + 0,47 = 0,94$$

$$Q_6 = 0,5\sum(0,4 * 0,3) + (1 * 0,2) + (0,6 * 0,2) + (0,6 * 0,15) + (1 * 0,15) + 0,5\prod(0,4)^{0,3} * (1)^{0,2} * (0,6)^{0,2} * (0,6)^{0,15} * (1)^{0,15}$$

$$Q_6 = 0,34 + 0,32 = 0,66$$

## 4. Perankingan

Berdasarkan hasil perhitungan metode WASPAS didapat nilai akhir dari tiap alternatif. Pada hasil perhitungan tersebut maka dapat dilakukan perankingan sebagai hasil akhir keputusan. Hasil tiap alternatif yang memiliki nilai tertinggi hingga nilai yang terendah secara lengkap tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Keputusan Perankingan

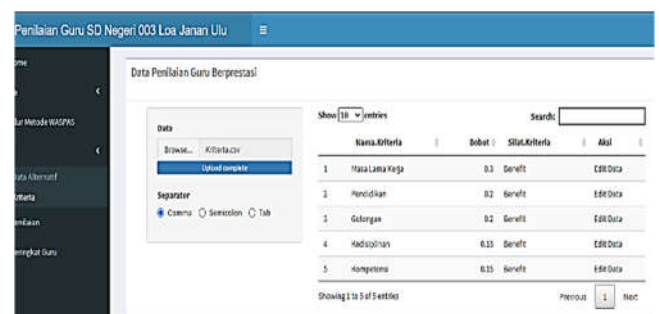
Alternatif	Nama	Nilai Akhir ( $Q_i$ )	Rank
A <sub>5</sub>	Dewi Ratnawati, S.Pd	0,94	1
A <sub>1</sub>	Mohani, A.Ma.Pd	0,92	2
A <sub>3</sub> dan A <sub>4</sub>	Linda Lidya, S.Pd dan Kartini, S.Pd	0,81	3
A <sub>6</sub>	Andi Wahyudi, S.Pd	0,66	4
A <sub>2</sub>	Kuslan, S.Pd	0,64	5

Hasil keputusan akhir perankingan maka dapat disimpulkan bahwa A<sub>5</sub> merupakan alternatif tertinggi dengan nilai akhir ( $Q_i$ ) sebesar 0.94 dan A<sub>2</sub> merupakan alternatif terendah dengan nilai akhir ( $Q_i$ ) sebesar 0.64.

## C. Implementasi

### 1. Halaman Kriteria Penelitian

Implementasi program pada penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan data-data yang digunakan dan perhitungan dengan menggunakan metode WASPAS. Halaman kriteria (Gambar 3) menyajikan komponen-komponen dari kriteria dan bobot dari kriteria tersebut sehingga digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pemilihan kandidat.



Gambar 3. Tampilan Kriteria

2. Halaman Alternatif

Halaman kriteria (Gambar 4) menampilkan dari data guru-guru di SDN 003 Loa Janan Ulu seperti nama, pendidikan terakhir, golongan, tanggal pengangkatan PNS, masa lama kerja (dari tanggal pengangkatan PNS), kompetensi dan kedisiplinan.

No	Nama	Pendidikan	Subgroup	TMT/PNS	MIA	Kompetensi	Kedisiplinan	Jabatan
1	Mohani, A. Ma. Pd	D4	IPA	1992-01-01	40	Grup	Grup	Guru Kelas
2	Kuslan, S. Pd	SI	IFB	2007-02-03	5	Grup	Kurang	Penjajati
3	Linda Lidya, S. Pd	SI	IFD	2006-02-01	14	Sangat	Grup	Guru Kelas
4	Kartini, S. Pd	SI	IFC	2000-08-01	20	Grup	Kurang	Guru Kelas
5	Devi Ratnawati, S. Pd	SI	IFB	1992-04-01	20	Sangat	Grup	Guru Kelas
6	Andi Wahyu, S. Pd	SI	IFB	2006-08-01	8	Sangat	Kurang	Guru Kelas
7	Siti Zahrah, S. Pd	SI	IFA	1988-01-30	34	Grup	Grup	Guru Kelas
8	LukDing, S. Pd	SI	IFA	1990-01-01	31	Grup	Grup	Guru Kelas
9	Mahana, A. S. Pd	SI	IFA	1990-08-01	31	Grup	Grup	Guru Kelas
10	Syahril, S. Pd	SI	IFB	1980-10-01	30	Grup	Grup	Guru Kelas

Gambar 4. Tampilan Alternatif

3. Halaman Penilaian Guru

Halaman penilaian guru (Gambar 5) menampilkan data dari penilaian kepala sekolah terhadap guru-guru di SDN 003 Loa Janan Ulu yang menjadi kandidat berdasarkan kriteria penilaian.

No	Nama	C1	C2	C3	C4	C5
1	Mohani, A. Ma. Pd	5	3	5	5	4
2	Kuslan, S. Pd	1	4	4	5	4
3	Linda Lidya, S. Pd	3	4	4	4	5
4	Kartini, S. Pd	4	4	4	3	4
5	Devi Ratnawati, S. Pd	5	4	5	4	5
6	Andi Wahyu, S. Pd	2	4	3	3	5

Gambar 5. Tampilan Penilaian Guru

4. Halaman Peringkat

Halaman peringkat atau perankingan (Gambar 6) merupakan tampilan akhir untuk melihat hasil akhir perankingan guru berprestasi. Halaman tersebut menampilkan dari nama alternatif (nama guru), hasil perhitungan pada metode WASPAS, dan peringkat dari alternatif-alternatif yang digunakan.

No	Nama	Result.WSM, Metode.WASPAS	Result.WPM, Metode.WASPAS	Nilai Akhir, Q1	Rank
1	Mohani, A. Ma. Pd	0,46	0,46	0,92	2
2	Kuslan, S. Pd	0,35	0,29	0,64	5
3	Linda Lidya, S. Pd	0,41	0,40	0,81	3
4	Kartini, S. Pd	0,41	0,40	0,81	3
5	Devi Ratnawati, S. Pd	0,47	0,47	0,94	1
6	Andi Wahyu, S. Pd	0,34	0,32	0,66	4

Gambar 6. Tampilan Peringkat Guru

V. KESIMPULAN

Pada hasil pada bab sebelumnya dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa hasil keputusan pemilihan guru berprestasi dengan menggunakan metode WASPAS dapat membantu dalam menentukan salah satu guru berprestasi terbaik dari beberapa guru-guru berprestasi lainnya. Hasil dari pendukung keputusan tersebut juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan kepala sekolah SDN 003 Loa Janan Ulu untuk menentukan dalam memilih guru berprestasi. Pengambilan keputusan tersebut akan memilih salah satu maupun lebih dari beberapa alternatif untuk menjadi guru berprestasi dengan mempertimbangkan beberapa kriteria dari tiap alternatif.

REFERENSI

[1] A. R. Hasibuan, “Studi Perbandingan Metode WSM, WP, dan WASPAS dalam Pemilihan Guru Terbaik Menerapkan Metode Exponential (Studi Kasus : SMA Negeri 1 Tanjung Pura Kabupaten Langkat),” *KOMIK (Konferensi Nas. Teknol. Inf. dan Komputer)*, vol. 3, no. 1, pp. 542–548, 2019, doi: 10.30865/komik.v3i1.1640.

[2] Mesran, Suginam, S. D. Nasution, and A. P. U. Siahaan, “Penerapan Weighted Sum Model (WSM) Dalam Penentuan Peserta Jaminan Kesehatan Masyarakat,” *J. Ris. Sist. Inf. dan Tek. Inform.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–47, 2017.

[3] T. N. Sianturi, L. Siburian, R. G. Hutagaol, and S. H. Sahir, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Pegawai Bank Terbaik Menggunakan Metode Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS),” *Semin. Nas. Sains*

- Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 625–631, 2018.
- [4] S. Barus, V. M. Sitorus, and D. Napitupulu, “Sistem Pendukung Keputusan Pengangkatan Guru Tetap Menerapkan Metode Weight Aggregated Sum Product Assesment (WASPAS),” *Media Inform. Budidarma*, vol. 2, no. 2, pp. 10–15, 2018.
- [5] K. Sabri and Afrijal, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Guru Terbaik Menggunakan Metode Weight Aggregated Sum Product Assesment (Studi Kasus: SMPN 7 Rambah, Rokan Hulu),” *Riau J. Comput. Sci.*, vol. 7, no. 01, pp. 1–8, 2021.
- [6] D. Aldo, “Pemilihan Bibit Lele Unggul dengan Menggunakan Metode Weighted Product,” *J. Teknol. dan Open Source*, vol. 2, no. 1, pp. 15–23, 2019.
- [7] E. Turban, J. E. Aronson, and Ti.-P. Liang, *Decision Support Systems And Inteligence System*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ, USA:: Pearson Prentice-Hall, 2005.
- [8] Kusriani, *Konsep Dan Aplikasi Pemdukung Keputusan*. Yogyakarta: Andi, 2007.
- [9] T. R. Adianto, Z. Arifin, D. M. Khairina, G. Mahakam, and G. Palm, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Rumah Tinggal Di Perumahan Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW) (Studi Kasus: Kota Samarinda),” *Pros. Semin. Ilmu Komput. dan Teknol. Informas*, vol. 2, no. 1, pp. 197–201, 2017.
- [10] E. D. Marbun, L. A. Sinaga, E. R. Simanjuntak, D. Siregar, and J. Afriany, “Penerapan Metode Weighted Aggregated Sum Product Assessment Dalam Menentukan Tepung Terbaik Untuk Memproduksi Bihun,” *J. Ris. Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 24–28, 2018.
- [11] E. K. Zavadskas and J. Saparauskas, “MCDM Methods WASPAS and MULTIMOORA: Verification Of Robustness Of Methods When Assessing Alternative Solutions,” *Econ. Comput. Econ. Cybern. Stud. Res.*, vol. 47, pp. 5–20, 2013.
- [12] D. R. Bahari, E. Santoso, and S. Adinugroho, “Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Guru Berprestasi Menggunakan Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (F-AHP) (Studi Kasus : SMA Brawijaya Smart School),” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 5, pp. 2095–2101, 2018.

## Pengembangan Aplikasi Pembeda Suara Laki-Laki dan Perempuan Berdasarkan Gender, Range Usia, Kelas Frekuensinya Berbasis FFT dan K-Means

Andi Sri Irtawaty<sup>1</sup>, Maria Ulfah<sup>2</sup>, Riche Sekar Fathmala<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan

\*andi.sri@poltekba.ac.id

### INTISARI

Paduan suara merupakan suatu *set* dari penyanyi-penyanyi yang memiliki karakter suara yang berbeda-beda. Dalam membentuk tim paduan suara yang kompak, wajib melalui tahap penentuan jenis suara. Hal ini sangat penting agar diperoleh komposisi paduan suara yang terbaik. Melalui teknik digital audio *signal processing* berbasis metode FFT dengan analisa menggunakan metode K-Means, penelitian ini berhasil dilakukan terhadap 30 sampel kelompok paduan suara di Politeknik Negeri Balikpapan. Aplikasi dirancang menggunakan GUI Matlab, dan mampu mengklasifikasikan suara dari kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan berdasarkan *gender*, *range* usia dan kelas frekuensi suaranya. Hasil pengujiannya sangat akurat, pengujian 30 sampel suara terdapat 7 suara dewasa laki-laki (17 - 45 tahun), dan 23 jenis suara dewasa perempuan (17 - 45 tahun). Secara detail, diuraikan menjadi 6 orang jenis *bass* dan 1 orang jenis *baritone* untuk gender laki-laki. Sedangkan untuk gender perempuan meliputi 12 orang jenis *alto*, 2 orang jenis *mezzo-sopran* dan 9 orang jenis *sopran*. Keakuratan aplikasi tersebut sangat sempurna yaitu 100%, sehingga dapat disimpulkan bahwa *range* frekuensi suara laki-laki antara 80,037 Hz - 109,266 Hz. Sedangkan *range* frekuensi suara perempuan antara 108,459 Hz - 516,677 Hz. Hasil tersebut dianggap sempurna karena telah diuji dengan proses klasifikasi menggunakan perhitungan parameter *input* dengan metode K-Means, meskipun hasil analisa K-Means terdapat *error*, namun prosentase keakuratannya masih tergolong sempurna yaitu 97%. Berarti aplikasi GUI Matlab yang dirancang cocok dan sangat berguna bagi dunia industri musik dan dunia pendidikan untuk mata kuliah pengolahan sinyal.

Kata kunci: Frekuensi, FFT, K-Means, Klasifikasi, Suara

### ABSTRACT

*The choir is a set of singers who have different voice characters. In forming a compact choir team, it is mandatory to go through the stage of determining the type of sound. This is very important in order to obtain the best choral composition. Through the digital audio signal processing technique based on the FFT method with analysis using the K-Means method, this research was successfully carried out on 30 samples of choir groups at the Balikpapan State Polytechnic. The application is designed using the Matlab GUI, and is able to classify the voices of the Balikpapan State Polytechnic choir group based on gender, age range and sound frequency class. The test results are very accurate. From the test of 30 voice samples, there were 7 adult male voices (17 - 45 years), and 23 types of female adult voices (17 - 45 years). In detail, it is broken down into 6 bass types and 1 baritone type for male gender. As for the female gender, there are 12 alto types, 2 mezzo-soprano types and 9 soprano types. The accuracy of the application is very perfect, namely 100%, so it can be concluded that the frequency range of the male voice is between 80.037 Hz - 109.266 Hz. While the frequency range of women's voices is between 108.459 Hz - 516.677 Hz. These results are considered perfect because they have been tested by a classification process using the calculation of the input parameters using the K-Means method, although the results of the K-Means analysis have error, the percentage of accuracy is still quite perfect, namely 97%. This means that the Matlab GUI application is designed to be suitable and very useful for the world of the music industry and the world of education for signal processing courses.*

**Keywords :** Frequency, FFT, K-Means, Classification, Voice

## I. PENDAHULUAN

Secara umum suara manusia dapat diklasifikasikan ke dalam dua golongan besar, yaitu suara laki-laki dan suara perempuan. Masing-masing golongan memiliki kelas di antaranya suara tinggi perempuan (Sopran), suara sedang perempuan (Mezzo Sopran) dan suara rendah perempuan (Alto). Sedangkan untuk suara tinggi laki-laki (Tenor), suara sedang laki-laki (Bariton) dan suara rendah laki-laki disebut (Bass). Masing-masing kelas memiliki *range* frekuensi dan karakteristik yang berbeda-beda sehingga dapat membedakan ciri antara sampel suara satu dengan sampel suara lainnya. [1],[2]

Beberapa penelitian sebelumnya, tahun 2018 telah mengklasifikasikan 10 sampel suara secara semi otomatis berdasarkan gender dengan menggunakan metode FFT [3]. Kemudian tahun 2019 telah dirancang aplikasi otomatis berbasis GUI Matlab dan diujikan terhadap 20 sampel suara. Keakuratan aplikasi tersebut hanya 95% [4].

Pada penelitian ini akan dikembangkan aplikasi dari penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan metode FFT dengan pengujian menggunakan metode K-Means, untuk 30 sampel suara dari kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan. Hasilnya klasifikasinya berdasarkan gender, *range* usia dan kelas frekuensinya dan hasilnya sangat akurat yaitu 100%.

## II. LANDASAN TEORI

Matlab merupakan *software* yang mempunyai beberapa keunggulan dalam pengolahan grafik dan suara. Salah satu kelebihan Matlab yaitu mampu menampilkan dan mengolah grafik serta suara dengan *command* yang sederhana dan fleksibel. Bahkan dapat digunakan untuk perancangan simulasi *GUI* (*Graphical User Interface*) dalam mengklasifikasikan jenis suara secara otomatis berdasarkan *gender*, *range* usia dan kelas frekuensi suara [5].

Untuk memproses ekstraksi ciri sampel suara dalam proses dekomposisi diperlukan tahapan  $\log_2 N$  (jumlah sampel *input*) menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT), dimana sinyal terurai melalui empat tahap yang terpisah. Dekomposisi digunakan setiap kali sinyal dipecah menjadi dua, yaitu sinyal dipisahkan menjadi sampel genap dan sampel ganjil. Setelah melakukan *transformasi* FFT, suara asli yang diperoleh dari hasil perekaman akan diubah ke

dalam bentuk pola suara yang merupakan hasil ekstraksi ciri suara. [6],[7]

*Fast Fourier Transform* disini diimplementasikan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Domain frekuensi yang diartikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik akan menjadi Hertz (1 - per *second*) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum yang dikenal dengan spektrum frekuensi [8].

Hasil klasifikasi suara akan dibandingkan dengan analisa secara teoritis menggunakan metode K-Means/*K-Means clustering* yaitu suatu metode penganalisaan data atau metode *Data Mining* yang melakukan proses pemodelan tanpa supervisi (*unsupervised*) dan merupakan salah satu metode yang melakukan pengelompokan data dengan sistem partisi [9].

Suara manusia secara khusus merupakan bagian dari produksi suara manusia di mana pita suara adalah sumber suara utama. Secara umum, mekanisme untuk menghasilkan suara manusia dapat dibagi menjadi tiga bagian: paru-paru, pita suara dalam laring, dan artikulator.

Berdasarkan data literatur/teoritisnya, Tabel 1 menyajikan frekuensi suara manusia berdasarkan *range* usia, Tabel 2 menyajikan frekuensi suara manusia berdasarkan kelas frekuensinya dan Tabel 3 menyajikan kategori pengelompokan suara menurut usia [10].

**Tabel 1.** Frekuensi suara manusia berdasarkan *range* usia [8]

No.	Jenis suara ( <i>range</i> umur)	Frekuensi <i>range</i>
1	Anak laki-laki	210 – 270 Hz
2	Anak perempuan	200 – 290 Hz
3	Dewasa laki-laki	120 – 150 Hz
4	Dewasa perempuan	200 – 280 Hz
5	Lansia laki-laki	100 – 140 Hz
6	Lansia perempuan	160 – 200 Hz

Sumber: Rahim W., Erwin E., dan Malik U. (2015)

**Tabel 2.** Frekuensi suara manusia berdasarkan kelas frekuensinya

No.	Jenis suara	Frekuensi <i>range</i>
1	Tenor	130,813 – 523,251 Hz
2	Bariton	87,302 – 349,228 Hz
3	Bass	82,407 – 329,628 Hz
4	Sopran	261,626 – 1046,50 Hz
5	Mezzo-sopran	220,000 – 880,000 Hz
6	Alto	174,614 – 698,456 Hz

Tabel 3. Kategori usia menurut depkes RI [11]

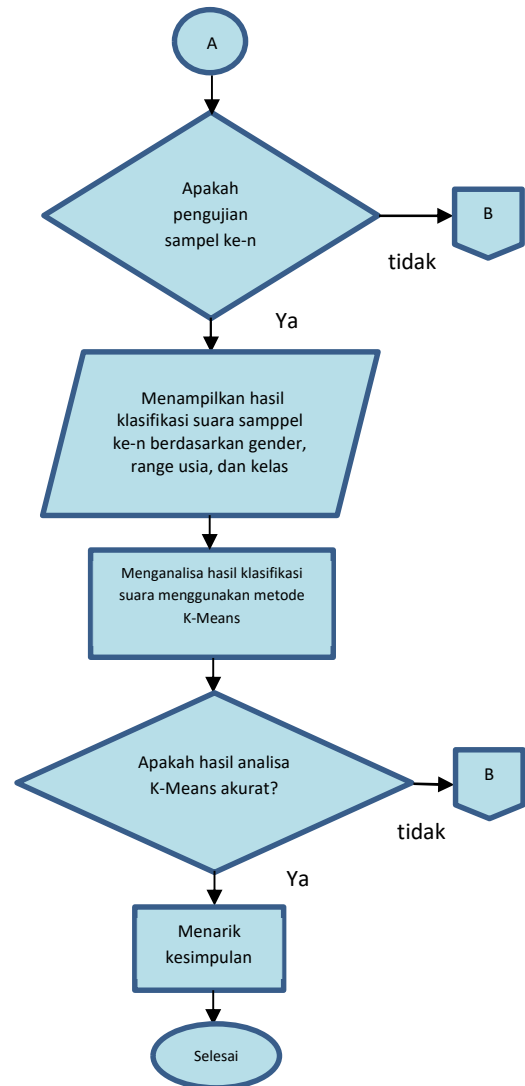
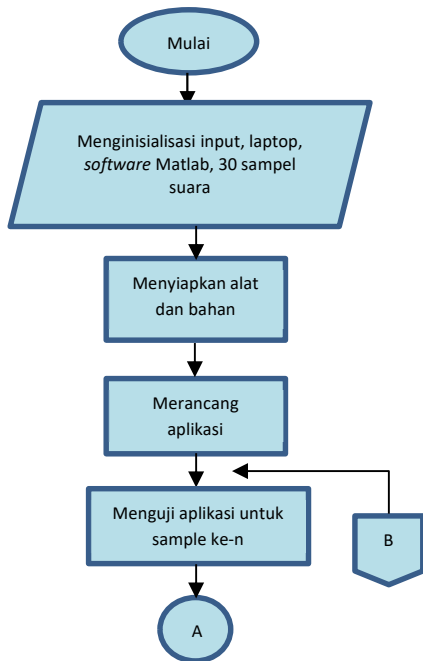
No.	Kategori	Range umur
1	Balita	0 – 5 tahun
2	Anak-anak – remaja awal	6 – 16 tahun
3	Remaja akhir – dewasa awal	17 – 45 tahun
4	Dewasa akhir - lansia	45 – 65 tahun

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Balikpapan. Mulai januari sampai juni 2021, berhasil dirancang pengembangan aplikasi pembeda suara laki-laki dan perempuan untuk 30 sampel kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan. Langkah-langkah detail dari metode penelitian meliputi ;

1. Melakukan studi literatur.
2. Menetapkan judul dan penyusunan proposal.
3. Merancang aplikasi pembeda suara manusi berdasarkan gender, range usia dan kelas frekuensinya.
4. Menguji aplikasi untuk 30 mahasiswa kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan.
5. Menganalisa hasil pengujian melalui perbandingan metode K-Means. Ternyata hasilnya juga akurat, yaitu 100%.
6. Mempublikasikan hasil penelitian dalam bentuk jurnal ilmiah.

Adapun diagram alir atau *flowchart* lengkap dari aplikasi yang dirancang disajikan pada Gambar 1.

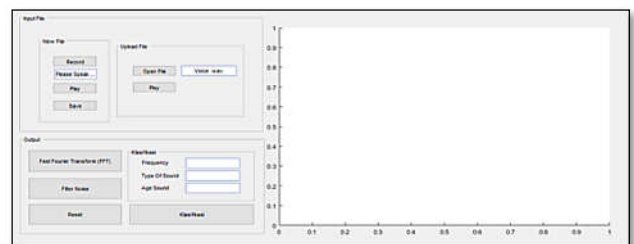


Gambar 1. Diagram alir

### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Aplikasi Pembeda Suara Manusia

Aplikasi pembeda suara manusia dirancang menggunakan GUI Matlab. Berbasis metode FFT, tampilan aplikasi GUI Matlab tersaji pada Gambar 2.

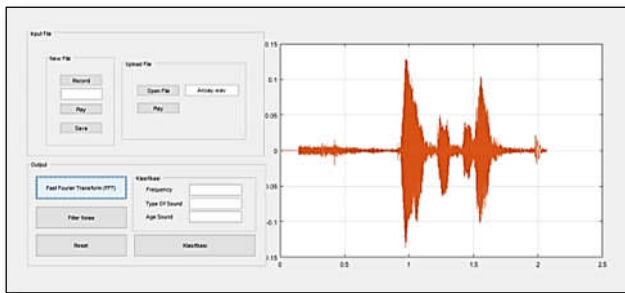


Gambar 2. Tampilan aplikasi pembeda suara manusia

**B. Pengujian aplikasi pembeda suara manusia**

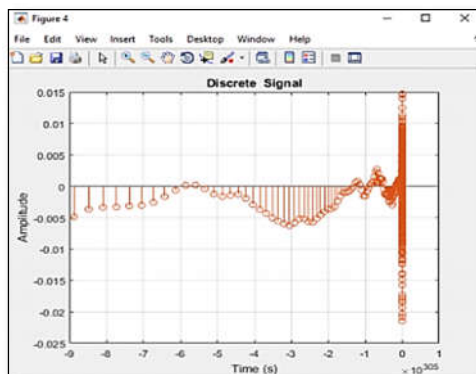
Pengujian dilakukan terhadap 30 sampel suara dari kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan. Langkah-langkah pengujian meliputi:

1. Pengambilan sampel suara 1 secara langsung melalui mikrofon laptop.
2. Menyimpan sampel suara pada *drive-D* laptop.
3. Mengklik tombol FFT dilanjutkan tombol *filter noise*. Hasilnya tersaji pada Gambar 3.



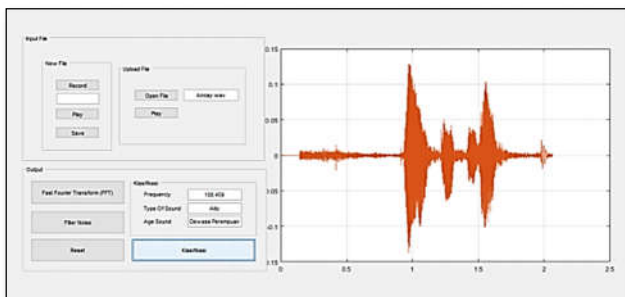
**Gambar 3.** Bentuk gelombang sampel suara-1

4. Setelah melalui proses *filter*, sinyal suara akan dikonversi menjadi sinyal diskrit. Seperti disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Bentuk sinyal diskrit sampel suara-1

5. Mengklik tombol klasifikasi, sehingga hasilnya disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Tampilan hasil klasifikasi suara-1

Hasil klasifikasi untuk 30 sampel suara kelompok paduan suara disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil klasifikasi 30 sampel suara

Nama sampel	Bentuk sinyal suara	Frekuensi (hertz)	Gender	Range usia (tahun)	Kelas frekuensi
Agung		88,4	Laki-laki	Dewasa 17-45	Bass
Ancay		108,5	Perempuan	Dewasa 17-45	Alto
Andri		93	Laki-laki	Dewasa 17-45	Bass
Anisa		372,6	Perempuan	Dewasa 17-45	Sopran
Anriani		302,8	Perempuan	Dewasa 17-45	Sopran
April		143,5	Perempuan	Dewasa 17-45	Alto
Cece		288,07	Perempuan	Dewasa 17-45	Sopran
Eliz		320,66	Perempuan	Dewasa 17-45	Sopran
Evi		206,94	Perempuan	Dewasa 17-45	Alto
Farah		371,71	Perempuan	Dewasa 17-45	Sopran
Fikri		80,04	Laki-laki	Dewasa 17-45	Bass
Hanisah		437,1	Perempuan	Dewasa 17-45	Sopran
Irfan		102,3	Laki-laki	Dewasa 17-45	



$$r_3 = \sqrt{((0,2726 - 0,286)^2 + (88,4 - 82,4069)^2 + (22 - 23,5)^2)}$$

$$r_3 = 6,18$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai r1, r2 dan r3, maka nilai jarak terpendek adalah r2=1,86. Misalkan ditetapkan r1=suara tertinggi laki-laki atau suara tertinggi perempuan, r2=suara sedang laki-laki atau suara sedang perempuan, dan r3=suara rendah perempuan atau suara rendah perempuan, maka berdasarkan data nilai frekuensi yang ditunjukkan oleh aplikasi saat pengambilan suara otomatis dan berdasarkan standar frekuensi secara teoritis, maka sampel suara 1 dikelompokkan sebagai:

1. Gender = suara laki-laki
2. Range suara = Q1 = 23,5 tahun
3. Kelas suara = Bass

Untuk sampel lainnya, dilakukan cara yang sama, hasilnya tersaji pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil perhitungan analisa dengan metode K-Means

Sampel	Jenis Kelamin	Usia	Delay	Frekuensi	Iterasi-4		
					R1	R2	R3
Agung	Laki-Laki	22	0,2726	88,4	42,44	1,86	6,18
Ancay	Perempuan	22	0,3694	108,5	153	127	66
Andri	Laki-Laki	21	0,27	93	37	105	10
Anisa	Perempuan	21	0,1198	372,6	110,9	152,6	197,9
Anriani	Perempuan	21	0,3459	302,8	41,17	82,8	128,18 6
April	Perempuan	22	0,3658	143,5	118,1	76,5	31,1
Cece	Perempuan	21	0,3137	288,07	26,44	68,0	113,45
Eliz	Perempuan	21	0,3078	320,66	59,03	100,66	146
Evi	Perempuan	22	0,5078	206,94	54,68	13,062	32,32
Farah	Perempuan	21	0,1744	371,71	110	151,71	197
Fikri	Laki-Laki	22	0,2772	80,04	50,77	87,678	2,366
Hanisah	Perempuan	22	0,1543	437,1	175,4	217,10	262,4
Irfan	Laki-Laki	22	0,310	102,3	159,3	117,70	72,31
Juwita	Perempuan	21	0,3618	204,6	57,02	15,400	29,98
Khairani	Perempuan	21	0,2882	157	26,18	63,000	17,61
Lina	Perempuan	22	0,3316	138,2	123,4	81,800	36,41
Malina	Perempuan	22	0,183	258	3,627	38,000	83,38
Maulana	Laki-Laki	21	0,3706	93,7	37,11	6,3980	11,29
Melisa	Perempuan	22	0,2794	117,6	144	102,40	57,01

Musfira	Perempuan	21	0,2357	383,08	121,4	163,08	208,4
Nailil	Perempuan	22	0,5258	383	121,3	54	208,3
Nala	Laki-Laki	22	0,3185	174	43,18	86,697	91,59
Sabrina	Perempuan	22	0,379	167,5	94,12	52,500	7,118
Mulina	Perempuan	21	0,3955	122,9	138,7	97,100	51,71
Putri	Perempuan	21	0,2058	516,6	254,9	296,60	341,9
Regina	Perempuan	22	0,4177	129,8	131,8	90,200	44,81
Retno	Perempuan	22	0,0894	257,1	4,530	37,100	82,48
Reza	Laki-Laki	22	0,3231	97,9	32,91	10,597	15,49
Safina	Perempuan	21	0,3075	164,8	96,82	55,200	9,815
Syifa	Perempuan	21	0,8055	393,7	132,	173,7	219

**Tabel 6.** Hasil klasifikasi menggunakan metode K-Means

Gender	Range Usia	Kelas Frekuensi
Laki-Laki	Dewasa (17-45 tahun)	BASS
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Laki-Laki	Dewasa (17-45 tahun)	BASS
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Laki-Laki	Dewasa (17-45 tahun)	BASS
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	BASS
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	MEZZO SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	MEZZO SOPRAN
Laki-Laki	Dewasa (17-45 tahun)	BARITON
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	MEZZO SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	MEZZO SOPRAN
Laki-Laki	Dewasa (17-45 tahun)	TENOR

Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	MEZZO-SOPRAN
Laki-Laki	Dewasa (17-45 tahun)	BASS
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	ALTO
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	SOPRAN

Berdasarkan tabel analisa perhitungan nilai-nilai *input* dari 30 sampel suara manusia/kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan menggunakan metode K-Means, seperti yang tersaji pada Tabel 5 dan Tabel 6, diperoleh hasil klasifikasi suara berdasarkan gender, usia dan kelas frekuensi dengan prosentase keakuratan 97%. Karena terdapat 1 sampel yang terklasifikasi suara perempuan dewasa (17-45 tahun), dan termasuk kelas frekuensi Bariton, padahal sampel suara tersebut adalah laki-laki, atas nama irfan. Berarti terdapat 1 *error*, dari perhitungan menggunakan metode K-Means. Sedangkan hasil klasifikasi menggunakan aplikasi GUI Matlab yang telah dirancang, menunjukkan prosentase keakuratan sebesar 98.5%, seperti yang diuraikan pada Tabel 4. Adapun kesimpulan dari klasifikasi 30 sampel suara berdasarkan gender, *range* usia dan kelas frekuensi mulai dari rendah sampai kelas frekuensi tinggi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil klasifikasi 30 sampel suara

Gender	Range usia	Kelas frekuensi	Jumlah sampel
Laki-laki	Dewasa (17-45 tahun)	Bass	6
Laki-laki	Dewasa (17-45 tahun)	Baritone	1
Laki-laki	Dewasa (17-45 tahun)	Tenor	0
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	Alto	12
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	Mezzo Sopran	2
Perempuan	Dewasa (17-45 tahun)	Sopran	9

Berdasarkan hasil klasifikasi pada Tabel 6, tidak terdapat suara kelas frekuensi tenor untuk kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan. Hanya ada 7 suara laki-laki *range* usia dewasa antara 17-45 tahun (6 bass dan 1 bariton), dan 23 suara perempuan laki

*range* usia dewasa antara 17-45 tahun (12 alto, 2 mezzo sopran dan 9 sopran).

## V. KESIMPULAN

Hasil klasifikasi menggunakan aplikasi GUI Matlab untuk 30 untuk kelompok paduan suara Politeknik Negeri Balikpapan. Hanya ada 7 suara laki-laki *range* usia dewasa antara 17-45 tahun (6 bass dan 1 bariton), dan 23 suara perempuan laki *range* usia dewasa antara 17-45 tahun (12 alto, 2 mezzo sopran dan 9 sopran). Prosentase keakuratan aplikasi tersebut adalah 98%. Jika dibandingkan dengan analisa perhitungan menggunakan metode K-Means, hasilnya terdapat 29 Sampel data akurat hasilnya dari 30 sampel suara yang diujikan. Berarti prosentase keakuratan hasil analisa perhitungan hanya 97%. Aplikasi gui matlab yang dirancang sangat berguna bagi dunia industri musik dan juga berguna dalam dunia pendidikan yaitu mendukung praktikum pada mata kuliah pengolahan sinyal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andreas, "Klasifikasi Suara Manusia ke Dalam Sopran, Mezzo Sopran, Alto, Tenor, Bariton, Bass dengan Self Organizing Map", *Jurnal Informatika*, 11(1), 2015.
- [2] S. B. Bhaskoro, "Aplikasi Pengenalan Gender Menggunakan Suara", *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi / Snat 2012*. Jogjakarta.
- [3] A. S. Irtawaty, "Implementasi Metode Fast Fourier Transform / FFT Dalam Mengklasifikasikan Suara Pria dan Wanita di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Poltekba", *Jurnal Teknologi Terpadu*, 7(2), 70-75, 2019.
- [4] A. S. Irtawaty, "Peningkatan Performansi Aplikasi Pembeda Suara Laki-Laki dan Perempuan Berdasarkan Frekuensi dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic", *Jurnal Ecotipe*, 7(1), 1-6, 2020.
- [5] J. F. Dadang Gunawan, "Pengolahan Sinyal Digital dengan Pemrograman Matlab 1<sup>st</sup> Ed., *Jogjakarta: Graha Ilmu*, 2012.
- [6] Ade Royani, "Mengidentifikasi Sinyal Suara Manusia Menggunakan Metode FFT Berbasis Matician", *Journal of Information, Information System, Software Engineering and Applications*, Volume 1 Nomor 2. pp 042-050, 2019.

- [7] Y. S. Ronaldo, "Simulasi Sistem Pengacau Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform)", *e-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 2014.
- [8] W. Rahim, "*Analisis Spektrum Suara Manusia Berdasarkan Jenis*".
- [9] Nailul Sudah, "Katering Suara Berdasarkan Gender Menggunakan Algoritma K-Means Dari Hasil Ekstradisi FFT (Fast Fourier Transform)", *Journal Ilmiah : SOULMATH*, Volume 6 Nomor 1. Hal. 47-58, 2018.
- [10] B. W. Prasetya, "Identifikasi Suara Pria Dan Wanita Berdasarkan Frekuensi Suara", 2011.

## Perbandingan Teknik Klasifikasi *Fast Null-space Based Linear Discriminant Analysis (FNLDA)* dan *Direct Linear Discriminant Analysis (DLDA)* dalam Pengenalan Citra Multimodal Wajah atau Pembuluh Darah di Telapak Tangan

Riko Arlando Saragih<sup>1</sup>, Elbara Natanael Saputra<sup>2</sup>, Daniel Setiadikarunia<sup>3</sup>, dan Judea Janoto Jarden<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

<sup>4</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

\*riko.as@eng.maranatha.edu<sup>1</sup>, 1622010@eng.maranatha.edu<sup>2</sup>,

blessed\_dsk@yahoo.com<sup>3</sup>, judea.jarden@eng.maranatha.edu<sup>4</sup>

### INTISARI

Sistem pengenalan pola berbasis biometri bertujuan untuk mendapatkan akurasi pengenalan yang baik. Dalam aplikasi nyata, umumnya sistem tersebut merupakan sistem unimodal yang memiliki beberapa kekurangan. Sistem multimodal dapat mengatasi kekurangan tersebut. Modalitas yang berbeda lebih sesuai untuk aplikasi yang berbeda. Penelitian sebelumnya menguji tingkat pengenalan citra pembuluh darah dengan menggunakan deskriptor ciri-lokal. Dalam *paper* ini dibandingkan performa teknik klasifikasi berbasis *Linear Discriminant Analysis*, yaitu *Fast Null-space based Linear Discriminant Analysis (FNLDA)* dan *Direct Linear Discriminant Analysis (DLDA)* untuk mengenali seseorang berdasarkan citra multimodal wajah atau pembuluh darah. Representasi citra wajah atau pembuluh darah hasil ekstraksi ciri digunakan untuk mendapatkan vektor ciri citra. Kemudian, data tersebut dicocokkan dan akurasi pengenalan dari teknik klasifikasi yang diuji dapat ditentukan. Dari hasil pengujian didapatkan performa teknik klasifikasi yang lebih baik untuk mengenali seseorang berdasarkan citra multimodal wajah atau pembuluh darah, ditinjau dari tingkat akurasi pengenalannya adalah FNLDA.

