

ELECTRON

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro

ELEKTRONIKA, SISTEM KENDALI, TELEKOMUNIKASI, TEKNOLOGI
INFORMASI, TEKNIK KETENAGALISTRIKAN

VOLUME 05 NOMOR 01, Mei 2024



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BANGKA BELITUNG**



p-ISSN 2830-523X / e-ISSN 2622-6588

ELECTRON

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro



<https://jurnalelectron.org/index.php/electronubb> // <http://journal.ubb.ac.id/index.php/electron>

Dewan Redaksi

Ketua Redaksi

M. Yonggi Puriza, S.T., M.T.

Manajer Jurnal

Welly Yandi, S.Pd., M.T.

Penelaah Sejawat & Editor :

Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.

Arnawan Hasibuan, S.T., M.T., Ph.D.

Asmar, S.T., M.Eng.

Dara Aulia Feryando, S.T., M.T.

Deri Latika Herda, S.T., M.T.

Fardhan Arkan, S.T., M.T.

Frenzi Agres Yudithia, M.T.

Ghiri Basuki Putra, S.T., M.T.

Ir., Habib Satria, M.T, IPP

Hajjar Yuliana, S.T., M.T.

Hanalde Andre, S.T., M.T.

Handoko Rusiana Iskandar, ST., MT.

Imil Hamda Imran, S.T., M.Sc., Ph.D.

Iski Zaliman, S.Kom., M.Kom.

Jimmy Trio Putra, S.T., M.Eng.

Kiki Kananda, S.T., M.T.

Muhd Jumnahdi, S.T., M.T.

Rika Favoria Gusa, S.T., M.Eng.

Rizki Wahyu Pratama, S.T., M.T.

Sitti Amalia, M.T.

Swadexi Istiqphara, S.T., M.T.

Tianur, S.S.T., M.Eng.

Tri Ari Cahyono, S.Kom, M.Kom.

Tri Hendrawan Budianto, S.T., M.T.

Umar Faruq Vista, S.Kom., M.Kom.

Ir. Wahri Sunanda, S.T., M.Eng., IPM., A.Eng.

Yandi Anzari, S.Kom., M.Kom.

Yohanes Calvinus, S.T., M.T.

Almeera Amsana Rachmani

Staf Administrasi

Hendy, S.T.

Tirmayadi

Alamat Redaksi :

Gedung Dharma Penelitian

Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik

Kampus Terpadu Universitas Bangka BelitungBalunujuk, Kab.

Bangka, Prov. Kep. Bangka BelitungTelp. (0717) 4260033 ext.

2125, 2128

Laman Baru : <https://jurnalelectron.org/index.php/electronubb>

Laman Lama : <http://journal.ubb.ac.id/index.php/electron>

e-Mail 1 : jurnalelectron@ubb.ac.id

e-Mail 2 : jurnal.electron.ubb@gmail.com

Kata Pengantar

Jurnal Electron saat ini memasuki Volume 05 no. 1. May 2024.

Fokus dan ruang lingkup Jurnal Eelectron meliputi bidang Teknik Elektronika, Teknik Kontrol, Teknik Telekomunikasi, Teknik Informatika dan Informatika, dan Teknik Listrik/ Ketenagalistrikan baik dari berbagai akademisi maupun praktisi industri dari instansi pemerintah maupun swasta.

Harapan kami pada edisi selanjutnya akan lebih banyak memuat tulisan-tulisan ilmiah dari hasil penelitian dan hasil pemikiran penulis di luar lembaga sehingga menjadi wadah untuk membuka wacana ilmiah yang lebih luas.

Penghargaan setinggi-tingginya kami sampaikan kepada Penelaah Sejawat atau Reviewer, Dewan Redaksi, Penulis dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan dan penerbitan Jurnal Electron edisi ini. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan keilmuan di bidang Teknik Elektro pada khususnya dan Teknik pada umumnya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun tetap kami harapkan perbaikan dan perbaikannya demi kemajuan Jurnal Electron ini.

Salam Hangat

Ketua Redaksi Jurnal Electron



e-ISSN 2622-6588 / p-ISSN 2830-523X

ELECTRON

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro



<https://jurnalelectron.org/index.php/electron>

Daftar Isi

Pemanfaatan Guncangan sebagai Sumber Pembangkitan Listrik

Rizki Nurilyas Ahmad, Nafla Fillah Vania, Juwandito Rajendra W

1 – 7

Implementation Chatbot on Whatsapp Using Artificial Intelligence With Natural Language Processing Method (Eng.)

Putri Ariatna Alia, Rusina Widha Febriana, Johan Suryo Prayogo, Rony Kriswibowo

8 – 14

Design of Hybrid Learning in Classroom Using Web Camera and Website (Eng.)

Ghiri Basuki Putra, Fardhan Arkan, Asmar, Taqiyuddin

15 – 20

Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi Pressure Transmitter dengan Metode Zero Calibration

Laila Aida Fatimah, Rahmat Hidayat

21 – 29

Implementation of Text Processing Techniques on Citizen Opinions Regarding Floods in Surabaya (Eng.)

Rony Kriswibowo, Putri Ariatna Alia, Johan Suryo Prayogo, Rusina Widha Febriana

30 – 36

Analisis Sistem Kontrol Kecepatan Motor Menggunakan Inverter LS-SV004IG5A-4 pada Mesin CNC

Vincentius Kristian Putra, Dian Budhi Santoso

37 – 45

Desain dan Analisis Pencahayaan Gedung Bengkel Universitas Negeri Manado

Calvin Mamahit, Prayogi Pangestu

46 – 52

Sistem Peringatan Gempa Bumi pada Gedung Bertingkat Terintegrasi dengan Pintu Darurat Otomatis

Alfina Putri Mulyo, Endah Setyaningsih, Wahidin Wahab

53 – 58

Sistem HIPOI 1.0: Hidroponik Indoor Berbasis Internet of Things untuk Tanaman Selada dengan Teknik NFT

Musayyanah, Harianto, Yosef Richo Adrianto, Hardman Budiardjo

59 – 68

Sistem Prediksi Pergerakan Harga Valuta Asing Menggunakan Kecerdasan Buatan Metode SARSA

Vinsensius Reinard, Joni Fat, Suraidi

69 – 76

Rancang Bangun Sistem Deteksi Binatang Penyebab Gangguan Distribusi SUTM Berbasis IoT

Sofyan Rifai, Sri Ratna Sulistiyanti, Afri Yudamson, Emir Nasrullah

77 – 88



e-ISSN 2622-6588 / p-ISSN 2830-523X

ELECTRON

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro



<https://jurnalelectron.org/index.php/electron>

Sistem Kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) Menggunakan Mikrokontroler Arduino Pada Thinkercad

Ririn Solekha, Ulinnuha Latifa

89 – 97

Monitoring dan Kendali Sistem Penyiraman pada Cabai Merah dengan Aplikasi Android

Agus Sutiyana, Ulinnuha Latifa

98 – 105

IoT-Based Vaname Shrimp Pond Water Quality Monitoring Using the Quamonitor Tool (Eng.)

Marwana, Rosliana Eso, Husein

106 – 116

Rancang Bangun Teko Minum Pintar dan Sehat Berbasis Arduino dan Blynk Menggunakan Sensor Ultrasonik

M. Yonggi Puriza, Yandi Anzari, Welly Yandi, Habib Satria, Ghiri Basuki Putra, Fardhan Arkan, Almeera A. R.

117 – 123

Assessing Voltage and Frequency Instability in Renah Kemumu's Micro Hydro Power Plant (Eng.)

Dasrinal Tessel, Joko Candra, Abdul Manab, Dean Corio

124 – 129

Drowsiness Detection in the Advanced Driver Assistance System using YOLO V5 Detection Model (Eng.)

Muhammad Fauzan Ridho, Fransiskus Panca, Welly Yandi, Almeera A. R

130 – 137

Sistem Deteksi Pneumonia Paru-Paru dengan Pengolahan Citra Digital dan Machine Learning

Ilham Jawaz, Reni Rahmadewi

138 – 146

Pemanfaatan Guncangan sebagai Sumber Pembangkitan Listrik

Rizki Nurilyas Ahmad¹, Nafla Fillah Vania², Juwandito Rajendra W³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta; email: rna924@ums.ac.id, D400200091@ums.ac.id, D400200105@ums.ac.id

[Dikirimkan: 09 Januari 2024, Direvisi: 02 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Rizki Nurilyas Ahmad

INTISARI — Kebutuhan energi yang semakin meningkat tidak sejalan dengan ketersediaan sumber energi yang ada di alam, sehingga manusia dituntut untuk terus berinovasi mencari sumber energi alternatif, termasuk juga dengan pemanfaatan energi terbuang dari suatu sistem, yang kemudian energi terbuang tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk sistem lainnya. Penelitian mengenai pembangkit listrik portabel dengan sumber energi guncangan ini bertujuan untuk memanfaatkan energi yang terbentuk akibat adanya guncangan seperti ketika bersepeda melalui jalanan yang tidak rata, atau bahkan guncangan pada tas punggung ketika digunakan saat kita berjalan. Teori utama yang mendukung penelitian ini adalah teori Hukum Lenz dan Hukum Faraday. Hukum Lenz membahas mengenai arus akibat ggl induksi yang memiliki arah tertentu. Dalam Hukum Lenz dijelaskan bahwa arus induksi memiliki arah yang selalu menjauhi sumber medan magnet yang memengaruhinya. Pada Hukum Faraday, sumber energi yang dapat diproses untuk menghasilkan perubahan besarnya medan magnet terhadap waktu, berdasarkan pada kedua hukum tersebut, dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Listrik yang dibangkitkan pada penelitian ini masih sangat kecil, namun ada potensi yang perlu untuk dikembangkan lebih lanjut. Pembangkit yang digunakan pada penelitian ini ada dua jenis, pertama yaitu pembangkit dengan satu kumparan besar tunggal, kedua yaitu pembangkit dengan tiga kumparan yang terhubung seri antar-kumparannya. Pengujian tanpa beban menghasilkan tegangan terbangkit terbesar sebesar 2,07 volt pada frekuensi guncangan 240 BPM pada pembangkit dengan selongsong satu kumparan tunggal. Pengujian dengan beban menghasilkan daya terbangkit tertinggi pada saat 240 BPM yaitu sekitar 11,1 mW, dan tegangan terbesar 1,64 volt, pada selongsong satu kumparan tunggal.

KATA KUNCI — Energi alternatif, GGL Induksi, Guncangan, Hukum Faraday, Hukum Lenz, Pembangkit Listrik Portabel.

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber energi yang ada di alam semakin terbatas, sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat seiring berkembangnya kehidupan manusia. Manusia dituntut untuk terus berinovasi mencari sumber energi alternatif. Sumber energi alternatif dapat berasal dari berbagai hal, bahkan bisa jadi berasal dari hal-hal yang sebelumnya tidak terpikirkan oleh kita. Salah satu bentuk pemanfaatan sumber energi alternatif dapat berupa pemanfaatan energi terbuang dari suatu sistem, dan digunakan sebagai sumber energi untuk sistem lainnya. Penelitian mengenai pembangkit listrik portabel dengan sumber energi guncangan ini bertujuan untuk memanfaatkan energi yang terbentuk akibat adanya guncangan seperti ketika bersepeda melalui jalanan yang tidak rata, atau bahkan guncangan pada tas punggung ketika digunakan saat kita berjalan. Tidak terbatas pada dua contoh tersebut, guncangan yang terbentuk secara dua arah dapat dimanfaatkan dalam pembangkitan listrik, dengan memanfaatkan aplikasi sederhana dari Hukum Faraday dan Lenz. Listrik yang terbangkit nantinya dapat dimanfaatkan untuk keperluan-keperluan yang ringan, mengingat sistem yang akan diteliti pada penelitian ini memiliki skala yang kecil (bahkan mikro). Hasil penelitian yang diharapkan adalah data tentang tegangan, arus, serta daya listrik yang terbangkit, dan kemudian data-data tersebut akan dianalisis untuk mengetahui seberapa besar potensinya untuk dapat dikembangkan dan dimanfaatkan lebih jauh lagi.

Perkembangan teknologi mendorong konsumsi energi menjadi lebih besar. Pembangkitan energi listrik dari sumber energi yang terbuang (*waste energy harvesting*) menjadi alternatif yang di masa depan menjadi harapan untuk mewujudkan energi yang bersih dan berkelanjutan [1], [2], [3], [4], teknologi yang menunjang pun sudah mulai dikembangkan [5], [6], [7]. Sumber energi tersebut dapat berasal dari berbagai macam aktivitas, kegiatan, atau fenomena alam, seperti tetes air hujan, aliran air dalam pipa air rumah tangga, pengereman kendaraan, dan lain sebagainya [8], [9], [10], [11], [12]. Berbagai jenis sumber energi tersebut, ketika bisa ditangkap sebagai suatu energi kinetik, dapat dijadikan sebagai sumber energi penggerak turbin pada generator konvensional [13]. Bagaimana suatu energi diolah, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, merupakan pembahasan yang sangat penting. Hal tersebut dikarenakan produk teknologi membutuhkan sumber energi untuk dapat bekerja. Suatu sistem atau peralatan, bekerja dengan membutuhkan energi dan menghasilkan suatu keluaran, apakah itu berupa sinyal, gerakan, dan lain sebagainya, dan seringkali menghasilkan keluaran yang sebenarnya tidak diinginkan atau bisa juga disebut sebagai *losses* atau rugi-rugi. Dalam melakukan aktivitas sehari-hari pun, kita dapat menghasilkan rugi-rugi gerak/mekanis, yang sebenarnya rugi-rugi tersebut dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Guncangan yang dihasilkan dari aktivitas kita seperti saat berjalan, bersepeda, berolahraga, dan lain sebagainya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk membangkitkan listrik, meskipun pada konteks ini, energi listrik yang dapat dibangkitkan masih kecil, sesuai dengan energi yang terdapat pada guncangan tersebut. Permasalahan pada rendahnya daya maupun tegangan yang terbangkit dapat diatasi dengan penggunaan perangkat elektronika daya [14]. Dengan memanfaatkan energi mekanis dari guncangan untuk menghasilkan gerakan magnet mendekati-menjauhi kumparan kawat tembaga, dengan memanfaatkan aplikasi sederhana dari Hukum Faraday dan Lenz, maka energi mekanis dari guncangan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

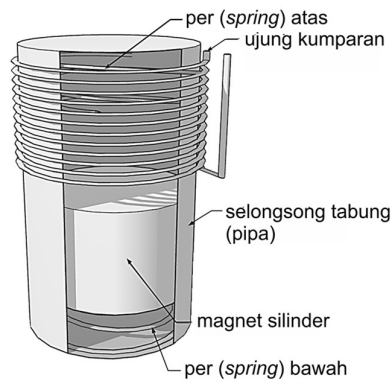
II. GUNCANGAN SEBAGAI SUMBER ENERGI

Perkembangan teknologi mendorong konsumsi energi menjadi lebih besar. Hal tersebut dikarenakan produk teknologi membutuhkan sumber energi untuk dapat bekerja. Suatu sistem atau peralatan bekerja membutuhkan energi dan menghasilkan suatu keluaran, apakah itu berupa sinyal, gerakan, dan lain sebagainya, dan Hukum Faraday atau Hukum induksi Faraday menjelaskan mengenai gaya gerak listrik induksi atau disingkat sebagai ggl induksi, yaitu terbangkitnya listrik akibat adanya induksi medan magnet pada konduktor. GGL induksi yang terbangkit merupakan fungsi dari jumlah kumparan konduktor dikalikan dengan perubahan fluks magnet pada kumparan konduktor tersebut. Hukum Faraday tidak menjelaskan secara rinci arah dari arus akibat ggl induksi, penjelasan mengenai hal tersebut dilengkapi pada Hukum Lenz [15]. Hukum Lenz membahas mengenai arus akibat ggl induksi yang memiliki arah tertentu. Dalam Hukum Lenz dijelaskan bahwa arus induksi memiliki arah yang selalu menjauhi sumber medan magnet yang memengaruhinya [16]. Dengan adanya kedua hukum yang saling melengkapi tersebut, maka dapat menjadi dasar analisis pada arah arus listrik bolak-balik (*alternating current* / AC) [17], [18]. Pada pembahasan listrik arus searah (*direct current* / DC) hal tersebut dapat dikesampingkan, dengan penggunaan perangkat penyearah listrik. Pada suatu sistem dengan listrik searah, arah aliran arus listrik dapat diatur menjadi tetap [19].

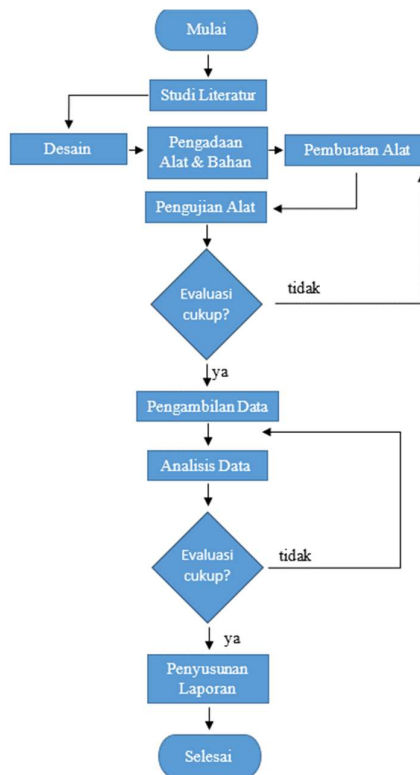
Sumber energi yang dapat diproses untuk menghasilkan perubahan medan magnet, berdasarkan pada kedua hukum tersebut, dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Pembangkit listrik dengan sumber energi dari gerakan mekanis dua arah yang menyerupai guncangan, dapat dilihat pada pemanfaatan gelombang air laut untuk pembangkitan listrik. Pada pembangkit listrik dengan sumber energi gelombang air laut, yang dimanfaatkan adalah gerakan air laut yang naik dan turun [20], sehingga disebut di sini sebagai gerakan mekanis dua arah. Pemanfaatan gelombang air laut ini merupakan contoh pemanfaatan gerakan mekanis dua arah dalam skala yang besar, dapat dibangun dengan sistem pelampung [21], [22] maupun sistem osilasi kolom air (*oscillating water column*) [23], yang mana kedua sistem tersebut sama-sama memanfaatkan gerak naik dan turun air laut. Pemanfaatan gerak mekanis dua arah juga dapat ditemukan pada pembangkit listrik dengan polisi tidur atau *speedbump*. Ketika kendaraan yang lewat melintas *speedbump*, maka *speedbump* akan tertekan ke bawah, dan ketika kendaraan sudah lewat, maka *speedbump* akan kembali pada kondisinya semula [24].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan menyiapkan seluruh alat dan bahan yang dibutuhkan. Ketika seluruh alat dan bahan telah siap, maka dapat dimulai proses perakitan alat. Proses perakitan alat sendiri dilakukan secara manual, dengan beberapa alat yang tersedia di laboratorium Teknik Elektro UMS. Proses perakitan alat tidak berhenti hanya sampai alat selesai dirakit, melainkan hingga proses ujicoba selesai dilaksanakan. Hal ini dikarenakan, umumnya dalam perakitan alat, ada hal-hal yang sifatnya *trial and error* dan perlu dilakukan beberapa kali penyesuaian.



