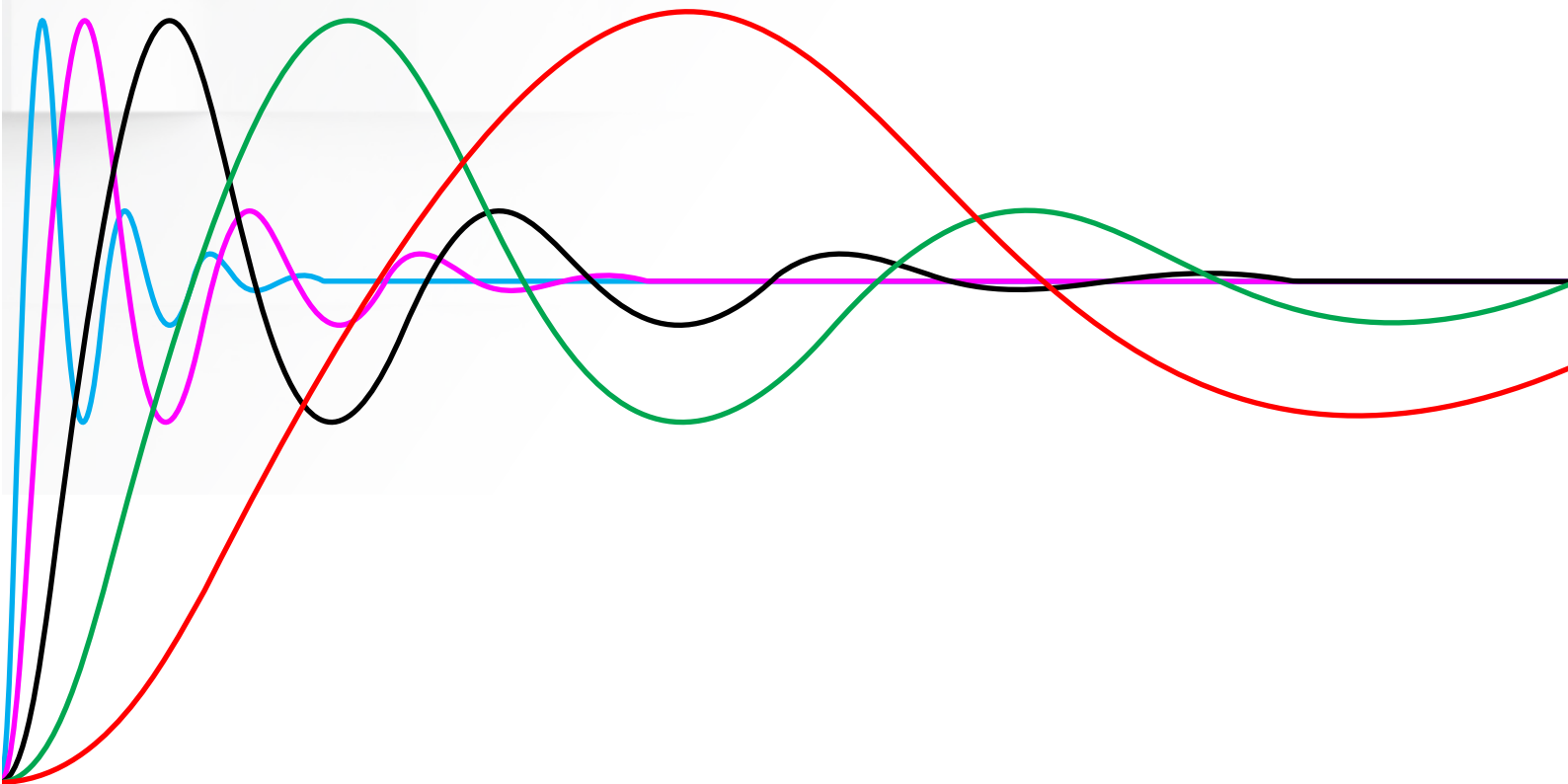


P-ISSN : 2685 - 4341
E-ISSN : 2685 - 5313

Vol. 6, No. 1, Juni 2024

Jurnal Riset Rekayasa Elektro



Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Purwokerto



Jurnal Riset Rekayasa Elektro

Terbit pertama kali tahun 2019
p-ISSN : 2685-4341

Penanggung Jawab/Publisher

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Pemimpin Redaksi/Editor-in-Chief

Arif Johar Taufiq, S.T., M.T.

Dewan Redaksi/Editors

Muhamad Taufiq Tamam, S.T., M.T (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Wakhyu Dwiono, ST, MT (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Dr. Nelly Safitri (Politeknik Negeri Lhokseumawe)

Sekretaris Redaksi/Secretary of Editor

Bayu Aji Kurniawan, A.Md.T (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)

Alamat Redaksi/Address

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. KH Ahmad Dahlan PO Box 202, Purwokerto 53182
<http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE/index>
email: jurnaljrre@ump.ac.id

Jurnal Riset Rekayasa Elektro (JRRE) adalah terbitan berkala ilmiah yang diterbitkan oleh Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto. JRRE menyajikan artikel hasil pemikiran dan penelitian serta perkembangan terkini dari Teknik Elektro. Redaksi mengundang para peneliti, dosen, dan praktisi untuk bertukar pikiran dan memajukan keilmuan di bidang teknik elektro

(JRRE) Electrical Engineering Research Journal is a periodical scientific publication published by Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Science, Muhammadiyah University of Purwokerto. JRRE presents articles of thought and research as well as the latest developments from Electrical Engineering. Editors invite researchers, lecturers, and practitioners to exchange ideas and advance knowledge in the field of electrical engineering

Jurnal Riset Rekayasa Elektro

Volume 6 No 1 Juni 2024

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

i

Sistem Keamanan Pintu Laboratorium Perikanan Berbasis Mikrokontroler

(1 – 12)

Agus Prayitno, Chusnul Chotimah, Syaiful Nugraha, Teddy Istanto

Dampak MU-MIMO dan SU-MIMO pada Perencanaan Jaringan Seluler 2300 MHz: Studi Komprehensif di Kota Cilacap

(13 – 24)

Hegya Biwana Riswanto, Ilham Erlangga Dwi Putra Sati, Muhammad Rizky, Figa Aghani Rosyid, Alfin Hikmaturokhman

Analysis of Determining the Surge Arrester Protective Distance for Protection on 60 MVA Power Transformers at the 150 KV Main Substation in Surabaya Barat

(25 – 36)

Reza Sarwo Widagdo, Gatut Budiono, Miftachun Nasichin

Prototipe Sistem Peringatan dan Kontrol Jaring Otomatis Dengan Metode Fuzzy Untuk Mitigasi Risiko Lepasnya Ikan Saat Banjir di Tambak Berbasis IoT (*Internet of Things*)

(37 – 48)

Muhammad Farid Firmansyah, Rini Puji Astutik

Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap *Partial Discharge* dan Arus Bocor Pada Kabel *Power Incoming* 20KV Transformator Daya Gardu Induk Kalibakal

(49 – 58)

Samsul Maarif, Winarso

Penerapan Arsitektur EfficientNet-B0 Pada Klasifikasi Leukimia Tipe Acute Lymphoblastik Leukimia

(59 – 68)

Alfataniah Nur Fajrina, Zein Hanni Pradana, Sevia Indah Purnama, Shinta Romadhona

Penerapan IoT (*Internet of Things*) Pada Alat Penghitung Penumpang Bus Trans Banyumas

(69 - 78)

Wegift Putrasari Wegift, Arif Johar Taufiq

Perancangan dan Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring Pemberian Pakan Ikan Otomatis Pada Keramba Jaring Apung Menggunakan Modul Komunikasi LoRa

(79 – 86)

Afri Yudamson, Muhammad Mufid Ridho, Syaiful Alam

Perancangan dan Implementasi Sistem Pewaktu Digital Pada Lomba Panjat Dinding

(87 – 92)

Itmi Hidayat Kurniawan, Aji Gilang Syah Putra, Latiful Hayat

PETUNJUK PENULISAN

ii

Sistem Keamanan Pintu Laboratorium Perikanan Berbasis Mikrokontroler

Laboratory Door Security System Fishing Using a Microcontroller

Agus Prayitno¹, Chusnul Chotimah², Syaiful Nugraha³, Teddy Istanto⁴

^{1,2,3,4} Program Studi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Musamus Merauke
Jl. Kamizaun Mopah Lama, Rimba Jaya, Merauke 99610

Informasi Makalah

Dikirim, 4 November 2023
Diterima, 23 Maret 2024
Diterbitkan, 28 Juni 2024

Kata Kunci:

Sistem Keamanan
RFID
Laboratorium
ESP8266

Keyword:

Security System
RFID
Laboratory
ESP8266

INTISARI

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan memodelkan suatu sistem keamanan dengan memanfaatkan teknologi RFID dan mikrokontroler pada Laboratorium Perikanan Merauke. Pintu laboratorium perikanan sering kali menjadi titik masuk terhadap akses yang tidak diinginkan. Pengamanan pintu laboratorium saat ini masih menggunakan kunci gembok yang rentan terhadap duplikasi atau penggandaan, sehingga berpotensi memungkinkan akses yang tidak sah, mengurangi sterilisasinya, dan meningkatkan risiko pencurian peralatan laboratorium. Sehingga Sistem Keamanan Pintu Laboratorium Perikanan yang dirancang ini dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan yaitu membantu keamanan pintu laboratorium. Dengan menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan pencatatan akses aktivitas menggunakan perangkat lunak spreadsheet telah dihasilkan suatu prototype sistem keamanan yang terjamin hak akses yang diberikan serta dari hasil korespondensi pengguna dengan sistem yang dibangun, memperoleh 87,24% jawaban sistem sangat membantu dalam mengelola data dan informasi mengenai perekaman akses dari setiap pengguna yang mengakses Laboratorium Perikanan.

ABSTRACT

This research aims to develop and model a security system utilizing RFID technology and microcontrollers in the Merauke Fisheries Laboratory. The laboratory door is often a vulnerable point of entry for unauthorized access. Current laboratory door security relies on padlock keys, which are susceptible to duplication, potentially allowing unauthorized access, compromising sterility, and increasing the risk of laboratory equipment theft. Therefore, the designed Fisheries Laboratory Door Security System can fulfill the required needs, enhancing laboratory security. By using the ESP8266 microcontroller and access activity recording through spreadsheet software, a prototype security system with secure access rights has been created. Correspondence with users revealed that the system significantly assists in managing data and information regarding access recording by each user in the Fisheries Laboratory, with a user satisfaction rate of 87.24%.

Korespondensi Penulis:

Agus Prayitno¹, Chusnul Chotimah², Syaiful Nugraha³, Teddy Istanto⁴

Program Studi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Musamus Merauke
Jl. Kamizaun Mopah Lama, Rimba Jaya, Merauke 99610

agusprayitno@unmus.ac.id, chusnul@unmus.ac.id, syaiful_ft@unmus.ac.id, istanto@unmus.ac.id

1. PENDAHULUAN

Laboratorium adalah tempat di mana penelitian, pembelajaran, dan percobaan dilakukan. Ruangan ini dilengkapi dengan beragam peralatan yang digunakan untuk mendukung kegiatan-kegiatan tersebut. Laboratorium seringkali digunakan oleh ilmuwan, peneliti, mahasiswa, dan profesional dalam berbagai disiplin ilmu untuk melakukan eksperimen, mengumpulkan data, dan menguji hipotesis. Peralatan di laboratorium bisa mencakup mikroskop, alat kimia, sensor, dan banyak lagi, tergantung pada tujuan dan fokus penelitian atau pembelajaran yang dilakukan di sana [1]. Laboratorium biasanya dilengkapi dengan peralatan, instrumen, dan pengaturan yang memungkinkan ilmuwan, peneliti, atau siswa untuk melakukan pengamatan, pengukuran, dan percobaan dalam lingkungan yang terkendali. Laboratorium digunakan dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk ilmu pengetahuan alam, kimia, fisika, biologi, kedokteran, teknik, dan lain sebagainya[2]. Salah satu diantaranya adalah Laboratorium Perikanan Merauke yang merupakan salah satu laboratorium yang dibangun dan digunakan sebagai tempat untuk mengukur dan melihat kualitas serta kelayakan ikan yang baik untuk diolah. Ruangan laboratorium ini memiliki standar kebersihan yang sangat tinggi dan steril. Seluruh peralatan dan perlengkapan yang digunakan juga dijaga dengan ketat. Oleh karena itu, siapa pun yang masuk ke laboratorium, baik itu staf laboratorium maupun pengunjung, diwajibkan untuk mengenakan Alat Pelindung Diri (APD) seperti jas laboratorium, kacamata pelindung, sepatu khusus, pelindung wajah, masker gas, sarung tangan, dan pelindung telinga.

Laboratorium Perikanan Merauke memiliki peralatan yang lengkap dan memadai dimana semua peralatan tersebut hanya bisa disimpan dan digunakan di dalam ruangan laboratorium yang telah steril. Pada saat ini pengamanan pintu laboratorium masih menggunakan kunci seperti gembok yang mana pengamanan menggunakan kunci gembok masih dapat diduplikasi atau digandakan. Sehingga dapat terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan seperti orang yang tidak berkepentingan masuk ke dalam ruangan laboratorium tanpa izin yang mengakibatkan ruangan tidak steril dan terjadinya kasus pencurian peralatan laboratorium tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas suatu perancangan model sistem keamanan pintu berbasis mikrokontroler yang dapat membantu pengamanan pintu laboratorium perikanan sehingga kunci tidak dapat diduplikasi dan digandakan serta ruangan lab tersebut lebih aman dan tetap steril untuk digunakan serta daftar riwayat pemakaian lab dapat dilihat oleh kepala laboratorium pada catatan rekaman melalui sebuah perangkat lunak. *Radio Frequency Identification* (RFID) dengan kemajuan teknologi dalam bidang elektronika ini mampu mengatasi berbagai masalah yang rumit sekalipun, dengan ketelitian dan kecepatan serta ketepatan yang sangat tinggi[3][4]. Teknologi RFID lebih sulit untuk dibajak atau digandakan kuncinya sehingga keamanan suatu ruangan atau tempat yang dikhususkan tidak dapat dengan mudah dibobol[5]. Adapun penelitian terdahulu telah banyak eksperimen yang dilakukan untuk memodelkan suatu sistem keamanan yang lebih handal dimana memanfaatkan teknologi RFID digunakan pada ruang kuliah maupun ruang laboratorium agar keamanan akan lebih terjamin, karena pintu hanya akan dibuka oleh petugas laboratorium[6]. Hal lainnya adalah dengan kombinasi teknologi *Internet of Things* (IoT) merujuk pada jaringan perangkat fisik yang terhubung ke internet dan dapat saling berkomunikasi dan berinteraksi dengan satu sama lain tanpa campur tangan manusia[7]. IoT melibatkan berbagai jenis perangkat, mulai dari smartphone, kendaraan, peralatan rumah tangga cerdas, sensor industri, hingga perangkat kesehatan yang memiliki kemampuan untuk terhubung ke internet[8]. Keamanan juga merupakan hal penting dalam IoT karena banyak perangkat IoT yang dapat mengirim dan menerima data sehingga keamanan suatu sistem perlu dilindungi untuk memastikan bahwa data-data yang terdapat di dalamnya sesuai dengan akses data yang diberikan[9]. Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini membahas suatu model **Sistem Keamanan Pintu Laboratorium Perikanan Berbasis Mikrokontroler** yang dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan yaitu membantu keamanan pintu laboratorium yang tidak dapat diduplikasi dan digandakan kuncinya sehingga ruangan laboratorium tetap terjaga kemannyan dan tetap steril serta daftar riwayat pemakaian lab dapat dilihat oleh kepala laboratorium melalui akses *internet of things* dengan perangkat lunak yang dihubungkan pada sistem.

2. METODE PENELITIAN

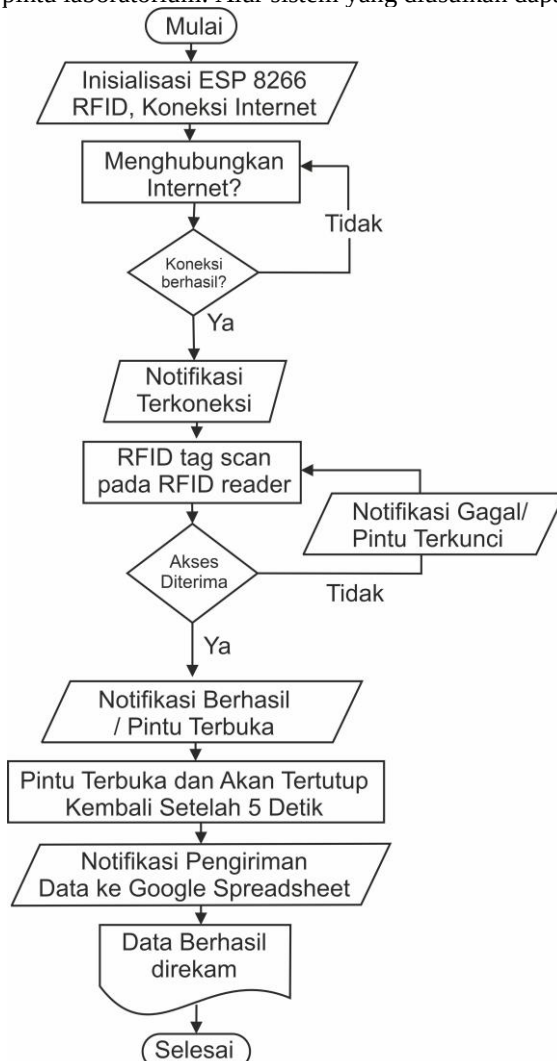
2.1. Analisis Sistem

Analisis sistem adalah suatu ikhtisar dari sistem yang sedang beroperasi, yang bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai cara sistem tersebut beroperasi. Analisis ini dilakukan sebagai evaluasi terhadap masalah atau kendala yang ada, dengan harapan dapat menghasilkan rekomendasi untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut. Analisis sistem yang berjalan dapat dijelaskan bahwa pada saat melakukan tugasnya, petugas mengambil kunci di kepala lab dan membuka pintu laboratorium, dan setelah menyelesaikan tugasnya petugas kembali menyerahkan kunci konvensional (gembok) kepada kepala laboratorium. Hal tersebut bisa dimanfaatkan oleh oknum yang tidak bertanggung jawab untuk menggandakan kunci tersebut sehingga dapat terjadinya kasus pencurian peralatan di dalam lab serta lab menjadi tidak steril lagi saat digunakan.

2.2. Perancangan Sistem

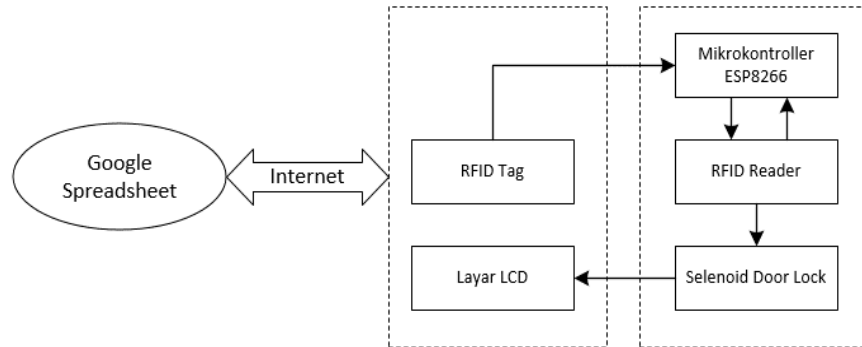
Sistem yang dirancang dan dibangun pada penelitian ini adalah membuat suatu perangkat keras berbasis Mikrokontroler ESP8266 serta menggunakan teknologi RFID. Pada saat pengguna akan masuk melewati pintu, pengguna tersebut harus melakukan proses pembacaan kartu RFID yang berfungsi sebagai ID pengguna atau petugas. Ketika kartu di-scan dan sesuai dengan ID petugas yang telah terdaftar maka akan tampil tulisan akses diterima pada LCD dan pintu akan terbuka, namun apabila kartu di scan sebanyak tiga kali namun gagal, buzzer akan berbunyi karena ID belum terdaftar. Pada penelitian ini Node MCU ESP8266 berfungsi sebagai penghubung ke jaringan internet dan untuk memproses data[10]. RFID merupakan teknologi pengidentifikasian yang menggunakan gelombang radio sebagai dasarnya. Teknologi ini memiliki kemampuan untuk mengenali sejumlah besar objek secara bersamaan tanpa memerlukan sentuhan fisik atau jarak yang sangat dekat[11]. *Internet of Things (IoT)* adalah ide yang merujuk pada jaringan perangkat fisik yang terhubung ke internet dan dapat berinteraksi satu sama lain untuk berbagi data dan informasi[12].

Mikrokontroler adalah salah satu komponen kunci dalam implementasi IoT, karena digunakan untuk mengendalikan dan menghubungkan berbagai perangkat fisik lewat jaringan internet. Pengujian sistem yang dilakukan adalah jenis pengujian berbasis blackbox. Pengujian blackbox ini fokus pada pengujian fungsi-fungsi tertentu, yang dapat menggambarkan sejumlah situasi masukan dan memeriksa apakah sistem memenuhi spesifikasi fungsionalnya[13]. Langkah pengujian selanjutnya adalah *User Acceptance Test (UAT)*, yang melibatkan pengguna dalam membuat dokumen hasil uji. Ini bertujuan untuk memberikan bukti bahwa sistem dapat diterima oleh pengguna dan memenuhi persyaratan yang diminta serta yang diharapkan[14]. Penggunaan teknologi RFID serta perangkat lunak sederhana ini diharapkan dapat menjadi suatu model sistem keamanan untuk membantu keamanan pintu laboratorium. Alur sistem yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Perancangan Sistem

Perancangan dan Perencanaan sistem memiliki peran yang sangat penting dalam sebuah penelitian, karena melibatkan konsep-konsep yang menggambarkan struktur sistem dan cara kerja masing-masing komponen sistem yang akan dikembangkan. Hal ini memastikan bahwa proses pembuatan sistem akan berjalan dengan lancar dan efisien[15]. Diagram Blok, juga dikenal sebagai Blok Diagram, merupakan representasi dasar dari sistem yang akan direncanakan dan dirancang, biasanya dalam bentuk kotak atau blok-blok yang disatukan sebagai satu kesatuan yang membentuk suatu sistem secara keseluruhan[16]. Diagram blok yang mempresentasikan secara visual dari sistem serta aliran data setiap komponennya, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan ini merupakan implementasi dari tahap pembuatan serta pengujian dari perangkat yang diusulkan agar siap dioperasikan. Sistem Keamanan Pintu Laboratorium Perikanan Berbasis Mikrokontroller dengan menggunakan *selenoid door lock* ini dibuat agar dapat membantu dan menjaga keamanan aktivitas pengguna laboratorium perikanan dan memonitoring setiap pengguna yang dapat mengakses laboratorium tersebut dengan menggunakan pencatatan dan pelaporan dengan sebuah perangkat lunak.

3.1 Hasil Pembuatan Perangkat

Pembuatan alat dengan mikrokontroler ini melibatkan beberapa langkah yang harus ditempuh, seperti pemilihan mikrokontroler ESP8266 yang memiliki fasilitas *WiFi* untuk dapat terkoneksi dengan internet, perangkat lunak yakni *Arduino IDE* sebagai pengembangan dan pemrograman dari perangkat serta *Google Spreadsheet* untuk pencatatan dan penyimpanan data berbasis *cloud*. Rancang sirkuit mikrokontroler yang menghubungkan perangkat dengan komponen lainnya seperti RFID Reader, RFID Tag dan komponen lainnya untuk komunikasi dan antarmuka sistem. Hasil dari pembuatan perangkat di bawah ini mencakup desain perangkat keras dan perangkat lunak yang menggunakan mikrokontroler. Pada tahap awal, perangkat tersebut dibuat melalui pembuatan prototipe dengan menggunakan komponen-komponen yang telah dijelaskan dalam bagian perancangan. Hasil tersebut kemudian diaplikasikan pada sebuah model bangunan miniatur laboratorium untuk menggambarkan visualisasi dari desain yang telah dikerjakan, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perangkat Sistem Keamanan Pintu Laboratorium

Komponen - komponen yang digunakan pada penelitian ini merupakan keseluruhan elemen yang dibentuk sehingga menjadi suatu perangkat keamanan. Pada *prototype* yang dibuat terdapat 2 buah RFID Reader dan 2 buah LCD yang diletakkan pada pintu masuk dan di dalam bangunan gedung laboratorium sebagai penanda dan pembaca akses masuk dan akses keluar. Dari Gambar 3, bentuk rancangan sistem keamanan pintu laboratorium berbasis mikrokontroler ini memiliki beberapa komponen, seperti:

- ESP8266 merupakan *mikrokontroler* yang digunakan sebagai pemroses input dari sensor dan memprosesnya menjadi output.
- RFID Reader IN berfungsi untuk membaca informasi yang tersimpan dalam tag RFID atau kartu RFID untuk akses masuk pintu laboratorium.
- RFID Reader OUT berfungsi untuk membaca informasi yang tersimpan dalam tag RFID atau kartu RFID untuk akses keluar pintu laboratorium.
- LCD berfungsi menampilkan informasi atau notifikasi setiap keadaan yang terjadi pada lingkungan perangkat.
- Buzzer berfungsi memberikan notifikasi berupa alarm suara ketika ada akses yang tidak berhak mengakses pintu laboratorium.
- Solenoid Door Lock berfungsi sebagai perangkat elektromagnetik, untuk mengontrol mekanisme penguncian dan pembukaan pintu laboratorium.
- Relay berfungsi sebagai *switch* atau saklar untuk perangkat lain yakni *solenoid door lock* untuk dapat beroperasi.
- Adaptor berfungsi sebagai sumber daya utama pada alat.

3.2 Cara Kerja Alat

Alur proses kerja sistem keamanan pintu laboratorium ini adalah perangkat keamanan yang berpusat pada mikrokontroler ESP8266 akan menginisialisasi setiap komponen yang ada yaitu RFID Reader dan menghubungkan perangkat pada jaringan internet. Ketika perangkat sudah terhubung pada jaringan internet, maka perangkat sudah dapat digunakan untuk melakukan pendeteksian, perekaman dan pencatatan pada perangkat lunak *Google Spreadsheet*. Kartu RFID (RFID Tag) yang telah terdaftar atau diberikan akses ke dalam sistem diletakkan pada pembaca RFID (RFID Reader) untuk mengidentifikasi setiap kartu RFID. Apabila Kartu RFID yang diletakkan merupakan Kartu RFID yang diberikan akses (terdaftar) maka secara otomatis pintu laboratorium melalui kunci *solenoid door lock* akan membuka kunci tersebut, sehingga pengguna Kartu RFID dapat masuk ke dalam gedung laboratorium dengan informasi atau notifikasi lewat layar *Liquid Crystal Display* (LCD).

LCD ini juga akan memberikan notifikasi pesan setiap keadaan pada lingkungan perangkat. Setelah itu ESP8266 akan mengirimkan data hasil pendeteksian atau *scan* pada perangkat lunak *Google Spreadsheet* lewat jaringan internet yang telah terhubung tadi. Sehingga data hasil deteksi kartu RFID secara otomatis telah dicatat dan direkam sebagai log aktivitas pengguna. Pada Gambar 4 dapat dilihat *Google Spreadsheet* yang dibuat berupa tabel daftar pengguna dengan kartu RFID yang dimasukkan sebelumnya sebagai acuan dan pemberian akses setiap pengguna terhadap perangkat sistem keamanan ini.

	A	B	C	D	E
1	UID	Name	Access	Text	
2	77221155130	Jodi de Fretes	Any	Helo...	
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

Gambar 4. *Google Spreadsheet* Aktivitas Akses Laboratorium

Setelah terdapat tabel dengan daftar pengguna yang mempunyai akses sistem, maka setiap aktivitas pengguna akan dicatat dan direkam pada *Google Spreadsheet* lainnya seperti pada Gambar 5. Tampilan lainnya juga dapat menjelaskan rekapitulasi akses sistem, untuk pengguna yang masuk dan keluar laboratorium serta akses pengguna yang tidak diberikan (*UNKNOWN*).

	A	B	C	D	E	F	G
1	DATA AKSES LABORATORIUM				IN	1	
2					OUT	0	
3					UNKNOWN	0	
4					TOTAL	1	
5							
6	Time - Date	No. RFID	Name	Tools	Access	Status	
7	21:54:20 - 01/10/2023	1281325133	Jodi de Fretes	Smart_door_lock	Any	IN	
8							
9							
10							
11							
12							

Gambar 5. *Google Spreadsheet* Aktivitas Akses Laboratorium

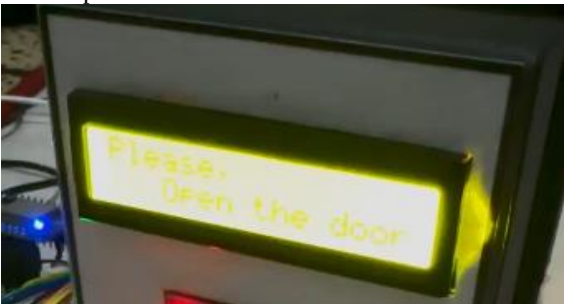
3.3 Hasil Pengujian Blackbox

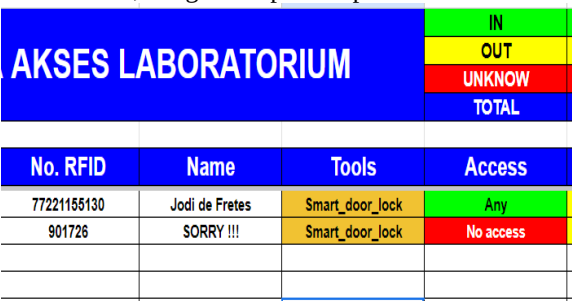
Pengujian Blackbox adalah metode pengujian sistem yang berpusat pada spesifikasi fungsional perangkat yang telah direncanakan dan dibangun. Pendekatan Blackbox Testing mengutamakan aspek ini dengan tidak memperhatikan struktur kontrol, melainkan fokus pada analisis informasi yang dihasilkan oleh input dan output. Dalam konteks teknik pengujian Blackbox, tujuan utamanya adalah memverifikasi apakah perangkat beroperasi sesuai dengan desainnya dan mencapai hasil yang diinginkan, seperti yang dijelaskan dalam rincian pengujian yang terdapat dalam Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Pengujian BlackBox Perangkat

No	Skenario Pengujian	Hasil Yang di tampilkan	Status
1	Perangkat dapat digunakan ketika mendapatkan sumber daya listrik untuk bisa dioperasikan	Perangkat siap digunakan ketika mendapatkan sumber daya listrik. 	Berhasil
2	Perangkat dapat menginisialisasikan komunikasi dengan perangkat lainnya yang terhubung dengan jaringan internet	Perangkat dapat menginisialisasikan perangkat dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil

No	Skenario Pengujian	Hasil Yang di tampilkan	Status
3	Perangkat dapat terhubung pada dengan perangkat dengan jaringan internet	Perangkat dapat terhubung pada dengan perangkat jaringan internet dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil
4	Perangkat Keamanan dapat menampilkan hasil pemindaian identitas (<i>scan id</i>) RFID Reader IN	RFID Reader IN dapat menampilkan hasil pemindaian identitas (<i>scan id</i>) RFID Tag dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil
5	Perangkat Keamanan dapat menampilkan hasil pemindaian identitas (<i>scan id</i>) RFID Reader OUT	RFID Reader OUT dapat menampilkan hasil pemindaian identitas (<i>scan id</i>) RFID Tag dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil
6	Perangkat Keamanan dapat mengirimkan hasil pemindaian identitas (<i>scan id</i>) pada perangkat lunak <i>Google Spreadsheet</i>	Perangkat Keamanan dapat memberikan notifikasi pengiriman pada <i>Google Spreadsheet</i> dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil

No	Skenario Pengujian	Hasil Yang di tampilkan	Status
7	Perangkat lunak <i>Google Spreadsheet</i> dapat menampilkan hasil rekaman akses dari Perangkat Keamanan.	<i>Google Spreadsheet</i> dapat menampilkan hasil rekaman akses dengan tampilan seperti di bawah ini. 	Berhasil
8	Perangkat Keamanan dapat membuka <i>solenoid door lock</i> sesuai akses RFID Tag yang benar	<i>Solenoid door lock</i> dapat terbuka (akses diterima) sesuai akses RFID Tag yang benar dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil
9	<i>Solenoid door lock</i> dapat membuka posisi kunci (<i>unlocked</i>) sesuai akses RFID Tag yang benar	Posisi <i>solenoid door lock</i> pada keadaan membuka (<i>unlocked</i>) dengan tampilan seperti di bawah ini. 	Sukses
10	<i>Solenoid door lock</i> terkunci (<i>locked</i>) ketika RFID Tag tidak mempunyai akses	Posisi <i>solenoid door lock</i> pada keadaan terkunci (<i>locked</i>) dengan tampilan LCD seperti di bawah ini. 	Berhasil

No	Skenario Pengujian	Hasil Yang di tampilkan	Status
11	Perangkat lunak <i>Google Spreadsheet</i> dapat menampilkan hasil rekaman RFID Tag yang tidak memiliki akses sistem.	<i>Google Spreadsheet</i> dapat menampilkan hasil rekaman dan catatan RFID Tag yang tidak memiliki akses sistem, dengan tampilan seperti di bawah ini. 	Berhasil

3.4. Pengujian Kinerja Perangkat

Pengujian kinerja perangkat yang dilakukan pada tahap ini adalah tahapan dalam proses penelitian untuk memastikan bahwa perangkat atau sistem keamanan yang dirancang dan dibangun dapat memenuhi persyaratan kinerja yang diharapkan oleh pengguna dan keberhasilan sistem secara keseluruhan. Sehingga pengujian ini dimulai dengan melakukan simulasi kinerja setiap komponen sampai dengan hasil akhir dapat mengirimkan informasi serta mencatat atau merekam setiap aktivitas akses pengguna laboratorium. Dalam mengukur kinerja perangkat, simulasi dibuat dengan terlebih dahulu membuat daftar pengguna (Nomor RFID) yang mempunyai akses terhadap laboratorium sehingga setiap pengguna yang terdaftar ataupun tidak akan terekam dalam perangkat lunak *Google Spreadsheet* dapat dijadikan sebagai bahan pelaporan penggunaan laboratorium. Berikut tahapan pengujian perangkat yang dilakukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Log Aktivitas Akses Laboratorium

No	Waktu	No. RFID	Nama Pengguna	Akses	Status
1	11:25:36 - 24/08/2023	77221155130	Jodi de Fretes	Ya	IN
2	11:30:12 - 24/08/2023	77221155130	Jodi de Fretes	Ya	OUT
3	13:48:53 - 25/08/2023	8421610159	Vanesa Fangohoy	Ya	IN
4	14:02:21 - 25/08/2023	1281325133	Heru Prasetya	Ya	IN
5	14:13:42 - 25/08/2023	1281325133	Heru Prasetya	Ya	OUT
6	14:28:18 - 25/08/2023	8421610159	Vanesa Fangohoy	Ya	OUT
7	09:12:38 - 26/08/2023	SORRY		Tidak	IN
8	15:22:47 - 26/08/2023	1164710359	Nurma Purwanti	Ya	IN
9	15:28:34 - 26/08/2023	1164710359	Nurma Purwanti	Ya	OUT
10	10:53:05 - 27/08/2023	SORRY		Tidak	IN

Hasil pengujian kinerja perangkat yang terdapat pada tabel di atas menunjukkan kemampuan perangkat sistem keamanan untuk dapat bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan. Setiap kartu RFID dapat dibaca dan dideteksi serta akses dapat diberikan pada pengguna yang terdaftar sehingga keadaan pintu dapat terbuka secara otomatis. Kemudian identitas kartu RFID yang tidak terdaftar dan tidak diberikan akses, perangkat tidak dapat mengenali pengguna tersebut, maka pintu laboratorium tetap terkunci.

3.5 Pengujian User Acceptance Test

Pengujian *User Acceptance Test* (UAT) adalah jenis pengujian yang melibatkan penyusunan kuesioner yang akan disebarakan kepada sekelompok responden, yaitu pengguna sistem, dengan tujuan untuk menilai tanggapan mereka, mendapatkan umpan balik, dan mengukur kepuasan mereka terhadap interaksi dengan sistem yang telah dibangun. Proses UAT melibatkan 10 responden, yang merupakan pegawai di Laboratorium Perikanan Merauke, yang akan diminta untuk menjawab pertanyaan dalam kuesioner tersebut.

Tabel 3. Tabel Pilihan Jawaban dan Bobot Jawaban

Pilihan	Jawaban	Bobot
A	Sangat Setuju/Sangat Membantu	5
B	Setuju/ Membantu	4
C	Cukup Setuju/ Cukup Membantu	3
D	Tidak Setuju/ Tidak Membantu	2
E	Sangat Tidak Setuju/Sangat Tidak Membantu	1

Tabel 3 Pilihan Jawaban dan Bobot digunakan untuk menentukan berbagai pilihan yang akan disediakan bagi responden dalam menjawab pertanyaan, serta menentukan nilai atau bobot yang terkait dengan setiap pilihan tersebut. Skor ideal, pada gilirannya, digunakan untuk mengidentifikasi nilai maksimum atau skor tertinggi yang dapat diperoleh jika semua responden memilih pilihan dengan skor tertinggi. Nilai ini akan menjadi dasar perhitungan skor akhir dalam proses pengujian..

Tabel 4. Tabel Interval Skor Presentase

Interval Skor	Keterangan
0% - 20%	Sangat Tidak Setuju/Sangat Tidak Membantu
21% - 40%	Tidak Setuju/ Tidak Membantu
41% - 60%	Cukup Setuju/ Cukup Membantu
61% - 80%	Setuju/ Membantu
81% - 100%	Sangat Setuju/Sangat Membantu

Tabel 5. Tabel Kalkulasi Jawaban Responden

No	Pertanyaan	Jawaban				
		A	B	C	D	E
1	Apakah perangkat keamanan pintu laboratorium menggunakan kategori pengguna yang mempunyai akses dan pengguna yang tidak memiliki akses?	5	5	0	0	0
2	Apakah penggunaan komponen dalam sistem, seperti Kartu RFID, Tag RFID sesuai dengan informasi yang diberikan?	6	2	2	0	0
3	Apakah pengguna mendapatkan fasilitas untuk melakukan registrasi dan dapat melakukan akses pada perangkat sistem keamanan ini?	4	4	2	0	0
4	Apakah pengguna mendapatkan informasi akurat, sesuai, real time dengan keadaan yang ditampilkan perangkat keamanan?	4	6	0	0	0
5	Apakah pengguna mendapatkan akses untuk melihat setiap catatan pengguna serta perekaman akses pengguna pada perangkat keamanan laboratorium?	3	7	0	0	0
6	Apakah model sistem yang dibuat dapat dikategorikan sebagai perangkat keamanan laboratorium?	6	3	1	0	0
7	Apakah model sistem yang dibuat dapat diimplementasikan pada sistem keamanan laboratorium saat ini? (pengganti model konvensional)	7	2	1	0	0
8	Apakah model sistem yang dibuat dapat direkomendasikan sebagai perangkat sistem keamanan dan pencatatan pengguna laboratorium saat ini? (pengganti model konvensional)	2	6	2	0	0

Tabel 6. Tabel Perhitungan Nilai Rata-Rata

Pertanyaan	Hasil Setiap Pertanyaan
1	45
2	44
3	42
4	44
5	43
6	45
7	46
8	40
Rata - rata	43,62

Setelah memperoleh semua hasil jawaban dari setiap masing-masing pertanyaan, dan diperoleh hasil perhitungan nilai rata-rata jawaban keseluruhan responden, maka dihitung presentase dari jawaban responden atau pengguna yakni :

$$P = F/N * 100 \quad (1)$$

P : Presentasi Jawaban

F : Nilai Rata-Rata

N : Skor Maksimum

$$P = 43,62/50 * 100$$

$$P = 87,24 \%$$

Dari hasil *User Acceptance Test*, kita menghitung rata-rata dari setiap respon yang diberikan oleh responden terhadap pertanyaan. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk mengukur tingkat kepuasan pengguna terhadap pengalaman mereka dalam menggunakan sistem. Perhitungan ini mengacu pada skala Likert, dan akhirnya menghasilkan hasil di mana 87,24% dari pengguna (pegawai) menyatakan bahwa mereka sangat setuju dengan perangkat keamanan berbasis mikrokontroler yang merupakan model sistem keamanan di laboratorium perikanan untuk mencatat dan merekam aktivitas akses pengguna.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sistem keamanan pintu laboratorium berbasis mikrokontroler ini yang dibuat dengan model *prototype* menggunakan teknologi RFID dan *solenoid door lock* berhasil dioperasikan dengan baik sesuai dengan apa yang diharapkan.
2. Konektivitas perangkat sistem keamanan ini dengan jaringan internet berhasil melakukan perekaman dan pencatatan setiap aktivitas akses laboratorium dengan perangkat lunak *Google Spreadsheet*.
3. Hasil pengujian *User Acceptance Testing (UAT)* pada 10 responden didapatkan hasil sebesar 87,24% kepuasan pengguna sangat setuju, bahwa perangkat yang dibuat sebagai model dari sistem keamanan pada laboratorium perikanan Laboratorium Perikanan Merauke.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya kami ucapkan kepada tim yang telah membantu dalam penulisan penelitian ini hingga selesai dan tidak lupa juga kepada kepala Laboratorium Perikanan Merauke beserta jajarannya yang bersedia meluangkan waktu untuk mendapatkan sumber yang valid tentang proses pelaksanaan penelitian ini dan kepada seluruh pihak-pihak terkait yang terlibat kami ucapkan terimakasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. P. Ramadhani and M. Pd, *PENGLOLAAN LABORATORIUM*. Depok: Yiesa Rich Foundation, 2020.
- [2] K. Muhajarah and M. Sulthon, "Pengembangan Laboratorium Virtual sebagai Media Pembelajaran: Peluang dan Tantangan," *Justek J. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, p. 77, 2020.
- [3] A. M. N. Syams and Suhartini, "Prototipe Sistem Keamanan Menggunakan Rfid Dan Keypad Pada Ruang Penyimpanan Di Bank Berbasis Arduino Uno," *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol. 23, no. 2, pp. 144–153, 2018.
- [4] A. Rozaq, D. Irawan, and Y. A. Surya, "Sistem Keamanan Rumah Menggunakan RFID dan Keypad Matrix Dengan One Time Pad Home Security Systems Using RFID and Keypad Matrix With One Time Pad," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 47–56, 2023.