Kata kunci: Citra Multimodal, DLDA, FNLDA, Pengenalan Pembuluh Darah di Telapak Tangan, Pengenalan Wajah

### ABSTRACT

*The biometric-based pattern recognition system aims to get high recognition accuracy. In real applications, generally, the system is a unimodal system that has several drawbacks. Multimodal systems can overcome those shortcomings. Different modalities are better suited for different applications. Previous studies tested the level of image recognition of palm vein by using local feature descriptors. In this paper, we compare the performance of classification techniques based on Linear Discriminant Analysis, namely Fast Null-space based Linear Discriminant Analysis (FNLDA) and Direct Linear Discriminant Analysis (DLDA) to recognize a person based on multimodal images of the face or palm vein. The image representation of the face or palm vein from the feature extraction step is used to obtain the image feature vector. Then, the data are matched and the recognition accuracy of the tested classification technique can be determined. Results show that the performance of the FNLDA classification technique is better for recognizing a person based on multimodal images of the face or blood vessels in terms of the level of recognition accuracy.*

**Keywords:** *Multimodal Image, DLDA, FNLDA, Palm Vein Recognition, Face Recognition*

### I. PENDAHULUAN

Sistem pengenalan pola berbasis biometri memiliki tujuan utama mendapatkan akurasi pengenalan yang baik. Secara umum, proses pencocokan *database* ciri (*feature*) dilakukan setelah proses pelatihan. Proses pencocokan tersebut dilakukan

untuk menguji akurasi suatu sistem pengenalan pola. *Database* ciri menyimpan informasi penting yang dianggap mewakili identitas subjek yang terdapat dalam *database* tersebut.

Dalam aplikasi nyata, pada umumnya sistem pengenalan pola berbasis biometri adalah sistem

unimodal. Sistem biometri unimodal merupakan sistem yang mengandalkan bukti-bukti hanya dari satu sumber informasi saja. Meski memiliki banyak keunggulan, sistem unimodal juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain: rentan terhadap *noise*, variasi *intra-class*, kemiripan *inter-class*, non-universalitas, dan rentan terhadap pemalsuan. Kekurangan-kekurangan tersebut mengakibatkan performa sebuah sistem menjadi rendah. Solusi untuk mengatasi permasalahan sistem unimodal adalah dengan menggunakan sistem multimodal, yaitu sistem yang mengandalkan bukti-bukti otentikasi dari beberapa sumber informasi secara bersamaan [1].

Meski memiliki beberapa keunggulan, sistem biometri multimodal masih dapat dikembangkan lebih lanjut. Salah satunya dengan cara meningkatkan algoritma pencocokan [2]. Adanya perbedaan distribusi nilai piksel pada citra multimodal memerlukan suatu teknik ekstraksi ciri yang mampu menangani data dengan variasi *intra-class* yang kecil dan variasi *inter-class* yang besar.

Proses ekstraksi ciri adalah proses memperoleh informasi penting dari sebuah citra. Agar sebuah sistem pengenalan pola memiliki akurasi yang baik, proses ekstraksi ciri yang dilakukan perlu mendapat perhatian. Dalam memilih suatu teknik ekstraksi ciri, diusahakan agar variasi *intra-class* (misal: citra wajah yang berbeda dari orang yang sama) seminimal mungkin, sedangkan variasi *inter-class* (misal: citra wajah dari orang yang berbeda) semaksimal mungkin [3].

Pada studi sebelumnya [4], peneliti menguji penggunaan beberapa deskriptor ciri-lokal, yaitu *Local Binary Pattern* (LBP), *Local Directional Pattern* (LDiP), dan *Local Directional Number Pattern* (LDNP) untuk mengenali identitas seseorang berdasarkan citra pembuluh darah. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tingkat pengenalan citra pembuluh darah dengan menggunakan deskriptor ciri-lokal lebih rendah daripada tingkat pengenalan citra wajah.

Salah satu deskriptor ciri-global yang umum digunakan untuk klasifikasi data dan reduksi dimensi adalah *Linear Discriminant Analysis* (LDA). LDA bekerja dengan cara memaksimalkan rasio variasi *inter-class* terhadap variasi *intra-class* dalam sebuah *dataset* tertentu, sehingga menjamin keterpisahan (*separability*) yang maksimum [7]. Proses memaksimalkan rasio tersebut dicapai dengan

memaksimalkan jarak antara nilai rata-rata dari setiap kelas sekaligus meminimalkan variasi (sebaran/*scatter*) di dalam setiap kelas. Kedua hal ini dapat dianggap terjadi secara bersamaan [5].

Teknik LDA konvensional memiliki beberapa kekurangan, salah satunya yaitu memerlukan data latih yang cukup untuk menghindari masalah *small sample-size*. Kekurangan ini mengakibatkan teknik LDA konvensional sulit mengklasifikasikan data berdimensi tinggi dengan jumlah sedikit. Untuk mengatasi masalah tersebut, telah diajukan beberapa turunan dari LDA, di antaranya adalah *Fast Null-space based LDA* (FNLDA) dan *Direct LDA* (DLDA) [6].

Dalam *paper* ini akan dibandingkan penggunaan deskriptor berbasis LDA (FNLDA dan DLDA) untuk meningkatkan akurasi pengenalan bagi citra multimodal wajah atau pembuluh darah.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Biometri Multimodal

Data yang mengandung *noise*, variasi *intra-class*, kemiripan *inter-class*, non-universalitas, dan kerentanan terhadap pemalsuan, merupakan faktor-faktor pada sistem biometri unimodal yang cenderung mengakibatkan peningkatan *False Acceptance Rate* (FAR) dan *False Rejection Rate* (FRR), yang pada akhirnya menyebabkan rendahnya performa sistem [1]. Beberapa hambatan yang terdapat pada sistem biometri unimodal tersebut dapat ditanggulangi dengan menyertakan lebih dari satu sumber informasi untuk menentukan identitas seseorang [7].

Istilah ‘multimodal’ merujuk pada penggabungan dua atau lebih sumber biometri berbeda yang diambil dengan sensor-sensor berbeda. Selain itu, dua properti yang berbeda dari biometri yang sama (sebagai contoh, cahaya inframerah dan pantulan cahaya tampak dari sumber biometrik yang sama) juga dapat digabungkan [2].

Tujuan utama dari sistem identifikasi biometri multimodal adalah untuk membuat keputusan dengan mengidentifikasi karakteristik fisiologis. Sistem pengenalan biometri multimodal sangat meningkatkan kinerja pengenalan. Hal ini karena, menggabungkan beberapa bukti (dalam hal ini, fitur multimodal) untuk identifikasi manusia lebih efektif dan lebih dapat diandalkan. Meski begitu, masalah penggabungan

informasi masih perlu diteliti untuk mengoptimalkan tingkat pengenalan sistem biometri multimodal [8].

### B. Fast Null-space Based Linear Discriminant Analysis (FNLDA)

Null-space based Linear Discriminant Analysis (NLDA) adalah sistem pengenalan citra berdasarkan LDA. Kendala utama untuk menggunakan LDA konvensional adalah kemungkinan menghadapi masalah *small sample-size*. Ketika ini terjadi, matriks distribusi *intra-class* menjadi singular [9].

NLDA bekerja dengan cara memaksimalkan sebaran *inter-class* dalam *null-space* dari matriks sebaran *intra-class*. Dengan cara tersebut, permasalahan singularitas secara implisit dapat ditanggulangi [10].

NLDA dimulai dengan menghitung proyeksi vektor-vektor di dalam *null-space* dari matriks sebaran *intra-class*. Jika subruang ini tidak ada (dalam hal ini matriks sebaran *intra-class* adalah non-singular), maka proses LDA konvensional dapat dilakukan. Jika matriks sebaran *intra-class* merupakan matriks singular (terjadi masalah *small sample-size*), maka dipilih himpunan vektor yang memaksimalkan sebaran *inter-class* dari sampel yang telah ditransformasi sebagai sumbu proyeksi. Karena sebaran *inter-class* dari semua sampel adalah nol dalam *null-space* dari matriks tersebut, maka vektor proyeksi yang memenuhi tujuan dari proses LDA adalah vektor yang dapat memaksimalkan sebaran *inter-class* [9].

Algoritma NLDA untuk mencari matriks  $\tilde{S}_b$  adalah sebagai berikut [9]:

*Langkah 1:* Hitung sebaran di dalam kelas (*within-class scatter*)  $S_w$ , dan sebaran antarkelas (*between-class scatter*)  $S_b$ .

*Langkah 2:* Misalkan *rank* dari  $S_w$  adalah  $r$ . Jika  $r = n$ , maka himpunan diskriminannya adalah vektor-vektor eigen (*eigenvectors*) yang bersesuaian dengan himpunan dari nilai-nilai eigen (*eigenvalues*) terbesar dari matriks  $(S_b + S_w)^{-1}S_b$ ; Jika tidak, lanjutkan ke langkah selanjutnya.

*Langkah 3:* Lakukan dekomposisi nilai singular dari  $S_w$  sebagai  $S_w = U \Sigma V^T$ , di mana  $U = V$  karena  $S_w$  simetris.

*Langkah 4:* Misalkan  $V = [v_1, \dots, v_r, v_{r+1}, \dots, v_n]$  dan  $Q = [v_{r+1}, \dots, v_n]$ .

*Langkah 5:* Hitung  $\tilde{S}_b$ , di mana  $\tilde{S}_b = QQ^T S_b (QQ^T)^T$ .

*Langkah 6:* Hitung vektor-vektor eigen (*eigenvectors*) yang bersesuaian dengan himpunan dari nilai-nilai eigen (*eigenvalues*) terbesar dari matriks  $\tilde{S}_b$ , dan gunakan hasil tersebut untuk membentuk himpunan vektor yang paling diskriminatif untuk LDA.

Dalam *paper* ini, digunakan salah satu turunan dari NLDA, yaitu *Fast NLDA*. Metode FNLDA memerlukan waktu komputasi yang lebih sedikit daripada NLDA konvensional tanpa mengurangi performa klasifikasi [11].

Adapun algoritma FNLDA untuk mencari matriks  $W$  adalah sebagai berikut [11]:

*Langkah 1:* Hitung nilai eigen  $E_1 \in \mathbb{R}^{n \times t}$  dan vektor eigen  $D_1 \in \mathbb{R}^{t \times t}$  dari  $A^T A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ .

*Langkah 2:* Hitung transformasi dari matriks  $\hat{B}$ .

*Langkah 3:* Bentuk  $t \times (c - 1)$  matriks  $\hat{Y}$  secara acak (*random*). *Rank* dari  $\hat{Y}$  harus  $c - 1$ .

*Langkah 4:* Hitung  $\hat{W} = K_1 K_2$ , di mana  $K_1 = D_1^{-1} \hat{B}$  dan  $K_2 = \hat{B}^T \hat{Y}$ .

*Langkah 5:* Jika  $\hat{W}$  ortonormal dibutuhkan, maka  $\hat{W} \leftarrow \text{qr}(\hat{W})$ .

*Langkah 6:* Hitung  $W = D_1^{-1/2} \hat{W}$ , lalu  $W \leftarrow E_1 W$ , kemudian  $W \leftarrow AW$ .

### C. Direct Linear Discriminant Analysis (FNLDA)

Ide utama algoritma *Direct Linear Discriminant Analysis* (DLDA) adalah melakukan diagonalisasi secara simultan, serupa dengan algoritma LDA konvensional. Algoritma DLDA mencoba mencari sebuah matriks yang secara simultan mendiagonalisasikan matriks sebaran, baik *intra-class* maupun *inter-class* [12].

Cara kerja DLDA yaitu dengan melakukan LDA dua dimensi, kemudian mentransformasikannya dengan metode Transformasi Karhunen-Loève dua dimensi (2D-KLT). Hal yang membedakan DLDA dengan metode-metode turunan LDA lainnya adalah tidak diperlukannya prapemrosesan (*preprocessing*) apapun pada data masukan [13].

Algoritma DLDA untuk mencari  $x^*$  adalah sebagai berikut [12]:

*Langkah 1:* Lakukan diagonalisasi matriks  $S_b$  dengan menggunakan analisis nilai eigen. Tentukan matriks  $V$  sedemikian sehingga  $V^T S_b V = \Lambda$ , di mana  $V^T V = I$ .  $\Lambda$  adalah matriks diagonal yang diurutkan secara menurun. Nilai-nilai eigen yang bernilai nol atau mendekati nol (disebabkan oleh matriks  $S_b$  yang

mungkin saja merupakan matriks singular) perlu dihilangkan. Misalkan  $Y$  adalah  $m$  kolom pertama dari  $V$  (matriks  $n \times m$ , di mana  $n$  merupakan dimensi ruang fitur), dengan  $Y^T S_b Y = D_b > 0$ , di mana  $D_b$  adalah sub-matriks prinsipal berukuran  $m \times m$  dari matriks  $\Lambda$ .

**Langkah 2:** Misalkan  $Z = Y D_b^{-1/2}$ ,  $(Y D_b^{-1/2})^T S_b (Y D_b^{-1/2}) = I \Rightarrow Z^T S_b Z = I$ . Maka  $Z$  menyatukan  $S_b$ , dan mengurangi dimensi dari  $n$  menjadi  $m$ . Diagonalisasikan  $Z^T S_w Z$  dengan menggunakan analisis nilai eigen:  $U^T Z^T S_w Z U = D_w$ , di mana  $U^T U = I$ .  $D_w$  mungkin saja mengandung nilai nol dalam diagonalnya. Urutkan elemen diagonal  $D_w$  dan hilangkan beberapa nilai eigen yang tertinggi (*high end*) bersamaan dengan vektor eigen yang bersesuaian.

**Langkah 3:** Misalkan matriks LDA  $A = U^T Z^T$ .  $A$  mendiagonalisasikan baik pembilang maupun penyebut dari kriteria Fischer  $A S_w A^T = D_w$ ,  $A S_b A^T = I$ .

**Langkah 4:** Untuk klasifikasi, transformasi akhir yang merangkum data adalah  $x^* \leftarrow D_w^{-1/2} A x$ .

**D. Jarak Euclidean**

Jarak garis lurus antara dua buah titik disebut juga jarak *euclidean* antara dua titik. Untuk menghitung jarak *euclidean* antara dua buah titik, dapat digunakan teorema Pythagoras. Persamaan jarak *euclidean* antara dua titik dalam ruang berdimensi  $p$  adalah sebagai berikut: [14]

$$D_{AB} = \sqrt{\sum_{j=1}^p (a_j - b_j)^2} \dots\dots\dots(1)$$

keterangan:

$D_{AB}$  = Jarak *euclidean* antara titik A dan titik B

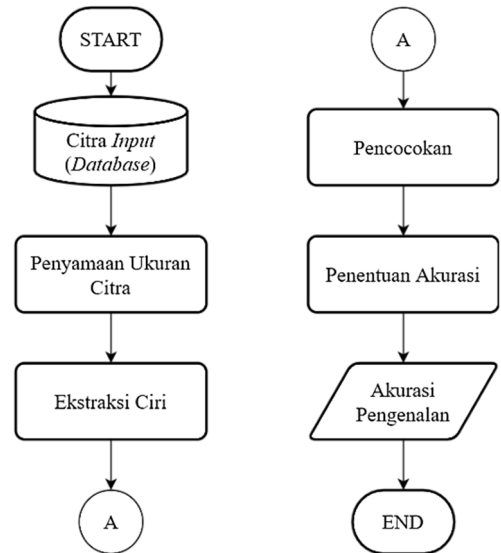
$a_j$  = Koordinat titik A pada sumbu ke- $j$  (merekpresentasikan dimensi ke- $j$ )

$b_j$  = Koordinat titik B pada sumbu ke- $j$  (merekpresentasikan dimensi ke- $j$ )

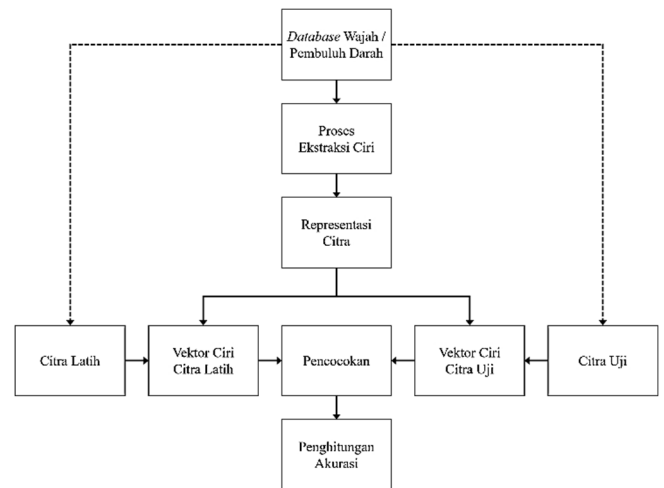
**III. METODE PENELITIAN**

Gambar 1 dan Gambar 2 berturut-turut merupakan diagram alir (*flowchart*) dan diagram blok dari sistem pengujian yang dirancang. Pengujian diawali dengan menyamakan ukuran citra untuk mempersingkat waktu perhitungan. Kemudian, dilanjutkan dengan proses ekstraksi ciri menggunakan teknik klasifikasi FNLDA dan DLDA. Dari proses tersebut, didapatkan

representasi dari semua citra masukan. Representasi citra tersebut digunakan untuk mendapatkan vektor ciri citra latih maupun citra uji. Setelah itu, dilakukan proses pencocokan menggunakan metode jarak euclidean, dan diakhiri dengan penghitungan atau penentuan akurasi pengenalan.



**Gambar 1.** Diagram Alir (*Flowchart*) Sistem Pengujian



**Gambar 2.** Diagram Blok Sistem Pengujian

**A. Prosedur Pengujian**

Pengujian dilakukan dalam 3 bagian, yaitu pengujian teknik klasifikasi FNLDA dan DLDA terhadap *database* ORL, *database* CASIA, dan *database* gabungan, secara berturut-turut.

Pada setiap bagian dilakukan 3 kali pengulangan, dengan memvariasikan perbandingan jumlah citra latih

dengan citra uji per subjek. Variasi perbandingan jumlah citra latih dengan citra uji per subjek ini disesuaikan dengan jumlah total citra per subjek dari setiap *database*. Pada bagian pertama (*database* ORL), perbandingan jumlah citra latih dengan citra uji yang dipakai adalah sebesar 4:6, 5:5, dan 6:4, sementara pada bagian kedua (*database* CASIA) dan ketiga (*database* gabungan), perbandingan jumlah citra latih dengan citra uji yang dipakai adalah sebesar 3:3, 4:2, dan 5:1

### B. Penggunaan Database-Database Sebagai Input

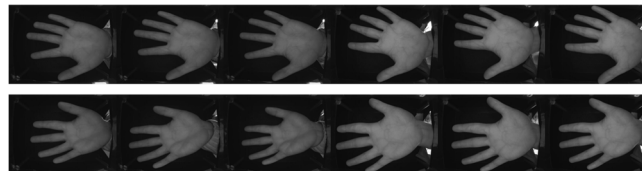
*Olivetti Research Lab (ORL) Database of Faces* adalah *database* citra wajah yang disediakan oleh *University of Cambridge*, Inggris. *Database* ini memiliki 400 citra yang terdiri dari 40 subjek, dengan 10 citra per subjek. Citra-citra ini dilabeli dengan nomor 1-400. Dalam pengujian bagian pertama, semua citra dari *database* ini dipergunakan.



Gambar 3. Contoh Citra *Database* ORL

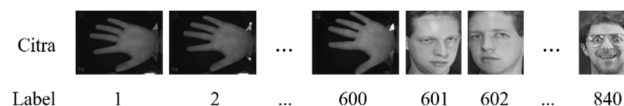
*Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation (CASIA) Multi-Spectral Palmprint Database* adalah *database* citra pembuluh darah yang disediakan oleh *Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation*, Tiongkok. *Database* ini memiliki 7200 citra yang terdiri dari 6 panjang gelombang sumber cahaya pengambilan gambar, 100 subjek, dengan 12 citra per subjek (6 telapak tangan kiri dan 6 telapak tangan kanan). Dari keseluruhan *database* tersebut dipilih dataset citra-citra yang berasal dari dua panjang gelombang sumber cahaya pengambilan gambar, yaitu 850nm dan 940nm. Kedua panjang gelombang tersebut dipilih karena pada panjang gelombang tersebut pembuluh darah pada telapak tangan lebih jelas terlihat dibandingkan dengan pada panjang gelombang lain yang tersedia dalam *database* ini. Dalam pengujian bagian kedua, dataset-dataset yang digunakan adalah 850\_L (panjang gelombang  $\lambda=850\text{nm}$ ; telapak tangan kiri), 850\_R ( $\lambda=850\text{nm}$ ; kanan), 940\_L ( $\lambda=940\text{nm}$ ; kiri), dan 940\_R ( $\lambda=940\text{nm}$ ; kanan). Masing-masing

dataset tersebut memiliki 600 citra, dilabeli dengan nomor 1-600.



Gambar 4. Contoh Citra *Database* CASIA

*Database* gabungan terdiri dari citra-citra *database* CASIA dataset 850\_L (600 citra, 100 subjek, 6 citra per subjek, dilabeli dengan nomor 1-600) dengan tambahan citra-citra *database* ORL (240 citra, 40 subjek, 6 citra pertama setiap subjek, dilabeli dengan nomor 601-840). Citra dari *database* ORL hanya diambil 6 citra pertama dari masing-masing subjek agar jumlah citra per subjek secara keseluruhan dalam *database* gabungan ini konsisten.



Gambar 5. Contoh Pelabelan Citra dalam *Database* Gabungan

### C. Penyamaan Ukuran Citra

Untuk menyederhanakan program yang dibuat dan mempersingkat waktu komputasi, dilakukan penyamaan ukuran citra terlebih dahulu. Seluruh citra dari ketiga *database* disamakan ukurannya menjadi  $80 \times 70$  piksel. Proses ini menggunakan perintah *image resize* pada MATLAB.

### D. Proses Ekstraksi Ciri

Setelah ukuran citra disamakan, dilakukan proses ekstraksi ciri menggunakan teknik klasifikasi FNLDA maupun DLDA. Keluaran dari proses ini adalah nilai eigen (*eigenvalues*), yaitu representasi dari semua citra *input*. Nilai eigen tersebut kemudian dikalikan dengan nilai piksel dari setiap citra (baik citra latih maupun citra uji) untuk mendapatkan vektor ciri dari citra latih dan citra uji. Vektor-vektor ciri ini akan digunakan dalam proses pencocokan dan penentuan akurasi.

### E. Proses Pencocokan dan Penentuan Akurasi

Proses pencocokan dilakukan dengan menghitung jarak *euclidean* antara vektor ciri citra uji dengan vektor ciri citra latih. Apabila vektor ciri sebuah citra uji memiliki jarak *euclidean* yang terkecil dengan

vektor ciri dari suatu citra latih tertentu, maka dapat ditentukan bahwa citra uji mirip (cocok) dengan citra latih tersebut.

Karena vektor ciri citra latih dan citra uji disimpan dalam sebuah matriks, maka dapat ditentukan akurasi teknik klasifikasi yang digunakan, dengan merujuk pada indeks matriksnya. Jika vektor ciri citra uji bersesuaian dengan vektor ciri citra latih dengan indeks yang berasal dari subjek yang sama, maka proses pencocokan dari citra uji tersebut tepat. Jumlah pencocokan yang tepat dibagi dengan jumlah citra uji akan menghasilkan akurasi pengenalan dari teknik klasifikasi yang diuji.

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil Pengujian Bagian Pertama (Database ORL)

Dari hasil pengujian bagian pertama, didapatkan data akurasi pengenalan citra dari database ORL menggunakan teknik klasifikasi FNLDA dan DLDA. Akurasi pengenalan citra dari database ORL menggunakan teknik klasifikasi FNLDA terdapat dalam Tabel 1, sedangkan akurasi pengenalan citra menggunakan teknik klasifikasi DLDA terdapat dalam Tabel 2.

**Tabel 1.** Akurasi Pengenalan Citra dari Database ORL Menggunakan Teknik Klasifikasi FNLDA

Jumlah Citra Latih Per Subjek	Jumlah Citra Uji Per Subjek	Jumlah Total Citra Uji	Akurasi Pengenalan	Akurasi Pengenalan (dalam %)
4	6	240	221	92,08%
5	5	200	183	91,50%
6	4	160	152	95,00%

**Tabel 2.** Akurasi Pengenalan Citra dari Database ORL Menggunakan Teknik Klasifikasi DLDA

Jumlah Citra Latih Per Subjek	Jumlah Citra Uji Per Subjek	Jumlah Total Citra Uji	Akurasi Pengenalan	Akurasi Pengenalan (dalam %)
4	6	240	202	84,17%
5	5	200	175	87,50%
6	4	160	152	95,00%

Dalam Tabel 1 dan Tabel 2, dapat dilihat bahwa prosedur percobaan dan pengujian untuk metode

FNLDA dan DLDA untuk database wajah ORL adalah sama, yaitu masing-masing baris menyatakan variasi jumlah citra latih yang dipilih, yaitu 4 untuk percobaan pertama, 5 untuk percobaan kedua, dan 6 untuk percobaan ketiga. Sisa citra wajah untuk tiap subyek digunakan untuk proses pengujian (total citra wajah per subyek dalam database ORL adalah 10 citra wajah).

Lalu vektor ciri yang dihasilkan untuk tiap citra wajah uji dicari identitasnya berdasarkan perhitungan pada rumus pada Persamaan (1) dengan memilih jarak yang terpendek sebagai identitas dari citra wajah yang diujikan. Ilustrasi perhitungan untuk menentukan identitas citra wajah uji misalnya sebagai berikut: citra yang diuji misalnya direpresentasikan dengan vektor  $\mathbf{u} = (0,2;0,1)^t$ , dengan  $t$  menyatakan operasi *transpose*; sedangkan citra latih yang ada di dalam database citra wajah misalkan ada 4 dan diwakili oleh vektor-vektor berikut, yaitu  $\mathbf{a} = (0,1;0,1)^t$ ,  $\mathbf{b} = (0,3;0,2)^t$ ,  $\mathbf{c} = (0,5;0,3)^t$ , dan  $\mathbf{d} = (0,1;0,2)^t$ , maka berdasarkan Persamaan (1), identitas citra wajah yang diwakili oleh vektor  $\mathbf{u}$  akan dikenali sebagai citra wajah yang diwakili oleh vektor  $\mathbf{a}$ . Identitas yang dikenali sebagai identitas yang tepat (benar) dari citra yang diujikan akan dikategorikan sebagai identitas yang akurat. Perhitungan akurasi pengenalan dilakukan dengan menghitung perbandingan (rasio) jumlah total citra uji yang tepat dikenali terhadap jumlah total citra wajah yang diuji per prosedur percobaan. Proses perhitungan yang sama juga dilakukan untuk memperoleh setiap hasil pada Tabel 3 hingga Tabel 6.

##### B. Hasil Pengujian Bagian Kedua (Database CASIA)

Dari hasil pengujian bagian kedua, didapatkan data akurasi pengenalan citra dari database CASIA menggunakan teknik klasifikasi FNLDA dan DLDA. Akurasi pengenalan citra dari database CASIA menggunakan teknik klasifikasi FNLDA terdapat dalam Tabel 3, sedangkan akurasi pengenalan citra menggunakan teknik klasifikasi DLDA terdapat dalam Tabel 4.

**Tabel 3.** Akurasi Pengenalan Citra dari Database CASIA Menggunakan Teknik Klasifikasi FNLDA

Data-set	Jml. Citra Latih Per Subjek	Jml. Citra Uji Per Subjek	Jml. Total Citra Uji	Akurasi Pengenalan	Akurasi Pengenalan (dalam %)
850_L	3	3	300	15	5,00%

	4	2	200	105	52,50%
	5	1	100	82	82,00%
850_R	3	3	300	15	5,00%
	4	2	200	123	61,50%
	5	1	100	75	75,00%
940_L	3	3	300	11	3,67%
	4	2	200	108	54,00%
	5	1	100	80	80,00%
940_R	3	3	300	13	4,33%
	4	2	200	119	59,50%
	5	1	100	82	82,00%

**Tabel 4.** Akurasi Pengenalan Citra dari *Database CASIA* Menggunakan Teknik Klasifikasi DLDA

<i>Data-set</i>	Jml. Citra Latih Per Subjek	Jml. Citra Uji Per Subjek	Jml. Total Citra Uji	Akurasi Pengenalan	Akurasi Pengenalan (dalam %)
850_L	3	3	300	10	3,33%
	4	2	200	43	21,50%
	5	1	100	34	34,00%
850_R	3	3	300	8	2,67%
	4	2	200	49	24,50%
	5	1	100	37	37,00%
940_L	3	3	300	10	3,33%
	4	2	200	37	18,50%
	5	1	100	37	37,00%
940_R	3	3	300	8	2,67%
	4	2	200	53	26,50%
	5	1	100	38	38,00%

#### C. Hasil Pengujian Bagian Ketiga (*Database Gabungan*)

Dari hasil pengujian bagian ketiga, didapatkan data akurasi pengenalan citra dari *database* gabungan menggunakan teknik klasifikasi FNLDA dan DLDA. Akurasi pengenalan citra dari *database* gabungan menggunakan teknik klasifikasi FNLDA terdapat dalam Tabel 5, sedangkan akurasi pengenalan citra menggunakan teknik klasifikasi DLDA terdapat dalam Tabel 6.

**Tabel 5.** Akurasi Pengenalan Citra dari *Database Gabungan* Menggunakan Teknik Klasifikasi FNLDA

Jumlah Citra Latih Per Subjek	Jumlah Citra Uji Per Subjek	Jumlah Total Citra Uji	Akurasi Pengenalan	Akurasi Pengenalan (dalam %)
3	3	420	112	26,67%
4	2	280	165	58,93%
5	1	140	113	80,71%

**Tabel 6.** Akurasi Pengenalan Citra dari *Database Gabungan* Menggunakan Teknik Klasifikasi DLDA

Jumlah Citra Latih Per Subjek	Jumlah Citra Uji Per Subjek	Jumlah Total Citra Uji	Akurasi Pengenalan	Akurasi Pengenalan (dalam %)
3	3	420	93	22,14%
4	2	280	114	40,71%
5	1	140	64	45,71%

#### D. Analisis Teknik Klasifikasi FNLDA

Berdasarkan data pada bagian A-C di atas, diketahui bahwa akurasi pengenalan menggunakan teknik klasifikasi FNLDA cukup baik ketika digunakan untuk mengenali wajah (*database* ORL), namun menunjukkan hasil yang kurang baik jika digunakan untuk mengenali pembuluh darah (*database* CASIA). Hal ini antara lain disebabkan karena ketidakseimbangan jumlah citra yang ada pada masing-masing *database*.

Ditinjau dari perbandingan jumlah citra latih dengan citra uji per subjek, akurasi pengenalan menggunakan metode ini semakin membaik seiring meningkatnya jumlah citra latih yang disertakan. Pada *database* ORL, terjadi anomali, yakni akurasi pengenalan dengan 5 citra latih (91.50%) lebih rendah daripada akurasi pengenalan menggunakan 4 citra latih (92.08%).

Pada *database* gabungan, akurasi pengenalan yang dihasilkan mirip dengan akurasi pengenalan pada *database* CASIA. Akurasi pengenalan dengan 3 citra latih pada *database* gabungan lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata akurasi pengenalan dengan 3 citra latih pada *database* CASIA.

Pada *database* CASIA, teknik klasifikasi FNLDA memiliki tingkat akurasi pengenalan yang serupa antara tangan kiri dengan tangan kanan. Demikian pula, akurasi antara rasio citra latih dan citra uji pada setiap *dataset* memiliki nilai yang serupa. Dari kedua hal ini, dapat dikatakan teknik klasifikasi FNLDA merupakan teknik klasifikasi yang stabil.

Dari pengujian dengan memvariasikan rasio citra uji dengan citra latih, terlihat bahwa tingkat akurasi pengenalan FNLDA menjadi rendah ketika jumlah citra latih hanya sedikit. Hal ini disebabkan karena

terjadinya *drop*.

Teknik klasifikasi FNLDA memiliki rata-rata tingkat akurasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan DLDA. Hal ini disebabkan karena teknik klasifikasi FNLDA memanfaatkan informasi yang terdapat pada *null-space*, sehingga tingkat akurasi pengenalan cukup tinggi meskipun jumlah citra latihan hanya sedikit.

#### E. Analisis Teknik Klasifikasi DLDA

Berdasarkan data pada bagian A-C di atas, diketahui bahwa akurasi pengenalan menggunakan teknik klasifikasi DLDA serupa dengan akurasi pengenalan menggunakan metode FNLDA, yaitu cukup baik ketika digunakan untuk mengenali wajah (*database* ORL), namun menunjukkan hasil yang kurang baik jika digunakan untuk mengenali pembuluh darah (*database* CASIA). Hal ini antara lain disebabkan karena ketidakseimbangan jumlah citra yang ada pada masing-masing *database*.

Ditinjau dari jumlah citra latihan per subjek yang digunakan dalam proses pelatihan, akurasi pengenalan menggunakan metode ini menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya jumlah citra latihan yang disertakan. Hal ini berlaku untuk semua *database* yang digunakan.

Pada *database* gabungan, akurasi pengenalan yang dihasilkan mirip dengan akurasi pengenalan pada *database* CASIA. Akurasi pengenalan dengan 3 citra latihan pada *database* gabungan lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata akurasi pengenalan dengan 3 citra latihan pada *database* CASIA.

Pada *database* CASIA, teknik klasifikasi DLDA memiliki tingkat akurasi pengenalan yang serupa antara tangan kiri dengan tangan kanan. Demikian pula, akurasi antara rasio citra latihan dan citra uji pada setiap *dataset* memiliki nilai yang serupa. Dari kedua hal ini, dapat dikatakan teknik klasifikasi DLDA merupakan teknik klasifikasi yang stabil.

Dari pengujian dengan memvariasikan rasio citra uji dengan citra latihan, terlihat bahwa tingkat akurasi pengenalan DLDA menjadi rendah ketika jumlah citra latihan hanya sedikit. Hal ini disebabkan karena terjadinya *drop*.

Teknik klasifikasi DLDA memiliki rata-rata tingkat akurasi yang lebih rendah jika dibandingkan

dengan FNLDA. Hal ini karena pada proses perhitungan dalam teknik klasifikasi DLDA banyak terjadi pembangian dengan nilai nol. Hal ini menyebabkan terjadinya masalah singularitas, sehingga tingkat akurasi pengenalan menurun.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat ditentukan bahwa performa teknik klasifikasi berbasis LDA yang lebih baik untuk mengenali seseorang berdasarkan citra multimodal wajah atau pembuluh darah, khususnya untuk jumlah citra latihan yang lebih sedikit, ditinjau dari tingkat akurasi pengenalannya adalah *Fast Null-space Linear Discriminant Analysis* (FNLDA).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, sehingga penulisan *paper* ini dapat diselesaikan.

Sebagian dari penelitian dalam *paper* ini menggunakan *database* Olivetti Research Lab (ORL) *Database of Faces* yang dikumpulkan oleh *University of Cambridge*, Inggris.

Sebagian dari penelitian dalam *paper* ini menggunakan *database* CASIA-MS-PalmprintV1 yang dikumpulkan oleh *Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation (CASIA)*, Tiongkok.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. Sanjekar and J. B. Patil, "An Overview of Multimodal Biometrics," *Signal & Image Processing: An International Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 57-64, 2013.
- [2] V. M. Mane and D. V. Jadhav, "Review of Multimodal Biometrics: Applications, Challenges and Research Areas," *International Journal of Biometrics and Bioinformatics*, vol. 3, no. 5, pp. 90-95.
- [3] S. Z. Li and A. K. Jain, Eds., *Handbook of Face Recognition*, 2nd ed., London: Springer, 2011.
- [4] D. Setiadiakarunia, R. A. Saragih and B. Benjamin, "Face and Vein Identification using LBP, LDiP, and LDNP as Local-Feature Descriptors," *Journal*

- of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 13, pp. 3299-3303, 2017.
- [5] J. Starmer, "StatQuest: Linear Discriminant Analysis (LDA), clearly explained," 10 Juli 2016. [Online]. Available: <https://statquest.org/statquest-linear-discriminant-analysis-lda-clearly-explained/>. [Diakses 4 Maret 2021].
- [6] H. Zhao, Z. Wang and F. Nie, "A New Formulation of Linear Discriminant Analysis for Robust Dimensionality Reduction," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 629-639, April 2019.
- [7] A. Ross dan A. K. Jain, "Information fusion in biometrics," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, pp. 2115-2125, 2003.
- [8] K. Gunasekaran, J. Raja and R. Pitchai, "Deep multimodal biometric recognition using contourlet derivative weighted rank fusion with human face, fingerprint and iris images," *Automatika: Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, vol. 60, no. 3, pp. 253-265, 2019.
- [9] L. Chen, H. M. Liao, M. Ko, J. Lin and G. Yu, "A new LDA-based face recognition system which can solve the small sample size problem," *The Journal of the Pattern Recognition Society*, vol. 33, pp. 1713-1726, 2000.
- [10] J. Ye and T. Xiong, "Null Space versus Orthogonal Linear Discriminant Analysis," in *Proceedings of the 23rd international conference on Machine Learning*, New York, 2006.
- [11] A. Sharma dan K. K. Paliwal, "A new perspective to null linear discriminant analysis method and its fast implementation using random matrix multiplication with scatter matrices," *Pattern Recognition*, vol. 45, pp. 2205-2213, 2012.
- [12] H. Yu and J. Yang, "A direct LDA algorithm for high-dimensional data - with application to face recognition," *The Journal of the Pattern Recognition Society*, vol. 34, pp. 2067-2070, 2001.
- [13] G. Kukharev and P. Forczmański, "Face Recognition by Means of Two-Dimensional Direct Linear Discriminant Analysis," in *Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition and Information Processing*, Minsk, Belarus, 2005.
- [14] S. Sharma, *Applied Multivariate Techniques*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.

## Pengendalian Suspensi Kendaraan menggunakan Pengendali *Sliding Mode Control* dan *Propotional Integral Derivative*

Ahmad Faizal<sup>1</sup>, Elfira Safitri<sup>2</sup>, Rudy Kurniawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau

<sup>2</sup> Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

\*ahmad.faizal@uin-suska.ac.id, elfira.safitri@uin-suska.ac.id, rudy@ubb.ac.id

### INTISARI

Sistem suspensi berfungsi untuk memberikan kenyamanan, keamanan, serta keselamatan bagi pengemudi dan penumpang saat berkendara. Ketidak-rataan permukaan jalan menyebabkan vibrasi pada sistem suspensi sehingga kenyamanan berkendara bagi pengemudi atau penumpang menjadi terganggu. Untuk itu, sistem suspensi mobil seharusnya dapat dikendalikan untuk meminimalkan vibrasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan pengendali *Sliding Mode Control* (SMC) karena pengendali SMC merupakan kendali umpan balik dengan sistem pensaklaran berkecepatan tinggi ditambahkan dengan pengendali *Propotional Integral Derivative* (PID). Penelitian ini bertujuan untuk merancang pengendali SMC dengan kombinasi pengendali PID pada sistem suspensi dengan memberikan beberapa gangguan untuk mengoptimalkan vibrasi pada sistem ini. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa simulasi pengendali SMC dan PID mampu membuat respon sistem kembali stabil ke posisi awal dengan nilai *settling time* diperoleh pada detik ke 0.0232 (0.0232s). Pengendalian suspensi untuk meminimalkan vibrasi menggunakan pengendali SMC dan PID dapat dikatakan hampir tidak mengalami *overshoot* sebesar 0.6% dan *error steady state* yang relatif kecil yaitu 0.00011 m.