Gambar 1. Desain pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi dari guncangan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Pengujian alat dilakukan dengan dua kondisi, kondisi pertama yaitu alat terdiri dari satu kumparan besar, dan kondisi kedua yaitu alat terdiri dari 3 kumparan kecil yang terhubung seri. Jumlah total lilitan pada dua kondisi kumparan tersebut adalah sama banyak. Dari kedua kondisi tersebut, data hasil pengujian dicatat dan kemudian dianalisis lebih lanjut. Dari hasil analisis dan evaluasi atas data pengujian, akan diputuskan apakah pengujian sudah cukup ataukah perlu dilakukan penyesuaian alat dan dilakukan ujicoba kembali.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian telah dilakukan dengan beberapa kondisi. Kondisi pembebanan terdiri dari pengukuran tanpa beban dan pengukuran ketika pembangkit dibebani. Pembangkit yang digunakan terdiri dari dua model, yang pertama yaitu pembangkit dengan satu kumparan besar tunggal, dan yang kedua yaitu pembangkit dengan tiga kumparan yang lebih kecil yang saling terhubung seri. Masing-masing model selongsong tabung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Data hasil penelitian berupa tegangan, arus, dan daya yang terbangkit telah dicatat dan dijabarkan sebagai berikut pada Tabel I dan Tabel II.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN PEMBANGKIT KUMPARAN TUNGGAL

Frekuensi Guncangan (BPM)	Kondisi		
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
	Tegangan (V)	Tegangan (V)	Daya (mW)
60	0,57	0,5	1,02
90	1,04	0,7	1,97
120	1,39	1,08	4,77
150	1,47	1,18	5,72
180	1,61	1,43	8,4
210	1,55	1,5	9,23
240	2,07	1,64	11,11

TABEL II
HASIL PENGUJIAN PEMBANGKIT 3 KUMPARAN TERHUBUNG SERI

Frekuensi Guncangan (BPM)	Kondisi		
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
	Tegangan (V)	Tegangan (V)	Daya (mW)
60	0,41	-	-
90	0,5	-	-
120	0,59	-	-
150	0,61	-	-
180	0,73	-	-
210	0,75	-	-
240	0,8	-	-

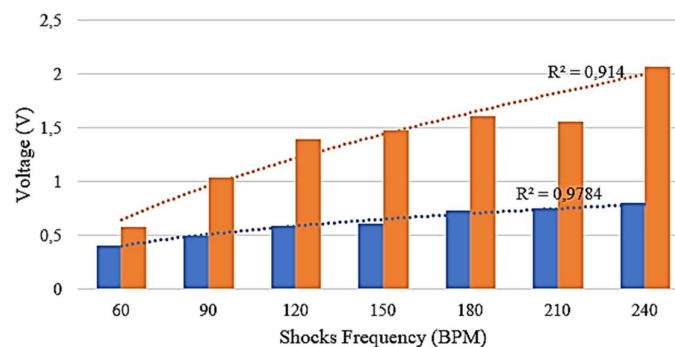


(a) (b)

Gambar 3. Solongsong tabung (a) dengan kumparan tunggal dan (b) dengan tiga kumparan yang terhubung seri.

A. PENGUJIAN TANPA BEBAN

Pengujian tanpa beban dilakukan pada dua kondisi pembangkit, kondisi pertama yaitu pembangkit dengan satu kumparan besar tunggal, dengan jumlah lilitan sebanyak 180 lilit dan berlapis sebanyak 4 lapisan, dan kondisi kedua yaitu pembangkit dengan tiga kumparan kecil yang dihubungkan seri, dengan jumlah lilitan sebanyak 60 x 3 dan masing-masing berlapis sebanyak 4 lapisan, sehingga jika dihitung secara total maka jumlah lilitan pada kedua kondisi pembangkit tersebut adalah sama. Magnet yang digunakan pada pembangkit juga disesuaikan dengan jumlah kumparannya, jika pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal menggunakan 12 keping magnet neodim yang disatukan, maka pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri pada masing-masing kumparan menggunakan 4 magnet neodim yang disatukan. Pada pengujian tanpa beban terhadap dua pembangkit dengan kondisi tersebut, didapatkan hasil sebagaimana disajikan pada Gambar 4, Voc(s) adalah tegangan terbangkit tanpa beban pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri, dan Voc(t) adalah tegangan terbangkit tanpa beban pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal.



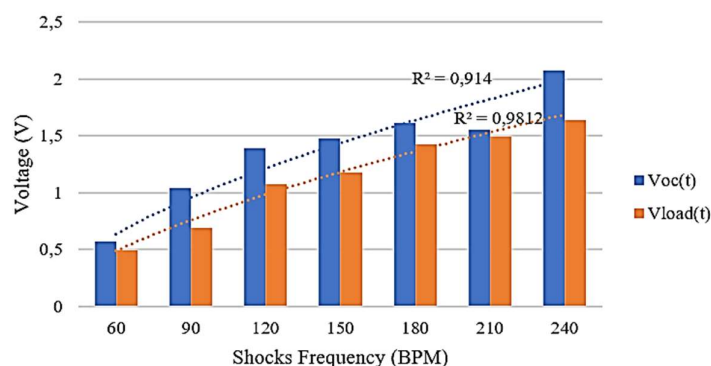
Gambar 4. Tegangan terbangkit (tanpa beban).

Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa tegangan terbangkit pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit dengan satu kumparan tunggal. Selisih tegangan terbangkit tersebut dapat

diakibatkan karena berkurangnya jarak efektif pergerakan magnet pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri, sehingga perubahan besarnya flux magnet terhadap waktu pada masing-masing kumparan berkurang. Selain itu juga dipengaruhi oleh ketidakrataan besarnya flux magnet pada masing-masing keping magnet yang digunakan. Kedua grafik tegangan tersebut menampilkan tren yang mirip, yaitu grafik tidak linier yang semakin landai pada frekuensi guncangan yang semakin tinggi. Hal tersebut diakibatkan oleh berkurangnya jarak efektif pergerakan magnet, secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika magnet memantul pada salah satu sisi, maka untuk mendapatkan perubahan flux magnet yang maksimal magnet tersebut perlu memantul di sisi lainnya. Ketika magnet belum sampai di ujung sisi lainnya, namun arah gerakan selubung pembangkit sudah berbalik, maka jarak maksimal tersebut tidak tercapai, sehingga menyebabkan pembangkitan listrik tidak maksimal. Dari hasil pengukuran, tegangan terbangkit pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal sebesar 2,07 volt, dan pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri sebesar 0,798 volt, yang didapatkan pada frekuensi guncangan sebesar 240 BPM (*bit/cycle per minute*).

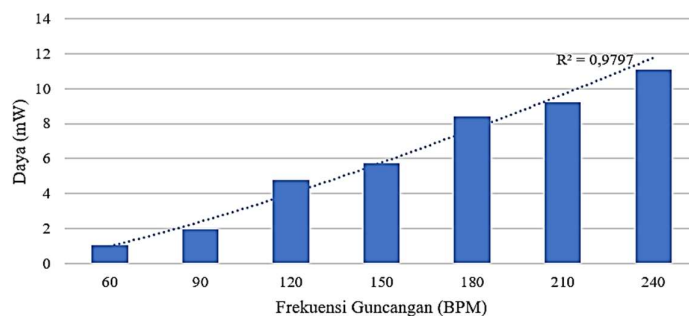
B. PENGUJIAN DENGAN BEBAN

Dari hasil pengujian tanpa beban, dapat dilihat bahwa potensi pembangkitan listrik pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal lebih besar, sehingga pengujian dengan beban ini hanya dilakukan untuk pembangkit dengan satu kumparan tunggal. Pengujian dengan beban ini dilakukan dengan memberikan beban berupa resistor sebesar 250 ohm yang disusun dari empat buah resistor 1000 ohm yang dihubungkan secara paralel. Ketika dilakukan pengukuran menggunakan multimeter, nilai resistor tersebut terbaca 242,5 ohm.



Gambar 5. Tegangan terbangkit (dengan beban).

Data hasil pengujian pembangkit ketika diberi beban dapat dilihat pada Gambar 5, Voc(t) merupakan tegangan terbangkit tanpa beban, dan Vload(t) merupakan tegangan pembangkit dengan beban, pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal. Rata-rata selisih antara Voc(t) dengan Vload(t) adalah sebesar 0,24 volt. Selisih tegangan ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir ketika pembangkit dibebani. Adanya arus yang mengalir tersebut, menyebabkan muncul rugi-rugi pada konduktor, selain itu karena daya yang terbangkit kecil maka akan menyebabkan penurunan (drop) tegangan pada terminal pembangkit. Data daya terbangkit pada pembangkit tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Daya listrik terbangkit.

Data daya listrik yang terbangkit memperlihatkan bahwa semakin tinggi frekuensi guncangan maka semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan. Pada penelitian ini didapatkan daya terbangkit tertinggi pada saat 240 BPM yaitu sekitar 11,1 mW, dan tegangan terbesar 1,64 volt. Daya terbangkit tersebut masih sangat kecil, namun tren pada grafik daya pada Gambar 6 menunjukkan bahwa ada potensi untuk dapat menghasilkan daya yang lebih besar lagi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal. Energi akibat guncangan dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkitan listrik. Penggunaan pembangkit dengan satu kumparan tunggal menghasilkan tegangan listrik terbangkit yang lebih besar. Daya listrik yang terbangkit berbanding lurus dengan besarnya frekuensi guncangan. Terjadi penurunan tegangan ketika pembangkit diberi beban. Pemanfaatan energi akibat guncangan sebagai pembangkit listrik dapat bervariasi, tergantung bagaimana proses rekayasa yang dikehendaki. Pengujian tanpa beban menghasilkan tegangan terbangkit terbesar sebesar 2,07 volt pada frekuensi guncangan 240 BPM pada pembangkit dengan selongsong satu kumparan tunggal. Pengujian dengan beban menghasilkan daya terbangkit tertinggi pada saat 240 BPM yaitu sekitar 11,1 mW, dan tegangan terbesar 1,64 volt, pada selongsong satu kumparan tunggal.

Berdasarkan pada beberapa kendala dan pengamatan peneliti dalam penelitian ini, maka dapat disarankan beberapa hal. Proses melilit kumparan tembaga dapat dilakukan dengan lebih rapih dan kencang. Selubung silinder dapat diganti dengan bahan lain yang lebih efektif dalam melewati flux magnet dari magnet neodimium menuju ke kumparan. Pembangkit dapat menggunakan magnet dengan flux yang lebih tinggi. Pemberian pelumas untuk meminimalkan gesekan pada komponen yang bergerak/bergesekan. Penggunaan per/spring yang lebih baik agar pergerakan magnet lebih efisien.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dana untuk melaksanakan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini serta kepada tim Jurnal Electron.

REFERENSI

- [1] K. S. Shibib, H. I. Qatta, and S. I. Younis, "Harvesting Energy by Solar Thermo-Electric Generation in Tropical Regions," *J Phys Conf Ser*, vol. 1973, no. 1, p. 012162, Aug. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1973/1/012162.
- [2] P. Carneiro *et al.*, "Electromagnetic energy harvesting using magnetic levitation architectures: A review," *Appl Energy*, vol. 260, p. 114191, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114191.
- [3] H. Liu, H. Fu, L. Sun, C. Lee, and E. M. Yeatman, "Hybrid energy harvesting technology: From materials, structural design, system integration to applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110473, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110473.
- [4] R. Edwards and C. Gould, "Review on micro-energy harvesting technologies," *Proceedings - 2016 51st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2016*, vol. 2017-January, pp. 1-5, Jul. 2016, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114023.
- [5] S. Sharma, R. Kiran, P. Azad, and R. Vaish, "A review of piezoelectric energy harvesting tiles: Available designs and future perspective," *Energy Convers Manag*, vol. 254, p. 115272, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2022.115272.
- [6] T. Sun, B. Zhou, Q. Zheng, L. Wang, W. Jiang, and G. J. Snyder, "Stretchable fabric generates electric power from woven thermoelectric fibers," *Nat Commun*, vol. 11, no. 1, p. 572, 2020, doi: 10.1038/s41467-020-14399-6.
- [7] C. Li, G. Li, Y. Xin, and B. Li, "Mechanism of a novel mechanically operated contactless HTS energy converter," *Energy*, vol. 241, p. 122832, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122832.
- [8] X. Li *et al.*, "Stimulation of ambient energy generated electric field on crop plant growth," *Nat Food*, vol. 3, no. 2, pp. 133-142, 2022, doi: 10.1038/s43016-021-00449-9.
- [9] S. G. Gembali, A. N. B. Rao, and H. Naresh, "Design and Experimental Analysis of Electro Magnetic Braking System," *Mater Today Proc*, vol. 45, pp. 2833-2839, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.11.806.
- [10] H. Wu, N. Mendel, D. van den Ende, G. Zhou, and F. Mugele, "Energy Harvesting from Drops Impacting onto Charged Surfaces," *Phys Rev Lett*, vol. 125, no. 7, p. 78301, Aug. 2020, doi: 10.1103/PhysRevLett.125.078301.
- [11] R. N. Ahmad, M. Facta, and I. Setiawan, "Electrical generation from waste energy in running water of household plumbing," *AIP Conf Proc*, vol. 2683, no. 1, p. 020012, May 2023, doi: 10.1063/5.0133123.
- [12] R. N. Ahmad, D. L. Hardianto, and A. Abimanyu, "Screw Turbine in In-pipe Hydroelectric Power Generation," *E3S Web Conf.*, vol. 359, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235901003>
- [13] H. Pan, L. Qi, Z. Zhang, and J. Yan, "Kinetic energy harvesting technologies for applications in land transportation: A comprehensive review," *Appl Energy*, vol. 286, p. 116518, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.116518.
- [14] R. N. Ahmad, M. Facta, and I. Setiawan, "Topology and Performance of DC Multi Converter for Multi Mini Hydro-Generator," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 4, Nov. 2022, doi: 10.22146/jnteti.v11i4.4343.
- [15] C. Gertshen, H. O. Kneser, and H. Vogel, *Fisika: Listrik, Magnet, dan Optik*. Jakarta: Pusat Pembinaan dan Pembangunan Bahasa, 1996.
- [16] Mikrajuddin. Abdullah, *Fisika Dasar II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2017.
- [17] H. J. Ha, T. Jang, and S. H. Sohn, "Currents induced in a circular loop by an oscillating magnet," *Phys Educ*, vol. 57, no. 6, p. 065013, 2022, doi: 10.1088/1361-6552/ac8a86.
- [18] L. Xiaozhao, Z. Yang, W. Yuhao, J. Lei, and W. Zhengqi, "Magnetic Field Simulation Analysis of New Type Coil-type Axial Magnetic," in *2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, 2020, pp. 337-340. doi: 10.1109/AEECA49918.2020.9213529.
- [19] R. A. R. TRICKER, "CHAPTER IV - The Logical Status of the Law of Electromagnetic Induction," in *The Contributions of Faraday and Maxwell to Electrical Science*, R. A. R. TRICKER, Ed., Pergamon, 1966, pp. 41-73. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1359-0.50007-6>.
- [20] A. Ismanto *et al.*, "The Potential of Ocean Current as Electrical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia," vol. 4, pp. 126-133, May 2019, doi: 10.25046/aj040615.
- [21] M. Ulum, "Studi Experimental Energi Bangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Model Pelampung Silinder," *Jurnal IPTEK*, vol. 22, no. 1, 2018.

- [22] H. Haryadi and S. Sugianto, "Studi Numerik Gaya Angkat terhadap Pelampung pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut," in *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2018.
- [23] L. A. Mardiansyah, A. Ismanto, and W. B. Setyawan, "Kajian Potensi Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan Sistem Oscilating Water Column (OWC) Di Perairan Pantai Bengkulu," *J Oceanogr*, vol. 3, no. 3, p. 328337, Aug. 2014.
- [24] A. Suryadi, E. A. Nugroho, and P. T. Asmoro, "Pemanfaatan Speed Bump sebagai Pembangkit Listrik Energi Alternatif," in *Seminar Nasional Teknoka*, Jakarta: Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA), Nov. 2019.

Implementation Chatbot on Whatsapp Using Artificial Intelligence With Natural Language Processing Method

Putri Ariatna Alia¹, Rusina Widha Febriana², Johan Suryo Prayogo³, Rony Kriswibowo⁴

^{1,2,3,4} Universitas Anwar Medika ; email: putriariatna@gmail.com, rusina.widha@uam.ac.id, jodimasjolic@gmail.com, Rony.kriswibowo@uam.ac.id

[Received: 10 February 2024, Revised: 29 April 2024, Accepted : 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Putri Ariatna Alia

ABSTRACT — The rapid growth of technology in Indonesia has caused a shift in human habits, one of which is communication. Currently, communication uses social media more often. According to research conducted by social researchers in 2023, Internet users aged 16–64 years 92.1% use WhatsApp as a long-distance communication medium. So that this is the reason why business conversations switch to using whatsapp social media. In the business process, meetings between buyers and sellers are needed so that buyers can ask about the products they will buy before the goods are purchased by the buyer. Whatsapp is one of the solutions to this problem, but the meeting is virtual. The questions asked by several buyers about the items they want to buy are usually almost the same so the chatbot comes as a solution so that the seller does not have to answer repeatedly for the same questions asked by different buyers. Previous services used admin assistance to answer buyer questions, but this was considered less efficient because buyers could not receive answers to questions quickly, because the admin had another line of work, namely packing goods. Chatbot can answer questions in real time, so that buyers can receive information directly without waiting. The research method used is the Waterfall System Development Life Cycle (SDLC) which has four stages, namely analysis, design, coding and testing and uses the User Acceptance Testing (UAT) application testing technique. In this study, in the results of the questionnaire sent to buyers stated that the service using the chatbot average index of 3.71. These results show that the chatbot system is feasible and effective in helping customers obtain the information needed

KEYWORDS — Chatbot, Whatsapp, Natural Language Processing, Business, System Development Life Cycle

I. INTRODUCTION

In the growing digital age, chatbot technology has become one of the preferred solutions in providing efficient and responsive customer service. With its ability to interact with users in natural language, chatbots are able to provide fast and accurate services, improving the overall user experience.[1], [2] One of the most popular communication platforms used by the global community is WhatsApp, with millions of active users every day [3].