- [5] A. M. Afandi, "Implementasi Teknologi Rfid Sebagai Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Mikrokontroler Atmega 328," *JURTEKSI (Jurnal Teknol. dan Sist. Informasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 181–186, 2021.
- [6] D. K. Utami, A. S. M. Huda, A. Qur'ania, and R. Pratama, "Sistem Access Control Ruangan Laboratorium Dan Perkuliahan Menggunakan Radio Frequency Identification," *J. Teknoinfo*, vol. 16, no. 2, p. 258, 2022.
- [7] W. W. Anggoro, "The Perancangan dan Penerapan Kendali Lampu Ruangan Berbasis IoT (Internet of Things) Android," *JATISI (Jurnal Tek. Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 8, no. 3, pp. 1596–1606, 2021.
- [8] A. Restu Mukti, C. Mukmin, E. Randa Kasih, D. Palembang Jalan Jenderal Ahmad Yani No, S. I. Ulu, and S. Selatan, "Perancangan Smart Home Menggunakan Konsep Internet of Things (IOT) Berbasis Microcontroller," *J. JUPITER*, vol. 14, no. 2, pp. 516–522, 2022.
- [9] R. Dwi Putra and R. Mukhaiyar, "Perancangan Sistem Pemantau Keamanan Rumah Dengan Sensor Pir dan Kamera Berbasis Mikrokontroler dan Internet Of Things (Iot)," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 4, no. 3, pp. 201–209, 2022.
- [10] A. Mude and L. B. F. Mando, "Implementasi Keamanan Rumah Cerdas Menggunakan Internet of Things dan Biometric Sistem," *MATRIK J. Manajemen, Tek. Inform. dan Rekayasa Komput.*, vol. 21, no. 1, pp. 179–188, 2021.
- [11] I. S. Hendi Suhendi, "Sistem Keamanan Rumah Menggunakan RFID, Sensor PIR dan Modul GSM Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328," vol. 2, no. 7, pp. 2989–3000, 2022.
- [12] M. F. Akbar and D. Irawan, "Sistem Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Fuzzy Logic," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 23, 2023.
- [13] S. A. Kadiran, E. Supriyanto, and M. Y. Maghribi, "Sistem Monitoring dan Controlling Cairan Infus Berbasis Website," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 57, 2023.
- [14] N. Aini, S. A. Wicaksono, and I. Arwani, "Pembangunan Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web menggunakan Metode Rapid Application Development (RAD) (Studi pada : SMK Negeri 11 Malang)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 9, pp. 8647–8655, 2019.
- [15] P. Rahardjo, "Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 31, 2022.
- [16] Y. Setiawan and L. Fauziah, "Penerapan Sensor Soil Moisture (Y1-69) Pada Sistem Pengukur Kelembaban Jagung," *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 3, no. 1, 2022.

Dampak MU-MIMO dan SU-MIMO pada Perencanaan Jaringan Seluler
2300 MHz: Studi Komprehensif di Kota Cilacap

Impact of MU-MIMO and SU-MIMO on 2300 MHz Cellular Network
Planning: A Comprehensive Study in Cilacap's City

Hegya Biwana Riswanto¹, Ilham Erlangga Dwi Putra Sati², Muhammad Rizky³,
Figa Aghani Rosyid⁴, Alfin Hikmaturokhman⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro,
Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Jl. DI Panjaitan N0. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641629

Informasi Makalah	INTISARI
Dikirim, 20 Januari 2024 Diterima, 6 Mei 2024 Diterbitkan, 28 Juni 2024	Penelitian ini berfokus pada perencanaan cakupan jaringan seluler di Kota Cilacap dengan frekuensi 2300 Mhz, membandingkan dua skenario utama, yaitu MU-MIMO dan SU-MIMO. Frekuensi 2300 Mhz dipilih untuk kapasitas tinggi, meskipun menghadapi tantangan urban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MU-MIMO meningkatkan efisiensi spektral pengguna rata-rata, sedangkan penggunaan eksklusif SU-MIMO mungkin mengurangi efisiensi di tepi sel. Namun, berdasarkan hasil pengujian, SU-MIMO menunjukkan keunggulan dalam jangkauan sinyal dengan rata-rata -90,54 dan rasio sinyal terhadap gangguan (C/(I+N)) dengan rata-rata 4,31. Sementara itu, MU-MIMO menunjukkan nilai rata-rata yang lebih tinggi dalam analisis sinyal efektif dengan rata-rata -117,29. Dalam hal <i>throughput</i> , kedua teknologi menunjukkan nilai rata-rata yang sebanding, yaitu 3.318,58 untuk MU-MIMO dan 3.688,24 untuk SU-MIMO. Kota Cilacap, sebagai pusat pertumbuhan urban, dengan lebih dari 750.000 jiwa pada tahun 2023, menghadapi peningkatan kepadatan penduduk. Simulasi penelitian melibatkan luas wilayah, <i>link budget</i> , dan perhitungan cakupan penduduk, dengan tujuan memaksimalkan penyebaran jaringan di setiap sudut Kota Cilacap, memberikan kontribusi strategis dalam pengembangan infrastruktur telekomunikasi yang mengikuti dinamika perkembangan perkotaan.
Kata Kunci: <i>Cellular Network Planning, 2300 Mhz Frequency, MU-MIMO, SU-MIMO, Cell Coverage Optimization</i>	ABSTRACT This research focuses on the planning of cellular network coverage in Cilacap City using a frequency of 2300 Mhz, comparing two main scenarios, namely MU-MIMO and SU-MIMO. The 2300 Mhz frequency was chosen for its high capacity, despite urban challenges. The results show that MU-MIMO improves the average user's spectral efficiency, while exclusive use of SU-MIMO may reduce efficiency at the cell edge. However, based on the test results, SU-MIMO shows superiority in signal range with an average of -90,54 and a signal-to-interference ratio (C/(I+N)) with an average of 4,31. Meanwhile, MU-MIMO shows a higher average value in Effective Signal Analysis with an average of -117,29. In terms of throughput, both technologies show comparable average values, namely 3.318,58 for MU-MIMO and 3.688,24 for SU-MIMO. Cilacap city, as an urban growth center, with more than 750,000 people in 2023, faces an increase in population density. The research simulation involves the area's size, link budget, and population coverage calculation, aiming to maximize network deployment in every corner of Cilacap city, providing a strategic contribution to the development of telecommunications infrastructure that follows the dynamics of urban development.
Keyword: Cellular Network Planning, 2300 Mhz Frequency, MU-MIMO, SU-MIMO, Cell Coverage Optimization	

Korespondensi Penulis:

Alfin Hikmaturokhman

Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Jl. DI Panjaitan N0. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641629

Email : alfin@ittelkom-pwt.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan pesat penggunaan layanan seluler di wilayah perkotaan, seperti Kota Cilacap, menimbulkan kebutuhan mendesak untuk meningkatkan perencanaan dan cakupan jaringan seluler. Penelitian ini secara khusus difokuskan pada perencanaan *coverage* menggunakan frekuensi 2300 MHz di wilayah tersebut, dengan alasan bahwa frekuensi tersebut memiliki potensi untuk memberikan kapasitas tinggi, walaupun tantangan tertentu terkait karakteristik urban perlu dipertimbangkan. Perencanaan *coverage* menjadi faktor krusial dalam memastikan ketersediaan dan kualitas layanan telekomunikasi. Fokus penelitian ini tertuju pada kawasan yang menunjukkan kompleksitas tersendiri, di mana dinamika urban dan kebutuhan konektivitas yang terus berkembang memerlukan pendekatan perencanaan yang terukur.

Terdapat beberapa penelitian yang mendukung penelitian ini, Diantaranya terdapat penelitian terkait cakupan area jaringan LTE pada teknologi FDD dan TDD pada tahun 2020 menunjukkan pengukuran jarak pada kedua teknologi dilakukan dengan mengukur jarak dari BTS ke jarak terjauh yang dapat dicapai pada PCI. Pengukuran area cakupan untuk setiap sektor 1,2 dan 3 pada teknologi FDD, masing-masing adalah 789,1m, 342,2m, dan 1040 m, tetapi pada teknologi TDD, yaitu 633,3m, 338,7m dan 922,8m. Penggunaan frekuensi pada teknologi FDD, yaitu 1800 MHz, memiliki area cakupan yang lebih luas, karena frekuensi teknologi TDD, yaitu 2300 MHz, memiliki ukuran sel yang lebih kecil dan jumlah pengguna dalam satu sel BTS lebih banyak daripada frekuensi 1800 MHz. Penggunaan frekuensi 1800 MHz lebih baik untuk area cakupan, sementara penggunaan frekuensi 2300 MHz lebih baik untuk meningkatkan layanan data dan kapasitas [1].

Selain penelitian tersebut, terdapat juga penelitian sebelumnya yang membahas perancangan jaringan 4G LTE menggunakan frekuensi 2300 MHz pada tahun 2019 menunjukkan bahwa dengan perancangan dengan bandwidth 10 MHz pada peta berkontur di Kabupaten Rokan Hulu, *best signal di level good* dengan *cover area* 76,43% dan di *level very good* dengan *cover area* 60,92% di daerah rural. Dengan perancangan dengan bandwidth 5 MHz pada peta berkontur di Kabupaten Rokan Hulu, *best signal di level good* dengan *cover area* 71,2% dan di *level very good* dengan *cover area* 54,45% di daerah rural [2].

Pada penelitian selanjutnya, yaitu membahas tentang perancangan jaringan 4G LTE menggunakan frekuensi 1800 MHz pada tahun 2022 menunjukkan bahwa jumlah site yang digunakan adalah jumlah *site* terbanyak berdasarkan dari *coverage planning* yaitu 16 *site* di Kecamatan Pemenang dan 21 *site* di Kecamatan Tanjung. Pengambilan *site* berdasarkan *coverage planning* mempertimbangkan performansi jaringan yang lebih baik, dimana distribusi nilai RSRP, SINR dan *Throughput* pada perencanaan ini sudah tergolong baik, karena sudah melebihi syarat minimum dari standar parameter yang digunakan. Hasil simulasi dari perencanaan jaringan LTE di Kecamatan Pemenang diperoleh nilai rata-rata RSRP sebesar -86,54 dBm, nilai rata-rata SINR sebesar 12,47dB dan rata-rata nilai *Throughput* sebesar 39 Mbps. Sedangkan pada Kecamatan Tanjung diperoleh nilai rata-rata RSRP sebesar -89,24 dBm, nilai rata-rata SINR sebesar 10,52 dB dan rata-rata nilai *Throughput* sebesar 36,709 Mbps. Penentuan letak *site* eNodeB dalam penelitian ini berdasarkan efisiensi area yang tercakup *site* dan tetap mempertimbangkan penyebaran penduduk dan memperhatikan kepadatan penduduk yang terlihat pada peta wilayah yang berada pada wilayah Kecamatan Pemenang dan Tanjung [3].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait perancangan jaringan 4G LTE belum ada penelitian yang menggunakan frekuensi 2300 MHz di wilayah kota Cilacap. Untuk perencanaan *coverage* terlebih dahulu menentukan jumlah *site* yang diperlukan pada frekuensi 2300 MHz di kota Cilacap lalu melakukan pengujian pada parameter *Coverage by Signal Level*, *Coverage C(I+N)*, *Coverage by Throughput*, dan *Effective Signal* menggunakan *software* Atoll 3.4.0. Perancangan ini diharapkan menjadi gambaran awal untuk melakukan pembangunan *coverage* jaringan LTE di wilayah padat kota Cilacap.

1.1. Multi User-Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO)

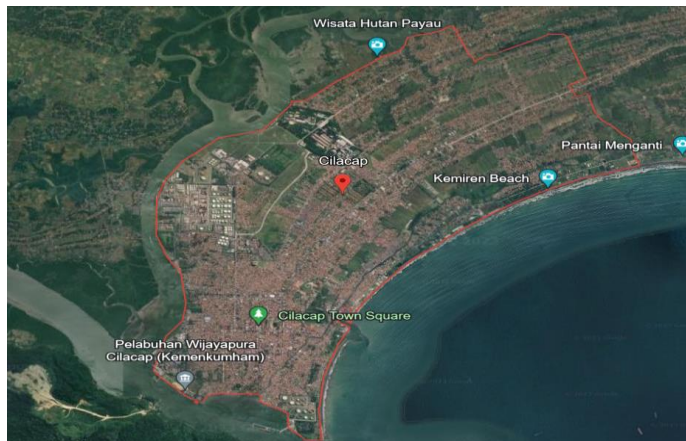
MU-MIMO adalah singkatan dari *Multi User, Multiple input, Multiple Output*. MU-MIMO ini memiliki kemampuan lebih yang signifikan bila dibandingkan dengan generasi sebelumnya yaitu SU-MIMO (*Single User, Multiple input, Multiple Output*) yang mulai kita jumpai pada protokol 802.11n di sekitar tahun 2007. Pada MU-MIMO sendiri protokol yang digunakan adalah 802.11ac tapi tidak semua chipset Wi-Fi yang mendukung protokol 802.11ac juga mendukung fitur MU-MIMO [4]. MU-MIMO membuat *router* atau *access point* bisa berkomunikasi dengan beberapa perangkat/pengguna dalam satuan waktu dengan beberapa jalur yang berbeda [5] [6].

1.2. Single User-Multiple Input Multiple Output (SU-MIMO)

SU-MIMO adalah sebuah teknologi yang digunakan dalam komunikasi nirkabel, terutama dalam jaringan seluler seperti 4G LTE dan 5G. SU-MIMO memungkinkan pengiriman data secara simultan ke dan dari beberapa antena (*multiple-input*) pada perangkat pengguna tunggal (*single-user*) dan perangkat di stasiun basis [7]. Dalam SU-MIMO, stasiun basis menggunakan *multiple-input multiple-output* (MIMO) untuk mengirimkan sinyal ke perangkat pengguna dengan menggunakan beberapa antena. Perangkat pengguna juga dapat memiliki beberapa antena untuk menerima sinyal yang dikirimkan secara simultan dari stasiun basis. Dengan menggunakan teknik beamforming dan pemrosesan sinyal yang canggih, SU-MIMO memungkinkan peningkatan kecepatan dan kapasitas komunikasi nirkabel [8] [9].

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu simulasi menggunakan *software* Atoll versi 3.4.0 untuk melakukan perancangan *coverage area* jaringan seluler menggunakan frekuensi 2300 Mhz [10] pada area kota Cilacap, dengan *software* Atoll yang sudah termasuk Map pulau Jawa dengan membandingkan 2 skenario yang akan digunakan untuk melakukan perbandingan yaitu SU-MIMO dan MU-MIMO [11]. Sebelum melakukan simulasi, diperlukan data seperti luas wilayah penelitian, *link budget* serta perhitungan cakupan penduduk yang akan dilakukan *coverage* jaringan dengan tujuan memaksimalkan penyebaran jaringan ke setiap sudut wilayah.

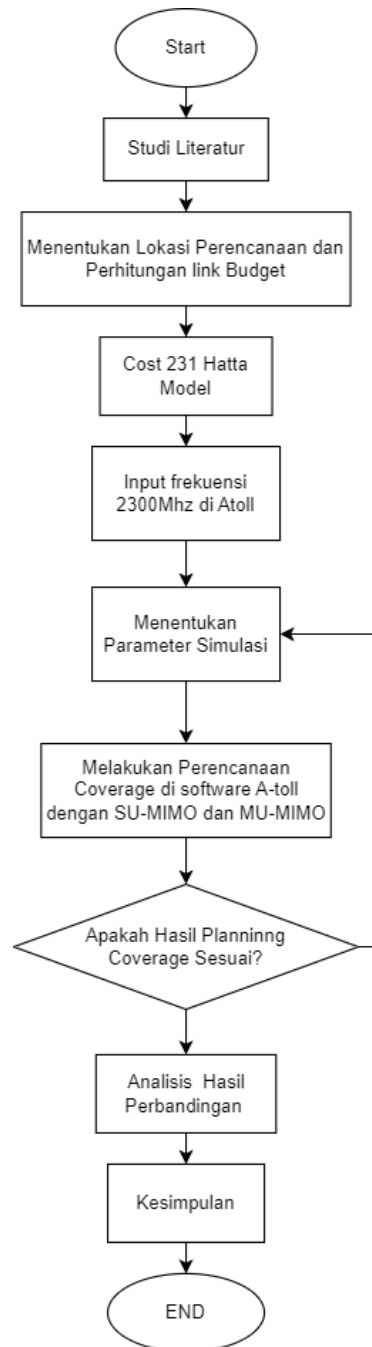


Gambar 1. Peta Wilayah Kota Cilacap

Kabupaten Cilacap terletak di Provinsi Jawa Tengah dengan luas wilayah 2.253 Km² dan memiliki topografi yang beragam serta kondisi rata-rata merupakan dataran rendah. Jumlah penduduk Kabupaten Cilacap mencapai 1,9 juta jiwa dengan usia produktif sebanyak 1,3 juta jiwa (69%). Kabupaten Cilacap terdiri dari 24 kecamatan dan terbagi menjadi 269 desa dan 15 kelurahan [12]. Kemudian untuk *coverage area* yang dilakukan tepatnya berada di kota Cilacap dengan luas area berdasarkan sumber dari *software* Atoll yakni 34,816 Km².

2.1. Alur Penelitian

Diagram alur pada penelitian ini memberikan representasi mengenai langkah-langkah proses, atau alur dari penelitian.



Gambar 2. Alur Penelitian

a. Studi Literatur

Langkah awal melibatkan kajian literatur guna menghimpun informasi yang relevan mengenai perencanaan jaringan seluler pada frekuensi 2300 MHz, MU-MIMO, SU-MIMO, dan topik terkait dalam penelitian lain.

b. Pemilihan Lokasi

Tahap berikutnya adalah menentukan lokasi perencanaan di Kota Cilacap, sambil melakukan perhitungan anggaran *link*. Keputusan ini memiliki signifikansi penting dalam mempertimbangkan biaya operasional perancangan jaringan, karena lokasi *site* akan berpengaruh pada kualitas jaringan.

c. Pemilihan Model

Untuk tahap ini menggunakan Model Cost Hata 231 Fungsi utama dari pemodelan Cost Hata 231 adalah untuk memperkirakan kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat penerima. Dengan mengetahui kekuatan sinyal yang diterima, maka dapat ditentukan kualitas komunikasi seluler yang akan diterima.

d. Frekuensi

Selanjutnya menginput Frekuensi 2300Mhz untuk *coverage* area pada kota Cilacap dikarenakan akan dilakukan *coverage* 4G LTE.

e. Penentuan Parameter

Parameter disini ditentukan untuk mencapai goals yang dicapai serta dijadikan acuan sebagai tujuan suatu project, ada 4 parameter yang akan dilakukan analisis *coverage* area 2300 Mhz.

f. Planning

Selanjutnya melakukan *planning* untuk perencanaan di Atoll dengan menghitung *link budget* yang akan diterapkan, kemudian meratakan sinyal yang di *coverage* pada area yang akan dijangkau.

g. Rencana Cakupan dengan Atoll

Pada tahap ketiga, dilakukan perencanaan cakupan menggunakan perangkat lunak Atoll versi 3.4.0 dengan skenario SU-MIMO dan MU-MIMO dari lokasi yang telah ditetapkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana cakupan frekuensi 2300 MHz dapat dicapai dalam masing-masing skenario.

h. Analisis Perbandingan Uji MU-MIMO dengan SU-MIMO

Pada langkah keempat, dilakukan analisis hasil perbandingan antara skenario SU-MIMO dan MU-MIMO. Fokusnya adalah bagaimana pemanfaatan spektrum frekuensi 2300 MHz dalam perencanaan area dapat dioptimalkan dengan menggunakan SU-MIMO atau MU-MIMO. Tahap ini bertujuan untuk menilai performa terbaik di antara kedua skenario yang digunakan.

i. Kesimpulan

Langkah terakhir melibatkan penyimpulan dari hasil analisis perbandingan skenario SU-MIMO dan MU-MIMO untuk perencanaan cakupan jaringan seluler pada frekuensi 2300 MHz di area perencanaan. Kesimpulan ini juga mencakup ringkasan temuan utama selama analisis, membantu dalam mengevaluasi kondisi dan situasi di mana SU-MIMO lebih unggul daripada MU-MIMO atau sebaliknya.

2.2. Maximum Allowed Path Loss (MAPL)

Maximum Allowable Path Loss (MAPL) adalah istilah yang digunakan dalam industri telekomunikasi untuk menggambarkan jumlah redaman maksimum [13] yang dapat dialami sinyal radio sebelum menjadi tidak dapat digunakan [14]. Dengan kata lain, ini adalah jumlah maksimum kehilangan sinyal yang dapat terjadi selama transmisi dengan tetap mempertahankan tingkat kualitas sinyal yang dapat diterima [15] [16]. Rumus perhitungan EIRP adalah sebagai berikut:

$$EIRP = Tx\ Power + Gain\ Antenna\ Tx - Cable\ Loss \quad (1)$$

Sehingga dapat dihitung menjadi:

$$EIRP = 45 + 15 - 2 = 58\ dBm \quad (2)$$

Cara menghitung *thermal noise* adalah sebagai berikut:

$$Thermal\ Noise = -174dBm / Hz + 10\ log(20 \times 1000 \times 12 \times 100) = -101,45 \quad (3)$$

Untuk menghitung MAPL diperlukan nilai *sensitivity* dengan rumus sebagai berikut:

$$Sensitivity\ Receiver = UE\ Noise\ Figure + Thermal\ Noise + SINR \quad (4)$$

Sehingga didapatkan sebagai berikut:

$$Sensitivity\ Receiver = 7 + (-100,19) + 3,69 = -89,5\ dBm \quad (5)$$

Rumus MAPL adalah sebagai berikut:

$$MAPL = EIRP - Sensitivity\ Receiver - Interference\ Margin - Control\ Channel\ Overhead + Rx\ Antenna\ Gain - Body\ Loss \quad (6)$$

Sehingga didapatkan yaitu sebagai berikut:

$$MAPL = 58 - (-89,5) - 4 - 1 + 0 - 0 = 142,5\ dB \quad (7)$$

2.3. Perhitungan Matematis dan Link Budget

Tabel 1. *Link Budget* [10]

<i>Link Budget</i>		
<i>Comments Parameter</i>	Unit	DL Calculation
<i>Tx Power Frekuensi 2300 Mhz(20MHz)</i>	dBm	45
<i>Tx Antena Gain</i>	dB	15
<i>Cable Loss</i>	dB	2
<i>EIRP</i>	dBm	58
<i>UE Noise Figure</i>	dB	7
<i>Thermal Noise</i>	dBm	-101,45
<i>SINR</i>	dB	2,4
<i>Bandwidth System</i>	MHz	20
<i>Sensitivity Receiver</i>	dBm	-89,5
<i>Interference Margin</i>	dB	4
<i>Control Channel Overhead</i>	dB	1
<i>Rx Antenna Gain</i>	dB	0
<i>Body Loss</i>	dB	0
<i>MAPL</i>	dB	142,5
<i>Hb</i>	m	30
<i>Hm</i>	m	1,5
<i>G</i>	dB	0
<i>Fc</i>	MHz	2300
<i>Luas Area</i>	Km ²	34,816

2.4. Model Propagasi Cost 231 Hatta

Propagasi adalah rambatan gelombang *microwave* melalui udara dari antenna pemancar ke antenna penerima yang jaraknya bisa mencapai ribuan kilometer. Dalam melakukan perencanaan jaringan, pemilihan model propagasi didasarkan pada tipe daerah, ketinggian antenna, frekuensi yang digunakan dan beberapa parameter lainnya. Pada penelitian ini digunakan model propagasi yaitu model propagasi model propagasi Cost 231 [17]

Rumus *Pathloss* model propagasi Cost 231 Hatta adalah sebagai berikut:

$$Ldb = F + B \log_{10} R - E + G \quad (8)$$

Keterangan:

G yang digunakan adalah 0dB

Mencari nilai F

$$F = 46,3 + 33,9 \log_{10} 2300 - 13,82 \log_{10} 30 = 139,84 \quad (9)$$

Mencari nilai B

$$B = 44,9 - 6,55 \log_{10} 30 = 35,22 \quad (10)$$

Mencari nilai E

$$E = ((1.1 \log_{10} 2300 - 0.75) \times 1.5) - (1.56 \log_{10} 2300 - 0.8) = 0,05 \quad (11)$$

Mencari nilai R

$$\log R = \frac{MAPL - F + E}{B} = \frac{142,5 - 139,84 + 0,05}{35,22} = 0,07 \quad (12)$$

$$R = 1,17 \text{ Km}$$

Mencari nilai Luas hex

$$L_{hex} = 2,6 \times 1,17^2 = 3.55 \text{ Km}^2 \quad (14)$$

Mencari total site

$$\sum \text{site} = \frac{L_{area}}{L_{hex}} = \frac{34,816}{3.55} = 9,8 \approx 10 \text{ sites} \quad (15)$$

2.5. Parameter Pengujian

Tabel 2. Parameter *Signal Level* [6], [18], [19]

<i>Signal Level</i>	<i>Legend</i>	<i>Keterangan</i>
≥ -70		Sangat Baik
$\geq -77 ; \leq -71$		Baik
$\geq -70 ; \leq -78$		Cukup
$\geq -70 ; \leq -85$		Buruk
≤ -98		Sangat Buruk

Parameter *signal level* mengacu pada kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat pengguna dalam arah *downlink*. Tingkat sinyal umumnya diukur menggunakan satuan desibel milliwatt. Tingkat sinyal ini memberikan informasi tentang sejauh mana suatu area menerima cakupan sinyal yang memadai.

Tabel 3. Parameter (*Reference Signal Received Quality*) RSRQ [18]

<i>Signal Level</i>	<i>Legend</i>	<i>Keterangan</i>
$\geq -7,5$		Sangat Baik
$\geq -10,5 ; \leq -7,6$		Baik
$\geq -13,5 ; \leq -10,6$		Cukup
$\geq -16,5 ; \leq -13,6$		Buruk
$\leq -19,5$		Sangat Buruk

Parameter RSRQ mengukur kualitas sinyal dan tingkat interferensi dan noise di lingkungan. RSRQ diekspresikan dalam satuan desibel dan memberikan informasi tentang rasio antara sinyal referensi dan interferensi plus noise cakupan oleh rsrq memberikan gambaran tentang kualitas sinyal yang diterima di berbagai lokasi dalam jaringan.

Tabel 4. Parameter (*Reference Signal Received Power*) RSRP [18]

<i>Signal Level</i>	<i>Legend</i>	<i>Keterangan</i>
≥ -89		Sangat Baik
$\geq -99 ; \leq -90$		Cukup
$\geq -109 ; \leq -100$		Buruk
$\geq -119 ; \leq -100$		Sangat Buruk

Parameter RSRP mengukur kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh pengguna. RSRP diukur dalam satuan dBm dan memberikan informasi tentang kekuatan sinyal utama di *downlink*. Analisis efektif sinyal (*effective signal Analysis*) dengan menggunakan RSRP membantu memahami kekuatan sinyal yang efektif di lokasi tertentu.

Tabel 5. Parameter *Coverage by Throughput* [18]

Signal Level	Legend	Keterangan
≥ 50.000		Sangat Baik
$\geq 40.000 \leq 50.000$		Baik
$\geq 30.000 \leq 40.000$		Cukup
$\geq 20.000 \leq 30.000$		Buruk
≤ 10.000		Sangat Buruk

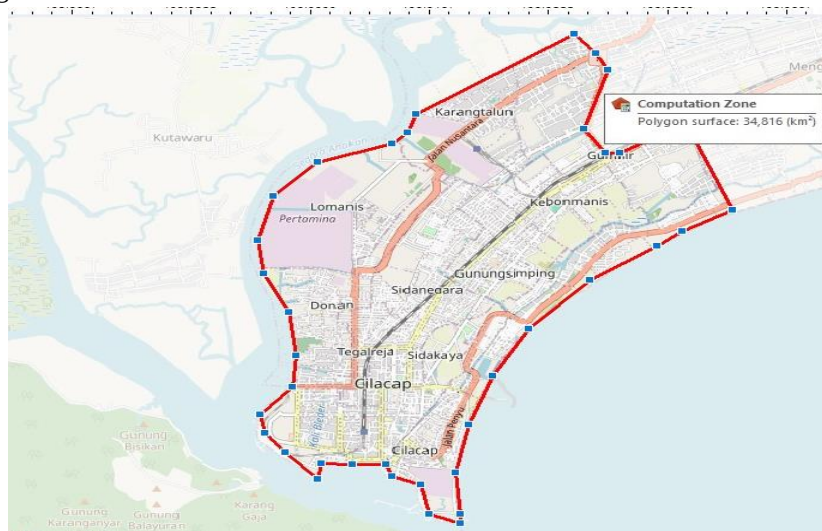
Parameter *coverage by throughput* berkaitan dengan laju transfer data di *downlink* yang dapat dicapai oleh perangkat pengguna *throughput* diukur dalam kilobit per detik dan mencerminkan kapasitas saluran radio dan jaringan cakupan oleh *throughput* memberikan informasi tentang sejauh mana suatu wilayah dapat mencapai *throughput* yang tinggi

2.5 Skenario Pengujian

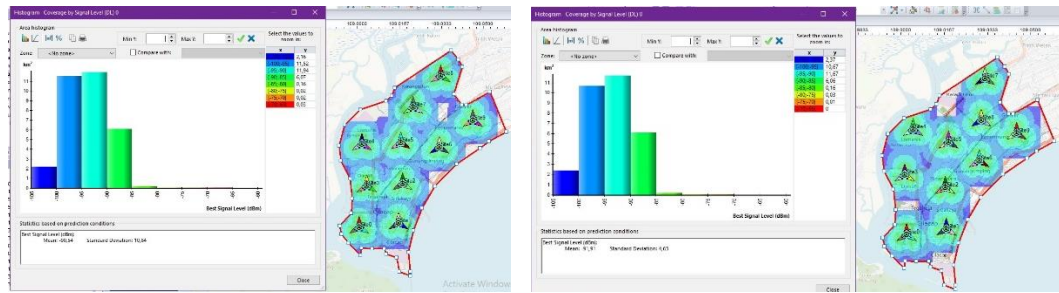
Pengujian MU-MIMO pada jaringan LTE menggunakan frekuensi 2300 MHz sedangkan Pengujian SU-MIMO pada jaringan LTE menggunakan frekuensi 2300 MHz

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan akan membandingkan 2 skenario yaitu SU-MIMO (*Single User Multiple Input Multiple Output*) dan MU-MIMO (*Multiple User Multiple Input Multiple Output*). Daerah yang akan di *coverage* adalah kawasan kota Cilacap. Masing-masing skenario akan diuji 4 parameter, yaitu *Coverage by Signal Analysis*, *Coverage by C/(I+N)*, *Effective Signal*, dan *Coverage by Throughput*. Pada Gambar 3 merupakan lokasi yang akan dilakukan *planning* jaringan 4G. Lokasi tersebut memiliki luas 34,816 Km². Sesuai dengan perhitungan *link budget* dari perhitungan menggunakan model *Cost Hata* dengan besar frekuensi yang digunakan 2300 MHz.



Gambar 3. Denah Kota Cilacap

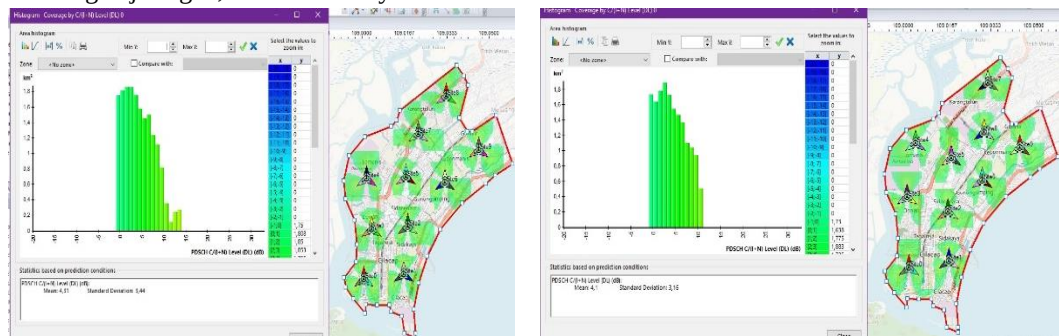


(A)

(B)

Gambar 4. Coverage by Signal Level SU-MIMO (A) dan MU-MIMO (B)

Pada Gambar 4 menunjukkan parameter hasil *Coverage by Signal Level* untuk skenario SU-MIMO dan MU-MIMO. Pada Gambar 4 (A) merupakan *Coverage by Signal Level* untuk skenario SU-MIMO, parameter ini merujuk pada tingkat sinyal yang diterima atau dikirim oleh suatu sistem komunikasi nirkabel di suatu area tertentu. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa rata-rata nilai sinyal level yang didapatkan adalah -90,54 dBm yang mana berarti parameter sinyal level dalam status buruk. Jadi area penerimaan cakupan sinyal buruk atau tidak memadai. Sama halnya dengan skenario MU-MIMO, Gambar 4 (B) menunjukkan bahwa rata-rata nilai sinyal level yang didapatkan adalah -91,91 dBm yang mana berarti parameter sinyal level dalam status buruk. Nilai yang didapatkan kurang maksimal dikarenakan oleh beberapa faktor semisal pada daerah tersebut kurang memadai jika memakai model propagasi tersebut, disertai banyaknya gedung-gedung bertingkat pada wilayah perancangan jaringan, dan lain-lainnya.

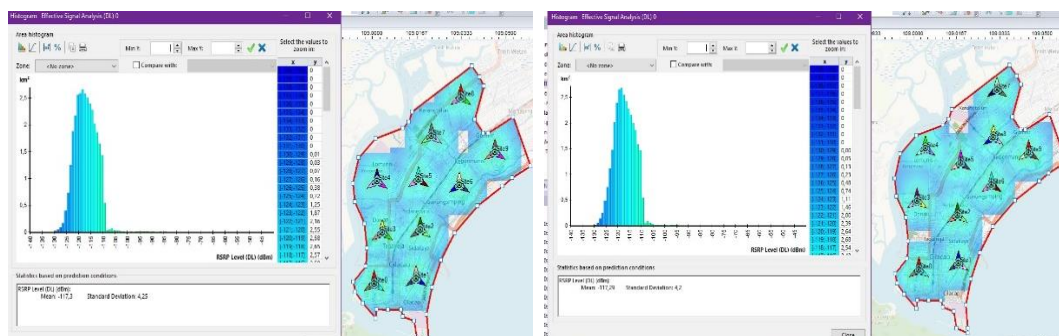


(A)

(B)

Gambar 5. Coverage C(I+N) SU-MIMO (A) dan MU-MIMO (B)

Pada Gambar 5 menunjukkan parameter hasil *Coverage C(I+N)* untuk skenario SU-MIMO dan MU-MIMO. Parameter RSRQ digunakan untuk mengukur kualitas sinyal dan tingkat interferensi dan noise di lingkungan. Pada Gambar 5 (A) menunjukkan hasil histogram dari nilai rata-rata RSRQ level sebesar 4,31 dBm. Jika berdasarkan tabel parameter RSRQ, nilai tersebut dalam status sangat baik, mirip dengan skenario MU-MIMO mendapatkan nilai rata-rata RSRQ sebesar 4,1 dBm.

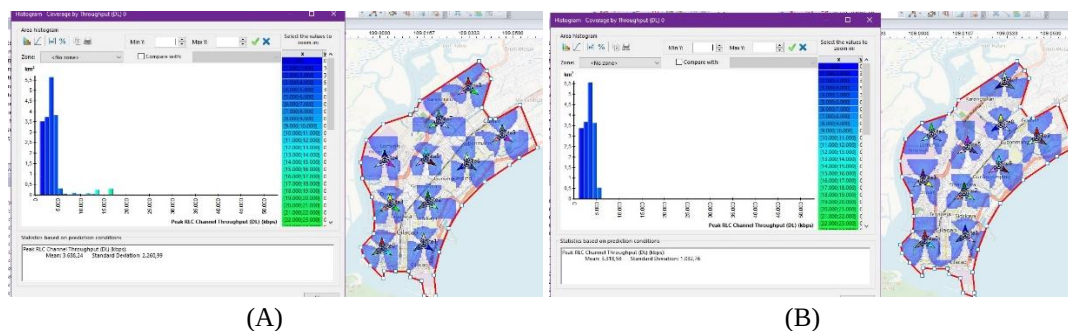


(A)

(B)

Gambar 6. Effective Signal Analysis SU-MIMO (A) dan MU-MIMO (B)

Pada Gambar 6 menunjukkan parameter hasil *Effective Signal Analysis* untuk skenario SU-MIMO dan MU-MIMO. Parameter RSRP digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh pengguna. Pada Gambar 6 (A), parameter pengujian menunjukkan nilai rata-rata RSRP sebesar -117,3 dBm dalam status efektivitas buruk. Sedangkan skenario yang dihasilkan oleh MU-MIMO dimana memiliki nilai rata-rata RSRP yang dihasilkan sebesar -117.29 dBm yang memiliki efektivitas yang juga buruk.



Gambar 7. *Throughput* SU-MIMO (A) dan MU-MIMO (B)

Pada Gambar 7 menunjukkan nilai *throughput* atau menjadi parameter pengujian terakhir pada kedua skenario. Parameter *coverage by throughput* berkaitan dengan laju transfer data di *downlink* yang dapat dicapai oleh perangkat pengguna. Gambar 7 (A) menunjukkan hasil rata-rata 3.688,24 kbps yang mana menunjukkan nilai yang buruk untuk kecepatan transfer data yang dihasilkan. Sedangkan pada gambar 7 (B) menunjukkan hasil rata-rata 3.318,58 kbps yang juga menunjukkan nilai yang sangat buruk untuk kecepatan yang dihasilkan.