Kata kunci: *Propotional Integral Derivative*, Sistem Suspensi, *Sliding Mode Control*, Vibrasi

### ABSTRACT

*The suspension sistem serves to provide comfort, security, and safety for the driver and passenger while driving. The uneven road surface causes vibrations in the suspension sistem so that driving comfort for the driver or passenger is disrupted. For this reason, the car's suspension sistem should be controlled to minimize vibration. The method used in this study is to use a Sliding Mode Control (SMC) controller because the SMC controller is a feedback control with a high-speed switching sistem added to a Proportional Integral Derivative (PID) controller. This study aims to design an SMC controller with a combination of PID controllers on the suspension sistem by providing some disturbances to optimize the vibration of this sistem. From the results of the study, it was found that the simulation of the SMC and PID controllers was able to make the sistem response stable again to the initial position with the value of settling time obtained at 0.0232 seconds (0.0232s). Suspension control to minimize vibration using SMC and PID controllers can be said to have almost no overshoot of 0.6% and a relatively small steady state error of 0.00011 m.*

**Keywords:** *Proportional Integral Derivative, Suspension System, Sliding Mode Control, Vibration*

## I. PENDAHULUAN

Teknologi di bidang transportasi saat ini sangat berkembang mulai dari transportasi darat, laut, dan udara seperti pesawat terbang, kapal laut, kereta api, mobil, sepeda motor, sepeda dan lain sebagainya. Perkembangan demi perkembangan dilakukan untuk membuat waktu tempuh, keamanan dan kenyamanan

saat menggunakan moda transportasi tersebut semakin baik. Salah satu transportasi darat yg harus diperhatikan keamanan dan kenyamanan adalah mobil. Mobil memiliki beberapa komponen penting seperti aki, alternator, sistem pendingin, transmisi, ban, rem, dan suspensi. Bila terjadi kerusakan pada komponen-komponen tersebut maka mobil tidak akan dapat berfungsi secara normal. Termasuk juga sistem

suspensi yang fungsi utamanya adalah untuk memberikan kenyamanan, keamanan dan keselamatan pengemudi dan penumpang saat berkendara [10].

Ketidak-rataan permukaan jalan menyebabkan vibrasi sehingga kenyamanan berkendara bagi pengemudi atau penumpang menjadi terganggu. Untuk meminimalkan vibrasi akibat permukaan jalan tersebut, suspensi mobil dapat dikendalikan. Pengendalian sistem suspensi harus dimulai dengan mengenal klasifikasi suspensi terlebih dahulu. Sistem suspensi saat ini dapat diklasifikasi menjadi pasif, semi-aktif, dan aktif.

Sistem suspensi yang banyak digunakan berupa suspensi pasif, yang artinya sistem tersebut tidak memiliki sistem kendali, sehingga diperlukan pengembangan. Teknologi yang dikembangkan adalah dengan menambahkan komponen aktif pada sistem suspensi. Saat ini, suspensi aktif ditandai dengan aktuator hidrolik yang ditempatkan secara seri (*low bandwidth*) atau paralel (*high bandwidth*) dengan pegas dan peredam [2]. Pegas dan peredam merupakan komponen utama yang menyusun suatu sistem suspensi, yang berfungsi untuk menopang badan kendaraan dan meredam getaran ketika kendaraan berinteraksi dengan jalan.

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai penanganan vibrasi pada suspensi. Penelitian yang dilakukan oleh [3] tentang perancangan pengendali PID untuk pengendalian suspensi pada kendaraan seperempat. Penelitian ini mendesain dan menganalisa parameter dari PID dengan metode *Ziegler-Nichols* dan *Auto Tuning*. Hasil yang diperoleh menunjukkan hasil baik dengan rata-rata *time respons* yang cukup cepat. Namun, pencarian parameter P, I dan D masih mengalami kesulitan.

Selanjutnya, penelitian [4] membahas tentang pengendalian suspensi menggunakan logika *fuzzy*. Hasil penelitian disimpulkan bahwa kendali *fuzzy* dapat menstabilkan sistem suspensi sesuai dengan desain kriterianya. Penelitian ini mensimulasikan dan menganalisa respon keluaran sistem suspensi yang menghasilkan osilasi yang berlebihan. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh [2] membahas tentang menggabungkan pengendali *fuzzy* dan PID. Penelitian ini merancang model sistem suspensi aktif *non linear* yang optimal untuk tipe paralel (*high bandwidth*) dengan kendali *hybrid fuzzy-PID* yang diberi penguatan. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa

pengendali *hybrid fuzzy-PID* memiliki performansi yang relatif lebih baik secara keseluruhan dibanding kendali *fuzzy* dan PID.

Penelitian yang dilakukan oleh [6] membahas pengendalian suspensi menggunakan kendali optimal LQR. Penelitian ini merancang pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dengan *Glowworm Swarm Optimization* (GSO) untuk sistem suspensi aktif model kendaraan seperempat serta membandingkan beberapa model gangguan yang diwakilkan oleh sinyal gundukan, random, dan sinusoidal. Dapat disimpulkan bahwa pada gangguan gundukan memberikan vibrasi suspensi pada badan kendaraan sebesar 10,27 cm untuk LQR<sub>GSO</sub>, dan 12,22 cm untuk LQR. Saat gangguan random memberikan percepatan sebesar 7,976 m/s<sup>2</sup>, dibandingkan dengan LQR sebesar 8,413 m/s<sup>2</sup>. Penelitian ini memiliki kekurangan pada besarnya nilai *overshoot*.

Beberapa penelitian tersebut menunjukkan sistem suspensi aktif merupakan sistem yang tidak stabil terbukti dari keluaran sistem yang memiliki osilasi yang besar. Sehingga sangat penting untuk mengendalikan kestabilan dan juga vibrasi suspensi aktif pada kendaraan, serta besarnya nilai *overshoot* saat diberi gangguan. Untuk mengatasi hal tersebut maka pada penelitian ini penulis memilih pengendali *Sliding Mode Control* (SMC) dan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID), dimana SMC adalah suatu metode kendali yang mampu mengatasi gangguan. Pemilihan pengendali SMC didasari oleh keunggulan dalam kekokohan saat menghadapi gangguan eksternal, ketidakpastian sistem maupun parameter. Sehingga dapat meredam osilasi, memperkecil *error* dan mengatasi *overshoot* [6].

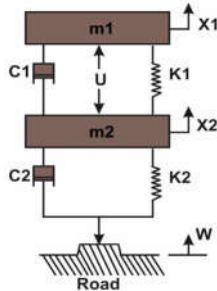
Berdasarkan dari studi litelatur yang ada maka SMC dan PID diharapkan dapat mengurangi *overshoot* dan *error steady state* pada sistem suspensi kendaraan.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Suspensi

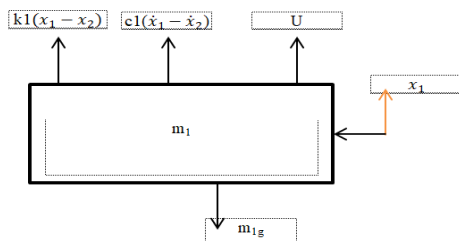
Suspensi adalah sesuatu yang menghubungkan antara badan kendaraan dengan roda. Kenyamanan kendaraan sangat erat hubungannya dengan sistem suspensi kendaraan. Sistem suspensi kendaraan harus mampu mengisolasi atau mengurangi getaran yang terjadi pada *body* kendaraan akibat ketidakrataan dari permukaan jalan.

Model matematis sistem suspensi diperoleh dengan metode diagram benda bebas digunakan untuk mendapatkan dinamika sistem. Sebagai model peredam massa-pegas ganda digunakan dan diilustrasikan pada Gambar 1. Dalam pendekatan ini, dua input ke sistem dianggap perintah kontrol suspensi aktif  $U$  dan posisi permukaan jalan  $W$  [2].



Gambar 1. Sistem suspensi aktif model kendaraan seperempat

Ada dua massa dalam sistem dan gaya yang diterapkan pada setiap massa yang harus digambarkan pada diagram. Akan ada dua persamaan gerak. Semua kondisi awal diasumsikan nol. Diagram benda bebas untuk  $m_1$  tampak seperti Gambar 2. Gaya yang diterapkan pada  $m_1$  adalah gaya pegas, gaya redaman, gaya suspensi aktif, dan gravitasi.

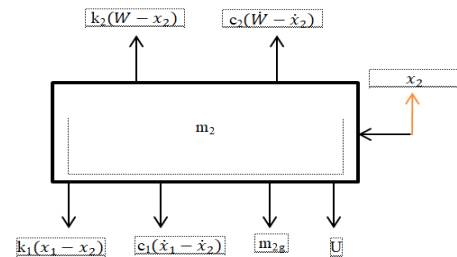


Gambar 2. Diagram benda bebas untuk  $m_1$

Persamaan gerak (EOM) untuk  $m_1$  adalah sebagai berikut:

$$\ddot{x}_1 = -g + \frac{U}{m_1} + \frac{c_1 \dot{x}_1}{m_1} - \frac{c_1 \dot{x}_2}{m_1} + \frac{k_1 x_1}{m_1} - \frac{k_1 x_2}{m_1} \quad (1)$$

Diagram benda bebas untuk  $m_2$  tampak seperti Gambar 3. Gaya yang diterapkan pada  $m_2$  adalah gaya pegas, gaya redaman, gaya suspensi aktif dan gravitasi.



Gambar 3. Diagram benda bebas untuk  $m_2$

EOM untuk  $m_2$  dapat diturunkan sebagai berikut:

$$\ddot{x}_2 = -g - \frac{U}{m_2} - \frac{(c_1 + c_2)\dot{x}_2}{m_2} + \frac{c_1 \dot{x}_1}{m_2} + \frac{c_2 \dot{W}}{m_2} - \frac{(k_1 + k_2)x_2}{m_2} + \frac{k_1 x_1}{m_2} + \frac{W k_2}{m_2} \quad (2)$$

Pada titik setimbang statis, yaitu  $x_1 = x_{eq1}$ ,  $x_2 = x_{eq2}$ , semua turunan dari  $x_1$  dan  $x_2$  dari semua orde adalah nol. Juga,  $W$  permukaan jalan dan semua turunannya dan gaya kontrol  $U$  adalah nol. Mengganti perubahan ini dalam Persamaan (1) dan (2) akan memberikan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_1 g + k_1 x_{eq2} - k_1 x_{eq1} &= 0 \\ k_1 x_{eq1} - k_1 x_{eq2} + m_2 g + x_{eq2} k_2 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Akibatnya, titik kesetimbangan karena gravitasi akan terjadi:

$$x_{eq1} = -\frac{g(m_1 + m_2)}{k_2} \quad (4)$$

$$x_{eq2} = -\frac{g(m_1 k_2 + k_1 m_1 + k_1 m_2)}{k_2 k_1} \quad (5)$$

Untuk menghilangkan gaya gravitasi dari persamaan gerak, kita menerapkan perubahan variabel berikut ke persamaan gerak:

$$\begin{aligned} x_1 &= -\frac{g(m_1 + m_2)}{k_2} + \tilde{x}_1 \\ x_2 &= -\frac{m_1 g}{k_1} - \frac{g(m_1 + m_2)}{k_2} + \tilde{x}_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Untuk menurunkan persamaan pengaturan dinamis dari sistem suspensi aktif model kendaraan seperempat, hukum Newton kedua digunakan untuk masing-masing dari dua massa bergerak dan Hukum Newton ketiga untuk interaksi massa. Persamaan dinamis seperti yang ditunjukkan:

$$m_1 \ddot{\tilde{x}}_1 = -c_1(\dot{\tilde{x}}_1 - \dot{\tilde{x}}_2) - k_1(\tilde{x}_1 - \tilde{x}_2) + U \quad (7)$$

$$m_2\ddot{x}_2 = c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) + c_2(\dot{W} - \dot{x}_2) + k_2(W - x_2) - U \quad (8)$$

dimana:

- m1: Massa badan kendaraan
- m2: Massa suspensi
- k1 : Koefisien pegas dari sistem suspensi
- k2 : Koefisien pegas dari ban
- c1 : Konstanta redaman dari sistem suspensi
- c2 : Konstanta redaman dari ban
- U : Gaya keluaran aktuator, gaya yang didesain untuk kontrol
- x1 : Perpindahan badan kendaraan
- x2 : Perpindahan suspensi
- W : Daerah permukaan jalan

### B. Sliding Mode Control (SMC)

Sliding Mode Control adalah sebuah kendali umpan balik pensaklaran berkecepatan tinggi (*High Speed Switching Feedback Control*) yang efektif dan kokok dalam mengendalikan sistem linier maupun non-linier [7]. Pengendali *Sliding Mode* terkenal dengan kekokohnya karena pengendali ini menyediakan sebuah metode perancangan sistem yang tidak peka terhadap ketidakpastian parameter lingkungan dan gangguan dari luar [6]. Terdapat dua sinyal kendali pada pengendali *Sliding Mode* yaitu sinyal kendali ekuivalen yang memaksa state menuju permukaan luncur dan sinyal kendali natural yang mempertahankan state dipermukaan luncur serta memberikan kekokohan sistem terhadap ketidakpastian. Ilustrasi kondisi sliding ditunjukkan pada Gambar 4 berikut [6]:



Gambar 4. Kondisi sliding [6]

### C. Proportional Integral Derivative (PID)

Pengendali PID merupakan salah satu pengendali konvensional yang telah digunakan bertahun-tahun lamanya. Pengendali ini terdiri dari tiga aksi pengendalian yaitu Proportional, Integral dan Derivative. Adapun Bentuk umum dari pengendali PID adalah sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (9)$$

persamaan (9) diubah ke dalam Laplace menjadi:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \quad (10)$$

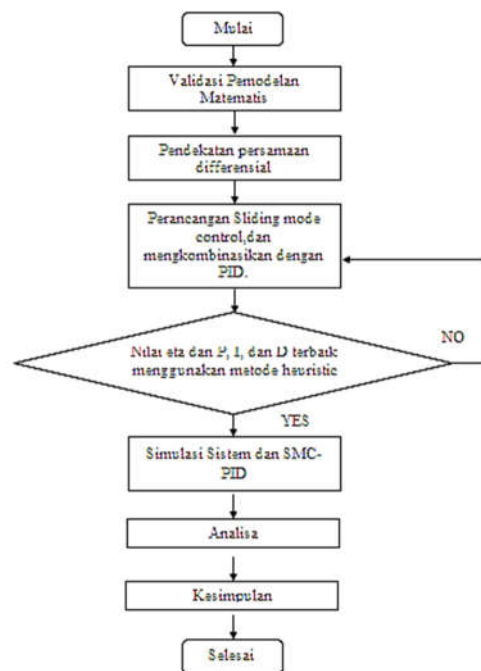
dimana :

- Kp : Proporsional Gain
- Ki : Integral Gain
- Kd : Derivatif Gain

Kendali proportional (P) dapat digunakan untuk mempercepat respon sistem, kendali integral (I) digunakan untuk mengurangi *error* keluaran sistem, dan kendali derivative (D) dapat difungsikan untuk menghilangkan overshoot. Sehingga jika ketiga kendali tersebut dikombinasikan akan menghasilkan respon yang baik [11].

## III. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini digambarkan pada diagram alir pada Gambar 5.

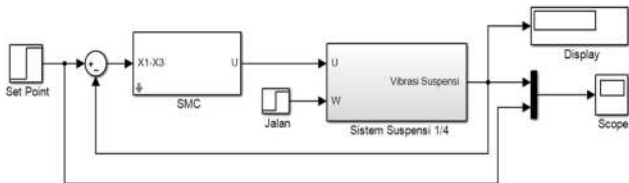


Gambar 5. Tahapan penelitian

### A. Perancangan Pengendali SMC

Gambar di bawah ini merupakan blok Simulink pengendali SMC yang digunakan untuk mengendalikan vibrasi pada suspensi kendaraan, dimana pada subsistem suspensi kendaraan itu dibuat

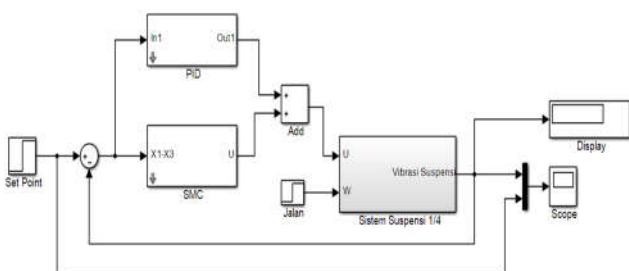
berdasarkan persamaan matematik dari model kendaraan.



Gambar 6. Blok pengendali SMC untuk mengendalikan vibrasi pada sistem suspensi kendaraan

B. Perancangan Pengendali SMC-PID Untuk Mengendalikan Vibrasi Suspensi Aktif Model Kendaraan Seperempat dalam Mencapai Nilai Set Point

Gambar di bawah ini merupakan blok Simulink penggabungan pengendali SMC-PID yang digunakan untuk mengendalikan Vibrasi pada suspensi kendaraan.

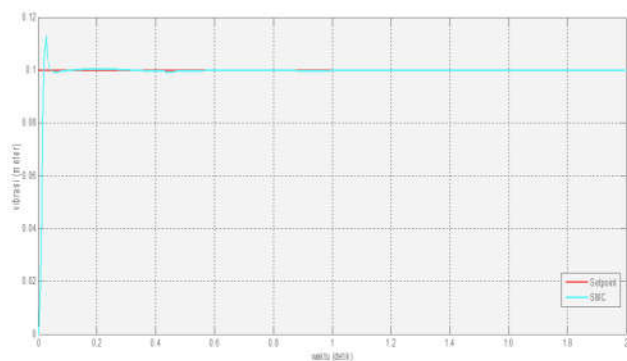


Gambar 7. Blok pengendali SMC-PID

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Respon Pengendali SMC Untuk Mengendalikan Vibrasi Suspensi Aktif Model Kendaraan Seperempat dalam Mencapai Nilai Set Point

Hasil respon keluaran pengendalian vibrasi dalam mencapai setpoint ditunjukkan pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Respon keluaran pengendalian vibrasi dalam mencapai set point dengan SMC

Analisa respon sistem pengendalian vibrasi menggunakan pengendali SMC adalah sebagai berikut:

1. Waktu naik/rise time ( $t_r$ )

$$0\% \times \text{setpoint} = 0\% \times 0.1 = 0 \text{ m}$$

Nilai 0% dari set point adalah 0 m, dengan menggunakan workspace pada Matlab dapat dilihat waktu untuk mencapai nilai 0% dari set point tersebut pada detik ke 0.

	1	2	3	4
1	0	0	0.1000	
2	3.1554e-30	3.0478e-57	0.1000	
3	3.8276e-07	4.4846e-11	0.1000	
4	2.2966e-06	1.6145e-09	0.1000	
5	1.1866e-05	4.3101e-08	0.1000	
6	5.9711e-05	1.0919e-06	0.1000	

Gambar 9. Data workspace vibrasi menggunakan SMC untuk rise time 0%

2. Waktu tunak / settling time ( $t_s$ )

$$\begin{aligned} ab &= \text{setpoint} - (2\% \text{ setpoint}) \\ &= 0.1 - 0.002 \\ &= 0.098 \text{ m} \end{aligned}$$

Respon sistem memasuki keadaan tunaknya adalah ketika 0.098 m, dengan menggunakan workspace pada Matlab tidak terdapat nilai 0.098 m. Sehingga diambil nilai terdekat yaitu 0.0761 dan 0.1048 untuk dilakukan interpolasi data menggunakan Ms. Excel yang dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:

	1	2	3	4
13	0.0115	0.0477	0.1000	
14	0.0115	0.0477	0.1000	
15	0.0151	0.0761	0.1000	
16	0.0202	0.1048	0.1000	
17	0.0267	0.1130	0.1000	
18	0.0267	0.1130	0.1000	

Gambar 10. Data workspace vibrasi dengan SMC untuk settling time

3. Waktu tunda/delay time ( $t_d$ )  
 $ac = 50\% \times \text{setpoint}$   
 $= 0.5 \times 0.1$   
 $= 0.05 \text{ m}$

Nilai yang menunjukkan kondisi 50% dari setpoint adalah 0.05 m dengan menggunakan workspace dapat dilihat waktu untuk mencapai kondisi tersebut. Pada workspace tidak ditemukan nilai 0.05 sehingga dilakukan interpolasi data menggunakan Ms. Excel dengan mengambil nilai terdekat yaitu 0.0477 dan 0.0761.

	1	2	3	4
12	0.0081	0.0223	0.1000	
13	0.0115	0.0477	0.1000	
14	0.0115	0.0477	0.1000	
15	0.0151	0.0761	0.1000	
16	0.0202	0.1048	0.1000	
17	0.0267	0.1130	0.1000	

Gambar 11. Data workspace vibrasi dengan SMC untuk delay time

4. Overshoot ( $M_p$ )

$$\%M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

$$= \frac{0.113 - 0.1}{0.1} \times 100\% = 13\%$$

5. Error Steady State ( $e_{ss}$ )

$$e_{ss} = R_{ss} - C_{ss}$$

$$= 0.1 - 0.09987 = 0.00013 \text{ m}$$

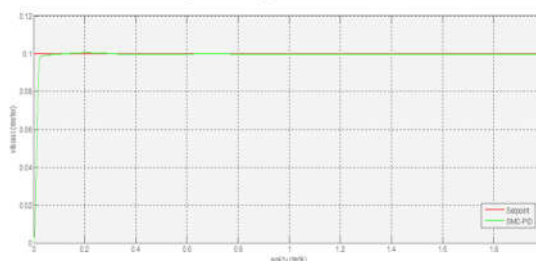
Tabel 1. Hasil analisa respon transien pengendalian vibrasi dengan SMC

Identifikasi Sistem	Respon Sistem
Rise Time	0.0193 detik
Settling Time	0.0189 detik
Delay Time	0.0117 detik
Overshoot	13%
Error Steady State	0.00013 m

Berdasarkan Tabel 1 di atas respon vibrasi menggunakan SMC telah mencapai set point yang diinginkan dan telah mencapai kestabilan dengan cepat yang ditunjukkan oleh settling time yaitu pada detik ke 0.0189. Memiliki rise time dan juga delay time yang cepat yaitu pada detik ke 0.0193 dan 0.0117. Tetapi kendali vibrasi menggunakan SMC masih mengalami overshoot sebesar 13% dan error steady state sebesar 0.00013 m.

B. Pengendali SMC-PID untuk Mengendalikan Vibrasi Suspensi Aktif Model Kendaraan Seperempat dalam Mencapai Nilai Set Point

Berikut adalah hasil respon keluaran pengendali SMC-PID untuk pengendalian vibrasi suspensi aktif model kendaraan seperempat.



Gambar 12. Respon keluaran pengendalian vibrasi dengan pengendali SMC-PID

Analisa respon sistem pengendalian vibrasi menggunakan pengendali SMC-PID adalah sebagai berikut:

1. Waktu naik/rise time ( $t_r$ )

$$0\% \times \text{setpoint} = 0\% \times 0.1 = 0 \text{ m}$$

Nilai 0% dari set point adalah 0 m, dengan menggunakan workspace pada Matlab dapat dilihat waktu untuk mencapai nilai 0% dari set point tersebut pada detik ke 0.

	1	2	3	4
1	0	0	0.1000	
2	3.1554e-30	3.0478e-57	0.1000	
3	3.8276e-07	4.4846e-11	0.1000	
4	2.2966e-06	1.6145e-09	0.1000	
5	1.1866e-05	4.3099e-08	0.1000	
6	5.9711e-05	1.0917e-06	0.1000	

Gambar 13. Data workspace vibrasi dengan pengendali SMC-PID untuk rise time 0%

$$100\% \times \text{setpoint} = 100\% \times 0.1 = 0.1 \text{ m}$$

Untuk nilai 100% dari set point adalah 0.1 m, dengan menggunakan workspace pada Matlab dapat diketahui waktu untuk mencapai kondisi tersebut pada detik ke 0.1104.

	1	2	3	4
47	0.1023	0.0999	0.1000	
48	0.1050	0.0999	0.1000	
49	0.1077	0.0999	0.1000	
50	0.1104	0.1000	0.1000	
51	0.1131	0.1000	0.1000	
52	0.1158	0.1000	0.1000	

Gambar 14. Data workspace vibrasi dengan pengendali SMC-PID untuk rise time 100%

Kemudian nilai waktu naik untuk respon vibrasi menggunakan Pengendali SMC-PID adalah:

$$t_r(100\%) - t_r(0\%) = 0.1104 - 0 = 0.1104 \text{ detik.}$$

2. Waktu tunak/settling time ( $t_s$ )

$$\begin{aligned} bb &= \text{setpoint} - (2\% \text{ setpoint}) \\ &= 0.1 - 0.002 \\ &= 0.098 \text{ m} \end{aligned}$$

Respon sistem memasuki keadaan tunaknya adalah ketika 0.098 m, dengan menggunakan workspace pada Matlab dapat diketahui waktu untuk mencapai kondisi tersebut pada detik ke 0.0232.

	1	2	3	4
14	0.0119	0.0479	0.1000	
15	0.0160	0.0771	0.1000	
16	0.0212	0.0964	0.1000	
17	0.0232	0.0980	0.1000	
18	0.0232	0.0980	0.1000	
19	0.0243	0.0980	0.1000	

Gambar 15. Data workspace vibrasi dengan pengendali SMC-PID untuk settling time

3. Waktu tunda/delay time ( $t_d$ )

$$\begin{aligned} bc &= 50\% \times \text{setpoint} \\ &= 0.5 \times 0.1 \\ &= 0.05 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi 50% dari set point adalah 0.05 m dengan menggunakan workspace dapat dilihat waktu untuk mencapai kondisi tersebut. Pada workspace tidak ditemukan nilai 0.05 sehingga dilakukan interpolasi data menggunakan Ms. Excel dengan mengambil nilai terdekat yaitu 0.0479 dan 0.0771.

	1	2	3	4
12	0.0091	0.0271	0.1000	
13	0.0119	0.0479	0.1000	
14	0.0119	0.0479	0.1000	
15	0.0160	0.0771	0.1000	
16	0.0212	0.0964	0.1000	
17	0.0232	0.0980	0.1000	

Gambar 16. Data workspace vibrasi dengan pengendali SMC-PID untuk delay time

Dari interpolasi data didapatkan delay time untuk vibrasi pada detik ke 0.0121.

4. Overshoot ( $M_p$ )

$$\begin{aligned} \%M_p &= \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \\ &= \frac{0.1006 - 0.1}{0.1} \times 100\% = 0.6\% \end{aligned}$$

5. Error Steady State ( $e_{ss}$ )

$$\begin{aligned} e_{ss} &= R_{ss} - C_{ss} \\ &= 0.1 - 0.09989 = 0.00011 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil analisa respon transien pengendalian vibrasi dengan pengendali SMC-PID

Identifikasi Sistem	Respon Sistem
Rise Time	0.1104 detik
Settling Time	0.0232 detik
Delay Time	0.0121 detik
Overshoot	0.6%
Error Steady State	0.00011 m

Berdasarkan Tabel 2 di atas respon vibrasi menggunakan pengendali SMC-PID telah mencapai set point yang diinginkan dan telah mencapai kestabilan dengan cepat.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian simulasi dan analisis pengendalian suspensi kendaraan menggunakan pengendali *Sliding Mode Control* dan *Propositional Integral Derivative* maka didapatkan kesimpulan yaitu dari metode *trial and error* didapatkan nilai  $k_p$  yaitu 200 dan nilai  $k_i$  yaitu 150. Berdasarkan simulasi *open loop* didapatkan osilasi pada vibrasi sistem suspensi aktif 0.08 m dengan waktu 50 detik, kemudian diuji dengan menggunakan pengendali SMC dimana hasilnya sudah mencapai setpoint tetapi masih terdapat *overshoot*. Kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan pengendali SMC-PID telah mencapai *set point* yang diinginkan dan telah mencapai kestabilan dengan cepat yang ditunjukkan oleh *settling time* yaitu pada detik ke 0.0232. Kendali vibrasi menggunakan pengendali SMC-PID dapat dikatakan hampir tidak mengalami *overshoot* yaitu hanya 0.6% dan *error steady state* yang relatif kecil yaitu 0.00011 m.

## REFERENSI

- [1] A. Basuki, dkk. "Pengaturan Kecepatan Motor DC secara Real Time Menggunakan Teknik Kontrol Optimal Linear Quadratic Regulator (LQR)", *Universitas Diponegoro*.
- [2] A. Faizal, "Disain Pengendali Slip Pada Haul Truck Menggunakan Metode Sliding Mode Controller", *JurnalEcotipe*, vol. 1, no. 2, hlm. 1-7, Okt 2014.
- [3] A. Faizal, D. Mursyitah, E. Imaredah, dan M. Ikhsyan, "Analisa Pengendali Hybrid Sliding Mode Control dan PID Untuk Mengendalikan Concentration pada Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)", *JurnalEcotipe*, vol. 5, no. 1, hlm. 1-7, Apr 2018.
- [4] A. K. Mishra, R. Raina, dkk., "Modeling and Simulation of Levitating Ball by Electromagnet using Bond Graph", *Indian Institute of Technology Patna*, 2013.
- [5] Arief Rachman dan Erna Apriliani. "Estimasi Posisi Magnetic Levitation Ball Menggunakan Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF)", *Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2012.
- [6] C. Chen, Y. Sun, etc. "Design of Magnetic Levitation Ball Control Based on Co-simulation of Simulink and Adams", *College of Logistics Engineering, Shanghai Maritime University, China*, 2016.
- [7] D. B. Wibowo dan Sindu Sutomo, "Pemodelan dan Simulasi Sistem Control Magnetic Levitation Ball", *Universitas Diponegoro*, 2011.
- [8] F. Mangkusasmito, Wahyudi, and B. Setiyono, "Sistem Kendali Posisi Sudut Angguk untuk Roket RXX-300 dengan Metode Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Pole Placement", *Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro*.
- [9] Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", *Prentice Hall*, 2002.
- [10] Lewis Frank L. and Syrmos, Vassilis L., "Optimal Control", *John Wiley dan Sons, Inc.*, 1995.
- [11] M. S. Abu. Nasr., "Fuzzy Gain Scheduling Control for Non-Linear Sistem", *The University of Gaza, Thesis Electrical Engineering*, 2013.
- [12] R. Kurniawan, "Perancangan Kontroler Pid Dan Sliding Mode Control Untuk Kestabilan Hover Pada Uav Trirotor", *JurnalEcotipe*, vol. 1, no. 1, hlm. 29-36, Apr 2014.
- [13] T. Yulianto, "Aplikasi Metode LQR pada Kendali Attitude Rotor Spacecraft yang Berada di Sumbu Tetap", *Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, 2012.

## Perancangan Antena Yagi Cetak untuk Mendeteksi Petir pada Pita *Very High Frequency*

Mia Maria Ulfah<sup>1</sup>, Dean Corio<sup>2</sup>, Rheyuniarto S. Asthan<sup>3</sup>, Achmad Munir<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Sumatera

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera

<sup>4</sup>Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro, Institut Teknologi Bandung

\*mia.ulfah@tt.itera.ac.id<sup>1</sup>

### INTISARI

Antena Yagi konvensional dan antena Yagi cetak sebagai komponen penyusun sensor deteksi petir telah dirancang dan disimulasikan pada penelitian ini. Kedua antena memiliki jumlah elemen yang sama dan dicatu dengan menggunakan *coaxial probe*. Antena Yagi cetak menggunakan medium berupa bahan substrat dielektrik dengan nilai permitivitas relatif tertentu sedangkan antena yagi konvensional menggunakan medium udara. Dimensi akhir rancangan antena Yagi adalah sebesar  $0,84\lambda \times 0,5\lambda$ , sementara antena Yagi cetak  $0,595\lambda \times 0,47\lambda$  atau dengan kata lain ukuran antena mampu berkurang hingga 33,42%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan ukuran yang lebih kecil, ringan, dan planar, antena Yagi cetak mampu bekerja pada frekuensi yang sama dengan koefisien refleksi sebesar -17,1dB, *gain* puncak 8,8dBi, dan memiliki pola radiasi *directional* pada pita VHF.

Kata kunci: Antena Yagi, Antena Yagi Cetak, Pita VHF, Sensor Deteksi Petir

### ABSTRACT

*In this research, Yagi antenna and printed Yagi antenna as one of the components of lightning detection sensors have been designed and simulated. Both antennas have the same number of elements and are fed by coaxial probe technique. Printed Yagi antennas use a dielectric substrate with a certain relative permittivity as a medium, while the conventional one uses an air as a medium. The final dimension of the Yagi antenna is  $0.84\lambda \times 0.5\lambda$ , while the printed Yagi antenna is  $0.595\lambda \times 0.47\lambda$ , i.e., the size is reduced by 33.42%. The simulation results show that with a smaller, lighter, and compact size, printed Yagi antenna is able to work at the same frequency as conventional Yagi antenna with a reflection coefficient of -17.1dB, peak gain of 8.8dBi, and has a directional radiation pattern in the VHF-band.*

**Keywords:** *Yagi Antenna, Printed Yagi Antenna, VHF-band, Lightning Detection Sensors*

## I. PENDAHULUAN

Petir merupakan salah satu fenomena listrik statis yang paling berbahaya dan sering terlihat di langit. Petir terjadi karena adanya pelepasan muatan-muatan listrik yang terdapat pada atmosfer bumi. Berdasarkan tempat pelepasan muatan listrik, petir dapat dibagi ke dalam tiga jenis yaitu *Cloud-to-Cloud (CC)*, *Cloud-to-Ground (CG)*, dan *Intracloud (IC)* [1]. Awan merupakan salah satu medium penyebab petir. Ketika jumlah muatan elektron pada awan lebih banyak dari muatan proton, maka elektron akan mencari proton agar seimbang. Muatan proton di bumi dapat memancing terjadinya petir. Petir akan mencari

lintasan terpendek untuk mendapatkan muatan proton sehingga bangunan-bangunan tinggi sering menjadi daerah paling rawan tersambar petir. Sensor deteksi petir memiliki peranan yang sangat penting untuk melacak badai, peringatan dini, dan sebagainya.

Sensor untuk mendeteksi petir menerima medan listrik dan/atau magnet dari medan peradiasi dalam interval frekuensi tertentu. Antena merupakan salah satu komponen penting dalam sensor pedeteksi petir. Frekuensi kerja dan lebar pita yang digunakan pada antena akan menentukan jarak deteksi dan tingkat akurasi. Selain itu juga akan menentukan ukuran dan

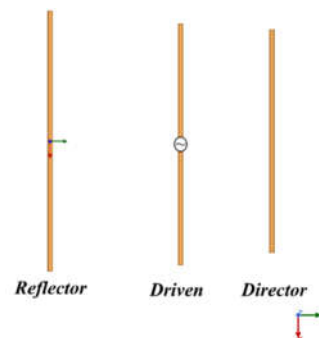
sensitifitas antenna terhadap berbagai macam efek propagasi.

Antena Yagi adalah salah satu jenis antenna yang cocok digunakan sebagai komponen penyusun sensor petir karena memiliki karakteristik seperti *gain* yang besar, hemat biaya, efisiensi radiasi yang tinggi, dan mudah difabrikasi [2]. Antena Yagi yang paling sederhana dapat tersusun dari *driven*, *reflector*, dan satu buah elemen *director* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Perancangan antenna Yagi dengan jumlah elemen yang kecil akan sederhana. Namun, semakin banyak jumlah elemen yang terlibat maka perancangan akan lebih rumit, ukuran antenna pun akan menjadi semakin besar dan ringkih.

Perkembangan sistem komunikasi nirkabel yang sangat pesat menyebabkan banyak munculnya inovasi-inovasi baru, salah satunya antenna yang dapat dicetak pada substrat. Hal tersebut dapat dipahami pasalnya antenna cetak (*printed antenna*) memiliki aplikasi yang luas karena ringan, *low-profile*, *compact*, dan mudah diintegrasikan dengan perangkat lain. Antena cetak Yagi pada dasarnya merupakan pengembangan untuk mengatasi kekurangan pada Antena Yagi konvensional.

Antena Yagi cetak pertama kali diusulkan oleh Qian pada tahun 1998 [3]. Setelah itu banyak peneliti yang mengusulkan berbagai konfigurasi dengan memanfaatkan bentuk elemen dan teknik pencatutan yang berbeda [4],[5],[6],[7]. Pada penelitian [5], dihasilkan lebar pita sebesar 0,96GHz dan *gain* puncak 7,23 dBi. Antena Yagi cetak ini terdiri dari dua elemen *director* yang digunakan untuk aplikasi pada pita LTE. Teknik pencatutan menggunakan *tapered balun*. Merancang *tapered balun* cukup sulit karena akan berpengaruh terhadap kesesuaian impedansi.

Penelitian ini membahas karakterisasi antara antenna Yagi konvensional dengan antenna Yagi cetak dalam hal dimensi dan kinerja. Antena ini dirancang sebagai komponen penyusun sensor deteksi petir pada frekuensi 150MHz. Setelah rancangan antenna Yagi konvensional selesai kemudian akan diimplementasikan ke dalam antenna Yagi cetak. Antena tersebut dicatu dengan teknik pencatutan berupa *coaxial probe*. Antena Yagi cetak menggunakan medium berupa bahan substrat dielektrik dengan nilai



Gambar 1. Struktur dasar antenna Yagi

permitivitas relatif ( $\epsilon_r$ ) tertentu. Dengan keberadaan substrat dielektrik ini diharapkan pada frekuensi kerja yang sama dimensi antenna Yagi dapat berkurang dari ukuran semula tanpa mengganggu kinerjanya.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Petir

Petir merupakan gejala alam yang terjadi akibat proses pelepasan muatan listrik baik positif maupun negatif dalam awan yang terjadi di atmosfer bumi. Berdasarkan tempat terjadinya pelepasan muatan listrik, petir terbagi menjadi 3 jenis yaitu yang terjadi antar awan (*Inter Cloud, IC*), antara awan dengan awan (*Cloud to Cloud, CC*) atau antara awan dengan permukaan (*Cloud to Ground, CG*). Di dalam awan terjadi perbedaan yang besar antara muatan elektron dan proton sehingga awan perlu melakukan penetralan. Penetralan ini bermaksud agar jumlah proton dan elektron didalam awan berjumlah sama. Karena di dalam awan terdapat lebih banyak muatan elektron, maka petir akan mencari daerah yang memiliki banyak muatan positif. Selain itu, petir mencari daerah yang tinggi agar memperpendek lintasan [8].