Chatbots have become one of the increasingly popular applications in various communication platforms, including WhatsApp. In this study, we introduce a chatbot system implemented on the WhatsApp platform using Natural Language Processing (NLP) methods. [2]The goal of this research is to build a chatbot that is able to understand and respond appropriately to user messages in natural language [4].

The application of chatbots on the WhatsApp platform is becoming increasingly relevant, allowing organizations and businesses to provide better and more efficient customer service through a channel that is familiar and used by many[5]. On the other hand, developing a chatbot capable of operating in an environment like WhatsApp requires a careful approach, especially in understanding and responding to user messages in natural language [2].

The application of the System Development Life Cycle (SDLC) in the development of a chatbot on the WhatsApp platform using the Natural Language Processing (NLP) method involves a series of structured steps to ensure that development runs efficiently and effectively [6]. Among them are Requirements Gathering, Planning, Analysis, Design, Development, Test, Implementation, Maintenance and Support [7].

In this work to implement a chatbot into WhatsApp using the Software Development Life Cycle (SLDC) method. When the chatbot has been implemented, the questions given by the user to the chatbot, it may be that not all questions can be answered because there are differences in writing uppercase and lowercase letters, there are conjunctions that are not in the questions stored by the chatbot, so the Natural Language Processing (NLP) method is needed to overcome these problems [8]. This method allows the chatbot to accurately process and understand user messages, and provide relevant responses according to user needs. [9]We believe that implementing a chatbot on WhatsApp using artificial intelligence can provide significant benefits in improving communication efficiency, expanding service reach, and improving overall user experience [10].

A. NATURAL LANGUAGE PROCESSING

Natural Language Processing (NLP) is one of the fields of computer science, which is related to artificial intelligence, and language (linguistics) which deals with the interaction between computers and natural human languages, such as Indonesian, English, and even Javanese. In a broad sense to cover any kind of computer manipulation of natural languages [11]. Furthermore, it can be as simple as counting word frequencies to compare different writing styles. On the other hand, NLP involves a complete "understanding" of human speech, at least capable of providing useful responses to the user [11]. NLP-based technologies are becoming increasingly widespread. For example, phones and handheld computers support text prediction and handwriting

recognition; web search engines provide access to information locked in unstructured text; machine translation allows us to take text written in Chinese and read it in Spanish [12]. By providing more natural human-machine interfaces, and more sophisticated access to stored information, language processing has played a central role in the multilingual information society [13]. Through this research, we hope to contribute to the development of more advanced and responsive chatbot technology, as well as expand the application of artificial intelligence in various digital communication contexts. Thus, this research is not only a valuable scientific contribution, but can also have a significant practical impact in improving customer service and user experience within the WhatsApp platform [14].

B. SYSTEM DEVELOPMENT LIFE CYCLE (SDLC)

SLDC is a structured process such as creating and changing systems, methods, and models, which allows engineers and developers to produce high-quality software at low cost, in the shortest possible production time. it is a stage or method used to create software with the aim of producing superior software that meets and exceeds all customer expectations and requests. SLDC is designed so that the software production process can be done in a short time and does not incur too much cost. The software will be made by going through several stages, including planning, software design such as architectural design, development, testing, and deployment.

1) Planning

At this stage, the development team gathers opinions or input from stakeholders involved in the production project, including customers, sales, internal and external experts, and developers. The input will be collected to help the software creation process so that the output produced is in accordance with expectations and needs.

2) Software design

The design stage is the stage where developers make changes to the software specifications into a design plan or referred to as the Design Document Specification (DDS).

3) Development stage

This SLDC stage is where the real software development begins. It is important to collect all approvals from developers against the existing blueprint. If in the previous stage the design was done in great detail, this development stage can be a difficult stage.

4) Testing phase

This stage is a fairly important stage, where the software that has been developed will be evaluated by the testing team, whether the software meets the requirements or not, according to what was determined in the planning stage. These tests include; functional testing, unit testing, code quality testing, system testing, security testing, performance testing, and non-functional testing.

5) Deployment stage

At this stage, the goal is to deploy the successfully created software to the production environment so that users can start using the product.

II. METODOLOGY

In Figure 1 the user will start the conversation by opening the whatsapp application, and the chatbot will be implemented into whatsapp to answer the buyer's questions. When the buyer sends a message, the system will read the message and perform normalization to make it easier for the system to understand the meaning of the message received. with chatbot. Chattbot is created with a database of questions and answers in it. So that when customers ask questions to the chatbot, it will be matched with questions in the database, so that the chatbot will issue the right answer. In this research using the natural language processing method, the following is the process carried out by the implementation of natural language processing.

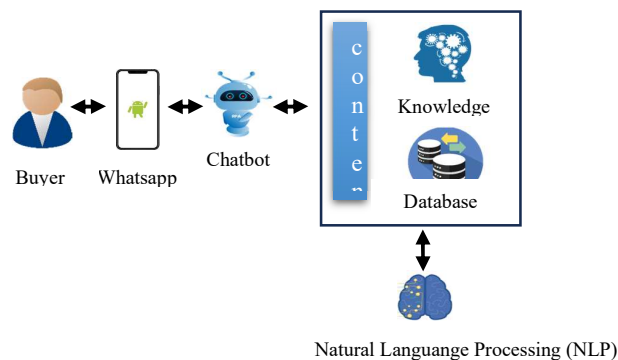


Figure 1. Design Framework of AI Chatbot

Figure 1 explains that customers who want to communicate with the seller must enter the seller's WhatsApp number to send a message, so that it will be connected directly to the Chatbot, the message will be received by the system and then matched with the pattern that already exists in the Knowledge Base. Messages that match the knowledge base will be linked to answers that are already available in the database [15]. If the message sent by the buyer is not included in the knowledgebase, the database will not display the answer according to the data stored in the database [16]. The user sends a text message to the bot account through the

whatsapp server and forwards it to the bot server. The bot server processes the message so that it can provide the correct response to the user in the form of a text message. The response is sent to the user via whatsapp [17].

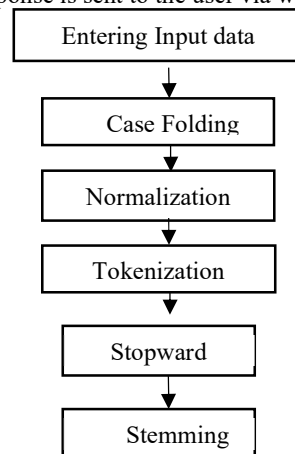


Figure 2. Process of Natural Language Processing

From the plan in Figure 2, the stages can be explained as follows:

1. Sentence Input, Input to this system is of course in the form of keywords with simple sentences that will be submitted by users to the next process system that will be run using natural language processing methods in checking the sentences to be entered.
2. Case Folding, at this stage, converts all characters in the text into lowercase or uppercase, depending on the preferences or specific needs of the application. Texts in natural languages often have variations in the use of uppercase and lowercase letters, which can cause ambiguity in text processing. For example, the same word in a text may be capitalized at the beginning of a sentence or lower-cased in the middle of a sentence. In some cases, such as text classification or feature extraction in Natural Language Processing it is important to treat words with upper and lower case as identical, so case folding helps to equalize the representation of the same words.
3. Normalization in this process is to convert or normalize text into a standard form that is easier for computers to process and understand. The main purpose of normalization is to reduce variation and ambiguity in the text so as to facilitate subsequent stages of text analysis and processing.
4. Sentence Input, Input in this system is of course in the form of keywords with simple sentences that will be submitted by users to the next process system that will be run using Natural Language Processing methods in checking the sentences to be entered.
5. Case Folding, at this stage, converting all characters in the text to lowercase or uppercase, depending on the preferences or specific needs of the application. Texts in natural languages often have variations in the use of uppercase and lowercase letters, which can cause ambiguity in text processing. For example, the same word in a text may be capitalized at the beginning of a sentence or lower-cased in the middle of a sentence. In some cases, such as text classification or feature extraction in Natural Language Processing, it is important to treat words with upper and lower case as identical, so case folding helps to equalize the representation of the same words.
6. Normalization in this process is to convert or normalize text into a standard form that is easier for computers to process and understand. The main purpose of normalization is to reduce variation and ambiguity in the text so as to facilitate subsequent stages of text analysis and processing.
7. Tokenization is the process of dividing text into smaller units called tokens. Tokens can be separate words, phrases, or characters depending on the desired level of granularity. The purpose of tokenization is to separate text into units that can be processed more easily. The types of tokenization application are Word Tokenization: In word tokenization, the text is divided into tokens based on spaces or whitespace characters. Each token represents one word in the text. Phrase Tokenization: In phrase tokenization, the text is divided into tokens based on phrases or specific sequential units. Character tokenization divides text into tokens based on single characters.
8. Stopword Removal is serves to sort out important words in the tokens generated by the previous process. The stopword list is recorded in a table using the stopword list used in this research by Tala (2003), namely Indonesian stopwords, which include words such as: "ini", "itu", "yang", "ke", "di", "di", "ke", and so on.
9. Stemming is the process of forming base words. The terms obtained from the stopword elimination step are derived. step are derived. The actual process is to generate keywords because these keywords provide more relevant documents / information
10. The result that will be issued in this system is the answer to the user's question in the form of a correct or incorrect answer (no answer found). Next, system planning will be carried out, where the methods and data that have been obtained will be designed, so that during the system development process it will be easier to implement into the application. Then the system development will be carried out based on the system design that has been made. The finished design is then implemented into an application.

III. RESULT AND DISSCUSSION

This research data in the form of datasets is taken and collected from the Ariatna Hijab online shop that sells via online using whatsapp social media, the data. [18] in the form of FAQs containing questions and information about the buying and selling process carried out by Ariatna Hijab buyers who are often asked. To run the system, the user inputs a sentence into the Whatsapp chat application The chatbot interface that has been built is shown in Figure 3. The result of the Chatbot system is the process of searching for answers and conversations that are carried out. Several scenarios are discussed. The scenarios are used to match the input and the expected output. The scenarios are shown in Table 1.

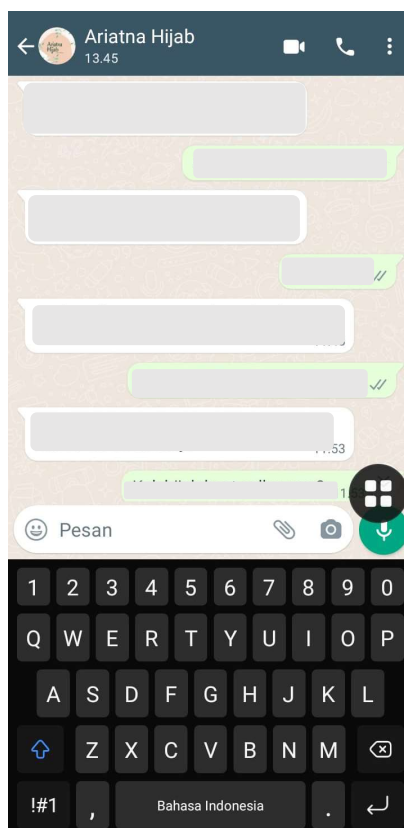


Figure 3. Interface Chatbot

Based on the results of the chat built, a system that is able to provide answers based on input from buyers is obtained. When buyers use Chatbot for the first time [19]. Questions that can be answered by chatbots are limited to information on the list of products sold, information related to customer complaints, complaints, the process of returning goods, and the system to become a reseller. Chatbot development using natural language processing methods produces good results. The chatbot system built in this study failed to respond when there was a typo or typo in the input entered by the user [20].

TABLE 1. CHATBOT TESTING

No	Input	Response	Description	Status
1.	Ariatna hijab	Hari ini Ariatna hijab 14.20 ✓✓ Halo, Selamat datang di Ariatna Hijab, Kami menjual 1. Jilbab Segi4 2. Jilbab Instan 14.20	Testing the first time with Chatbot, to be able to see the display like the picture beside is accessing https://wa.me/+6281998718935	Success
1.	1	1 14.27 ✓✓ Hijab Segi4 1. Bella Square 2. Azahra 14.27	The first step in enquiring about the products of the items in the list and the results are out.	Success

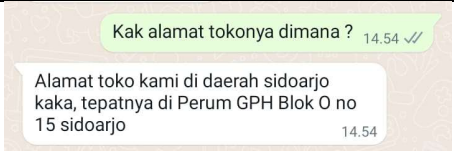
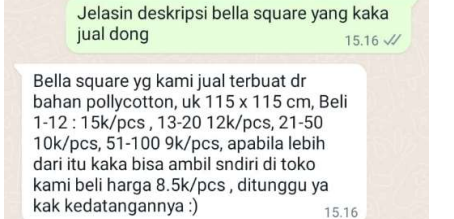
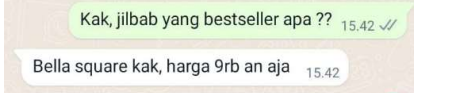
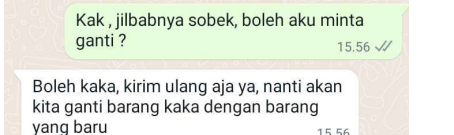
2.	“Kak, alamat tokonya dimana ?”		The question about the store address was a general question, so the researcher chose the input sentence “Kak, alamat tokonya dimana?” then Chatbot will provide answers in the form of complete address information from the ariatna hijab shop.	Success
3.	“Kak, toko buka jam berapa ?”		Research on store opening hours enquiry, displaying offline store operating times.	Success
4.	“Jelaskan deskripsi bella square yang kaka jual dong”		The question asked for a description of the bella square sold by the shop and the bot answered about the ingredients and selling price.	Success
5.	“Kak, barangku sampai mana ?”		Choose “kata, kak barangku sampai dimana ?” will still produce the desired answer even though the question is recorded in the database “kak, barangku sampai dimana ?” the use of commas can be eliminated because it uses natural language processing methods.	Success
6.	“Kak, aku mau retur bisa ?”		Question “kak, aku mau retur bisa ?”, then the bot will answer according to the return of goods in accordance with the procedure.	Success
7.	“Kak, jilbab yang bestseller apa ??”		Question “kak, jilbab yang bestseller apa ??” The question is still directly answered by the bot even though there are 2 question marks “??” so that the buyer can receive a direct answer.	Success
8.	“Kak, minta pricelist ariatna hijab “		Generally, buyers ask the price before the buyer comes to buy the goods directly, so the seller asks to answer the wholesale and retail prices.	Success
9.	“kak, jilbabnya sobek, boleh aku minta ganti ?”		The system of returning goods if you want to exchange can be accepted by the seller if there is damage and not later than the day the goods are received.	Success

Table 1 shows the questions submitted by the buyer to the seller about the buying and selling activities that will be carried out, based on the natural language processing method, there will be the removal of some connecting words, punctuation marks. In the natural language processing method, there will be several stages, the first of which is case folding, where at the case folding stage it changes the capital letters that are not located in front, they will be replaced because the process changes uppercase letters to lowercase letters. For example, “Kak, Alamat tokonya dimana?” become “Kak, alamat tokonya dimana?” The second stage is tokenization, at this stage the entered sentence will be broken down into words so that further processing will be easier. For example, at research there are questions “Kak, Alamat tokonya dimana?” become “kak”; “alamat”; “tokonya”; “dimana” “?”, so that in this process the entered sentence will be broken into words. In the last process is filtering so that in this process it will remove words, or punctuation that can actually be removed. For example: “Kak, Alamat tokonya dimana?” the filtering process can remove punctuation “,” so that it is read by the system “Kak alamat tokonya dimana?”.

TABLE 2. BETA TESTING

No	Question	Score					Total	Result
		5	4	3	2	1		
1	After using this chatbot, do you think it can help	15	38	28	1	1	80	3.925

	provide Ariatna Hijab product information?							
2	After using this chatbot, do you think this chatbot makes it easier to get information about ariatna hijab?	12	38	30	2	0	83	3.686747
3	Do you think that the information/answer provided by the chatbot is appropriate with what was asked?	11	35	33	1	0	82	3.609756
4	Do you think there is a need for updates to enhance the This chatbot application?	10	34	32	3	0	80	3.6
5	Do you think the chatbot application can answer questions?	10	35	34	1	0	79	3.721519
6	Do you think the appearance of the chatbot application is attractive?	9	33	32	1	0	80	3.4375
7	Do you think the answers from the chatbot are easy to understand?	14	33	33	2	0	75	4.066667
8	Do you think the chatbot application is efficient in finding sales information?	14	33	33	1	0	82	3.695122
Total quantity								29.74231
Average								3.71778836

In table 2, the question by showing the number 5 indicates very good or the user strongly agrees on the indicators given by the developer. number 4 indicates very good or the user agrees on the indicators given by the developer. number 3 indicates good or the user slightly disagrees or is neutral on the indicators given by the developer. number 2 indicates not good or the user slightly disagrees on the indicators given by the developer. The number 1 indicates not very good or the user strongly disagrees on the indicators given by the developer. From the results of filling out the questionnaire addressed to 82 buyers, an average score of 3.71778836 was obtained, which is very good from a value scale of 4. So that in the beta test for the efficiency level of the chatbot system made, it produces a good system because based on the survey results using questionnaires the results are very good.

IV. CONCLUSION

This research identifies the use of chatbots in online store services by applying Natural Language Processing (NLP) methods. Through this exploration, it can be concluded that the use of chatbots with Natural Language Processing (NLP). brings a significant positive impact on various operational aspects and quality of online store services. Buyers stated that the service is getting better because there is a chatbot in the service of answering buyer questions, this is evidenced by a questionnaire survey conducted on 84 buyers, and has an average value of 3.71778883, where the value if interpreted in the value is very good. The use of Natural Language Processing (NLP) methods can produce the right answer even though the input has input errors where it must go through the process, case folding, tokenization and filtering. The implementation of a chatbot improves operational efficiency by providing instant responses to customer queries and handling routine tasks automatically. This not only reduces the workload of the human customer support team but also speeds up the overall service process. The chatbot's ability to understand natural language using Natural Language Processing (NLP) methods. provides more natural and relevant interactions with customers. Peningkatan dalam memahami sinonim, struktur kalimat yang kompleks, dan konteks memperkaya pengalaman pelanggan dan menghasilkan respons yang lebih akurat. Improvements in understanding synonyms, complex sentence structures and context enrich the customer experience and result in more accurate responses.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank the support from LPPM Anwar Medika University for supporting our research.