Tabel 5. Perbandingan Parameter Skema SU-MIMO & MU-MIMO

Parameter Output	SU-MIMO	MU-MIMO
Signal Level (dBm)	Mean : -90,54	Mean : -91,91
	S Deviation : 10,84	S Deviation : 4,63
PDSCH C(I+N) Level (dB)	Mean : 4,31	Mean : 4,1
	S Deviation : 3,44	S Deviation : 3,16
RSRP Level (dBm)	Mean : -117,3	Mean : -117.29
	S Deviation : 4,25	S Deviation : 4.2
Throughput (kbps)	Mean : 3.688,24	Mean : 3.318,58
	S Deviation : 2.260,99	S Deviation : 1.032,76

4. KESIMPULAN

Perencanaan jaringan merujuk pada proses merancang dan menentukan cara untuk mengimplementasikan atau mengelola suatu jaringan komunikasi. Pada penelitian ini perancangan jaringan dilakukan dengan 2 skenario yang berbeda yaitu membandingkan antara skenario SU-MIMO dan MU-MIMO pada frekuensi 2300 dengan menggunakan model propagasi Cost Hata. Dari hasil yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa semua parameter pengujian berdasarkan nilai rata-rata *Coverage by Signal Level*, *Coverage C(I+N)*, *Coverage by Throughput*, dan *Effective Signal* menghasilkan nilai yang masih dibawah kata bagus. Namun jika membandingkan kedua skenario tersebut, skenario MU-MIMO merupakan skenario yang lebih baik pada perancangan jaringan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada teman-teman kelompok atas seluruh bantuan, *support* dan kerjasamanya dalam mensukseskan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Chandra, S. Yusnita, D. B. Sitepu, A. Mursydan, and D. Meidelfi, "LTE Network Area Coverage on FDD and TDD Technology," *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.30630/ijasce.2.1.47.
- [2] Mika, Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). "Perancangan Pendeteksi Partial Discharge Pada Isolasi Padat," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* Vol.8 No.3, 161-170.
- [3] Muhammad Gunawan and Linna Oktaviana Sari, "Optimalisasi Perancangan Jaringan 4G LTE Pada Frekuensi 2300 Mhz Berbasis TDD Di Kabupaten Rokan Hulu," *FTEKNIK*, 2019.
- [4] B. S. V. Kurnia, U. K. Usman, and G. B. Satria, "Perancangan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Dikecamatan Pemenang Dan Tanjung Kabupaten Lombok Utara Pada Frekuensi 1800 Mhz," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 6, 2022.
- [5] M. Ihsan, A. Hikmaturokhman, S. Laras, and S. Alam, "Design of 5G MIMO 2x2 Broadband Antenna At 26 GHz Frequency Using Double U-Slot Method and Defected Ground Structure," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 10, no. 2, pp. 247–257, Oct. 2023, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v10i2.4409.
- [6] Y. Daldoul, D. E. Meddour, and A. Ksentini, "Performance evaluation of OFDMA and MU-MIMO in 802.11ax networks," *Computer Networks*, vol. 182, 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107477.
- [7] A. Hikmaturokhman, L. S. Palupi, N. Amalia, A. R. Danisya, and T. A. Nugraha, "4G LTE evolved packet core planning with call switch fallback technology," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 10, no. 1–6, 2018.
- [8] S. Pramono, M. D. Ariyanto, L. Alvionita, and M. E. Sulisty, "Analysis and optimization of 4G long term evolution (LTE) network in urban area with carrier aggregation technique on 1800 MHz and 2100 MHz frequencies," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Apr. 2020. doi: 10.1063/5.0000731.
- [9] S. Aerts et al., "In situ assessment of 5g nr massive mimo base station exposure in a commercial network in bern, switzerland," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 8, Apr. 2021, doi: 10.3390/app11083592.
- [10] F. W. Murti, R. F. Siregar, and S. Y. Shin, "SU-MIMO based uplink non-orthogonal multiple access for 5G," *Network and Computer Applications*, vol. 110, 2018, doi: 10.1016/j.jnca.2018.03.009.
- [11] A. Hikmaturokhman, K. Ni'amah, and E. Setya Nugraha, "Perancangan Jaringan Indoor 4G LTE TDD 2300 Mhz Menggunakan Radiowave Propagation Simulator," in *Prosiding Seminar Nasional IPTEK Terapan (SENIT) 2016 Pengembangan Sumber Daya Lokal Berbasis IPTEK*, 2016. [Online]. Available: <http://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/prosiding/article/viewFile/349/336>
- [12] Cahyani R. and Perdana D., "A Feasibility Analysis of the Use of IEEE 802.11 ah to extend 4G Network Coverage," *Buletin Pos*, 2020.
- [13] N. Hanifah and I. Buchori, "Peran Sektor Ekonomi dan Kependudukan Dalam Pembangunan Wilayah Kabupaten Cilacap," *Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, vol. 18, no. 1, 2023, doi: 10.20961/region.v18i1.60013.
- [14] H. Getahun and S. Rajkumar, "Performance analysis of mmWave radio propagations in an indoor environment for 5G networks," *Engineering Research Express*, vol. 5, no. 2, Jun. 2023, doi: 10.1088/2631-8695/ac5be7.
- [15] A. Irawan, A. Hikmaturokhman, and D. Pranindito, "Analisis Tekno Ekonomi Perancangan 4g Lte Di Kabupaten Banyumas," *Jurnal ECOTIPE*, vol. 5, no. 1, 2018.
- [16] H. M. T. Al-Hilfi and A. S. Daghal, "Effects of Varying LTE Link Budget Parameters on MAPL and Cell Range," *Communications*, vol. 15, no. 7, 2020, doi: 10.12720/jcm.15.7.583-587.
- [17] M. Lauridsen, I. Kovács, P. E. Mogensen, M. Sørensen, and S. Holst, "Coverage and Capacity Analysis of LTE-M and NB-IoT in a Rural Area," *Vehicular Technology Conference, 2016 IEEE 84th*, 2016.
- [18] F. Hidayat and D. Faiza, "Analisis Pathloss Sinyal LTE Dengan Model Cost 231-Hatta Di Kota Padang," *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika dan Informatika)*, vol. 7, no. 3, 2019, doi: 10.24036/voteteknika.v7i3.105539.
- [19] M. A. Amanaf, A. Hikmaturokhman, and A. F. Septian, "Calibrating the Standard Propagation Model (SPM) for Suburban Environments Using 4G LTE Field Measurement Study Case in Indonesia," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. doi: 10.1088/1757-899X/982/1/012029.
- [20] A. Hikmaturokhman, V. Lutfita, and A. R. Danisya, "4G-LTE 1800 Mhz coverage and capacity network planning using Frequency Reuse 1 model for rural area in Indonesia," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2017. doi: 10.1145/3056662.3056675.

Analysis of Determining the Surge Arrester Protective Distance for Protection on 60 MVA Power Transformers at the 150 KV Main Substation in Surabaya Barat

Reza Sarwo Widagdo¹, Gatut Budiono², Miftachun Nasichin³

^{1,2,3} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
Jl. Semolowaru No. 45, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, 60118

Informasi Makalah

Dikirim, 1 April 2024
Diterima, 22 Mei 2024
Diterbitkan, 28 Juni 2024

Keyword:

Surge Arrester
Main Substation
Power Transformer

ABSTRACT

Because it provides electrical energy to customers that require protection from lightning interference, the substation is a crucial location. An electrical equipment's defense against lightning strikes is provided by a lightning arrester. The arrester should be placed as near to the transformer as feasible for optimal protection. In order to restrict the installation of arresters to safeguard equipment, the maximum distance for arrester installation must be established. This study only looks at one 60 MVA transformer in the Surabaya Barat Main Substation, and its goal is to determine the minimum amount of error in transformer protection. Based on the maximum possible surge arrester surge arrester jarak with a power transformer at the Surabaya Barat Main Substation, the maximum possible surge arrester distance is 8,135 meters. Based on surge arrester capability, the transformer may be protected from over voltage since the maximum voltage that can occur is just 150.83 KV, with the maximum voltage remaining below the transverse impulse drop of around 650 KV.

Author Correspondence:

Reza Sarwo Widagdo
Department of Electrical Engineering,
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
Jl. Semolowaru No. 45, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, 60118
Email: rezaswidagdo@untag-sby.ac.id

1. Introduction

In this era, human life cannot be separated from all electrical equipment. The need for electricity increases from year to year along with the increase in people's living standards. To meet the need for electric power, it is necessary to improve the quality of the electric power distribution system [1]-[2]. Electricity is generated by power plants, then flows through transmission lines, then distributed, and finally reaches consumers. One of the important components in the electric power transmission system is the substation which has an important role in the electric power distribution system, namely reducing the voltage from 150 KV to 20 KV so that it can be distributed to users. Therefore, to reduce the frequency of damage to electrical equipment, equipment is needed that can prevent interference [3].

Placing arresters at a certain distance can protect equipment from overvoltage disturbances, surge waves or transient electrical energy. When a traveling wave occurs which causes overvoltage on equipment that is located a little far from the arrester, the equipment will remain protected, if the arrester distance is still within the protection working radius. At the 150 KV substation in Surabaya Barat, there are power transformers and surge arresters which are placed at a certain distance. The distance between the surge arrester and the protected power transformer influences the amount of voltage arriving at the transformer. If the surge arrester is too far away, the voltage arriving at the transformer can exceed the voltage it can support [4]. Lightning strikes that occur can cause dangerous over voltages and traveling waves. The lightning surge wave is a double exponential wave which according to the IEC is a 1.2/50 μ s type overvoltage wave [5]. Based on SPLN-7: 1978 for a double circuit system with a voltage of 150 KV, the maximum distance between the arrester and the transformer

is 80 m, while for a single circuit it is half that distance. The surge arrester must be placed as close as possible to the device being protect, the aim is to reduce the possibility of impulse voltage propagating on the wire connecting the surge arrester to the equipment being protected [6].

In previous research, Abdul Azis [7] carried out an analysis of the placement of surge arresters. After collecting data in the field, the result was that the distance between the surge arrester and the installed 20 MVA power transformer was 7 m, while from the calculation results it was 5.78 m. The transmission line at the Sungai Juaro Palembang substation is double circuit transmission, and based on SPLN 7: 1978 that for a 66 KV system with double circuit transmission the distance between the lightning catcher and the transformer does not exceed 34 m. This means that the distance between the surge arrester and the 20 MVA power transformer is still within the limits set by SPLN 7: 1978. Toyib [8] in his research conducted research on determining the protective distance of surge arresters in the Harapan Baru 150 KV substation area. After carrying out investigations in the field, the results showed that the layout of the surge arrester for the power transformer unit 1 of the Pakatan Harapan Substation met the standards. It is calculated that the maximum distance between the surge arrester and the power transformer is 10.96 m, while the distance between the on-site surge arrester and the power transformer is 3.2 m, so that the placement of the surge arrester at the Harapan Baru Substation is optimal to protect the impact of surge strikes. Second, the voltage increase that occurs on the transformer is still below the BIL, so it is certain that the equipment can still be protected by a surge arrester because the installation is still below the maximum price or does not exceed the BIL standard.

From several cases previously described, the author carried out an analysis of the protective distance of the surge arrester at the 150 KV *Surabaya Barat* Main Substation. So that the results of discussions and investigations in the field can be used as a reference to determine the type of lightning rod that will be used and it is hoped that it can be applied to other substations. Several analyzes related to determining the protective distance will be taken into account, including the voltage rise on the power transformer and the discharge voltage on the surge arrester.

2. RESEARCH METHODS

In the analysis process, several related parameters will later be taken into account to determine the voltage rise on the power transformer and also the discharge voltage on the surge arrester. The parameters to be calculated are the surge impedance calculation, the rated rating calculation on the surge arrester and the speed of surge wave propagation.

2.1. Determination of Maximum Voltage at Operational Substation

The arrester voltage rating is the maximum alternating voltage allowed at the lightning arrester terminal, where this voltage can break the after current (power follow current) that occurs when the lightning arrester experiences a spark, which in determining this voltage is useful for knowing the highest voltage that can be produced by the substation. The highest system voltage is generally taken to be 110% of the nominal system voltage (V_n). The value can be determined using the following equation [9].

$$V_m = 1,1 \times V_n \quad (1)$$

Where,

$$\begin{aligned} V_m &: \text{Maximum voltage system (Volt)} \\ V_n &: \text{Nominal voltage (Volt)} \end{aligned}$$

2.2. Surge Arrester Rated Voltage Rating

The rated surge arrester rating or basic arrester voltage can be determined based on the maximum possible system voltage. Arrester rated voltage (V_c) is the most important characteristic for substation protection. The rated voltage of the arrester determines the level of protection of the arrester. If the working voltage of the arrester is below the Basic Insulation Level (BIL) of the protected equipment, then an optimum safety factor for the equipment can be obtained. The basic voltage of the arrester or rated voltage of the arrester can be determined using the equation [9]:

$$V_c = V_m \times C_g \quad (2)$$

Where,

$$\begin{aligned} V_c &= \text{Voltage rating of surge arrester (Volt)} \\ V_m &= \text{Maximum voltage system (Volt)} \\ C_g &= \text{Grounding Coefficient (1 or 0,8)} \end{aligned}$$

2.3. Determination of Surge Impedance

The surge impedance for air conductors (Z_1) is influenced by the height of the conductor above the ground (h), and the radius of the conductor (r), so it must be determined first. Determination of surge impedance for air conductors is calculated using the following equation [7]

$$Z_1 = 60 \ln \ln \left(\frac{2h}{r} \right) \quad (3)$$

Where,

- Z_1 = Surge impedance in the air propagation medium (Ohm)
- h = Height of the conductor above the ground (Meter)
- r = Radius of the conductor (mm)

Meanwhile, surge impedance for cables is influenced by the outermost wire radius (R), conductor radius (r), and wire permittivity (ϵ), calculated using the following Z_c notation [7].

$$Z_c = \left(\frac{60}{\epsilon} \right) \ln \ln \left(\frac{R}{r} \right) \quad (4)$$

Where,

- Z_c = Surge impedance in the conductor wire medium (Ohm)
- R = Outer wire radius (mm)
- r = Conductor radius (mm)
- ϵ = Wire permittivity (Alumina Wire: 9.3 – 11.5)

2.4. Propagation Speed of Surge Waves

A wave propagating with constants L and C along a wire, makes the voltage and current waves propagate at the same speed. Apart from that, the propagation speed of the wave is also influenced by a proportional factor, namely the characteristics of the wire being traversed. So the wave propagation speed obtained for the wire in the air medium is as follows [10].

$$v = C_0 \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

Where,

- v = The speed of propagation of the surge wave ($\frac{m}{s}$)
- C_0 = Velocity of light ($\frac{m}{\mu s}$)
- ϵ_r = Relative Permittivity (Air: 1.00085)

2.5. Determination of the Reflection Operator and the Channel Operator

When the surge wave reaches a point that connects two different wave impedances (transition point), it will cause a surge wave that is reflected at that point. Figure 1 shows that the lightning strike wave comes from the left side, after the lightning strike reaches the arrester installation point, part of the wave will be reflected and part will be transmitted. To determine the arrester spark voltage, the reflection operator and line operator must first be determined [11].

$$a = \frac{z_c - z_1}{z_c + z_1} \quad b = \frac{z_1 - z_c}{z_1 + z_c} \quad a' = \frac{2z_c}{z_c + z_1} \quad b' = \frac{2z_1}{z_1 + z_c} \quad (6)$$

Where,

- a = Reflection operator for waves coming from the left
- a' = Channel operator for waves coming from the left
- b = Reflection operator for waves coming from the right
- b' = Channel operator for waves coming from the right
- Z_1 = Surge impedance in the air propagation medium (Ohm)
- Z_c = Surge impedance in the conductor wire medium (Ohm)

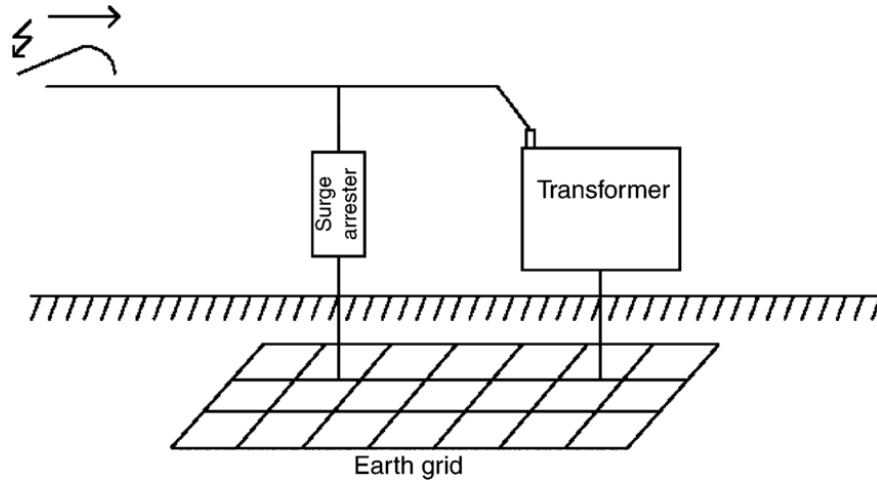


Figure 1. One Channel Equivalent Circuit [12]

For the steepness of the first incident wave, the time of the wave steepness entering the substation or transformer must be determined, and for example the wave steepness time (t) is every 2 μ seconds and the lightning surge (A) is 1000 KV, and the damping factor (α) is $A \times a'$.

To determine the voltage value at the overhead wire cable connection point, start at $t = 0$, and the voltage value at the next time is the sum of the previous voltage value and the damping factor. The voltage value of the reflected wave is the same as the incident wave. So the voltage at the cable-air wire connection point when the lightning arrester is not present for every 2 μ sec is:

$$t = 0 \text{ } \mu\text{sec}; et = 0 = 0$$

$$t = 2 \text{ } \mu\text{sec}; et = 2 = et = 0 + (\alpha^1/10^0)$$

$$t = 4 \text{ } \mu\text{sec}; et = 4 = et = 2$$

$$t = 6 \text{ } \mu\text{sec}; et = 6 = et = 4 + (\alpha^1/10^0) + (\alpha^3/10^4)$$

$$t = 8 \text{ } \mu\text{sec}; et = 8 = et = 6$$

$$t = 10 \text{ } \mu\text{sec}; et = 10 = et = 8 + (\alpha^3/10^4) + (\alpha^5/10^8)$$

$$t = 12 \text{ } \mu\text{sec}; et = 12 = et = 10$$

Then the lightning arrester spark time (t_{so}) at the arrester installation location can be determined using the following equation:

$$t_{so} = 8 + \Delta t \quad (7)$$

Where,

t_{so} = Spark over time for surge arrester (μ sec)

Δt = the voltage time based on the surge arrester initial time (μ sec)

Meanwhile, the voltage time based on the surge arrester initial time (Δt) can be determined using the following equation:

$$\Delta t = (E_a - e_{t=8})/b' \left(\frac{a^3/10^4}{2} \right) \quad (8)$$

Where,

Δt = the voltage time based on the surge arrester initial time (μ sec)

E_a = Basic insulation level of surge arrester (KV)

$e_{t=8}$ = Voltage at the terminal point at time 8 μ sec

b' = Channel operator for waves coming from the right

2.6. Determination of Maximum Distance for Arresters and Power Transformers

The increasing voltage on the transformer is the voltage that arises when a circuit surge occurs. If the voltage that arises is below the basic isolation level of the transformer, the transformer can be protected. The voltage rise on the transformer can be determined using the following equation:

$$\begin{aligned}
 t = 0 \text{ } \mu\text{sec}; & \quad E_{t=0} = 0 \\
 t = 2 \text{ } \mu\text{sec}; & \quad E_{t=2} = 0 \\
 t = 4 \text{ } \mu\text{sec}; & \quad E_{t=4} = E_{t=2} + 2a^1/10^0 \\
 t = 6 \text{ } \mu\text{sec}; & \quad E_{t=6} = E_{t=4} \\
 t = 8 \text{ } \mu\text{sec}; & \quad E_{t=8} = E_{t=6} + 2a^3/10^4 \\
 t = 10 \text{ } \mu\text{sec}; & \quad E_{t=10} = E_{t=8} \\
 t = 10 + \Delta t \text{ (}\mu\text{sec)}; & \quad E_{t=10+\Delta t} = E_{t=10} + \left(\frac{e_{t=10} + a^5/10^8 - e_{t=6}}{2} \right) \Delta t
 \end{aligned}$$

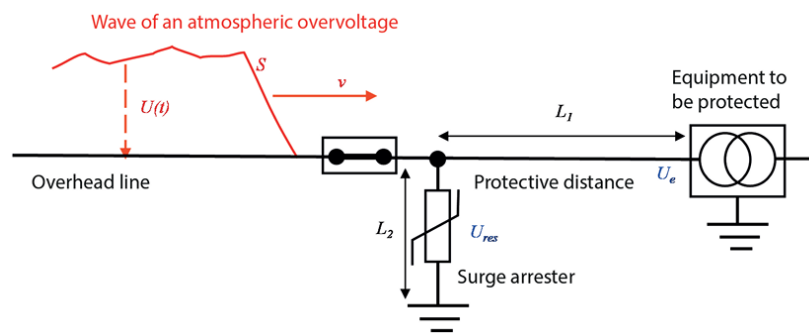


Figure 2. Diagrammatic for Estimating the Protective Distance for an Arrester [13]

The maximum distance between the arrester and the transformer when connected directly to the overhead line and the transformer is considered as an open clamp. Good protection can be obtained if the lightning rod is placed as close as possible to the transformer clamp. However, in practice, the surge arrester must usually be placed at a distance S from the protected transformer. Therefore, this distance must be determined so that proper protection can be carried out [14].

$$S = (E_a - E_t) \times \left(\frac{v}{2A} \right) \quad (9)$$

Where,

- S = Protective distance between surge arrester and transformer (m)
- v = the speed of propagation of the surge wave ($\frac{m}{s}$)
- A = the steepness of the surge wave (KV)
- E_a = Basic insulation level of surge arrester (KV)
- E_t = Increasing voltage on the transformer (KV)

2.7. Insulator Breakdown Voltage in Air

The amount of voltage that arises on the transmission insulator depends on the two lightning parameters, namely the peak and the steepness of the surge wave. Not all lightning strikes can result in a flashover on the insulator because it also depends on the amount of voltage that arises and does not exceed the breakdown voltage on the insulator ($E_{50\%}$) [15].

$$E_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{\Delta t^{0.75}} \right) \times 10^3 \quad (10)$$

Where,

- $E_{50\%}$ = Breakdown voltage of insulator (KV)
- K_1 = $0.3 \times$ Insulator span length
- K_2 = $0.7 \times$ Insulator span length
- Δt = Sparkover time (μsec)

Nominal discharge current is a current with a certain peak value and wave shape which is used to determine the class of surge arrester according to its current capability and protective characteristics. The discharge current in a traveling wave event can be determined using the following equation [15]:

$$I_a = \frac{2 \cdot E_{50\%} - E_a}{Z_1} \quad (11)$$

Where,

- I_a = Current discharge surge arrester (kA)
- $E_{50\%}$ = Breakdown voltage of Insulator (KV)
- E_a = Basic insulation level of surge arrester (KV)
- Z_1 = Surge impedance in the air propagation medium (Ohm)

2.8. Protection Factor of Surge Arrester (FP)

The protection factor is the voltage difference between the BIL of the protected equipment and the working voltage of the arrester. When determining the level of protection for equipment protected by an arrester, a price is generally taken that is 10% above the working voltage of the arrester, the aim is to overcome the increase in voltage on the connecting wire and factory tolerance. This protection factor is generally 20% of the equipment BIL for arresters installed near the protected equipment. Protection Factor (FP) can be determined using the following equation [16]:

$$FP(\%) = \frac{BIL - \text{Protection Level of Surge Arrester}}{BIL} \times 100\% \quad (12)$$

$$\text{Protection Level of Surge Arrester} = E_a + 10\% (\text{wire length} + \text{factory tolerance}) \quad (13)$$

3. RESULT AND ANALYSIS

The research began by observing the research location, then collecting operational data in the form of power transformer data, surge arrester data, tower height data and transmission lines. The data that has been obtained is then analyzed and then processed so that it can be used in calculations to obtain surge impedance, surge arrester operator value, voltage rise on the power transformer, distance of the surge arrester to the power transformer, breakdown voltage of the air insulator, and protection factors.

3.1. Power Transformer, Surge Arrester, and Transmission Wire Data

The transformer used at the 150 KV *Surabaya Barat* main substation is the SALOCR type which has a power of 60 MVA and has a primary voltage versus a secondary voltage of 150KV versus 20 KV with a frequency of 50Hz. Apart from that, the impedance value is 12.46% with a basic isolation level of 650 KV. Regarding the completeness of the parameters of the transformer, it has been explained in Table 1 regarding the operational parameters of the transformer. Then the surge arrester used is the SORESTER brand with type ZSE-E1Z which has a nominal voltage of 150 KV, operational current of 10 kA and frequency of 50 Hz.

Table 1. Parameter of Power Transformer at *Surabaya Barat* Main Substation

Parameter	Unit
Transformer Capacity	60 [MVA]
Primary Voltage	150 [KV]
Secondary Voltage	20 [KV]
Impedance	12,46%
Basic Insulation Level (BIL)	650 [KV]
Frequency	50 [Hz]

Table 2. Parameter of Surge Arrester at *Surabaya Barat* Main Substation

Parameter	Unit
Transformer Capacity	60 [MVA]
Primary Voltage	150 [KV]
Secondary Voltage	20 [KV]
Impedance	12,46%
Basic Insulation Level (BIL)	650 [KV]
Frequency	50 [Hz]

The conductor used is type ACSR (Aluminum Conductor Steel-Reinforced) 340/30 mm² with a diameter of 24.99 mm. ACSR transmission wire has aluminum conductors on the outside that provide electrical current conductivity, while steel retaining walls on the inside provide mechanical and structural strength to the wire. This combination gives ACSR transmission wire good strength and conductivity. Table 3 is material data for ACSR type transmission, this data is used to determine the wire impedance value.

Table 3. Parameter of Transmission Wire at *Surabaya Barat* Main Substation

Parameter	Unit
Type of Wire	ACSR
Size	340/30 [mm ²]
Cross-sectional area	369,14 [mm ²]
Diameter (d)	25 [mm]
Radius (r)	125 [mm]
Minimum Pull Strength	9,44 [Kg]

3.2. Determination of Maximum Voltage at Operational Substation

The typical approach is to consider the highest system voltage as 110% of the nominal system voltage. This determination is valuable for understanding the maximum voltage achievable by the substation. One can ensure the maximum system voltage using the following method.

$$V_m = 1,1 \times V_n$$

$$V_m = 1,1 \times 150 [kV] = 165 [kV]$$

3.3. Surge Arrester Rated Voltage Rating

Based on the highest possible system voltage, the rated arrester rating or fundamental arrester voltage may be determined. Determine the following figures to determine the arrester's rated voltage.

$$V_c = V_m \times \text{Grounding Coefficient}$$

$$V_c = 165 [kV] \times 0,8 = 132 [kV]$$

For a direct grounding system, the grounding coefficient is 0.8, which means that this kind of surge arrester is called an 80% surge arrester. Systems that are not directly connected to ground have a ground factor of 1.0 so this kind of arrester is called a 100% surge arrester. The meaning of direct grounding system and indirect grounding system is as follows. From the calculation results, it is obtained that the rated voltage of the surge arrester $V_c = 132$ KV, which means that the working voltage of the arrester is below the Basic Insulation Voltage (BIL) of the protected equipment, so that an optimum safety factor for the equipment can be obtained.

3.4. Determination of Surge Impedance

Determination of surge impedance for air conductors can be calculated using the following equation.

$$Z_1 = 60 \ln \left(\frac{2h}{r} \right)$$

$$Z_1 = 60 \ln \left(\frac{2(35)}{0,0125} \right)$$

$$Z_1 = 517,831 [\Omega]$$

The surge impedance for overhead wires = 400 – 600 ohms, and for cables = 20 – 60 ohms. The working voltage of the lightning rod will increase with the value of the discharge current, but this increase is very limited by the linear resistance of the lightning rod. So the Z_c value can be calculated as follows.

$$Z_c = \left(\frac{60}{\varepsilon} \right) \ln \left(\frac{R}{r} \right)$$

$$Z_c = \left(\frac{60}{9} \right) \ln \left(\frac{12,5}{1,5} \right)$$

$$Z_c = 20 [\Omega]$$

3.5. Propagation Speed of Surge Waves

From an energy perspective, it can be said that a surge in the cable is caused by a sudden injection of energy into the cable. This energy flows through cables consisting of current and voltage. The propagation speed of the traveling wave depends on the wire constant. The propagation speed of traveling waves in transmission lines can be determined using the following equation.

$$v = C_0 \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = 300[m/\mu sec] \times \frac{1}{\sqrt{1}} = 300 [m/\mu sec]$$

3.6. Determination of the Reflection Operator and the Channel Operator

To determine the increase in time required for a surge wave to cross a channel, the reflection and channel operators must first be determined. Through the Z_1 and Z_c values, the operator values can be determined using equation (6) so that the results are explained in Table 4.

Table 3. Reflection and Channel Operator

Parameter	Value
Z_1	517,83 [Ω]
Z_c	20 [Ω]
a'	0,0743
a	-0,9256
b	0,9256
b'	0,0743

For the steepness of the first incident wave, the time of wave steepness entering the substation or transformer must be determined, and the following value must be obtained.

$$t = 2 [\mu sec]$$

$$A = 1000 [kV]$$

$$\alpha = A \cdot a' = 1000 \times 0,0743 = 74,3$$

Next, determine the voltage value at the overhead wire cable connection point. The voltage starts at $t=0$, and the voltage value at the next time is the sum of the previous voltage value and the damping factor. The voltage value of the reflected wave is the same as the incident wave. So the voltage at the cable-air wire connection point when the lightning arrester is not present for every 2 μ seconds is:

Table 3. Reflection and Channel Operator

Duration [μsec]	$e_t [kV]$
0	0
2	74,3
4	74,3
6	198,8
8	198,8
10	262,45
12	262,45

Then the strike time based on the initial time of the lightning arrester wave (Δt) can be determined using the following equation:

$$\Delta t = (E_a - e_{t=8})/b' \left(\frac{\alpha^3/10^4}{2} \right)$$

$$\Delta t = (500 - 198,8)/0,0743 \left(\frac{74,3^3/10^4}{2} \right)$$

$$\Delta t = 0,197 [\mu sec]$$

The lightning arrester spark time (t_{so}) at the arrester installation location can be determined using the following equation:

$$t_{so} = 8 + \Delta t = 8 + 0,197 = 8,197 [\mu sec]$$

Next, the discharge voltage or working voltage ($e_-(t=8.197)$) of the lightning arrester can be determined using the following equation.

$$t = 8,197 \mu\text{detik};$$

$$E_{t=8,197} = e_{t=8} + \left(\frac{e_{t=10} - e_{t=8}}{2} \right) \Delta t$$

$$E_{t=8,197} = 198,8 + \left(\frac{262,45 - 198,8}{2} \right) \times 0,197$$

$$E_{t=8,197} = 205,069 [kV]$$

3.7. Determination of Maximum Distance for Arresters and Power Transformers

A surge or lightning strike can cause a voltage spike in the transformer. This is caused by induced voltage that occurs when lightning causes a sudden change in the electromagnetic field around the transformer. These voltage spikes can damage electrical equipment connected to the transformer and even disrupt the entire electrical system. The voltage rise value on the transformer is calculated based on time in μsec , starting from 0 - 10 μsec . Later, the value of the voltage rise on the transformer will be used to determine the protective distance between the surge arrester and the transformer.

This value is calculated as follows,

$$t = 0 \mu\text{detik}; \quad e_{t=0} = 0$$

$$t = 2 \mu\text{detik}; \quad e_{t=2} = 0$$

$$t = 4 \mu\text{detik}; \quad e_{t=4} = e_{t=2} + 2\alpha^1/10^0 = 0 + 2 \times 74,3^1/10^0 = 148,6 [kV]$$

$$t = 6 \mu\text{detik}; \quad e_{t=6} = e_{t=4} = 148,6 [kV]$$

$$t = 8 \mu\text{detik}; \quad e_{t=8} = e_{t=6} + 2\alpha^3/10^4 = 148,6 + 2 \times 74,3^3/10^0 = 230,63 [kV]$$

$$t = 10 \mu\text{detik}; \quad e_{t=10} = e_{t=8} = 148,6 [kV]$$

$$t = 10 + \Delta t \mu\text{detik}$$

$$e_{t=10,197} = e_{t=10} + \left(\frac{e_{t=10} + \alpha^5/10^8 - e_{t=6}}{2} \right) \Delta t = 148,6 + \left(\frac{148,6 + 74,3^5/10^8 - 148,6}{2} \right) \times 0,197$$

$$e_{t=10,197} = 150,83 [kV]$$

The protective distance of the surge arrester to the power transformer can be determined using the following equation,

$$S = (E_A - E_T) \frac{V}{2A}$$

$$S = (205,069 - 150,83) \times \frac{300}{2 \times 100}$$

$$S = 8,135 [m]$$

Based on actual data in the field, the percentage error in the protection distance is,

$$\%Error = \left| \frac{\text{Actual Distance} - \text{Calculated Distance}}{\text{Actual Distance}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left[\frac{8 [m] - 8,135 [m]}{8 [m]} \right] \times 100\% = 1,68\%$$

3.8. Insulator Breakdown Voltage in Air

The amount of voltage that arises on the transmission insulator depends on the two lightning parameters, namely the peak and the steepness of the lightning wave front. Not all lightning strikes can result in a flashover on the insulator because it also depends on the amount of voltage that arises and does not exceed the breakdown voltage of the insulator ($V_{50\%}$). To determine the breakdown voltage, the following equation is used.

$$E_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{\Delta t^{0,75}} \right) \times 10^3$$

$$E_{50\%} = \left(0,3 \times 1,5 + \frac{0,7 \times 1,5}{0,197^{0,75}} \right) \times 10^3$$

$$E_{50\%} = 572 [kV]$$

Nominal discharge current is a current with a certain peak value and wave shape which is used to determine the class of arrester according to its current capability and protective characteristics. The discharge current in a traveling wave event can be determined using the following equation.

$$I_a = \frac{2E_{50\%} - E_a}{Z_1}$$

$$I_a = \frac{2 \times 572 - 205,069}{517,831} = 1,81 \text{ [kA]}$$

3.9. Protection Factor of Surge Arrester (FP)

The lightning arrester protection factor for power transformers can be determined using the following equation.

$$FP(\%) = \frac{BIL - \text{Protection Level of Surge Arrester}}{BIL} \times 100\%$$

$$= \frac{500 - (205,069 + 205,069 \times 10\%)}{500} \times 100\%$$

$$= 54,8\%$$

From the results of the analysis that has been carried out, the distance between the surge arrester and the installed 60 MVA power transformer is 8 m, while from the calculation results it is 8.135 m. Based on SPLN 7: 1978 [17], for a 150 KV system the distance between the surge arrester and transformer does not exceed 34 m. The distance between the surge arrester and the 60 MVA power transformer is still within the limits set by PT. PLN. Then, the voltage increase that occurs on the transformer is still below the BIL, thus it can be determined that the equipment can still be protected by a lightning arrester because the installation is still below the maximum price or has not exceeded the BIL standard. Judging from the effect of distance on the abnormal voltage reaching the power transformer, the closer the distance, the better the surge arrester protection effect, because the less voltage reaches the surge arrester.

3.10. Results Analysis and Further Research

An arrester, or often referred to as a surge arrester, is a device used to protect electrical equipment from voltage spikes due to lightning or other disturbances. In 150 KV substations, arresters are essential because they prevent damage to expensive equipment and minimize system downtime. Apart from determining the distance to place the Arrester, there are several key elements to maximize the performance of the Arrester, namely the basic material of the Arrester itself. Arresters are usually made from materials such as zinc oxide which have good non-linear characteristics to withstand high voltages and release larger currents when surges occur [18]. Installation of arresters must be strategic to protect important equipment and ensure that the flashover is channeled to the ground quickly [19].

Several key findings from research on determining arrester distances at 150 KV substations that still need to be researched further are the effectiveness of arrester positions, the influence of substation configuration, and environmental parameters. Optimal arrester placement can significantly reduce equipment overvoltage, which in turn reduces the risk of damage and increases system reliability [20]. The physical configuration of the substation, including the distance between equipment and the installation height of arresters, greatly influences the effectiveness of protection [21]. In addition, environmental factors such as pollution levels, humidity, and local lightning activity also influence arrester placement decisions [22].

Based on several studies [23]-[25], the causes of surge arrester failures and the potential issues arising from these failures were examined. The identified failures include internal moisture, surface contamination, uneven voltage distribution, overvoltage from switching, excessive magnitude and duration of lightning surges, varistor degradation, and varistor displacement. Internal moisture is particularly problematic, primarily causing partial discharge due to the formation of water vapor inside the arrester [26]-[27]. Surface pollution of the arrester housing is a contributing factor, especially in substations located near coastal or heavily industrialized areas. Early detection of contamination allows for remediation through surface cleaning. However, if the contamination persists, it can lead to permanent failures like early varistor degradation due to prolonged high temperatures [28]-[29]. Surface pollution or design flaws in the arrester can cause non-uniform voltage distribution, leading to malfunctions. Concentrated electrical fields near HV terminals or more polluted areas can accelerate varistor degradation. This degradation can result from a varistor break, premature aging, or

natural aging. Varistors can suffer severe and repeated damage from electrical surges, moisture, and other factors, causing them to lose their electro-thermal stability, overheat, and produce large leakage currents [30].

4. CONCLUSION

Based on the results of the analysis and discussion, it can be concluded that the protective distance of the surge arrester for the 60 MVA West Surabaya main substation power transformer unit meets the standards. It is calculated that the maximum distance between the surge arrester and the power transformer is 8,135 meters, while the distance between the surge arrester in the field and the power transformer is 8 meters, so the placement of the surge arrester in the West Surabaya main substation is optimal to protect against lightning strikes. Power transformers are not affected by surge waves and surge currents because the voltage increase that occurs on the transformer is still below the BIL with a value of 650 KV, whereas based on calculations the voltage surge is only 150,83 KV, so it is certain that the equipment can still be protected by a surge arrester because the installation is still below the maximum value or not exceeding the BIL standard.

REFERENCE

- [1] Widagdo, R. S., & Andriawan, A. H. (2023). Analysis of Losses Due to Load Unbalance in a 2000 KVA Transformer at Supermall Mansion 2 Tower Tanglin Surabaya. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 5(2), 78-84.
- [2] Widagdo, R. S., & Andriawan, A. H. (2023). Prediction of Age Loss on 160 KVA Transformer PT. PLN ULP Kenjeran Surabaya using The Linear Regression Method. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 5(2), 83-92.
- [3] Marlanfar, M., Yusratato, Y., Yusniati, Y., & Pelawi, Z. (2020). Analisa Penempatan Lightning Arester Pada Gardu Induk Tanjung Morawa. *Buletin Utama Teknik*, 15(3), 229-233.
- [4] Ridal, Y. (2022). Studi Analisis Kemampuan Lightning Arrester Sebagai Proteksi Transformator Daya pada Gardu Induk Padang Luar ULTG Bukit Tinggi. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 5(2), 270-275.
- [5] Manihuruk, J., Simorangkir, T., & Sitanggang, N. L. (2021). Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV. *Jurnal ELPOTECs*, 4(1), 16-25.
- [6] Asna, I. M., Suriana, I. W., Sugarayasa, I. W., Utama, W., Pancane, I. W. D., Adrama, I. N. G., & Sariana, I. M. (2021). Analisis Konstruksi Posisi Lightning Arrester Di Gardu Distribusi Km 0003 Penyulang Subagan Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Karangasem. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 4(1), 46-55.
- [7] Azis, A., & Alimin Nurdin, H.). Analisa Jarak Lindung Lighting Arrester Terhadap Transformator Daya 20 Mva Gardu Induk Sungai Juaro Palembang. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 7(1), 106-120.
- [8] Zainuddin, M., & Bima, L. (2023). Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Transformator terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 KV Harapan Baru. *Mutiara: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(2), 164-185.
- [9] Wirawan, H. Y., Al-Amin, M. S., & Emidiana, E. (2021). Kemampuan Arrester Sebagai Pengaman Transformator. *Jurnal Tekno*, 18(1), 72-78.
- [10] Rao, M. M., Lanjewar, A., & Tiwari, N. (2022). Analytical and experimental studies on 245 KV gas insulated surge arrester. *Electric Power Systems Research*, 204, 107713.
- [11] Shariatinasab, R., & Azimi, R. (2020). A methodology for optimal design of transmission lines to protection against lightning surges in presence of arresters. *Advanced Electromagnetics*, 9(1), 105-110.
- [12] Boumous, S., Boumous, Z., Latréche, S., & Nouri, H. (2023). Influence of the lightning arrester position on protection of the 220KV Overhead transmission line. *Przegląd Elektrotechniczny*, 99(5).
- [13] Castro, W. S., Lopes, I. J., Missé, S. L., & Vasconcelos, J. A. (2022). Optimal placement of surge arresters for transmission lines lightning performance improvement. *Electric Power Systems Research*, 202, 107583.
- [14] Datsios, Z. G., Mikropoulos, P. N., Tsovilis, T. E., Thalassinakis, E., & Pagonis, G. (2022). Investigation of line surge arresters application to the 150 KV system of Rhodes. *Electric Power Systems Research*, 213, 108763.
- [15] Olesz, M., Litzbarski, L. S., & Redlarski, G. (2023). Leakage Current Measurements of Surge Arresters. *Energies*, 16(18), 6480.
- [16] Visacro, S., Silveira, F. H., Pereira, B., & Gomes, R. M. (2020). Constraints on the use of surge arresters for improving the backflashover rate of transmission lines. *Electric Power Systems Research*, 180, 106064.
- [17] Handoko, S. R. (2023). Analisa Peralatan Lightning Arrester Pada Gardu Induk 150 KV PLTU Rembang. *JETI (Jurnal Elektro dan Teknologi Informasi)*, 2(1), 17-21.