Petir dapat dideteksi menggunakan sensor optik, gelombang medan listrik ataupun magnetik pada rentang frekuensi tertentu seperti *Low Frequency* (LF, 30kHz – 300kHz), *Very Low Frequency* (VLF, 3kHz – 30kHz), *Extremely Low Frequency* (ELF, 30Hz – 300Hz), dan *Very High Frequency* (VHF, 30MHz – 300MHz) [9]. Pita frekuensi LF dan VHF paling umum digunakan untuk menghindari kanal komunikasi dan transmisi radio. Frekuensi kerja dan lebar pita antenna sebagai salah satu komponen sensor menentukan jarak deteksi dan akurasi. Di sisi lain frekuensi kerja menentukan ukuran antenna dan lebar pita berhubungan dengan sensitifitas antenna terhadap efek propagasi. Petir CG menghasilkan emisi yang kuat pada frekuensi

LF, sementara petir IC mengemisikan sinyal pada frekuensi VHF [10].

Gelombang radio petir dapat berpropagasi dalam jarak ribuan kilometer bahkan lebih. Frekuensi yang lebih tinggi akan lebih dulu beratenuasi, sementara frekuensi yang lebih rendah dapat merambat pada jarak yang jauh. Oleh karena itu, sensor petir yang digunakan secara lokal biasanya menggunakan pita VHF, yang dapat mendeteksi kanal petir dalam spasial dan temporal yang tinggi [1]. Alasan tersebut pula lah pada penelitian ini dipilih frekuensi 150MHz (pita VHF) sebagai frekuensi kerja untuk sensor deteksi petir.

### B. Antena Yagi

Antena Yagi atau juga dikenal sebagai antena Yagi-Uda pertama kali dipublikasikan oleh S. Uda dalam jurnal berbahasa Jepang [11]. Rekan Uda yaitu H. Yagi menjelaskan tentang prinsip kerja antena tersebut dalam tulisan berbahasa Inggris [12] yang kemudian dikenal luas dan publik menyebut antena jenis ini sebagai antena Yagi. Antena Yagi umum digunakan untuk aplikasi pada pita frekuensi HF, VHF, dan UHF. Antena Yagi terdiri dari sejumlah dipol linier yang mana catuan langsung dari saluran transmisi hanya terhubung ke satu elemen, sementara elemen lain bersifat *parasitic*.

Antena Yagi memiliki beberapa elemen penyusun seperti *driven*, *reflector*, dan *director*. *Driven* merupakan inti dari antena Yagi karena merupakan elemen yang akan membangkitkan gelombang elektromagnetik menjadi sinyal yang akan dipancarkan. *Driven* umumnya berupa antena dipol. *Reflector* atau pemantul berfungsi agar semua pancaran radiasi mengarah ke depan, sementara *director* berfungsi sebagai pengarah. Jumlah *director* pada antena Yagi dapat beragam yang disesuaikan dengan kebutuhan. Panjang dan diameter dari setiap elemen *director* pada antena Yagi dapat berbeda tidak harus selalu *uniform*. Jarak antar elemen *director* berkisar antara  $0,3\lambda - 0,4\lambda$ , yang mana  $\lambda$  merupakan panjang gelombang di udara. Panjang dari *driven* umumnya kurang dari  $\lambda/2$  (berkisar antara  $0,45\lambda - 0,49\lambda$ ), sementara panjang *director* sebesar  $0,4\lambda$  sampai  $0,45\lambda$ . Jarak antara *driven* ke elemen *director* terdekat maksimum sebesar  $0,25\lambda$  [13].

### C. Antena Cetak

Antena cetak merupakan salah satu modifikasi atau cara agar suatu antena dapat berbentuk *compact*. Antena ini umumnya dicetak ke dalam suatu medium

berupa bahan substrat dielektrik dengan nilai permitivitas relatif tertentu. Semakin besar nilai permitivitas relatif suatu bahan, maka dimensi antena akan semakin kecil, dan berlaku juga sebaliknya sesuai dengan persamaan (1)

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

dimana  $\lambda_g$  adalah panjang gelombang pada suatu bahan,  $c$  adalah kecepatan gelombang di udara, dan  $f_r$  adalah frekuensi resonansi antena.

## III. PERANCANGAN DAN SIMULASI ANTENA

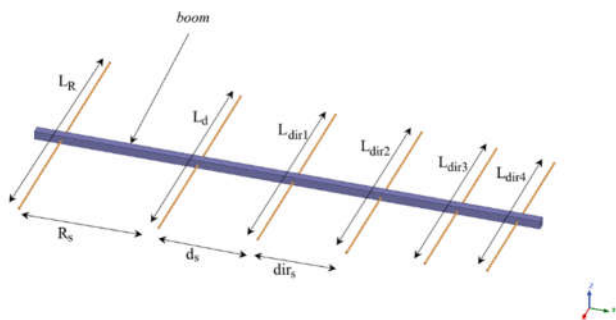
### A. Kriteria Perancangan

Antena yang dirancang terdiri dari antena Yagi konvensional dan antena Yagi cetak untuk melihat perbandingan dari segi ukuran maupun kinerjanya. Antena ini dirancang untuk memenuhi kriteria yang dibutuhkan pada aplikasi sensor petir yang meliputi frekuensi kerja, koefisien refleksi, *gain*, dan pola radiasi. Antena Yagi dan antena Yagi cetak dirancang pada frekuensi tengah sebesar 150MHz, koefisien refleksi  $< -10\text{dB}$ , *gain* diatas  $7\text{dBi}$ , dan pola radiasi *directional*.

### B. Konfigurasi Antena Yagi

Geometri antena Yagi yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk menyangga elemen-elemen antena, terdapat suatu bahan melintang yang ditempatkan di sepanjang pusat elemen yang disebut *boom*.

Antena Yagi ini terdiri dari *driven*, *reflector*, dan empat buah elemen *director*. Jumlah elemen *director* akan mempengaruhi *gain* antena [14]. Semakin banyak elemen *director* maka *gain* antena akan semakin tinggi, namun dimensinya akan semakin besar pula. Elemen-elemen antena terbuat dari pipa berbahan tembaga dengan diameter 6,35mm, sedangkan *boom* terbuat dari bahan aluminium. Panjang semua elemen *director* berbeda. Antena terhubung dengan konektor dengan impedansi sebesar  $50\Omega$  pada *driven* untuk pencatuan. Dimensi awal masing-masing elemen antena Yagi ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Geometri rancangan antenna Yagi

Tabel 1. Variabel fisik rancangan awal antenna Yagi

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
$L_R$	$0,5\lambda$	$L_{dir4}$	$0,325\lambda$
$L_d$	$0,45\lambda$	$R_s$	$0,225\lambda$
$L_{dir1}$	$0,4\lambda$	$d_s$	$0,15\lambda$
$L_{dir2}$	$0,375\lambda$	$dir_s$	$0,25\lambda$
$L_{dir3}$	$0,35\lambda$	$L_{boom}$	$1,125\lambda$

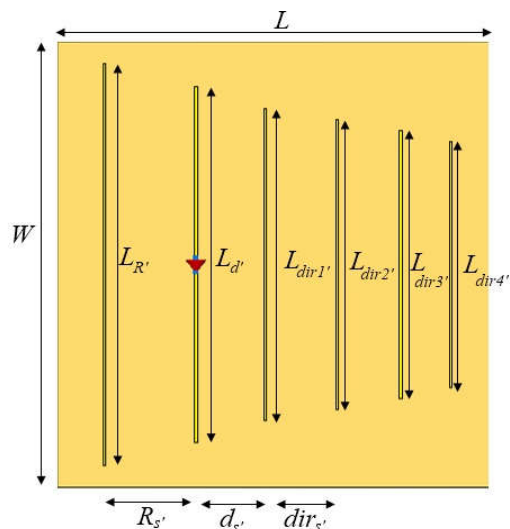
### C. Konfigurasi Antena Yagi Cetak

Antena Yagi konvensional yang telah dirancang sebelumnya akan dicetak ke dalam suatu bahan substrat dielektrik yang memiliki permitivitas relatif tertentu. Sementara itu *driven*, *reflector*, dan *director* terbuat dari tembaga. Berdasarkan persamaan (1), dengan frekuensi kerja yang sama, dimensi antena Yagi cetak dapat lebih kecil dari antena Yagi konvensional karena nilai  $\epsilon_r = 1$  (udara) untuk antena Yagi konvensional. Pada perancangan ini jumlah elemen dibuat sama seperti pada antena Yagi konvensional, namun yang berbeda hanya pada dimensi. Selain itu elemen *boom* juga tidak diperlukan pada antena cetak. Antena Yagi cetak yang dirancang diilustrasikan pada Gambar 3.

### D. Simulasi Perancangan Antena

Simulasi perancangan antena menggunakan bantuan perangkat lunak *CST Studio Suite 2019*. Pada proses simulasi ini dilakukan studi parameter untuk mengetahui pengaruh variabel fisik pada kinerja antena yang mencakup koefisien refleksi dan frekuensi resonansi. Antena yang dirancang pertama kali adalah antena Yagi konvensional.

Variabel pertama yang diamati adalah jarak antar elemen *director*. Terdapat beberapa skenario pada kasus ini seperti yang disajikan pada Tabel 2. Pengaruh



Gambar 3. Geometri rancangan antenna Yagi cetak

perubahan jarak antar elemen *director* ( $dir_s$ ) terhadap nilai koefisien refleksi ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario 1 mendapatkan koefisien refleksi terbaik, sedangkan skenario lainnya mendapatkan hasil yang mirip. Namun, skenario 1 memiliki dimensi antena yang sangat besar sehingga skenario 5 yang dipilih karena mempunyai dimensi yang paling kecil dengan kinerja yang cukup baik.

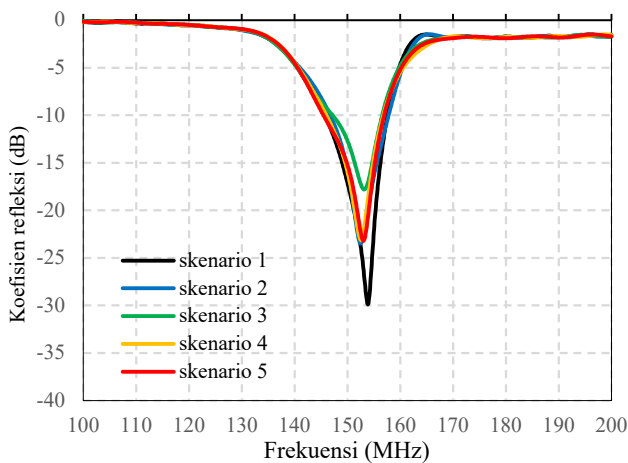
Perubahan variabel yang diamati selanjutnya adalah jarak antara *driven* dengan elemen *director* terdekat ( $d_s$ ). Nilainya bervariasi dari  $0,15\lambda$ ,  $0,165\lambda$ ,  $0,175\lambda$ , dan  $0,2\lambda$ . Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 5, perubahan jarak *driven* ke *director* terdekat berpengaruh pada pergeseran frekuensi yaitu semakin kecil jaraknya, maka frekuensi resonansi akan bergeser ke arah frekuensi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, jarak  $0,2\lambda$  sebesar dipilih karena memiliki koefisien refleksi yang paling baik.

Studi parameter untuk antena Yagi cetak dilakukan dengan mengubah kembali variabel panjang setiap elemen antena Yagi, jarak antar elemen, permitivitas relatif substrat ( $\epsilon_r$ ), dan ketebalan substrat ( $h_s$ ). Hal ini dilakukan karena untuk frekuensi kerja yang sama, dimensi pada antena Yagi cetak dapat lebih kecil dibandingkan antena Yagi biasa. Dimensi antena Yagi yang diperoleh dari hasil optimasi sebelumnya digunakan pada antena Yagi cetak.

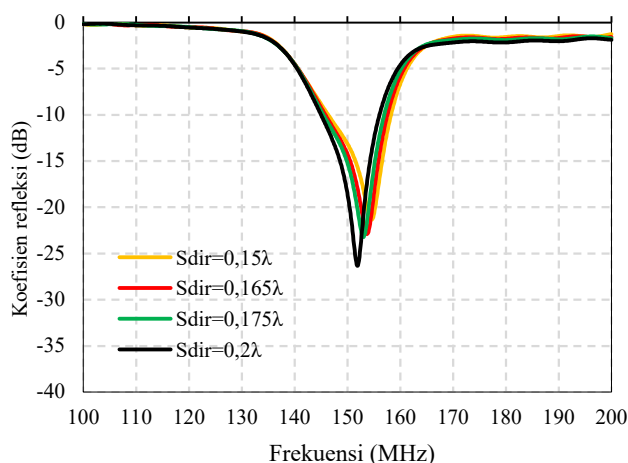
**Tabel 2.** Skenario pada perubahan jarak antar elemen *director* antenna Yagi

Skenario ke -	$dir_{1,2}$	$dir_{2,3}$	$dir_{3,4}$
1	$0,25\lambda$	$0,25\lambda$	$0,25\lambda$
2	$0,25\lambda$	$0,2\lambda$	$0,15\lambda$
3	$0,2\lambda$	$0,15\lambda$	$0,1\lambda$
4	$0,165\lambda$	$0,15\lambda$	$0,135\lambda$
5	$0,165\lambda$	$0,14\lambda$	$0,11\lambda$

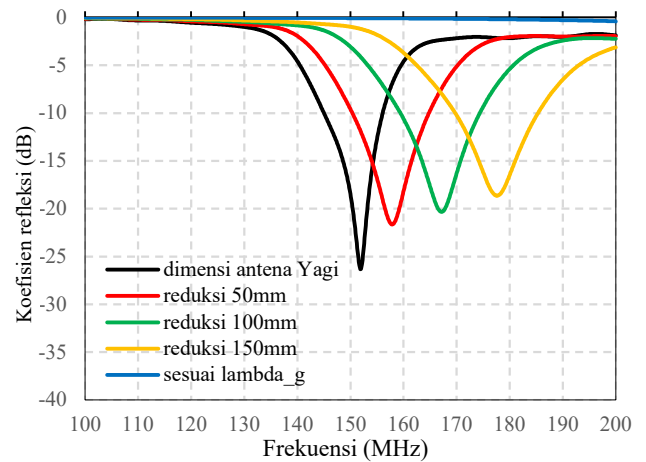
dimana  $dir_{1,2}$  adalah jarak antara *director* 1 dengan *director* 2,  $dir_{2,3}$  adalah jarak antara *director* 2 dengan *director* 3, dan  $dir_{3,4}$  merupakan jarak antara *director* 3 dengan *director* 4.



**Gambar 4.** Pengaruh jarak antar elemen *director* terhadap koefisien refleksi



**Gambar 5.** Pengaruh perubahan jarak *driven* – *director* terdekat terhadap koefisien refleksi

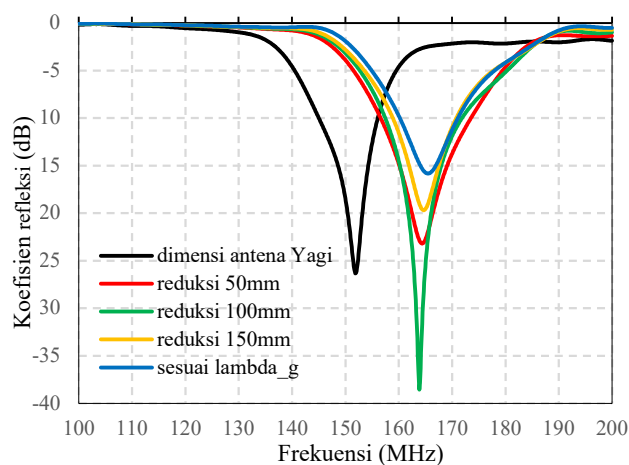


**Gambar 6.** Pengaruh penyesuaian panjang antenna Yagi cetak terhadap koefisien refleksi

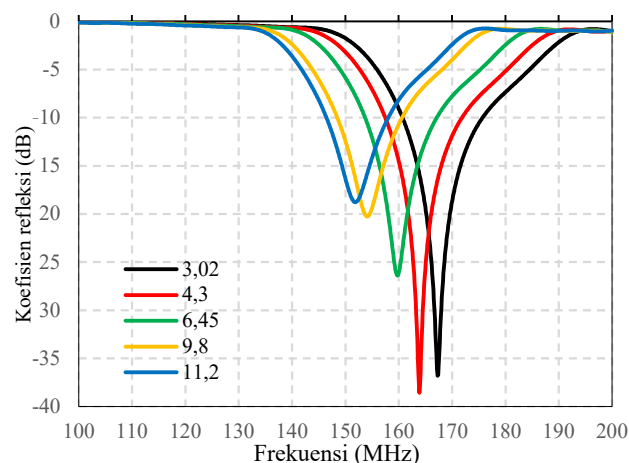
Variabel yang diamati berikutnya adalah panjang setiap elemen. Penyesuaian panjang dilakukan dengan mengurangi dimensi panjang pada antenna Yagi konvensional, sementara lebar setiap elemen ( $w_{el}$ ) sebesar 6,35mm. Substrat awal yang digunakan adalah jenis FR-4 epoxy dengan  $\epsilon_r = 4,3$  dan ketebalan 1,6mm. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 6, semakin kecil ukuran panjang setiap elemen, maka frekuensi resonansi akan bergeser menuju frekuensi yang lebih tinggi. Sementara itu jika panjang setiap elemen mengacu pada persamaan (1), frekuensi akan bergeser menjauh lebih tepatnya pada frekuensi 284MHz. Selain itu, nilai koefisien refleksi juga terpengaruh karena semakin pendek ukuran semakin besar koefisien refleksi. Reduksi 100mm dari ukuran semula dipilih untuk dioptimasi kembali. Hal serupa dilakukan pada pengamatan terhadap jarak antar elemen. Hasil simulasi pada Gambar 7 menunjukkan bahwa perubahan jarak antar elemen mempengaruhi nilai koefisien refleksi. Reduksi 100mm dipilih pada tahap ini karena memiliki koefisien refleksi yang paling baik yaitu sebesar -38,6dB walaupun frekuensi tengah belum terjadi pada frekuensi 150MHz. Oleh karena itu diperlukan optimasi lanjutan.

Variabel terakhir yang diamati adalah nilai permitivitas relatif dan ketebalan substrat. Nilai  $\epsilon_r$  berpengaruh terhadap frekuensi antenna yang mana semakin besar nilai  $\epsilon_r$ , maka frekuensi akan bergeser menuju frekuensi yang lebih rendah seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. Selain itu, nilai  $\epsilon_r$  juga berpengaruh pada nilai koefisien refleksi. Substrat jenis Rogers RO3010 dengan  $\epsilon_r$  sebesar 11,2 dipilih karena

memiliki frekuensi tengah 150MHz dengan koefisien refleksi sebesar -18,8dB. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar.9, tebal substrat juga berpengaruh pada pergeseran frekuensi yang mana semakin tipis substrat, maka frekuensi akan bergeser ke arah yang lebih tinggi. Lebih lanjut lagi, semakin tipis substrat maka semakin kecil koefisien refleksi yang dihasilkan. Dari hasil ini maka dipilih tebal substrat sebesar 1,9mm dengan koefisien refleksi sebesar -17,1dB karena memiliki frekuensi resonansi tepat di 150MHz.

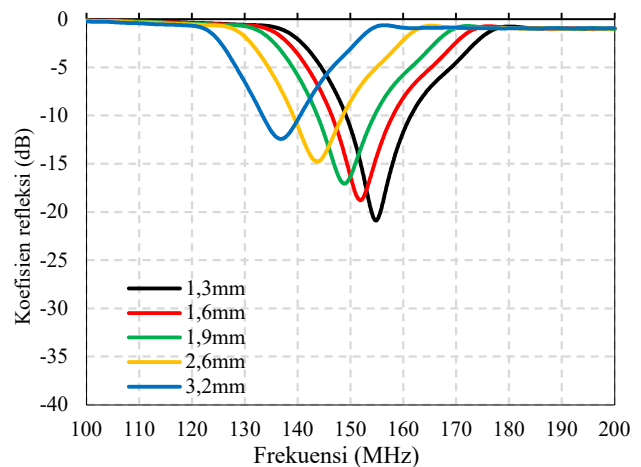


Gambar 7. Pengaruh penyesuaian jarak elemen antenna Yagi cetak terhadap koefisien refleksi



Gambar 8. Pengaruh nilai permitivitas relatif substrat terhadap koefisien refleksi

Variabel fisik rancangan akhir antenna Yagi dan antenna Yagi cetak masing-masing tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 9. Pengaruh ketebalan substrat terhadap koefisien refleksi

Tabel 3. Variabel fisik rancangan akhir antenna Yagi

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
$L_R$	$0,5\lambda$	$L_{dir4}$	$0,325\lambda$
$L_d$	$0,45\lambda$	$R_s$	$0,225\lambda$
$L_{dir1}$	$0,4\lambda$	$d_s$	$0,2\lambda$
$L_{dir2}$	$0,375\lambda$	$dir_s$	skenario 5
$L_{dir3}$	$0,35\lambda$	$L_{boom}$	$0,84\lambda$

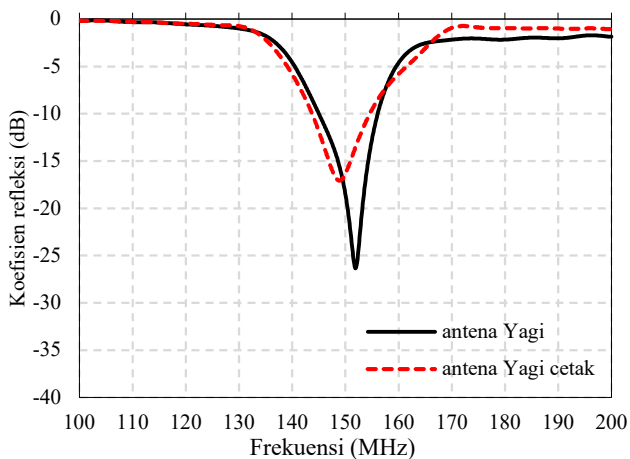
Tabel 4. Variabel fisik rancangan akhir antenna Yagi cetak

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
$L_{R'}$	$0,45\lambda$	$d_{s'}$	$0,125\lambda$
$L_{d'}$	$0,4\lambda$	$dir_{s'}$	$dir_s - 100mm$
$L_{dir1'}$	$0,35\lambda$	$L$	$0,595\lambda$
$L_{dir2'}$	$0,325\lambda$	$W$	$0,47\lambda$
$L_{dir3'}$	$0,3\lambda$	$\epsilon_r$	11,2
$L_{dir4'}$	$0,275\lambda$	$h_s$	1,9mm
$R_{s'}$	$0,175\lambda$	$w_{el}$	6,35mm

#### IV. HASIL PENELITIAN

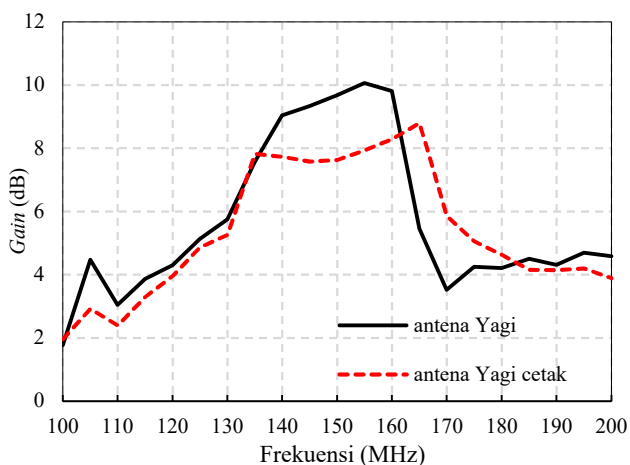
Berdasarkan hasil studi parameter pada sub-bab sebelumnya, karakterisasi antenna Yagi dan antenna Yagi cetak dilakukan dengan meninjau dari beberapa parameter seperti koefisien refleksi, gain, dan pola radiasi. Dimensi akhir antenna Yagi adalah sebesar  $0,84\lambda \times 0,5\lambda$  sedangkan antenna Yagi cetak sebesar  $0,595\lambda \times 0,47\lambda$ . Dengan kata lain antenna Yagi cetak mampu mereduksi ukuran sampai 33,42% dari antenna Yagi biasa. Perbandingan nilai koefisien refleksi hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 10 yang mana dengan ukuran yang berbeda kedua antenna memiliki

frekuensi tengah pada 150MHz. meskipun koefisien refleksi antenna Yagi cetak lebih besar yaitu sebesar -17,1dB dibandingkan antenna Yagi konvensional sebesar -26,3dB.

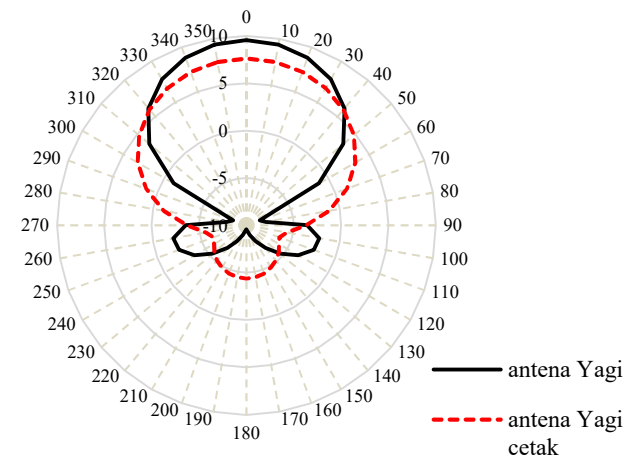


Gambar 10. Karakterisasi berdasarkan nilai koefisien refleksi

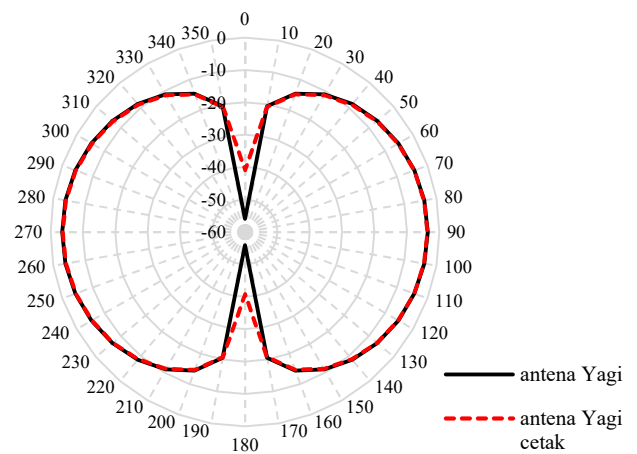
Jika ditinjau dari parameter *gain*, antenna Yagi memiliki *gain* yang lebih besar dibandingkan antenna Yagi cetak. Pada frekuensi 150MHz *gain* antenna Yagi sebesar 9.7dBi sedangkan antenna Yagi cetak sebesar 7,6dBi seperti yang ditunjukkan pada Gambar.11. Sementara *gain* puncak sebesar 10,1dBi untuk antenna Yagi terjadi pada 155MHz, dan 8,8dBi untuk antenna Yagi cetak pada 165MHz atau *gain* berkurang sebesar 12,87%. *Gain* pada antenna Yagi cetak lebih rendah dibandingkan antenna Yagi konvensional dapat juga dipengaruhi oleh rugi-rugi bahan dielektrik.



Gambar 11. Karakterisasi berdasarkan *gain*



Gambar 12. Karakterisasi berdasarkan pola radiasi arah azimuth



Gambar 13. Karakterisasi berdasarkan pola radiasi arah elevasi

Hasil simulasi untuk pola radiasi arah azimuth dan elevasi ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13 secara berurutan. Pola radiasi dari kedua antenna termasuk *uni-directional* meskipun terdapat *side lobe*.

## V. KESIMPULAN

Proses perancangan dan simulasi antenna Yagi dan Yagi cetak telah dilakukan pada penelitian ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada frekuensi kerja yang sama dimensi antenna Yagi konvensional dapat berkurang hingga 33,42% jika menggunakan antenna Yagi cetak. Dari segi kinerja, antenna Yagi memiliki nilai koefisien refleksi sebesar -26,3dB dan *gain* puncak sebesar 10,1 dBi sementara antenna Yagi cetak dapat menghasilkan koefisien refleksi sebesar -17,1dB

dan gain puncak 8,8dBi. Dengan ukuran yang lebih compact dan planar, antena Yagi cetak juga memenuhi kriteria untuk digunakan pada aplikasi sensor petir.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat, dan Penjaminan Mutu Pendidikan (LP3) Institut Teknologi Sumatera yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah penelitian ITERA SMART nomor B/325/IT9.C1/PT.01.03/2019.

### REFERENSI

- [1] C. Price, "Lightning Sensors for Observing, Tracking and Nowcasting Severe Weather," *Sensors*, vol. 8, hal. 157-170, Jan. 2008.
- [2] R. A. Alhalabi dan G. M. Rebeiz, "High-Gain Yagi-Uda Antennas for Millimeter-Wave Switched-Beam Systems," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, hal. 3672-3676, Nov. 2009.
- [3] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda, dan T. Itoh, "Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics," *Electronics Letters*, vol. 34, hal. 2194-2196, Nov. 1998.
- [4] S. Liu, R. Raad, dan F. E. M. Tubbal, "Printed Yagi-Uda antenna array on CubeSat," *11<sup>th</sup> International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, Jan. 2018.
- [5] M. Awais, M. Hamza, dan W. T. Khan, "A Compact Ultra-Wideband Single Element Planar Yagi Antenna," *2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, hal. 1939-1940, Juli. 2018.
- [6] H. Kumar dan G. Kumar, "Compact planar Yagi-Uda antenna with improved characteristics," *2017 11<sup>th</sup> European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, hal. 2008-2012, Mei. 2017.
- [7] L. P. Smith, J. C. Howell, dan S. Lim, "A Size-Reduced, 15-Element, Planar Yagi Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, hal. 2410-2415, April. 2021.
- [8] A. Suryadi, "Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Metoda Franklin pada Politeknik Enjinereng Indorama", *Sinergi*, vol. 21, hal. 219-230, Okt. 2017.
- [9] D. MacGorman dan W. D. Rust, *The Electrical Nature of Storms*, 1<sup>st</sup> ed., Oxford University Press., 1998.
- [10] U. Finke dan O. Kreyer, "Detect and Locate Lightning Events from Geostationary Satellite Observations," *Report Part 1 of Institute für Meteorologie un Klimatologie Universität Hannover*, Sept. 2002.
- [11] S. Uda, "Wireless Beam of Short Electric Waves," *J. IEE (Japan)*, hal.273-282, Mar.1926 dan hal 1209-1219, Nov. 1927.
- [12] H. Yagi, "Beam Transmission of Ultra Short Waves," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, vol. 16, hal. 715-740, Juni.1928.
- [13] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [14] L. Kibona dan A. Sam, "Yagi-Uda Antenna Gain Improvement for Enhanced Reception of DVB-T2 Signals," *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 14, hal. 57-64, 2014.

## Device-to-Device (D2D) Communication Power Control for Interference Management in Existing Cellular Network

Muhammad Putra Pamungkas<sup>1</sup>, Luluk Muthoharoh<sup>2</sup>, Reni Permatasari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Electrical Engineering Dept., Faculty of Science and Technology, University of Nahdlatul Ulama Lampung

<sup>2</sup>Statistic Dept., Faculty of Science, Sumatra Institute of Technology

<sup>3</sup>Data Science Dept., Faculty of Science and Technology, University of Nahdlatul Ulama Lampung

\*muhammadputra@unulampung<sup>1</sup>, \*renipermatasari@unulampung.ac.id<sup>3</sup>, lulukmuthoharoh@sd.itera.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*Increasing the number of service users every time requires progress in service quality. One of the technologies that continue increasing the capacity of the service network is Device-to-Device (D2D) communication. The aim of this study is to focus on the management of communication interference by controlling the output power (power control) on the cellular device. In this study, interference management analysis was performed on a cellular system containing D2D and MUE devices. The scenario we use is in one network, there is one MUE device with 50 D2D devices. The analysis was carried out in the downlink and uplink periods. SINR improvement was done by using the signal power control method on the transmission. This study used two schemes of power control methods, they are fixed power control and adaptive power control. Power control keeps the overall D2d device transmitting power in the environment. The second power control algorithm is adaptive power control, which controls the transmit power of multiple devices in the vicinity of the MUE. The simulation results showed that the power control CDF analysis scheme was still able to increase the SINR by 11.45% and adaptive power control had an increase of 8.65% in the downlink period. And in the uplink period, the SINR value increased to 3.29% with fixed power control and 2.24% with adaptive power control. From the simulation results obtained, we can conclude that the proposed algorithm can manage interference and increase QoS value.*

**Keywords :** Device-to-Device Communication, Interference Management, Power control, SINR, Throughput

### I. INTRODUCTION

The development of information and communication technology is increasing rapidly. One of the rapid developments is felt in cellular telecommunications technology [1]. As the fourth generation began to be held since 2010 [2]. Where the technology in this generation was considered to bring drastic changes from the previous technology so that it is declared as long-term evolution (LTE) technology [3]. One of the advantages of LTE technology is its

large bandwidth so that it can deliver more information[4].

This development cannot be separated from the increasing number of mobile users who continue to increase. Based on 2016 data collected by the Association of Indonesian Internet Service Providers (APJII), the amount of internet penetration in Indonesia is 132.7 million out of a total of 256.2 million people in Indonesia. This is an increase of 88 million penetrations compared to 2014. And 63.1 million penetrations of which are mobile device users[5].

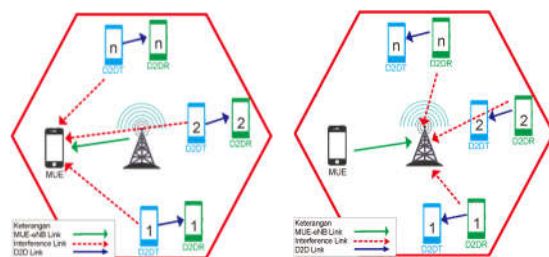


Figure 1. D2D Communications Signal Line

As the number of users continues to increase, the data passing through the communication channel will also increase. An increase in the amount of information passing through the channel will cause the channel to become full and the network service performance will decrease [6]. To ease the workload of the communication channel, the thing that can be done is to bring the source of information closer to the user. As one of the technologies proposed as the next generation of communication technology. The devices ability is storing information (content) and then distributing it to other devices. This technology is called device-to-device communications (D2D)[7].

D2D is a technology that allows user devices to interact with each other directly [8]. Where in the previous technology, a device wanted to contact another device, it had to go through an intermediary, namely BTS. So the innovation of D2D is to reduce the need for devices to connect to BTS, which will improve BTS performance and the overall quality of the cellular network service [9]–[11]. One of the challenges of using this technology is the interference problem caused between D2D communication and conventional cellular communication. Common interference occurs due to the use of the same working frequency or close together [12], [13]. While the most possible solution when the two protocols work on adjacent frequencies is to set the transmitter output power on each device [14]. The illustration of how the D2D devices interfered existing cellular network can be seen in figure 1[15]

The transmit power provided by the transmitter in wireless communication is one of the determinants of service quality [16]. If the power provided is greater, the wider the area of communication coverage will be the same. However, excessive use of power will cause interference or interference to the receiver or transmitter, including interference to adjacent transceivers [17].

Therefore, the aim of this study is to focus on the management of communication interference by controlling the output power (power control) on the device in the cellular. The power control method is to manage the interference in wireless communication. This method manages interference by adjusting the power supply used by a transceiver device. This study will focus on the effect of the application of power control in interference management in terms of the

quality of service (QoS) value which includes the average throughput and SINR value.

## II. LITERATURE STUDY

Y. Zhao, B. Pelletier, and P. Marinier in their research related to D2D Neighbor Discovery communication interference on LTE networks. This aim is to perform interference management and minimize the influence of interference when there is D2D Neighbor Discovery. This research involves several D2D devices using uplink resources. The device discovery process uses the ProSe algorithm. This research was conducted in three different scenarios. First, all eNBs use the same frequency. Second, the frequencies used by the eNB are different. Finally, the frequency allocation is carried out. From this research, the results of interference management are more efficient by using the third scenario [19].

B. Guo and S. Sun in their research related to D2D communication interference management at the cell edge. The purpose of this research is to increase the capacity of the cellular network. The simulation is done by plotting several conventional cellular devices and several D2D devices on a cellular network system. The interference management used is the Interference-Suppression-Area (ISA) algorithm. The result obtained is a significant increase in capacity compared to without interference management using the ISA algorithm [20].

Y.V. Lima de Melo et al. in research on several schemes of power control methods in increasing energy efficiency in cellular networks and D2D communications. In this study, two main power control schemes were used, namely soft dropping power control (SDPC), and open-loop power control (OLPC). The results obtained from this study are the SDPC scheme gives better results than the OLPC scheme in the interference management of the cellular network section. While the OLPC scheme is more efficient in the management of interference in D2D communication [21].

N. Lee et al. in this work on the existence of D2D devices in cellular network coverage using stochastic geometry algorithms. The purpose of this study is to find a way for MUE devices to obtain sufficient resources by managing interference from D2D devices as much as possible. The schemes implemented are

centralized power control schemes and distributed power control schemes. The result is that centralized power control schemes can improve the performance of cellular networks, resulting in resources being used for D2D communication. The second scheme does not improve the performance of cellular networks, but it can improve the performance of D2D communication. [22].

A. Abadi in his research related to the management of interference that occurs between D2D communication devices and conventional cellular communication devices. The purpose of this research is to improve network performance in terms of SINR, throughput, and BER. There are two power control schemes used in this study, namely a constant decrease in the interference transmit power and a decrease in the interference power based on the calculation of the average interference value. The result of this research is that the power control method could significantly improve network performance [23].

### III. RESEARCH METHOD

This research was conducted by simulating cellular network conditions using the MatLab R2017a application. The simulation carried out in this study observed the QoS parameters in two periods, namely downlink and uplink. In the simulation using a single cell (single macrocell). Within the scope of the macrocell, MUE and D2D pairs will be placed. The scheme that will be carried out was placing 1 (one) MUE device and n D2D pair devices. The QoS parameters that will be observed in this final project were SINR and throughput. In the downlink QoS scenario, the receiver was MUE, while in the uplink QoS scenario, the receiver was eNB. In each scenario, two methods of analysis would be applied, namely the analysis without and using the power control method.