REFERENCES

- [1] "Intelligent Traffic Monitoring Systems: Vehicle Type Classification Using Support Vector Machine | Candradewi | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/201>
- [2] P. A. Alia, J. S. Prayogo, R. Kriswibowo, and A. T. Setyadi, "Implementation Open Artificial Intelligence ChatGPT Integrated With Whatsapp Bot," *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, p. 02401019, Jan. 2024, doi: 10.26877/ASSET.V6I1.17909.
- [3] F. Agres Yudithia, D. Latika Herda, A. Aulia Rossa, P. Kesehatan Siteba, and P. Negeri Padang, "Analisis Kemampuan Putaran Bolak-Balik Roller Mixer Statis dengan Setting Buzzer Pengingat Waktu," *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 33–38, May 2023, doi: 10.33019/ELECTRON.V4I1.37.
- [4] A. M. H. Fakari, A. U. Darajat, S. Purwiyanti, and A. Yudamson, "Sistem Informasi Mobile untuk Pelacakan Posisi Tikus dan Debu pada Ruangan Storage Museum Lampung," *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 104–113, Nov. 2023, doi: 10.33019/ELECTRON.V4I2.54.
- [5] M. Mashud and W. Wisda, "Aplikasi Chatbot Berbasis Website sebagai Virtual Personal Assistant dalam Pemasaran Properti," *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 9, no. 2, p. 99, Dec. 2019, doi: 10.35585/INSPIR.V9I2.2497.
- [6] A. S. Dewantara and J. Aryanto, "Implementation Of A Web-Based Chatbot Using Machine Learning For Question And Answer Services In Universities," *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, p. 0240106, Dec. 2024, doi: 10.26877/ASSET.V6I1.17590.
- [7] M. Mulyono and S. Sumijan, "Identifikasi Chatbot dalam Meningkatkan Pelayanan Online Menggunakan Metode Natural Language Processing," *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, pp. 142–147, Sep. 2021, doi: 10.37034/INFEB.V3I4.102.
- [8] "Covid-19: Implementation e-voting Blockchain Concept | Kamil | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/173>
- [9] "View of Rancang Bangun Sistem Komunikasi Data Perangkat Virtual Reality Berbasis Modul Komunikasi Wireless Bluetooth HC-06." Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://journal.ubb.ac.id/electron/article/view/2370/1484>
- [10] "RETRACTED: Decision support system in Predicting the Best teacher with Multi Attribute Decision Making Weighted Product (MADMWP) Method | Solikhun | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/1>
- [11] "The Phenomenon of Research and Development Method in Research of Software Engineering | Mufadhol | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/4>
- [12] "RETRACTED: Web Application To Monitor Logistics Distribution of Disaster Relief Using the CodeIgniter Framework | Jamil | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/23>
- [13] "A Systematic Literature Review Method On AES Algorithm for Data Sharing Encryption On Cloud Computing | Hidayat | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/154>
- [14] "Predicting the Spread of the Corona Virus (COVID-19) in Indonesia: Approach Visual Data Analysis and Prophet Forecasting | Husein | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/192>
- [15] A. Lubis and I. Sumartono, "Implementasi Layanan Akademik Berbasis Chatbot untuk Meningkatkan Interaksi Mahasiswa," *Resolusi : Rekayasa Teknik Informatika dan Informasi*, vol. 3, no. 5, pp. 397–403, May 2023, doi: 10.30865/RESOLUSI.V3I5.767.
- [16] K. S. Adi, "Pengembangan Inovasi Layanan Sirkulasi Perpustakaan Berbasis Bot Whatsapp Di Perpustakaan Daerah Kabupaten Purworejo," 2023, Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/103733/Pengembangan-Inovasi-Layanan-Sirkulasi-Perpustakaan-Berbasis-Bot-Whatsapp-Di-Perpustakaan-Daerah-Kabupaten-Purworejo>
- [17] "Assessing Performance Across Various Machine Learning Algorithms with Integrated Feature Selection for Fetal Heart Classification | Amanda | International Journal of Artificial Intelligence Research." Accessed: Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/article/view/1110>
- [18] "Tampilan Sistem Pendeteksi Penggunaan Masker dengan Metode Convolutional Neural Network pada Sistem Portal Otomatis." Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://jurnalelectron.org/index.php/electronubb/article/view/6/4>
- [19] "Tampilan Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan - Backpropagation dalam Pengenalan Flashover Isolator 150 kV." Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://jurnalelectron.org/index.php/electronubb/article/view/59/36>
- [20] "Tampilan Perancangan Sistem Ujian Berbasis Komputer." Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://jurnalelectron.org/index.php/electronubb/article/view/18/14>

Design of Hybrid Learning in Classroom Using Web Camera and Website

Ghiri Basuki Putra¹, Fardhan Arkan², Asmar³, Taqiyuddin⁴

^{1,2,3} Universitas Bangka Belitung; email: ghiri-basuki@ubb.ac.id

⁴ Universitas Balikpapan; email : taqiyuddin@uniba-bpn.ac.id

[Received: 27 March 2024, Revised: 15 Mei 2024, Accepted : 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Ghiri Basuki Putra

ABSTRACT — The Covid pandemic that hit the world including Indonesia caused changes in lifestyle and ways of working and studying to prevent the transmission of COVID-19 virus. This is certainly a challenge for education in the era of the pandemic on how the learning process can be proceeded so the knowledge is conveyed. Hybrid learning is a combination of some learning methods; online method (outside classroom) with face-to-face meeting method for several hours (inside classroom). Therefore, hybrid learning is suitable to be carried out during this pandemic. Hybrid learning is built in a class that is built based on Internet and uses web camera technology that can be done anywhere with the Internet by students and lecturers. This class provides hybrid learning process using website and 4G internet network so that students get a better learning experience and understanding easier to learn materials. The web camera is utilized as a student online learning process that views the movement of the lecturer so that it makes learning easier for the student. This hybrid learning also uses website to support in-class monitoring and future hybrid learning processes and capable of recording the learning process so the recording can be used in the future.

KEYWORDS —hybrid learning; website, web camera, classroom

I. INTRODUCTION

The COVID-19 pandemic that has emerged in the world since 2020 has changed many people's conditions, from work processes, health, and even education. Everything is done remotely to avoid the spread and transmission of the coronavirus 19. All of this can be done because technology is very supportive for the process, from information technology to the internet which has reached the 5G era with up to 1Gbps speed. Conference technology such as zoom and google meet which support working online and from home as well as Internet-based distance learning have provided a new experience in the distance learning process in the era of the coronavirus pandemic. One of the technologies to support learning is hybrid learning which is a combination of face-to-face learning with online learning with class capacity which can be reduced by up to 50% to reduce the impact of transmission of the coronavirus 19. Hybrid learning is a learning system that combines various approaches in learning, namely online learning and face-to-face, computer-based learning, and online-based learning with internet media or mobile learning [1]. This hybrid learning is a challenge for lecturers to create content or material that is able to keep up with the times that are developing so rapidly. Thus, lecturers don't get called out of date or even "old school" lecturers. Because the demands of the students with the development of information technology are also getting higher. According to [1], the right interactive-based learning media plays a very important role in the creation of educational goals. Multimedia is considered an interesting learning media based on efforts that touch the various senses: sight, hearing and touch. Also, according to Francis M. Dwyer in [2] the use of graphics in education as a medium that can help the effectiveness and efficiency of achieving learning objectives. Graphics as a visual illustration are able to create learning messages that can provide a number of stimulation stimuli with different strengths from one another. This study designs the concept of hybrid learning that can be used by the students for the learning process by utilizing the current technology, namely web cameras and internet [4].

Hybrid learning is an educational model approach that combines online learning with teaching in real classrooms such as face-to-face learning in general, in this hybrid learning research combines face-to-face learning classes with web-based online learning or computer or smartphone-mediated learning [5]. In a learning model in a network or online, the learning process applied is a hybrid method where the systematic learning of the lecturer divides several sessions; online and face-to-face sessions ergo health protocols continue to be carried out by keeping a distance [6]. Schemes and learning trends inside and outside the classroom are arranged in such a way as to get the advantages of each learning. Five keys to "Hybrid Learning" There are five main keys in implementing the hybrid learning process. In its application, hybrid learning emphasizes the application of Keller, Gagne, Bloom, Merrill, Clark and Gray learning theories [7].

- 1) Live event, defined as direct or face-to-face learning that is carried out synchronously in the same time and place. It could also be the same time in a different place.
- 2) Self-paced learning, which means combining it with independent learning allows students to learn anytime and anywhere online.
- 3) Collaboration, namely collaboration between teachers and students, as well as collaboration between fellow students in teaching and learning activities.
- 4) Assessment, meaning that the teacher must be able to mix a combination of online or offline assessment types. The form can be in the form of tests or non-tests such as class projects.
- 5) Performance support materials, namely to ensure learning materials are prepared in digital form. The goal is that these learning materials can be easily accessed by students, both online and offline. Evaluation of hybrid learning includes evaluation of learning outcomes to measure cognitive, psychomotor, and affective mastery. Exams can be conducted face-to-face at school or online. This research has some purpose to solve the problem in learning, and how to build hybrid learning in a classroom,

that is how to design a hybrid class at Bangka Belitung University that can support the hybrid learning process and how to build hybrid learning in a class with we camera technology and the website to control the hybrid learning?

The issue in this research is that the process of storing data and sending data requires large data storage and wide bandwidth so that the hybrid learning process in class using a camera can run well. With this research, the learning process in class can be recorded as well. can be accessed using the internet network, making the distance learning process easier and the learning process in class can also be monitored by the department admin. With this learning system via web camera, it provides a more interactive and interesting distance learning process with varied learning displays.

II. RESEARCH METHOD

At the stage of implementing the activity, it is to find the root of the problem on how the learning process can still be carried out even in the current pandemic conditions, namely by applying online or online learning models. The implementation stage of the Hybrid Learning in class implementation is based on the research flowchart in Figure 1.

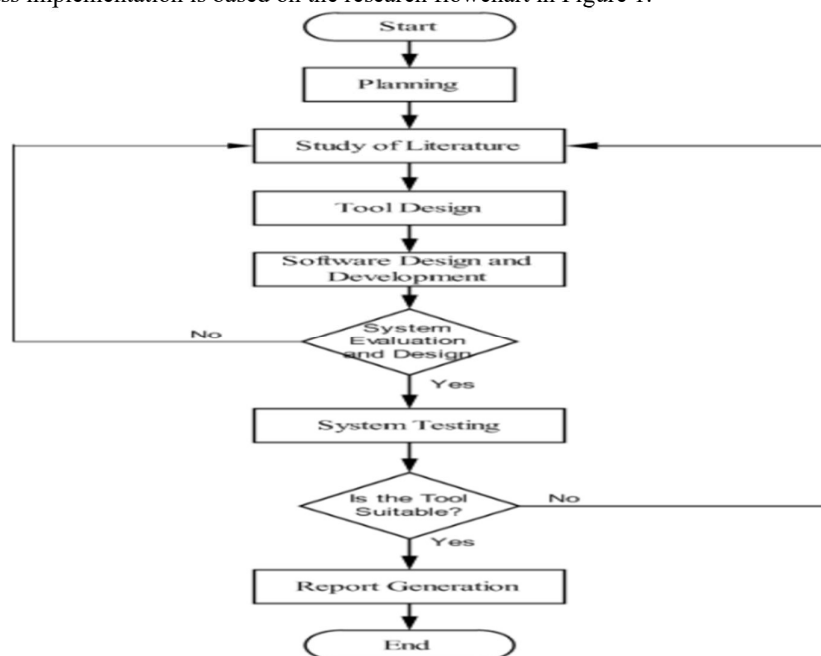


Figure 1. Research Flowchart

A. PLANNING

By designing a hybrid class design that is comfortable and can keep a distance from each other, therefore the health protocols are always adhered during the teaching and learning process. Class modelling that can help lecturers make presentations to their students as easy as possible, hence online learning can feel like offline it will make online lessons more effective [8–18]. Among them can be done by using a camera with a motion sensor and a website to support hybrid learning [19].

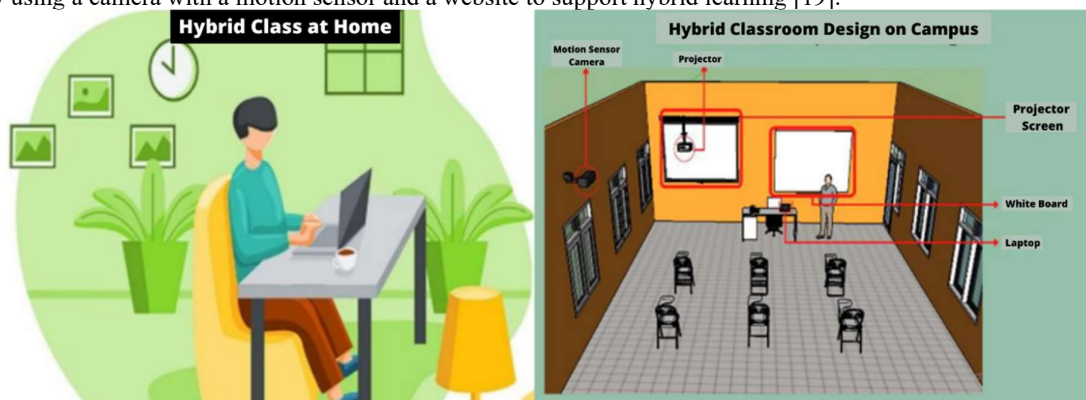


Figure 2. Hybrid Learning Design

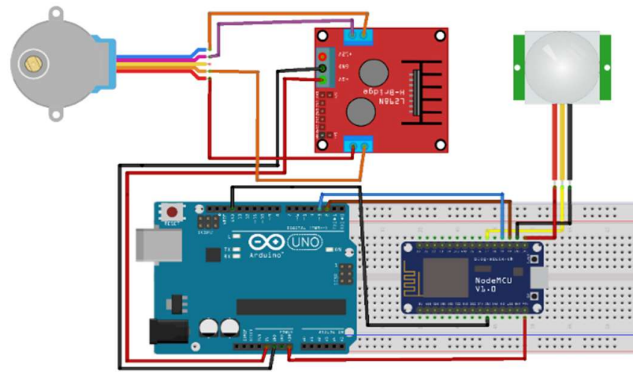


Figure 3. Circuit Schematic of the Webcam

B. LITERATURE REVIEW

This process is carried out by studying literature and observing the condition of the entire community. The study of existing literature comes from income from blogs, websites, and data in scientific journals that convey things related to hybrid learning, webcams, hardware and websites to manage hybrid learning in the classroom [20].

C. DESIGN THE HYBRID LEARNING SYSTEM

At this stage, the design is carried out based on the theory that has been obtained at the literature study stage. The desired work system is to be able to carry out a hybrid learning system using a camera with a motion sensor by detecting existing movements according to the part we want to focus on when presenting lessons in a hybrid class. Consequently, the students who receive online learning can take hybrid lectures more effectively [21].

D. SOFTWARE DESIGN AND DEVELOPMENT

This phase is dedicated to build a website using PHP and MySQL to control the hybrid learning system, control the classroom, monitor, and detect from the web camera and monitor the hybrid learning process in the classroom [22]. In this manner, the lecturer's movements are detected through the web camera and then sent to the website. For coding the web camera programming using Arduino IDE so that it can connect dashboards for lecturers, admin and students in this hybrid learning that is already built.

E. EVALUATION

At this stage, it is done to find out how effective hybrid learning is in the classroom that has been built using web cameras and websites.

F. TESTING THE HYBRID LEARNING SYSTEM

After the hybrid learning system has been ready to be utilized and tested, this trial system is also to see if there are still errors and there are improvements and developments wherefore it is ready to be implemented as a whole [22].

Figure 3 is the schematic of the hybrid class circuit with a web camera, the necessary components are connected to the Arduino via a breadboard, the PIR HC-SR501 sensor will work to detect movement by saving data first to the Arduino. The web camera can rotate using a stepper motor with a 360-degrees rotation in order to display a more interesting and interactive learning process.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 is a hybrid class design for a campus environment with a motion sensor camera feature, and a hybrid class for those who study from home so they can study simultaneously at different places synchronously. By implementing this method, learning at home and in the classroom is almost the same and provides a new experience in distance learning so that this makes it easier to add to the learning process.

A. WORKING PRINCIPLE

Figure 4 describes how the hybrid classroom device works which prototype is connected to a computer. Through the website, video conference for hybrid learning can take place so that the web camera can record the movements of lecturers who are teaching in class so that students who study from home can understand the lesson better, clear and effective again, the web camera will consist of 3 cameras with 3 different views, namely the lecturer's view, the presentation view and the class room view during learning. With a choice of camera views, you can choose using a website that controls this hybrid learning.

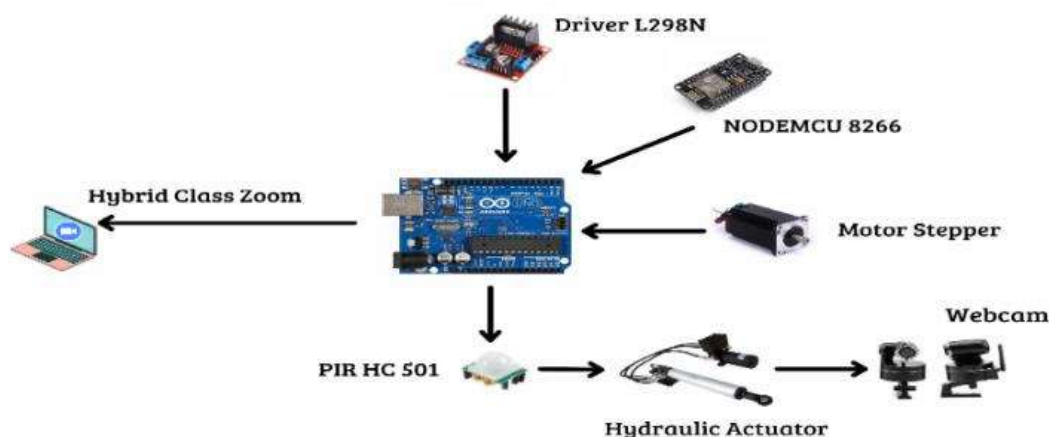


Figure 4. Design of the Hybrid Class using Webcam

In addition to this hybrid class, there is also a dashboard system to make it easier to handle the management and supervision in the hybrid class whether the device is working and can support the learning process. The dashboard for this hybrid class can be seen in Figures 5 to 8 which is a system dashboard hybrid learning. This dashboard uses the PHP programming language to display Code Igniter layouts for programming from a web camera to a website using javascript.

B. HYBRID LEARNING DASHBOARD

Figure 5 is a login page for admin, student and lecture to enter the dashboard of hybrid learning that is already created using the Internet. After login then the user can use the hybrid learning in the classroom.