- [18] Munir, A., Abdul-Malek, Z., & Arshad, R. N. (2021, July). Resistive leakage current based condition assessment of zinc oxide surge arrester: a review. In *2021 IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)* (pp. 183-186). IEEE.
- [19] Castro, W. S., Lopes, I. J., Missé, S. L., & Vasconcelos, J. A. (2022). Optimal placement of surge arresters for transmission lines lightning performance improvement. *Electric Power Systems Research*, 202, 107583.
- [20] Cao, J., Du, Y., Ding, Y., Lyu, J., Qi, R., Chen, M., & Andreotti, A. (2023). Lightning protection with a differentiated arrester configuration for distribution networks using a multi-objective optimization procedure. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 38(3), 2149-2159.
- [21] Khodsuz, M. (2022). Externally gapped line arrester performance in high voltage transmission line using frequency grounding system: Absorbed energy and expected life assessment. *IET Science, Measurement & Technology*, 16(7), 426-440.
- [22] Ranjbar, B., Darvishi, A., Dashti, R., & Shaker, H. R. (2022). A survey of diagnostic and condition monitoring of metal oxide surge arrester in the power distribution network. *Energies*, 15(21), 8091.
- [23] Sabiha, N. A., Mahmood, F., & Abd-Elhady, A. M. (2020). Failure risk assessment of surge arrester using paralleled spark gap. *IEEE Access*, 8, 217098-217107.
- [24] Doorsamy, W., & Bokoro, P. (2018, September). Condition monitoring of metal-oxide surge arresters using leakage current signal analysis. In *2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)* (pp. 1-4). IEEE.
- [25] Dobric, G., Stojkovic, Z., & Stojanovic, Z. (2020). Experimental verification of monitoring techniques for metal-oxide surge arrester. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(6), 1021-1030.
- [26] Shu, S., Zhang, X., Wang, G., Zeng, J., & Ruan, Y. (2023). A Fault Identification Method for Metal Oxide Arresters Combining Suppression of Environmental Temperature and Humidity Interference with a Stacked Autoencoder. *Energies*, 16(24), 8033.
- [27] Fu, Y., Li, T., Li, Y., Hu, X., Jiang, X., Dong, Y., ... & Wang, J. (2023). Research on Field Source Characteristics of Leakage Current of Arrester Based on TMR Sensor. *Sensors*, 23(8), 3830.
- [28] Khodsuz, M., Teymourian, M. H., & Seyyedbarzegar, S. (2024). New criteria for metal oxide surge arrester condition monitoring based on leakage current analysis: Considering non-uniform pollution effect. *IET Generation, Transmission & Distribution*.
- [29] Shi, W., Yuan, H., Li, J., Zhang, P., & Zhou, C. (2020, June). Analysis on the natural pollution characteristics of metal-oxide surge arrester with different external insulation material. In *2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)* (pp. 2237-2241). IEEE.
- [30] Papliński, P., Wańkiewicz, J., Śmietanka, H., Ranachowski, P., Ranachowski, Z., Kudela, S. J., & Aleksiejuk, M. (2020). Comparative studies on degradation of varistors subjected to operation in surge arresters and surge arrester counters. *Archives of Metallurgy and Materials*, 65(1), 367-374.

Prototipe Sistem Peringatan dan Kontrol Jaring Otomatis Dengan Metode *Fuzzy* Untuk Mitigasi Risiko Lepasnya Ikan Saat Banjir di Tambak Berbasis IoT (*Internet of Things*)

Prototype of Automatic Net Warning and Control System Using Fuzzy Method to Mitigate the Risk of Fish Release during Floods in Ponds Based on IoT (*Internet of Things*)

Muhammad Farid Firmansyah¹, Rini Puji Astutik²

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra No.101, Randuagung, Gresik, 61121

Informasi Makalah

Dikirim, 7 Mei 2024
Diterima, 3 Juni 2024
Diterbitkan, 28 Juni 2024

Kata Kunci:

Mitigasi Banjir
Sensor Ultrasonik HC-SR04
Mikrokontroler ESP32
Logika Fuzzy
Aplikasi Blynk

Keyword:

Flood Mitigation
HC-SR04 Ultrasonic Sensor
ESP32 Microcontroller
Fuzzy Logic
Blynk App

INTISARI

Perubahan iklim yang meningkatkan frekuensi dan keparahan bencana alam, termasuk banjir, memiliki dampak yang signifikan pada infrastruktur, keuangan, dan tambak ikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe deteksi, peringatan, dan pengendalian banjir tambak ikan secara real-time. Prototipe ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau ketinggian air, dan sensor aliran air YF-S201 untuk mendeteksi laju aliran air. Data dari kedua sensor tersebut diproses menggunakan logika *fuzzy* untuk menentukan tingkat bahaya banjir, yang selanjutnya digunakan untuk mengaktifkan motor servo sehingga jaring tambak dapat diangkat sesuai dengan ketinggian air yang terdeteksi. Selain itu, alarm peringatan banjir akan berbunyi melalui *buzzer*, dan notifikasi mengenai tingkat bahaya banjir akan dikirim melalui aplikasi *blynk*. Dengan sistem ini, para petambak dapat memantau kondisi tambak dari jarak jauh, merespons banjir dengan cepat, dan mengurangi risiko kerugian yang ditimbulkan akibat bencana banjir.

ABSTRACT

Climate change is increasing the frequency and severity of natural disasters, including floods, having a significant impact on infrastructure, finances and fish farms. Therefore, this research aims to develop a prototype for real-time fish pond flood detection, warning and control. This prototype uses an ESP32 microcontroller equipped with an HC-SR04 ultrasonic sensor to monitor water level, and a YF-S201 water flow sensor to detect water flow rate. Data from the two sensors is processed using fuzzy logic to determine the level of flood danger, which is then used to activate the servo motor so that the pond net can be lifted according to the detected water level. In addition, a flood warning alarm will sound via a *buzzer*, and notifications regarding the flood danger level will be sent via the *Blynk* application. With this system, farmers can monitor pond conditions remotely, respond to floods quickly, and reduce the risk of losses arising from flood disasters.

Korespondensi Penulis:

Muhammad Farid Firmansyah, Rini Puji Astutik
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatera No.101, Randuagung, Gresik, 61121
Email : faridfirmanayah793@gmail.com, astutikrpa@umg.ac.id

1. PENDAHULUAN

Indonesia, rentan terhadap berbagai bencana, baik alam maupun sosial. Bencana Hidrometeorologi, seperti banjir, tanah longsor, tsunami, dan kekeringan, menjadi ancaman serius. Kabupaten Lamongan, khususnya di daerah Bonorowo atau Bengawan Jero, sering mengalami banjir selama 3-5 bulan setiap tahun saat musim hujan. Banjir terutama terjadi antara Januari dan Februari, memberikan dampak negatif yang signifikan bagi petani tambak ikan setempat [1].

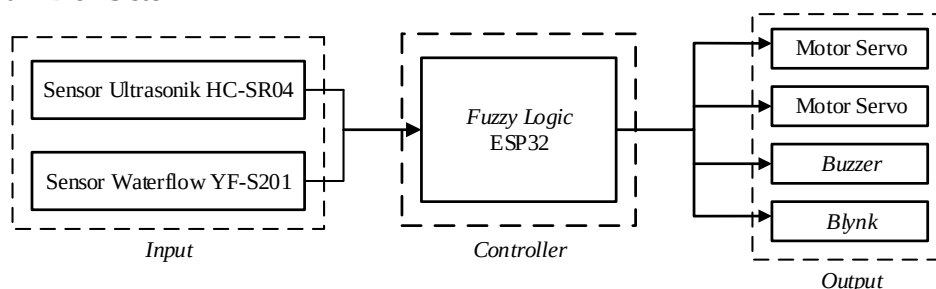
Tindakan cepat diperlukan dalam situasi ini. Solusi yang efektif adalah memanfaatkan teknologi seperti IoT untuk pengawasan dan kontrol perangkat secara online, meningkatkan efisiensi dan kenyamanan, serta merespons kebutuhan saat ini. Penerapan IoT adalah langkah krusial dalam mengatasi situasi ini. [2], [3]. IoT adalah sistem di mana objek-objek dalam kehidupan sehari-hari berinteraksi dan berkomunikasi melalui teknologi jaringan [4]. Kevin Ashton menciptakan istilah "*Internet of Things*" (IoT) pada presentasi di Proctor & Gamble pada 1999 [5]. IoT adalah tentang "inteligensi" perangkat yang memperoleh dan menerapkan pengetahuan secara mandiri. Ini mencakup objek dan sensor pintar dengan adaptasi, otonomi, dan keamanan terintegrasi [6]. Internet menghubungkan mesin secara otomatis untuk pengawasan dan pengaturan langsung. IoT mempercepat dan meningkatkan efisiensi tugas manusia [7]. Dalam konteks ini diperlukan juga sebuah teknik yang dapat menanggulangi kerugian yang di akibatkan banjir di tambak ikan dengan kontrol jaring otomatis yang sesuai dengan level banjir yang terjadi. *Fuzzy logic* merupakan suatu teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi persoalan ini. *Fuzzy Logic* (Logika Fuzzy) merupakan bagian dalam cabang ilmu matematika yang memiliki fungsi untuk mengatasi hal yang tidak pasti pada masalah-masalah yang memiliki banyak jawaban. Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Ia adalah seorang peneliti dari Universitas California yang mendalami ilmu di bidang komputer. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Sistem Inferensi Fuzzy (FIS), yaitu sistem yang melibatkan proses pemetaan dari masukan (*input*) yang diberikan menjadi keluaran (*output*) dengan menggunakan logika Fuzzy. Oleh karena itu, dalam FIS minimal terdapat dua komponen, yaitu input dan output [8]. *Fuzzy logic* memungkinkan evaluasi kondisi dalam derajat, bukan hanya benar atau salah, tapi dalam rentang seperti lambat, agak cepat, cepat, hingga sangat cepat, mirip dengan proses penalaran manusia [9]. Dan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler menjadikannya pilihan utama pada sistem ini [10]. Sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air sebagai parameter dalam sistem peringatan banjir [11]. Oleh karena itu, sensor ultrasonik digunakan sebagai alat pengukur ketinggian air dalam sistem ini [12]. Sensor *waterflow* mendeteksi aliran air dan memberi peringatan banjir saat melebihi ambang batas [13]. Dan motor servo yang digunakan untuk output. Servo bergerak menuju sudut tertentu dan berhenti di sana dalam sistem loop tertutup. Di gunakan untuk penggerak jaring otomatis dengan fuzzy logic ppada sistem ini [14]. Serta *buzzer* listrik sebagai output alarm jika terjadi banjir [9]. Dan aplikasi *blynk* sebagai penerima notifikasi jika terjadi banjir dan memonitoring tingkat banjir. Di desain untuk mengontrol perangkat jarak jauh, tampilan sensor, penyimpanan data, dan visualisasi [15]. Aplikasi ini memungkinkan pengguna membuat antarmuka grafis proyek tanpa perlu metode kompleks, cukup dengan drag and drop widget [16].

Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem peringatan dan kontrol banjir IoT untuk petani tambak ikan. Menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor *WaterFlow* YF-S201, sistem ini memberikan peringatan dini dan memungkinkan tindakan cepat. *Fuzzy logic* digunakan untuk menilai tingkat banjir. Tujuannya adalah meningkatkan keberlanjutan produksi ikan dan mengurangi kerugian akibat banjir.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini melibatkan beberapa tahapan yang terstruktur. Alur konseptual penelitian ini mengikuti tahapan-tahapan dalam proses perancangan sistem. Perancangan sistem yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup tiga tahapan utama, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), dan penerapan metode *fuzzy*.

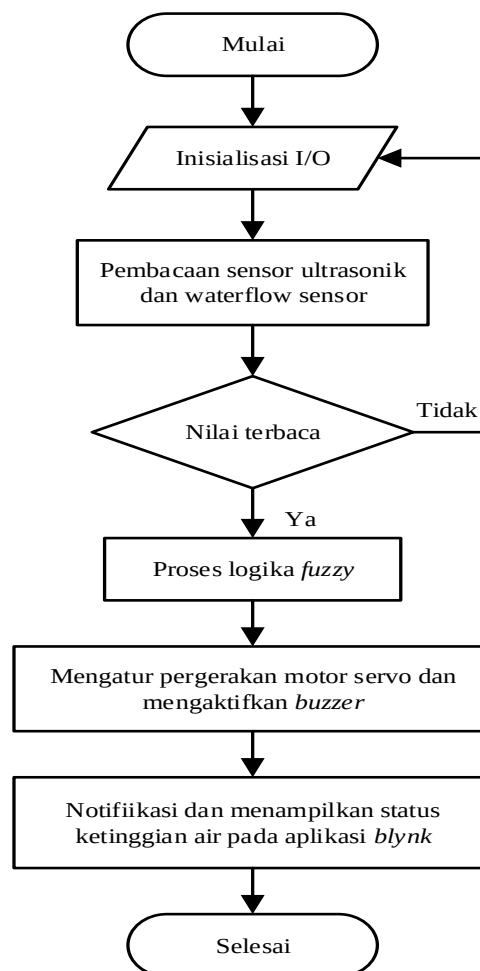
2.1. Diagram Blok Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Prototipe Sistem Peringatan dan Kontrol Jaring Otomatis

Blok diagram pada Gambar 1 di atas adalah sebuah gambaran visual yang menyajikan struktur keseluruhan dari komponen yang diperlukan untuk merancang prototipe ini dengan lengkap. Mikrokontroler ESP32, yang berfungsi sebagai pusat pengendalian utama, mengoordinasikan semua operasi dalam sistem. Sumber daya dengan variasi tegangan (3.3 VDC, 5 VDC, dan 12 VDC) diperlukan untuk menjamin kestabilan dan kelancaran operasional sistem. Di sisi output, terdapat beberapa komponen penting. Motor servo digunakan untuk menggerakkan mekanisme tertentu sesuai dengan instruksi yang diberikan. *Buzzer* memberikan umpan balik audio yang diperlukan untuk memberi tahu pengguna tentang status atau perubahan penting dalam sistem, sementara aplikasi *blynk* memungkinkan akses jarak jauh ke sistem melalui jaringan internet. Sensor-sensor juga memainkan peran penting dalam sistem ini. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak dengan akurasi, sementara sensor aliran air memantau aliran fluida secara terus-menerus. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini diolah oleh mikrokontroler untuk membuat keputusan yang tepat dalam pengaturan sistem. Yang membuat sistem ini lebih cerdas adalah penggunaan metode *fuzzy*. Metode ini memungkinkan sistem untuk memproses data yang tidak pasti atau ambigu, yang sering kali terjadi dalam lingkungan nyata. Dengan menggunakan logika *fuzzy*, sistem dapat membuat keputusan yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan lingkungan atau situasi yang kompleks. Integrasi semua komponen ini memungkinkan prototipe untuk berfungsi secara efisien, akurat, dan responsif. Diharapkan bahwa dengan kehadiran semua komponen ini, prototipe dapat mencapai tujuan fungsionalitasnya dengan baik.

2.2. Flowchart Sistem

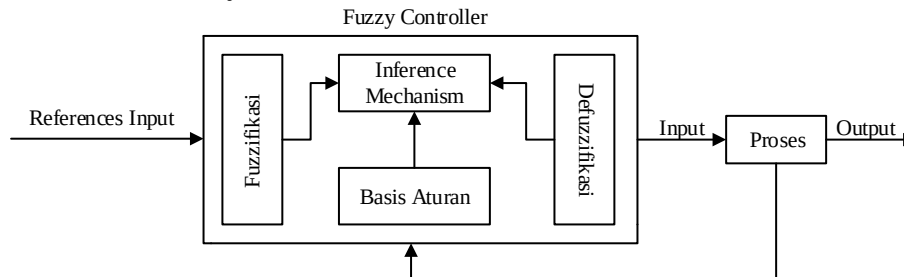


Gambar 2. Diagram Alir Kerja Sistem

Gambar 2 yang disajikan merupakan sebuah diagram alir kerja sistem yang menguraikan secara terperinci proses operasional sistem. Tahapan awal dimulai dengan instalasi Sensor Ultrasonik dan *waterflow* sensor ke mikrokontroler ESP32. Setelah perangkat diaktifkan, langkah pertama adalah menginisiasi proses dengan menekan tombol start. Selanjutnya, Sensor ultrasonik berfungsi secara kontinu untuk memantau tinggi air, sementara *waterflow* sensor mengamati debit air. Langkah berikutnya melibatkan gerakan sudut motor servo secara otomatis, yang dikendalikan oleh level banjir yang telah ditentukan menggunakan metode *fuzzy*.

Ketika sensor ultrasonik mendeteksi perubahan tinggi air, data dalam format centimeter dan liter per menit akan dikirim dan ditampilkan melalui aplikasi *Blynk*. Dengan demikian, sistem ini mengintegrasikan perangkat keras dengan perangkat lunak yang dirancang khusus untuk mencapai fungsionalitas yang diinginkan, memberikan kinerja yang optimal. Melalui serangkaian langkah yang terkoordinasi dengan baik, prototipe ini mampu memberikan informasi yang akurat dan berharga tentang tinggi dan debit air secara *real-time*.

2.3. Perencanaan Metode Fuzzy

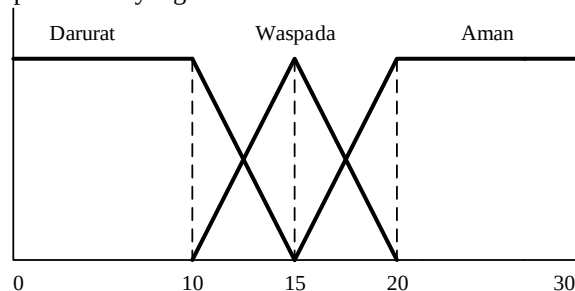


Gambar 3. Blok Diagram Tahapan Metode Fuzzy

Dalam tahapan perancangan logika *fuzzy*, komponen-komponen kunci yang sangat relevan adalah fungsi keanggotaan, basis aturan, dan proses *defuzzifikasi*. Komponen-komponen ini memiliki peran penting dalam mengimplementasikan algoritma pada ESP32, yang pada gilirannya menentukan aksi yang diambil oleh perangkat elektronik dalam sistem yang sedang beroperasi. Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*, sebagaimana diuraikan dalam Gambar 4 dan 5, memegang peranan krusial dalam menetapkan tingkat keterkaitan setiap anggota dengan fungsi keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* yang relevan. Sementara itu, basis aturan beroperasi dengan bergantung pada nilai-nilai atribut data untuk variabel linguistik yang spesifik, mengatur logika di balik pengambilan keputusan dalam sistem. Proses *defuzzifikasi* kemudian memainkan peran vital dalam mentransformasikan *output fuzzy* yang diperoleh menjadi nilai-nilai yang konkret dan dapat dimengerti, sehingga memungkinkan perangkat elektronik untuk mengambil langkah-langkah yang tepat sesuai dengan kondisi yang diberikan. Dengan demikian, integrasi dari ketiga komponen ini memberikan landasan yang kokoh bagi sistem logika *fuzzy* untuk berfungsi secara efektif dalam konteks implementasi pada ESP32.

2.3.1 Fungsi Keanggotaan Input Dan Output

Untuk menentukan fungsi keanggotaan input ketinggian air dan debit air, serta output motor servo dengan menggunakan rumus persamaan yang sesuai.



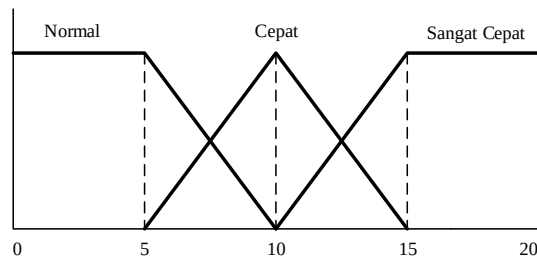
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Ketinggian Air

Fungsi keanggotaan ketinggian air di tunjukan oleh persamaan (1), (2), (3) di bawah ini :

$$\mu_{\text{Darurat}}[x] = \begin{cases} 1, & x < 10 \\ \frac{15-x}{15-10}, & 10 \leq x \leq 15 \\ 0, & x > 15 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\text{Waspada}}[x] = \begin{cases} 1; & x = 15 \\ \frac{x-10}{15-10}; & 10 < x < 15 \\ \frac{20-x}{20-15}; & 15 < x < 20 \\ 0; & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 20 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{\text{Aman}}[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 20 \\ \frac{x-15}{20-15}, & 50 \leq x \leq 20 \\ 0, & x \leq 15 \end{cases} \quad (3)$$



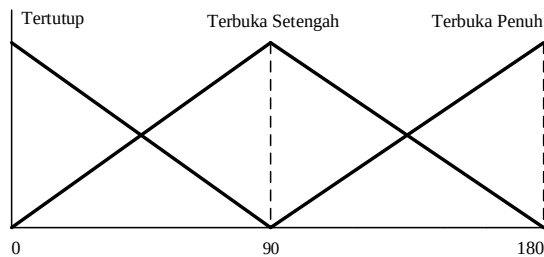
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Debit Air

Fungsi keanggotaan ketinggian air di tunjukan oleh persamaan (4), (5), (6) di bawah ini :

$$\mu_{\text{Normal}}[x] = \begin{cases} 1, & x < 5 \\ \frac{10-x}{10-5}, & 5 \leq x \leq 10 \\ 0, & x > 10 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{Cepat}}[x] = \begin{cases} 1; & x = 10 \\ \frac{x-5}{10-5}; & 5 < x < 10 \\ \frac{15-x}{15-10}; & 10 < x < 15 \\ 0; & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 15 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{Sangat Cepat}}[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 15 \\ \frac{x-10}{15-10}, & 10 \leq x \leq 15 \\ 0, & x \leq 10 \end{cases} \quad (6)$$



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Output Motor Servo

Fungsi keanggotaan ketinggian air di tunjukan oleh persamaan (7), (8), (9) di bawah ini :

$$\mu_{\text{Tertutup}}[x] = \begin{cases} 1, & x < 90 \\ \frac{90-x}{90-0}, & 0 \leq x \leq 90 \\ 0, & x > 90 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Terbuka setengah}}[x] = \begin{cases} 1; & x = 90 \\ \frac{x-0}{90-0}; & 0 < x < 90 \\ \frac{180-x}{180-90}; & 90 < x < 180 \\ 0; & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 180 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{Terbuka penuh}}[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 180 \\ \frac{x-90}{180-90}, & 90 \leq x \leq 180 \\ 0, & x \leq 90 \end{cases} \quad (9)$$

2.3.2 Rules Fuzzy

Tabel 1 yang tercantum di bawah ini merangkum serangkaian aturan *fuzzy* yang akan diterapkan pada basis aturan *output*, dengan mempertimbangkan nilai ketinggian air dan debit air. Aturan-aturan ini memberikan kerangka kerja untuk menafsirkan dan merespons kondisi-kondisi tertentu dari ketinggian air dan debit air dalam konteks sistem yang relevan.

Tabel 1. *Rules Fuzzy*

No	IF	Ketinggian Air	AND	Debit Air	THEN	Output (Jaring)
1	IF	Aman	AND	Normal	THEN	Tertutup
2	IF	Aman	AND	Cepat	THEN	Tertutup
3	IF	Aman	AND	Sangat Cepat	THEN	Terbuka Setengah
4	IF	Waspada	AND	Normal	THEN	Terbuka Setengah
5	IF	Waspada	AND	Cepat	THEN	Terbuka Setengah
6	IF	Waspada	AND	Sangat Cepat	THEN	Terbuka Penuh
7	IF	Darurat	AND	Normal	THEN	Terbuka Penuh
8	IF	Darurat	AND	Cepat	THEN	Terbuka Penuh
9	IF	Darurat	AND	Sangat Cepat	THEN	Terbuka Penuh

2.3.3 Defuzzifikasi

Setelah menentukan *rules fuzzy*, proses selanjutnya adalah proses *defuzzifikasi* yang merupakan tahap akhir dalam sistem logika *fuzzy*. Pada tahap ini, keluaran awal yang berupa himpunan *fuzzy* diubah menjadi nilai numerik konkret atau tindakan yang dapat diaplikasikan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *centroid* yang menghitung luas dan momen yang ditunjukkan pada persamaan (10) di bawah ini, yang merupakan langkah kritis untuk menghasilkan hasil akhir yang dapat dipahami dan diaplikasikan dalam konteks yang relevan.

Rumus *Defuzzifikasi Metode Centroid* :

$$Z^* = \frac{\int \mu x(z).z \, dz \rightarrow \text{moment}}{\int \mu x(z) dz \rightarrow \text{luas daerah}} \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perancangan Alat

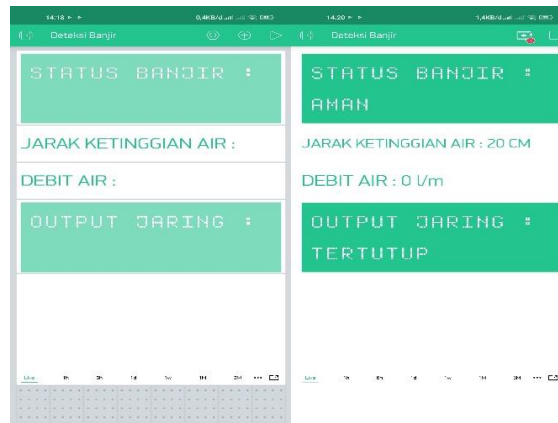
Gambar 7 yang terletak di bawah ini memperlihatkan gambaran hasil instalasi ESP32 yang terkoneksi secara langsung dengan Sensor Ultrasonik, Sensor *Waterlevel*, *buzzer*, dan motor servo. Dalam gambar tersebut, terlihat adanya interkoneksi yang erat antara komponen-komponen tersebut, membentuk sebuah sistem yang terintegrasi dan kompleks.



Gambar 7. Hasil Perancangan Alat

3.2. Hasil Perancangan Sistem Monitoring

Sistem menggunakan platform *blynk* untuk pemantauan banjir di tambak ikan, dengan antarmuka intuitif. Gambar 8 menunjukkan hasil desain dan pemasangan aplikasi.



Gambar 8. Hasil Desain Dan Instalasi Blynk Pada Smartphone

3.3. Hasil Perhitungan Fuzzy

Dari hasil perhitungan fuzzy dengan simulasi matlab dan metode *centroid* di dapat hasil sebagai berikut :



Gambar 9. Simulasi 1

Gambar 10. Simulasi 2

Gambar 11. Simulasi 3

Menentukan *output* pergerakan sudut motor servo jika ketinggian air 30 dan debit air 1. Simulasi 1 pada matlab dapat dilihat pada gambar 9. Dengan *rules* 1 berikut

1. IF Aman AND Normal THEN Jaring Tertutup

Perhitungan Manual :

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= (90 - 0) \times 1 = 90 \\ \text{Moment} &= \int_0^{90} 1 \cdot z \, dz = 4050 \\ z^* &= \frac{4050}{90} = 45\end{aligned}$$

Jadi *output* sudut pergerakan dari motor servo adalah 45 atau jaring tertutup

Menentukan *output* pergerakan sudut motor servo jika ketinggian air 15 dan debit air 10. Simulasi 2 pada matlab dapat dilihat pada gambar 10. Dengan *rules* 2 berikut

2. IF Waspada AND Cepat THEN Jaring Terbuka Setengah

Simulasi 2 pada matlab dapat dilihat pada gambar 10

Perhitungan Manual :

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= (180 - 0) \times 1 = 180 \\ \text{Moment} &= \int_0^{180} 1 \cdot z \, dz = 90 \\ z^* &= \frac{16200}{180} = 90\end{aligned}$$

Jadi *output* sudut pergerakan dari motor servo adalah 90 atau jaring terbuka setengah

Menentukan *output* pergerakan sudut motor servo jika ketinggian air 2 dan debit air 20. Simulasi 3 pada matlab dapat dilihat pada gambar 10. Dengan *rules* 3 berikut

3. IF Darurat AND Sangat Cepat THEN Jaring Terbuka Penuh

Perhitungan Manual :

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= (180 - 90) \times 1 = 90 \\ \text{Moment} &= \int_{90}^{180} 1 \cdot z \, dz = 12150 \\ z^* &= \frac{12150}{90} = 135\end{aligned}$$

Jadi *output* sudut pergerakan dari motor servo adalah 135 atau jaring terbuka penuh.

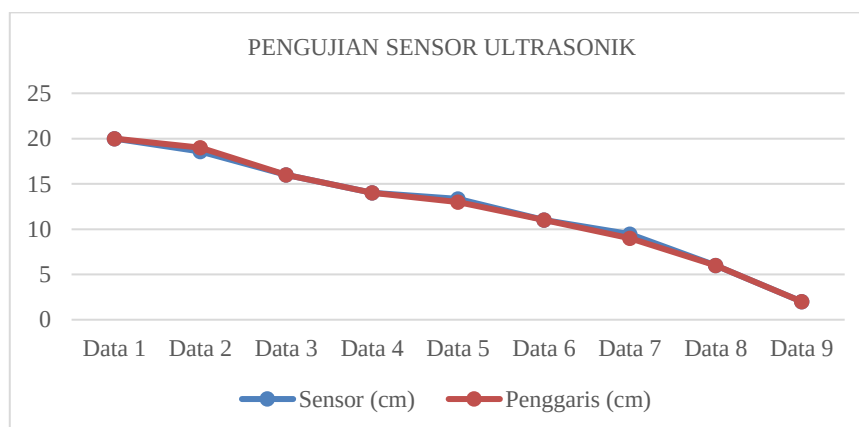
Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat perbedaan nilai yang kecil antara perhitungan manual menggunakan metode *centroid* dan hasil simulasi pada matlab. Namun, nilai *output* telah menunjukkan kesesuaian dengan aturan yang dirancang ketika diset pada ketinggian air dan debit air. *Output* dari sistem *fuzzy* ini hanya terbagi dalam tiga kategori, yaitu jaring tertutup, jaring terbuka setengah, dan jaring terbuka penuh.

3.4. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik diuji secara cermat untuk mengevaluasi tingkat akurasi dalam melakukan pengukuran jarak air. Hasil pengujian sensor dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan penggaris sebagai acuan untuk menilai keakuratannya.

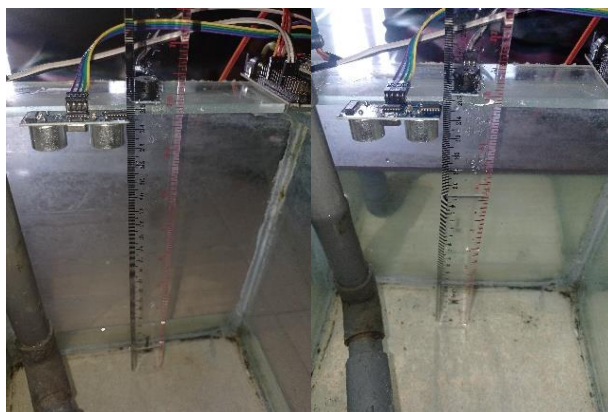
Tabel 2. Pengujian Sensor Ultrasonik

Level Ketinggian Air	Data Pengujian	Nilai Ketinggian Air Pada Sensor (cm)	Penggaris (cm)	Presentase Error %	Akurasi %
Aman	Data 1	20	20	0	100
	Data 2	18,56	19	2,3	97,7
	Data 3	16	16	0	100
Waspada	Data 1	14	14	0	100
	Data 2	13,35	13	2,7	97,3
	Data 3	11	11	0	100
Darurat	Data 1	9,46	9	5,1	94,9
	Data 2	6	6	0	100
	Data 3	2	2	0	100
Rata-Rata				1,12 %	98,87 %



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Dari data yang tercatat dalam tabel 2 dan gambar 12 yang menunjukkan grafik hasil pengujian sensor ultrasonik di atas, yang dihasilkan setelah menjalani 9 percobaan sensor yang dibandingkan dengan jarak penggaris, terungkap bahwa terdapat tingkat kesalahan sebesar 1,12% dan tingkat akurasi sebesar 98,87%. Analisis ini memberikan gambaran tentang reliabilitas dan ketepatan hasil percobaan sensor dalam membandingkan dengan jarak penggaris, menyoroti tingkat akurasi yang tinggi dengan tingkat kesalahan yang minimal, sebuah indikator penting dalam mengevaluasi kinerja sistem atau perangkat yang terlibat. Selain itu, informasi tersebut dapat dijadikan sebagai dasar bagi pengembangan teknologi sensor yang lebih canggih di masa depan, dengan fokus pada peningkatan akurasi dan mengurangi tingkat kesalahan. Gambar 13 merupakan proses pengujian sensor ultrasonik, yang mencerminkan upaya terus-menerus untuk meningkatkan performa perangkat dalam aplikasi praktis.

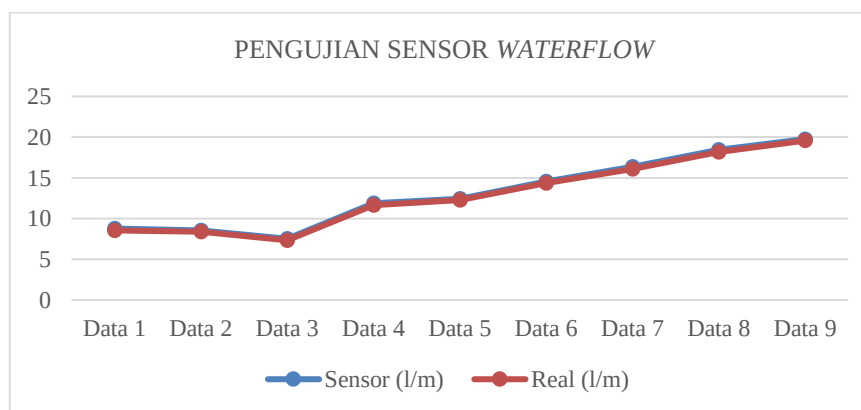


Gambar 13. Pengujian Sensor Ultrasonik

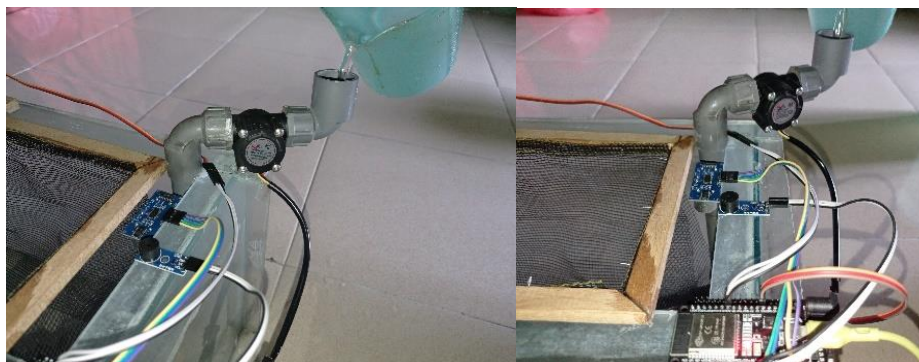
3.5. Hasil Pengujian Sensor *Waterflow*

Tabel 3. Pengujian Sensor *Waterflow*

Level Debit Air	Data Pengujian	Nilai Debit Air Pada Sensor (ml/s)	Real (ml/s)	Presentase Error %	Akurasi %
Normal	Data 1	8,75	8,52	2,6	97,4
	Data 2	8,54	8,36	2,1	97,9
	Data 3	7,51	7,32	2,5	97,5
Cepat	Data 1	11,89	11,65	2,06	97,9
	Data 2	12,43	12,28	1,22	98,78
	Data 3	14,57	14,36	1,46	98,54
Sangat Cepat	Data 1	16,37	16,08	1,80	98,2
	Data 2	18,43	18,18	1,37	98,63
	Data 3	19,76	19,57	0,97	99,03
Rata-Rata				1,86 %	98,2 %

Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Sensor *Waterflow*

Dari data yang tercatat dalam Tabel 3 dan gambar 14 yang menunjukkan grafik hasil pengujian sensor *waterflow* di atas, yang diperoleh setelah melakukan 9 percobaan sensor, diketahui bahwa tingkat kesalahannya sebesar 1,86%, sementara tingkat akurasinya mencapai 98,2%. Informasi ini menyoroti hasil evaluasi yang menunjukkan seberapa baik kinerja sensor dalam menghasilkan data yang akurat dan dapat diandalkan. Dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah dan tingkat akurasi yang tinggi, hasil ini menggambarkan reliabilitas sistem yang baik dan memberikan kepercayaan pada data yang dihasilkan oleh sensor tersebut. Gambar 15 merupakan proses pengujian sensor *waterflow*.

Gambar 15. Pengujian Sensor *Waterflow*

3.6. Hasil Pengujian Keseluruhan Alat

Tabel 4. Pengujian Keseluruhan Alat

Data pengujian	Ketinggian air (cm)	Debit Air (ml/s)	Output		Kondisi Jaring	Keterangan
			Motor Servo (Derajat)	Buzzer		
1	19	8	0	Off	Tertutup	Sesuai
2	18	11	0	Off	Tertutup	Sesuai
3	16	16	90	On 1 kali	Terbuka Setengah	Sesuai
4	14	7	90	On 1 kali	Terbuka Setengah	Sesuai
5	12	12	90	On 1 kali	Terbuka Setengah	Sesuai
6	11	17	180	On 2 kali	Terbuka Penuh	Sesuai
7	8	9	180	On 2 kali	Terbuka Penuh	Sesuai
8	5	14	180	On 2 kali	Terbuka Penuh	Sesuai
9	2	20	180	On 2 kali	Terbuka Penuh	Sesuai

Dari data yang tercatat dalam tabel 4, terlihat bahwa output sesuai dengan aturan yang diinginkan, menunjukkan konsistensi dan kecocokan dengan parameter-parameter yang ditetapkan. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem ini memiliki potensi yang cukup baik untuk diaplikasikan dalam kehidupan nyata, dengan harapan dapat memberikan kontribusi yang positif dalam menjawab tantangan atau kebutuhan yang muncul dalam lingkungan yang relevan.

4. KESIMPULAN

Setelah melalui tahapan perencanaan, pengembangan, serta serangkaian pengujian dan analisis, ditemukan bahwa sistem ini menunjukkan hasil yang menjanjikan. Analisis logika *fuzzy* menunjukkan sedikit perbedaan antara perhitungan manual dengan metode *centroid* dan hasil simulasi di Matlab. Namun, nilai *output* sudah sesuai dengan aturan untuk ketinggian dan debit air. Sensor ultrasonik dan sensor aliran air memiliki tingkat kesalahan rendah, masing-masing 1,12% dan 1,86%, serta tingkat akurasi tinggi, yaitu 98,87% untuk sensor ultrasonik dan 98,2% untuk sensor aliran air. Implementasi dan pengujian sistem dilakukan pada miniatur tambak ikan dengan kondisi air statis.