#### A. Simulation Scheme

To measure the distances between devices several trigonometrics function was used, the functions as follow :

Devices Position Function :

$$UE_x = \cos(\alpha) \times R_{rad} \quad (1)$$

$$UE_y = \sin(\alpha) \times R_{rad} \quad (2)$$

Devices Distances Function :

$$D_{UE \rightarrow BS}(m) = \sqrt{(BS_x - UE_x)^2 + (BS_y - UE_y)^2} \quad (3)$$

$$D_{D2DR \rightarrow BS}(m) = \sqrt{(BS_x - D2DR_x)^2 + (BS_y - D2DR_y)^2} \quad (4)$$

$$D_{D2DT \rightarrow UE}(m) = \sqrt{(UE_x - D2DT_x)^2 + (UE_y - D2DT_y)^2} \quad (5)$$

To calculate the signal to interference ratio (SINR) value use the following functions [24].

Power received by devices (S):

SINR Value in Downlink :

$$SINR_{UE}^{DL}(mW) = \frac{S_{BS>UE}}{\sum_1^k (I_{D2DTk>MUE}) + N} \quad (6)$$

SINR Value in Uplink :

$$SINR_{BS}^{UL}(mW) = \frac{S_{UE>BS}}{\sum_1^k (I_{D2DRk>MUE}) + N} \quad (7)$$

$$SINR (dB) = 10 \times \log(SINR(mW)) \quad (8)$$

Throughput function :

$$C (bps) = B (Hz) \times \log(1 + SINR) \quad (9)$$

#### B. Simulation Parameters

Before the cellular network system simulation modeling is generated, the parameters of the cellular network system are used as follows [25]:

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Nilai
Macrocell Coverage	1000 m
D2D Devices Coverage	100m
BSs Power	46 dB
UE Power	23dB
Frequency Carrier	1800 MHz
Bandwidth	10 MHz
Noise Thermal	-174 dBm/Hz
Distances UE - BS	100 s.d. 600 m
Distance D2D - BS	600 s.d. 900 m
Natural Noise	4E-11 mW

```

Start
Generate:
BS
UE
D2Dpair
Count:
    Distance:
        UE → BS
        D2D → UE, BS
    Power Gain:
        UE → BS
        BS → UE
    Interferences:
        SINR
End
    
```

Figure 2. Simulation Algorithm to Generate Cellular Ecosystem

```

Start
Generate Cellular Ecosystem
For AC = 1 : D2D Pair
    If d_D2Dpair < 500
        Power Transmit -1
Calculate :
    Interference :
        SINR
        Throughput
End
    
```

Figure 4. Adaptive Power Control Algorithm

C. Power Control Algorithm

1. Fixed Power Control (FPC)

In this schema, the transmission power control of D2D Devices was carried out by constantly lowering the transmit power on the interference devices. Fixed Power Control algorithm could be seen in Figure 3 below.

```

Start
Generate Cellular Ecosystem
For FC = 1 : D2D Pair
    Power Transmit -1
Calculate :
    Interference :
        SINR
        Throughput
End
    
```

Figure 3. Fixed Power Control Algorithm

2. Adaptive Power Control (APC)

In this model, transmission power control was carried. The value presented were the average value of SINR and throughput in five simulations with five samples of D2D devices from each simulation. In the simulation 50 D2D devices were used. The table showed the comparison of the average values of SINR and throughput of the five simulations. The average value of SINR without power control was 34.29 dB. SINR with fixed power control was 34.45 dB, while SINR with adaptive power control was 34.35 dB. It shows that interference management with FPC method has the highest SINR value than APC. With FPC method SINR increased by 0.16 dB while APC increased SINR by 0.06 dB. By lowering the power on D2D devices at a radius of 500 meters from the MUE.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Downlink Period

The analysis in this scheme was an analysis carried out from observations on the MUE device in the system. The analysis carried out on the QoS parameters of a cellular network were the SINR value and the throughput value. In the simulation, the number of interferers namely D2D pairs, will be generated gradually increasing and the MUE device remains one device. It was assumed that the frequency used by the MUE device in conventional cellular network communication was the same as the frequency used in D2D communication. The following was a graph of the SINR value against the number of D2D that occurs. The increasing value also occurred in the aspect of throughput. The increase in the highest throughput value using the FPC with an increase of 0.067 Mbps, while the APC has an increase of 0.025 Mbps. Overall, FPC Algorithm has better management than the APC algorithm.

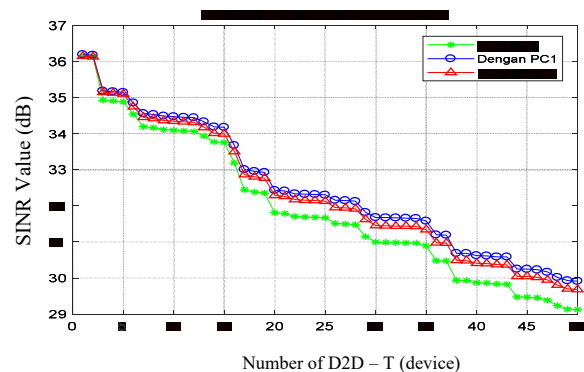


Figure 5. SINR vs D2D Devices in downlink period

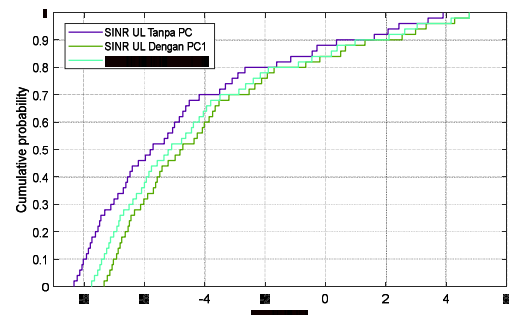
**Table 2.** Average QoS in Downlink Period

No.	Power Control Scenario	SINR (dB)	Throughput (Mbps)
1	Without Power Control	34.29	51.41
2	Fixed Power Control	34.45	51.47
3	Adaptive Power Control	34.35	51.43

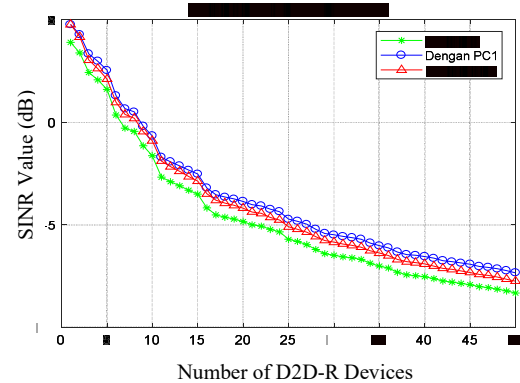
Figure 6 was a graph of the SINR value of the MUE in the form of the CDF value after fitting the curve with Matlab processing. Figure 6 showed that in achieving the SINR value of 32 dB the scheme without using the power control method was 51.91%. While the scheme using the fixed power control and adaptive power control was able to improve the SINR value obtained previously by using fixed power control the probability of SINR 32 dB was 39.46%, and adaptive power control the probability is 43.35%. This showed that the fixed power control was able to manage interference better than the adaptive power control, with a decreased probability of the SINR value 32 dB from fixed power control and adaptive power control respectively 11.45% and 8.65% compared to SINR value without using the power control method.

### B. Uplink Period

The second simulation scheme were an observation and analysis scheme in the uplink transmission period. In this scheme, we used a network system from the same simulation results as the first scheme. During the uplink period, the device would receive the most interference was the eNB. During the uplink period, apart from MUE transmitting to the eNB, D2D-R devices also transmitted to D2D-T. So the transmission power released by D2D-R will interfere with the eNB. The analysis steps used the same steps as the analysis in the downlink period. The following was a graph of the SINR eNB value against the amount of D2D-R:



**Figure 6.** CDF SINR Value Downlink Period



**Figure 7.** The graph of the SINR eNB value against the amount of D2D-R

After obtaining the QoS parameter values in the cellular network system in each scheme, here were the results of the overall analysis. The following table presented the QoS parameter values, namely SINR and throughput on eNB devices used one MUE device as a transmitter, and 50 D2D devices as interfering.

From Table 3, the SINR and throughput values of the uplink period were obtained from the average results of five simulations with three different interference managements. The highest average SINR value was in interference management with power control 1 of 1.05 dB, an increase of 0.93 dB compared to the SINR value without interference management. While the average value of SINR with interference management power control 2 obtained a value of 0.68 dB, an increased of 0.56 compared to without using interference management. With the increase in the average value of SINR, an increase in the throughput value was obtained. The highest increase in throughput after using interference management with power control method 1, an increase of 5.833 Mbps compared to without using

interference management with a throughput of 10.076 Mbps. While the increase in throughput with the power control method 2 was 3,548 Mbps. So that in the uplink period, the most effective interference management was using the power control method 1. The power control 1 method had an average SINR value and throughput was greater than the power control 2 of 0.37 dB and 2.279 Mbps, respectively.

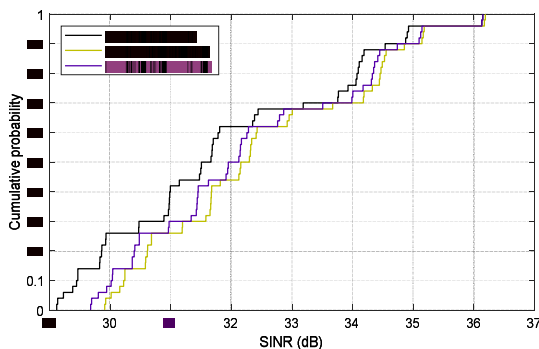


Figure 8. The CDF value of SINR on eNB

Table 3. Average QoS in Uplink Period

No.	Power Control Scenario	SINR (dB)	Throughput (Mbps)
1	Without Power Control	1,21	10.076
2	Adaptive Power Control	2,13	15.903
3	Fixed Power Control	1,68	13.624

Figure 8 showed a graph of the CDF value of SINR on eNB with simulation without and using power control. After fitting the curve, the probability of the SINR value at eNB < 2 dB without using power control was 95.56%, after using power control 1 and power control 2, the probability values were 92.27% and 93.32%, respectively. So that in the uplink period, the fixed power control can improve the SINR by 3.29% and the adaptive power control by 2.24%.

## V. CONCLUSION

This study uses the parameters of the distance between devices, pathloss, and the amount of transmission power. Observations of the Quality of Service (QoS) parameters include the SINR value, and throughput. So based on the simulation results and discussion of this study. It can be concluded that

Interference management using the power control method is able to improve the SINR value and increase the throughput value. Power control keeps the overall D2d device transmitting power in the environment. The second power control algorithm is adaptive power control, which controls the transmit power of multiple devices in the vicinity of the MUE. The simulation results showed that the power control CDF analysis scheme was still able to increase the SINR by 11.45% and adaptive power control had an increase of 8.65% in the downlink period. And in the uplink period, the SINR value increased to 3.29% with fixed power control and 2.24% with adaptive power control.

From the simulation results obtained, we can conclude that the proposed algorithm can manage interference and increase QoS value.

## ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Universitas Nahdlatul Ulama Lampung and Institut Teknologi Sumatera for supporting this research.

## REFERENCES

- [1] O. O. David and W. Grobler, "Information and communication technology penetration level as an impetus for economic growth and development in Africa," *Econ. Res. Istraz.*, vol. 33, no. 1, pp. 1394–1418, 2020, doi: 10.1080/1331677X.2020.1745661.
- [2] S.-Y. Lien, C.-C. Chien, F.-M. Tseng, and T.-C. Ho, "3GPP device-to-device communications for beyond 4G cellular networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 3, pp. 29–35, Mar. 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.7432168.
- [3] E. Kazi, "Long Term Evolution (LTE)," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 36–42, 2013, doi: 10.9790/2834-0733642.
- [4] S. Mumtaz and J. Rodriguez, *Smart device to smart device communication*, vol. 9783319049. 2014. doi: 10.1007/978-3-319-04963-2.
- [5] APJII, "Penetrasi & Profil Perilaku Pengguna Internet Indonesia," 2018.
- [6] J. F. Kurose and K. W. Ross, *Computer Networking*. London: Person Education, 2013.

- [7] A. Asadi, Q. Wang, and V. Mancuso, "A survey on device-to-device communication in cellular networks," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, no. 4, pp. 1801–1819, 2014, doi: 10.1109/COMST.2014.2319555.
- [8] P. Gandotra, R. Kumar Jha, and S. Jain, "A survey on device-to-device (D2D) communication: Architecture and security issues," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 78, pp. 9–29, 2017, doi: 10.1016/j.jnca.2016.11.002.
- [9] M. Devos, A. Ometov, N. Makitalo, T. Aaltonen, S. Andreev, and Y. Koucheryavy, "D2D communications for mobile devices: Technology overview and prototype implementation," *Int. Congr. Ultra Mod. Telecommun. Control Syst. Work.*, vol. 2016-December, no. October, pp. 124–129, 2016, doi: 10.1109/ICUMT.2016.7765344.
- [10] N. O. Nwazor and V. K. Ugah, "Device-To-Device ( D2D ) Data Communications in 5g Networks," no. February, pp. 0–4, 2022, doi: 10.35629/5252-040111511154.
- [11] J. Liu, N. Kato, J. Ma, and N. Kadowaki, "Device-to-Device Communication in LTE-Advanced Networks: A Survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 1923–1940, 2015, doi: 10.1109/COMST.2014.2375934.
- [12] C. B. Das, "A Study on Device To Device Communication in Wireless Mobile Network," *Int. J. Mod. Commun. Technol. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–5, 2015.
- [13] T. Tirupal, "LTE-Advanced Cellular Networks for D2D Communications," *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, vol. 03, no. 18, pp. 3671–3674, 2014.
- [14] J. A. Gutierrez, B. J. Borghetti, and M. A. Temple, "Multiple Frequency Channels," 2022.
- [15] S. Hakola, T. Chen, J. Lehtoma, and T. Koskela, "Device-to-device (D2D) communication in cellular network - Performance analysis of optimum and practical communication mode selection," *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC*, pp. 1–6, 2010, doi: 10.1109/WCNC.2010.5506133.
- [16] M. Liu, G. Wang, G. B. Giannakis, M. Xiong, Q. Liu, and H. Deng, "Wireless Power Transmitter Deployment for Balancing Fairness and Charging Service Quality," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 3, pp. 2223–2234, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2019.2958660.
- [17] T. A. Nugraha, M. P. Pamungkas, and A. N. N. Chamim, "Interference management using power control for device-to-device communication in future cellular network," *J. Telecommun. Inf. Technol.*, vol. 2018, no. 3, pp. 31–36, 2018, doi: 10.26636/jtit.2018.125418.
- [18] P. Liu, C. Hu, T. Peng, R. Qian, and W. Wang, "Admission and power control for Device-to-Device links with quality of service protection in spectrum sharing hybrid network," *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, pp. 1192–1197, 2012, doi: 10.1109/PIMRC.2012.6362527.
- [19] X. Mi, L. Xiao, M. Zhao, X. Xu, S. Zhou, and J. Wang, "Statistical QoS-driven power control and source adaptation for D2D communications," *Proc. - IEEE Mil. Commun. Conf. MILCOM*, pp. 307–312, 2016, doi: 10.1109/MILCOM.2016.7795344.
- [20] B. Guo and S. Sun, "Interference Management for D2D Communications Underlying Cellular Networks at Cell Edge," no. c, pp. 118–123, 2014.
- [21] Y. V. L. De Melo, R. L. Batista, C. F. M. Silva, T. F. Maciel, J. M. B. Da Silva, and F. R. P. Cavalcanti, "Power control schemes for energy efficiency of cellular and device-and-device communications," *2015 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC 2015*, pp. 1690–1694, 2015, doi: 10.1109/WCNC.2015.7127722.
- [22] N. Lee, X. Lin, J. G. Andrews, and R. W. Heath, "Power control for D2D underlaid cellular networks: Modeling, algorithms, and analysis," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–13, 2015, doi: 10.1109/JSAC.2014.2369612.
- [23] A. Abadi, *Manajemen Interferensi Dengan Menggunakan Power Control Untuk Komunikasi Device-To- Device ( D2D ) Dalam Jaringan Komuniiasi Seluler*. Universitas Lampung, 2017.
- [24] A. Irawan, A. Hikmaturokhman, and D.

Pranindito, “Analisis Tekno Ekonomi Perancangan 4G Lte Di Kabupaten Banyumas,” *J. ECOTIPE*, vol. 5, no. 1, pp. 15–32, 2018, doi: 10.33019/ecotipe.v5i1.31.

- [25] M. Baniyadi, B. Maham, and H. Kebriaei, “Power control for D2D underlay cellular communication: Game theory approach,” *2016 8th Int. Symp. Telecommun. IST 2016*, pp. 314–319, 2017, doi: 10.1109/ISTEL.2016.7881832.

## Peningkatan Koefisien Refleksi Antena Mikrostrip 28 GHz dengan *Slit*

Agatha Elisabet<sup>1</sup>, Syah Alam<sup>2</sup>, Indra Surjati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

<sup>2</sup>Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

<sup>3</sup>Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

agatha162012000006@std.trisakti.ac.id<sup>1</sup>, \*syah.alam@trisakti.ac.id<sup>2</sup>, indra@trisakti.ac.id<sup>3</sup>

### INTISARI

Teknologi komunikasi 5G menawarkan kecepatan yang tinggi dan latensi yang rendah, sehingga dibutuhkan antena dengan performansi yang tinggi. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang banyak digunakan saat ini, karena bentuknya yang kecil dan sederhana. Penelitian ini mengusulkan antena mikrostrip *patch* segiempat untuk teknologi 5G yang bekerja pada frekuensi 28 GHz. Antena dirancang menggunakan jenis substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,3; *loss tangen* 0,0265; dan ketebalan substrat (*h*) sebesar 1,6 mm. Pada bagian tepi *patch* dilakukan penambahan 6 buah *slit*. Penambahan *slit* pada *patch* bertujuan untuk mereduksi nilai koefisien refleksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *slit* mampu mereduksi koefisien refleksi sebesar 39,3% pada frekuensi 28 GHz.

Kata kunci: 5G, Antena Mikrostrip, *Slit*, Koefisien Refleksi

### ABSTRACT

*5G communication technology offers high speed and low latency; a high-performance antenna is needed. The microstrip antenna is one of the most widely used antennae due to its small and simple shape. This study proposed a rectangular microstrip patch antenna for 5G technology that works at 28 GHz. The antenna was designed using the FR-4 substrate with a dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) of 4.3; loss tangent of 0.0265; and the thickness of the substrate (*h*) is 1.6 mm. At the edges of the patch, six slits were added. The addition of slits on the patch reduces the reflection coefficient value. This study showed that the slit method reduced the reflection coefficient by 39.3% at a frequency of 28 GHz.*

*Keywords: 5G, Microstrip Antenna, Slit, Reflection Coefficient*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi saat ini semakin pesat, terutama dalam telekomunikasi tanpa kabel (*wireless*). Kebutuhan masyarakat akan kecepatan proses transfer data membuat banyak penyedia jasa telekomunikasi melakukan optimasi jaringan agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan.

Teknologi komunikasi seluler saat ini telah memasuki generasi ke-5 (5G). Teknologi 5G menawarkan kecepatan yang sangat tinggi yaitu 10 Gbps dan latensi di bawah 1 ms (*milliseconds*) [1]. Karakteristik tersebut menghasilkan tiga skenario layanan 5G, seperti *enhanced mobile broadband* (eMBB), *massive machine type communications* (mMTC), dan *ultra-reliable low latency*

*communications* (URLLC) [2]. eMBB merupakan skenario berbasis pengguna untuk mengakses multimedia dan data. mMTC ditujukan untuk perangkat yang terhubung dalam jumlah banyak. Sedangkan URLLC berfokus pada industri otomotif dan medis yang mengandalkan kecepatan dan latensi yang rendah [3].

Berdasarkan regulasi [4], frekuensi kerja sistem komunikasi 5G terbagi menjadi beberapa band, yaitu *low band* 3,5 GHz, *middle band* 15 GHz, dan *high band* 28 GHz. Menurut [5], Indonesia lebih sesuai menggunakan frekuensi *millimeterwave* 28 GHz untuk teknologi 5G. Dengan begitu, dibutuhkan pengembangan lebih lanjut mengenai antena 5G pada pita tersebut.

Teknologi komunikasi 5G sebagai sistem komunikasi *wireless*, membutuhkan sebuah perangkat sebagai medium untuk mengirim maupun menerima informasi (*transmitter* dan *receiver*). Untuk dapat memfasilitasi kebutuhan teknologi telekomunikasi 5G, diperlukan perangkat antena yang mampu menaungi tiga skenario layanan 5G. Salah satu jenis antena yang saat ini banyak digunakan adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan *dielectric*. Antena mikrostrip memiliki kelebihan, yaitu bentuk yang kecil, kompak, dan sederhana. Namun, jenis antena ini memiliki beberapa kekurangan, diantaranya *gain* yang rendah, keterarahan yang kurang baik, efisiensi rendah, rugi-rugi hambatan pada saluran pencatu, dan lebar pita yang sempit [3].

Dalam perkembangan saat ini, perangkat telekomunikasi berkembang dengan ukuran yang semakin kecil dan *compact*, sehingga mudah disimpan dan dioperasikan. Antena mikrostrip sangat sesuai untuk dapat diaplikasikan pada perangkat telekomunikasi yang bentuknya kecil, namun kendala yang terjadi adalah efisiensi *bandwidth*, *gain* yang kecil, serta keterarahan yang kurang baik sehingga kualitas dan *level* penerimaan sinyal tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan perancangan antena agar diperoleh karakteristik antena yang efisien [6].

Beberapa parameter perlu diperhatikan untuk meningkatkan kinerja antena mikrostrip, antara lain VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), *return loss*, pola arah radiasi (*radiation pattern*) dan *gain*. Untuk mencapai nilai parameter yang baik, diperlukan pula metode yang mendukung. Salah satu metode yang digunakan untuk memperbaiki nilai koefisien refleksi ( $S_{11}$ ) adalah penambahan *slit* pada *patch* antena. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [7], menggunakan *rectangular patch array*  $4 \times 1$  dengan *peripheral slit* mampu menghasilkan koefisien refleksi ( $S_{11}$ )  $-59,53$  dB. Namun, frekuensi yang digunakan adalah 3,2 GHz. Penelitian lain dilakukan oleh [8], menggunakan *rectangular patch array*  $2 \times 1$  dengan *inset* dan *slit* pada frekuensi 3,5 GHz mampu menghasilkan nilai  $S_{11}$  sebesar  $-24$  dB.

Penelitian ini membahas mengenai antena mikrostrip *patch* segiempat dengan penambahan *slit* pada frekuensi 28 GHz.

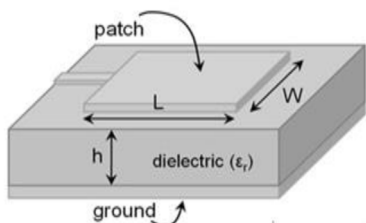
## II. LANDASAN TEORI

### A. Perkembangan Sistem Komunikasi hingga Generasi ke-5 (5G)

Sistem komunikasi seluler terus dikembangkan untuk memenuhi keinginan pengguna yang selalu menginginkan sistem komunikasi yang memiliki kinerja lebih tinggi (lebih cepat, efisien dan efektif). Dalam sejarah sistem komunikasi, setiap generasi memiliki beberapa teknologi utama. Misalnya, sistem 1G menggunakan *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) dan hanya dapat menyediakan layanan suara analog. Sistem 2G menggunakan *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan dapat menyediakan layanan suara digital namun kecepatan data rendah. Sistem 3G menggunakan *Code Division Multiple Access* (CDMA), dapat mencapai kecepatan data puncak dari 2 Mbps hingga puluhan Mbps, dan mendukung layanan multimedia. Untuk Sistem 4G menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDMA), sistem 4G dapat mencapai kecepatan data puncak dari 100 Mbps hingga 1 Gbps, dan mendukung berbagai layanan *mobile broadband* (MBB). Sementara sistem 5G menggunakan *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA). Sistem 5G menyediakan 3 jenis layanan yaitu *eMBB services* (*enhanced Mobile BroadBand*), *URLLC services* (*Ultra-Reliable and Low-Latency Communications*) dan *mMTC* (*massive Machine Type of Communications*). Layanan eMBB adalah layanan yang mampu memberikan kecepatan internet yang sangat tinggi, yakni *downlink* hingga 20 Gbit/detik dan *uplink* hingga 10 Gbit/detik. Layanan URLLC membutuhkan kehandalan tinggi (99,999%) dan *latency*  $< 1$  milidetik. Layanan mMTC ditujukan untuk melayani perangkat serentak dalam jumlah yang banyak (1 juta koneksi per km) [4].

### B. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip terdiri dari suatu konduktor metal yang melekat di atas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan *dielectric*. Antena mikrostrip berukuran ringkas sehingga dapat diaplikasikan untuk antena yang berdimensi kecil. Antena mikrostrip memiliki 4 bagian dasar yaitu *patch*, *substrate*, saluran transmisi, dan *ground plane* [9]-[10].



Gambar 1. Struktur antenna mikrostrip [11]

C. Peripheral Slit

Slit merupakan metode dengan membuat belahan pada bagian pinggir patch. Metode slit umumnya memiliki lebar slit ( $W_s$ ) antara 1 mm – 6 mm. Efek penambahan slit dapat mereduksi patch antenna dan mereduksi koefisien refleksi [8],[12].

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Proses perancangan antenna dilakukan melalui beberapa tahapan. Pada tahap awal, ditentukan frekuensi kerja antenna dan jenis substrat yang akan digunakan. Selanjutnya, menghitung ukuran dimensi patch, dimensi pencatu, dan dilakukan simulasi antenna pada software AWR Microwave Office 2009. Apabila belum didapati hasil simulasi yang baik, maka dilakukan iterasi kembali pada dimensi patch. Jika sudah sesuai, lalu dilakukan penambahan slit pada patch untuk mereduksi koefisien refleksi. Dilakukan iterasi kembali sampai didapati nilai koefisien refleksi yang baik.

B. Desain Antena Mikrostrip

Pada penelitian ini, desain mikrostrip antenna menggunakan model segiempat dengan spesifikasi substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,3; los tangen 0,0265; dan ketebalan substrat (h) sebesar 1,6 mm. Pengukuran dimensi pada antenna mikrostrip segiempat, lebar (W) dapat menggunakan persamaan (1), sedangkan dimensi panjang (L) dapat menggunakan persamaan (2), (3), (4), dan (5) [13]-[14].

$$W = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

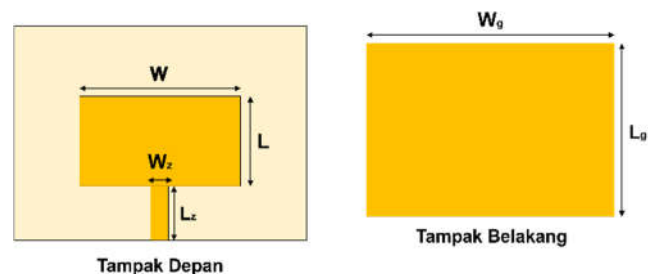
$$L = L_{\text{reff}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$L_{\text{reff}} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (3)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} + [1 + 12 \frac{h}{w}]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\Delta L = 0,412 h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) (\frac{wp}{hp} + 0,264)}{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,258) (\frac{wp}{hp} + 0,8)} \quad (5)$$

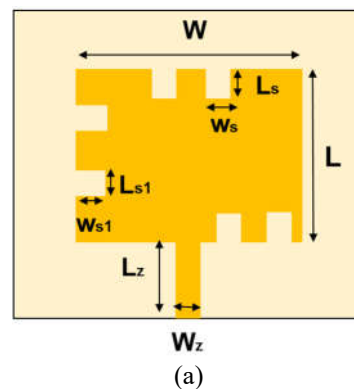
Melalui perhitungan dengan persamaan di atas, maka didapatkan lebar patch 3,2 mm (W), panjang patch 1,4 mm (L), panjang ground plane 5 mm ( $L_g$ ), nilai lebar ground plane 8 mm ( $W_g$ ), nilai panjang pencatu 1,9 mm ( $L_z$ ), dan lebar pencatu 0,6 mm ( $W_z$ ). Desain antenna yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.

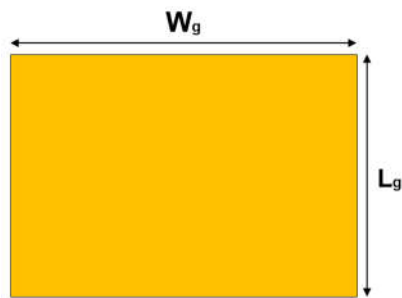


Gambar 2. Desain antenna mikrostrip patch

C. Desain Penambahan Slit

Setelah dilakukan desain pada Gambar 1, dilakukan optimasi pada ground plane, patch antenna, dan penambahan slit. Melalui optimasi tersebut, didapatkan spesifikasi berikut: panjang patch antenna (L) sebesar 3,2 mm, lebar patch (W) 1,6 mm, panjang ground plane ( $L_g$ ) 5 mm, lebar ground plane ( $W_g$ ) 4 mm, panjang slit (LS) 0,3 mm, lebar slit ( $W_s$ ) 0,2 mm, panjang slit kedua ( $LS_1$ ) 0,3 mm, dan lebar slit ( $W_{s1}$ ) 0,2 mm. Struktur desain antenna mikrostrip dengan penambahan slit ditunjukkan pada Gambar 2.





(b)

Gambar 3. Desain antenna mikrostrip patch dengan slit  
 (a) Tampak atas, (b) Tampak bawah

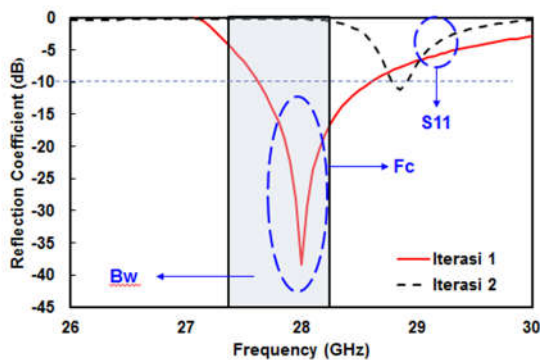
#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dilakukan iterasi pada *ground plane*, dimensi *patch*, dan *slit* untuk mendapatkan parameter yang optimal. Iterasi awal dilakukan perubahan panjang *ground plane* ( $L_g$ ), dan lebar *ground plane* ( $W_g$ ) dengan ukuran *patch* antenna mikrostrip dengan ukuran awal panjang *patch* ( $W$ ) 3,2 mm, dan lebar *patch* ( $W$ ) 1,4 mm. Proses iterasi *ground plane* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Iterasi *ground plane*

Iterasi Ke-	Ukuran (mm)	
	Panjang ( $L_g$ )	Lebar ( $W_g$ )
Desain awal	8 mm	5 mm
Iterasi 1	5 mm	4 mm

Pada Tabel 1 dilakukan iterasi panjang ( $L_g$ ), dan lebar ( $W_g$ ) pada *ground plane*. Hasil perbandingan parameter desain awal dan proses iterasi dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.



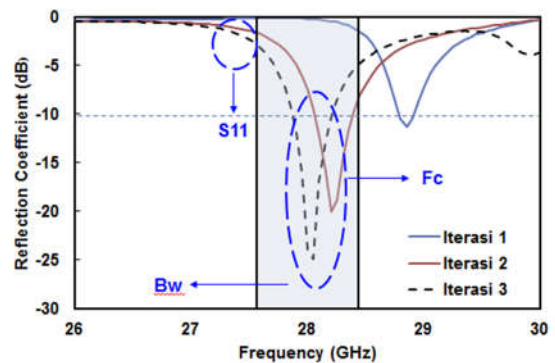
Gambar 4. Grafik iterasi *ground plane*

Pada Gambar 4, didapatkan parameter frekuensi desain antenna awal pada 28,8 GHz dengan koefisien refleksi -11,06 dB. Namun, setelah dilakukan proses iterasi ke-1 pada ukuran *ground plane* didapatkan parameter frekuensi 28 GHz dengan koefisien refleksi -38,35 dB. Pada iterasi ke-1 mengalami penurunan nilai koefisien refleksi. Selanjutnya dilakukan iterasi pada ukuran *patch* desain antenna awal. Proses iterasi *patch* antenna dipaparkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Iterasi *patch* antenna

Iterasi Ke-	Ukuran (mm)		
	Ground Plane	Panjang (L)	Lebar (W)
Iterasi 1	8 × 5	3,2	1,4
Iterasi 2	5 × 4	3,2	1,6
Iterasi 3	5 × 4	3,9	1,6

Pada Tabel 2 dilakukan iterasi *patch* antenna awal dengan menambah ukuran panjang ( $L$ ) 3,2 mm menjadi 3,9 mm pada iterasi ke-3. Kemudian ukuran lebar ( $W$ ) awal sebesar 1,4 mm menjadi 1,6 mm pada iterasi ke-2. Grafik perbandingan desain awal dengan iterasi dapat dilihat melalui Gambar 5.



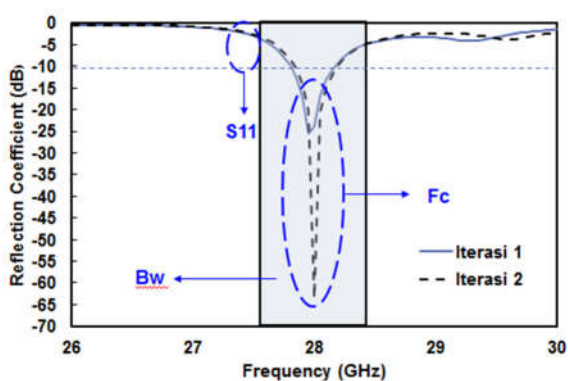
Gambar 5. Grafik iterasi *patch* antenna

Pada Gambar 5 didapatkan parameter iterasi ke-1 frekuensi 28.8 GHz, koefisien refleksi -11.6 dB, dan *bandwidth* 123 MHz. Iterasi ke-2 didapati frekuensi 28.2 GHz, koefisien refleksi -19.95 dB, dan *bandwidth* 332 MHz. Sedangkan iterasi ke-3 didapati frekuensi 28 GHz, koefisien refleksi -23.96 dB, dan *bandwidth* 342 MHz. Pada iterasi ke-3 dengan desain tanpa *slit* telah didapati nilai koefisien refleksi  $\leq -10$ . Namun, dilakukan penambahan *slit* untuk mendapatkan nilai koefisien refleksi yang lebih baik. Proses iterasi *slit* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Iterasi *slit*

Iterasi Ke-	Ukuran (mm)			
	Lebar (Ws)	Panjang (Ls)	Lebar (Ws1)	Panjang (Ls1)
Iterasi 1	0,2	0,4	0,4	0,2
Iterasi 2	0,2	0,3	0,3	0,2

Pada Tabel 3 dilakukan proses iterasi ukuran panjang (Ls) pada *slit* dengan 0,3 mm dengan lebar *slit* (Ws) 0,2 mm, dan 0,2 mm pada panjang (Ls1) dengan lebar *slit* (Ws1) 0,2 mm. Grafik hasil perbandingan iterasi ke-1 dan 2 ditunjukkan pada Gambar 6.

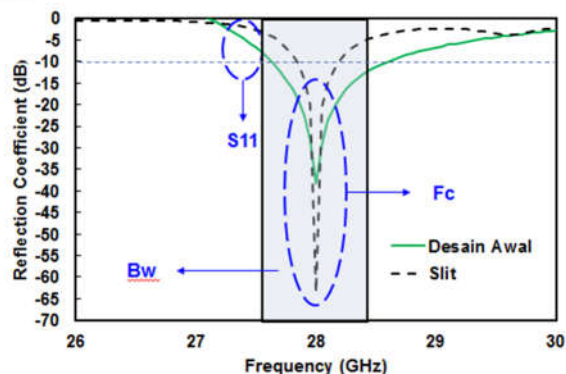


Gambar 6. Grafik iterasi panjang *slit*

Pada Gambar 6 didapatkan iterasi ke-1 frekuensi 28 GHz, koefisien refleksi -23,79 dB, dan *bandwidth* 416 MHz. Iterasi ke-2 frekuensi 28 GHz, koefisien refleksi -63,40 dB, dan *bandwidth* 402 MHz dari proses iterasi penambahan *slit*. Perbandingan desain awal dan setelah optimasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan desain awal dengan penambahan *slit*

Iterasi Ke-	Ukuran (mm)		
	Frekuensi	Koefisien Refleksi	BW
Desain Awal	28 GHz	- 38,35 dB	968 MHz
Miniaturisasi dan Slit	28 GHz	- 63,40 dB	399 MHz



Gambar 7. Perbandingan desain awal dengan penambahan *slit*

Gambar 7 menunjukkan hasil perbandingan desain awal dengan penambahan *slit*. Pada desain awal didapati koefisien refleksi sebesar -38,35 dB dengan *bandwidth* 968 MHz. Namun, setelah dioptimasi didapati koefisien refleksi sebesar -63,40 dB dengan *bandwidth* 399 MHz. Hal ini membuktikan penambahan *slit* berhasil mereduksi nilai dari koefisien refleksi.

Tabel 5. Perbandingan koefisien refleksi antenna dengan beberapa metode

Ref.	Metode	Parameter	
		Frek.	Koefisien Refleksi
[2]	<i>Inset feed</i>		-22,50 dB
[15]	<i>U-slot</i>		-29,38 dB
[16]	<i>Inset feed</i>		-36,17 dB
[17]	112 elemen peradiasi	28 GHz	-44,77 dB
	Antena yang diusulkan		-63,40 dB

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah dilakukan perancangan dan simulasi antenna mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 28 GHz dengan koefisien refleksi sebesar -63,40 dB. Penambahan 6 buah *slit* pada *patch* antenna mampu mereduksi koefisien refleksi dari -38,35 dB menjadi -63,40 dB. Penerapan metode *slit* mampu memperbaiki koefisien refleksi sebesar 39,3% dari desain awal tanpa *slit*. Selain itu, metode ini juga mampu mereduksi ukuran *ground plane* dari 8×5 mm menjadi 5×4 mm.