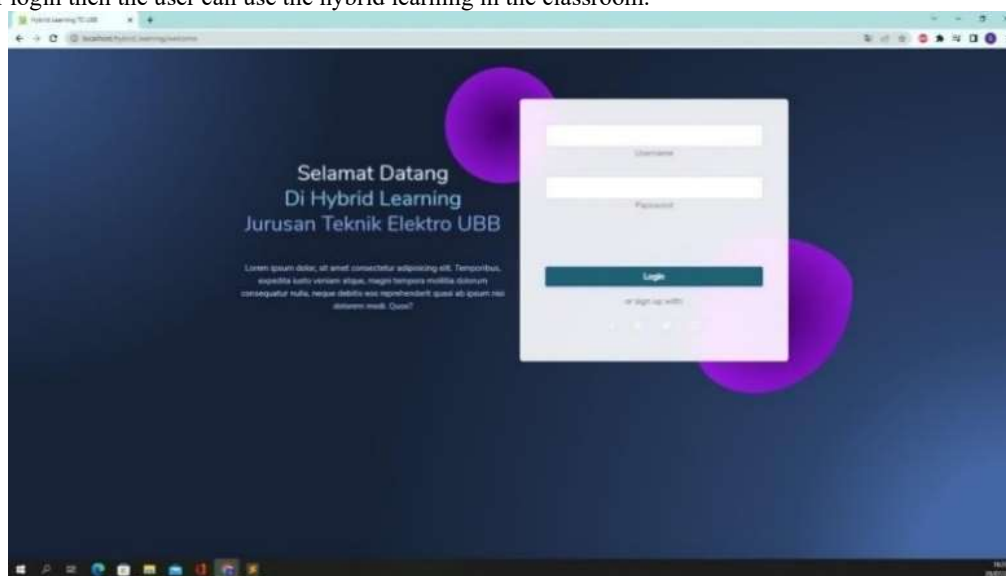


Figure 5. Login Page

Then after an admin logged in, they will be prompted to the dashboard for admin which is shown on Figure 6, where admin can control and monitor the hybrid learning process in the classroom and also to manage the hybrid learning for the lecture.

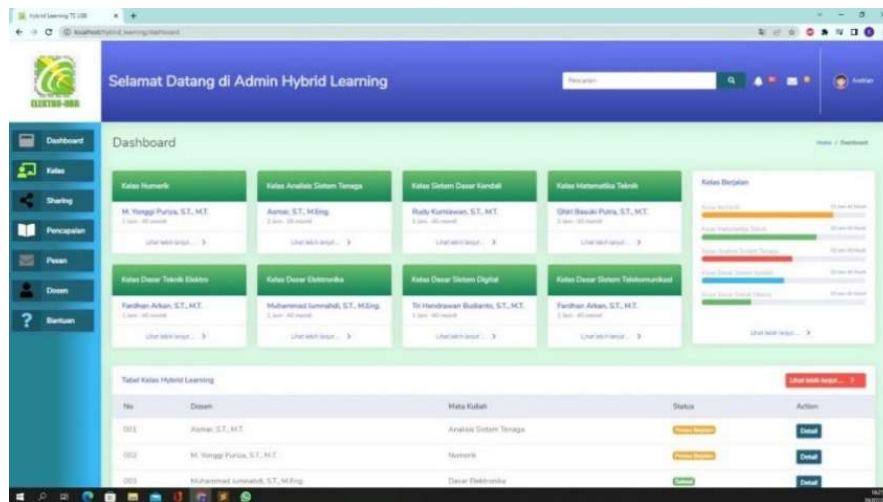


Figure 6. Admin Dashboard

Whilst when a student signed in, they will be directed to the dashboard for students as displayed on Figure 7 when using the hybrid learning system. In this dashboard, students have two view modes and have more attractive studying using this application.



Figure 7. Student's Dashboard



Figure 8. Lecturer's Dashboard

On the other hand, if a lecturer logged on, they will be Figure 8 is the dashboard for the lecturer when using the hybrid learning system, in this dashboard have three view angles and have ease of access using this application when applied to hybrid learning.

This learning system still require development in implementation, mainly the bandwidth and video storage that are still large. However, it facilitates a more interesting distance learning and capable of recording the learning process in class that can be utilized another time and become learning video which can be watched by the students.

IV. CONCLUSION

With this hybrid learning, it is expected that the distance learning process during the COVID-19 pandemic will be more interesting and funnier for students. With this hybrid learning design, the distance learning process can also be monitored and controlled by the admin therefore the distance learning process can run well. The use of web cameras and the internet in this hybrid learning becomes very important in helping the learning process to be more interesting and easier. It is hoped that this hybrid learning system designed can further improve student understanding in distance learning and increase the ease of distance learning during the COVID-19 pandemic. After covid pandemic ends, then this web camera learning system may be utilized as distance learning facility, to record learning process in the class and for the future lecture.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors wish to acknowledge the financial support from RKKAL Faculty of Engineering, University of Bangka Belitung.

REFERENCES

- [1] M. Munir, "Development of Interactive Learning Media Basic Competence Register Guided Inquiry Based," *Journal of Technology and Vocational Education*, vol. 22, no. 2, pp. 185–190, 2014.
- [2] Pujiriyanto, "Technology for Media Development and Learning," Yogyakarta, Indonesia: UNY Press, 2012.
- [3] G. H. Cahyono, "Internet of Things (History, Technology, and Implementation)," *Forum Teknologi*, vol. 6, no. 3, pp. 35–41, 2016.
- [4] A. Purwanto, et al., "Exploratory Study of the Impact of the COVID-19 Pandemic on Online Learning Processes in Elementary Schools," *EduPsyCouns: Journal of Education, Psychology and Counseling*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2020.
- [5] Soleh and A. Susilo, "Design and Implementation of Smart Home System," *Jurnal Seminar Riset Teknologi Informasi SRITI*, 2016.
- [6] A. J. Hakim, "Prototype Smart Home with Internet of Things Using Arduino Based on Web," B.S. thesis, Dept. Inform. Eng., Univ. Darma Persada, Indonesia, 2015.
- [7] P. Hourdequin, "Edmodo: A Simple Tool for Blended Learning," *The Language Teacher*, vol. 38, no. 1, pp. 31–35, 2014.
- [8] P. Suresh, et al., "A State-of-the-Art Review on The Internet of Things (IoT): History Technology and Fields of Deployment", Presented at Int. Conf. on Sci., Eng. and Manage. Research (ICSEMR), 2014.
- [9] Cesinger, T. L. (2017). The Phenomenon of the Hybrid Classroom. (Master's thesis). Concordia University - Portland.
- [10] J. S. Martin, J. E. Kreiger, and A. L. Apicerno, "Effectiveness of a Hybrid Classroom in the Delivery of Medical Terminology Course Content Relative to a Traditional Classroom Format", *JoSoTL*, vol. 15, no. 5, pp. 72–81, Oct. 2015.
- [11] A. P. Vogt, "Design of a Hybrid Classroom Structure for Engineering Mechanics of Materials," presented at 2015 ASEE Annual Conference & Exposition, Seattle, WA, Jun. 2015, doi: 10.18260/p.23803.
- [12] C. Wiarsih, M. Nofiana, L. Y. Risnani, and E. T. Ong, "Enhancing Classroom Learning through Hybrid Teaching and Learning: Insights from a Four-Session Training Program," *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, vol. 15, no. 1, pp. 32–36, 2023.
- [13] A. A. Nurharjanto, "Language learners' engagement in hybrid classroom settings: A systematic review," *LingTera*, vol. 10, no. 1, pp. 111–118, 2023. [Online]. doi: 10.21831/lt.v10i1.59886
- [14] E. Ayub, L. C. Leong, D. C. H. Yeo, and S. R. Ismail, "Developing a Solution for Hybrid Classroom: A Pilot Study From a Malaysian Private University," *Frontiers in Education*, vol. 7, pp. 1–12, June 17, 2022. doi: 10.3389/educ.2022.841363
- [15] A. A. Suchana, "Hybrid classroom in the new normal life: learners' perceptions and learning experiences," *Current Research Journal of Philological Sciences*, vol. 3, no. 08, pp. 5–11, 2022. doi: 10.37547/philological-crjps-03-08-02
- [16] F. Nisar, A. Subhan, and M. Latif, "A critical study of hybrid learning versus manual classroom learning at tertiary level of education," *Webology*, vol. 19, no. 2, pp. 9728–9738, 2022.
- [17] J. Cui, "Mode and Effect Evaluation of Classroom Regulation Under Hybrid Teaching Mode in Colleges," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 17, no. 10, pp. 200–214, 2022. doi: 10.3991/ijet.v17i10.31537.
- [18] V. Benigno, G. P. Caruso, F. M. Dagnino, E. D. Mutta, and C. Fante, "Enhancing Home Education in Italian Context: Teachers' Perception of a Hybrid Inclusive Classroom," *Education Sciences*, vol. 12, no. 8, p. 563, 2022. doi:10.3390/educsci12080563.
- [19] A. Kadir, "Arduino Programming and Processing," Jakarta, Indonesia: Elex Media Komputindo, 2017.
- [20] R. S. Pressman, "Software Engineering," vol. 1, Yogyakarta, Indonesia: Andi, 2002.
- [21] W. Kharisandy, Ilhamsyah, and I. Ruslianto, "Implementation of CCTV Camera Automatic Recording Using Arduino-Based Motion Sensor," *Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 5, no. 2, pp. 87–97, 2017.
- [22] L. DS. Lapitan Jr, et al., "An effective blended online teaching and learning strategy during the COVID-19 pandemic," *Institution of Chemical Engineers*, vol. 35, pp. 116–131, 2021.

Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi *Pressure Transmitter* dengan Metode *Zero Calibration*

Laila Aida Fatimah¹, Rahmat Hidayat²

^{1,2} Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang; email: ¹2010631160070@student.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 11 Januari 2024, Direvisi: 17 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Laila Aida Fatimah

INTISARI — Dewasa ini, dunia industri terus berkembang secara pesat, dan peran instrumentasi menjadi sangat krusial dalam menjaga efisiensi dan juga kendali operasi. Teknologi instrumentasi industri, seperti *pressure transmitter*, menjadi penting digunakan di berbagai sektor industri untuk mengukur tekanan *liquid* atau *fluida*. Namun, alat ukur memerlukan upaya kalibrasi secara berkala sebagai bentuk pemeliharaan ataupun saat instrumentasi tersebut tidak mampu membaca secara akurat pada kondisi tertentu. Ketidakakuratan pembacaan menyebabkan dampak yang signifikan pada suatu proses. Sebagai upaya bentuk perbaikan. Metode *zero calibration* menjadi salah satu teknik penting dalam memastikan alat dapat membaca nilai nol yang tepat saat tidak adanya input atau masukan. Sehingga mampu meningkatkan akurasi pengukuran secara keseluruhan. Studi kasus ini dilakukan di salah satu industri, industri ini menggunakan *pressure transmitter* untuk mengukur tekanan buburan kertas sebesar maksimal 6 bar pada proses sebelum dan setelah *refining*. *Refining* adalah sebuah proses mekanis yang melibatkan penggunaan mesin *refiner* untuk menggiling bubur serat atau *pulp* guna menghasilkan serat yang lebih halus dan optimal dalam pembuatan kertas. Sehingga, penting menjaga hasil pengukuran *pressure transmitter* tetap akurat dengan kalibrasi sehingga tidak mengganggu berjalannya proses dan menghasilkan efisiensi operasional untuk menjaga kualitas produk. Sebelum dilakukan kalibrasi menggunakan metode *zero calibration*, *pressure transmitter* menunjukkan kesalahan rata-rata 2,702%, setelah melakukan kalibrasi dengan metode *zero calibration*, nilai rata-rata error turun mencapai 0,148%. Hal ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akurasi pengukuran. Sehingga disimpulkan bahwa *pressure transmitter* tersebut masih layak digunakan pada proses *refining* di Industri tersebut.

KATA KUNCI — *Pressure Transmitter*, Kalibrasi, *Zero Calibration Method*, Pengujian, Nilai Error Toleransi, Uji Linearitas.

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri yang semakin berkembang, peran suatu instrumentasi menjadi krusial dalam memastikan operasi yang efisien dan juga terkendali. Untuk menjaga produksi berjalan dengan lancar, diperlukan suatu perangkat penting instrumentasi industri baik dari segi pengendalian ataupun pengukuran. Salah satu instrumentasi industri untuk pengukuran adalah *pressure transmitter*. *Pressure transmitter* merupakan alat yang digunakan di Industri untuk mengukur parameter proses berupa tekanan *fluida gas* ataupun *liquid* [1].

Keakuratan hasil pengukuran instrumentasi alat ukur sangatlah penting. Begitu juga dengan hasil pengukuran tekanan yang dilakukan menggunakan *pressure transmitter*. Sehingga dalam hal ini, sangat penting untuk melakukan kalibrasi secara berkala, yaitu minimal 1 kali dalam setahun atau maksimalnya adalah 2 tahun sekali. Kalibrasi juga harus segera dilakukan jika *pressure transmitter* menunjukan pengukuran yang sudah tidak akurat [1]. Adapun kalibrasi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk menentukan kebenaran dari nilai alat ukur dengan bahan ukur oleh alat ukur tersebut, dengan cara membandingkan keduanya menggunakan standar ukur nasional ataupun internasional [2]-[3], [17]. Menurut standar *International Standards on Auditing* (ISA), melalui ISA-50.00.01-1975 (R2012) dikatakan untuk melakukan proses kalibrasi dengan arus listrik sebesar 4-20mA. Dientangkan sesuai dengan standar instrumentasi menjadi 4mA, 8mA, 12mA, 16mA, dan 20mA [4], [18].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan kalibrasi adalah metode *zero calibration*. *Zero calibration* atau *zero adjustment* merupakan teknik yang digunakan untuk memastikan alat ukur dapat membaca nilai nol yang tepat saat tidak adanya input atau masukan yang diberikan [4]. Untuk melakukan pengukuran dibutuhkan alat bantu yang disebut sebagai *hart communicator*. *Hart communicator* merupakan alat pengendali *transducer* secara remote. Alat ini menggunakan sinyal analog 4-20mA untuk mentransmisikan hasil pengukuran pada transmitter [2].

Berdasarkan hal-hal tersebut, jurnal ini berjudul “Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi *Pressure Transmitter* dengan Menggunakan *Zero Calibration*”. Adapun penelitian ini memiliki tujuan untuk memberikan analisis mendalam terkait efektivitas metode *zero calibration* pada proses kalibrasi *pressure transmitter*. Studi kasus dilakukan di salah satu Industri perusahaan. Perusahaan tersebut menggunakan *pressure transmitter* pada salah satu prosesnya yaitu proses *refining*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PRESSURE TRANSMITTER

Transmitter merupakan alat instrumentasi yang mempunyai sebuah peran untuk mengubah perubahan atau informasi dari sensor menjadi sinyal yang dapat dibaca atau diinterpretasikan oleh alat pengendali (*controller*), pencatat (*recorder*), atau indikator lainnya [5]. *Transmitter* beroperasi dengan cara mengubah suatu dari perubahan sensor menjadi sinyal listrik baik melalui sistem transmisi pneumatik (menggunakan udara yang memiliki tekanan) dengan ukuran tekanannya sekitar 3-15 psi atau dengan sistem transmisi elektronik (yaitu menggunakan sinyal listrik) dengan rentang 4-20mA atau juga 1-5 VDC [5]. Sebagai

bagian dari suatu sistem pengendalian proses, *transmitter* dilengkapi juga dengan indikator, seperti layar LCD atau lampu indikator, sebagai tempat pengecekan manual di lapangan sebelum mengirimkan sinyal ke ruang kontrol [6].

Sedangkan *pressure transmitter* merupakan suatu alat yang digunakan pada dunia industri untuk mengukur tekanan pada fluida, baik gas ataupun cairan. Fungsinya adalah mendeteksi adanya tekanan statis dari fluida, kemudian *pressure transmitter* akan mengonversikannya menjadi sinyal listrik dalam rentang 4-20mA atau 1-5 VDC yang dapat dengan mudah kemudian untuk ditransmisikan ke sistem kontrol atau komputer untuk pengelolaan data. *Pressure transmitter* dapat digunakan sebagai pengukuran tekanan pada tangki, penggunaan sebagai sensor tekanan udara pada kompresor, dengan spesifikasi output dan juga kapasitas kerja yang sesuai dengan kebutuhan industri, baik dari rentang output dan batasan tekanan kerja yang sudah diatur oleh industri tersebut [1], [6]-[7]

B. ZERO CALIBRATION

Kalibrasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menentukan kebenaran dari nilai alat ukur dengan bahan ukur oleh alat ukur tersebut, dengan cara membandingkan keduanya menggunakan standar ukur nasional ataupun internasional [19]. Menurut standar ISA, melalui ISA-50.00.01-1975 (R2012) dikatakan untuk melakukan proses kalibrasi dengan arus listrik sebesar 4-20mA. Dientaskan sesuai dengan standar instrumentasi menjadi 4mA, 8mA, 12mA, 16mA, dan 20mA [4]. Kalibrasi sangat penting untuk dilakukan agar alat ukur melakukan pengukuran sesuai dengan standar yang telah ditentukan, sehingga alat tersebut dapat mengukur dengan akurat dan konsisten. Jika terdapat perbedaan antara hasil pengukuran alat dengan standar yang sudah ditetapkan, maka perlu adanya penyesuaian pengaturan ulang pada alat ukur untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil pengukuran [2]-[3], [8].

Salah satu metode kalibrasi yang biasanya ditemukan praktiknya di industri adalah metode *zero calibration*. *Zero calibration* merupakan metode untuk memastikan alat ukur dapat membaca nilai nol tepat saat tidak adanya input atau masukan yang diberikan. Tujuan dari melakukan kalibrasi dengan metode *zero calibration* adalah untuk memastikan keakuratan pembacaan alat ukur untuk pengukuran selanjutnya dengan memastikan alat ataupun sensor memiliki titik nol yang tepat dan dapat dipercaya. Proses ini juga membantu menghindari kesalahan pembacaan yang mungkin dapat terjadi karena adanya pengaruh lingkungan atau kondisi awal yang tidak tepat. *Zero calibration* biasanya juga disebut sebagai *zero adjustment* [4], [9]-[10].

C. RANGE, SPAN, LRV, URV DAN RUMUS PERSENTASE KESALAHAN (ERROR)

Dalam melakukan kalibrasi, ada beberapa istilah yang harus dipahami untuk dapat mengkalibrasi suatu instrumen. Adapun beberapa istilah itu adalah :

- *Range* merupakan skala nilai yang diukur, dimulai dari nilai yang paling rendah dari parameter yang akan diukur sampai nilai tertinggi dari nilai parameter yang sama [2].
- *Span* merupakan perbedaan selisih antara nilai paling rendah dan juga nilai paling tinggi [2].
- *LRV (Low Range Value)* adalah sebutan dari nilai paling rendah pada parameter pengukuran, biasanya pada *transmitter* menunjukkan tanda level 0% atau 4mA [6].
- *URV (Upper Range Value)* merupakan nilai tertinggi pada parameter pengukuran, pada *transmitter* biasanya menunjukkan tanda level 100% atau 20mA [6].