Kesimpulannya, prototipe sistem ini dapat memberikan informasi yang akurat untuk mendeteksi kondisi yang berpotensi menyebabkan lepasnya ikan selama banjir. Implementasi ini membantu petani tambak mengurangi risiko lepasnya ikan akibat banjir, menyediakan peringatan dini, dan mengontrol jaring tambak secara otomatis, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas tambak serta mengurangi kerugian akibat kondisi lingkungan ekstrem. Namun, ini masih prototipe dan diuji pada miniatur tambak dengan kondisi air statis. Penelitian selanjutnya diharapkan fokus pada pengembangan dan pengujian sistem pada tambak yang lebih besar untuk menilai keandalan dan efektivitasnya dalam kondisi nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti dengan tulus ingin menyampaikan penghargaan yang mendalam kepada semua pihak yang telah turut serta dalam proses penelitian ini. Kami mengucapkan terima kasih atas bimbingan, petunjuk, serta bantuan yang berharga dari berbagai individu dan lembaga, baik dalam hal dukungan moral maupun material. Kerjasama ini tidak hanya memberikan dorongan, tetapi juga menjadi pendorong utama bagi kesuksesan penelitian kami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khafid Syaifur Rohman, "KAJIAN RISIKO LAHAN TAMBAK AKIBAT BANJIR DI KECAMATAN KALITENGAH KABUPATEN LAMONGAN," *Mahasiswa S1 Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial Dan Hukum, Universitas Negeri Surabaya*, 2021.
- [2] R. Dika Pratama, S. Samsugi, J. Persada Sembiring, J. Z. Pagar Alam No, L. Ratu, and B. Lampung, "ALAT DETEKSI KETINGGIAN AIR MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK DENGAN DATABASE," *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTIKOM)*, vol. 3, no. 1, p. 2022.
- [3] A. Prasetyo and R. Rahmat, "REKAYASA SISTEM PERINGATAN DINI BENCANA BANJIR BERBASIS IoT MENGGUNAKAN RASPBERRY PI," *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, pp. 29–35, Sep. 2022, doi: 10.34151/technoscience.v15i1.4035.
- [4] M. N. Bhuiyan, M. M. Rahman, M. M. Billah, and D. Saha, "Internet of Things (IoT): A Review of Its Enabling Technologies in Healthcare Applications, Standards Protocols, Security, and Market Opportunities," *IEEE Internet Things J*, vol. 8, no. 13, pp. 10474–10498, Jul. 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3062630.
- [5] R. A. Radouan Ait Mouha, "Internet of Things (IoT)," *Journal of Data Analysis and Information Processing*, vol. 09, no. 02, pp. 77–101, 2021, doi: 10.4236/jdaip.2021.92006.
- [6] K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, and M. Mustaqim, "Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 23022–23040, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970118.
- [7] I. Kurniawan and T. Komputer, "Implementasi Internet Of Things (Iot) Dalam Pembelajaran Di Unisnu Jepara," vol. 2 no. 4, Jun. 2022.
- [8] S. Yuliantika and D. Listya Kartika, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani sebagai Deteksi Awal Banjir Lokal di Bendung Gerak Serayu," *SQUARE : Journal of Mathematics and Mathematics Education*, vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 2022, doi: 10.21580/square.2020.2.1.10783.
- [9] J. Sistem and K. Tgd, "Implementasi Metode Fuzzy Berbasis Internet Of Things (IoT)," vol. 1, no. 1, Feb. 2022. doi: <https://doi.org/10.53513/jursik.v1i1.4805>.
- [10] E. W. Pratama and A. Kiswantono, "Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime," *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, vol. 7, no. 2, pp. 1273–1284, Jan. 2023, doi: 10.54732/jeeecs.v7i2.21.
- [11] P. D. Widayaka, S. Hadi, R. P. M. D. Labib, and K. Marzuki, "Komparasi Performansi Sensor sebagai Perangkat Pengukuran Ketinggian Air pada Sistem Notifikasi Banjir," *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, vol. 4, no. 1, pp. 37–48, Jun. 2022, doi: 10.30812/bite.v4i1.1997.
- [12] R. Dias Valentin, M. Ayu Desmita, and A. Alawiyah, "Implementasi Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Untuk Sistem Peringatan Dini Banjir," *Jimel*, vol. 2, no. 2, pp. 2723–598, 2021, doi: 10.33365/jimel.v1i1.
- [13] J. Sistem and K. Tgd, "Implementasi Metode Fuzzy Pada Sumur Serapan Otomatis Berbasis Mikrokontroler," vol. 2, no. 1, pp. 43–52, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jskom>
- [14] A. Andrian, R. Rahmadewi, and I. A. Bangsa, "ARM ROBOT PEMINDAH BARANG (AtwoR) MENGGUNAKAN MOTOR SERVO MG995 SEBAGAI PENGGERAK ARM BERBASIS ARDUINO," *Electro Luceat*, vol. 6, no. 2, pp. 142–155, Nov. 2020, doi: 10.32531/jelekn.v6i2.226.
- [15] R. P. Gozal, A. Setiawan, and H. Khoswanto, "Aplikasi SmartRoom Berbasis Blynk untuk Mengurangi Pemakaian Tenaga Listrik," vol. 8, no. 1, 2020.
- [16] M. Husein, M. Akbar, A. Sobri, and M. Akbar, "ALAT MONITORING SISTEM PENDETEKSI KETINGGIAN BENCANA BANJIR DENGAN SENSOR ULTRASONIK BERBASIS IOT," 2023.

Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap *Partial Discharge* dan Arus Bocor pada Kabel *Power Incoming* 20KV Transformator Daya Gardu Induk Kalibakal

Analysis of the Effect of Load Changes on Partial Discharge and Leakage Current in the 20KV Incoming Power Cable to the Power Transformer Substation of Kalibakal

Samsul Maarif¹, Winarso²

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. KH Ahmad Dahlan, Kembaran 53182, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 14 Januari 2024
Diterima, 7 Juni 2024
Diterbitkan, 28 Juni 2024

Kata Kunci:

Partial Discharge, Arus Bocor, *Incoming* 20KV, Perubahan Beban

Keyword:

Partial Discharge, Leakage Current, Incoming 20KV, Load Changes.

INTISARI

Kabel power trafo *incoming* 20KV merupakan kabel tegangan menengah yang menyalurkan daya listrik pada sisi sekunder transformator daya ke kubikel *incoming* 20KV. *Partial discharge* dan arus bocor menjadi fenomena yang dapat terjadi pada kabel power trafo *incoming* 20KV. *Partial discharge* merupakan peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian isolasi sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut. Arus bocor merupakan arus yang mengalir menembus atau melalui permukaan isolasi. Penelitian ini dilakukan untuk mendeteksi *partial discharge* dan arus bocor pada kabel *incoming* 20KV, penelitian ini juga ditujukan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap *partial discharge* dan arus bocor. Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan didapatkan hasil bahwa perubahan beban memiliki pengaruh terhadap *partial discharge* dan arus bocor. Dari hasil uji regresi linear sederhana pengaruh perubahan beban terhadap *partial discharge* diperoleh hasil bahwa pengaruh variabel bebas (beban) terhadap variabel terikat (*partial discharge*) adalah sebesar 58,8%, Sedangkan pengaruh perubahan beban terhadap arus bocor diperoleh bahwa pengaruh variabel bebas (beban) terhadap variabel terikat (arus bocor) adalah sebesar 87,0%. Meskipun perubahan beban memiliki pengaruh pada nilai *partial discharge* dan arus bocor, akan tetapi pengaruh tersebut tidak menyebabkan nilai *partial discharge* dan arus bocor yang melebihi batas aman dari standar yang ditentukan. Pengukuran secara berkala sebaiknya dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan yang diakibatkan oleh *partial discharge* dan arus bocor.

ABSTRACT

Partial discharge is an electrical discharge or sparking event that occurs in a certain part of insulation due to a high potential difference in the insulation. Leakage current is the current that flows through or penetrates the surface of the insulation. This research is conducted to determine the effect of load changes on partial discharge and leakage current. Testing is carried out using the simple linear regression test method to see how much the effect of load changes on partial discharge and leakage current is. From the test results and analysis conducted on the 20KV incoming power cable to the 60MVA power transformer, it was found that the effect of load changes on partial discharge is 58.8%, while the effect of load changes on leakage current is 87.0%. Although load changes have an impact on the values of partial discharge and leakage current, this impact does not cause the values of partial discharge and leakage current to exceed the safe limits set by the standards. Periodic measurements should be carried out to prevent disturbances caused by partial discharge and leakage current.

Korespondensi Penulis:

Samsul Maarif

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl. KH. Ahmad Dahlan Dukuwaluh, Kec. Kembaran, Kab. Banyumas, Jawa Tengah 53182, Indonesia

Email : samsul29tpb@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu tenaga yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat, perkantoran, industri, dan lain sebagainya, segala aktifitas yang berkaitan dengan kebutuhan sehari-hari tidak terlepas dari kebutuhan akan tenaga listrik, karena tenaga listrik adalah kebutuhan yang pokok bagi kehidupan masyarakat modern [1]. Kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik semakin meningkat seiring bertambahnya populasi penduduk Indonesia. Meningkatnya konsumsi energi listrik juga dipengaruhi dari pertumbuhan ekonomi serta semakin berkembangnya teknologi yang membutuhkan lebih banyak energi listrik untuk menunjangnya. Penyedia jasa di bidang kelistrikan harus menyediakan kualitas energi listrik yang baik bagi para pelanggan.

Salah satu indikator yang menentukan bahwa pendistribusian energi listrik dapat dikatakan baik yaitu rendahnya tingkat frekuensi gangguan. Kegagalan isolasi dapat menjadi salah satu faktor penghambat dalam kelancaran pendistribusian energi listrik. Isolasi adalah suatu bahan yang tidak dapat menghantar aliran listrik, bersifat memisahkan/menyekat bagian yang bertegangan satu dengan bagian bertegangan lainnya agar tidak terjadi kebocoran pada suatu peralatan tegangan tinggi [2]. Kegagalan isolasi yang terjadi pada peralatan seperti kabel tenaga akan menyebabkan isolasi tidak berfungsi secara maksimal untuk memisahkan antara bagian yang bertegangan dan bagian yang tidak bertegangan. Kegagalan isolasi tersebut dapat berdampak pada terjadinya gangguan hubung singkat yang akan membuat penyaluran energi listrik akan terganggu bahkan terhenti. Kegagalan isolasi juga dapat menimbulkan tegangan tembus serta arus bocor. Arus bocor merupakan arus yang mengalir menembus atau melalui permukaan isolasi [3]. Peningkatan arus bocor akan memperbesar rugi-rugi dalam bentuk pemanasan, akibatnya terjadi kegagalan isolator sebagai isolasi [4].

Terganggunya atau terhentinya penyaluran energi listrik dapat menyebabkan kerugian bagi penyedia layanan pada bidang kelistrikan. Jika sebagian penyaluran energi listrik terhenti maka akan mengurangi nilai penjualan energi listrik tersebut. Kegagalan dalam penyaluran energi listrik ini juga akan mengakibatkan kerugian bagi para pelanggan, terutama pelanggan industri, layanan kesehatan, atau layanan publik lainnya. Maka dari itu kualitas isolasi harus baik untuk mencegah terjadinya gangguan yang disebabkan karena kegagalan isolasi. Salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan isolasi berawal dari terjadinya *partial discharge* pada isolasi yang terjadi terus menerus yang akan menyebabkan kegagalan isolasi sempurna.

Pelepasan listrik yang menghubungkan sebagian dua elektroda dengan tegangan berbeda-beda dalam suatu media isolasi disebut sebagai *partial discharge* [5]. *Partial discharge* juga dapat didefinisikan sebagai akibat dari konsentrasi *electrical stress* pada suatu lokasi di dalam atau pada permukaan isolasi [6]. Aktivitas *partial discharge* dapat disebabkan oleh beragam cacat atau penuaan seperti *voids* (rongga), *contaminants* (ketidakmurnian), *protrusions* (tonjolan), *tracking* dari *electrical stress* dan lain-lain [7]. Jika pelepasan ini terus berlanjut maka akan mengikis permukaan isolasi sehingga menyebabkan ruang udara semakin besar dan isolasi semakin tipis. Hal ini pada akhirnya dapat menyebabkan tegangan tembus yang lebih besar pada bahan isolasi. *Partial discharge* juga akan berdampak pada arus bocor yang terjadi pada isolasi tersebut.

Pengukuran atau pendeteksi *partial discharge* adalah salah satu cara untuk mendeteksi kerusakan secara dini untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara keseluruhan. Teknik pengukuran *partial discharge* cukup beragam dan masih dikembangkan hingga saat ini. Pengukuran ditujukan untuk mengetahui besarnya *partial discharge* yang terjadi pada suatu bahan isolasi. Dengan mengetahui besarnya tingkat *partial discharge* pada suatu bahan isolasi, dapat mendiagnosa adanya cacat atau kerusakan pada isolasi tersebut untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih parah. Pengukuran *partial discharge* juga bertujuan untuk mencegah timbulnya bahaya-bahaya yang disebabkan karena adanya kegagalan isolasi. [8]

Penelitian ini dilakukan untuk mendeteksi *partial discharge* dan mendeteksi besarnya arus bocor yang terjadi pada kabel power *incoming* 20KV transformator daya. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap *partial discharge* dan arus bocor. Pendeteksian dini terhadap kegagalan isolasi akibat *partial discharge* dan arus bocor diharapkan dapat mencegah terjadinya kegagalan isolasi yang lebih buruk.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif. Menurut Creswell metode penelitian kuantitatif merupakan metode-metode untuk menguji teori-teori tertentu dengan cara meneliti hubungan antar variabel[9][10]. Metode kuantitatif juga disebut sebagai metode tradisional, positivistic, scientific, confirmatory [11]. Dengan menggunakan pendekatan ini, peneliti dapat menghasilkan data yang dapat diukur secara objektif dan menghasilkan temuan yang dapat diuji kebenarannya secara statistik. Adapun metode lain yang mendukung dalam penelitian antara lain :

2.1. Studi Literatur

Penelitian yang menggunakan tinjauan pustaka disusun dengan cara yang sama seperti penelitian lainnya, namun menggunakan sumber dan teknik yang berbeda, seperti membaca, mencatat, mengolah bahan penelitian, dan mengumpulkan data dari perpustakaan[12]. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian[13].

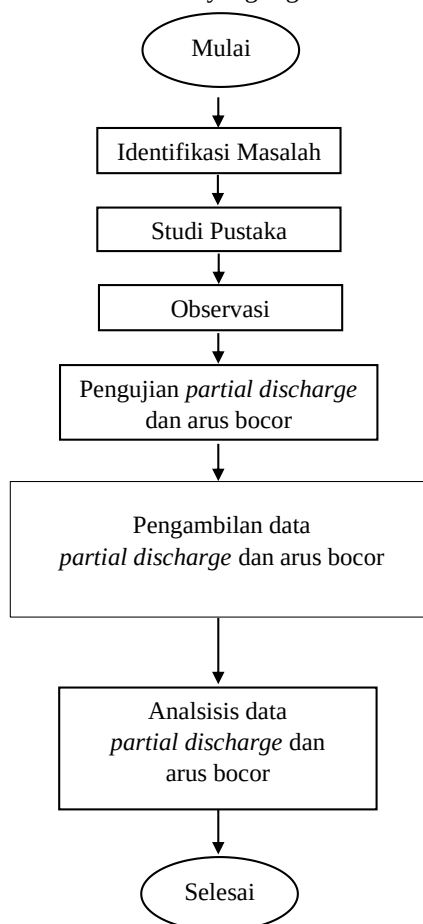
2.2. Observasi

Observasi dilakukan dengan pengamatan dan pengujian langsung di Gardu Induk 150 KV Kalibakal. Dengan dilakukannya pengamatan dan pengujian langsung maka bisa didapatkan data primer dan data pendukung lainnya untuk menunjang penelitian.

2.3. Wawancara

Dilaksanakan melalui kegiatan diskusi dan tanya jawab dengan supervisor dan staff Gardu Induk 150 KV Kalibakal serta tim pemeliharaan ULTG Purwokerto untuk mengumpulkan data-data dan informasi terkait pengujian *partial discharge* dan arus bocor yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian.

Berikut ini adalah alur penelitian yang akan dilaksanakan yang digambarkan dalam diagram alir penelitian :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Regresi Linear Sederhana

Metode regresi merupakan sebuah metode statistik yang melakukan prediksi menggunakan pengembangan hubungan matematis antara variabel, yaitu variabel dependen (Y) dengan variabel independen (X)[1]. Analisis regresi linear sederhana digunakan untuk menguji pengaruh satu variabel bebas terhadap variabel terikat. Pada penelitian kali ini terdapat satu variabel bebas (X) yaitu beban dan dua variabel terikat (Y) yaitu *partial discharge* dan arus bocor. Berikut ini adalah hasil uji regresi linear sederhana pengaruh beban terhadap *partial discharge* dan pengaruh beban terhadap arus bocor:

3.1.1 Pengaruh Beban Terhadap *Partial Discharge*

Berikut ini adalah beberapa tabel dari hasil uji regresi linear sederhana beban terhadap *partial discharge*:

Tabel 1. Anova Uji Regresi Linear Sederhana Beban dan *Partial Discharge*

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13235,260	1	13235,260	18,573	,001 ^b
	Residual	9264,073	13	712,621		
	Total	22499,333	14			

a. Dependent Variable: *pd*

b. Predictors: (Constant), beban

Dari output Tabel 1 Anova uji regresi linear sederhana Beban dan *Partial Discharge* dapat diketahui bahwa nilai F hitung = 18,571 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,001 < 0,05$, maka model regresi dapat dipakai untuk memprediksi variabel beban atau dengan kata lain ada pengaruh variabel beban (X) terhadap variabel *Partial Discharge* (Y).

Tabel 2. Coefficients Regresi Linear Beban dan *Partial Discharge*

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	69,849	131,172		-,533	,603
beban	,086	,020	,767	4,310	,001

a. Dependent Variable: *pd*

Output dari Tabel 2 Coefficients uji regresi linear sederhana beban dan *Partial Discharge* dapat diketahui bahwa berdasarkan nilai signifikansi dari tabel tersebut diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,001 < 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel beban (X) berpengaruh terhadap variabel *partial discharge* (Y). Berdasarkan nilai T dapat diketahui bahwa nilai T hitung sebesar 4,310 > 3,182 T tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel beban (X) berpengaruh terhadap variabel *partial discharge* (Y).

T tabel = $(a/2 : n-k-1)$

= $(0,05/2 : 5-1-1)$

= $(0,025 : 3)$

= 3,182

Tabel 3. Model Summary Regresi Linear Beban Dan *Partial Discharge*

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,767 ^a	,588	,557	26,695

a. Predictors: (Constant), beban

b. Dependent Variable: *pd*

Output dari Tabel 3 Model Summary uji regresi linear sederhana beban dan *Partial Discharge* dapat diketahui bahwa besarnya nilai korelasi / hubungan (R) yaitu sebesar 0,767. Dari output tersebut diperoleh koefisien determinasi (R square) sebesar 0,588, yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (beban) terhadap variabel terikat (*Partial Discharge*) adalah sebesar 58,8%.

3.1.2 Pengaruh Beban Terhadap Arus Bocor

Berikut ini adalah beberapa tabel dari hasil uji regresi linear sederhana beban terhadap arus bocor:

Tabel 4. Anova Uji Regresi Linear Sederhana Beban dan Arus Bocor

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,117	1	3,117	86,827	,000 ^b
	Residual	,467	13	,036		
	Total	3,583	14			

a. Dependent Variable: arus bocor

b. Predictors: (Constant), beban

Dari output Tabel 4 Anova uji regresi linear sederhana beban dan arus bocor dapat diketahui bahwa nilai F hitung = 86,827 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,000 < 0,05$, maka model regresi dapat dipakai untuk memprediksi variabel beban atau dengan kata lain ada pengaruh variabel beban (X) terhadap variabel arus bocor (Y).

Tabel 5. Coefficients Regresi Linear Beban Dan Arus Bocor

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-,340	,931		-,366	,721
beban	,001	,000	,933	9,318	,000

a. Dependent Variable: arus bocor

Output dari Tabel 5 Coefficients uji regresi linear sederhana beban dan arus bocor dapat diketahui bahwa berdasarkan nilai signifikansi dari tabel tersebut diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,000 < 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel beban (X) berpengaruh terhadap variabel arus bocor (Y). Berdasarkan nilai T dapat diketahui bahwa nilai T hitung sebesar $9,318 > 0,765$ T tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel beban (X) berpengaruh terhadap variabel arus bocor (Y).

T tabel = $(\alpha/2 : n-k-1)$

= $(0,05/2 : 5-1-1)$

= $(0,025 : 3)$

= 3,182

Tabel 6. Model Summary Regresi Linear Beban Dan Arus Bocor

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,933 ^a	,870	,860	,18947

a. Predictors: (Constant), beban

b. Dependent Variable: arus bocor

Output dari Tabel 6 Model Summary uji regresi linear sederhana beban dan arus bocor dapat diketahui bahwa besarnya nilai korelasi / hubungan (R) yaitu sebesar 0,933. Dengan koefisien determinasi (R square) sebesar 0,870, output ini menunjukkan bahwa variabel independen (beban) mempunyai pengaruh sebesar 87% terhadap variabel dependen (arus bocor).

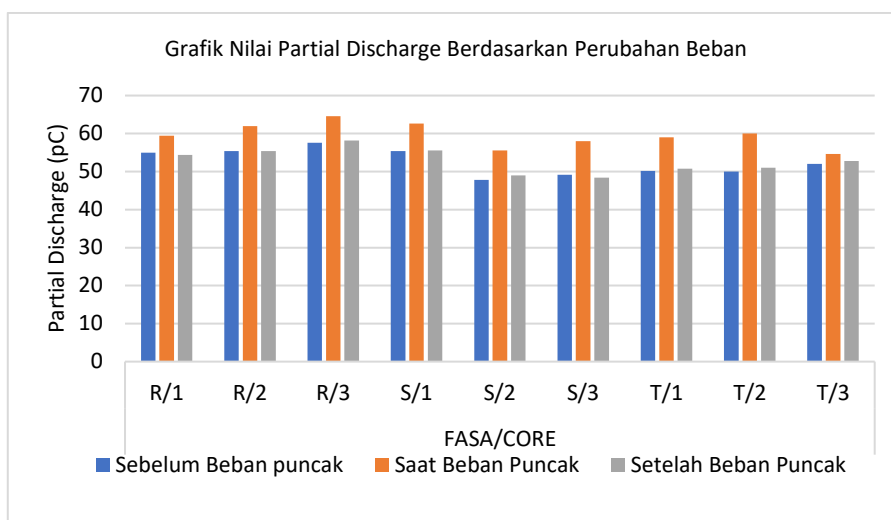
3.2 Grafik Perbandingan

3.2.1 Grafik Perbandingan Nilai Partial Discharge Berdasarkan Perubahan Beban

Berikut ini adalah data dan grafik perbandingan nilai rata-rata partial discharge berdasarkan perubahan beban :

Tabel 7. Rata-Rata Nilai Partial Discharge Berdasarkan Perubahan Beban

Kondisi Pengukuran	Partial Discharge (pC) Tiap Fasa/Core								
	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sebelum Beban Puncak	55	55	58	55	48	49	50	50	52
Saat Beban Puncak	59	62	65	63	56	58	59	60	55
Setelah Beban Puncak	54	55	58	56	49	48	51	51	53



Gambar 2. Grafik Nilai *Partial Discharge* Berdasarkan Perubahan Beban

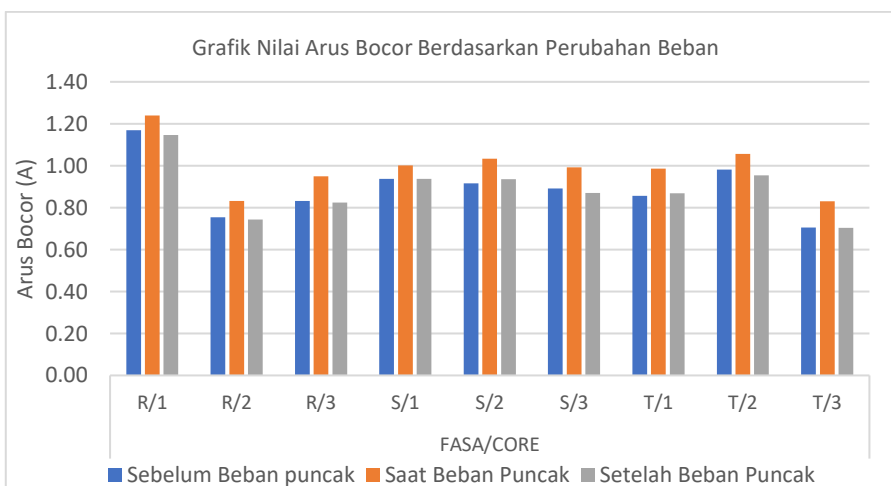
Grafik pada Gambar 2, menunjukkan adanya perubahan nilai *partial discharge* berdasarkan perubahan beban dimana terdapat perbedaan antara nilai *partial discharge* sebelum beban puncak, saat beban puncak dan setelah beban puncak.

3.2.2 Grafik Perbandingan Nilai Arus Bocor Berdasarkan Perubahan Beban

Berikut ini adalah data dan grafik perbandingan nilai rata-rata *partial discharge* berdasarkan perubahan beban :

Tabel 8. Rata-Rata Nilai Arus Bocor Berdasarkan Perubahan Beban

Kondisi Pengukuran	Arus Bocor (A) Tiap Fasa/Core								
	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sebelum Beban puncak	1,17	0,75	0,83	0,94	0,92	0,89	0,86	0,98	0,71
Saat Beban Puncak	1,24	0,83	0,95	1,00	1,03	0,99	0,99	1,06	0,83
Setelah Beban Puncak	1,15	0,74	0,82	0,94	0,94	0,87	0,87	0,95	0,70



Gambar 3. Grafik Nilai Arus Bocor Berdasarkan Perubahan Beban

Grafik pada Gambar 3, menunjukkan adanya perubahan nilai arus bocor berdasarkan perubahan beban dimana terdapat perbedaan antara nilai arus bocor sebelum beban puncak, saat beban puncak dan setelah beban puncak.

3.3 Perbandingan Data Dengan Standar

3.3.1 Perbandingan Data *Partial Discharge* Dengan Standar Internasional

Berikut ini adalah data hasil pengukuran nilai *partial discharge* pada kabel power *incoming* 20KV pada kondisi sebelum beban puncak, saat beban puncak dan setelah beban puncak :

Tabel 9. Data *Partial Discharge* Sebelum Beban Puncak

<i>Partial Discharge</i> (pC) Tiap Fasa/Core									
Hari ke-	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	54	56	58	55	48	48	49	48	52
2	55	55	57	56	46	48	50	51	53
3	57	59	61	58	52	57	55	54	56
4	55	54	57	54	47	47	48	49	50
5	54	53	55	54	46	46	49	48	49

Tabel 10. Data *Partial Discharge* Saat Beban Puncak

<i>Partial Discharge</i> (pC) Tiap Fasa/Core									
Hari ke-	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	55	58	62	59	50	51	54	57	53
2	57	58	63	58	51	50	55	58	52
3	58	63	65	63	50	59	58	55	51
4	62	65	66	67	63	64	64	64	58
5	65	66	67	66	64	66	64	66	59

Tabel 11. Data *Partial Discharge* Setelah Beban Puncak

<i>Partial Discharge</i> (pC) Tiap Fasa/Core									
Hari ke-	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	54	58	59	56	50	47	49	53	52
2	55	55	59	55	49	46	51	51	53
3	57	59	61	57	52	56	56	54	56
4	54	54	57	55	47	47	49	49	52
5	52	51	55	55	47	46	49	48	51

Berdasarkan standar Internasional (IEC 60270:2000, 2001), Parameter kuantitas dari *partial discharge* menunjukkan seberapa besar kegagalan tersebut terjadi. Salah satu parameter kuantitas *partial discharge* dapat dilihat dari sebuah pendeteksian magnitude *partial discharge*, dengan satuan millivolt (mV) atau picocoulomb (pC) yaitu ukuran atau volume kegagalan[14]. Berdasarkan magnitude *partial discharge*, ada beberapa bentuk kegagalan yang dapat terjadi, yaitu :

1. 10 – 50 pC belum terjadi kegagalan isolasi.
2. < 300 – 500 pC awal terjadi penurunan kualitas isolasi.
3. 1000 – 3000 pC perkembangan kegagalan, pada isolasi kertas sudah terjadi kegagalan sempurna.
4. 10.000 – 100.000 terjadinya kerusakan tahanan isolasi minyak.

Dapat dilihat pada Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11 data *partial discharge*, semua nilai *partial discharge* masih berada pada batas yang aman, baik nilai *partial discharge* sebelum beban puncak, saat beban puncak, ataupun nilai *partial discharge* setelah beban puncak.

3.3.2 Perbandingan Data *Partial Discharge* Dengan Standar PLN

Berikut ini adalah ketentuan nilai standar *partial discharge* yang dipakai PLN yang mengacu pada standar alat ukur :

- Analysis of the recorded levels provides indication of the level of problem on the cable circuit
- The threshold levels are different for paper insulated cables to polymeric insulated cable (XLPE/EPR) as paper cable withstand partial discharge better than polymeric cable
- The thresholds for polymeric cables are
 - <250pC - Green
 - 250pC to 500pC - Amber
 - >500pC - Red
- The thresholds for paper insulated cables are
 - <2,500pC - Green
 - 2,500pC to 7,000pC - Amber
 - >7,000pC - Red
- These levels are programmed into the UltraTEV Plus² and the number will turn the corresponding colour during the measurement.

Gambar 4. Standar nilai *Partial Discharge*

Acuan standar untuk *Partial Discharge* untuk batas aman adalah < 250pC [15]. Dapat dilihat pada tabel 9, 10 dan 11 data *partial discharge*, semua nilai *partial discharge* masih berada pada batas yang aman, baik nilai *partial discharge* sebelum beban puncak, saat beban puncak, ataupun nilai *partial discharge* setelah beban puncak. Dengan kata lain menandakan jika kondisi kabel masih sangat baik karena masih cukup jauh dengan nilai maksimum standar yang ditentukan. Meskipun perubahan beban memiliki pengaruh pada nilai *partial discharge*, akan tetapi pengaruh tersebut tidak menyebabkan nilai *partial discharge* yang melebihi batas aman dari standar yang ditentukan.

3.3.3 Perbandingan Data Arus Bocor Dengan Standar PLN

Berikut ini adalah data hasil pengukuran nilai arus bocor pada kabel *power incoming* 20KV pada kondisi sebelum beban puncak, saat beban puncak dan setelah beban puncak.

Tabel 12. Data Arus Bocor Sebelum Beban Puncak

Hari ke-	Arus Bocor (A) Tiap Fasa/Core								
	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1,16	0,75	0,81	0,93	0,90	0,88	0,85	0,97	0,69
2	1,17	0,76	0,84	0,92	0,92	0,89	0,85	0,99	0,71
3	1,2	0,78	0,87	0,98	0,96	0,93	0,88	1,01	0,74
4	1,17	0,74	0,82	0,93	0,89	0,89	0,86	0,97	0,7
5	1,15	0,74	0,82	0,93	0,91	0,87	0,84	0,97	0,69

Tabel 13. Data Arus Bocor Saat Beban Puncak

Hari ke-	Arus Bocor (A) Tiap Fasa/Core								
	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1,25	0,82	0,92	1,01	1,02	0,97	0,92	1,04	0,82
2	1,24	0,85	0,99	1,02	1,05	1,01	1,05	1,09	0,91
3	1,25	0,86	0,99	1,05	1,06	1,01	1,02	1,07	0,83
4	1,24	0,85	0,94	1,02	1,03	1,02	1,01	1,05	0,85
5	1,23	0,78	0,91	0,91	1,01	0,95	0,93	1,03	0,74

Tabel 14. Data Arus Bocor Setelah Beban Puncak

Hari ke-	Arus Bocor (A) Tiap Fasa/Core								
	R			S			T		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1,13	0,74	0,81	0,94	0,91	0,87	0,86	0,95	0,69
2	1,15	0,75	0,83	0,94	0,94	0,86	0,88	0,95	0,73
3	1,18	0,76	0,91	0,98	0,98	0,92	0,91	0,98	0,75
4	1,15	0,74	0,78	0,92	0,93	0,86	0,86	0,96	0,7
5	1,12	0,73	0,79	0,91	0,92	0,84	0,83	0,93	0,65

Berdasarkan data yang didapat dari hasil wawancara dengan staff Gardu Induk 150KV Kalibakal, dinyatakan bahwa standar acuan nilai arus bocor pada kabel *incoming* 20KV transformator daya adalah 1,25 Ampere. Jika melihat data pengukuran arus bocor yang dilakukan, terjadi kenaikan nilai arus bocor pada pengukuran saat beban puncak, akan tetapi nilai arus bocor masih dalam batas aman dan memenuhi standar. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai arus bocor masih memenuhi standar bats aman yang ditentukan, yang menandai bahwa kualitas kabel *incoming* 20KV transformator daya 5 Gardu Induk 150KV masih aman dan layak digunakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data beban, *partial discharge* dan arus bocor pada kabel power *incoming* 20KV transformator daya Gardu Induk 150KV Kalibakal maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil uji validitas, reliabilitas, normalitas dan linearitas data beban, *partial discharge* dan arus bocor didapatkan hasil bahwa data tersebut valid, reliabel, berdistribusi normal dan linear. Maka data tersebut memenuhi kriteria untuk dilakukan uji regresi linear sederhana untuk memprediksi pengaruh beban terhadap *partial discharge* dan arus bocor.
2. Hasil dari uji regresi linear sederhana beban dan *partial discharge* didapat nilai F hitung = 18,571 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,001 < 0,05$, maka model regresi dapat dipakai untuk memprediksi variabel beban atau dengan kata lain ada pengaruh variabel beban (X) terhadap variabel *partial discharge* (Y). Berdasarkan nilai T dapat diketahui bahwa nilai T hitung sebesar 4,310 > 0,765 T tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel Beban (X) berpengaruh terhadap variabel *partial discharge* (Y). Dari pengujian tersebut juga didapat hasil koefisien determinasi (*R square*) sebesar 0,588, yang artinya pengaruh variabel bebas (Beban) terhadap variabel terikat (*partial discharge*) adalah sebesar 58,8 %.
3. Hasil dari uji regresi linear sederhana beban dan arus bocor didapat nilai F hitung = 86,827 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,000 < 0,05$, maka model regresi dapat dipakai untuk memprediksi variabel beban atau dengan kata lain ada pengaruh variabel beban (X) terhadap variabel arus bocor (Y). Berdasarkan nilai T dapat diketahui bahwa nilai T hitung sebesar 9,318 > 0,765 T tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel Beban (X) berpengaruh terhadap variabel arus bocor (Y). Dari pengujian tersebut juga didapat hasil koefisien determinasi (*R square*) sebesar 0,870, yang artinya pengaruh variabel bebas (Beban) terhadap variabel terikat (Arus Bocor) adalah sebesar 87,0 %.
4. Perubahan beban memiliki pengaruh pada nilai *partial discharge* dan arus bocor, akan tetapi pengaruh tersebut tidak menyebabkan nilai *partial discharge* dan arus bocor yang melebihi batas aman dari standar yang ditentukan. Dengan kata lain menandakan bahwa kondisi kabel masih dalam keadaan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tanjung, A. (2014). "Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20KV Gardu Induk Teluk Lembu Dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya Dan Drop Tegangan," Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 11, No. 2,
- [2] Mika, Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). "Perancangan Pendeteksi Partial Discharge Pada Isolasi Padat," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol.8 No.3, 161-170.
- [3] Sofwandana, A., & Kusuma, S. (2018). "Pendeteksian Dini Terhadap Arus Bocor Kabel Tanah Tegangan Menengah Pada Transformator 150/20KV," Sinusoida Vol. XX No. 2, ISSN 1411 - 4593.
- [4] Suyanto, M. (2010). "Pengujian Isolator Pin-Post 20 KV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover Pada Permukaan," Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode II, 29-33.
- [5] Bandri, S. (2014). "Analisis Kegagalan Isolasi Akibat *Partial Discharge* Pada Kabel Na2xseby 20 KV Berisolasi Xlpe Dan Pvc," Jurnal Momentum, 56-64.
- [6] Sugiono, T., & Firdaus. (2020). "Analisa Pola Dan Spektrum *Partial Discharge* Terhadap Kerusakan Transformator." Jom FTEKNIK Volume 7, 1-8.
- [7] Prasajo, W. A., Syakur, A., & Yuningtyastuti. (2009). "Analisis *Partial Discharge* Pada Material Polimer Resin Epoksi Dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang," 1-8.
- [8] Ayuni, G. N., & Fitriana, D. (2020). "Penerapan Metode Regresi Linear Untuk Prediksi Penjualan Properti pada PT XYZ," Jurnal Telematika, vol. 14 no. 2, 79-86.
- [9] Creswell, John W. (2009). "*Research Design* (Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan *Mixed*)," Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- [10] Kusumastuti, A., Khoiron, A. M., & Achmadi, T. A. (2020). "Metode Penelitian Kuantitatif," Yogyakarta: Deepublish Publisher.
- [11] Sugiyono. (2016). "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D," Bandung : Alfabeta.
- [12] Melfianora. (2020). "Penulisan Karya Tulis Ilmiah dengan Studi Literatur," 1-3.
- [13] Zed, M. (2004). "Metode Penelitian Kepustakaan," Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- [14] IEC 60270:2000. (2001). "*High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements*."
- [15] Eatechnology. (2012). "*UltraTev Plus2 Operating Manual*". www.eatechnology.com.

Penerapan Arsitektur EfficientNet-B0 Pada Klasifikasi Leukimia Tipe Acute Lymphoblastik Leukimia

Application of the EfficientNet-B0 Architecture in the Classification of Acute Lymphoblastic Leukemia

Alfataniah Nur Fajrina¹, Zein Hanni Pradana², Sevia Indah Purnama³, Shinta Romadhona⁴

^{1,2,4} Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, ³ Program Studi S1 Teknik Biomedis,

Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

^{1,2,3,4} Jl. D.I Pandjaitan No. 128, Purwokerto, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 31 Mei 2024
Diterima, 25 Juni 2024
Diterbitkan, 30 Juni 2024

Kata Kunci:

Acute Lymphoblastik
Leukemia
Convolutional Neural Network
EfficientNetB0
Hyperparameter

Keyword:

Acute Lymphoblastik
Leukemia
Convolutional Neural Network
EfficientNetB0
Hyperparameter

INTISARI

Leukimia merupakan jenis kanker darah yang keganasannya dapat berkembang dengan cepat. Penundaan penanganan akan berakibat fatal dalam waktu beberapa bulan. Proses diagnosa dengan cepat dilakukan dengan cara memanfaatkan pemrosesan citra. Sebuah sistem dirancang agar mampu mengklasifikasikan penyakit leukimia tipe *Acute Lymphoblastic Leukemia* (ALL) ke dalam 4 kelas, yaitu: *Benign*, *Early*, (Pre) *Precursor*, dan *Pro* (Progenitor) dengan memanfaatkan salah satu arsitektur dari Convolutional Neural Network (CNN) yaitu *EfficientNet-B0*. Skenario pengujian dilakukan terhadap hyper parameter pada arsitektur *EfficientNet-B0* melalui epoch (20, 30 dan 50) dengan learning rate (0.0001, 0.0003, 0.001, 0.003) dan optimizer jenis Adam dan RMSProp. Hasilnya adalah nilai performa akurasi pada data train mencapai 97,84% dan pada data test sebesar 98, 48%.

ABSTRACT

Leukemia is a type of blood cancer that can develop rapidly. Delaying treatment can be fatal within a few months. Rapid diagnosis is conducted through image processing. A system has been designed to classify Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL) into four categories: Benign, Early, (Pre) Precursor, and Pro (Progenitor) by utilizing one of the Convolutional Neural Network (CNN) architectures, namely *EfficientNet-B0*. The testing scenario involves adjusting hyperparameters on the *EfficientNet-B0* architecture through epochs (20, 30, and 50) with learning rates (0.0001, 0.0003, 0.001, 0.003) and using Adam and RMSProp optimizers. The results indicate that the accuracy performance on the training data reaches 97.84% and on the test data 98.48%.

Korespondensi Penulis:

Zein Hanni Pradana

Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro,

Institut Teknologi Telkom Purwokerto

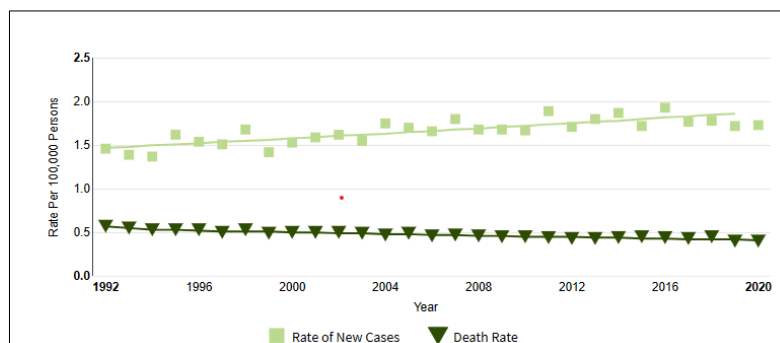
Jl. D.I Pandjaitan No. 128, Purwokerto, Indonesia

Email : zeindana@ittelkom-pwt.ac.id

1. PENDAHULUAN

Leukemia Limfositik Akut adalah jenis kanker yang disebabkan oleh limfosit imatur di sumsum tulang [1]. Leukemia adalah kanker yang terjadi pada sel darah manusia, di mana tubuh memproduksi sel darah abnormal dalam jumlah besar [2]. Penyakit ini menyebar dengan cepat dan memerlukan perawatan segera. Akibatnya, darah tidak dapat menjalankan fungsi normalnya, membuat sistem kekebalan tubuh rentan [2][3].

Leukemia Limfositik Akut, juga dikenal sebagai leukemia limfoblastik akut, menunjukkan bahwa leukemia dapat berkembang dengan cepat dan menjadi fatal bagi kondisi pasien dalam beberapa bulan [4]. Diagnosis leukemia biasanya bergantung pada pemeriksaan sumsum tulang yang dilakukan oleh spesialis di bidangnya. Oleh karena itu, klasifikasi sel darah putih memainkan peran penting dalam membantu diagnosis leukemia [5].



Gambar 1 Diagram kasus Leukemia di US [5]

Dilihat pada Gambar 1 data diambil dari SEER (*Surveillance, Epidemiology, and End Results*). Berdasarkan data statistik di atas, kasus leukemia di AS mencapai hampir 150.000 kasus per tahun pada tahun 1992. Jumlah ini menurun secara bertahap hingga tahun 1994, tetapi terjadi peningkatan kembali pada tahun 1995, melampaui angka 150.000 kasus per tahun. Secara keseluruhan, kasus leukemia di AS dari tahun 1992 hingga 2020 mengalami fluktuasi acak setiap tahun. Namun, dari data statistik tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah kasus penyakit ini cenderung meningkat, meskipun tidak signifikan.