**Tambahan :** Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.

#### REFERENSI

- [1] A. F. S. Admaja, "Kajian Awal 5G Indonesia (5G Indonesia Early Preview)," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 13, no. 2, p. 97, 2015, doi: 10.17933/bpostel.2015.130201.
- [2] R. Przesmycki, M. Bugaj, and L. Nowosielski, "Broadband microstrip antenna for 5g wireless systems operating at 28 ghz," *Electron.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/electronics10010001.
- [3] Dinas Kominfo, *Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 Spektrum Outlook dan Use Case untuk Layanan 5G Indonesia*. 2018.
- [4] Dinas Kominfo, "Kajian Lanjutan 5G Indonesia," *Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Inform. Badan Penelit. dan Pengemb. Sumber Daya Mns. Kementeri. Komun. dan Inform.*, p. iii, 2016.
- [5] A. Hikmaturokhman, K. Ramli, and M. Suryanegara, "Spectrum Considerations for 5G in Indonesia," *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDEv 2018*, pp. 23–28, 2018, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706874.
- [6] V. A. Sankar Ponnappalli, K. D. Reddy, and S. Aqeel, "Parametric Study and Analysis of Microstrip Patch Antenna with Multiple Slit Positions," *Carpathian J. Electron. Comput. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–4, 2020, doi: 10.2478/cjece-2020-0001.
- [7] M. Zulfadli, I. Surjati, and Gunawan Tjahjadi, "Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segiempat Peripheral Slit Menggunakan Metode Array 1x4 Untuk Aplikasi Radar Maritim Frekuensi 3,2 GHZ," *E - ISSN, J. Kaji. Tek. elektro*, vol. 2014, no. April, p. 2014, 2014.
- [8] A. Anindito, A. Putranto, I. Surjati, S. Alam, L. Sari, and R. Vaswani, "Desain Antena Mikrostrip Array 2x1 Elemen dengan Teknik Inset dan Slit untuk Sistem Komunikasi 5G," *J. Telemat.*, vol. 16, no. 1, pp. 18–24, 2021.
- [9] S. Alam, "Antena Mikrostrip Segitiga Dengan Parasitic Untuk Aplikasi Wireless Fidelity," *Ejournal Kaji. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 25–37, 2017.
- [10] I. Surjati, *Antena Mikrostrip: konsep dan aplikasinya*. Jakarta: Universitas Trisakti, 2010.
- [11] A. Pandey, *Practical Microstrip and Printed Antenna Design*. Boston, London: Artech House, 2019.
- [12] R. B. Putra, S. Alam, and I. Surjati, "Perancangan Antena Mikrostrip Segiempat Peripheral Slit untuk Aplikasi 2,4Ghz dengan Metode Pencatuan Proximity Coupled," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, p. 38, 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n1.520.2018.
- [13] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*. Jhon Willy and Sons, 1997.
- [14] S. Alam and I. Kholis, "Perancangan Antena Mikrostrip Dengan Peripheral Slits Untuk Aplikasi Tv Digital the Design of Microstrip Antenna With Peripheral Slits for Digital Tv Application," *J. Tek. dan Ilmu Komput.*, pp. 129–140, 2016.
- [15] F. W. Ardianto, S. Renaldy, F. F. Lanang, and T. Yunita, "Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 1, p. 43, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i1.43.
- [16] M. Darsono and A. R. Wijaya, "Perancangan Antena Planar Frekuensi 28 Ghz Untuk Komunikasi Wireless Pada Teknologi 5G," *TEKTRIKA - J. Penelit. dan Pengemb. Telekomun. Kendali, Komputer, Elektr. dan Elektron.*, vol. 5, no. 2, p. 49, 2021, doi: 10.25124/tektrika.v5i2.3992.
- [17] I. R. Mustofa and Y. Rahayu, "Perancangan Antena Luar Ruangan (Outdoor) Mikrostrip Mimo Rectangular Patch 28 Ghz Untuk Jaringan Komunikasi Nirkabel 5G," *Jom FKTEKNIK - J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, vol. 4, no. 2, pp. 1–23, 2017.

## Penerapan dan Analisis Perbandingan Metode Antrian Jaringan (*Network Queuing*) pada Jaringan *Local Area Network* Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Muh. Aristo Indrajaya<sup>1</sup>, Rizana Fauzi<sup>2</sup>, Hajra Rasmita Ngemba<sup>3</sup>, Syaiful Hendra<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

\*aristo90c@gmail.com<sup>1</sup>, rfauzi86@gmail.com<sup>2</sup>, hajra.rasmita@gmail.com<sup>3</sup>, syaiful.hendra.garuda@gmail.com<sup>4</sup>

### INTISARI

Membanjirnya konten yang diakses oleh civitas akademika di lingkungan kampus menuntut kinerja jaringan yang handal, terutama dalam menangani beban trafik data yang tinggi. Seringkali yang terjadi adalah ketika beban trafik data meningkat, kualitas layanan data yang dapat diberikan akan menurun. Hal ini tentu saja berdampak buruk, terutama layanan komunikasi yang membutuhkan kehandalan tinggi seperti layanan VoIP atau *video conference*. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu diterapkan suatu metode antrian data yang mampu mengatur distribusi beban lalu lintas data secara efektif dan mampu bekerja dengan baik di segala kondisi beban lalu lintas. Penelitian ini akan mensimulasikan jaringan komputer lokal yang berada di Fakultas Teknik Universitas Tadulako menggunakan tiga jenis metode antrian trafik data yaitu *First In First Out* (FIFO), *Priority Queuing* (PQ), dan *Weighted Fair Queuing* (WFQ) dimana tiga protokol akan diuji untuk mengelola tiga jenis layanan yang sering digunakan, antara lain layanan konferensi video, *Voice Over Internet Protocol* (VoIP), dan *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) dalam kondisi beban trafik tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode PQ memiliki keunggulan dalam menangani beban trafik data yang tinggi.

Kata kunci: *Delay, Delay Variation, End-to-End Delay, FIFO, Local Area Network, PQ, Queue, Traffic Dropped, WFQ*

### ABSTRACT

*The flood of content that is accessed by the academic community in a campus environment demands reliable network performance, especially in handling high data traffic loads. Often what happens is that when the data traffic load increases, the quality of data services that can be provided will decrease. This of course has a bad impact, especially communication services that require high reliability such as VoIP or video conferencing services. To overcome this, it is necessary to apply a data queuing method that is able to regulate the distribution of data traffic loads effectively and is able to work well in all traffic load conditions. This study will simulate a local computer network located at the Faculty of Engineering, Tadulako University using three types of data traffic queuing methods, namely First In First Out (FIFO), Priority Queueing (PQ), and Weighted Fair Queueing (WFQ) where the three protocols will be tested. to manage three types of services that are often used, including video conferencing services, Voice Over Internet Protocol (VoIP), and Hypertext Transfer Protocol (HTTP) under conditions of high traffic loads. The results of this study indicate that the PQ method has advantages in handling high data traffic loads.*

*Keywords : Delay, Delay Variation, End-to-End Delay, FIFO, Local Area Network, PQ, Queue, Traffic Dropped, WFQ*

### I. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya konten-konten yang diakses oleh pengguna jaringan telekomunikasi khususnya pada lingkungan akademik di kampus-kampus menuntut infrastruktur jaringan yang

mumpuni dan mampu melayani peningkatan trafik data tersebut. Tanpa hal tersebut, kegiatan civitas akademik tidak akan berjalan dengan baik karena pada faktanya saat ini hampir seluruh sistem layanan akademik, layanan informasi, komunikasi antar pemangku jabatan di kampus, bahkan sampai perkuliahan dijalankan

secara *online* dengan menggunakan infrastruktur jaringan komputer di kampus.

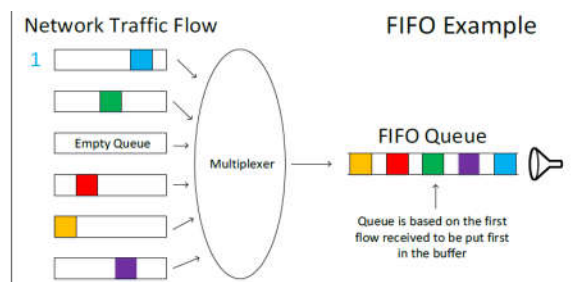
Salah satu masalah yang sering terjadi pada jaringan komunikasi khususnya jaringan komputer di kampus adalah menurunnya kualitas layanan data pada saat beban trafik data yang tinggi. Hal ini akan menjadi masalah yang sangat mengganggu khususnya pada layanan-layanan data yang bersifat *streaming* seperti layanan VoIP yang biasa digunakan oleh pemangku jabatan dan pegawai-pegawai di lingkungan kampus untuk saling berkomunikasi serta layanan *video conference* yang digunakan untuk rapat-rapat dan perkuliahan secara daring. Untuk menanggulangi hal tersebut, maka perlu digunakan metode antrian (*queue*) data yang berfungsi melewatkan data berdasarkan skala prioritas yang ditentukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dan penerapan metode antrian dengan menggunakan aplikasi Opnet Modeler 14.5 pada jaringan lokal Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

Pengujian yang dilakukan menggunakan topologi jaringan Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang ada dan menggunakan tiga metode antrian, yaitu FIFO, PQ, dan WFQ. Ketiganya akan digunakan untuk menangani empat jenis trafik data yang berjalan pada jaringan fakultas, yaitu *Video Conference*, VoIP, dan HTTP. Parameter yang digunakan untuk menguji performa jaringan adalah *delay*, *traffic dropped* untuk performa jaringan secara keseluruhan, *packet end to end delay*, *packet delay variation* untuk layanan *video conference* dan VoIP, *object respon time* untuk HTTP.

## II. LANDASAN TEORI

### A. First in First Out (FIFO)

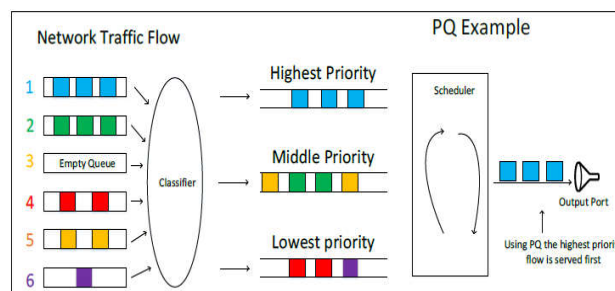
*First-in first-out* (FIFO) adalah mekanisme QoS dasar bahwa semua paket antrian diperlakukan sama di mana mereka ditempatkan dalam satu antrian. Antrian tersebut kemudian disajikan dalam urutan yang sama dengan saat mereka ditempatkan di antrian. Melalui penempatan paket yang masuk dalam satu antrian yang terbatas, maka akan timbul masalah yang serius ketika terjadi kemacetan pada lalu lintas. Ketika terjadi antrian penuh, setiap paket yang masuk akan segera dihapus yang akan mempengaruhi kinerja aplikasi *real-time* seperti VoIP atau *video conference*.



Gambar 1. Mekanisme kerja FIFO

### B. Priority Queueing (PQ)

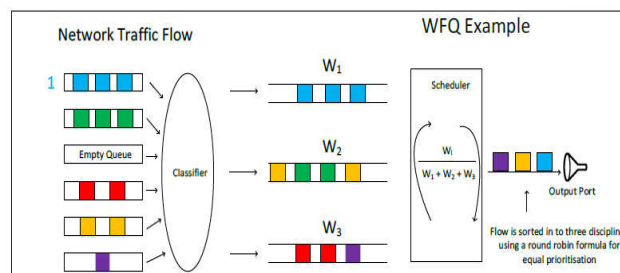
*Priority Queueing* atau yang biasa disingkat PQ digunakan untuk memungkinkan klasifikasi trafik dimana jenis trafik tertentu diberikan prioritas dan yang memiliki prioritas tertinggi akan dilayani terlebih dahulu daripada yang tidak.



Gambar 2. Mekanisme kerja PQ

### C. Weighter Fair Queueing (WFQ)

*Weighter Fair Queueing* atau yang biasa disingkat WFQ merupakan metode pengantrian data yang akan memberikan pembagian *bandwidth* yang adil untuk semua tipe trafik data. Melalui Gambar 3 dapat dilihat bahwa WFQ akan menjamin pembagian *bandwidth* yang sama untuk semua tipe trafik data.

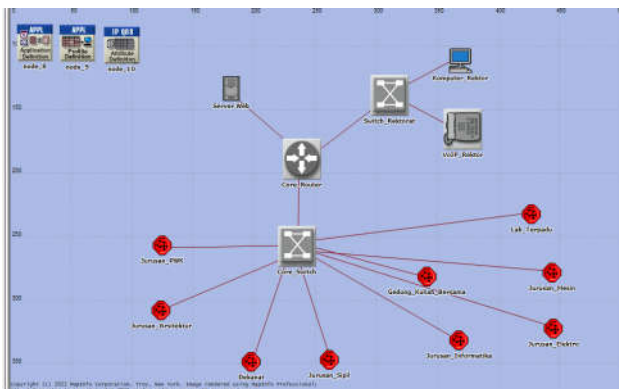


Gambar 3. Mekanisme kerja WFQ

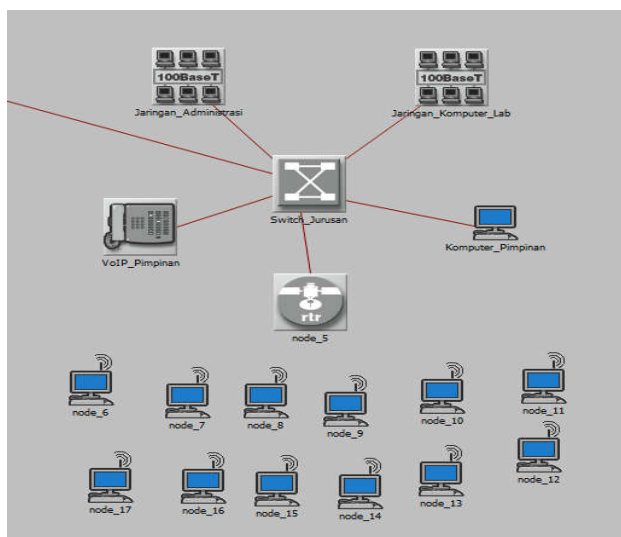
### III. METODE PENELITIAN

#### A. Pemodelan Jaringan

Penelitian ini dilakuan dengan melakukan simulasi jaringan dengan menggunakan topologi asli yang digunakan pada jaringan Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Fakultas Teknik sendiri terdiri dari beberapa jurusan, yaitu Jurusan PWK, Jurusan Arsitektur, Jurusan Sipil, Jurusan Mesin, dan Jurusan Elektro. Semua jurusan tersebut telah memiliki jaringan komputer dan jaringan VoIP masing-masing dengan ditambah jaringan yang digunakan pada layanan administrasi seperti pada dekanat dan jaringan tambahan pada gedung kuliah bersama dan laboratorium terpadu.



Gambar 4. Pemodelan topologi jaringan pada Opnet



Gambar 5. Jaringan salah satu jurusan

Pada jaringan tiap jurusan, selain terdapat jaringan komputer juga terdapat jaringan WiFi yang biasa digunakan oleh para mahasiswa dosen dalam mengakses internet dan semua jaringan tersebut akan dihubungkan oleh sebuah *switch* yang ada pada tiap jurusan.

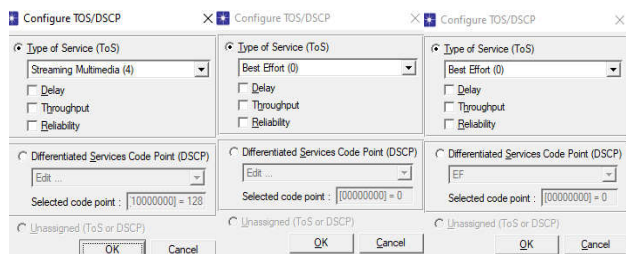
Seluruh *switch* yang ada pada tiap jurusan akan dihubungkan pada sebuah *core switch* yang terhubung dengan sebuah *core router* yang berada di ruang *data center* yang dimiliki oleh Universitas Tadulako. Router tersebut juga akan terhubung dengan *Web Server* yang juga berada di ruang *data center*. Adapun parameter yang digunakan untuk mengukur ketiga metode tersebut antara lain :

1. *Ethernet Delay*  
Parameter ini menunjukkan besarnya penundaan atau *delay* dari node pengirim ke node penerima.
2. *Traffic Dropped*  
Parameter ini menunjukkan besarnya trafik data yang hilang selama proses pengiriman data dalam suatu jaringan.
3. *Packet Delay Variation*  
Parameter ini merujuk pada besarnya variasi *delay* dari node pengirim menuju node penerima untuk layanan *video conference* dan VoIP. *Delay* pada layanan *video conference* dan VoIP diukur dari saat dibuat hingga saat diterima.
4. *Packet End to End Delay*  
Parameter ini merujuk pada waktu yang dibutuhkan melakukan pengiriman data dari satu titik akhir pengguna ke yang lain. Hal ini dapat diukur baik *delay* satu arah atau pulang pergi untuk layanan *video conference* dan VoIP.
5. *HTTP Response Time*  
Parameter ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan untuk melakukan GET HTTP menuju URL yang diinginkan. Sehingga *response time* dihitung dalam tiga bagian , yaitu *time to first byte*, *time to receive headers*, dan *time to load HTML on the site* atau waktu yang dibutuhkan untuk membuka layanan HTML pada suatu URL.

#### B. Skenario Pengujian

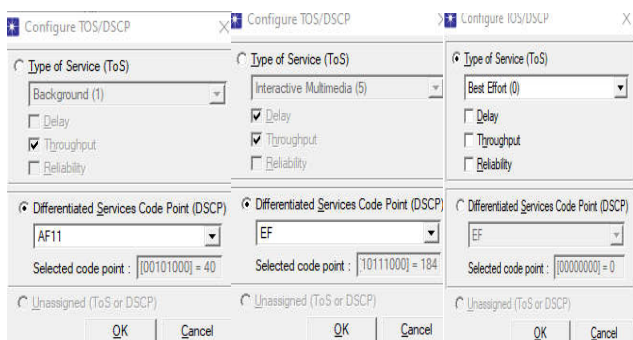
Pengujian tiga metode antrian, yaitu FIFO, PQ, dan WFQ akan dilakukan dengan dua skenario. Pada skenario pertama, seluruh tipe data akan menggunakan nilai prioritas yang sama trafik data hanya akan

dibedakan berdasarkan pada tipe layanan (*type of service*) yang digunakan.



Gambar 6. Konfigurasi *type of service* pada setiap trafik data

Setelah skenario pertama berhasil dijalankan, maka pengujian berlanjut pada skenario kedua. Pada skenario kedua ini, trafik VoIP akan mendapatkan prioritas yang paling tinggi yaitu EF (*Expedited Forwarding*), sedangkan trafik *video conference* akan menempati prioritas kedua yaitu AF11 (*Assured Forwarding*) dan trafik web akan memiliki prioritas terakhir atau *best effort*. Pada skenario kedua ini, metode FIFO juga tidak akan diuji dikarenakan FIFO tidak memiliki kemampuan untuk memprioritaskan trafik data sehingga hanya PQ dan WFQ saja yang akan diuji dalam skenario pengujian ini.



Gambar 7. Konfigurasi prioritas pada setiap trafik data

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah konfigurasi pada setiap skenario selesai dilakukan, maka simulasi ketiga metode antrian pada jaringan Fakultas Teknik dapat dilakukan. Adapun simulasi pada Opnet dengan durasi 20 menit dan hasil simulasi dibagi ke dalam dua hasil berdasarkan dua skenario yang dijalankan. Adapun hasil pengujian pada dua skenario tersebut adalah sebagai berikut:

#### A. Skenario Pertama

Simulasi pada skenario pertama hanya akan melihat *type of service* dari tiga macam trafik data yang diuji tanpa melihat prioritas dari tiap trafik pertama dilakukan berupa nilai rata-rata *ethernet delay* dan *traffic dropped* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil pengukuran *ethernet delay* dan *traffic dropped*

Tipe Antrian	Ethernet Delay (ms)	Traffic Dropped (packet/second)
FIFO	0,289792481	8,38889
PQ	0,042994109	7,90625
WFQ	0,042994267	7,90625

Pengukuran ini mengukur *delay* dan *traffic dropped* secara akumulatif dari semua tipe layanan yang berjalan pada jaringan. Melalui Tabel 1 dapat dilihat bahwa metode FIFO memiliki nilai *ethernet delay* dan *traffic dropped* terbesar dibandingkan PQ dan WFQ. Melalui Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa metode PQ memiliki nilai *ethernet delay* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan WFQ.

Untuk hasil pengukuran pada layanan *video conference* berupa *packet delay variation* dan *end to end delay* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil pengukuran performa layanan *video conference*

Tipe Antrian	Packet Delay Variation (ms)	Packet End to End Delay (ms)
FIFO	8,36957E-09	1,487142539
PQ	2,19565E-09	1,487139002
WFQ	2,19565E-09	1,487142096

Berdasarkan pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa dengan melihat nilai *packet delay variation* dan *packet end to end delay*, metode PQ dan WFQ memberikan hasil performa yang lebih baik dibandingkan FIFO ketika melayani aplikasi-aplikasi *video conference* yang berjalan pada jaringan Fakultas Teknik. Adapun hasil terbaik untuk pengujian ini didapatkan oleh PQ.

Untuk hasil pengukuran pada layanan VoIP dapat dilihat pada Tabel 3 berikut. Adapun parameter yang digunakan adalah nilai rata-rata dari *packet delay variation*, dan *packet end to end delay*.

**Tabel 3.** Hasil pengukuran pada layanan VoIP

Tipe Antrian	Packet Delay Variation (ms)	Packet End to End Delay (ms)
FIFO	1,97826E-09	80,02614661
PQ	1,19565E-10	80,03040724
WFQ	1,19565E-10	80,03040693

Melalui Tabel 3 dapat dilihat FIFO memiliki hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan WFQ dan PQ. Hal tersebut dapat dilihat pada nilai *packet delay variation* dan *packet end to end delay* dimana FIFO justru mampu memberikan nilai yang lebih baik. Hal ini dapat terjadi karena *traffic* VoIP memiliki nilai yang terkecil jika dibandingkan dengan HTTP dan *video conference*. Melalui hasil tersebut juga diketahui bahwa dengan jumlah *traffic* yang kecil disertai dengan *bandwidth* jaringan yang masih besar, FIFO masih mampu memberikan performa yang baik.

Untuk hasil pengujian pada layanan HTTP dapat dilihat pada Tabel 4. Adapun parameter yang digunakan adalah parameter *object response time*.

**Tabel 4.** Hasil pengukuran performa layanan HTTP

Tipe Antrian	Object Response Time (ms)
FIFO	2,257160224
PQ	2,248393918
WFQ	2,24839428

Melalui Tabel 4 dapat dilihat bahwa PQ dan WFQ mampu memberikan hasil performa yang lebih baik dari FIFO dalam merespon layanan HTTP. Hal ini terlihat dari nilai keduanya yang lebih tinggi dibandingkan FIFO. Pada Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa WFQ memiliki nilai terkecil dalam pengujian layanan HTTP ini.

### B. Skenario Kedua

Skenario kedua berfokus pada tipe layanan data yang mendapatkan prioritas tertinggi untuk dilayani, yaitu *video conference* dan VoIP. Untuk hasil pengukuran pada layanan *video conference* dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

**Tabel 5.** Hasil pengukuran layanan video conference pada skenario kedua

Tipe Antrian	Packet Delay Variation (ms)	Packet End to End Delay (ms)
PQ	2,13043E-09	1,487137712
WFQ	3,13043E-09	1,487140703

Melalui hasil yang dilihat pada Tabel 5, terlihat bahwa PQ memberikan performa yang lebih baik dibandingkan WFQ. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa PQ mampu memberikan hasil yang lebih baik ketika menangani data atau layanan yang memiliki nilai prioritas.

Untuk hasil pengujian pada layanan VoIP pada skenario kedua dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

**Tabel 6.** Hasil pengukuran performa layanan VoIP pada skenario kedua

Tipe Antrian	Packet Delay Variation (ms)	Packet End to End Delay (ms)
PQ	1,08696E-10	80,03043117
WFQ	9,78261E-11	80,02821664

Melalui Tabel 5 dapat dilihat bahwa PQ unggul dalam nilai *packet delay variation* sedangkan WFQ unggul pada nilai *packet end to end delay*. Pada layanan yang memiliki nilai prioritas juga terlihat bahwa PQ memiliki nilai *packet delay variation* dan *packet end to end delay* yang lebih rendah dan WFQ memiliki nilai *packet end to end delay* yang lebih rendah.

Hasil pada Tabel 5 juga menunjukkan bahwa konfigurasi *priority* pada PQ memberikan hasil pengukuran *packet end to end delay* dan *packet delay variation* yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan *priority*. Hal ini dapat terjadi karena PQ memang bekerja berdasarkan nilai prioritas yang diberikan pada tipe layanan data sehingga dengan diberikannya prioritas pada setiap tipe layanan data akan meningkatkan kinerja dari PQ dalam mengatur trafik data.

## V. KESIMPULAN

Melalui simulasi yang dilakukan baik pada skenario pertama maupun skenario kedua, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. PQ memiliki keunggulan pada pengukuran *ethernet delay* dan *traffic dropped* serta pula

- memiliki keunggulan dalam menangani *traffic video conference* dan hanya memiliki nilai yang lebih rendah pada pengujian layanan VoIP.
2. PQ sangat unggul dalam mengatur bebrbagai macam layanan dengan trafik data yang besar.
  3. WFQ memiliki keunggulan pada pengukuran layanan HTTP dan FIFO memiliki keunggulan pada pengukuran layanan VoIP.
  4. FIFO memiliki keunggulan dalam menangani beban trafik data yang kecil dengan melihat hasil pengukuran yang ada namun memiliki kelemahan dalam menangani trafik data yang besar. Hal ini menyebabkan FIFO tidak cocok digunakan pada jaringan dengan pertumbuhan trafik (*traffic growth*) yang meningkat secara pesat.
  5. PQ dengan tambahan konfigurasi *priority* pada tipe layanan data akan memberikan hasil yang lebih baik dalam mengatur trafik data yang ada di jaringan LAN Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

#### REFERENSI

- [1] A. Proskochylo, M. Zriakhov and A. Akulynichev, "The Effects of Queuing Algorithms on QoS for Real-Time Traffic in Process of Load Balancing," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2018, pp. 575-580, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632161.
- [2] C. K. Jha, H. Yosef Zorkta, A. H. Al-Saleh and F. Nor-Al-Deen Fakhrow, "New Queuing Technique for Improving Computer Networks QoS," 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/INCET49848.2020.9154045.
- [3] E. F. Cahyadi, "Assessing readiness of IP networks to support H.323 desktop videoconferencing services over various scheduling techniques using OPNET," 2014 *Electrical Power, Electronics, Communicatons, Control and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2014, pp. 105-110, doi: 10.1109/EECCIS.2014.7003728.
- [4] E.F. Cahyadi, P. Sakti, and A. Hikmaturokhman, "Analisis Karakteristik Teori Antrian Pada Aplikasi Wireless Fidelity Menggunakan Opnet Modeler 14.5.", 2015 *Jurnal Buana Informatika*. doi : 6. 10.24002/jbi.v6i4.464.
- [5] E. Cahyadi, R. Cahyani, and A. Hikmaturokhman, "Analisa Karakteristik Teori Antrian pada Jaringan IP Multimedia Subsystem (IMS) Menggunakan OPNET Modeler 14.5", *INFOTEL*, vol. 7, no. 1, pp. 15-22, May 2015.
- [6] J. Xue, Y. Wu, J. Tao and Y. Zhang, "Research on Campus Network Based on QoS Technology," 2020 IEEE 3rd International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP), 2020, pp. 418-423, doi: 10.1109/ICICSP50920.2020.9232073.
- [7] M. Dighriri, A. S. D. Alfoudi, G. M. Lee, T. Baker and R. Pereira, "Comparison Data Traffic Scheduling Techniques for Classifying QoS over 5G Mobile Networks," 2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2017, pp. 492-497, doi: 10.1109/WAINA.2017.106.
- [8] Miguel Barreiros; Peter Lundqvist, "Queuing and Scheduling," in *QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations*, Wiley, 2015, pp.117-142, doi: 10.1002/9781119109136.ch7.
- [9] M. Tabassum, K. M. Tikoicina and E. Huda, "Comparative Analysis of Queuing Algorithms and QoS Effects on the IoT Networks Traffic," 2018 8th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2018, pp. 88-92, doi: 10.1109/ICCSCE.2018.8685009.
- [10] N. Cahyo, S. Sukiswo, and A. A. Zahra, "Evaluasi Kinerja Penjadwalan Weighted Fair Queueing (WFQ) dengan Adaptive Modulation and Coding (AMC) Dalam Jaringan Mobile Wimax," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 126-133, Jun. 2014. <https://doi.org/10.14710/transient.3.2.126-133>.

- [11] S. Mingsong and W. Yuefan, "Optimization in dynamic allocation of network bandwidth campus based on Xen," 2014 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST), 2014, pp. 83-86, doi: 10.1109/IFOST.2014.6991077.
- [12] T. Zaidi and N. N. Dwivedi, "Voice Packet Performance Estimation through Step Network Using OPNET," *2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)*, 2018, pp. 156-160, doi: 10.1109/ICCCS.2018.8586812.

## Implementasi *Voice Recognition* pada Pengendalian Pergerakan Lengan Robot

Ary Anugrah Febriansyah<sup>1</sup>, Henry Candra<sup>2</sup>, Susan Sulaiman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

ary062001600023@std.trisakti.ac.id<sup>1</sup>, henrycandra@trisakti.ac.id<sup>2</sup>, \*susan@trisakti.ac.id<sup>3</sup>

### INTISARI

Di dalam kehidupan manusia yang semakin meningkat dari waktu ke waktu, robot sering digunakan untuk menangani berbagai tugas yang tidak dapat ditangani oleh manusia, seperti di bidang nuklir dan kimia berbahaya. Robot, khususnya jenis lengan robot juga memegang peranan penting dalam proses produksi di dunia industri. Pada penelitian ini, dibangun sebuah lengan robot yang pergerakannya dikendalikan menggunakan suara. Suara manusia memiliki karakter yang berbeda-beda pada setiap individu. Pengenalan suara adalah kemampuan mesin atau program untuk menerima dan memahami perintah lisan dengan cara membandingkan perintah suara dengan suara yang telah disimpan di dalam basis data, agar perintah suara tersebut dapat dikenali. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *Voice Recognition* berbasis Arduino Uno menggunakan modul *voice recognition V3* pada lengan robot yang terdiri dari 4 servo SG90. Pada pengujian yang dilakukan oleh *user* dengan berbagai jarak pengujian yang bervariasi dari 5 cm sampai dengan 30cm, sistem berhasil mengenali suara dengan tingkat keberhasilan rata-rata sebesar 87% dan eror sebesar 13% . Pada pengujian yang dilakukan oleh 2 partisipan yang bukan *user* sistem menunjukkan kinerja yang cukup baik dan diperoleh rata-rata tingkat keberhasilan 9% dan eror 91%. Selisih waktu yang dibutuhkan oleh lengan robot untuk memindahkan *objek* seberat 16 gram dan 30 gram sesuai perintah suara adalah 0,4936 detik.

Kata kunci: Arduino, Lengan Robot, Modul *Voice Recognition V3*, Pengenalan Suara

### ABSTRACT

*In human life that is increasing from time to time, robots are often used to handle various tasks that cannot be handled by humans, such as in the fields of nuclear and hazardous chemicals. Robots, especially types of robot arms also play an important role in the production process in the industry. In this study, a robot arm was built which movements are controlled by using voice. Human voice has different characters for each individual. Voice recognition is the ability of a machine or program to receive and understand spoken commands by comparing voice commands with voices that have been stored in the database, so that the voice commands can be recognized. This study aims to implement Arduino Uno-based Voice Recognition using a V3 voice recognition module on a robot arm consisting of 4 SG90 servos. In tests conducted by user which distances varying from 5cm to 30cm the system succeeded in recognizing voices with an average success rate of 87% and 13% error. In tests conducted by 2 participants who are not in the data base, the performance was quite good with the average success rate of 9% and 91% error. The time difference required by the robot arm to move an object weighing 16 grams and 30 grams according to voice commands is 0.4936 seconds.*

**Keywords:** Arduino, Robot Arm, Voice Recognition Module V3, Voice Recognition

## I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi robot di dalam kehidupan manusia semakin meningkat dari waktu ke waktu. Robot sering digunakan untuk menangani berbagai tugas yang tidak dapat ditangani oleh manusia, seperti di bidang nuklir, kimia, perjalanan ke luar angkasa dan tugas-tugas lain yang dilakukan di

lingkungan yang berbahaya. Saat ini robot juga merupakan bagian yang memegang peranan penting pada proses produksi dalam bidang industri. Robot memiliki banyak kelebihan, di antaranya biaya yang digunakan untuk mengoperasikan robot jauh lebih kecil dibandingkan tenaga manusia dengan fungsi yang sama dan setelah program di input, robot mampu bekerja berulang kali tanpa jenuh dengan akurasi yang tinggi

[1]. Lengan robot merupakan robot yang memiliki lengan seperti manusia, memiliki bentuk lengan-lengan kaku yang terhubung secara seri dan juga memiliki sendi yang dapat berputar, memanjang atau memendek. Tujuan dibuatnya lengan robot adalah untuk membantu pekerjaan manusia [2].

Suara manusia memiliki karakter yang berbeda-beda pada setiap individu, tetapi ada kasus di mana suara yang didengar secara langsung sama dengan individu yang lain [3]. Pengenalan suara (*Voice Recognition*) adalah suatu sistem yang dapat mengidentifikasi seseorang melalui suaranya, *voice recognition* dapat dikatakan sebagai proses di mana mesin atau program menerima, menafsirkan perintah dan menjalankan perintah tersebut [4].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Indra Dwisaputra dkk. pada tahun 2019 dengan judul “Lampu Sein Helm Sepeda Berbasis *Voice Recognition*” diperoleh akurasi sebesar 80% dari 10 kali percobaan [5]. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Anita Rahayu dan Henri pada tahun 2020 dengan judul “Sistem Kendali Rumah Pintar Menggunakan *Voice Recognition Module V3* Berbasis Mikrokontroler dan *IOT*” memiliki akurasi sebesar 100% pada jarak 5 cm, sebesar 61,5% pada jarak 20 cm dan sebesar 30,4 % pada jarak 100 cm [6].

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan di atas, penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan pengendalian lengan robot dengan pengenalan suara menggunakan *Voice Recognition Module V3* berbasis Arduino dengan menghitung tingkat keberhasilan dan eror pada jarak pengujian 5 cm, 15 cm, 25 cm, dan 30 cm. Selain itu akan dihitung pula waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan perintah dengan memindahkan benda *objek* sesuai perintah suara bagi benda objek seberat 16 gram dan 30 gram.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Lengan Robot

Lengan robot adalah robot mekanik yang gerakannya dibuat menyerupai anatomi lengan manusia. Lengan robot memiliki beberapa sendi pergerakan dan pencengkram (*gripper*) yang disesuaikan dengan kebutuhan [7]. Kinematika robot lengan terdiri atas pergerakan rotasi dan translasi. Pada gerakan rotasi yaitu gerakan berputar pada sebuah

sumbu yang tetap, gerakan tersebut dapat berputar pada sumbu  $x$ ,  $y$  maupun  $z$ . Sedangkan pada gerakan translasi, artinya terdapat pergeseran sumbu koordinat pada jarak tertentu dari sumbu koordinat semula. Lengan robot dapat diprogram ulang secara fleksibel oleh pengguna dan pada umumnya dapat dikendalikan dengan menggunakan mikrokontroler yang terhubung ke tiap motor penggeraknya.

### B. Suara

Suara merupakan alat komunikasi paling mendasar bagi manusia. Suara manusia memiliki karakter yang berbeda pada setiap individu [8]. Pengucapan kata yang sama dengan panjang waktu sama mungkin juga memiliki perbedaan ditengah pengucapan, karena adanya perbedaan dari kecepatan kata yang diucapkan. Sesuai batasan sinyal audio, rentang pendengaran manusia yaitu 20 Hz hingga 20.000 Hz. Karena pada dasarnya sinyal audio merupakan sinyal suara yang dapat diproses oleh pendengaran manusia, dimana 20 Hz adalah frekuensi terendahnya dan 20.000 Hz adalah frekuensi tertingginya. Saat ini, dengan adanya perkembangan teknologi, suara tidak hanya digunakan untuk melakukan komunikasi antar manusia tetapi juga dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan perangkat teknologi untuk mempermudah manusia melakukan sesuatu. Pemanfaatan sinyal audio meliputi perekaman, manipulasi sinyal dan reproduksi gelombang suara [9]. Sinyal suara dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Sinyal waktu kontinu dan sinyal waktu diskrit.

Sinyal waktu kontinu terdefinisi untuk setiap nilai pada sumbu waktu  $t$ ,  $t$  adalah bilangan riil dan sinyal waktu diskrit adalah sinyal yang terdefinisi hanya pada nilai waktu diskrit  $n$ , di mana  $n$  adalah bilangan bulat seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

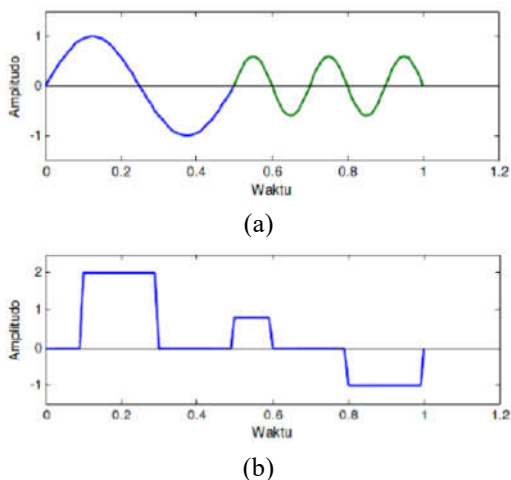


Gambar 1. (a) Sinyal kontinu; (b) Sinyal diskrit

2. Sinyal analog dan sinyal digital

Sinyal analog adalah apabila amplitudo dari data suatu sinyal terus menerus ada dalam rentang waktu tertentu dan mempunyai variasi nilai amplitudo yang tak terhingga. Sedangkan sinyal digital adalah apabila

amplitudo dari suatu sinyal tidak kontinu dan memiliki amplitudo yang terbatas dengan besaran 0 dan 1. Gambar 2 memperlihatkan sinyal analog dan sinyal digital.



Gambar 2. (a) Sinyal analog; (b) Sinyal digital

Discrete Fourier Transform (DFT) merupakan metode transformasi matematis untuk sinyal waktu diskrit ke dalam domain frekuensi, dapat didefinisikan dengan rumus berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

- S(f) = sinyal dalam domain frekuensi
- s(t) = sinyal dalam domain waktu
- $e^{-j2\pi ft}$  = konstanta dari nilai sebuah sinyal
- f = frekuensi
- t = waktu

Penelitian ini digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) yang merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. FFT dipergunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan dengan DFT. Proses perekaman dalam FFT disimpan dalam bentuk gelombang digital berupa gelombang spektrum suara yang berbasis frekuensi sehingga lebih mudah menganalisa spektrum frekuensi suara yang telah direkam [10].