Setelah mengetahui beberapa istilah pada kalibrasi, kemudian hal yang perlu diketahui selanjutnya adalah mengetahui rumus persentase kesalahan (error), fungsinya adalah membantu menentukan keberhasilan kalibrasi terhadap alat ukur dengan memastikan bahwa alat ukur dapat kembali mengukur sesuai dengan standar toleransi yang telah ditetapkan, adapun rumusnya adalah [2]:

Jika menggunakan arus yang terbaca :

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Arus terbaca} - \text{Arus standar teori}}{\text{Arus standar maksimal} - \text{Arus standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Jika menggunakan nilai *valuenya* :

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Value terbaca} - \text{Value standar teori}}{\text{Value maksimal} - \text{Value standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Jika menggunakan nilai *range%* nya :

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Range\% terbaca} - \text{Range\% standar teori}}{\text{Range\% maksimal} - \text{Range\% standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

D. PENGUJIAN LINEARITAS

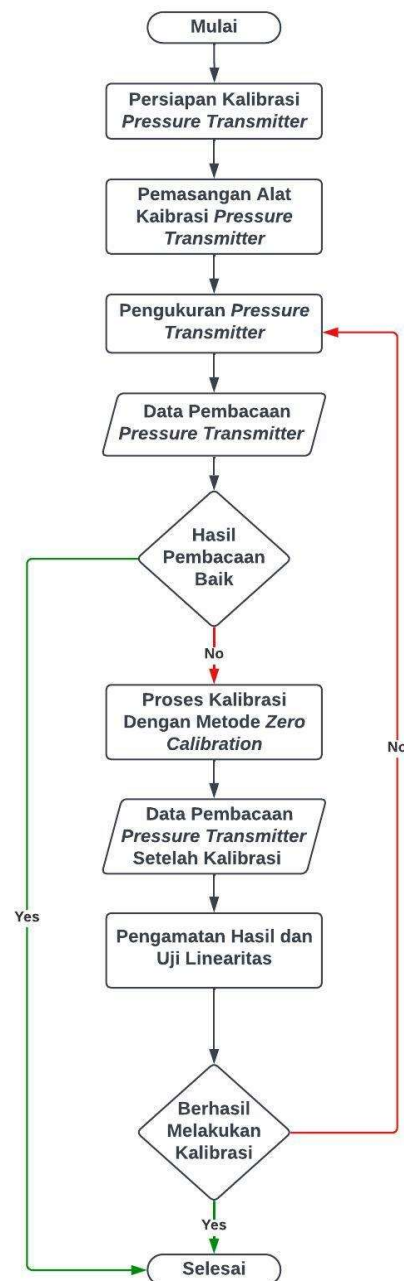
Pengujian linearitas merupakan pengujian yang memiliki tujuan untuk memastikan bahwa model atau distribusi suatu data yang digunakan pada penelitian memiliki hubungan linear yang signifikan. Hasil dari pengujian tersebut akan menjadi penentu apakah analisis korelasi atau regresi linear dapat diterapkan dengan tepat, serta dapat menentukan teknik analisis yang sesuai dengan data penelitian [11], [12]-[13]. Jika hubungan antara variabel bersifat linear, maka data penelitian dapat diandalkan untuk digunakan sebagai metode analisis, terutama pada evaluasi seberapa baik kurva kalibrasi yang menghubungkan antara respons (Y) dengan variabel konsentrasi (X) [2].

E. PROSES REFINING

Suatu proses penggilingan kembali bubur serat kertas sehingga menghasilkan buburan serat kertas yang lebih halus disebut sebagai proses *refining* [14]. Selama prosesnya, *refining* memberikan aksi mekanik terhadap serat buburan agar menghasilkan serat buburan yang optimal sesuai dengan yang diinginkan. Tujuannya adalah untuk memperbaiki serat ikatan agar kualitas kertas dapat lebih kuat [15]. Proses *refining* dilakukan dengan menggunakan alat yang bernama *refine*. Alat ini sangat mempengaruhi kualitas kertas dan juga kelancaran mesin proses pembuatan kertas tahap selanjutnya [16], [20].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara studi kasus, yang dalam hal ini baik proses dan pengambilan data dilakukan di laboratorium *repair* salah satu industri di Indonesia. Adapun *pressure transmitter* yang dijadikan penelitian merupakan *pressure transmitter* bagian dari alat ukur pada proses *refining*. *Pressure transmitter* bertugas sebagai pengukur tekanan buburan yang masuk sebelum proses *refining* dan setelah proses *refining*. Sehingga sangat penting untuk menjaga akurasi pengukuran agar proses dapat berjalan dengan baik. Adapun untuk alur studi kasus kalibrasi *pressure transmitter* adalah:



Gambar 1. Blok Diagram Alur Studi Kasus Proses Kalibrasi Pressure Transmitter

Pada persiapan kalibrasi, hal yang harus diketahui adalah rentang nilai pengukuran objek yang seharusnya diukur oleh *pressure transmitter* pada suatu proses. Dengan menentukan dua hal, yaitu nilai LRV dan URV. Pada kasus proses *refining* untuk mengukur tekanan buburan kertas. Rentang *value* pengukuran yang ditetapkan adalah dari 0 bar (0% atau 4mA) sebagai LRV (*Low Range Value*) sampai 6 bar (100% atau 20mA) sebagai URV (*Upper Range Value*). Nilai rentang pengukuran LRV dan URV bisa bervariasi sesuai dengan kebutuhan proses industri, untuk nilai rentang yang ditetapkan pada kasus ini disesuaikan dengan yang digunakan pada proses *refining* di industri tempat studi kasus ini berlangsung. Sehingga berikut ini adalah tabel rentang pengukuran sebagai standar akurasi pengukuran *pressure transmitter* pada proses *refining*:

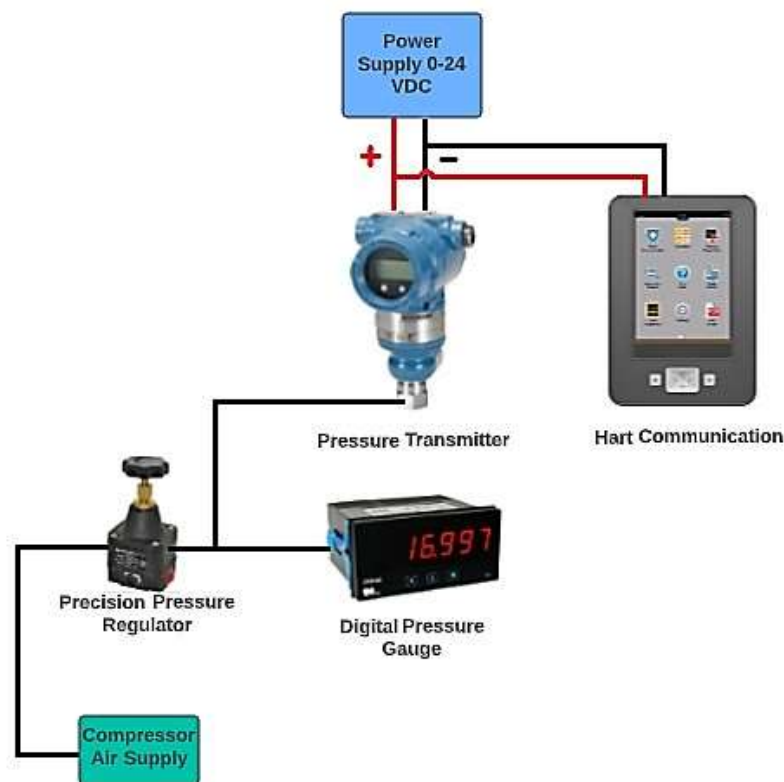
TABEL 1
RENTANG NILAI PENGUKURAN TEKANAN BUBURAN KERTAS PADA PROSES REFINING SEBAGAI STANDAR TEORI AKURASI PENGUKURAN PRESSURE TRANSMITTER

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)		
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)
0	0	0	0	4
25	1.5	25	1.5	8
50	3	50	3	12
75	4.5	75	4.5	16
100	6	100	6	20

Setelah mengetahui rentang pengukuran atau *range* pengukuran yang menjadi standar pengukura, hal selanjutnya yang perlu disiapkan adalah bahan alat yang digunakan untuk proses kalibrasi, adapun komponen atau alat yang digunakan adalah :

- *Pressure Transmitter*
- *Hart Communicator*
- *Digital Pressure Gauge*
- *Compressor Air Supply*
- *Precision Pressure Regulator*
- *Power Supply 0-24VDC*

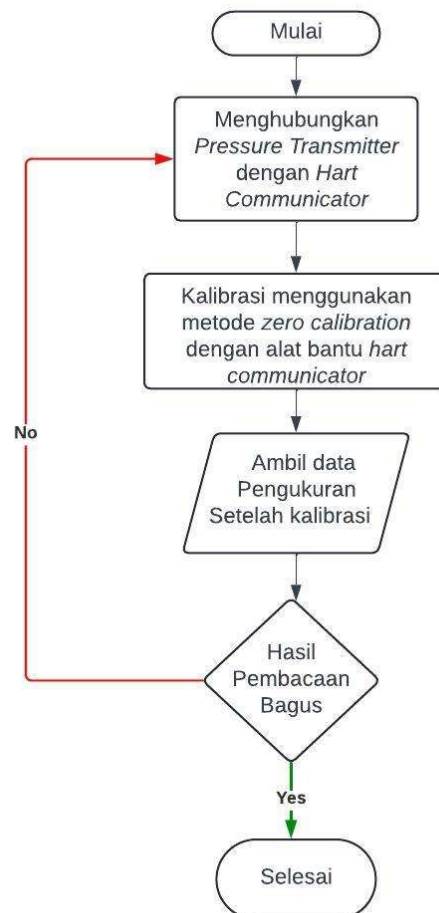
Adapun gambar *wiring* rangkaian untuk proses kalibrasi *pressure transmitter* adalah:



Gambar 2. Ilustrasi wiring Rangkaian untuk Proses Kalibrasi Pressure Transmitter

Proses kalibrasi dilakukan di laboratorium menggunakan angin sebagai media kalibrasi. Dengan memastikan menggunakan satuan tekanan yang sama (bar), penggunaan media angin dapat menjadi media kalibrasi menggantikan objek (yang diukur dilapangan) sesungguhnya, sehingga pengukuran dapat akurat kembali. Gambar 2 menunjukkan penggunaan komponen *compressor air supply* dan *precision pressure regulator* sebagai pendukung kalibrasi. *Hart Communicator* digunakan sebagai protokol alat kalibrasi *pressure transmitter*. Kemudian terdapat *Digital pressure gauge* digunakan sebagai pembanding pengukuran antara tekanan angin dari kompressor dengan hasil pengukuran oleh *pressure transmitter*. Power supply 0-24 VDC digunakan sebagai sumber daya.

Adapun proses kalibrasi dengan metode *zero calibration* menggunakan protokol *Hart Communicator* adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Block Diagram Kalibrasi Pressure Transmitter dengan Metode Zero Calibration Menggunakan Hart Communicator

Gambar diatas menjelaskan alur proses kalibrasi *pressure transmitter* menggunakan metode *zero calibration* dengan *hart communicator* sebagai alat protokol kalibrasi. Adapaun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Sambungkan *pressure transmitter* dengan *hart communicator* melalui koneksi yang sesuai.
2. Setelah rangkaian kalibrasi terhubung, lakukan koneksi antara *pressure transmitter* dan *hart communicator*. Hal ini penting agar keduanya dapat saling terhubung dan *hart communicator* dapat membaca data dari *pressure transmitter*.
3. Setelah proses koneksi selesai, baca *measurement* atau hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum melakukan kalibrasi. Data hasil pengukuran ini bisa ditemukan pada tabel 2. Jika hasilnya menunjukkan ketidakakuratan, maka *pressure transmitter* perlu dikalibrasi.
4. Jika pembacaan *measurement* sesuai atau masih akurat, maka proses kalibrasi tidak perlu dilakukan. *Pressure transmitter* dianggap masih akurat.
5. Jika pembacaan *measurement* tidak akurat, lanjutkan dengan proses kalibrasi menggunakan metode *zero calibration*. Metode ini digunakan karena pada *pressure transmitter*, pembacaan minimumnya (0 bar atau 4 mA) terkadang dapat berubah dari posisi *zeronya*. *Zero calibration* menjadi solusi untuk mengkalibrasi transmitter tersebut.
6. *Zero calibration* adalah fasilitas pada *hart communicator* yang digunakan untuk menyesuaikan *pressure transmitter* agar dapat membaca nilai 0 dengan tepat saat tidak ada input atau masukan yang diberikan. Pada kalibrasi ini, input yang diberikan adalah *pressure* angin. Pastikan *digital pressure gauge* tidak mendeteksi adanya angin yang masuk atau terukur.

7. Proses *zero calibration* dilakukan secara digital dengan menggunakan menu *zero calibration* pada *hart communicator*. Tunggu hingga proses selesai.

8. Setelah proses selesai, periksa hasil pengukuran *pressure transmitter* untuk melihat apakah kalibrasi telah berhasil.

Jika pembacaan *pressure transmitter* kembali akurat, proses kalibrasi dianggap selesai. Namun, jika tidak, ulangi proses kalibrasi sampai dapat disimpulkan apakah *pressure transmitter* masih dapat digunakan atau terdapat masalah pada rangkaian kalibrasi, proses kalibrasi, atau komponen yang digunakan untuk proses kalibrasi.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sesuai dengan standar toleransi eror nasional atau internasional seperti IEC No. 13B-23 mengenai ketelitian alat ukur, batas kesalahan untuk setiap nilai ukuran adalah $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$ dari nilai maksimum yang terukur. Maka perlu dilakukan pengamatan dengan mencari besar nilai error pada hasil pengukuran *pressure transmitter* setelah dilakukan kalibrasi. Untuk mengetahui hal tersebut, dapat menggunakan rumus persentase kesalahan atau error (%). Pengamatan lebih lanjut untuk melihat hasil kalibrasi adalah dengan menggunakan metode pengujian linearitas. Pengujian ini digunakan untuk melihat perbandingan nilai pengukuran *pressure transmitter* sebelum dan sesudah dikalibrasi secara visual.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pressure transmitter yang baik adalah *pressure transmitter* yang masih mampu mengukur dengan tingkat akurasi yang tinggi atau minimal mampu untuk mengukur dalam batas toleransi eror sesuai standar. Dalam kasus ini, *pressure transmitter* harus mampu untuk mengukur tekanan buburan kertas yang akan dan sudah melalui proses refining pada suatu industri perusahaan di Indonesia. Dengan range sebesar 6 bar pada pengukuran maksimal, *pressure transmitter* harus mampu untuk melakukan pengukuran dengan akurat agar proses tidak terganggu. Untuk perbandingan nilai pembacaan *pressure transmitter* dilapangan biasanya terdapat suatu komponen pengukuran pembanding yang sifatnya tidak digital seperti *pressure gauge* (alat ukur tekanan benda cair atau gas yang bekerja secara analog mekanikal) alat ini lebih tahan terhadap tekanan kondisi lingkungan proses sehingga cocok dijadikan sebagai acuan pengukuran dilapangan. Ketika hasil pembacaan *pressure transmitter* sudah tidak akurat maka perlu dilakukan kalibrasi. Setelah dibawa ke laboratorium repair maka *pressure transmitter* dirangkai sesuai dengan gambar 2. Kemudian dilakukan pengecekan pengukuran awal sebelum dilakukan kalibrasi. Adapun hasil pengukurannya adalah sebagai berikut :

TABEL 2
PENGUKURAN PRESSURE TRANSMITTER SEBELUM DILAKUKAN KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)		
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)
0	0	2.2	0.133	4.36
25	1.5	28.03	1.682	8.485
50	3	51.18	3.072	12.190
75	4.5	80.54	4.832	16.872
100	6	101.3	6.080	20.213

Hasil diatas dapat terlihat di *Hart Communicator* saat rangkaian kalibrasi *pressure transmitter* dijalankan. Sekilas tidak terlihat eror pembacaan pengukuran yang signifikan jika dibandingkan dengan nilai standar teori yang terdapat pada tabel 1. Untuk itu perlu untuk menghitung nilai eror pengukuran dengan rumus persentase kesalahan eror sesuai dengan yang terdapat pada penjelasan metode. Contoh perhitungan jika mencari nilai persentase eror dengan nilai value yang terbaca pada titik output 4.832 bar:

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Value terbaca} - \text{Value standar teori}}{\text{Value standar maksimal} - \text{Value standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{4.832 \text{ bar} - 4.5 \text{ bar}}{6 \text{ bar} - 0 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{0.332 \text{ bar}}{6 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{error (\%)} = 5,54 \% \quad (7)$$

Sehingga jika menghitung semua titik pengukuran akan didapatkan data sebagai berikut :

TABEL 3
DATA NILAI EROR PRESSURE TRANSMITTER SEBELUM DILAKUKAN KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)			%Error
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)	

0	0	2.2	0.133	4.36	2.225
25	1.5	28.03	1.682	8.485	3.031
50	3	51.18	3.072	12.190	1.187
75	4.5	80.54	4.832	16.872	5.540
100	6	101.3	6.080	20.213	1.331
Rata-Rata Error (%)					2.702%

Dari hasil tabel 3 diatas, hasil perhitungan nilai kesalahan saat mengamati *pressure transmitter* sebelum dilakukan kalibrasi. Penyimpangan pengukuran terbesar terjadi pada tekanan 4,5 bar (nilai input), dengan hasil bacaan pengukuran *pressure transmitter* sebesar 4,832 bar dan persentase kesalahan sebesar 5,540%. Terdapat variasi dalam nilai kesalahan, dengan rata-rata sekitar 2,702%. Meskipun nilai kesalahan rata-rata masih dalam rentang yang dapat diterima untuk pengukuran, penyimpangan ini cukup mengganggu proses, sehingga perlu dilakukan kalibrasi.