Dalam literatur, banyak peneliti telah membahas klasifikasi leukemia menggunakan metode CNN. Beberapa peneliti telah menggunakan *Convolutional Neural Networks* untuk mengklasifikasikan sel darah normal dan abnormal serta mengusulkan berbagai metode augmentasi data sederhana karena kurangnya dataset [5]. Studi lain menerapkan teknik augmentasi data sederhana dalam mengklasifikasikan berbagai jenis kanker sel darah putih, termasuk Leukemia Limfoblastik Akut dan Leukemia Mieloid Akut, menggunakan metode CNN [6]. Selain itu, para peneliti telah menyarankan penggunaan arsitektur CNN seperti ResNet, VGG16, dan MobileNet untuk klasifikasi leukosit otomatis, mencapai akurasi sebesar 88,5% [7]. Upaya untuk meningkatkan akurasi juga telah dilakukan menggunakan metode CNN dan memanfaatkan arsitektur kuat seperti AlexNet, GoogleNet, dan ResNet, yang telah menunjukkan hasil akurasi tinggi [8] [9].

Penelitian tentang klasifikasi penyakit sel darah putih menggunakan metode CNN memiliki dampak dan manfaat yang signifikan di bidang kedokteran dan perawatan kesehatan. Ini dapat membantu profesional medis dalam mendiagnosis leukemia. CNN adalah salah satu metode pembelajaran mendalam yang telah banyak diterapkan pada data gambar. CNN beroperasi serupa dengan otak manusia, di mana komputer diberikan data gambar untuk belajar, dilatih untuk mengenali setiap elemen visual dalam gambar, dan memahami setiap pola gambar, sehingga komputer dapat mengklasifikasikan gambar tersebut. Meskipun CNN umumnya menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi, penting untuk dicatat bahwa tingkat akurasi aktual dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran dataset, kualitas data, dan pengaturan arsitektur [1][10].

Berdasarkan deskripsi di atas, penulis merancang sistem yang dapat membantu dalam mendiagnosis Leukemia Limfoblastik Akut dengan cepat menggunakan data gambar dengan CNN. Sistem yang diusulkan memiliki kemampuan untuk mengklasifikasikan gambar ke dalam empat kelas: jinak, awal, prekursor, dan progenitor, dengan memanfaatkan dua arsitektur CNN, yaitu MobileNetV3-Large dan EfficientNet-B0, serta dua jenis optimizer, Adam dan RMSProp. Dengan menggabungkan teknologi-teknologi ini, hasil yang diharapkan dapat membantu profesional medis dalam mendiagnosis leukemia.

Dalam penyelidikan ini, pendekatan yang diadopsi mampu mengklasifikasikan Leukemia Limfoblastik Akut (ALL) menjadi tipe L1, L2, dan L3, serta tipe normal. Dataset mencakup gambar dari semua subtype, termasuk masing-masing 100 gambar L1 dan L2, 30 gambar L3 karena kelangkaannya, dan 100 gambar sumsum tulang normal. Metode yang diusulkan menunjukkan kinerja yang memuaskan dengan mengambil gambar sumsum tulang sebagai input, melakukan segmentasi, dan mengkategorikannya sebagai normal atau masuk ke dalam subtype L1, L2, dan L3. Perbandingan kinerja dengan akurasi Naive Bayesian sebesar 78,34% dan akurasi KNN sebesar 80,42% dilakukan. Namun, batasan yang diidentifikasi dalam pendekatan ini terletak pada kebutuhan untuk meningkatkan akurasi dalam segmentasi sel yang tumpang tindih [1] [11].

Dalam studi berjudul "*Automatic Classification of Leukocytes Using Deep Learning Neural Network*," para peneliti mengusulkan sistem untuk klasifikasi leukosit otomatis. Sistem ini menggunakan arsitektur CNN

untuk memprediksi kategori sel dari gambar mikroskopis. Sekitar 2000 gambar mikroskopis dari 7 jenis sel darah putih dari Rumah Sakit Menara yang berafiliasi dengan Sekolah Kedokteran Universitas Nanjing digunakan. Arsitektur CNN seperti ResNet50, VGG19, dan MobileNet diusulkan, mencapai akurasi sebesar 88,5% [12] [10].

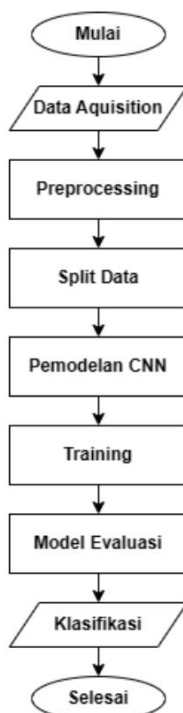
Dalam studi berjudul "*Automatic Classification of Leukocytes Using Deep Learning Neural Network*," penelitian ini menyajikan sistem untuk klasifikasi leukosit otomatis. Sistem ini mengambil gambar mikroskopis sebagai input dan menggunakan arsitektur CNN untuk memprediksi kategorinya. Kemudian, sistem menggabungkan hasil dari berbagai model dan mengklasifikasikan sel ke dalam kelas yang sesuai. Dalam studi ini, sekitar 2000 gambar mikroskopis dari 7 jenis sel darah putih digunakan, yang disediakan oleh Rumah Sakit Menara yang berafiliasi dengan Sekolah Kedokteran Universitas Nanjing. Studi ini mengusulkan penggunaan arsitektur CNN seperti ResNet50, VGG19, dan MobileNet, yang dapat mencapai akurasi sebesar 88,5% [7].

Dalam studi berjudul "*Classification of White Blood Cell Cancer (Acute Lymphoblastic Leukemia) using Convolutional Neural Network (CNN)*," para peneliti menggunakan arsitektur CNN, khususnya ResNet dan VGG16. Hasil pelatihan arsitektur VGG16 dengan optimizer Adam dan 100 epoch menunjukkan akurasi sebesar 93,80%, dengan akurasi pengujian mencapai 87,00%. Sementara itu, arsitektur ResNet mencapai akurasi pelatihan sebesar 81,81%, dengan akurasi pengujian menggunakan optimizer RMSProp dan 80 epoch. Studi ini menyarankan eksplorasi lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi dengan memodifikasi model arsitektur, menyesuaikan hiperparameter, menggunakan jenis arsitektur yang berbeda, dan menerapkan teknik augmentasi. Selain itu, penelitian ini mengklasifikasikan data ke dalam 4 kelas, berbeda dengan studi sebelumnya yang hanya membedakan antara sel normal dan sel kanker [2].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alur Penelitian

Dalam perancangan sistem ini, disediakan gambaran umum tentang sistem yang akan dikembangkan.



Gambar 2 Alur Penelitian

Klasifikasi penyakit *Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL)* menggunakan *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan arsitektur EfficientNetB0 dan MobileNetV3Large untuk mengklasifikasikan 4 kelas, yaitu Benign, Early, (Pre) Precursor, dan (Pro) Progenitor. Perancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dimulai dengan data akusisi dengan 80% data digunakan sebagai training set, 10% sebagai validation set, dan 10% sebagai testing set. Selanjutnya data akan diolah melalui tahap *preprocessing* teknik yang digunakan mencakup perubahan ukuran (*resizing*), yang mengubah ukuran gambar, dan pengubahan skala (*rescaling*) ke ukuran 224 x 224. Tahap berikutnya adalah mengoptimalkan *hyperparameter* dan melatih model. Setelah model dilatih, tahap berikutnya adalah menyimpan model yang telah dilatih melalui tahap penyimpanan model.

2.1.1. Akuisisi Data

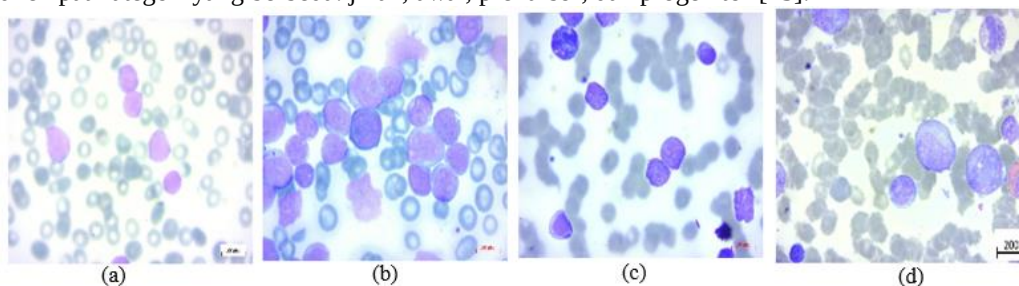
Pada tahap akuisisi data, gambar atau dataset yang akan digunakan untuk melatih model dikumpulkan. Dalam penelitian ini, dataset yang digunakan diperoleh dari sumber yang tersedia, yaitu "*Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL) image dataset*" yang disediakan oleh Mehrad Aria dan Mustafa Ghaderzadeh di Kaggle pada tahun 2021. Total dataset terdiri dari 3256 data, dengan rincian 504 data termasuk dalam kategori benign, 985 data dalam kategori *early*, 963 data dalam kategori *pre*, dan 804 data dalam kategori *pro*. Setelah akuisisi data, langkah berikutnya adalah membagi dataset menjadi tiga subset yang berbeda, yaitu training set, validation set, dan *testing set*. Pendekatan yang diterapkan dalam membagi dataset adalah dengan rasio 80-10-10, di mana 80% data digunakan sebagai training set, 10% sebagai validation set, dan 10% sebagai *testing set*. Pembagian dataset yang proporsional ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses pelatihan dan evaluasi model, serta memastikan bahwa model yang dihasilkan memiliki kemampuan yang baik dalam menggeneralisasi data baru yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dalam konteks penelitian ini, training set terdiri dari 328 data, validation set terdiri dari 2,604 data, dan testing set terdiri dari 324 data.

2.1.2. Pre-Processing

Pada tahap pra-pemrosesan gambar, dilakukan modifikasi pada gambar untuk memastikan bahwa model pelatihan dapat berfungsi lebih baik. Teknik pra-pemrosesan yang digunakan mencakup perubahan ukuran (*resizing*), yang mengubah ukuran gambar, dan pengubahan skala (*rescaling*), untuk mengurangi nilai piksel agar lebih mudah diproses oleh model. Langkah-langkah pra-pemrosesan ini bertujuan untuk memastikan bahwa gambar memiliki kualitas optimal sehingga model pelatihan mencapai hasil terbaik. Salah satu langkah yang diambil adalah menyesuaikan ukuran gambar menjadi 224×224 piksel. Selain itu, augmentasi gambar dilakukan menggunakan kerangka kerja keras untuk mengurangi risiko *overfitting*. *Overfitting* terjadi ketika model hanya mengenali pola dalam data pelatihan, sehingga sulit mengklasifikasikan gambar baru. Augmentasi data dilakukan dengan berbagai cara seperti *flipping*, *cropping*, rotasi, penyesuaian kecerahan, penyesuaian kontras, penyesuaian warna, penyesuaian saturasi, translasi, injeksi noise, penajaman, shear, dan lainnya. Dalam penelitian ini, teknik augmentasi yang diterapkan meliputi *cropping*, rotasi, *flipping*, dan *shifting* [15].

2.1.3. Split Data

Leukemia adalah bentuk kanker yang mempengaruhi sel darah putih, yang memainkan peran penting dalam melawan infeksi di dalam tubuh. Penyakit ini muncul sebagai keganasan dalam sel darah manusia yang berasal dari sumsum tulang [13]. Kondisi ini merupakan salah satu kelainan darah yang mempengaruhi sel darah putih manusia. Pada dasarnya, ketika leukemia berkembang, tubuh menghasilkan sel darah abnormal dalam jumlah berlebihan [14]. Sel darah abnormal ini berkembang biak dengan cepat dalam leukemia dan memerlukan intervensi medis segera. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengklasifikasikan leukemia ALL menjadi empat kategori yang berbeda: jinak, awal, prekursor, dan progenitor [15].



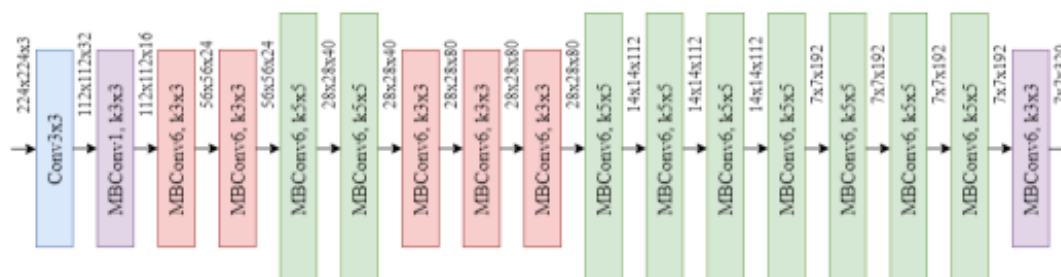
Gambar 2. Contoh gambar penyakit Leukemia Limfoblastik Akut yang terdiri dari 4 kelas: (a) Jinak, (b) Awal, (c) Pre, (d) Pro.

2.1.4. Model Deep Learning

Setelah proses pelatihan selesai, hasilnya adalah model *deep learning* yang mampu mengidentifikasi fitur dalam gambar leukemia limfoblastik akut. Model ini digunakan untuk klasifikasi gambar berdasarkan kategori masing-masing. Selanjutnya, kinerja model *deep learning* dievaluasi melalui pengujian untuk menilai efektivitasnya dalam mengklasifikasikan gambar. Penilaian dilakukan menggunakan berbagai metrik kinerja, termasuk *confusion matrix*, akurasi, *loss*, *precision*, *recall*, dan F1-Score. *Confusion matrix* digunakan untuk menilai akurasi prediksi model dengan menghitung prediksi yang benar. Akurasi menilai seberapa sering model membuat prediksi yang benar, sedangkan *loss* menilai seberapa efektif model mengurangi ketidaksesuaian antara prediksi. *Precision* mengukur akurasi model dalam memprediksi kelas positif, sedangkan *recall* mengevaluasi kemampuan model mendeteksi kelas positif. F1-Score memberikan evaluasi yang seimbang dari keseluruhan kinerja model. Setelah *hyperparameter* optimal dari model ditentukan, evaluasi dilakukan menggunakan metrik ini untuk menilai kinerja keseluruhan model.

2.2. Arsitektur EfficientNetB0

EfficientNet-B0 adalah salah satu varian dari arsitektur EfficientNet yang dikembangkan oleh tim riset Google AI dengan tujuan menciptakan model jaringan saraf yang lebih efisien secara komputasional namun tetap mempertahankan kinerja tinggi. Arsitektur EfficientNet didasarkan pada konsep *smart scaling*, yang melibatkan peningkatan kedalaman, lebar, dan resolusi model secara proporsional untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi.



Gambar 3. Arsitektur EfficientNet-B0

Model EfficientNet-B0 bertindak sebagai model dasar dalam seri EfficientNet, dengan jumlah parameter paling sedikit. Meskipun sederhana, EfficientNet-B0 tetap sangat efektif dalam upaya klasifikasi gambar. Arsitektur ini terdiri dari beberapa blok berulang yang terdiri dari *Depthwise Separable convolutions*, disertai dengan Swish non linearity yang berfungsi sebagai fungsi aktivasi [16].

Teknik Depthwise Separable convolution memperkenalkan pendekatan baru dengan membagi proses konvolusi standar menjadi dua tahap: *depthwise convolution* dan *pointwise convolution*. Pada tahap *depthwise*, saluran input individual diproses secara terpisah menggunakan filter yang hanya berisi satu saluran. Hal ini menghasilkan peta fitur dengan banyak saluran, meskipun dengan intensitas komputasi yang berkurang. Selanjutnya, pada tahap *pointwise*, konvolusi 1x1 digunakan untuk menggabungkan saluran-saluran ini, menghasilkan output akhir. Teknik inovatif ini secara efektif mengurangi jumlah parameter yang dibutuhkan untuk model sambil mempertahankan standar kinerja. Selain itu, dalam konteks EfficientNet-B0, operasi penskalaan dilakukan pada kedalaman, lebar, dan resolusi model, dipandu oleh parameter penskalaan yang telah ditentukan sebelumnya. Strategi penskalaan ini memastikan adaptabilitas model di berbagai tugas dan ukuran dataset, mengurangi risiko *overfitting* atau *underfitting* [17].

2.3. Hyperparameter

Hyperparameter adalah parameter yang nilainya ditentukan sebelum proses pelatihan dimulai. Berikut adalah *hyperparameter* yang terdiri dari *optimizer*, *learning rate*, *epoch*, dan *batch size*.

2.3.1. Optimizer

Optimizer adalah algoritma yang digunakan dalam proses pelatihan model *machine learning* dan *deep learning* untuk menemukan dan mengoptimalkan nilai bobot dan bias dalam jaringan saraf. Tujuannya adalah untuk meminimalkan fungsi sehingga model dapat belajar dari data pelatihan secara efektif dan menghasilkan prediksi yang akurat pada data baru [18]. *Optimizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Adam:** Adam adalah algoritma optimasi yang digunakan dalam pelatihan jaringan saraf tiruan. Tujuan utama Adam adalah memperbarui bobot jaringan secara efisien dan cepat sehingga jaringan dapat belajar secara efektif dari data pelatihan [19].
- RMSPprop:** *Root Mean Square Propagation* atau RMSPprop adalah varian khusus dari Adagrad yang dikembangkan oleh Profesor Geoffrey Hinton untuk jaringan sarafnya. RMSPprop menggunakan besaran gradien terbaru untuk menormalkan gradien, mempertahankan rata-rata bergerak dari *root mean square gradien*, sehingga dinamakan RMS [20].

2.3.2. Learning Rate

Learning rate adalah *hyperparameter* penting dalam pelatihan jaringan saraf tiruan. Ini mengontrol seberapa besar bobot jaringan disesuaikan selama setiap iterasi pelatihan. Jika *learning rate* terlalu kecil, pelatihan mungkin berjalan lambat karena perubahan pada bobot sangat kecil. Sebaliknya, jika *learning rate* terlalu besar, pelatihan bisa menjadi tidak stabil karena perubahan yang terlalu besar yang dapat melewati minimum global dari fungsi *loss*. Oleh karena itu, memilih *learning rate* yang tepat sangat penting untuk memastikan pelatihan jaringan berjalan lancar dan model dapat mencapai hasil yang baik [14].

2.3.3. Epoch

Jumlah *epoch* menentukan berapa kali seluruh dataset pelatihan akan ditampilkan ke model selama proses pelatihan. Jumlah *epoch* yang digunakan dalam pelatihan model adalah salah satu *hyperparameter* yang harus ditentukan. Jumlah *epoch* yang sesuai dapat bervariasi tergantung pada kompleksitas tugas dan ukuran dataset. Terlalu sedikit *epoch* mungkin tidak memberi model cukup kesempatan untuk belajar dengan baik, sementara terlalu banyak *epoch* dapat menyebabkan *overfitting* [14].

2.3.4. Batch Size

Dalam pelatihan model, data pelatihan terdiri dari kumpulan besar sampel. *Batch size* digunakan untuk membagi dataset menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut "*batch*" atau kelompok, sehingga tidak seluruh dataset digunakan sekaligus. Dengan menggunakan *batch size*, proses pelatihan menjadi lebih efisien. *Batch size* menentukan jumlah sampel data yang digunakan dalam setiap iterasi (*epoch*) saat melatih model.

2.4. Skenario Pengujian

Skenario *hyperparameter* adalah proses mencari nilai terbaik untuk komponen penting dalam model *deep learning*. Proses ini melibatkan tiga skenario utama: pengujian *optimizer*, pengujian *learning rate*, dan pengujian jumlah *epoch*.

- Pengujian Optimizer:** Membandingkan dua jenis optimizer, Adam dan RMSProp, untuk menentukan mana yang menghasilkan hasil terbaik.
- Pengujian Learning Rate:** Menguji empat *learning rate* berbeda (0.0001, 0.0003, 0.001, dan 0.003) untuk menemukan nilai optimal.
- Pengujian Epoch:** Melakukan pengujian dengan tiga nilai *epoch* berbeda (20, 30, dan 50) untuk mengidentifikasi mana yang menghasilkan model dengan akurasi tinggi dan *loss* rendah.

Tujuan dari pengujian ini adalah menemukan kombinasi *optimizer*, *learning rate*, dan jumlah *epoch* yang dapat menghasilkan model *deep learning* dengan akurasi tinggi dan *loss* minimal.

2.5. Confusion Matrix

Confusion matrix adalah teknik yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja metode klasifikasi. Ini memberikan informasi tentang seberapa baik hasil klasifikasi dari sistem sesuai dengan hasil yang sebenarnya. Tabel *confusion matrix*, seperti yang terlihat pada Tabel 1 menggambarkan perbandingan antara nilai aktual dan prediksi dari klasifikasi. Tabel 1 menggambarkan perbandingan antara nilai aktual dan nilai prediksi dari klasifikasi [18].

Tabel 1. Tabel Tingkat Klasifikasi

		Nilai Prediksi	
		Normal	Kanker
Nilai Aktual	Positif	True Positive	False Negative
	Negatif	False Positive	True Negative

Beberapa parameter digunakan untuk mengukur kinerja sistem yang akan dievaluasi dalam studi ini, termasuk:

2.5.1. Accuracy

Accuracy adalah ukuran seberapa akurat sistem mengklasifikasikan *input* untuk menghasilkan *output* yang sesuai dengan kelasnya. Rumus untuk menghitung *accuracy* dapat ditemukan dalam persamaan (1) sebagai berikut:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

2.5.2. Precision

Precision adalah ukuran akurasi prediksi positif benar relatif terhadap total prediksi positif yang dibuat oleh sistem. Perhitungan *precision* dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut (2) sebagai berikut:

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

2.5.3. Recall

Recall atau sensitivitas adalah ukuran akurasi sistem dalam memprediksi nilai positif benar relatif terhadap total nilai positif sebenarnya. Persamaan matematis untuk *recall* dapat dilihat pada persamaan (3) sebagai berikut:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

2.5.4. F1-Score

F1-Score adalah metrik yang menggabungkan nilai *precision* dan *recall* dengan mempertimbangkan *false positives* dan *false negatives*. Persamaan untuk menghitung F1-Score dapat ditemukan pada persamaan (4) sebagai berikut:

$$F1 - Score = 2x \frac{precision \times recall}{precision + recall} \quad (4)$$

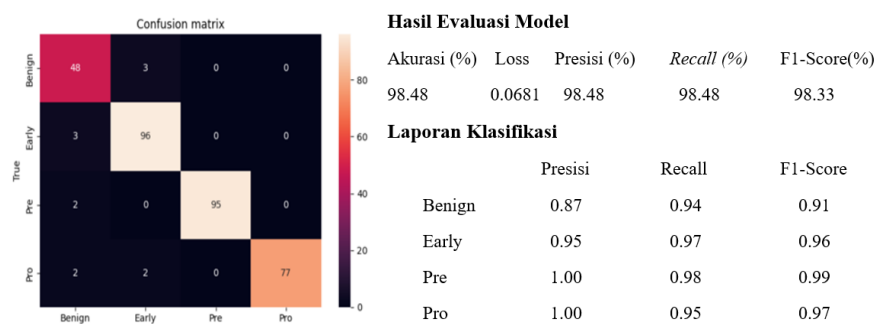
2.5.5. Loss

Parameter *loss* menginterpretasikan ketidakakuratan sistem dalam membuat prediksi untuk mengklasifikasikan sebuah input.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Hasil Pengujian *Hyperparameter* pada Model *Deep Learning*

Hasil yang diperoleh dari pengujian *hyperparameter* mengungkapkan model optimal untuk setiap arsitektur EfficientNet-B0. Selanjutnya, evaluasi model menggunakan data uji dilakukan untuk menilai kinerjanya dalam mengklasifikasikan gambar yang belum pernah dilihat sebelumnya. Proses evaluasi ini diterapkan dan diwakili menggunakan *confusion matrix*, yang memberikan wawasan tentang kinerja model pada berbagai kelas serta efektivitas keseluruhannya. Temuan dari penilaian *hyperparameter* pada model *deep learning* untuk arsitektur EfficientNet-B0 menunjukkan bahwa penggunaan *optimizer* Adam, dengan *learning rate* 0.0001, dan 30 *epoch* menghasilkan akurasi model sebesar 98.48%. *Confusion matrix* yang dihasilkan, yang ditunjukkan pada Gambar 4 menyoroti bahwa sebagian besar kesalahan prediksi terjadi pada kelas pro, di mana 2 gambar salah diklasifikasikan sebagai kelas *early* dan 2 lainnya sebagai kelas benign. Menariknya, kelas pre menunjukkan nilai recall tertinggi, mencapai 0.98. Secara keseluruhan, metrik evaluasi model untuk arsitektur EfficientNet-B0, termasuk *precision*, *recall*, dan F1-Score, masing-masing berada pada 98.48%, 98.48%, dan 98.33%.



Gambar 4. Hasil evaluasi model pada arsitektur EfficientNet-B0

3.2. Analisis Hasil Pengujian *Hyperparameter* pada Model *Deep Learning*

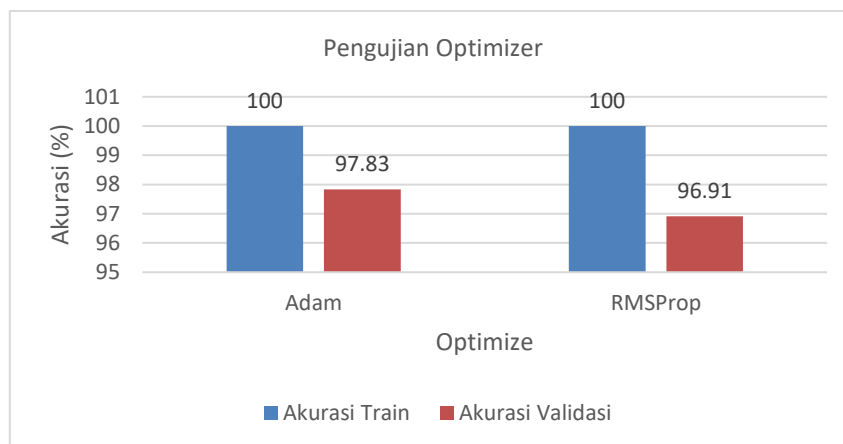
Pada tahap ini, pengujian skenario dilakukan pada *hyperparameter* arsitektur EfficientNet-B0. *Hyperparameter* adalah pengaturan yang disesuaikan sebelum proses pelatihan model dimulai [21]. Pengujian *hyperparameter* meliputi *epoch* (20, 30, 50), *learning rate* (0.0001, 0.0003, 0.001, 0.003), dan *optimizer* Adam dan RMSProp. Pengujian dilakukan dengan tujuan menemukan model terbaik berdasarkan tingkat akurasi tertinggi ketika dievaluasi menggunakan dataset validasi.

3.2.1. Kinerja Model dengan Arsitektur EfficientNet-B0

Pengujian *hyperparameter* yang dilakukan melibatkan tahap model dengan arsitektur EfficientNet-B0. Skenario pengujian *hyperparameter* dilakukan melalui tiga tahap, menghasilkan hasil berikut:

a. *Optimizer*

Pengujian *hyperparameter* pertama yang dilakukan pada arsitektur EfficientNet-B0 melibatkan perbandingan jenis *optimizer* selama proses pelatihan. Jenis *optimizer* yang akan dibandingkan adalah Adam dan RMSprop. Pengujian dilakukan menggunakan parameter lain seperti *learning rate* 0.0001 dan 30 *epoch*, dengan ukuran gambar 224 x 224 dan batch size 32. Berdasarkan parameter ini, hasil pengujian disajikan pada Gambar 5.

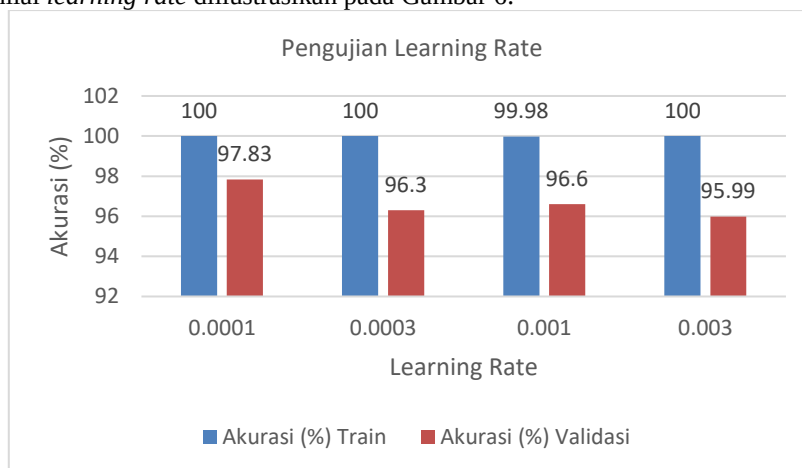


Gambar 5. Hasil pengujian *optimizer* dengan arsitektur EfficientNet-B0

Berdasarkan Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa perbedaan jenis *optimizer* yang digunakan berdampak pada kinerja model yang dihasilkan. Hal ini terlihat dari hasil akurasi kedua jenis *optimizer* tersebut. Dari data, dapat diamati bahwa *optimizer* Adam mencapai akurasi tertinggi dibandingkan dengan *optimizer* RMSprop, dengan nilai masing-masing sebesar 100% dan 97.83%. Oleh karena itu, dalam pengujian *hyperparameter* pertama ini, model dengan kinerja terbaik dihasilkan oleh *optimizer* Adam, dan jenis *optimizer* ini akan digunakan untuk pengujian skenario berikutnya.

b. Learning Rate

Skenario pengujian *hyperparameter* kedua melibatkan perbandingan kinerja model dengan empat nilai *learning rate* yang berbeda untuk menentukan model optimal menggunakan hasil dari skenario awal. Parameter yang digunakan dalam skenario pengujian ini meliputi jenis *optimizer* Adam dan 30 *epoch*. Hasil pengujian untuk berbagai nilai *learning rate* diilustrasikan pada Gambar 6.

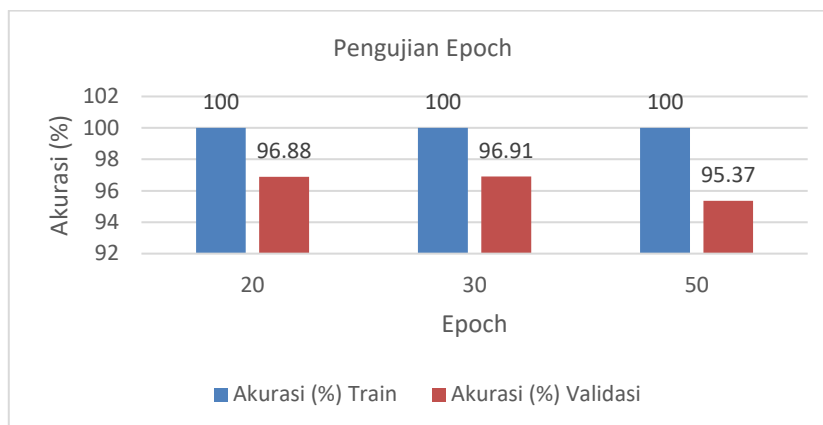


Gambar 6. Hasil pengujian *Learning Rate* dengan arsitektur EfficientNet-B0

Menurut data dalam Gambar 6 terlihat bahwa *learning rate* yang lebih rendah menghasilkan akurasi lebih tinggi dibandingkan *learning rate* yang lebih tinggi, yang cenderung menghasilkan akurasi lebih rendah. *Learning rate* yang paling efektif terlihat pada nilai 0.0001, menghasilkan akurasi pelatihan sebesar 100% dan akurasi validasi sebesar 97.83%. Oleh karena itu, untuk skenario berikutnya, nilai *learning rate* yang akan digunakan adalah 0.0001.

c. Epoch

Skenario pengujian ketiga dilakukan untuk memastikan kinerja model optimal dengan membandingkan nilai akurasi pada epoch 20, 30, dan 50. Parameter yang digunakan dalam skenario ini sesuai dengan pengujian *hyperparameter* sebelumnya, yaitu menggunakan *optimizer* Adam dan *learning rate* 0.0001. Hasil pengujian dapat diamati pada bagian berikutnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengujian *epoch* dengan arsitektur EfficientNet-B0

Menurut data dalam Gambar 7 terlihat bahwa nilai akurasi tertinggi pada dataset validasi dicapai pada *epoch* 30, mencapai 96.91%. Oleh karena itu, *epoch* 30 muncul sebagai *epoch* yang paling menguntungkan dibandingkan dengan nilai *epoch* lainnya dalam skenario pengujian *hyperparameter* ini.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya, kesimpulan berikut dapat diambil pengujian skenario dilakukan pada *hyperparameter* dalam arsitektur EfficientNet-B0. *Hyperparameter* yang diuji meliputi *epoch* (20, 30, 50), *learning rate* (0.0001, 0.0003, 0.001, 0.003), dan penggunaan *optimizer* Adam dan RMSProp. Pengujian *hyperparameter* model terbaik diperoleh dari arsitektur EfficientNet-B0. Arsitektur EfficientNet-B0 mencapai parameter terbaik dengan *learning rate* 0.0001, *optimizer* Adam, dan 30 *epoch*. Sedangkan untuk nilai akurasi kinerja diperoleh menggunakan data pelatihan, validasi, dan uji untuk arsitektur EfficientNet-B0. Arsitektur EfficientNet-B0 mencapai akurasi validasi sebesar 97.84%, dan ketika diuji dengan data uji, akurasinya mencapai 98.48%. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pada arsitektur seperti Alexnet, atau VGG-18 untuk memperluas cakupan evaluasi model dan performa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang tulus kepada LPPM IT Telkom Purwokerto, orang tua saya, dan teman-teman terdekat saya, Fatimah Azzahra, Maryam Burhanuddin, dan Silfanny, atas bimbingan, dukungan, dan dorongan yang luar biasa selama perjalanan saya dalam menyelesaikan penelitian saya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rehman, N. Abbas, T. Saba, S. I. ur Rahman, Z. Mehmood, and H. Kolivand, "Classification of acute lymphoblastic leukemia using deep learning," *Microsc Res Tech*, vol. 81, no. 11, pp. 1310–1317, 2018, doi: 10.1002/jemt.23139.
- [2] M. Z. Ullah *et al.*, "An attention-based convolutional neural network for acute lymphoblastic leukemia classification," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 22, 2021, doi: 10.3390/app112210662.
- [3] A. R. Praidia, "Pengenalan Penyakit Darah menggunakan Teknik Pengolahan Citra dan Jaringan Syaraf Tiruan," *Thesis*, pp. 1–9, 2008.
- [4] J. E. Cortes, H. Kantarjian, and E. J. Freireich, "Acute lymphocytic leukemia: a comprehensive review with emphasis on biology and therapy.," *Cancer Treat Res*, vol. 84, pp. 291–323, 1996, doi: 10.1007/978-1-4613-1261-1_13.
- [5] T. T. P. Thanh, C. Vununu, S. Atoev, S.-H. Lee, and K.-R. Kwon, "Leukemia Blood Cell Image Classification Using Convolutional Neural Network," *International Journal of Computer Theory and Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 54–58, 2018, doi: 10.7763/ijcte.2018.v10.1198.
- [6] D. Kumar *et al.*, "Automatic Detection of White Blood Cancer from Bone Marrow Microscopic Images Using Convolutional Neural Networks," *IEEE Access*, vol. 8, no. Mm, pp. 142521–142531, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012292.
- [7] W. Yu *et al.*, "Automatic classification of leukocytes using deep neural network," *Proceedings of International Conference on ASIC*, vol. 2017-October, pp. 1041–1044, 2017, doi: 10.1109/ASICON.2017.8252657.
- [8] M. J. Macawile, V. V. Quiñones, A. B. Jr, J. Dela Cruz, and M. V. Caya, "2018 3rd International Conference on Control and Robotics Engineering : White Blood Cell Classification and Counting Using Convolutional Neural Network," *Nagoya Kōgyō Daigaku Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pp. 259–263, 2018.

- [9] N. Sampathila *et al.*, “Customized Deep Learning Classifier for Detection of Acute Lymphoblastic Leukemia Using Blood Smear Images,” *Healthcare (Switzerland)*, vol. 10, no. 10, 2022, doi: 10.3390/healthcare10101812.
- [10] A. R. Revanda, C. Fatichah, and N. Suciati, “Classification of Acute Lymphoblastic Leukemia on White Blood Cell Microscopy Images Based on Instance Segmentation Using Mask R-CNN,” *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 15, no. 5, pp. 625–637, 2022, doi: 10.22266/ijies2022.1031.54.
- [11] S. Shafique and S. Tehsin, “Acute lymphoblastic leukemia detection and classification of its subtypes using pretrained deep convolutional neural networks,” *Technol Cancer Res Treat*, vol. 17, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1177/1533033818802789.
- [12] J. Prellberg and O. Kramer, “Acute lymphoblastic leukemia classification from microscopic images using convolutional neural networks,” *Lecture Notes in Bioengineering*, pp. 53–61, 2019, doi: 10.1007/978-981-15-0798-4_6.
- [13] M. Claro *et al.*, “Convolution Neural Network Models for Acute Leukemia Diagnosis,” *International Conference on Systems, Signals, and Image Processing*, vol. 2020-July, pp. 63–68, 2020, doi: 10.1109/IWSSIP48289.2020.9145406.
- [14] S. Perveen, A. Alourani, M. Shahbaz, U. Ashraf, and I. Hamid, “A framework for Early Detection of Acute Lymphoblastic Leukemia and its Subtypes from Peripheral Blood Smear Images Using Deep Ensemble Learning Technique,” *IEEE Access*, vol. 12, no. February, pp. 29252–29268, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3368031.
- [15] T. Terwilliger and M. Abdul-Hay, “Acute lymphoblastic leukemia: a comprehensive review and 2017 update,” *Blood Cancer J*, vol. 7, no. 6, 2017, doi: 10.1038/BCJ.2017.53.
- [16] A. Howard *et al.*, “Searching for mobileNetV3,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, vol. 2019-October, pp. 1314–1324, 2019, doi: 10.1109/ICCV.2019.00140.
- [17] N. Putri, “Implementasi Metode CNN Dalam Klasifikasi Gambar Jamur Pada Analisis Image Processing (Studi Kasus: Gambar Jamur Dengan Genus Agaricus Dan Amanita),” pp. 1–80, 2020.
- [18] M. S. Wibawa, “Pengaruh Fungsi Aktivasi, Optimisasi dan Jumlah Epoch Terhadap Performa Jaringan Saraf Tiruan,” *Jurnal Sistem dan Informatika (JSI)*, vol. 11, no. December, pp. 167–174, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.21139.94241.
- [19] I. R. W. Putra, “Deteksi Jenis Buah-Buahan Menggunakan Deep,” *Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Dinamika*, p. 60, 2020.
- [20] A. Rohim, Y. A. Sari, and Tibyani, “Convolution neural network (cnn) untuk pengklasifikasian citra makanan tradisional,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 7, pp. 7038–7042, 2019.
- [21] H. Mubarak, “Identifikasi Ekspresi Wajah Berbasis Citra Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network (CNN),” *Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*, vol. 3, no. 1, pp. 10–12, 2019.

Penerapan IoT (*Internet of Things*) Pada Alat Penghitung Penumpang Bus Trans Banyumas

Implementation of IoT (*Internet of Things*) on the Passenger Counting Device of Trans Banyumas Bus

Wegift Putrasari¹, Arif Johar Taufiq²

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuh Waluh, Kembaran 53182, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 24 Januari 2024
Diterima, 27 Juni 2024
Diterbitkan, 30 Juni 2024

Kata Kunci:

Internet of Things (IoT),
penghitungan penumpang
otomatis, sensor
inframerah/ultrasonic,
mikrokontroler, Bus Trans
Banyumas.

Keyword:

Internet of Things (IoT),
automatic passenger counting,
infrared/ultrasonic sensors,
microcontrollers, Trans
Banyumas Bus.

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah miniatur alat penghitungan penumpang bus otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Bus Trans Banyumas. Alat ini terdiri dari sensor inframerah/ultrasonic untuk mendeteksi penumpang, mikrokontroler untuk memproses data, dan modul komunikasi nirkabel untuk mengirim data ke server. Data penumpang dapat diakses secara *real-time* melalui aplikasi web atau *mobile* untuk memudahkan operator bus dan manajemen dalam memonitor jumlah penumpang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi penumpang yang naik dan turun dari bus sehingga jumlah data penumpang dapat terupdate. Implementasi sistem ini juga memungkinkan pengumpulan data yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti optimasi rute dan penjadwalan bus. Dengan demikian, inovasi ini diharapkan dapat mendukung upaya digitalisasi pengelolaan transportasi publik di Banyumas dan dapat diaplikasikan pada moda transportasi lainnya.