### C. Pengenalan Suara

Pengenalan perintah suara adalah suatu pengendalian perangkat alat elektronik dengan menggunakan perintah suara. Dengan cara tersebut

maka perangkat elektronik dapat bergerak atau dikendalikan dengan perintah suara dari *user*. Tombol tidak diperlukan untuk mengoperasikan perangkat elektronik karena semua dapat dikendalikan oleh suara [11]. Modul pengenalan suara atau *voice recognition* ini dapat digunakan pada banyak aplikasi pengontrolan yang membutuhkan pendeteksian bukan hanya suara melainkan percakapan seperti *home automation* (di mana *user* dapat mengontrol nyala lampu, kunci pintu, televisi, atau perangkat lainnya) atau sebagai modul pelengkap sensor pendengaran pada robot [12].

### D. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor yang dirancang dengan sistem umpan balik tertutup, sehingga dapat diatur posisi perputaran motor. Umpan balik berfungsi untuk memberikan informasi pada rangkaian agar motor bergerak sesuai dengan yang diinginkan. Ada 2 jenis motor servo yaitu *standard* dan *continuous*. Motor servo *standard* hanya mampu berputar 180 derajat, sedangkan motor servo *continuous* dapat berputar 360 derajat [13].

### E. Parameter Kerja Sistem

Pada penelitian ini akan dihitung tingkat keberhasilan dari *Voice Recognition Module V3* dalam mengenali perintah suara yang sudah disimpan ke dalam basis data. Tingkat keberhasilan merupakan ukuran yang digunakan untuk menilai seberapa baik kerja dari sistem [14]. Tingkat keberhasilan dapat dihitung dengan persamaan (2).

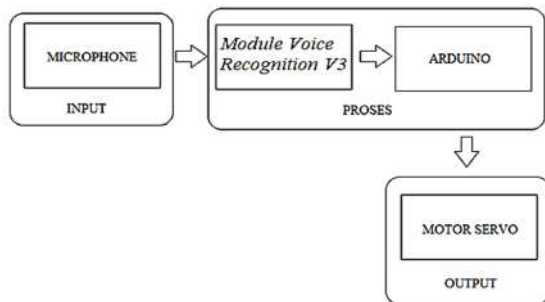
$$\%Tingkat\ keberhasilan = \frac{Jumlah\ keberhasilan}{Jumlah\ percobaan} \cdot 100\% \quad (2)$$

## III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, perancangan alat yang dibuat berupa pembuatan lengan robot yang bergerak mengikuti perintah suara. Proses pengenalan suara terjadi di modul *Voice Recognition V3* dan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3. Terdapat 5 (lima) perintah suara yang akan disimpan ke dalam basis data.

Pengujian akan dilakukan sebanyak 350 kali, terdiri dari masing-masing 10 kali pada setiap perintah suara oleh *user* yang ada dalam basis data dengan jarak pengujian 5 cm, 15 cm, 25 cm, dan 30 cm, 10 kali pada setiap perintah suara yang dilakukan oleh partisipan 1 (pria) yang tidak ada dalam basis data dan 10 kali pada

setiap perintah suara yang dilakukan oleh partisipan 2 (wanita) yang tidak ada dalam basis data, 5 kali pada setiap perintah suara dengan bobot objek seberat 12 gram dan 5 kali pada setiap perintah suara dengan bobot objek seberat 30 gram untuk mendapatkan berapa waktu yang diperlukan lengan robot untuk memindahkan benda dengan bobot yang berbeda. Diagram blok dari sistem yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.

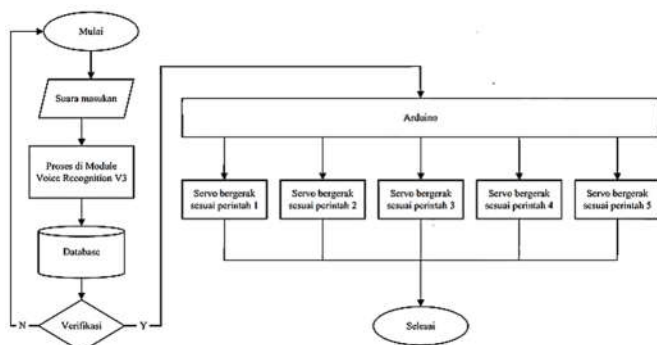


Gambar 3. Diagram blok sistem

Microphone berfungsi memberikan masukan untuk diproses di dalam modul Voice Recognition V3 dan Arduino, jika perintah suara dikenali maka motor servo akan bergerak sesuai dengan perintah suara yang diberikan.

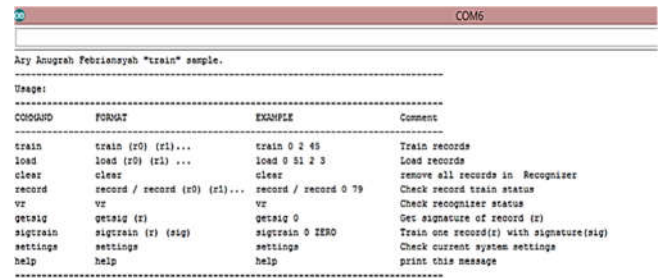
A. Prinsip Kerja Sistem

Diagram alir sistem yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir sistem

Penelitian ini mempunyai beberapa tahapan. Pertama, suara masukan akan diproses oleh modul Voice Recognition V3. Pada tahap ini perintah suara akan di-input dan disimpan kedalam modul Voice Recognition V3 menggunakan software Arduino IDE seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.

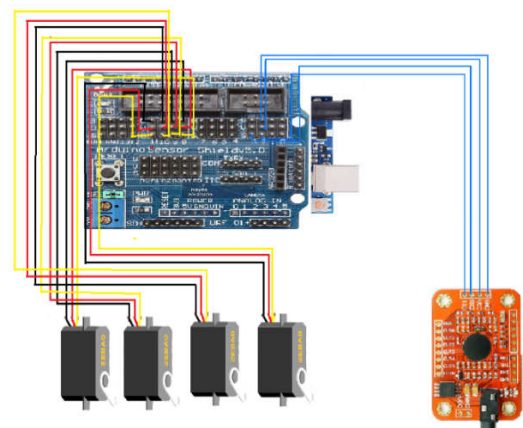


Gambar 5. Tampilan software Voice Recognition Module V3 di Arduino IDE

Setelah suara dicocokkan, jika sesuai dengan yang ada di basis data maka akan diterima Arduino Uno dan memberikan perintah kepada Servo untuk bergerak sesuai perintah suara.

B. Perancangan Rangkaian Alat

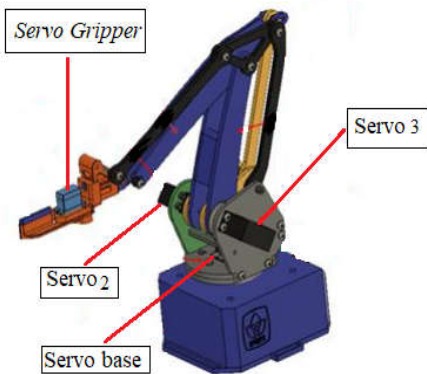
Perancangan rangkaian pada penelitian ini menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan modul Voice Recognition V3 sebagai alat untuk menyimpan perintah suara. Lengan robot menggunakan 4 (empat) servo yang terdiri dari, servo base, servo 2, servo 3 dan servo gripper. Gambar 6 memperlihatkan gambar perancangan rangkaian alat.



Gambar 6. Rangkaian alat

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa pin signal servo base berada di pin 8 Arduino, pin signal servo 2 berada di pin 9 Arduino, pin signal servo 3 berada di pin 10 Arduino, pin signal servo gripper berada pada pin 11 Arduino, untuk modul Voice Recognition V3, RX berada di pin 3 Arduino dan TX berada di pin 2 Arduino. Setelah itu suara yang masuk akan dicocokkan oleh data suara yang ada di basis data. Jika

suara yang dicocokkan sesuai dengan yang ada di basis data maka akan diterima *Arduino Uno* dan memberikan perintah kepada *servo* untuk bergerak sesuai perintah suara. Penelitian ini, lengan robot menggunakan 4 buah motor servo SG90 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Lengan robot

1. Servo *Base* yang berfungsi untuk bergerak ke kanan, ke kiri, atau ke belakang sesuai perintah *user*.
2. Servo 2 yang berfungsi untuk pergerakan maju atau mundur pada lengan robot.
3. Servo 3 yang berfungsi untuk pergerakan naik atau turun pada lengan robot.
4. Servo pencengkram (*gripper*) yang berfungsi untuk mencengkram *objek*.

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### A. Pengambilan dan Pengujian Data Suara

Data suara adalah sekumpulan data yang dimasukkan ke sistem dan juga dimasukkan ke dalam basis data, digunakan untuk menggerakkan lengan robot. Data suara yang akan disimpan sebanyak 5 perintah suara.

Pada Gambar 8 terlihat proses pengambilan perintah suara yang telah berhasil. *Record 0* mewakili perintah “satu”, *Record 1* mewakili perintah “dua”, *Record 2* mewakili perintah “tiga”, *Record 3* mewakili perintah “empat” dan *Record 4* mewakili perintah “lima”.

```

COM6
[hex01234]
Ary Anugrah Febriansyah "ttrain" sample.
-----
Usage:
-----
COMMAND      FORMAT      EXAMPLE      Comment
-----
train        train (r0) (r1)...  train 0 2 45  Train records
load        load (r0) (r1) ...  load 0 51 2 3  Load records
clear       clear          clear         remove all records in Recogniser
record     record / record (r0) (r1)... record / record 0 79 Check record train status
vr         vr            vr           Check recogniser status
getsig     getsig (r)      getsig 0     Get signature of record (r)
sigtrain   sigtrain (r) (sig) sigtrain 0 ZERO Train one record(r) with signature(sig)
settings   settings       settings     Check current system settings
help       help          help        print this message
-----

train 0 1 2 3 4
-----
Record: 0   Speak now
Record: 0   Speak again
Record: 0   Success
Record: 1   Speak now
Record: 1   Speak again
Record: 1   Success
Record: 2   Speak now
Record: 2   Speak again
Record: 2   Can't match
Record: 2   Speak now
Record: 2   Speak again
Record: 2   Success
Record: 3   Speak now
Record: 3   Speak again
Record: 3   Success
Record: 4   Speak now
Record: 4   Speak again
Record: 4   Success
Train #success: 5
Record 0   Trained
Record 1   Trained
Record 2   Trained
Record 3   Trained
Record 4   Trained
    
```

Gambar 8. Proses pengambilan perintah suara

Lima data suara yang sudah ada di basis data akan diuji di *software Arduino IDE*. Gambar 9 memperlihatkan contoh pengujian data suara untuk perintah suara “satu”.

```

COM5
-----
Ary Anugrah Febriansyah "ttrain" sample.
-----
Usage:
-----
COMMAND      FORMAT      EXAMPLE      Comment
-----
train        train (r0) (r1)...  train 0 2 45  Train records
load        load (r0) (r1) ...  load 0 51 2 3  Load records
clear       clear          clear         remove all records in Recogniser
record     record / record (r0) (r1)... record / record 0 79 Check record train status
vr         vr            vr           Check recogniser status
getsig     getsig (r)      getsig 0     Get signature of record (r)
sigtrain   sigtrain (r) (sig) sigtrain 0 ZERO Train one record(r) with signature(sig)
settings   settings       settings     Check current system settings
help       help          help        print this message
-----

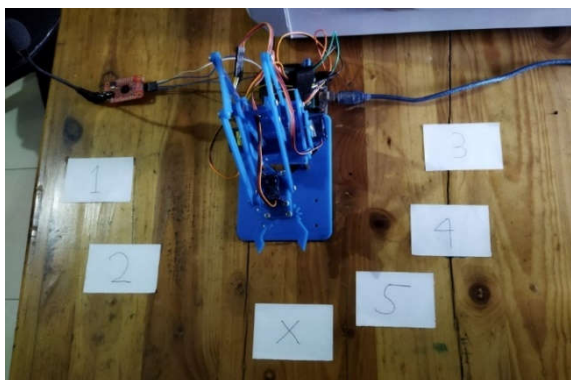
VR Index      Group  RecordNum  Signature
-----
0             NONE   0           NONE
    
```

Gambar 9. Pengujian data suara perintah “satu”

Pada Gambar 9, terlihat telah dilakukan pengujian perintah suara “satu” dan yang ada di dalam kotak merah menunjukkan data suara sesuai dengan yang ada di basis data dimana angka 0 pada *VR Index* menunjukkan perintah suara “satu”.

B. Pengujian Lengan Robot

Dalam penelitian ini ada lima pergerakan lengan robot. Gambar 10 menunjukkan lengan robot akan bergerak sesuai perintah yang diberikan. Lengan robot akan bergerak mengambil objek yang ada pada lambang “X” dan objek akan diletakkan pada lambang sesuai perintah, misalkan user memberi perintah “satu” maka lengan robot akan memindahkan barang yang ada di lambang X ke lambang 1.



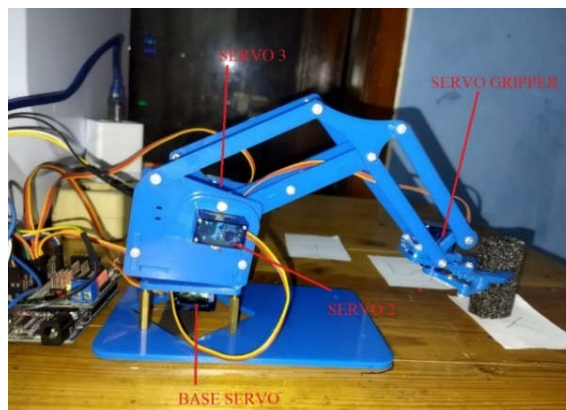
Gambar 10. Uji lengan robot

Tabel 1 memperlihatkan sudut (derajat) posisi awal atau posisi *standby* jika lengan robot tidak ada input perintah suara yang dikenali dari masing-masing servo pada lengan robot.

Tabel 1. Posisi awal lengan robot

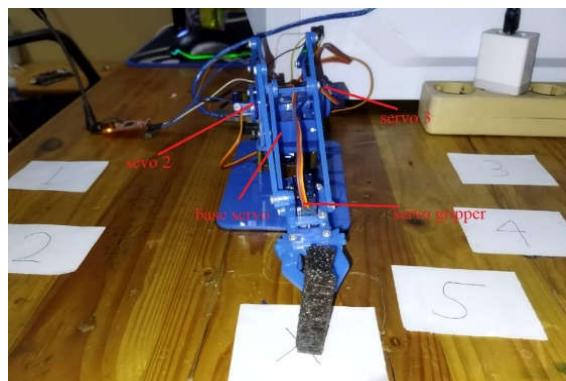
No	Nama servo	Derajat
1	Base servo	90°
2	Servo 2	45°
3	Servo 3	90°
4	Servo gripper	180°

Pada Gambar 11 diperlihatkan pergerakan awal lengan robot jika ada perintah suara yang dikenali dari arah samping. Jika user memberi perintah “satu”, “dua”, “tiga”, “empat” atau “lima” maka servo 2 akan merubah sudut derajatnya untuk memanjang dan servo gripper juga merubah sudut derajatnya untuk mencengkram objek yang ada pada lambang X.

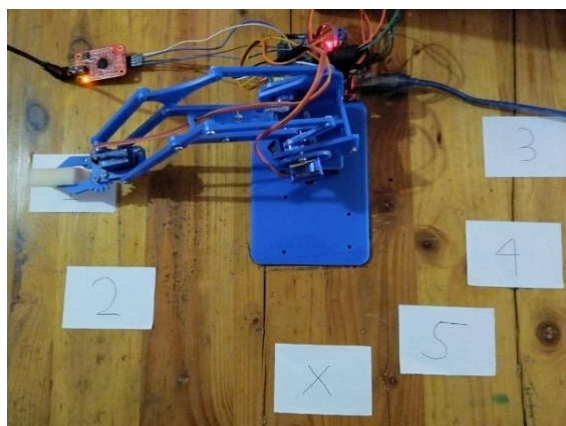


Gambar 11. Pergerakan awal dilihat dari samping

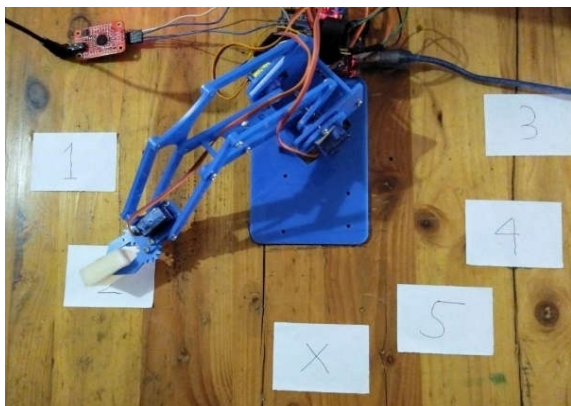
Pada tahap selanjutnya, robot akan bergerak tergantung dari perintah suara yang dikenali. Berikut adalah gambar pergerakan lengan robot sesuai dengan perintah yang diberikan. Gambar 12a, 12b, 12c, 12d, 12e, dan 12f memperlihatkan posisi awal dan pergerakan lengan robot untuk memindahkan objek ketika ada perintah “satu”, “dua”, “tiga”, “empat”, dan “lima”.



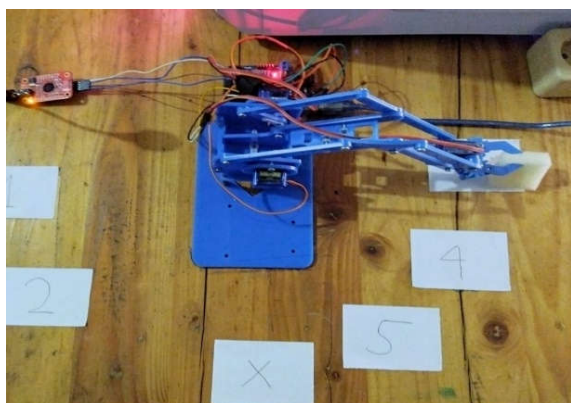
Gambar 12a. Posisi awal lengan robot



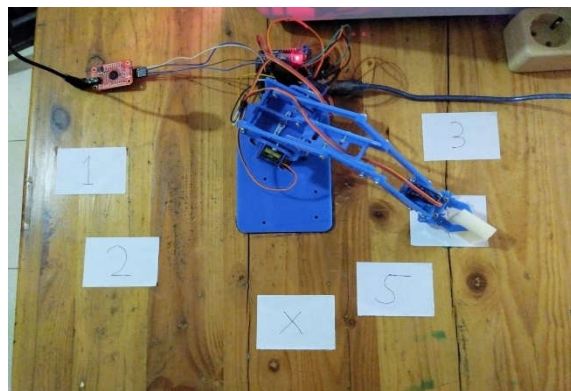
Gambar 12b. Pergerakan dengan perintah “satu”



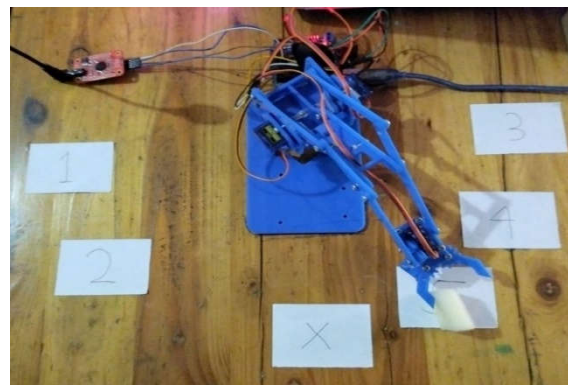
Gambar 12c. Pergerakan dengan perintah "dua"



Gambar 12d. Pergerakan dengan perintah "tiga"



Gambar 12e. Pergerakan dengan perintah "empat"



Gambar 12f. Pergerakan dengan perintah "lima"

Dari Gambar 12a, 12b, 12c, 12d, 12e, dan 12f dapat disimpulkan bahwa lengan robot telah bergerak sesuai dengan perintah suara yang diberikan.

Tabel 2 memperlihatkan pergerakan servo-servo yang bergerak sesuai perintah suara yang diberikan.

Tabel 2. Pergerakan lengan robot

No	Servo	Pergerakan				
		satu	dua	tiga	empat	lima
1	Servo2	110°	110°	110°	110°	110°
2	Servo gripper	0°	0°	0°	0°	0°
3	Servo 2	45°	45°	45°	45°	45°
4	Base servo	0°	30°	180°	150°	120°
5	Servo 2	110°	110°	110°	110°	110°
6	Servo gripper	180°	180°	180°	180°	180°
7	Servo 2	45°	45°	45°	45°	45°
8	Base servo	90°	90°	90°	90°	90°

### C. Pengujian Voice Recognition

Tabel 3a, 3b, 3c menyajikan hasil pengujian yang dilakukan oleh user yang data suaranya sudah ada di dalam basis data dengan jarak pengetesan yang berubah-ubah, berturut-turut yakni 5 cm, 15 cm, 25 cm dan 30 cm.

Tabel 3a. Pengujian oleh user dengan jarak 5 cm

No	Jumlah Percobaan	Perintah	Sukses	Gagal	Tingkat Keberhasilan (%)	Error (%)
1	10	"satu"	10	0	100	0
2	10	"dua"	10	0	100	0
3	10	"tiga"	10	0	100	0
4	10	"empat"	10	0	100	0
5	10	"lima"	10	0	100	0
<b>Rata-rata</b>					100	0

**Tabel 3b.** Pengujian oleh *user* dengan jarak 5 cm, 15 cm, 25 cm, dan 30 cm

No	Jarak objek							
	5cm		15cm		25cm		30cm	
	B (%)	E (%)	B (%)	E (%)	B (%)	E (%)	B (%)	E (%)
1	100	0	100	0	70	30	60	40
2	100	0	100	0	100	0	90	10
3	100	0	100	0	80	20	80	20
4	100	0	100	0	90	10	70	30
5	100	0	100	0	60	40	40	60
<b>R</b>	100	0	100	0	80	20	68	32

B=tingkat keberhasilan E=Error R=rata-rata

**Tabel 3c.** Rata-rata tingkat keberhasilan dan eror dari *user*

No	Jarak (cm)	Tingkat keberhasilan (%)	Error (%)
1	5	100	0
2	15	100	0
3	25	80	20
4	30	68	32
<b>Rata-rata</b>		87	13

Terlihat bahwa pada jarak 5 cm dan 15 cm tingkat keberhasilan adalah 100%, kemudian pada jarak 25 cm tingkat keberhasilan turun menjadi 80%, dan pada jarak 30cm turun lagi menjadi 68%. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa tingkat keberhasilan semakin menurun seiring dengan penambahan jarak pengujian yang semakin jauh. Rata-rata tingkat keberhasilan yang diperoleh adalah sebesar 87 % dan eror sebesar 13%.

Tabel 4a dan 4b menyajikan hasil pengujian yang dilakukan oleh partisipan 1 (pria) dan partisipan 2 (wanita) yang data suaranya tidak ada di dalam basis data dengan jarak pengujian 5 cm.

**Tabel 4a.** Pengujian oleh partisipan 1 dan partisipan 2

No	Partisipan 1		Partisipan 2	
	B (%)	E (%)	B(%)	E (%)
1	0	100	0	100
2	20	80	20	80
3	10	90	0	0
4	20	80	0	0
5	20	80	0	0
<b>R</b>	14	86	4	96

**Tabel 4b.** Rata-rata tingkat keberhasilan dan eror dari partisipan

No	Partisipan	Tingkat keberhasilan (%)	Error (%)
1	Partisipan 1	14	86
2	Partisipan 2	4	96
<b>Rata-rata</b>		9	91

Dari Tabel 4b dapat dilihat bahwa nilai rata-rata akurasi dan eror dari pengujian yang dilakukan oleh Partisipan 1 dan Partisipan 2 sebagai bukan *user* yang perintah suaranya tidak berada di dalam basis data adalah sebesar 9% dan rata-rata eror 91%. Tingkat keberhasilan partisipan 1 adalah 14%, lebih besar daripada tingkat keberhasilan partisipan 2 yang hanya sebesar 4%, hal ini disebabkan oleh *user* dan partisipan 1 sama-sama pria yang karakter suaranya lebih mirip dibandingkan dengan suara wanita sebagai partisipan 2.

#### D. Pengujian Waktu yang Dibutuhkan Untuk Memindahkan Objek

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan berapa lama waktu yang dibutuhkan lengan robot untuk memindahkan objek dengan bobot yang berbeda. Bobot *objek* yang digunakan adalah 12 gram dan 30 gram. Pengujian ini dilakukan pada jarak 5cm sebanyak 50 kali, terdiri dari 5 kali pada setiap perintah suara pada berat *objek* 12 gram dan 5 kali pada setiap perintah suara dengan berat *objek* 30 gram, seperti diperlihatkan pada Tabel 5a dan 5b.

**Tabel 5a.** Pengujian waktu untuk berat objek 12 gram

No	Perintah	Pengujian					Rata-rata (s)
		1(s)	2(s)	3(s)	4(s)	5(s)	
1	“satu”	8,50	8,44	8,57	8,66	8,48	8,530
2	“dua”	8,35	8,30	8,40	8,46	8,39	8,380
3	“tiga”	8,44	8,46	8,44	8,39	8,43	8,432
4	“empat”	8,40	8,35	8,32	8,30	8,33	8,340
5	“lima”	8,20	8,29	8,27	8,31	8,26	8,266
<b>Total</b>							41,948
<b>Rata-rata waktu keseluruhan</b>							8,3896

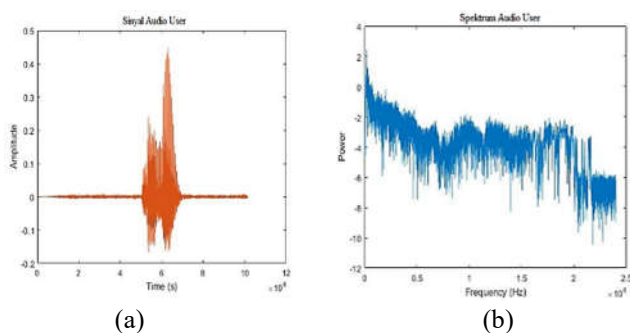
**Tabel 5b.** Pengujian waktu untuk berat objek 30 gram

No	Perintah	Pengujian					Rata-rata (s)
		1(s)	2(s)	3(s)	4(s)	5(s)	
1	“satu”	9,10	9,09	9,10	9,04	9,03	9,072
2	“dua”	8,97	9,00	8,98	9,09	8,98	9,004
3	“tiga”	8,97	8,89	8,92	8,90	8,84	8,904
4	“empat”	8,80	8,69	8,72	8,59	8,90	8,740
5	“lima”	8,38	8,80	8,71	8,85	8,74	8,696
		<b>Total</b>					44,416
		<b>Rata-rata waktu keseluruhan</b>					8,8832

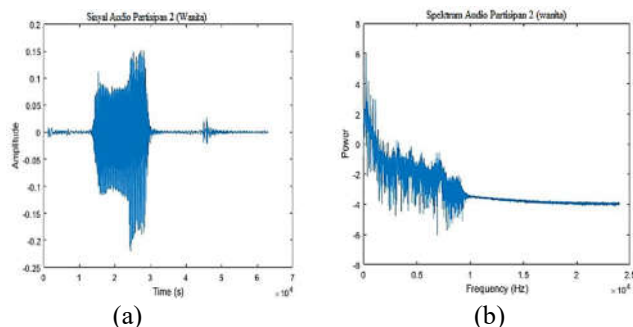
Tabel 5a dan 5b menunjukkan bahwa waktu rata-rata keseluruhan pergerakan lengan robot untuk memindahkan objek dengan berat 12 gram adalah 8,3896 detik sedangkan untuk memindahkan objek dengan berat 30 gram adalah 8,8832 detik, dengan demikian selisih waktu rata-rata yang dibutuhkan antara objek dengan berat 12 gram dan berat 30 gram adalah 0,4936 detik. Hal ini menunjukkan bahwa berat objek berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek, semakin berat objek, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek.

**E. Pengujian Sinyal Audio dan Spektrum Audio**

Pengujian ini dilakukan untuk melihat amplitudo dan spektrum suara dari user dan partisipan. Gambar 13a, 13b, 14a, dan 14b menampilkan contoh hasil sinyal audio dan spektrum audio dengan mengambil sampel dari data perintah suara “satu” user dan partisipan 2 menggunakan software Matlab.



**Gambar 13.** (a) Sinyal audio user; (b) Spektrum audio user



**Gambar 14.** (a) sinyal audio partisipan 2  
 (b) spektrum audio partisipan 2

Dari Gambar 13 dan 14 telah diperlihatkan sinyal audio dan spektrum audio dari user (pria) dan partisipan 2 (wanita). Hasilnya adalah untuk amplitudo tertinggi sinyal suara user adalah 0,45 sedangkan untuk partisipan 2 adalah 0,15. Spektrum sinyal dari user lebih lebar jika dibandingkan dengan spektrum sinyal dari partisipan 2.

**V. KESIMPULAN**

Perancangan lengan robot menggunakan 4 servo dengan lima perintah suara yaitu “satu”, “dua”, “tiga”, “empat” dan “lima” telah berhasil baik. Lengan robot akan bergerak sesuai dengan perintah suara yang diberikan. Pengujian pertama dilakukan oleh user yang perintah suaranya ada di dalam basis data dengan jarak berturut-turut 5 cm, 15 cm, 25 cm dan 30 cm. Tingkat keberhasilan semakin menurun seiring dengan penambahan jarak pengujian yang semakin jauh. Pada jarak 5 cm dan 15 cm tingkat keberhasilan 100%, pada jarak 25 cm tingkat keberhasilan 80%, dan pada jarak 30 cm tingkat keberhasilan menjadi 68%, sehingga rata-rata tingkat keberhasilan adalah 87% dengan eror 13%. Pada pengujian yang dilakukan oleh 2 orang partisipan yang bukan user dan perintah suaranya tidak ada di dalam basis data diperoleh rata-rata tingkat keberhasilan 9% dan 91% eror. Tingkat keberhasilan dipengaruhi juga oleh kemiripan karakter suara. Hal ini terlihat dari tingkat keberhasilan partisipan 1 yang lebih besar daripada tingkat keberhasilan partisipan 2, hal ini disebabkan oleh user dan partisipan 1 sama-sama pria yang karakter suaranya lebih mirip dibandingkan dengan suara wanita sebagai partisipan 2. Berat objek berpengaruh kepada waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek, makin berat objek, makin lama waktu yang dibutuhkan untuk

memindahkannya. Hal ini terlihat dari rata-rata selisih waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek dengan berat 12 gram dan berat objek 30 gram sebesar 0,4936 detik.

### REFERENSI

- [1] K. Kannan dan D. Selvakumar, "Arduino based voice controlled robot," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 49–55, 2015.
- [2] W. Muldayani, D. Purwanto, dan T. A. Sardjono, "Pergerakan robot lengan berbasis perintah suara menggunakan MFCC dan ANN," dalam *Proc. SENTIA 2015*, 2015, vol. 7, no. 1, p. A-46-A-51.
- [3] A. Apriansyah, Ilhamsyah, dan T. Rismawan, "Prototype kunci otomatis pada pintu berdasarkan suara pengguna menggunakan metode KNN (K-Nearest Neighbor)," *J. Coding Sist. Komput. Univ. Tanjungpura*, vol. 4, no. 1, pp. 45–56, 2016.
- [4] Q. Nada, C. Ridhuandi, P. Santoso, dan D. Apriyanto, "Speech recognition dengan hidden markov model untuk pengenalan dan pelafalan huruf hijaiyah," *J. Al-Azhar Indones. Seri Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 19–26, 2019.
- [5] I. Dwisaputra, P. Silalahi, B. Cahyawan, dan I. Akbar, "Lampu sein helm sepeda berbasis voice recognition," *MANUTECH J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 1, pp. 20–25, 2019.
- [6] A. Rahayu dan Hendri, "Sistem kendali rumah pintar menggunakan voice recognition module v3 berbasis mikrokontroler dan IoT," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, pp. 19–32, 2020.
- [7] A. Uchrowi, Lasmadi, dan S. Soekarno, "Pemodelan dan simulasi robot lengan 3 DOF menggunakan V-REP," *AVITEC (Aviation Electron. Inf. Technol. Telecommun. Electr. Control.)*, vol. 1, no. 1, pp. 87–98, 2019.
- [8] N. Amalia, A. E. Fahrudin, dan A. V Nasrullah, "Pengenalan suara vokal bahasa indonesia dengan jaringan saraf tiruan menggunakan ciri transformasi wavelet diskrit," *J. Fis. FLUX*, vol. 9, no. 2, pp. 131–143, 2012.
- [9] R. A. L. Sibarani, "Identifikasi sinyal suara menggunakan metode fast fourier transform (FFT) berbasis MATLAB," Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [10] H. Sujadi, I. Sopiandi, dan A. Mutaqin, "Sistem pengolahan suara menggunakan algoritma FFT (Fast Fourier Transform)," dalam *Proc. SINTAK 2017*, 2017, pp. 101–107.
- [11] M. K. A. Putra, S. R. Akbar, dan G. E. Setyawan, "Perancangan sistem keamanan pada smart home menggunakan voice command dengan konektivitas bluetooth," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 12, pp. 7417–7426, 2018.
- [12] N. Fadillah dan I. Ahmad, "Smart bed using voice recognition for paralyzed patient," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 854, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [13] S. Yanto dan A. Maradi, "Pemanfaatan android untuk sistem kendali robot penembak dengan mikrokontroler," *Cyclotr. J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 34–36, 2020.
- [14] A. B. Nugroho, H. Setyawan, dan L. A. Basuki, "Pembuatan prototype robot beroda berbasis mikrokontroler dan sensor easy voice recognition sebagai alat bantu penderita disabilitas," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–41, 2016.

## Rancang Bangun Aplikasi Presensi Dosen dan Mahasiswa Berbasis Android dan Cloud Server

Rudy Kurniawan<sup>1</sup>, Tri Hendrawan Budianto<sup>2</sup>, Welly Yandi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

\*rudy@ubb.ac.id<sup>1</sup>, try354@yahoo.com<sup>2</sup>, wellyyandi.koto@gmail.com<sup>3</sup>

### INTISARI

Informasi mengenai kehadiran dan ketidakhadiran seseorang dibutuhkan sebuah proses pengambilan data baik secara manual ataupun menggunakan media elektronik. Proses pengambilan data kehadiran dan ketidakhadiran saat ini masih dilakukan secara manual dengan mesin absensi atau menggunakan lembar absensi yang harus ditanda-tangani oleh dosen dan mahasiswa. Pemanfaatan teknologi *smartphone* bisa menjadi pengganti sistem presensi manual yang saat ini masih diterapkan di perkuliahan. Aplikasi presensi dosen dan mahasiswa ini dirancang bangun agar dapat diakses secara *online* menggunakan Android sebagai media antarmuka dan *cloud server* sebagai media penyimpanan data (*database*). Aplikasi presensi ini diberi nama PresTE (Presensi Teknik Elektro) dan aplikasi ini dapat digunakan tanpa harus menggunakan mesin absensi yang sudah ada serta penggunaan aplikasi presensi *online* ini dapat dilakukan pada *smartphone* masing-masing dosen dan mahasiswa selama dosen dan mahasiswa tersebut masih di dalam area gedung perkuliahan atau dalam jangkauan area yang sudah diatur sebelumnya.

Kata kunci: Aplikasi Presensi, Android, Cloud Server

### ABSTRACT

*Information regarding the presence and absence of a person requires a data retrieval process either manually or using electronic media. The process of taking attendance and absence data is currently still done manually with an attendance machine or using an attendance sheet that must be signed by lecturers and students. Utilization of smartphone technology can be a substitute for the manual attendance system which is currently still applied in lectures. This lecturer and student attendance application is designed to be accessible online using Android as a media interface and a cloud server as a data storage medium (database). This attendance application is named PresTE (Presensi Teknik Elektro) and this application can be used without having to use an existing attendance machine and the use of this online presence application can be done on the smartphone of each lecturer and student as long as the lecturer and student are still in the building area. lectures or within the scope of a pre-arranged area.*

**Keywords:** Presence Application, Android, Cloud Server

### I. PENDAHULUAN

Dalam sebuah perkuliahan terdapat mata kuliah yang diajarkan beserta materi dan perangkat administrasinya. Materi perkuliahan disiapkan oleh dosen yang mengajar sesuai dengan ketentuan kurikulum. Perangkat administrasi perkuliahan ada beberapa diantaranya berita acara perkuliahan, silabus perkuliahan, RPS perkuliahan serta presensi perkuliahan. Perangkat administrasi perkuliahan tersebut harus diisi dan dijalankan sesuai dengan ketentuan yang ada. Salah satu perkembangan teknologi informasi saat ini adalah semakin dibutuhkannya peningkatan metode pengajaran

dan pemanfaatan teknologi untuk membantu menjalankan perangkat administrasi perkuliahan sehingga mempermudah dosen dalam menjalankan kegiatan perkuliahan serta pengolahan data atau informasi yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan cepat. Contoh pengolahan data yang menjadi bagian dari perangkat administrasi perkuliahan adalah data presensi dosen dan mahasiswa.

Presensi yang diterapkan saat ini masih dilakukan secara manual yang mana tentunya akan membuat administrasi pencatatan tidak efektif dan penyediaan kertas menjadi prioritas dalam

pengadaan bahan-bahan perkuliahan dan akan meningkatkan biaya operasional. Kecurangan dan ketidakefektifan dalam pelaksanaan presensi perkuliahan selama ini memberikan ide bagi peneliti untuk menciptakan sebuah aplikasi presensi yang dilakukan secara *online* yang berbasis *smartphone* Android serta *cloud server* sebagai media penyimpanan data (*database server*). Aplikasi presensi berbasis Android yang akan dirancang bangun merupakan solusi bagi dosen dalam memaksimalkan perangkat administrasi perkuliahan sehingga proses pengisian administrasi perkuliahan menjadi lebih mudah dan cepat. Dengan menggunakan aplikasi ini diharapkan dosen dan mahasiswa akan lebih disiplin dalam melaksanakan kegiatan perkuliahan serta menghemat penggunaan kertas (*paperless*).

## II. LANDASAN TEORI

### A. Presensi

Presensi atau daftar hadir adalah formulir berisi data identitas dan validasi dengan paraf atau tanda tangan seseorang yang digunakan sebagai bukti kehadiran/keikutsertaan seseorang tersebut dalam suatu acara/kegiatan (Badunk, 2013). Terkadang di sebuah perusahaan seseorang atau karyawan melakukan presensi saat datang dan pulang dari kerja. Selain itu, setiap perusahaan atau instansi memiliki sistem presensi yang berbeda-beda. Sistem presensi yang terkomputerisasi sudah banyak dikembangkan sebelumnya dengan perangkat lunak dan metode yang berbeda-beda. Sistem yang dikembangkan pun juga bervariasi, berbasis *website*, *fingerprint*, maupun *desktop*.