Setelah melakukan serangkaian kalibrasi dengan metode *zero calibration* menggunakan alat ukur *Hart Communicator* mengikuti alur pada gambar 3 dan langkah-langkah pada metodologi, maka didapatkan data pengukuran *pressure transmitter* sebagai berikut :

TABEL 4
PENGUKURAN PRESSURE TRANSMITTER SETELAH KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)		
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)
0	0	0.14	0.0086	4.023
25	1.5	25.12	1.5073	8.020
50	3	50.137	3.0082	12.022
75	4.5	75.175	4.5106	16.028
100	6	100.162	6.0100	20.026

Terlihat setelah dilakukan kalibrasi dengan metode *zero calibration* dan langkah yang tepat, didapatkan hasil seperti di atas. Untuk mengetahui tingkat keakuratan pengukuran *pressure transmitter* tersebut dapat menggunakan rumus mencari nilai persentase kesalahan error (%) seperti sebelumnya. Maka untuk perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Value terbaca} - \text{Value standar teori}}{\text{Value standar maksimal} - \text{Value standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{4.5106 \text{ bar} - 4.5 \text{ bar}}{6 \text{ bar} - 0 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{0.0106 \text{ bar}}{6 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{error (\%)} = 0.176 \% \quad (11)$$

Setelah melakukan semua perhitungan nilai eror pada hasil pengukuran *pressure transmitter* yang telah dilakukan kalibrasi, didapatkan data sebagai berikut :

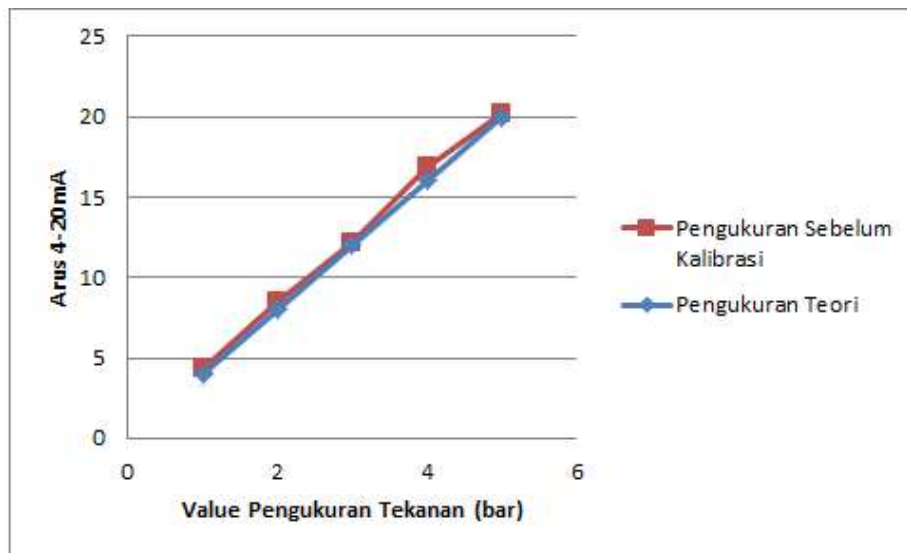
TABEL 5
DATA NILAI ERROR PRESSURE TRANSMITTER SETELAH DILAKUKAN KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)			%Error
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)	
0	0	0.14	0.0086	4.023	0.143
25	1.5	25.12	1.5073	8.020	0.123
50	3	50.137	3.0082	12.022	0.137
75	4.5	75.175	4.5106	16.028	0.176
100	6	100.162	6.0100	20.026	0.162
Rata-Rata Error (%)					0.148%

Pada tabel 5, terlihat setelah melalui proses kalibrasi dengan menggunakan metode *zero calibration*, nilai eror mengalami penurunan yang signifikan. Rata-rata nilai error mencapai 0,148%, angka ini sesuai dengan standar toleransi pengukuran, sehingga menandakan bahwa *pressure transmitter* masih bekerja dengan baik. Hal ini juga menandakan keberhasilan kalibrasi dalam meningkatkan performa kerja *pressure transmitter*, sehingga *pressure transmitter* ini dinyatakan layak untuk digunakan kembali pada proses *refining*.

Kemudian, untuk melakukan pengamatan lebih lanjut, dilakukan pengujian linearitas sebagai visualisasi respon hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum dan setelah dilakukan kalibrasi menggunakan metode *zero calibration*.

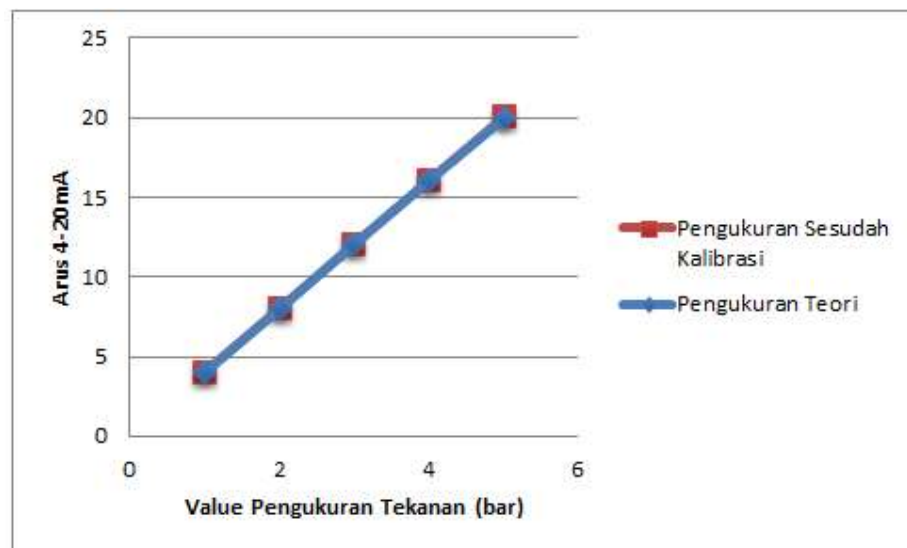
Pertama lakukan pengujian linearitas untuk respon *pressure transmitter* sebelum dilakukan kalibrasi. Perbandingannya menggunakan nilai hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum kalibrasi pada tabel 2 dan nilai Standar Teori Akurasi Pengukuran *pressure transmitter* pada tabel 1. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil Pengujian Linearitas Pengukuran Pressure Transmitter Sebelum kalibrasi dengan Pengukuran Standar Teori

Gambar di atas menampilkan hasil pengujian linearitas pengukuran *pressure transmitter* sebelum dilakukan proses kalibrasi dengan metode *zero calibration*. Garis merah merepresentasikan nilai pengukuran sebelum kalibrasi, sementara garis biru adalah pengukuran standar teori. Terlihat bahwa pada titik pengukuran dengan nilai 4,832 bar dan arus sebesar 16,872 mA terdapat penyimpangan yang paling besar. Hal ini menyebabkan garis merah (pengukuran sebelum kalibrasi) terlihat jauh lebih tidak linear dibandingkan dengan garis biru (pengukuran teori). Namun, pada titik-titik pengukuran lainnya masih terlihat linear karena nilai error atau penyimpangannya relatif kecil.

Kemudian, setelah mengetahui hasil pengujian linearitas hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum kalibrasi, maka selanjutnya melihat hasil pengujian linearitas pengukuran *pressure transmitter* setelah dilakukan kalibrasi. Untuk pembandingan data menggunakan tabel 4 dan tabel 2. Sehingga didapatkan grafik seperti dibawah ini:



Gambar 5. Hasil Pengujian Linearitas Pengukuran Pressure Transmitter Sesudah kalibrasi dengan Pengukuran Standar Teori

Pada gambar diatas terlihat hasil pengujian linearitas setelah *pressure transmitter* melewati proses kalibrasi. Dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 0,148%, garis merah (pengukuran setelah kalibrasi) dan garis biru (pengukuran teori) terlihat berjalan secara linear. Hal ini terjadi karena nilai kesalahan yang dihasilkan masih relatif kecil.

Setelah menjalani proses kalibrasi dan pengujian linearitas, *pressure transmitter* yang telah dikalibrasi menunjukkan nilai kesalahan yang relatif kecil, yaitu 0,148%. Mengacu pada Standar IEC No. 13B-23 mengenai ketelitian alat ukur, batas kesalahan untuk setiap nilai ukuran adalah $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$ dari nilai maksimum yang terukur. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *pressure transmitter* ini masih layak digunakan sebagai alat ukur tekanan buburan kertas dalam proses *refining*, karena memberikan pembacaan yang akurat dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,148%. Dengan hasil pengukuran yang akurat, proses *refining* kertas dapat berjalan dengan baik.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini mengindikasikan beberapa poin penting. Pertama, studi kasus dilakukan untuk menganalisis hasil dari proses kalibrasi *pressure transmitter* yang digunakan dalam proses *refining* pada suatu industri. Sebelum dilakukan kalibrasi, pengukuran *pressure transmitter* menunjukkan rata-rata nilai eror sebesar 2,702%. Meskipun rata-rata eror tersebut kecil, terdapat titik-titik pengukuran dengan nilai eror yang tinggi, seperti pada titik pengukuran 4,832 bar dan arus 16,872 mA, yang dapat mengganggu proses *refining*. Hal ini diperkuat oleh hasil pengujian linearitas yang menunjukkan adanya penyimpangan pada titik tersebut. Hasilnya menunjukkan penurunan rata-rata nilai eror menjadi 0,148%, yang terlihat pada tabel data dan visualisasi pengujian linearitas yang menunjukkan garis pengukuran yang sangat linear. Berdasarkan standar IEC no. 13B-23 tentang ketelitian alat ukur, toleransi eror yang aman berkisar antara $\pm 0,05\%$ hingga $\pm 5\%$ dari nilai maksimum. Dengan rata-rata eror pembacaan pengukuran sebesar 0,148%, *pressure transmitter* masih dapat diandalkan untuk mengukur tekanan buburan kertas pada proses *refining* dengan baik dan akurat.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

REFERENSI

- [1] D. Afrizal and S. O. Kunang, "Rancang Bangun Sistem Kendali Pneumatic Pump Dalam Proses Kalibrasi Pressure Transmitter," Bina Darma Conf. Eng. Sci., vol. 4, no. 1, pp. 121–132, 2022, [Online]. Available: <http://conference.binadarma.ac.id/index.php/>
- [2] D. I. Pt and M. Energi, "Pengukuran adalah kegiatan membandingkan suatu besaran yang diukur dengan alat ukur. Pengukuran sangat penting untuk mendapatkan nilai besaran, dimensi atau kapasitas yang dilakukan terhadap suatu standar atau satuan pengukuran. Dalam dunia industri penguk," vol. 4, no. 2, pp. 187–198, 2021.
- [3] A. A. Supriyanto, R. M. Suhendar, A. Supendi, P. T. Mekatronika, and P. E. Indorama, "Kalibrasi Alat Ukur Pressure Gauge Sistem Kontrol Level Pada Flasketank 5 Calendar," J. Elektra, vol. 3, no. 1, pp. 20–25, 2018.
- [4] A. Syahputra Arief, Muhaimin, "Analisa Kalibrasi Level Transmitter Dengan Metode Uji Lineritas Arus Pada Plant Kontrol Level," J. Tektro, vol. 06, no. 01, p. 5, 2022.
- [5] M. Mansyur, S. Hanief, and Y. Yunianto, "Sistem Level Kontrol Menggunakan Differential Pressure Transmitter untuk Tangki Timbun CPO," IRA J. Tek. Mesin dan Apl., vol. 1, no. 3, pp. 10–19, 2023, doi: 10.56862/irajtma.v1i3.25.
- [6] A. Gatari and Y. Saragih, "Setting Parameter DP Transmitter Dengan Metode Zero Suppression Pada Tangki Setting DP Transmitter Parameters with Zero Suppression Method on Tanks," vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [7] M. S. Hidayat, D. S. A. Pambudi, and A. T. Nugraha, "Sistem Monitoring Air Compressor pada Sistem Pendistribusian Udara Berbasis IoT," Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro, vol. 12, no. 02, pp. 126–140, 2022, doi: 10.47709/elektrise.v12i02.1944.
- [8] M. Asrori, W. Y. Rezika, A. T. A. Salim, B. Indarto, and R. T. Nudiansyah, "Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik," J. Tek. Terap., vol. 1, no. 2, pp. 36–41, 2022, doi: 10.25047/jteta.v1i2.14.
- [9] I. Irfan, D. Cahyanto, and T. Sujianto, "Studi Kinerja Belt Scale Pada Proses Pemuatan Batubara," J. Ind. ..., vol. 2, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jieom/article/view/2320%0Ahttps://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jieom/article/download/2320/1771>
- [10] M. Safira, A. Yusuf, T. I. Salim, and H. S. Alam, "Design and Implementation of IOT-Based Monitoring System on Nanobubble-Based Hydroponics Farming," J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng., vol. 12, no. 2, p. 470, 2023, doi: 10.23960/jtep-l.v12i2.470-483.
- [11] A. Pengaruh, P. Mobile, T. Loyalitas, and K. Kartu, "1561-Article Text-4293-1-10-20220411," vol. 8, no. April 2022, 2017, doi: 10.5281/zenodo.6446981.
- [12] I. Thein, B. B. Mitang, and Y. E. P. Bere, "Pengaruh Lingkungan Kerja Dan Komitmen Terhadap Disiplin Kerja Pegawai Pada Kantor Dinas Pariwisata Kabupaten Malaka," Inspirasi Ekon. J. Ekon. Manaj., vol. 3, no. 3, pp. 28–36, 2021, doi: 10.32938/ie.v3i3.1737.
- [13] P. Green, M. Dan, B. Image, S. Kasus, P. Followers, and A. Twitter, "PENGARUH GREEN MARKETING DAN BRAND IMAGE TERHADAP KEPUTUSAN PEMBELIAN PRODUK THE BODY SHOP INDONESIA (Studi Kasus Pada Followers Account Twitter @TheBodyShopIndo)," J. Ilm. M-Progress, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.35968/m-pu.v10i1.371.
- [14] H. Risdianto, S. K. Wirawan, and S. Sugesty, "Aplikasi Lakase pada Proses Refining Pulp," J. Selulosa, vol. 9, no. 02, p. 65, 2019, doi: 10.25269/jsel.v9i02.274.
- [15] A. E. Eryantono, S. Virdhian, D. Cahyadi, and E. Oktavia, "Pembuatan 3D Model Disc Refiner dengan Reverse Engineering untuk Mendukung Sustitusi Impor," J. Tek. Mesin Indones., vol. 17, no. 1, pp. 86–91, 2022, doi: 10.36289/jtmi.v17i1.301.
- [16] D. Sinta, F. N. Azizah, and B. Nugraha, "Analisis Pengaruh Refiner Time Terhadap Quality Tissue (Studi Kasus di PT Pindo Deli Pulp and Paper Mills 2)," Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol., vol. 13, no. 1, pp. 27–36, 2021, doi: 10.28989/angkasa.v13i1.916.
- [17] M. Irsyam and N. Nopriadi, "Analisa Proses Kalibrasi Katup Penutup Pada Pembangkit Listrik Di Pt. Mitra Energi Batam," Sigma Tek., vol. 3, no. 2, pp. 160–170, 2020, doi: 10.33373/sigma.v3i2.2745.
- [18] A. P. Sasangka, M. Musthofa, A. Ansyorie, and M. Muchlis, "UNIVERSITAS NEGERI MALANG besar menggunakan beton sebagai dilakukan dalam dunia industri adalah " Compressing Testing Machine (CTM), CTM modifikasi merupakan Pada proses pengujian kualitas beton dalam suatu Laboratorium Departemen Teknik Sipil diperlukan kondisi alat uji kuat tekan beton yang otomatis / Mesin Uji Kompresi Model digital dengan indikator laju kecepatan dengan sistem " closed loop digital Grafik pembebanan – waktu dan aktual," 2023.
- [19] Y. Wishnu Pandu Prayudha, S. Fadhil, and S. Novianto, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem Arduino Uno," J. Asimetri J. Ilm. Rekayasa Inov., vol. 4, pp. 25–34, 2022, doi: 10.35814/asimetri.v4i1.2541.
- [20] A. Karlström and J. Hill, "Control strategies for refiners Part I: Soft sensors for CD-refiner control," Nord. Pulp Pap. Res. J., vol. 33, no. 1, pp. 28–43, 2018, doi: 10.1515/npprj-2018-3007.

Implementation of Text Processing Techniques on Citizen Opinions Regarding Floods in Surabaya

Rony Kriswibowo¹, Putri Ariatna Alia², Johan Suryo Prayogo³, Rusina Widha Febriana⁴

^{1,2,3,4} Universitas Anwar Medika; email: rony.kriswibowo@uam.ac.id, putriariatna@gmail.com, jodimasjolie@gmail.com, widha.ennvil@gmail.com

[Received: 28 February 2024, Revised: 13 May 2024, Accepted: 27 May 2024]

Corresponding Author: Rony Kriswibowo

ABSTRACT — An analysis of residents' opinions on flooding in Surabaya is essential to identify their perceptions and aspirations towards this disaster. This can facilitate the making of appropriate flood mitigation policies. The current problem is that it is difficult to retrieve data from X in the form of both users and tweets automatically. So that in some studies that use tweet data becomes less efficient in the data collection process. This research confirmed the use of messages to determine highly impactful disaster zones and showed how tweets can be used to identify oscillations in disaster intensity over time. The topic of this research is to apply the Data Crawling method to obtain datasets on social media X. Then the next method is text preprocessing using Wordcloud, Matplotlib, (NLTK) Natural Language Toolkit, and Sastrawi libraries. In natural language processing, the data to be extracted includes unstructured or "arbitrary" data. In normal dialect preparing (NLP), the information to be extracted includes unstructured or "self-assertive" information. For future purposes (assumption examination, subject modeling, etc.), such information must be changed over into organized data. The discoveries of the think about can help the organization in comprehending the necessities and inclinations of the people with respect to surges. This article demonstrates how Artificial Intelligence may be applied to text data analysis in order to provide insightful findings. the outcomes of this research can help the government in making more effective policies to overcome flooding in Surabaya.

KEYWORD — X, Crawling Data, Text Preprocessing, Natural language

I. INTRODUCTION

East Java regions Sidoarjo and Surabaya are seeing significant population growth and high construction densities. According to information gathered from the field, the Waru highway serves as the primary route for travelers traveling from Sidoarjo to Surabaya [1]. Furthermore, the location serves as one of the routes leading to Purabaya Terminal. This makes it difficult for the community to go to events, which leads to traffic congestion in the Sidoarjo area.

A flood is a type of natural catastrophe that arises when an excessive amount of water overflows land, typically due to factors such as elevated rainfall, excessive groundwater extraction, clogged sewers, and other causes [2]. In addition to unfilled drains, another source of flooding is an elevation in sea level higher than the land. [3]. Social media is widely used by individuals to exchange information and voice opinions on the flooding tragedy that occurred in an East Javan district. X is one social media platform that's used [4].

X users' responses to the East Java flood catastrophe were varied. From the start of the year to February 2024, a large number of tweets were sent on the floods that affected different parts of East Java. X users' most common opinions are those on how local flood catastrophes are handled [5]. One of the world's most active X users is found in Indonesia [6].