ABSTRACT

This research aims to design and build a miniature automatic bus passenger counting tool based on the Internet of Things (IoT) on the Trans Banyumas Bus. This tool consists of an infrared/ultrasonic sensor to detect passengers, a microcontroller to process data, and a wireless communication module to send data to the server. Passenger data can be accessed in real-time through web or mobile applications to facilitate bus operators and management in monitoring the number of passengers. The test results show that this system has a high level of accuracy in detecting passengers who get on and off the bus so that the number of passenger data can be updated. The implementation of this system also enables data collection that can be used for further analysis, such as route optimization and bus scheduling. Thus, this innovation is expected to support efforts to digitize public transportation management in Banyumas and can be applied to other modes of transportation.

Korespondensi Penulis:

Wegift Putrasari

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl. KH. Ahmad Dahlan, Dusun III, Dukuhwaluh, Kec. Kembaran, Kab. Banyumas, Jawa Tengah 53182, Indonesia

Email : wegiftputrasari02@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Transportasi publik merupakan salah satu elemen penting dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia. Salah satu jenis transportasi publik yang banyak digunakan adalah bus. Bus memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kendaraan pribadi, seperti biaya yang lebih murah, kapasitas yang lebih besar [1] [2] [3].

Di Indonesia, terdapat berbagai jenis bus yang melayani masyarakat, salah satunya adalah bus Trans Banyumas. Bus Trans Banyumas merupakan sistem transportasi publik berbasis bus yang beroperasi di Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah telah menjadi salah satu pilihan utama masyarakat untuk bepergian di wilayah tersebut. Salah satu masalah yang dihadapi oleh operator bus Trans Banyumas adalah dalam menghitung jumlah penumpang. Hal ini seringkali menyebabkan ketidakakuratan data jumlah penumpang, yang dapat berdampak pada perencanaan dan pengoperasian bus. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun miniatur alat penghitung penumpang bus otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Bus Trans Banyumas. Alat ini diharapkan dapat membantu operator bus Trans Banyumas dalam menghitung jumlah penumpang secara akurat dan real-time.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengembangkan alat penghitung penumpang bus otomatis. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh [4] menggunakan sensor inframerah [5] untuk mendeteksi jumlah penumpang yang masuk dan keluar bus. Penelitian lain yang dilakukan oleh [6] menggunakan sensor kamera untuk menghitung jumlah penumpang di dalam bus [7], bahwa ada yang lebih kompleks dengan sensor penginderaan jauh [8].

Penelitian ini merupakan salah satu cara untuk menghitung jumlah penumpang dalam bus yang relatif sederhana dengan memanfaatkan sensor infra merah dan update jumlah penumpang berdasarkan jumlah penumpang yang masuk dan keluar bus, data dikirim ke server MQTT [9] menggunakan teknologi IoT [10] untuk menghubungkan alat penghitung penumpang dengan internet. Hal ini memungkinkan operator bus untuk memantau jumlah penumpang secara *real-time* melalui *website* atau aplikasi *smartphone*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun miniatur alat penghitung penumpang bus otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Bus Trans Banyumas. Menguji kinerja alat penghitung penumpang bus otomatis. Menganalisis hasil pengujian dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan alat selanjutnya.

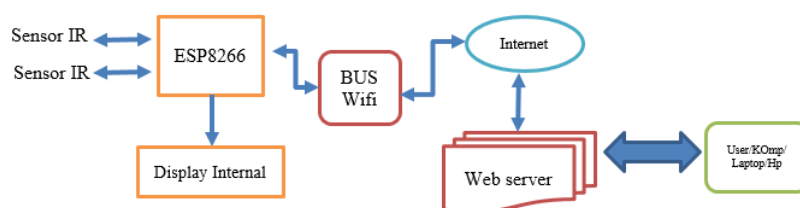
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan utama dalam perancangan dan pengembangan miniatur alat penghitungan penumpang bus otomatis berbasis IoT untuk Bus Trans Banyumas. Tahap awal melibatkan studi literatur untuk memahami teknologi IoT dan penerapannya dalam sistem penghitungan penumpang. Selain itu, dilakukan analisis kebutuhan untuk menentukan spesifikasi teknis alat yang akan dirancang. Informasi ini diperoleh melalui tinjauan pustaka, wawancara dengan operator bus, dan pengamatan langsung di lapangan.

Perancangan sistem meliputi desain perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi nirkabel. Sensor yang digunakan adalah sensor inframerah atau sensor ultrasonik [4] untuk mendeteksi keberadaan dan jumlah penumpang yang masuk dan keluar dari bus. Mikrokontroler bertugas untuk memproses data dari sensor dan mengirimkan data tersebut ke server melalui modul komunikasi nirkabel.

Perangkat keras terdiri dari sensor inframerah/ultrasonik [5] dipilih karena keakuratannya dalam mendeteksi objek pada jarak dekat. Mikrokontroler Arduino atau NodeMCU yang kompatibel dengan berbagai modul sensor dan komunikasi ESP8266 [11][12][13] [9] digunakan untuk mengirim data ke server. *Firmware* dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk mengintegrasikan sensor dengan mikrokontroler dan modul komunikasi. *Backend Server* dikembangkan menggunakan *platform cloud web* atau *hosting* untuk menerima dan menyimpan data dari alat penghitungan penumpang.

Implementasi dan Integrasi, pada tahap ini, seluruh komponen perangkat keras dirakit sesuai dengan desain yang telah dibuat. Mikrokontroler diprogram dengan *firmware* yang telah dikembangkan. Setelah itu, dilakukan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Data yang diperoleh dari sensor dikirimkan ke server melalui jaringan internet dan dapat diakses melalui aplikasi *frontend* [14][15].



Gambar 1. Bagan sistem penghitung penumpang bus.

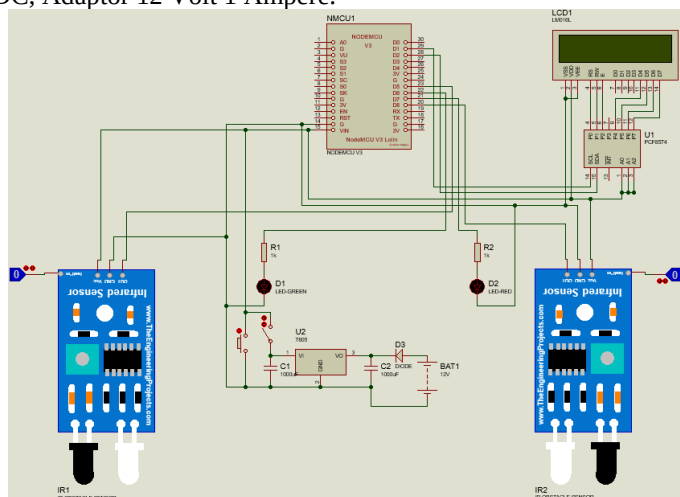
Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian meliputi: Pengujian Sensor: Menguji akurasi sensor dalam mendeteksi penumpang. Pengujian Komunikasi: Menguji keandalan komunikasi data antara mikrokontroler dan server. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan: Menguji kinerja sistem dalam kondisi operasional sesungguhnya. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, mulai dari pengujian di laboratorium hingga uji coba lapangan pada bus Trans Banyumas. Hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dan mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan.

Evaluasi dan Penyempurnaan, berdasarkan hasil pengujian, dilakukan evaluasi untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan. Jika ditemukan kekurangan atau masalah, dilakukan penyempurnaan pada desain atau implementasi sistem. Tahap ini juga melibatkan umpan balik dari pengguna (operator bus) untuk memastikan bahwa sistem memenuhi kebutuhan mereka.

Dalam perancangan alat penghitung penumpang bus otomatis pada Banyumas Raya Transportasi memerlukan alat serta komponen-komponen yang mendukung terciptanya alat yang diinginkan. Peralatan *hardware* yang digunakan : Laptop / computer, NodeMCU 8266 V3 Lolin, LCD (*Liquid Crystal Display*) I2C 16 x 2, Sensor *Infrared* FC-51, Resistor, LED (*Light Emitting Diode*), Holder LED, Terminal Block 2 Pin, Dioda 5 Ampere, Kapasitor 1000 uF / 16 V, IC L7805, Saklar *Push Button*, Saklar ON / OFF, Adaptor, Konektor DC, BOX Multi X4. Peralatan *Software* yang digunakan: *Software* Arduino IDE, XAMPP, Sublime Text, Proteus

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

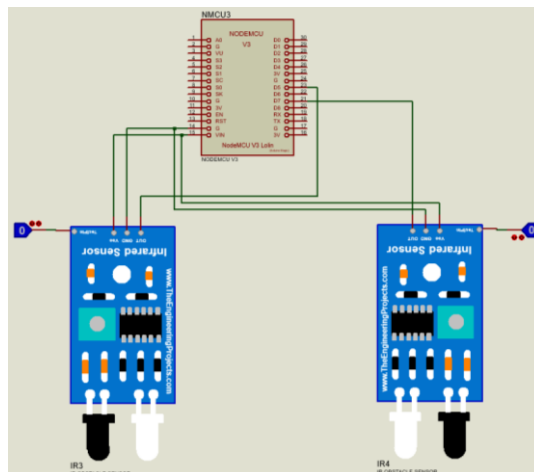
Skema sistem monitoring penumpang bus otomatis berbasis IoT dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terdiri komponen NodeMCU ESP8266, Sensor Infrared FC-51, Liquid Crystal Display (LCD), Light Emitting Diode (LED), Resistor 1K, Dioda 5 Ampere, Kapasitor uF/16 V, IC L7805, Tombol Reset, Tombol ON / OFF, Konektor DC, Adaptor 12 Volt 1 Ampere.



Gambar 2. Rangkaian lengkap penghitung penumpang

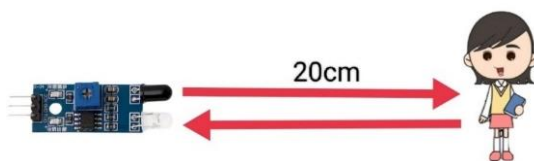
3.1. Modul Sensor Infrared FC-51

Modul sensor infrared FC-51 merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi obyek yang lewat didepan sensor. Dalam rangkaian sensor *infrared* FC-51 ini terdapat dua buah komponen *infrared* yaitu pemancar *infrared* dan penerima *infrared* lihat Gambar 3.

Gambar 3. Rangkaian modul Sensor *Infrared* FC-51

Sensor *Infrared* FC-51 ini memiliki koneksi kerja yaitu 5 Volt, Pada saat sumber tegangan dihubungkan ke VCC dan GND, maka lampu indikator modul akan hidup (ON). Jika ada benda melewati wilayah pemancar *infrared* yang ditandai dengan LED berwarna hitam maka sinar *infrared* tersebut akan dipantulkan kembali. Pantulan sinar *infrared* ini akan dideteksi oleh dioda photo yang ditandai dengan LED bening dan akan diproses oleh IC LM393. Pada keadaan seperti ini, LED indikator sinyal akan hidup (ON) dan sinyal keluaran akan berlogika LOW (0 V). Jarak deteksi bisa disesuaikan dengan cara memutar potensiometer (pengatur jarak) agar dapat mendeteksi benda dengan jarak antara 2 cm hingga 20 cm.

Pengujian Sensor *Infrared* FC-51 ini bertujuan untuk mengetahui kondisi Sensor *Infrared* FC-51, kemudian dibaca oleh NodeMCU ESP8266 selanjutnya akan muncul pada serial monitor NodeMCU ESP8266 sebagai berikut: Jarak Sensor *Infrared* FC-51. Cara pengujian mengecek jarak Sensor *Infrared* FC-51 sebagai berikut:

Gambar 4. Pengujian Jarak Sensor *Infrared* FC-51

3.2. Simulasi Sensor *Infrared* FC-51 Pada Bus Trans Banyumas

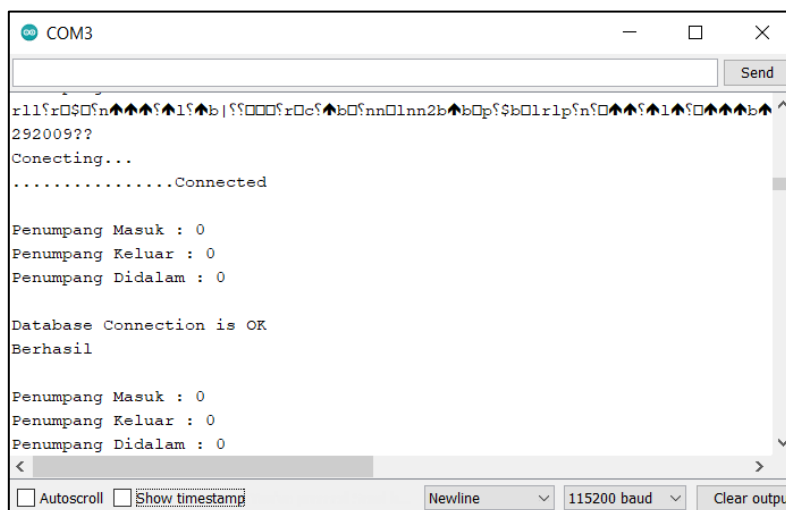
Jangkauan maksimal pada sensor hanya 20 cm, sehingga pada penelitian ini sensor diletakkan di samping pintu Bus Trans Banyumas supaya ketika ada penumpang masuk sensor dapat mendeteksi penumpang masuk dan penumpang keluar.



Gambar 5. Simulasi Sensor Pada Bus Trans Banyumas

3.3. Pengujian Mengkoneksikan Internet Pembacaan Sensor *Infrared* FC-51

Hasil pengujian mengecek kondisi Sensor *Infrared* FC-51 sebagai berikut:

Gambar 6. Hasil Serial Monitor Mengecek Sensor *Infrared FC-51*

3.4. Pengecekan Website Localhost Multisensor

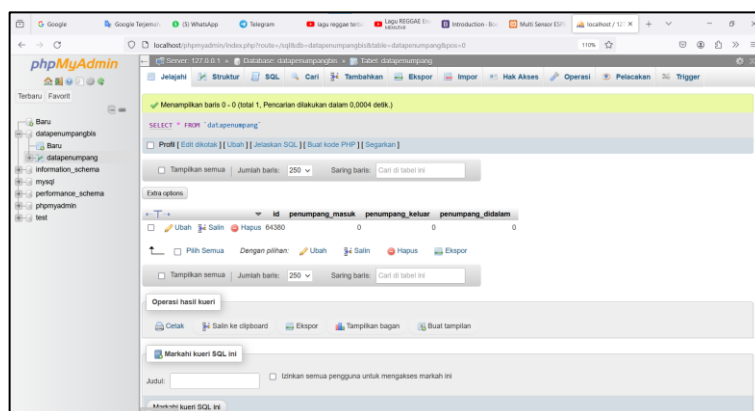
Setelah melakukan pengkoneksian Sensor *Infrared FC-51* dan *Website Server* ke *website localhost* dengan nama multisensor dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 7. Hasil Mengecek Website Localhost Multisensor

3.4.1. Pengecekan Website Localhost Phpmyadmin

Setelah melakukan pengkoneksian Sensor *Infrared FC-51* dan *Website Server* ke *website localhost* phpmyadmin kita juga bisa melihat Database yang sudah didapat dari Sensor *Infrared FC-51* dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 8. Hasil Mengecek Website Localhost Phpmyadmin

3.4.2. Pengecekan Hosting Menggunakan Website Gratis

Setelah melakukan hosting pada website maka website bisa diakses secara global untuk mempermudah pekerjaan dalam memonitoring jumlah penumpang dari jarak jauh.



Gambar 9. Tampilan awal data penumpang di browser HP

3.5. Skenario Pengujian Pada Bus Trans Banyumas

Kondisi di Halte 1 terdapat 10 penumpang masuk bus dan Kondisi di Halte 2 terdapat 5 penumpang keluar bus



Gambar 10. Penumpang Masuk 10



Gambar 11. Penumpang Keluar 5

Kondisi di Halte 3 terdapat 5 penumpang masuk bus dan Kondisi di Halte 4 terdapat 4 penumpang keluar bus



Gambar 12. Penumpang Masuk 5



Gambar 13. Penumpang Keluar 4

Kondisi di Halte 5 terdapat 10 penumpang masuk bus dan 11 penumpang keluar bus dan Kondisi di Halte 6 terdapat 3 penumpang masuk bus



Gambar 14. Penumpang Masuk 10 dan Keluar 11

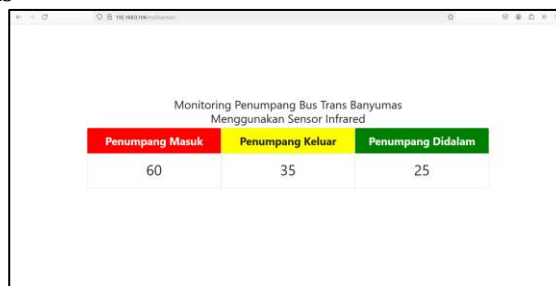


Gambar 15. Penumpang Masuk 3

Kondisi di Halte 7 terdapat 12 penumpang masuk bus dan 5 penumpang keluar bus. Kondisi di Halte 8 terdapat 20 penumpang masuk bus dan 10 penumpang keluar bus



Gambar 16. Penumpang Masuk 12 dan Keluar 5

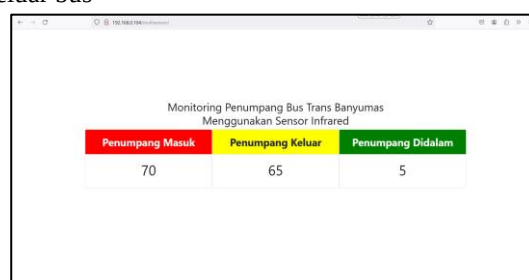


Gambar 17. Penumpang Masuk 20 dan Keluar 10

Kondisi di Halte 9 terdapat 4 penumpang masuk bus dan 10 penumpang keluar dan Kondisi di Halte 10 terdapat 6 penumpang masuk bus dan 10 penumpang keluar bus



Gambar 18. Penumpang Masuk 4 dan Keluar 10



Gambar 19. Penumpang Masuk 6 dan 10

Berdasarkan pengujian simulasi jika ada penumpang naik dan keluar dari skenario dapat dikumpulkan pada Tabel 1 jumlah penumpang di dalam bus akan terupdate terus.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kondisi di Halte 1 Sampai Halte 10

No.	Sensor Ke		Masuk	Keluar	Didalam	Kesimpulan
	1	2				
1	10	-	10	0	10	Sesuai
2	-	5	10	5	5	Sesuai
3	5	-	15	5	10	Sesuai
4	-	4	15	9	6	Sesuai
5	10	11	25	20	5	Sesuai
6	3	-	28	20	8	Sesuai
7	12	5	40	25	15	Sesuai
8	20	10	60	35	25	Sesuai
9	4	10	64	55	9	Sesuai
10	6	10	70	65	5	Sesuai

Berdasarkan pada tabel di atas Tabel 1. terdapat jumlah 10 hasil pengujian dengan akurasi yang didapat sistem penghitung jumlah orang secara otomatis yaitu sebesar 100%.

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{\text{Data Sesuai}}{\text{Total Data}} \times 100\% \\
 &= \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%
 \end{aligned}$$

Jumlah penumpang didalam bus selalu terupdate sehingga jika kondisi penuh maka dapat memasukkan penumpang jika kondisi masih tersedia maka akan menerima penumpang. Disamping data update penumpang didalam bus, sistem juga dapat mencatat jumlah total penumpang pada hari bus bekerja. Data jumlah penumpang harian tercatat pada database web server dan suatu saat dapat digunakan untuk analisis jumlah penumpang harian, bulanan dan tahunan. Sehingga data ini dapat digunakan untuk evaluasi dan sebagainya.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sebuah miniatur alat penghitungan penumpang bus otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk Bus Trans Banyumas. Sistem yang dikembangkan terdiri dari perangkat keras berupa sensor inframerah/ultrasonic, mikrokontroler, dan modul komunikasi nirkabel, serta perangkat lunak yang meliputi *firmware* mikrokontroler dan aplikasi *backend* server untuk pengolahan data.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi penumpang yang naik dan turun dari bus dengan tingkat akurasi yang tinggi. Data penumpang dikirimkan secara *real-time* ke server dan dapat diakses melalui aplikasi web atau *mobile*, memberikan kemudahan bagi operator bus dan manajemen dalam memonitor jumlah penumpang. Penggunaan teknologi IoT dalam sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam penghitungan penumpang dibandingkan metode manual yang selama ini digunakan.

Dengan adanya alat ini, Bus Trans Banyumas dapat memanfaatkan data penumpang untuk analisis lebih lanjut, seperti optimasi rute dan penjadwalan bus, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas layanan kepada penumpang. Selain itu, implementasi sistem ini juga mendukung upaya digitalisasi dalam pengelolaan transportasi publik di Banyumas.

Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, seperti peningkatan keamanan data, integrasi dengan sistem pembayaran elektronik, dan penerapan teknologi ini pada moda transportasi lainnya. Dengan demikian, diharapkan inovasi ini dapat menjadi model bagi implementasi teknologi IoT dalam sektor transportasi di daerah lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Aminah, "Transportasi publik dan aksesibilitas masyarakat perkotaan," *Jurnal Masyarakat Kebudayaan dan Politik*, vol. 20, no. 1, Jan. 2007, Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://journal.unair.ac.id/filerPDF/Transportasi%20Publik%20dan%20Aksesibilitas.pdf>
- [2] D. PRAMESTI, N. L. P. J. ANDINI, D. A. K. RAHARJO, and A. D. DWIPAYANA, "Efektivitas Penggunaan Moda Transportasi Umum Dengan Kendaraan Pribadi," *Indonesian Journal of Multidisciplinary on Social and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 6–16, Jan. 2024, doi: 10.31004/ijmst.v2i1.246.
- [3] W. A. Riawan, "Analisis Pelayanan Bus Rapid Transit Kapasitas Sedang pada Sistem Transportasi Perkotaan [The Service Analysis of Medium Capacity Bus Rapid Transit on the Urban Transportation System]," *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 30, no. 2, pp. 119–132, Dec. 2018, doi: 10.25104/warlit.v30i2.688.
- [4] A. Purnama, F. Fauziah, and N. D. Nathasia, "SMART COUNTER PADA KAPASITAS BUS TRANSJAKARTA MENGGUNAKAN SENSOR INFRARED BERBASIS ARDUINO UNO ATMEGA328," *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 7, no. 1, pp. 175–185, Feb. 2022, doi: 10.29100/jupi.v7i1.2623.
- [5] K. Yuliana and Saptono, "Prototype Pengontrolan Penghitung Jumlah Calon Penumpang Angkutan Umum Pada Dinas Perhubungan Kota Tangerang Berbasis Arduino Uno," *JURNAL SISFOTEK GLOBAL*, vol. 7, no. 2, Sep. 2017, Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2575478&val=24127&title=Prototype%20Pengontrolan%20Penghitung%20Jumlah%20Calon%20Penumpang%20Angkutan%20Umum%20Pada%20Dinas%20Perhubungan%20Kota%20Tangerang%20Berbasis%20Arduino%20Uno>
- [6] C. Pronello and X. R. Garzón Ruiz, "Evaluating the Performance of Video-Based Automated Passenger Counting Systems in Real-World Conditions: A Comparative Study," *Sensors*, vol. 23, no. 18, p. 7719, Sep. 2023, doi: 10.3390/s23187719.
- [7] V. Marcellino, V. Christanti Mawardi, and N. Jaya Perdana, "PENDETEKSIAN JUMLAH PENUMPANG YANG MASUK BERDASARKAN CCTV PADA PINTU BUS DENGAN METODE YOLO," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, vol. 10, no. 2, Aug. 2022, doi: 10.24912/jiksi.v10i2.22539.
- [8] A. Patlins and N. Kunicina, "The new approach for passenger counting in public transport system," in *2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, IEEE, Sep. 2015, pp. 53–57. doi: 10.1109/IDAACS.2015.7340700.
- [9] R. R. Pahlevi, P. Sukarno, and B. Erfianto, "Implementation of Event-Based Dynamic Authentication on MQTT Protocol," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 15, no. 2, Sep. 2019, doi: 10.17529/jre.v15i2.13963.
- [10] R. A. Atmoko, R. Riantini, and M. K. Hasin, "IoT real time data acquisition using MQTT protocol," *J Phys Conf Ser*, vol. 853, p. 012003, May 2017, doi: 10.1088/1742-6596/853/1/012003.

- [11] Adi Winarno and M. Affandi, "Design and Construction of Smart House Prototype Based Internet of Things (Iot) Using Esp8266," *BEST : Journal of Applied Electrical, Science, & Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 11–14, Mar. 2022, doi: 10.36456/best.vol4.no1.5447.
- [12] A. Holovatyy, "Development of IoT Weather Monitoring System Based on Arduino and ESP8266 Wi-Fi Module," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1016, no. 1, p. 012014, Jan. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1016/1/012014.
- [13] A. Skraba, A. Kolozvari, D. Kofjac, R. Stojanovic, V. Stanovov, and E. Semenkin, "Prototype of group heart rate monitoring with NODEMCU ESP8266," in *2017 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, IEEE, Jun. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/MECO.2017.7977151.
- [14] T. Poongodi, R. Gopal, and A. Saini, "IoT Architecture, Communication Technologies, and Its Applications," in *Internet of Things, Artificial Intelligence and Blockchain Technology*, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 1–24. doi: 10.1007/978-3-030-74150-1_1.
- [15] C. Stoloiescu-Crisan, C. Crisan, and B.-P. Butunoi, "An IoT-Based Smart Home Automation System," *Sensors*, vol. 21, no. 11, p. 3784, May 2021, doi: 10.3390/s21113784.

Perancangan dan Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring Pemberian Pakan Ikan Otomatis Pada Keramba Jaring Apung Menggunakan Modul Komunikasi LoRa

Design and Implementation of Control and Monitoring System for Automatic Fish Feeding in Floating Net Cages Using LoRa Communication Module

Afri Yudamson¹, Muhammad Mufid Ridho², Syaiful Alam³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 25 Juni 2024
Diterima, 27 Juni 2024
Diterbitkan, 30 Juni 2024

Kata Kunci:

Mappi32
LoRa
Aplikasi
MIT App Inventor
Keramba Apung

INTISARI

Indonesia memiliki banyak nelayan yang mengandalkan budidaya ikan laut untuk mata pencaharian mereka. Metode keramba jaring apung menjadi pilihan populer karena efisiensi dan keamanannya. Namun, tantangan utama adalah jarak keramba dari daratan yang memerlukan waktu, tenaga, dan biaya untuk memberi makan ikan. Untuk mengatasi ini, pemberian pakan secara otomatis berbasis Mappi32 telah dilakukan. Namun, tantangan lain muncul dalam bentuk koneksi internet yang tidak stabil di daerah laut. Sebagai solusi, *Long Range* (LoRa), sistem komunikasi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) yang mampu mentransmisikan data jarak jauh, digunakan sebagai alternatif untuk komunikasi data nirkabel. Penelitian ini merancang dan menguji sistem pengendalian dan pemantauan alat pakan ikan otomatis berbasis aplikasi yang dibuat menggunakan *MIT App Inventor* menggunakan modul LoRa pada frekuensi 915MHz di keramba jaring apung. Aplikasi Android digunakan sebagai sistem pengendalian dan pemantauan terintegrasi melalui mikrokontroler yang terhubung *Bluetooth*. Sistem pemantauan pada alat pakan ikan otomatis ini dapat beroperasi memantau ketersediaan pakan ikan menggunakan sensor ultrasonik HCSR-04 dengan nilai *error* sebesar 1,22% dan jarak pancar data mencapai jarak 310 m dengan persentase kegagalan sebesar 12,9%. Sistem pengendalian dapat melakukan pelontaran pakan serta mengatur kondisi penerangan secara langsung menggunakan aplikasi tanpa penjadwalan khusus pada jarak maksimal 320 m.

ABSTRACT

Keyword:

Mappi32
LoRa
Application
MIT App Inventor
Floating Net Cages

Indonesia has many fishermen who rely on marine fish farming for their livelihood. The floating net cage method is popular due to its efficiency and safety. However, the distance of the cages from shore poses challenges, requiring time, effort, and costs to feed the fish. To address this, an automatic feeding system based on Mappi32 has been implemented. Yet, unstable internet connections in marine areas present another issue. As a solution, *Long Range* (LoRa), a *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) capable of long-distance data transmission, is used for wireless communication. This study designs and tests a control and monitoring system for an automatic fish feeder using *MIT App Inventor* and the LoRa module at 915MHz in floating net cages. The Android application functions as an integrated control and monitoring system via a Bluetooth-connected microcontroller. The monitoring system can check feed availability with an HCSR-04 ultrasonic sensor, boasting an error rate of 1.22% and a data transmission range of up to 310 meters with a failure rate of 12.9%. The control system can dispense feed and adjust lighting directly through the app, with a maximum range of 320 meters.

Korespondensi Penulis:**Afri Yudamson**

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia
Email : afri.yudamson@eng.unila.ac.id

1. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan 17.504 pulau, memiliki kondisi geografis yang melahirkan daerah pesisir yang luas, menjadi sumber daya utama bagi masyarakat nelayan [1]. Perairan laut Indonesia kaya akan sumber daya alam, dimanfaatkan oleh nelayan sebagai mata pencaharian. Pertumbuhan produksi perikanan negara sebagian besar disebabkan oleh budidaya perikanan [2]. Metode budidaya ikan, khususnya melalui keramba jaring apung, menjadi pilihan utama karena kelebihannya dalam ekonomi, pengelolaan lahan, dan keamanan dari predator atau pencurian. Namun, kendala muncul terkait jarak keramba yang jauh dari daratan, menyulitkan akses nelayan dan menguras waktu serta biaya dalam pemeliharaan harian [3]. Pemberian pakan dilakukan dengan cara mendistribusikan pakan ikan langsung ke arah tambak sehingga membutuhkan waktu lebih lama [4]. Sementara itu, perkembangan teknologi otomasi yang umumnya diterapkan di perkotaan belum sepenuhnya diterapkan di daerah pedesaan dan pesisir, tempat banyak nelayan beraktivitas. Solusi yang diusulkan adalah menggunakan mesin pakan ikan otomatis berbasis mikrokontroler yang dapat dikendalikan lewat aplikasi Android. Mesin ini mengatasi kendala akses jarak dan waktu, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi biaya dan tenaga. Kendala koneksi internet di daerah pesisir diatasi dengan teknologi *Long Range* (LoRa) sebagai media komunikasi *wireless* [5].

Penelitian ini merancang sistem yang memanfaatkan aplikasi Android tanpa koneksi internet untuk mengendalikan mesin pakan ikan otomatis di keramba jaring apung. Pengujian dilakukan terhadap modul LoRa pada frekuensi 915MHz dengan jarak tertentu. Tujuan lainnya mencakup pembuatan aplikasi Android untuk pengendalian dan pemantauan, serta integrasi aplikasi dengan mikrokontroler melalui koneksi *Bluetooth*. Penelitian mengusulkan bahwa alat yang dirancang dapat melakukan komunikasi data dua arah (*duplex*) menggunakan modul LoRa untuk mengendalikan dan memantau alat pakan ikan otomatis pada jarak ratusan meter melalui aplikasi Android. Pengujian dilakukan dengan membaca data dari sensor dan aktuator, mengirimkannya melalui LoRa, dan membacanya melalui mikrokontroler lain, kemudian mentransfer data ke aplikasi Android melalui *Bluetooth* secara online. Aplikasi dibuat menggunakan platform *MIT App Inventor*.

Pembuatan Alat Penebar Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler bagi Peternak Ikan Lele di Desa Suka Maju (2022) membahas tentang budidaya ikan lele, spesies ikan air tawar yang disukai oleh masyarakat. Adha Farm, peternak ikan lele yang berlokasi di Desa Suka Maju, Kecamatan Sungal, Kabupaten Deli Serdang, bergerak dalam bidang pembibitan dan pembesaran ikan lele. Untuk mengatasi masalah ini, tim mengembangkan alat penebar pakan ikan otomatis berbasis mikrokontroler yang terintegrasi dengan pemantauan suhu dan pH di kolam ikan. Implementasi alat ini telah meringankan beban kerja Adha Farm dalam penjadwalan pemberian pakan ikan secara efektif dan efisien, sehingga meningkatkan produktivitas budidaya ikan lele [6].

Dalam penelitian berjudul "Penggunaan *MIT App Inventor* untuk Merancang Aplikasi Pembelajaran Berbasis Android" (2021), di mana para guru diberikan pelatihan bagaimana membuat sebuah aplikasi tanpa perlu pemahaman pemrograman. Penelitian ini memberikan pelatihan kepada guru untuk membuat media pembelajaran berbasis android yang inovatif dan menarik menggunakan platform *MIT App Inventor*. Tujuan penelitian ini adalah memberikan pengetahuan dan pengalaman kepada guru dalam membuat media pembelajaran berbasis android tanpa perlu koding [7].

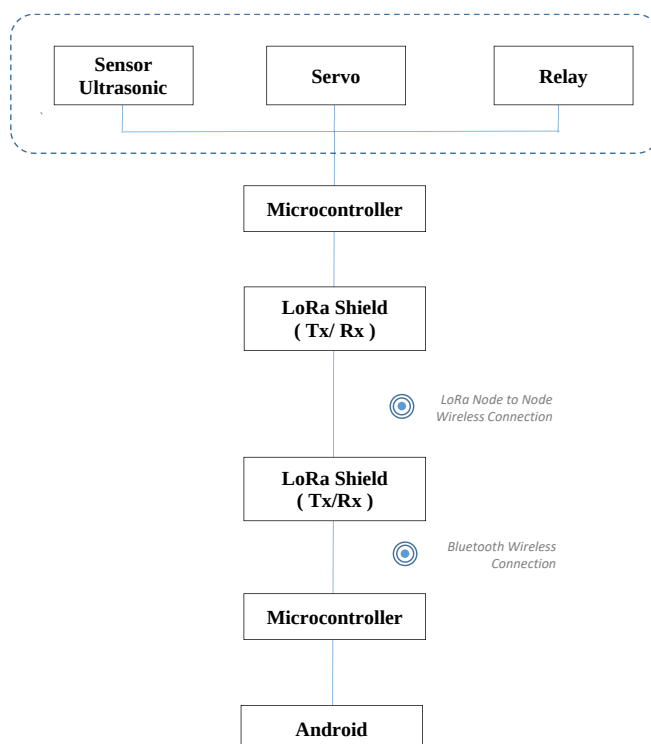
Penelitian oleh [8] membahas tentang teknologi LoRa dalam konteks IoT. Penelitian ini mengimplementasikan metode *master-slave* dalam pengiriman data untuk mencegah tabrakan data. Dua node LoRa ditempatkan jauh dari satu *gateway* LoRa dalam mode *half-duplex*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data berhasil diterima pada jarak 1 km untuk *Line of Sight* (LoS) dan 500 m untuk *Non-Line of Sight* (NLoS). Data yang diterima oleh *gateway* LoRa dapat dipantau secara real-time di *Thingspeak* dengan *delay* hanya 0,139 detik, yang termasuk dalam kategori sangat baik. Penelitian oleh [9] menggunakan mikrokontroler arduino R3 dan ESP32 sebagai pengontrol. Penelitian oleh [10] menggunakan motor listrik, pipa pelontar, drum penampung, dan kerangka Autofeeder. Penelitian oleh [11] menggunakan sensor proximity, sensor jarak *infrared* dan Platform *Blynk*. Penelitian [12] menggunakan ESP-32 CAM, sensor ultrasonik, modul RTC dan motor servo [12].

Pada penelitian ini terdapat keterbaruan dari sebelumnya yaitu penggunaan mikrokontroler terbaru Mappi32 yang terintegrasi dengan modul LoRa yang merupakan buatan asli Indonesia. Sistem pemantauan akan mengirimkan sinyal berupa data pakan ikan dan menampilkannya lewat aplikasi. Pada aplikasi juga terdapat penambahan fitur seperti pengendalian langsung pelontaran pakan dan penerangan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Perancangan Sistem

Kegiatan ini mencakup perancangan, pembuatan, dan integrasi alat. Tahap perancangan meliputi gambaran umum alat dan simulasi menggunakan perangkat lunak. Pada tahap pembuatan, *hardware* dirangkai dan program diunggah sebagai algoritma sistem.

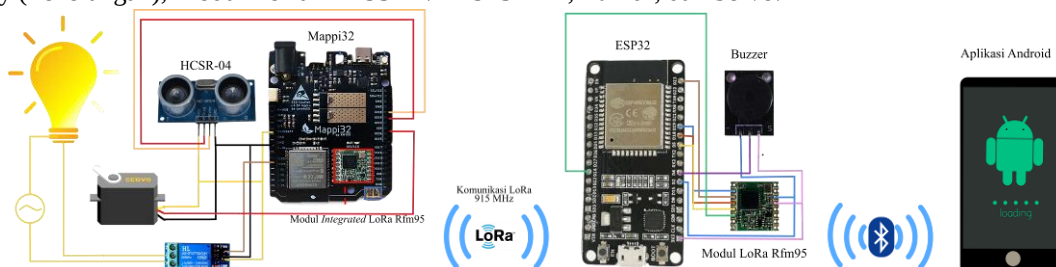


Gambar. 1 Diagram Skema Alat

Secara umum kerja sistem terbagi menjadi dua bagian yaitu pengendalian dan pemantauan. Aktivitas sensor dan aktuator berperan sebagai data input dan output dalam sistem alat pemberi pakan ikan otomatis. Data yang dihasilkan mencakup persentase pakan, sisa lontaran pakan dan status lampu (*on/off*). Data ini kemudian diproses oleh Mappi32 dan dikirim melalui modul LoRa yang terintegrasi pada board Mappi32. Modul LoRa pada ESP32 menerima data tersebut, yang selanjutnya diterjemahkan dan dipancarkan melalui *Bluetooth* untuk ditampilkan pada aplikasi android. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pemantauan dan kontrol secara bersamaan.

2.2. Perancangan Hardware

Komponen utama dalam rangkaian komunikasi alat ini meliputi Mappi32, ESP32, Sensor Ultrasonik HCSR04, Relay (Penerangan), Modul LoRa Rfm95 Tx/Rx 915MHz, *Buzzer*, dan Servo.



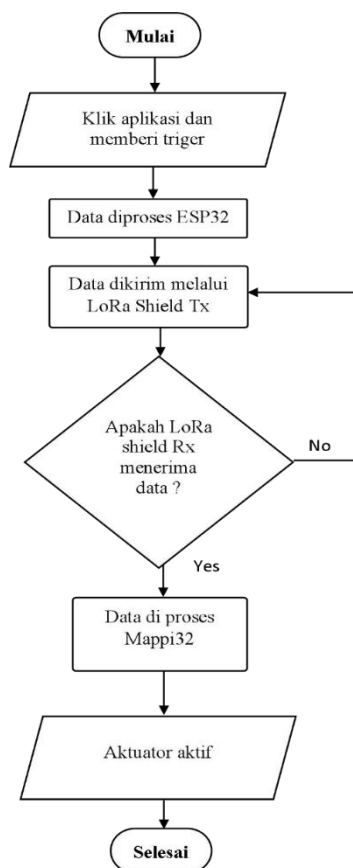
Gambar. 2 Rangkaian Sistem Pemantauan dan Pengendalian Pakan Ikan Otomatis

Dalam sistem pemantauan, alat beroperasi saat komponen seperti sensor ultrasonik HCSR-04, servo pelembar pakan, dan penerangan aktif. Mappi32 memancarkan data kondisi sensor dan aktuator melalui modul LoRa *shield transmitter* pada frekuensi radio 915 MHz[13], yang diterima oleh LoRa *shield receiver* pada ESP32 dan dipancarkan kembali via *Bluetooth* ke aplikasi Android. Dalam proses kontrol, aplikasi berkomunikasi dengan ESP32 via *Bluetooth*. Setelah tombol kontrol diaktifkan, data dikirim dari ESP32, ditransmisikan melalui modul LoRa *Shield*, dan diterima oleh Mappi32. Suksesnya kontrol pelembaran pakan ditandai dengan notifikasi suara *buzzer* dan status penerangan ditampilkan di aplikasi. Sistem kontrol ini bersifat *close loop*, menggunakan output sistem sebagai umpan balik untuk penyesuaian dan pencapaian keberhasilan pengendalian.

2.3. Diagram Alir

Gambar 3. menunjukkan proses pengendalian sistem dimulai saat sistem mulai beroperasi. Prasyarat utama untuk memulai instruksi ini adalah adanya koneksi yang sudah terjalin antara perangkat Android dan ESP32 melalui *Bluetooth*. Ketika pengguna melakukan aksi “klik” pada salah satu tombol yang ada di aplikasi, perangkat Android akan memberikan sinyal pemicu atau ‘*trigger*’. Selanjutnya, data dikirim menuju ke Mappi32 melalui komunikasi LoRa. Data ini dikirim melalui modul LoRa *transmitter* yang sebelumnya sudah terhubung ke ESP32. Jika data yang dikirimkan oleh *transmitter* tidak berhasil diterima oleh modul LoRa *receiver*, sistem akan melakukan proses pengulangan atau ‘*looping*’ pengiriman data sampai data berhasil diterima oleh *receiver*.