### B. Android

Android adalah sebuah sistem operasi atau *Operating System* (OS) berbasis *mobile* yang sangat banyak digunakan dan diimplementasikan pada sebuah *smartphone*, *tablet*, *smart tv* dan perangkat lainnya. Android dirancang oleh Google dengan basis kernel Linux untuk mendukung kinerja perangkat elektronik layar sentuh. Android bersifat *open source* atau bebas digunakan, dimodifikasi, diperbaiki dan didistribusikan oleh para pembuat ataupun pengembang perangkat lunak. Dengan sifat *open source* perusahaan teknologi bebas menggunakan OS ini diperangkatnya tanpa lisensi alias gratis.

### C. Android User Interface

*User Interface* (UI) adalah bagian visual dari *website*, aplikasi, *software*, atau *hardware* yang menentukan bagaimana seorang pengguna berinteraksi

dengan produk tersebut. *User interface design* sendiri menggabungkan konsep desain visual, desain interaksi, dan infrastruktur informasi menjadi satu dengan tujuan untuk meningkatkan kemudahan penggunaan sebuah produk.

Sementara *Android User Interface* (UI) adalah tampilan suatu sistem operasi Android secara unik dan kompleks. Android datang dengan dari berbagai *vendor* dan mempunyai tampilan unik di tiap perangkat. Misalkan merk *smartphone* satu dengan merk yang lainnya, sama-sama menggunakan Android tetapi mempunyai UI yang berbeda. Diibaratkan UI adalah versi *Android vendor smartphone*.

### D. Cloud Server

*Cloud server* adalah sebuah *virtual server* yang merupakan bagian dari *platform cloud computing*. *Cloud server* merupakan ruang virtual yang memungkinkan Anda menyimpan hingga mengolah data di mana saja secara praktis. *Cloud server* juga membangun, menyimpan, dan mengirim setiap data via *platform cloud computing* melalui internet. Agar dapat dijalankan dan bisa berfungsi sebagai unit yang independen maka *cloud server* membutuhkan *software* pendukung.

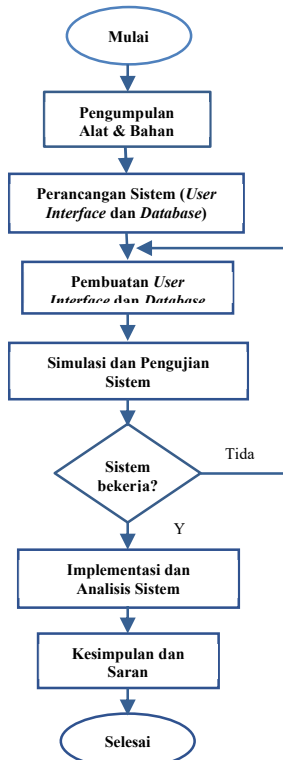
Fungsi utama dari *cloud server* adalah sebagai ruang penyimpanan data personal, data aplikasi, hingga data *web hosting*. Selanjutnya, *cloud server* juga berfungsi menjalankan berbagai aplikasi dan *hosting*, sehingga tidak menyita memori *hardware* atau perangkat komputer yang digunakan.

Pada penelitian ini, *cloud server* difungsikan sebagai *cloud storage* atau media penyimpanan aplikasi, data-data presensi, serta *database* aplikasi.

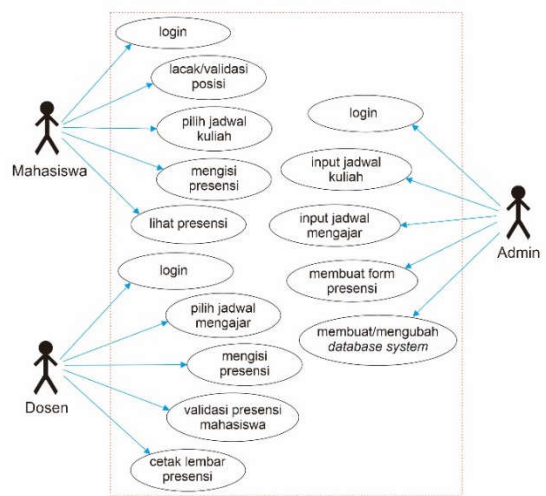
## III. METODE PENELITIAN

### A. Tahapan Penelitian

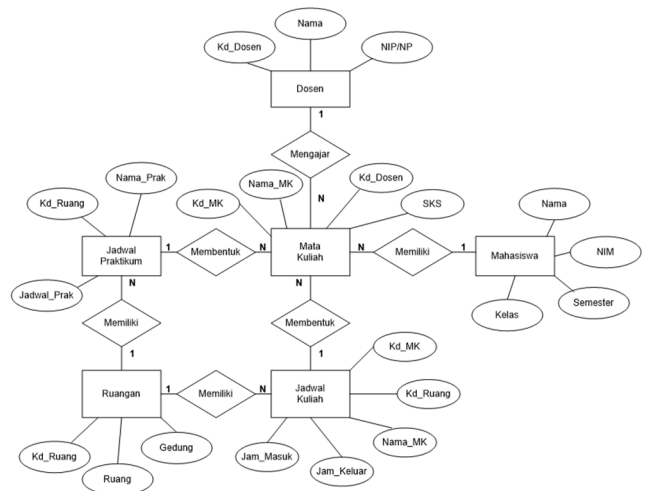
Proses rancang bangun aplikasi dilakukan melalui beberapa tahapan. Pada tahap awal, dipersiapkan terlebih dahulu data-data dosen dan mahasiswa serta jadwal perkuliahan. Tahapan selanjutnya, dilakukan perancangan aplikasi atau *user interface*, pembuatan *user interface* dan sistem *database*, uji simulasi, dan pengujian aplikasi yang sudah dibuat. Untuk lebih jelasnya tahapan penelitian ini digambarkan melalui diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan penelitian



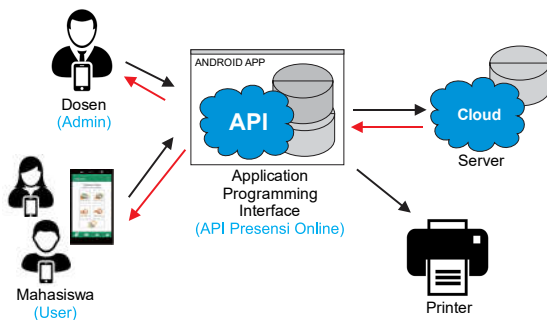
Gambar 4. Use Case Diagram



Gambar 5. E-R Diagram

B. Arsitektur Sistem

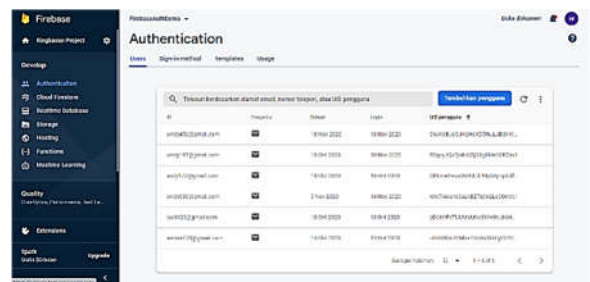
Arsitektur sistem dari perancangan sistem keseluruhan dari aplikasi presensi dosen dan mahasiswa berbasis Android dan cloud server dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur sistem aplikasi presensi

C. Perancangan Database System

Perancangan Database System terdiri dari pembuatan Use Case Diagram, dan Entity Relationship Diagram (E-R Diagram), dan Firebase seperti yang terlihat pada Gambar 4, 5, dan 6.

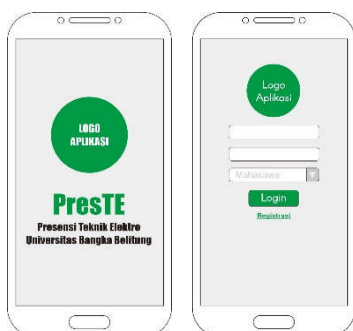


Gambar 6. Firebase Aplikasi Presensi

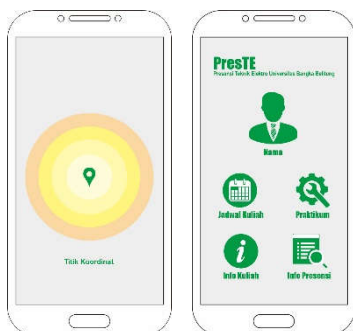
D. Perancangan User Interface (UI)

Aplikasi presensi dirancang terlebih dahulu UI-nya menggunakan software Android Studio dan

aplikasi presensi ini diberi nama PresTE (Presensi Teknik Elektro). Sebelum membuat UI aplikasi presensi, terdapat beberapa hal yang perlu dipersiapkan terlebih dahulu seperti membuat *mockup* dan *prototype*. *Mockup* memberikan gambaran detail sebelum akhirnya produk aplikasi dibuat. *Mockup* biasanya menggambarkan aspek desain visual, warna, gambar serta tipografi. Dengan *mockup* ini maka ide dapat diterjemahkan ke dalam bahasa yang mudah dimengerti tetapi *mockup* bersifat statis serta tidak dapat dioperasikan. Contoh *mockup* untuk rancangan aplikasi presensi ini dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Mockup splash screen dan halaman login



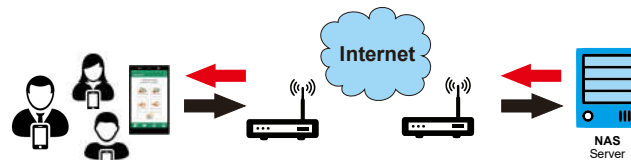
Gambar 8. Mockup lacak posisi (GPS) dan halaman menu aplikasi presensi

#### E. Perancangan Cloud Server

Dalam perancangan *cloud server* dibutuhkan sebuah sistem dan seperangkat alat yang dapat difungsikan sebagai media penyimpanan data dan aplikasi yang sudah dibuat. Pada penelitian ini rancangan *cloud server*-nya menggunakan sistem *Network Attached Storage* (NAS).

*Network Attached Storage* (NAS) adalah sebuah *server* dengan sistem operasi yang dikhususkan untuk melayani kebutuhan berkas data. NAS dapat berbentuk perangkat yang siap pakai atau berupa sebuah *software* yang akan dipasangkan (*install*) pada sebuah komputer agar berubah fungsi menjadi *server* NAS. NAS dapat diakses langsung melalui jaringan area lokal dengan protokol seperti TCP/IP. *File transfer protocol* (FTP)

yang didukung oleh NAS termasuk *Network File System* (NFS), *Common Internet File System* (CIFS), *File Transfer Protocol* (FTP) dan sebagainya.



Gambar 9. Perancangan *cloud server* dengan NAS server

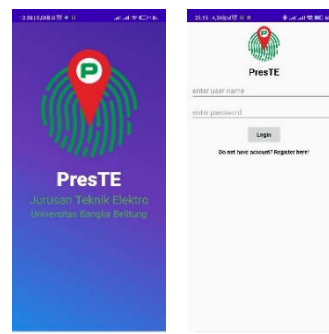
#### F. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan terhadap aplikasi yang telah dirancang bangun sebelumnya untuk mengetahui fungsionalitas sistem dari aplikasi tersebut. Pengujian dilakukan sebagai bentuk verifikasi bahwa aplikasi dapat memenuhi spesifikasi kebutuhan dan berjalan sesuai dengan rancangan atau skenario yang telah didefinisikan sebelumnya. Pengujian sistem yang akan dilakukan dengan pendekatan *black box testing*, yakni pengujian yang berfokus pada spesifikasi fungsional dari perangkat lunak, tidak melihat dari bagaimana jalannya sistem, hanya melihat dari input dan output yang dihasilkan dari setiap fungsi.

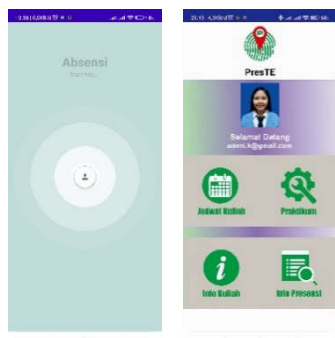
### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Tampilan UI Aplikasi Presensi

Berdasarkan rancangan *mockup* sebelumnya, maka tampilan-tampilan UI aplikasi presensi yang dibuat tampak seperti pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Tampilan *splash screen* dan halaman login



Gambar 11. Tampilan lacak posisi (GPS) dan halaman menu aplikasi presensi

### B. Hasil Uji Black Box Sistem

Pengujian sistem dilakukan terhadap aplikasi presensi yang sudah dibuat dengan cara memasang (install) terlebih dahulu aplikasi pada *smartphone* Android. Setelah aplikasi terpasang, selanjutnya melakukan pengujian seperti pengujian *login* aplikasi presensi, pengujian *level user*, dan pengujian sistem keseluruhan. Adapun hasil pengujian kinerja aplikasi presensi seperti terlihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil pengujian *login* aplikasi presensi

No	Data Masukan	Yang diharapkan	Status
1	Username salah, Password salah	Tampil informasi "Username atau Password salah"	[x] Sukses [ ] Gagal
2	Username salah, Password benar	Tampil informasi "Username atau Password salah"	[x] Sukses [ ] Gagal
3	Username benar, Password salah	Tampil informasi "Username atau Password salah"	[x] Sukses [ ] Gagal
4	Username dan Password kosong	Tampil informasi "Username atau Password kosong"	[x] Sukses [ ] Gagal
5	Username dan Password benar	Akan masuk ke lacak posisi dan halaman menu utama ( <i>dashboard</i> )	[x] Sukses [ ] Gagal

Tabel 2. Hasil pengujian *level user* aplikasi presensi

No	Level user	Yang diharapkan	Status
1	Admin	Tampil input jadwal kuliah, input jadwal mengajar, form presensi, dan user	[x] Sukses [ ] Gagal
2	Dosen	Tampil pilih jadwal mengajar, presensi, validasi presensi, cetak presensi	[x] Sukses [ ] Gagal
3	Mahasiswa	Tampil pilih jadwal kuliah dan presensi	[x] Sukses [ ] Gagal

### C. Hasil Pengujian Kuisisioner

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap aplikasi presensi melalui pertanyaan-pertanyaan tentang kinerja aplikasi dengan kuisisioner. Pengujian dan pengisian

kuisisioner dilakukan oleh 20 orang pengguna (*user*) yang dipilih secara acak untuk mencoba menjawab 8 (delapan) pertanyaan dengan nilai minimal 1 (satu) dan nilai maksimal dari setiap pertanyaan adalah 5 (lima). Adapun hasil kuisisioner adalah sebagai berikut:

- Nilai rata-rata 4,70 yang menyatakan bahwa aplikasi ini mudah diunduh dan mudah dipasangkan di *smartphone*.
- Nilai rata-rata 4,70 yang menyatakan bahwa aplikasi presensi mudah digunakan.
- Nilai rata-rata 4,70 yang menyatakan bahwa tidak sulit memasukan data saat *login*.
- Nilai rata-rata 4,70 yang menyatakan bahwa tidak sulit saat melakukan registrasi.
- Nilai rata-rata 4,55 yang menyatakan bahwa tidak sulit menggunakan menu halaman utama (*dashboard*).
- Nilai rata-rata 4,50 yang menyatakan bahwa hasil pencarian posisi atau titik koordinat memiliki hasil yang akurat.
- Nilai rata-rata 4,50 yang menyatakan bahwa aplikasi presensi ini aman dari kecurangan daripada sistem manual.
- Nilai rata-rata 4,55 yang menyatakan bahwa aplikasi presensi ini lebih efektif dan mudah secara keseluruhan.

Nilai rata-rata keseluruhan pertanyaan adalah 4,61 dengan prosentase penilaian dan kelayakan aplikasi ini adalah 92,25%.

## V. KESIMPULAN

- Aplikasi presensi dengan nama PresTE (Presensi Teknik Elektro) dapat dijalankan atau disimulasikan dengan baik pada emulator Android dan juga dapat dipasangkan (*install*) dan digunakan pada *smartphone*.
- Aplikasi presensi dapat dijalankan dengan menggunakan *cloud server* sebagai media *cloud storage* atau penyimpanan data dan prosentase penilaian dan kelayakan yang didapatkan dari kuisisioner adalah sebesar 92,25%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Universitas Bangka Belitung, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sesuai dengan DIPA Universitas Bangka Belitung Nomor DIPA-023.17.2.677533/2020.

## REFERENSI

- [1] A. Kadir, "Pemrograman Android dan Database", *Elex Media Komputindo*, Jakarta, 2018.
- [2] B. Shneiderman & C. Plaisant, "Designing the User Interface 5<sup>th</sup> Ed.", *Pearson Education Inc.*, 5<sup>th</sup> Ed., 2005.
- [3] H. P. Waskitha, "Rancang Bangun Aplikasi Presensi Karyawan Berbasis Android dengan Metode Extreme Programming pada PT. Geschool Cerdas Mandiri", *Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga*, Yogyakarta, 2016.
- [4] I. Badunk, "Membuat Form Daftar Hadir Kegiatan", *Yogyakarta: KantorKita*, Yogyakarta, 2013.
- [5] M. N. Aditya, dkk., "Pembuatan Aplikasi Presensi Perkuliahan Berbasis Fingerprint (Studi Kasus: Jurusan Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya)", *Jurnal Teknik ITS*, Surabaya, 2013.
- [6] M. R. Dien dan L. Fitriani, "Perancangan Monitoring Absensi dengan Fingerprint Berbasis Online", *Jurnal Algoritma*, 14(1), pp. 82-86, 2017.
- [7] P. R. Setiawan, "Aplikasi Absensi Online Berbasis Android", *IT Journal Research and Development (ITJRD)*, 5(1), pp. 63-71, Agustus 2020.
- [8] R. Kurniawan dan F. Arkan, "Rancang Bangun Sistem Borang Akreditasi Program Studi Teknik Elektro Universitas Bangka Belitung", *JurnalEcotipe*, 3(2), pp. 31-39, Okt 2016.
- [9] R. Kurniawan, M. Y. Puriza, dan F. Arkan, "Membangun Sistem Informasi Desa Untuk Pelayanan Publik Prima Berbasis Cloud Server Di Desa Pagarawan Kabupaten Bangka", *Panrita Abdi-Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 5(2), pp.193-200, Mar 2021.
- [10] W. O. Galitz, "The Essential Guide to User Interface Design 3th Ed.", *Wiley*, 2007.

## Rancangan Sistem Informasi Tabungan Siswa Berbasis Web (Studi Kasus: Smk Negeri 1 Sipirok)

Putri Mentari Endraswari<sup>1</sup>, Nurhaeka Tou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

\*putrimentari@ubb.ac.id<sup>1</sup>, nurhaeka@ubb.ac.id<sup>2</sup>

### INTISARI

Menabung merupakan sebuah aktivitas untuk menyisihkan sebagian uang atau pendapatan yang dimiliki guna bertujuan untuk kegiatan positif dalam mengelola uang. Kegiatan tersebut memiliki tujuan agar dapat menjalankan pola hidup hemat serta membangun karakter untuk lebih hemat yang dapat diterapkan sejak dini. Sistem informasi tabungan siswa menjadi sebuah inovasi untuk mendukung gerakan menabung yang dijalankan pada tingkat SMK. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah rancangan dari sistem informasi tabungan siswa yang nantinya dapat diimplementasikan ke dalam sebuah sistem berbasis web. Penelitian ini memfokuskan pada rancangan sistem yang digambarkan dengan UML (*Unified Modelling Language*) dan memberikan pandangan terkait desain *interface* yang nantinya akan menjadi tampilan pada sistem informasi tabungan siswa berbasis web.

Kata kunci: Sistem Informasi, Tabungan Siswa, UML

### ABSTRACT

*Saving is an activity to set aside some money or income that is owned to aim at positive activities in managing money. This activity has the aim of being able to carry out a frugal lifestyle and build character to be more frugal which can be applied from an early age. The student savings information system is an innovation to support the saving movement that is carried out at the SMK level. So this study aims to create a design of a student savings information system that can later be implemented into a web-based system. This research focuses on system design which is described by UML (Unified Modeling Language) and provides views related to interface design which will later be displayed on a web-based student savings information system.*

**Keywords :** Information Systems, Student Savings, UML

### I. PENDAHULUAN

Edukasi terkait literasi keuangan merupakan salah satu kegiatan yang sangat penting dan diperlukan oleh banyak orang [1]. Saat ini, minat masyarakat untuk memahami tentang literasi keuangan sangat minim, sehingga hal tersebut menjadi tantangan besar bagi masyarakat Indonesia [1], [2]. Masyarakat memiliki kecenderungan untuk membeli sesuatu tanpa memandang prinsip keuangan [3], [4]. Pada era konsumsi saat ini, konsumen sering kali tidak berlaku rasional dalam membeli kebutuhannya, mereka membeli barang atau jasa berdasarkan apa yang mereka inginkan, bukan yang mereka butuhkan [3], [5]–[8]. Oleh karena itu, edukasi literasi keuangan sangat

diperlukan untuk mendidik masyarakat agar sadar dan juga paham cara mengelola keuangan secara bijak [2].

Pemberian edukasi literasi keuangan harus dilakukan sedini mungkin kepada masyarakat khususnya para pelajar [2], [3], [9]. Dalam penelitian Sutrisno Dkk [9] menyebutkan, bahwa para remaja khususnya siswa SMA masih kurang memiliki pemahaman dan pengetahuan terkait bagaimana cara mengelola keuangan. Para pelajar, lebih menyukai uang karena dapat memenuhi kebutuhannya saat ini, dibandingkan dengan fungsi uang untuk masa depan [10]. Akibatnya, para kawula muda tersebut menjadi sasaran empuk para pelaku bisnis, karena menganggap mereka adalah segmen pasar yang sangat potensial [3]. Hal tersebut tentu akan berimbas pada pola konsumtif,

pola belanja, suka membeli barang atau asset yang tidak berharga, dan berujung pada sifat pelajar yang hedonisme, hanya mengutamakan *lifestyle*, gengsi, dan pengakuan sosial [11]. Untuk menghindari perluasan perilaku menyimpang tersebut, penting bagi para pelajar untuk mendapatkan pengetahuan bagaimana cara mengelola keuangan serta menumbuhkan minat menabung pelajar [10].

SMK Negeri 1 Sipirok yang berada di daerah Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatra Utara merupakan salah satu contoh sekolah yang memiliki minat menabung rendah dari para siswanya. Hal tersebut dikarenakan belum meratanya edukasi terkait keuangan yang seharusnya dapat diperoleh sedini mungkin melalui dunia pendidikan. Penting bagi seorang tenaga pendidik khususnya para guru yang berada di SMK Negeri 1 Sipirok untuk terus mengingatkan dan memberi edukasi terhadap peran penting menabung untuk masa depan siswanya.

Oleh karena itu, penulis bekerja sama dengan pihak SMK Negeri 1 Sipirok untuk merancang sebuah sistem informasi tabungan siswa berbasis web. Rancangan ini diharapkan dapat memberikan pandangan mengenai sebuah sistem tabungan siswa yang nantinya dapat menjadi sarana penyalur edukasi menabung serta mempermudah para siswa dalam proses menabung.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan beberapa tahapan penelitian, yang terinspirasi dari penelitian penulis sebelumnya [12]. Adapun tahapan-tahapan penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan penelitian

### A. Identifikasi Masalah

Tahapan pada penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah. Pada tahapan ini, penulis menjabarkan permasalahan yang ada di SMK Negeri 1 Sipirok terkait rendahnya minat menabung pada siswanya. Proses identifikasi masalah ini dilakukan penulis dengan cara menyebar kuesioner kepada para siswa guna mengetahui alasan mengapa para siswa cenderung merasa malas menabung. Penulis menyebar kuesioner kepada 30 siswa di SMK Negeri 1 Sipirok

sebagai sample untuk mengidentifikasi masalah tersebut. Hasilnya menyebutkan, hampir 70% siswa merasa malas menabung diakibatkan karena kegiatan menabung yang masih konvensional. Para siswa menginginkan sebuah kegiatan menabung yang inovatif, agar dapat menumbuhkan rasa semangat menabung.

### B. Studi Literatur

Setelah melalui tahap identifikasi masalah dengan metode kuesioner. Selanjutnya adalah mengkaji beberapa literatur untuk digunakan sebagai acuan dalam merancang sistem informasi tabungan siswa berbasis web di SMK Negeri 1 Sipirok. Seperti pada penelitian Hidayati dkk [13], yang membahas mengenai strategi untuk menaikkan mutu sekolah dengan memanfaatkan Bank Mini sebagai media untuk pembelajaran sekaligus sebagai kegiatan kewirausahaan sekolah. Selain itu, penulis juga mengkaji penelitian Pradipta dkk [14] yang membahas terkait siswa di SMK diwajibkan untuk menjadi nasabah serta diminta agar menabung pada aplikasi tabungan dan pinjaman berbasis Akutansi Perbankan guna melatih kesadaran siswa untuk mengelola keuangan mereka.

### C. Desain

Pada tahap ini, penulis menggunakan UML (*Unified Modeling Language*) sebagai bahasa pemodelan untuk sistem atau perangkat lunak yang berparadigma “berorientasi objek”.

### D. Evaluasi

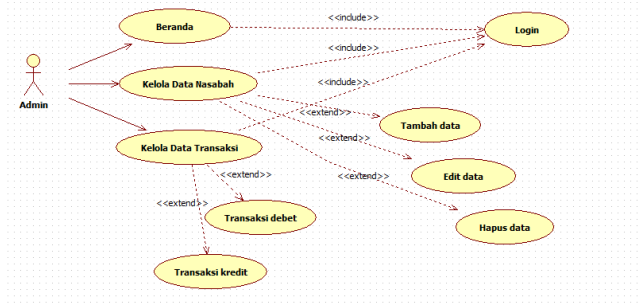
Evaluasi dilakukan dengan menyebar kuesioner kepada siswa dan guru di SMK Negeri 1 Sipirok untuk memastikan bahwa rancangan sistem dan desain *interface* siap untuk diimplementasikan ke dalam sistem berbasis web.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan uraian latar belakang pada penelitian ini, rancangan penelitian digambarkan dengan menggunakan desain UML seperti yang dijelaskan pada Gambar 1. Adapun hasil rancangan UML adalah sebagai berikut:

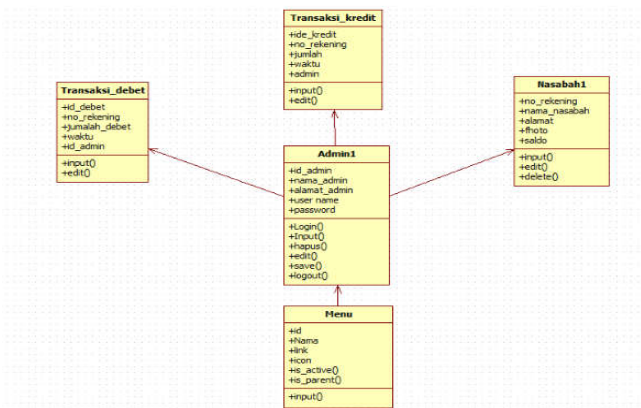
*Use case* [15] merupakan gambaran dari interaksi yang terjadi pada sistem dan juga penggunaannya. Dalam penelitian ini, *use case* (Gambar 2) menggambarkan kinerja admin dengan sistem untuk melakukan

beberapa proses seperti login, tambah data, serta kelola data transaksi tabungan.



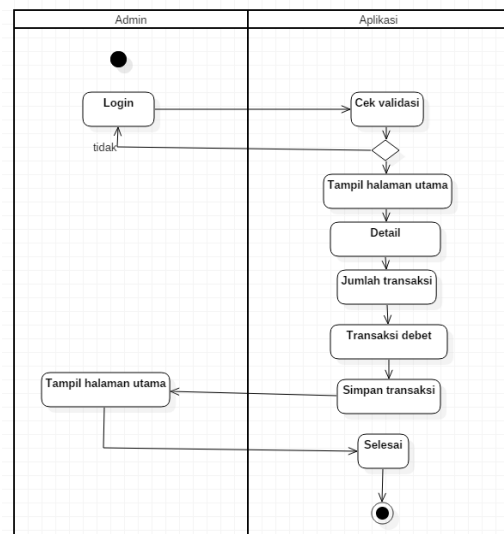
Gambar 2. Use Case Diagram

Class Diagram adalah diagram UML yang menggambarkan kelas-kelas dalam sebuah sistem dan hubungannya antara satu dengan yang lain, serta dimasukkan pula atribut dan operasi [15]. Class Diagram pada aplikasi seperti pada Gambar 3.



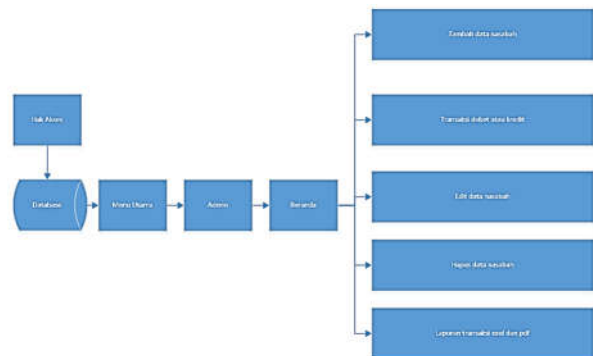
Gambar 3. Class Diagram

Diagram aktivitas merupakan bentuk visual dari sebuah aktivitas kerja yang berisikan tindakan sistem [15], [16]. Pada Gambar 4 menjelaskan terkait jalannya sistem saat melakukan pengecekan database untuk aktivitas login hingga melakukan proses transaksi tabungan. Sehingga data akan tampil pada halaman interface pengguna.



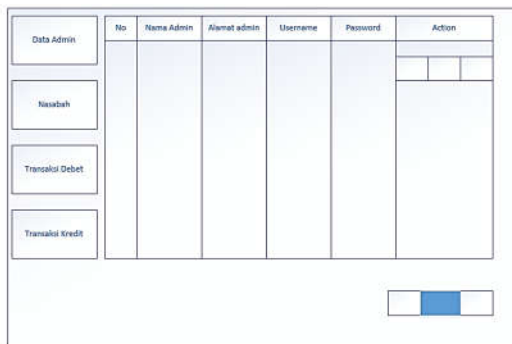
Gambar 4. Activity data transaksi tabungan

Struktur menu pada penelitian ini (Gambar 5), menampilkan halaman admin yang terdiri dari tambah data nasabah, transaksi tabungan, edit data nasabah, hapus data nasabah, dan laporan transaksi dan saldo excel dan pdf.

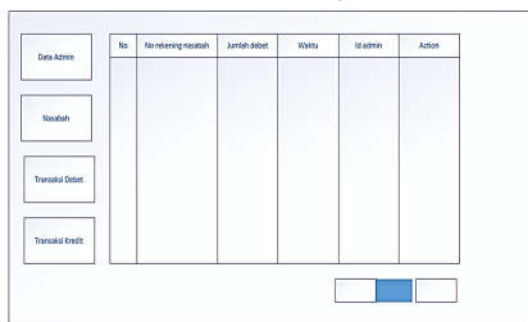


Gambar 5. Struktur menu

Selanjutnya adalah desain interface yang akan menjadi acuan dalam merancang sistem informasi tabungan siswa berbasis web. Pada Gambar 6, menunjukkan desain interface dari sisi admin. Desain tersebut menampilkan semua proses berdasarkan pada struktur menu seperti pada Gambar 5. Sementara pada Gambar 7, menunjukkan desain interface untuk halaman transaksi tabungan siswa.



Gambar 6. Desain Interface Admin



Gambar 7. Desain interface transaksi tabungan

Setelah mendapatkan rancangan sistem informasi tabungan siswa berbasis web, penulis mengevaluasi hasil rancangan tersebut dengan menyebar kuesioner kepada siswa dan juga guru di SMK Negeri 1 Sipirok.

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Rencelolaan	30	1.00	4.00	2.1000	.66176
Manual	30	1.00	4.00	2.0333	.66868
pembuatan_sistem	30	1.00	4.00	3.1667	.59209
Prosedur	30	1.00	4.00	3.3000	.70221
Mudah	30	1.00	4.00	3.0667	.58329
Jaminan_keamanan	30	1.00	4.00	3.2667	.63968
Membantu	30	1.00	4.00	3.4333	.67891
Senang	30	1.00	4.00	3.5000	.68229
menagelola_siswa	30	1.00	4.00	3.0667	.78492
proses_akademis	30	1.00	4.00	3.1667	.74664
Valid N (listwise)	30				

Gambar 8. Hasil Analisis Descriptive Statistics

Berdasarkan hasil data kuesioner yang penulis peroleh selama kegiatan evaluasi (Gambar 8), dapat diketahui bahwa nilai terendahnya ialah 2.0333 yang diartikan sebagai “Kurang Setuju” dan nilai tertinggi adalah 3.5000 yang berarti “Setuju”.

Dengan begitu, dapat ditarik kesimpulan kalau nilai rata-rata dari *mean* ialah 3.01001. Oleh karena itu, Rancangan Sistem Informasi Tabungan Siswa Berbasis Web di SMK Negeri 1 Sipirok dapat dibuatkan sistem.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi dalam penelitian ini, maka kesimpulan yang diperoleh adalah rancangan sistem informasi tabungan siswa berbasis web sudah sesuai dan rancangan tersebut dapat diimplementasikan ke dalam sistem berbasis web.

#### REFERENSI

- [1] A. N. Yushita, “Pentingnya Literasi Keuangan Bagi Pengelolaan Keuangan Pribadi,” *Nominal, Barom. Ris. Akunt. dan Manaj.*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.21831/nominal.v6i1.14330.
- [2] Y. Hikmah, “Literasi Keuangan Pada Siswa Sekolah Dasar Di Kota Depok, Provinsi Jawa Barat, Indonesia,” *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 26, no. 2, p. 103, 2020, doi: 10.24114/jpkm.v26i2.16780.
- [3] S. R. HS and M. Indriayu, “Kajian Literasi Keuangan Pada Siswa Menengah Atas (SMA): Sebuah Pemikiran,” *Pros. Semin. Pendidik. Ekon. dan Bisnis*, pp. 1–9, 2017.
- [4] D. P. Yuliana, M. P. S. Mezi, and ..., “Penerapan Literasi Keuangan Dan 12 Prinsip Dasar Pada Umkm Emping Kedelai Marem: Indonesia,” *Community ...*, vol. 3, no. 1, pp. 38–42, 2022.
- [5] Warsono, “Prinsip-prinsip dan praktik keuangan pribadi,” *J. Ekon. dan Bisnis*, vol. 13, no. 2, pp. 137–152, 2010.
- [6] M. Y. Hambali and F. R. Dewi, “Pengaruh Literasi Keuangan Syariah Terhadap Perilaku Keuangan Masyarakat Sekitar Pondok Pesantren Di Kecamatan Cibitung Bekasi.,” *Sci. Repos. -IPB*, 2018.
- [7] M. Huda, “Prinsip-Prinsip Keuangan Publik Islam,” *Al-Intaj J. Ekon. dan Perbank. Syariah*, vol. 4, no. 1, pp. 1–17, 2018.
- [8] J. C. Van Horne and J. M. Wachowicz, *Prinsip-Prinsip Manajemen Keuangan*. Indonesia: Penerbit Salemba Empat, 2021.
- [9] S. Sutrisno, A. Z. Abidin, H. Winata, P. Harjianto, and D. Sunarsi, “Penyuluhan Pengelolaan Keuangan Sederhana Siswa SMA 6 Tangerang Selatan,” *BAKTIMAS J. Pengabd. pada Masy.*,

vol. 2, no. 1, pp. 67–71, 2020, doi:  
10.32672/btm.v2i1.2106.

- [10] Z. Mubarak, W. Wahjoedi, and M. Mardono, “Pengaruh Tingkat Pengetahuan Ilmu Ekonomi dan Pemanfaatan Bank Mini Sekolah terhadap Minat Menabung Siswa Kelas XI IPS SMA Negeri 2 Malang,” *J. Pendidik. Ekon.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–14, 2017, doi: 10.17977/um014v10i12017p001.
- [11] M. Sadri, “Pemberdayaan Siswa Melalui Edukasi Keuangan Sejak Dini Sebagai Upaya Pembentukan Karakter Cerdas Mengelola Uang,” *Prosiding Semin. Nas. Kewirausahaan*, vol. 1, no. 1, pp. 290–295, 2019, doi: <https://doi.org/10.30596/snk.v1i1.3630>.
- [12] P. M. Endraswari, R. Rahmadi, and C. Effendy, “Pemodelan Hubungan Kausal dari Faktor-Faktor Penentu Cancer Related Fatigue Menggunakan Algoritma S3C-Latent,” *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 4, no. 6, Dec. 2020, doi: 10.29207/resti.v4i6.2577.
- [13] N. N. Hidayati and Sulasminten, “Pengelolaan bank mini sebagai pendukung sumber pembelajaran di SMK Negeri 1 Ponorogo,” 2017.
- [14] N. Pradipta and M. Karismariyanti, “Aplikasi Tabungan Dan Pinjaman Berbasis Akuntansi Perbankan,” *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 5, no. 3, pp. 2494–2505, 2019.
- [15] A. M. Maatuk and E. A. Abdelnabi, “Generating UML Use Case and Activity Diagrams Using NLP Techniques and Heuristics Rules,” in *International Conference on Data Science, E-learning and Information Systems 2021*, 2021, pp. 271–277, doi: 10.1145/3460620.3460768.
- [16] Kurniawan, “Unified Modeling Language Tools Collaboration for Use Case, Class and Activity Diagram Implemented with HTML 5 and Javascript Framework,” *J. Comput. Sci.*, vol. 10, no. 8, pp. 1440–1446, Aug. 2014, doi: 10.3844/jcssp.2014.1440.1446.

**Alamat Redaksi :**

Gedung Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik  
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung  
Balunijuk, Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka Belitung  
Telp. Universitas : (0717) 422145, 422965 Fax. (0717) 421303  
Telp. Fakultas : (0717) 4260033 ext. 2122, 2124  
Laman : <https://journal.ubb.ac.id/index.php/elektro>  
E-mail : [jurnalecotipe@ubb.ac.id](mailto:jurnalecotipe@ubb.ac.id) / [jurnal.ecotipe@yahoo.com](mailto:jurnal.ecotipe@yahoo.com)

**ISSN 2355-5068**  
**e-ISSN 2622-4852**  
Volume 9, Nomor 1, April 2022