Setelah data diterima, data tersebut kemudian diteruskan ke Mappi32 untuk diproses lebih lanjut. Data ini kemudian diterjemahkan menjadi satu paket data yang siap dikirimkan melalui modul LoRa. Paket data ini berisi beberapa data di dalamnya, di mana setiap data menginstruksikan perintah tertentu untuk melakukan proses pengendalian. Proses ini memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dan efisien, dengan memanfaatkan teknologi komunikasi LoRa dan *Bluetooth* untuk memfasilitasi transfer data yang cepat dan akurat antara berbagai komponen sistem. Dengan demikian, sistem dapat merespon dengan cepat terhadap input dari pengguna dan melakukan tindakan yang diperlukan untuk memastikan operasi yang lancar dan efisien.

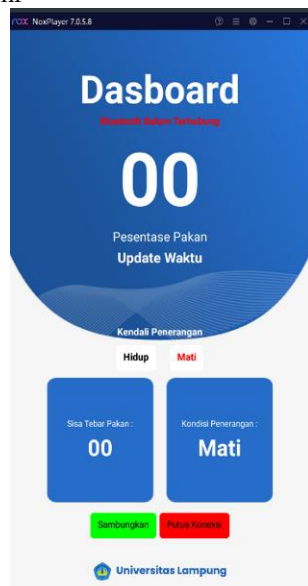


Gambar 3. Diagram Alir Kerja Alat

2.4. Perancangan Software

Aplikasi android yang berfungsi sebagai pusat kontrol dan pemantauan, dibuat menggunakan *platform* MIT App Inventor. *Platform* ini menggunakan metode *drag-and-drop* dalam setiap perintah kode bloknya, memudahkan proses pemrograman[14].

Aplikasi dijalankan menggunakan emulator dengan kode blok yang disusun berdasarkan algoritma dan sistem yang telah dibuat. Fungsi *built-in* dalam kode blok memudahkan proses pemrograman. Setelah kode blok disusun dan algoritmanya sesuai rancangan, aplikasi dijalankan menggunakan *Nox Player*, emulator Android pada Windows. Dengan spesifikasi minimum Android versi 2.1 (*Eclair*), aplikasi ini kompatibel dengan semua perangkat Android saat ini

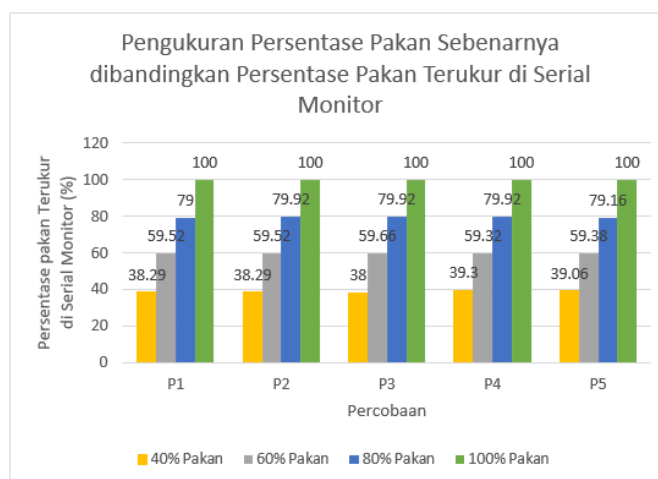


Gambar 4. Perancangan *Software* Aplikasi Pengendalian dan Pemantauan Alat Pakan Ikan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Sensor Ultrasonic HCSR-04 terhadap Persentase Pakan

Pengujian dilakukan untuk menilai persentase pakan dari jarak terukur pada wadah menggunakan sensor HCSR-04.

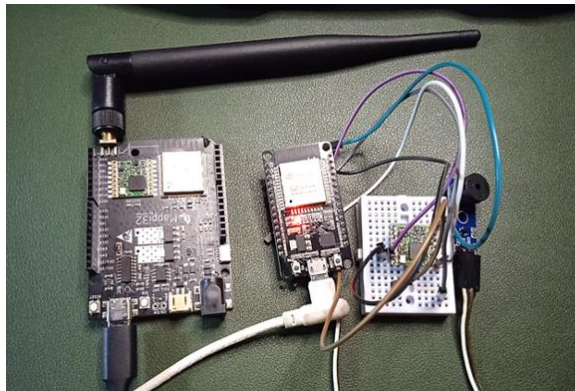


Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Jarak Sensor terhadap Jarak Sebenarnya

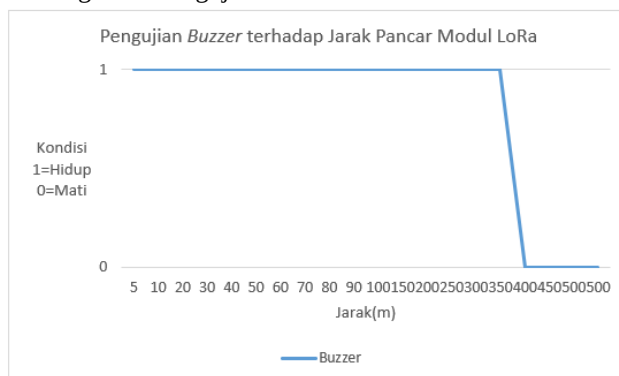
Gambar 5. Menunjukkan grafik empat variabel persentase pakan yaitu 40%, 60%, 80% dan 100%. Dari lima kali percobaan, hasil pengukuran menunjukkan kesesuaian nilai dengan rata-rata error pada setiap jarak berturut-turut 3,53%, 0,86%, 0,52% dan 0% dengan rata-rata keseluruhan 1,22%. Di mana nilai yang dibaca sensor mendekati nilai yang ditetapkan.

3.2. Pengujian Modul LoRa

LoRa adalah singkatan dari Long Range dan merupakan teknologi komunikasi nirkabel berbasis *wide-area-network* (WAN) yang dirancang untuk mengirim data dengan jarak jauh dan tingkat baterai yang rendah [15]. LoRa memanfaatkan frekuensi radio yang luas untuk mengirimkan data dengan tingkat enkripsi yang tinggi dan efisiensi spektrum yang baik. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan jarak maksimum yang dapat dicapai oleh sinyal dari modul LoRa.



Gambar 6. Rangkaian Pengujian Jarak Pancar dan Jarak Terima Modul LoRa

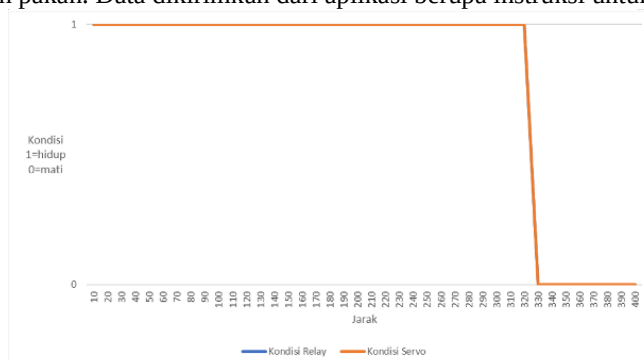


Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Jarak Pancar Modul LoRa terhadap Buzzer

Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa *buzzer* dapat menyala pada jarak 5 m-350 m. Kemudian pada jarak di atas 350-550 m *buzzer* dalam keadaan mati. Dengan demikian sinyal LoRa dapat diterima pada jarak 5 m-350 m. Dapat disimpulkan bahwa LoRa bekerja dengan baik sampai pada jarak 350 m.

3.3. Pengujian Sistem Pengendalian Alat Pakan Ikan Otomatis

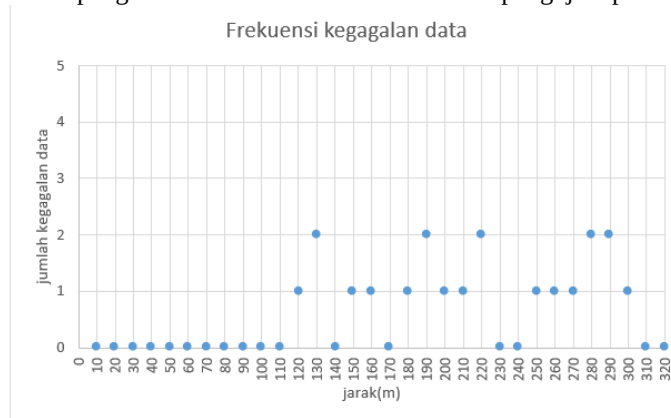
Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah fitur pengendalian aktuator pada alat pakan ikan sudah sesuai dengan rancangan. Fitur pengendalian mengatur kondisi beberapa aktuator yaitu *relay* penerangan dan motor servo untuk melontarkan pakan. Data dikirimkan dari aplikasi berupa instruksi untuk menghidupkan aktuator.



Gambar 8. Menunjukkan grafik data hasil pengujian pengendalian sistem dapat diketahui bahwa aktuator aktif ketika dikendalikan dalam rentang jarak 10 m sampai 320 m. Hal tersebut dibuktikan dengan bunyi *buzzer* yang ada di ESP32. Adapun ketika jarak 330 m sampai dengan 400 m aktuator tidak aktif, ditandai dengan tidak ada bunyi pada *buzzer*.

3.4. Pengujian Sistem Pemantauan Alat Pakan Ikan Otomatis

Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa data yang diterima pada sistem pemantauan alat pakan ikan otomatis apakah data yang dikirim dapat diterima oleh *receiver*. Jarak pengujian diukur dengan mencari titik koordinat pada Google Maps. Data yang dipantau sebelumnya telah dilakukan pengkondisian dengan menyesuaikan jarak yang diukur pada sensor ultrasonic HCSR-04 pada wadah pakan. Variabel yang akan dipantau berupa keberhasilan pengiriman data. Berikut adalah rincian pengujian pada alat pakan ikan otomatis.



Gambar 9. Error Data yang Diterima pada Sistem Pemantauan

Gambar 9. Diketahui bahwa sistem dapat menerima sinyal data. Jarak yang dapat dijangkau sinyal adalah rentang 0m sampai dengan 310 m dengan nilai kegagalan menerima data sebesar 12,9%. Gambar grafik menunjukkan bahwa pemantauan sistem tidak mengalami kegagalan pada jarak 10 m sampai dengan 110 m. Kemudian muncul *error* pada data di jarak 120 m sampai 320 m dengan jumlah kegagalan maksimal sebanyak 2 kali dalam 5 kali percobaan setiap jarak pengujian. Adanya kegagalan data dikarenakan hambatan bergerak diantaranya kendaraan dan dahan pepohonan yang tertiup angin. Adapun pada jarak 320 m sampai dengan 350 m, data tidak dapat diterima oleh *receiver*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian dan pemantauan pakan ikan otomatis untuk keramba jaring apung telah berhasil beroperasi sesuai dengan rancangan awal. Sinyal pancar pada modul LoRa mampu menjangkau jarak hingga 350 m. Aplikasi Android yang telah dirancang dapat melakukan komunikasi *Bluetooth* pada jarak 13 m dan delay 2 detik. Selain itu, integrasi antara aplikasi Android dan ESP32 menggunakan komunikasi *Bluetooth* telah berhasil, memungkinkan kendali dan pemantauan efektif pada alat pakan ikan otomatis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah DIPA Fakultas Teknik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Martha, Sukendra. "The analysis of geospatial information for validating some numbers of islands in Indonesia." *The Indonesian Journal of Geography* 49.2 (2017): 204-211.
- [2] Sukarni Sukarni, Malik Abdurrachman, Ardianto Prasetyo, Avita Ayu Permanasari, Poppy Puspitasari, Heru Suryanto. "Rancang Bangun TTG I-Bite (IoT Basic Automatic Smart Feeder) untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi Tambak Ikan Lele." *Jurnal KARINOV* 4.1 (2020): 13-17.
- [3] Fau, Yohanna Theresia Venty, dan Yan Piter Basman Ziralu. "Strategi Budidaya Ikan Kerapu Dengan Memakai Sistem Keramba Jaring Apung Di Pulau-Pulau Batu." *Jurnal Education and Development* 10.1 (2022): 553-558.
- [4] Sodik, Moh Maulana Fajar, ALI AKBAR, and HARIS MAHMUDI. Rancang Bangun Alat Pelontar Pakan Ikan Otomatis Skala UMKM Dengan Kapasitas Pelontaran Maksimal 3 Meter. Diss. Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2022.
- [5] Murdyantoro, E., Rosyadi, I., & Septian, H. (2019). Studi Performansi Jarak Jangkauan LoRa OLG01 Sebagai Infrastruktur Konektivitas Nirkabel Iot. *Dinamika Rekayasa*, 15(1), 47-56.
- [6] Bukit, Ferry Rahmat Astianta, Arman Sani, dan Dian Morfi Nasution. "Pembuatan Alat Penebar Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler bagi Peternak Ikan Lele di Desa Suka Maju." *E-Dimas: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* 13.2 (2022): 222-227.
- [7] Edriati, S., Husnita, L., Amri, E., Samudra, A. A., & Kamil, N. (2021). Penggunaan Mit App Inventor untuk Merancang Aplikasi Pembelajaran Berbasis Android. *E-Dimas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*.

- [8] Yoshua, A., Primananda, R., & Budi, A. S. (2020). Implementasi Pengiriman Data Multi-Node Sensor Menggunakan Metode Master-slave pada Komunikasi LoRa. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(10), 3445-3454.
- [9] Almufaridz, Prayogo Khanua, Mila Kusumawardani, and Rachmad Saptono (2021). "Telecontrolling Smart Fish Feeder Berbasis Mikrokontroler Dan Aplikasi Android." *Jurnal Jaringan Telekomunikasi (Journal of Telecommunication Networks)* 11.4: 228-237.
- [10] A Marsha Alviani, Setyawan Dwi Nugroho, Rizki Ilmal Yaqin (2020). "Rancang Bangun Autofeeder dengan Pelontar Berbahan Poly Vinil Chloride (PVC) untuk Tambak Udang." *COJ (Coastal and Ocean Journal)* Vol. 4, No. 2, Desember: 71 – 76.
- [11] Chaidir, Ali Rizal, Gamma Aditya Rahardi, and Haidzar Nurdiansyah. "Alat Bantu Pemberi Pakan Ikan Budidaya dengan Sistem Monitoring Sisa Pakan dan Pakan Keluar Berbasis IoT." *Procedia of Engineering and Life Science* Vol 1.2 (2021).
- [12] Laxmy Devy, Sekar Naviola, Adi Chandranata, Suryadi, M. Irmansyah (2021). " Rancang Bangun Alat Pemberi Makan Ikan Menggunakan Blynk untuk KerambaJaring ApungBerbasis IoT." *Elektron Jurnal Ilmiah* Volume 13 Nomor 2 Desember, 53-59.
- [13] Michael Paul Smart Simbolon, Heru Wijanarko, Fitriyanti Nakul, Rahmi Mahdaliza (2021). " Penerapan Komunikasi Nirkabel LoRa pada Sistem Pencatat Kehadiran Portabel." *Journal of Applied Electrical Engineering*, Vol. 5, No. 2, December, 30-35.
- [14] Priambogo, A. A. (2022). "Pengembangan Modul Elektronik Berbasis Android Dengan Aplikasi MIT APP Inventor pada Mobile Learning Mata Pelajaran Penataan Produk Kelas XI BDP SMK. " *Jurnal Pendidikan Tata Niaga (JPTN)*, 10(1), 1669-1678.
- [15] Fathan Muhammad, Adhitya Bhawiyuga, Dany Primanita Kartikasari (2019). "Analisis Kinerja Protokol LoRaWAN untuk Transmisi Data pada Skenario Urban Area. " *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* e-ISSN: 2548-964X Vol. 3, No. 9, September, 9054-9060.

Perancangan dan Implementasi Sistem Pewaktu Digital Pada Lomba Panjat Dinding

Design and Implementation of Digital Timer Systems in the Speed Wall Climbing Competition

Itmi Hidayat Kurniawan¹, Aji Gilang Syah Putra², Latiful Hayat³

^{1,2,3} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuh Waluh, Kembaran 53182, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 25 Juni 2024

Diterima, 29 Juni 2024

Diterbitkan, 30 Juni 2024

Kata Kunci:

Panjat Dinding

Mikrokontroler

Pewaktu Digital

Keyword:

Wall Climbing

Microcontroller

Digital Timer

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pewaktu digital untuk kompetisi panjat dinding yang sesuai dengan standar *International Federation of Sports Climbing (IFSC)*. Pengukuran waktu dalam kompetisi *speed climbing* saat ini menggunakan sistem mekanik-listrik yang akurat untuk memastikan akurasi dan keadilan, khususnya untuk menentukan pemenang ketika terjadi seri. Sistem pewaktu digital yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali. Komponen utama termasuk sensor garis TCRT-5000 untuk mendeteksi *start* dan *false start*, sensor sentuh sebagai penentu akhir waktu, push button untuk kontrol instruksi, *buzzer* sebagai indikator suara, dan *display dot matrix* untuk menampilkan waktu secara digital. Sistem ini juga dirancang untuk mendeteksi *false start* sesuai regulasi IFSC secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi dengan selisih waktu rata-rata sebesar 0,9 detik dan rerata kesalahan sebesar 1,55% dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *stopwatch*. Dengan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan keandalan proses dokumentasi dan penjurian dalam kompetisi panjat dinding.

ABSTRACT

This study aims to design and implement a digital timing system for wall climbing competitions that complies with the standards of the International Federation of Sports Climbing (IFSC). Time measurement in speed climbing competitions currently uses a mechanical-electrical system to ensure accuracy and fairness, particularly in determining the winner in the event of a tie. The digital timing system designed in this study uses the Arduino Mega 2560 microcontroller as the control center. The main components include the TCRT-5000 line sensor to detect the start and false start, a touch sensor to determine the end time, push buttons for instruction control, a buzzer as an audio indicator, and a dot matrix display to show the time digitally. This system is also designed to automatically detect false starts according to IFSC regulations. The test results show that this system has a level of accuracy with an average time difference of 0.9 seconds and an average error rate of 1.55% compared to measurements using a stopwatch. Thus, this system is expected to improve the accuracy and reliability of documentation and judging processes in wall climbing competitions.

Korespondensi Penulis:

Itmi Hidayat Kurniawan

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl. Raya Dukuhwaluh, Kembaran 53182, Indonesia

Email : itmy@ump.ac.id

1. PENDAHULUAN

Speed Climbing menjadi subdisiplin dari kombinasi disiplin olahraga panjat tebing pada Olimpiade Tokyo 2020 dan disiplin individu pada Olimpiade Prancis 2024. *Speed climbing* adalah disiplin bidang pendakian yang mengutamakan kecepatan[1]. Rekor dunia saat ini (sampai tulisan ini disampaikan) adalah 4,79 detik untuk pria dan 6,24 detik untuk wanita (*International Federation of Sports Climbing* (IFSC), 2024)[2].

Waktu kompetisi *speed climbing* ditentukan oleh peralatan secara mekanik-listrik (peserta meninggalkan landasan awal dan menekan tombol di bagian atas lintasan). Ketika pengaturan waktu mekanik-listrik digunakan, waktu pendakian ditampilkan dengan akurasi seperseratus detik. Dalam modifikasi peraturan tahun 2018, kemungkinan untuk menggunakan pengaturan waktu secara manual dihilangkan, dan pengaturan waktu mekanik-elektrik harus akurat. Tingkat akurasi sistem pewaktuan hanya digunakan untuk menentukan peringkat jika terjadi seri. Selanjutnya, sistem pengaturan waktu perlu mengumumkan kondisi start yang salah yaitu ketika peserta melakukan start lebih awal dari 0,1 detik setelah bunyi bip *start*[3]. Sejak tahun 2007, IFSC telah membuat regulasi untuk rekor dunia. Standar ini terkait aturan sederhana dan melibatkan atlet yang berkompetisi di rute yang sama, berdampingan, dan siapa pun yang mencapai puncak terlebih dahulu akan menjadi pemenangnya[3].

Di Indonesia perkembangan peralatan pengukuran waktu olahraga panjat dinding sudah ada tetapi belum ada peralatan yang memiliki standar IFSC sehingga belum bisa diterapkan untuk kompetisi berstandar internasional, hal ini mungkin terjadi karena negara kita belum memiliki teknologi yang memenuhi standar IFSC dan para pakar olahraga belum berkolaborasi dengan pakar teknologi. Sehingga yang terjadi adalah tidak ada pemecahan secara komprehensif untuk menganalisis berbagai permasalahan yang ada di bidang olahraga. Selain itu permasalahan yang terjadi dalam pengukuran kecepatan panjat dinding saat ini masih banyak menggunakan alat pengukur waktu dan kecepatan manual yaitu dengan menggunakan stopwatch. Penggunaan stopwatch menjadi masalah dalam keakuratan data yang diambil karena adanya perbedaan selang waktu dalam penekanan tombol. Sehingga dapat banyak menimbulkan kesalahan (*human error*) karena tingkat refleks dan kepekaan manusia berbeda beda[4][5][6]. Sehingga Perlu adanya suatu sistem alat penentu waktu dan kecepatan olahraga panjat dinding yang otomatis[7][6]. Pembuatan alat pewaktu kompetisi panjat dinding digital dapat dibangun menggunakan sistem mikrokontroler dengan penampil digital [8][5]. Saat ini teknologi mikrokontroler sedang banyak digunakan, dan salah satunya adalah sebagai solusi permasalahan sistem pewaktuan kompetisi panjat dinding. Teknologi mikrokontroler ini adalah sebuah sistem microchip fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output. Dalam perkembangannya mikrokontroler telah mengambil peran penting dalam dunia sistem elektronika, terutama dalam aplikasi elektronika konsumen[9][10][11]. Selain itu sistem skor kompetisi panjat dinding dapat dilakukan menggunakan teknik Pengolahan Citra Digital Berbasis Kamera Digital[12].

Berdasarkan latar belakang di depan pada penelitian ini dilakukan perancangan dan implementasi pewaktu Kompetisi panjat dinding digital. Alat ini akan berkerja dengan komponen masukan berupa 3 buah tombol instruksi perlombaan yaitu (instruksi *Start*, *Stop* dan *Reset*). Kinerja sistem diproses dan dikendalikan menggunakan sistem mikrokontroler yang kemudian menampilkan hasil perhitungan waktu lomba pada perangkat penampil digital. Pada sistem ini juga memiliki fitur untuk mendeteksi kondisi *Start* yang tidak sesuai peraturan kompetisi (*False Start*) secara otomatis. Dengan menggunakan sistem ini diharapkan proses dokumentasi dan penjurian kompetisi panjat dinding dapat lebih optimal dan akuntabel.

2. METODE PENELITIAN

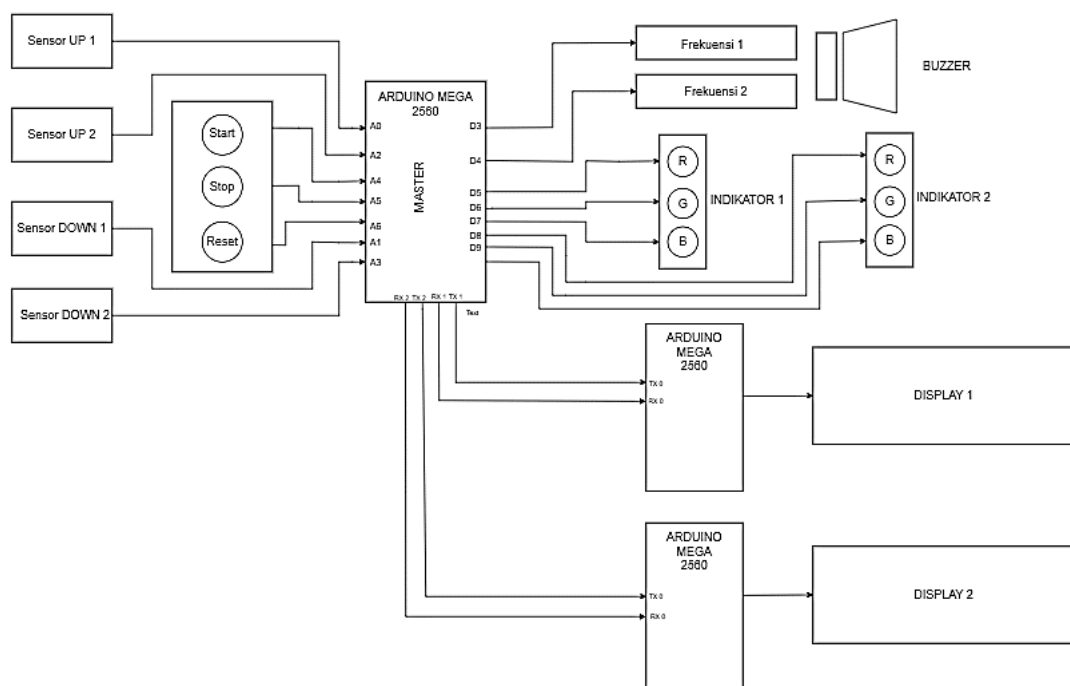
Penelitian perancangan dan pembuatan sistem pewaktu kompetisi panjat dinding digital ini masuk pada ranah penelitian *Research and Development* (R&D). Hal itu diindikasikan oleh hasil dari penelitian yang berupa produk teknologi yang dikerjakan melalui langkah-langkah teknis[13]. Langkah penelitian dalam pelaksanaan ini mengacu prosedur kerja proyek, artinya urutan pekerjaan direncanakan sesuai dengan desain yang paling sederhana dan terus meningkat menjadi suatu produk yang kompleks. Dalam pembuatan sistem pewaktu lomba panjat dinding digital ini diawali dengan perancangan perangkat perangkat keras dan perangkat lunak, yang terdiri dari:

2.1. Perancangan Perangkat Keras

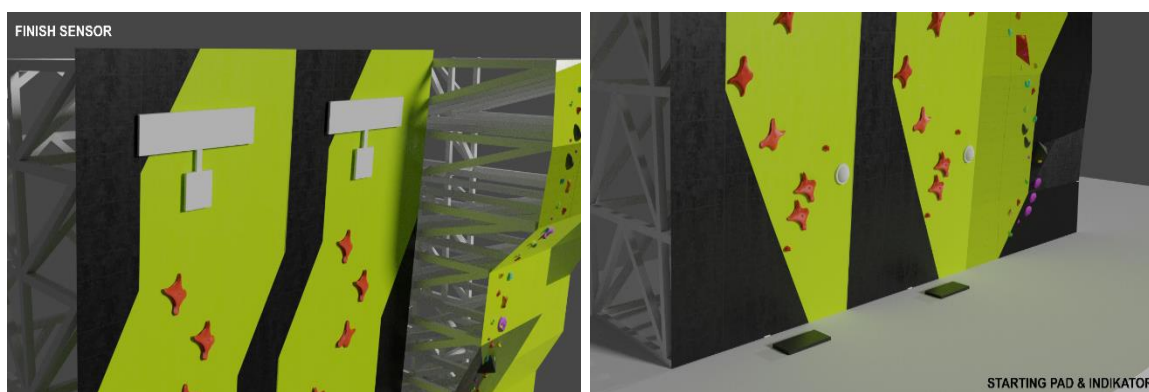
Perancangan perangkat keras yang digunakan dalam sistem pewaktu kompetisi panjat dinding digital diperlihatkan pada gambar 1.

Penjelasan dan fungsi dari masing – masing perangkat keras adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali system kerja[14].
2. Sensor yang digunakan adalah Sensor Modul Sensor Garis TCRT-5000[15] berfungsi sebagai *Starting pad* dan pendeteksi *False Start*. Sensor Sentuh berfungsi sebagai *Finishing pad* untuk menghentikan penghitung waktu pada *display*.
3. *Push Button* berfungsi sebagai tombol *Start* memulai sistem, tombol *Stop* menghentikan sistem dan tombol *Reset* mengatur ulang sistem.
4. *Buzzer* digunakan Sebagai indikator *Start/Mulai* Pelombaan dan *Finish/Selesai* Perlombaan.
5. *Display Dot Matrix* berfungsi sebagai komponen tampilan penghitung waktu.



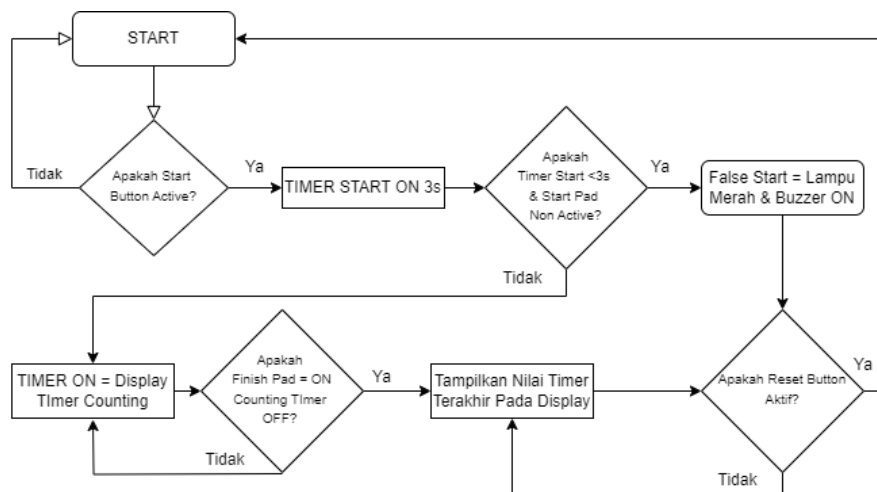
Gambar 1. Diagram pengkabelan perangkat keras



Gambar 2. Rencana Pemasang Sistem Pewaktu digital pada Wall Climbing

2.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem pewaktu kompetisi panjat dinding digital disusun berdasarkan regulasi IFSC. Secara umum prosedur kerja sistem yang dibuat diperlihatkan pada gambar 3.

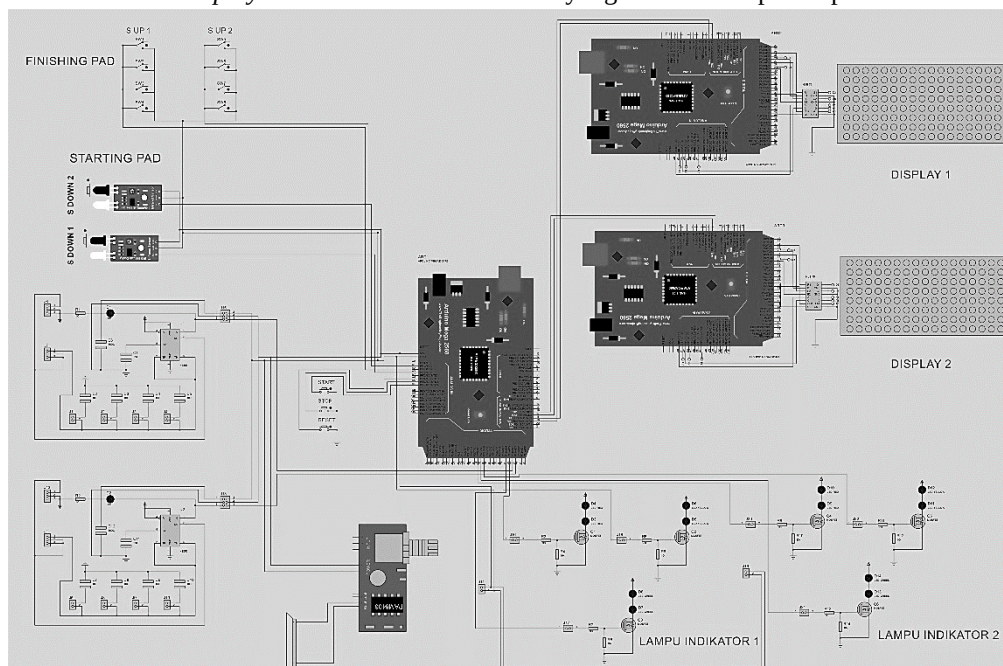


Gambar 3. Diagram Alir Sistem Pewaktu digital pada Wall Climbing

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perangkat Keras Sistem Pewaktu Kompetisi Panjat Dinding Digital

Secara keseluruhan sistem pewaktu kompetisi panjat dinding digital merupakan gabungan dari rangkaian yang terdiri dari pusat kendali dan pemroses data menggunakan arduino Mega2650 yang memproses data masukan dari *push button*, *limit switch*, sensor TCRT5000 dan data keluaran pada Lampu Indikator, Buzzer, dan Dot Matrix Display P10 RGB. Skematik sistem yang dibuat ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik Sistem secara keseluruhan

3.1.1. Rangkaian Sensor IR pada Starting Pad

Sensor inframerah (IR) adalah perangkat elektronik yang mengukur dan mendeteksi radiasi infra merah di lingkungan sekitar. Pada Sistem Pewaktu Kompetisi Panjat Dinding Digital, sensor ini digunakan untuk mendeteksi posisi pijakan peserta *speed climbing* (*starting Pad*). Sensor ini bekerja dengan cara menangkap pancaran infra merah, kemudian pancaran infra merah yang tertangkap akan masuk melalui lensa dan mengenai sensor *pyroelectric*, sinar infra merah mengandung energi panas membuat sensor *pyroelectric* dapat menghasilkan arus listrik.



Gambar 6. Dokumentasi pengujian sistem pewaktu kompetisi panjat dinding digital

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa sistem pewaktu kompetisi panjat dinding digital dapat dibuat dengan menggunakan rangkaian elektronik berbasis mikrokontroler. Sistem Pewaktu Kompetisi Panjat Dinding Digital merupakan gabungan dari rangkaian-rangkaian yang terdiri dari pusat kendali dan pemroses data menggunakan Modul arduino Mega2650 yang memproses data masukan dari *push button*, *limit switch*, sensor TCRT5000 dan menampilkan data keluaran pada Lampu Indikator, *Buzzer*, dan *Dot Matrix Display*. Berdasarkan data hasil pengujian akurasi sistem yang dibuat memiliki selisih pewaktuan sebesar 0,9 detik dengan rerata eror sebesar 1,55% dibandingkan dengan nilai pewaktuan pada *stopwatch*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. H. Press, Ed., *Mountaineering: The Freedom of the Hills*, 6th ed. Swan Hill Press, 1997.
- [2] "Speed climbing," 2024. https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_climbing (accessed Jun. 01, 2024).
- [3] IFSC, *Speed Licence Rules –Speed Walls*. 2022.
- [4] D. G. Pambayun, T. Rahayu, and ..., "Web Application Based Assessment and Ranking Development Model in Rock Climbing," ... *Educ. Sport.*, vol. 10, no. 2, pp. 211–216, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jpes/article/view/48885%0Ahttps://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jpes/article/download/48885/19777>.
- [5] R. Hasan Pramudito, H. Tolle, and W. S. Wardhono, "Pengembangan Aplikasi Mobile Pencatat Hasil Lomba Tembak Reaksi menggunakan Stop plate Sensor Getar berbasis Arduino," *J. Pengemb. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 10, pp. 3552–3561, 2020, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- [6] R. Hidayat, R. A. Darajatun, R. Setiawan, and V. P. Fahriani, "Alat Pengukur Kecepatan Lari Berbasis Mikrokontroler," *Barom. Unsika*, vol. 4, no. 1, pp. 167–173, 2019.
- [7] R. Rahmat, A. Rusdiana, A. Supriyatna, U. P. Indonesia, J. Setiabudhi, and N. Bandung, "Pengembangan Alat Ukur Kecepatan Lari," *J. Terap. Ilmu Keolahragaan*, vol. 01, no. 01, pp. 34–39, 2016.
- [8] A. Sanjaya, "Rancang Bangun Alat Perhitungan aktu Lomba Wall Climbing Berbasis Arduino," 2019.
- [9] F. Stapel, "Automated Grade Classification and Route Generation with Affordances on Climbing Training Boards," vol. 1, no. 1, pp. 1–27, 2017, [Online]. Available: http://essay.utwente.nl/94487/%0Ahttp://essay.utwente.nl/94487/1/Stapel_MA_EEMCS.pdf.
- [10] S. Hutaeruk, P. Siagian, and L. Sianturi, "Scoreboard wireless universal based on microcontroller," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 420, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/420/1/012052.
- [11] M. S. Rifki, D. Pranata, E. Sepdanius, and W. W. Dinata, "Pengembangan alat round count timer menggunakan wireless sensor untuk latihan kebugaran," *J. Sport Educ.*, vol. 4, no. 1, p. 19, 2021, doi: 10.31258/jope.4.1.19-29.
- [12] M. J. Michenthaler, "Automated scoring in climbing competitions," 2022, [Online]. Available: [https://web.archive.org/web/20220511070209id/_https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/20091/1/Mi chenthaler Maximilian - 2022 - Automated scoring in climbing competitions.pdf](https://web.archive.org/web/20220511070209id/_https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/20091/1/Michenthaler%20Maximilian%20-%20Automated%20scoring%20in%20climbing%20competitions.pdf).
- [13] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabet, 2008.
- [14] Product Reference Manual Arduino Mega 2560, "Target Areas," 2024. doi: 10.1016/S0140-6736(72)91649-2.
- [15] V. Semiconductors, "Vishay Semiconductors BLOCKING FILTER PARAMETER SYMBOL Vishay Semiconductors Reflective Optical Sensor with PARAMETER PARAMETER," *Pulse*. pp. 1–6, 2002.

Jurnal Riset Rekayasa Elektro

Volume 6 No 1 Juni 2024

1. KETENTUAN UMUM

Artikel yang diterima yaitu artikel yang belum pernah dipublikasikan dalam jurnal apapun berupa atau tidak dalam status telah diterima (accepted) untuk dipublikasikan

2. PETUNJUK PENULISAN

2.1. Diketik dengan spasi 1 dalam kertas ukuran A4 dengan jenis huruf Time New Roman 10. Tulisan yang akan dimuat menggunakan bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris yang baik.

2.2. Susunan artikel terdiri dari : Judul (Bahasa dan English), Nama Penulis, Abstrak (Bahasa dan English), Kata Kunci (maksimal 5), Pendahuluan, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima kasih (optional) dan Daftar Pustaka.

2.3. Ketentuan Penulisan Artikel :

- a. **Judul** : Judul dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris (Kapital setiap kata)
- b. **Nama Penulis** : ditulis lengkap tidak disingkat tanpa gelar, disertai nama dan alamat institusi, beserta email korespondensi
- c. **Abstrak** ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris, terdiri dari 100-250 kata dan memuat tentang : Latar belakang singkat jika ada, Tujuan dan atau ruang lingkup penelitian, Metode (singkat) yang digunakan, Ringkasan hasil /finding, Simpulan. Abstrak ditulis dengan font time new roman 9
- d. **Kata kunci** ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris, maksimal 5 kata
- e. **Pendahuluan** : berisi kondisi atau masalah yang melatar belakangi atau menginspirasi pelaksanaan kegiatan penelitian. Berisi kajian review literatur atau penelitian sebelumnya secara singkat. Data – data yang mendukung penelitian dari paper-paper yang lain dan paragraph terakhir berisi tujuan penelitian (tidak memuat tinjauan teori). Pernyataan kesenjangan (orisinalitas) atau kontribusi kebaruan (novelty statement) atau beda unik penelitian ini dibanding penelitian penelitian sebelumnya , juga dari sisi penting tidaknya penelitian tersebut dilakukan .
- f. **Metode Penelitian** : menguraikan cara yang digunakan untuk menyelesaikan masalah. Meliputi alat, bahan dan metode yang digunakan dalam pemecahan masalah
- g. **Hasil dan Pembahasan** : Menjelaskan tentang hasil atau luaran peneliti yang membahas tentang perbedaan antara hasil dengan teoritis ataupun dengan penelitian lain yang relevan. Penjelasan dapat menggunakan tabel, gambar dan *chart* yang memudahkan pembaca dalam memahami isi artikel.
- h. **Kesimpulan** : ditulis secara ringkas tetapi menggambarkan substansi kesimpulan hasil penelitian dan rekomendasi dari hasil penelitian. Kesimpulan menjawab permasalahan atau tujuan penelitian atau menghasilkan sebuah teori baru
- i. **Ucapan Terima Kasih** : ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak yang pantas , terutama kepada lembaga atau orang yang benar benar membantu penelitian , misalnya : kepada pemberi dana penelitian , fasilitas , bahan , atau saran
- j. **Daftar Pustaka** : Daftar pustaka dan citation ditulis dengan font time new roman 9. Daftar Pustaka disusun berdasarkan urutan sitasi dalam artikel dan diberi nomor, model *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Penulisan daftar pustaka dan sitasi harus menggunakan software reference manager (e.g. Mendeley) untuk memudahkan dalam editing dan review. Minimal 15 referensi