Finding out what the public's sentiment was like following the flood is the aim of this investigation. One possible way to reflect citizen knowledge is through the use of X. This study confirms the use of geolocation messaging to demarcate highly impacting catastrophe zones and demonstrates how tweets may be used to identify oscillations in disaster intensity over time [7].

The topic in this research is to apply the Data Crawling method to get datasets on social media X. This is because twitter makes it easy to read, write and collect data containing temporal and spatial information [16]. Google Collaboratory is a web-based interactive IDE made by Google that runs in a cloud environment. It allows us to write and run code interactively through a browser [8]. Electronic devices such as cell phones, laptops, and notebooks are not only used to communicate, but also to obtain information about the surrounding situation. People get information and various social media [9].

This background informs the research technique, which uses text preprocessing to examine the sentiment analysis method of X data. When it comes to natural language processing (NLP), the data that has to be extracted includes unstructured or "arbitrary" data. For future purposes (sentiment analysis, topic modeling, etc.), it must thus be transformed into structured data.

II. LITERATURE REVIEW

The issue brought up was the flood calamity that struck West Java in January 2020, according to earlier study by Aalaz et al (2021). This study examined the opinions of the general people on X on the management of flood catastrophes in West Java in January 2020. Classifying tweets that expressed public opinion on how flood catastrophes are handled allowed for the study to be done. The confusion matrix was employed as the validation technique in this study.[9].

Then research on flood sentiment analysis by Rahmat Hartawan et al (2023) The purpose of this study is to examine public opinion on the efficacy of Malang City's Early Warning System (EWS) for flooding disasters. The original data will be weighted using TF-IDF for sentiment analysis. The efficacy of flood EWS in Malang City is still seen negatively by the general population, nonetheless [10]. Further research by Trida et al (2021) In his research, he found that floods received more attention on X than landslides. In the implementation of disaster management, we argue that X data can be used in all phases. X data in disaster management, especially hydrometeorological disasters, has weaknesses such as it can only be used in big cities in Java Island. Another weakness is that information from X data has not been confirmed whether it represents the same demographic characteristics as the conditions in the field and the level of validity of information that cannot be accounted for [11].

Further pertinent study by Mera et al (2021) uses machine learning techniques to classify tweets, particularly those concerning flood catastrophes. A number of data pretreatment procedures were used to begin the categorization of flood catastrophe communications, and they included feature extraction and word weighting from X data [12].

Study conducted by Finki and Mambang (2022) on Natural Language Processing (NLP). In order to raise awareness, track catastrophes, and expedite flood disaster recovery using social media analysis, the goal of this project is to develop a visualization model for flood response information from disaster management. Data sources produced from Instagram postings are utilized for analysis in the Natural Language Processing (NLP) technique. Utilizing Natural Language Processing (NLP) as a process step, data sources from Instagram with flood hastags in Kalimantan are leveraged to get the essential information visualization components for expediting flood response data. The process of visualizing social media data by extraction of information from Instagram posts, comments, and hashtags speeds up information retrieval for issue resolution and emphasizes the significance of flood reaction information velocity [13].

To obtain data in JSON from X, the crawler employs HTTP GET along with application credentials that are created from the X Dev Console. Following the Crawler's receipt of results from X, the JSON is parsed into a local slice of a proprietary data type. Next, the Crawler goes over each component of that slice, processing it to eliminate tweets where the language wasn't recognized or the location wasn't supplied by the user [14]. Crawling data on X can use two search systems, by user and by keyword. Search using by keyword is a search using fragments of words or hashtags with a total of 100 tweets downloaded in one process. downloaded in one process is a maximum of 100 tweets. While searching by user, namely search based on the X user account name with a maximum of 200 tweets downloaded in one process maximum 200 tweets [15].

X is the biggest rival to Facebook in terms of active users. This is reflected in the large number of links to X included in the BlogIntelligence data collection. We prefer to scan X users because, based on our experience, we believe that the majority of Bloggers also keep a X account where they share their writings and other ideas. However, the next natural step would be to crawl these people's tweets as well as any other connected information. The next portion of this page describes the opportunities provided by X's APIs. After that, we discuss how the crawling procedure was put into practice [8].

The majority of machine learning-based sentiment analysis experiments seen in literature involve supervised learning and require sufficiently big pre-labeled datasets in certain domains. It is obvious that this activity is laborious, costly, and time-consuming to construct, and handling unknown data is challenging. With its small datasets, this work tackles semi-supervised learning for sentiment analysis in Vietnamese. We have compiled a list of several preprocessing methods that were used to clean and standardize data, handle negations, and handle intensification to enhance speed. Additionally, methods for data augmentation have been introduced, which create new data from the original data to improve training data automatically. We have conducted several tests and produced competitive outcomes that might serve as inspiration for future ideas [17]. Text pre-processing is the first stage in data processing so that data can be processed and data is ready for the research process, one of which is sentiment analysis. Text pre-processing can include cleaning, casefolding, tokenizing, stemming, and filtering.

The method of text processing has been shown to be very effective in obtaining sentiment analysis results from social media X based on relevant prior research. The drawback of previous research was that data collection was limited to 100 to 200 tweets. The novelty of this study is that researchers have analysed the phenomenon of flooding in Surabaya, Indonesia, which occurred in 2024.

The current generation of students is studying and doing research in the field of machine learning and neural networks, mostly due to the buzz surrounding these subjects. However, a major obstacle that many of these researchers and students confront is the lack of adequate infrastructure. A sufficient number and quality of CPUs and GPUs are needed to run complex algorithms. Fortunately, Google offers a free resource called Google Collaboratory to help with such requests. However, consumers' ability to supply the necessary data for computational purposes is limited. This study explores how researchers might use Google Collaboration's manual upload capability to enter and retrieve data dynamically. This will enable scholars or students to focus more intently on their argument rather than focusing on the data [18].

III. METHODOLOGY

The initial stage is to look for a literature study on relevant research. Next determined the method to be used based on previous research sources and the results of a literature review. Then data collection and data analysis produce conclusions. The application of the method is carried out at the 5th stage, namely data analysis using Text Processing.

The stages in this research use data crawling and text preprocessing methods, after the literature study then determining the method, the data crawling stage is at this stage, namely data collection. Then the next stage is data analysis. This analysis data uses the text preprocessing method. Then the conclusion is drawn. Flowchart for crawling data is shown in Figure 5 then the data analysis stage in Figure 6. The following picture of the research flow in the form of a flowchart is shown in Figure 1.

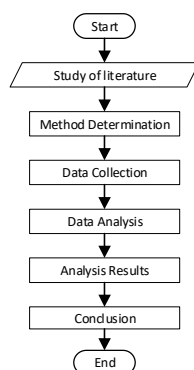


Figure 1. Methodology Research

The first stage of this research is crawling data on X [19]. This research uses the data crawling source code as follows, the first step is to retrieve the auth X token. The following is the source code:

```
#@title X Auth Token
X_auth_token = 'Auth Key X'
```

Figure 2. Source Code X Auth Token

Then after getting the X Auth Token, the next step is to install the python library, following the source code:

```
# Import required Python package
!pip install pandas

# Install Node.js (because tweet-harvest built using Node.js)
!sudo apt-get update
!sudo apt-get install -y ca-certificates curl gnupg
!sudo mkdir -p /etc/apt/keyrings
!curl -fsSL https://deb.nodesource.com/gpgkey/nodesource-repo.gpg.key |
sudo gpg --dearmor -o /etc/apt/keyrings/nodesource.gpg

!NODE_MAJOR=20 && echo "deb [signed-by=/etc/apt/keyrings/nodesource.gpg]
https://deb.nodesource.com/node_${NODE_MAJOR}.x nodistro main" | sudo tee
/etc/apt/sources.list.d/nodesource.list

!sudo apt-get update
!sudo apt-get install nodejs -y
```

Figure 3. Source Code Import Library Python

Next is the process of crawling data based on X, here is the source code:

```
# Crawl Data

filename = 'Banjir.csv'
search_keyword = 'Banjir Sidoarjo lang:id'
limit = 1000

!npx --yes tweet-harvest@2.2.8 -o "{filename}" -s "{search_keyword}" -l
{limit} --token {X auth token}
```

Figure 4. Source Code Crawl Data

Here are the stages of data collection from X:

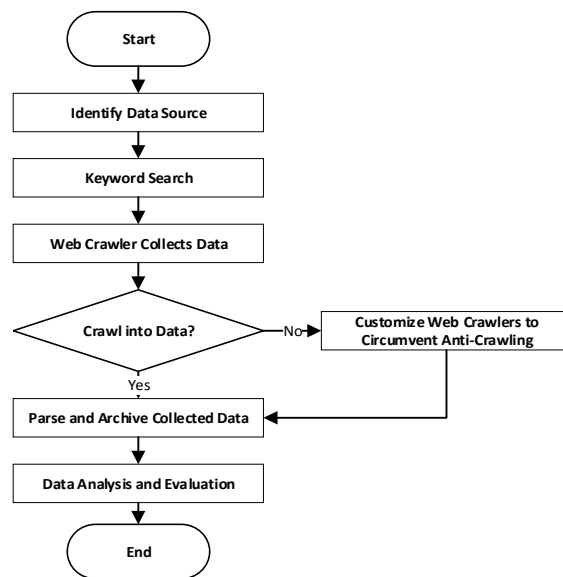


Figure 5. Flowchart Crawling data from X

After crawling the data, a dataset from X was obtained. This dataset is then text preprocessed to get a clearer visualization of the data [20].

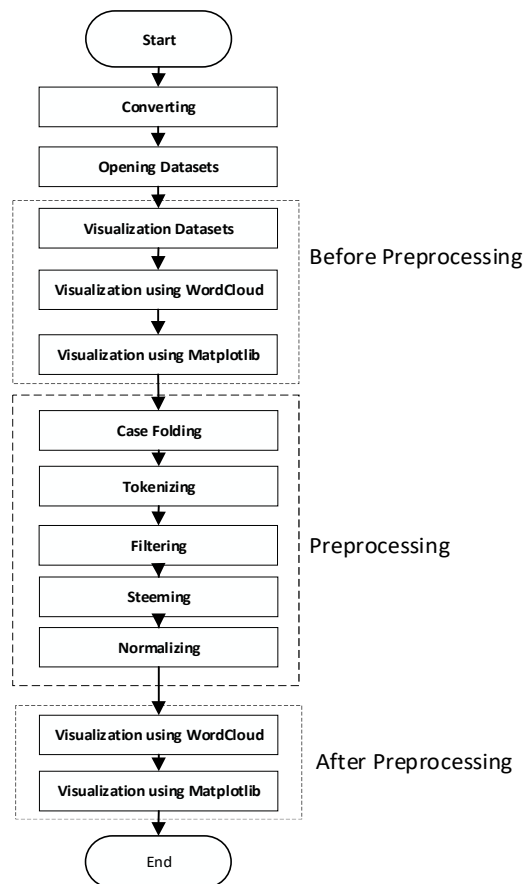


Figure 6. Flowchart Text Preprocessing

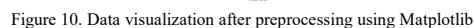
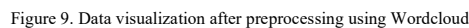


Table 1 Result of Text Preprocessing

- [1] Z. H. Yuyun Tia Triana, "Kajian potensi daerah rawan banjir rob dan adaptasi masyarakat di wilayah pesisir utara surabaya," *Juv. J. Ilm. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 1, no. 1, pp. 141–150, 2020.
- [2] S. Rizki Aditiya, "Kajian banjir di wilayah ketintang surabaya," *J. Rekayasa dan Manaj. Konstr.*, vol. 7, no. 2, pp. 157–162, 2019.
- [3] A. A. Lynda Refinitasari, Hendra Wahyu Cahyaka, Krisna Dwi Handayani, "Analisis Kerentanan Fisik Wilayah Pesisir Utara Kota Surabaya Terhadap Bencana Banjir Rob," *J. Tata Kota dan Drh.*, vol. 14, no. 2, pp. 55–62, 2022.

- [4] L. K. Katherina, "Dinamika Pertumbuhan Penduduk Dan Kejadian Banjir Di Kota : Kasus Surabaya (Dynamic Of Population Growth And Flooding Incidents In Cities : Case Of Surabaya)," *J. Kependud. Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 131–144, 2017.
- [5] A. R. Abdillah, F. N. Hasan, T. Informatika, F. N. Hasan, D. Mining, and A. Sentimen, "Analisis Sentimen Terhadap Kandidat Calon Presiden Berdasarkan Tweets Di Sosial Media Menggunakan Naive Bayes Classifier Sentiment Analysis of Presidential Candidates Based on Tweets on," *SMATIKA J. STIKI Inform. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 117–130, 2024.
- [6] I. Rustanto, "Media Sentiment Analysis of East Java Province : Lexicon-Based vs Machine Learning," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 1, no. 1, pp. 203–208, 2019.
- [7] N. T. Putri, I. D. Wijaya, A. Retno, and T. Hayati, "Analisis Sentimen Opini Masyarakat Terhadap Pembangunan Infrastruktur Kota Malang Melalui Twiter Dengan Menggunakan Metode Support Vector Machine," *2020 Semin. Inform. Apl. Polinema - 2020*, pp. 118–123, 2020.
- [8] P. Berger, P. Hennig, T. Klingbeil, M. Kohnen, S. Pade, and C. Meinel, "Mining the Boundaries of Social Networks : Crawling Facebook and Twitter for BlogIntelligence," pp. 223–229.
- [9] A. L. S. A.-Z. Gunawan, Jondri, and K. M. Lhaksamana, "Analisis Sentimen pada Media Sosial Twitter terhadap Penanganan Bencana Banjir di Jawa Barat dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan Sentiment," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 2, p. 2965, 2021, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/14695/14472>
- [10] S. K. A. Rahmat Hartawan, Muhammad Faza Imani Putra, "Analisis sentimen persepsi masyarakat terhadap efektivitas early warning system bencana banjir di kota malang menggunakan pembobotan tf - idf 1," *Pangripta J. Ilm. Kaji. Perenc. Pembang.*, vol. 6, no. 2, pp. 99–108, 2023.
- [11] T. Ridho Fariz, S. Suhardono, and S. Verdiana, "Pemanfaatan Data Twitter Dalam Penanggulangan Bencana Banjir dan Longsor Use of Twitter Data in Flood and Landslide Disaster Management," *Cogito Smart J. |*, vol. 7, no. 1, pp. 135–147, 2021.
- [12] M. K. Delimayanti, R. Sari, M. Laya, M. R. Faisal, and P. Pahrul, "Pemanfaatan Metode Multiclass-SVM pada Model Klasifikasi Pesan Bencana Banjir di Twitter," *Edu Komputika J.*, vol. 8, no. 1, pp. 39–47, 2021, doi: 10.15294/edukomputika.v8i1.47858.
- [13] F. D. Marleny and Mambang, "Sosial Media Analisis Berbasis NLP Untuk Mempercepat Tanggap Bencana Banjir," *Tematik*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2022, doi: 10.38204/tematik.v9i1.897.
- [14] M. A. A. Shahab Saquib Sohail, Mohammad Muzammil Khan, Mohd Arsalan, Aslam Khan, Jamshed Siddiqui, Syed Hamid Hasan, "Crawling Twitter data through API : A technical / legal perspective," *arXiv Prepr. arXiv2105.10724.*, pp. 1–8, 2021.
- [15] J. E. Sembodo, E. B. Setiawan, and Z. K. A. Baizal, "Data Crawling Otomatis pada Twitter," *Ind. Symp. Comput.*, no. August, pp. 11–16, 2016, doi: 10.21108/indosc.2016.111.
- [16] V. A. Shahputri and Y. Yamasari, "Analisis Sentimen Mengenai Pasca Bencana Alam Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (K-NN) dan Decision Tree," *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 05, pp. 377–388, 2023.
- [17] H. T. Duong, T. Anh, and N. Thi, "A review : preprocessing techniques and data augmentation for sentiment analysis," *Comput. Soc. Networks*, pp. 1–16, 2021, doi: 10.1186/s40649-020-00080-x.
- [18] S. V Halyal, "Running Google Colaboratory as a server – transferring dynamic data in and out of colabs," *I.J. Educ. Manag. Eng.*, no. September, pp. 35–39, 2019, doi: 10.5815/ijeme.2019.06.04.
- [19] Z. Ma, "Research on Twitter Data Crawling and Data Visualization Analysis Based on Python," in *Computing and Data Science*, 2021, pp. 351–362.
- [20] T. D. Dikiyanti, A. M. Rukmi, and M. I. Irawan, "Sentiment analysis and topic modeling of BPJS Kesehatan based on twitter crawling data using Indonesian Sentiment Lexicon and Latent Dirichlet Allocation algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1821, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1821/1/012054.

Analisis Sistem Kontrol Kecepatan Motor Menggunakan Inverter LS-SV004IG5A-4 pada Mesin CNC

Vincentius Kristian Putra¹, Dian Budhi Santoso²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang; email: 2010631160030@student.unsika.ac.id; dian.budhi@ft.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 16 Februari 2024, Direvisi: 17 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Vincentius Kristian Putra

INTISARI — Berkembangnya sejumlah industri otomotif di sektor kendaraan bermotor semakin menciptakan persaingan yang cukup kompetitif, maka dari itu kualitas dari produk yang dihasilkan dari suatu industri perlu diperhatikan. Produk yang presisi akan menaikkan kualitas dari produk tersebut. Inverter digunakan untuk mengontrol motor induksi yang kemudian akan digunakan untuk memutar *spindle* pada mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Penggunaan CNC dalam pembuatan poros ulir tentu akan menghasilkan produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan tentunya akan menghasilkan produk yang konsisten dengan kualitas yang sama. Dengan menerapkan inverter dan motor induksi pada mesin CNC, kecepatan dari motor induksi dapat diatur dan disesuaikan dengan jenis produk yang akan dibuat, sehingga akan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil nilai arus, tegangan, RPM (*Revolutions Per Minute*) pada motor induksi berdasarkan frekuensi, serta arus dan waktu yang dibutuhkan ketika akselerasi dan deselerasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan, sedangkan untuk arus, output yang dihasilkan tidak stabil yang dapat disebabkan oleh kondisi beban yang terlalu berat, kerusakan pada bagian rotor atau stator, hingga kerusakan pada bearing motor induksi. Dengan menggunakan frekuensi tinggi sebesar 50 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi selama 3.33 s dan waktu deselerasinya selama 3.07 s, namun sebaliknya, apabila menggunakan frekuensi rendah di 10 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi menjadi lebih cepat di 1 s dan waktu untuk deselerasinya di 1.18 s.

KATA KUNCI — Motor induksi 3 Fasa, Inverter, Mesin CNC, RPM

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif di Indonesia, terutama dalam kendaraan bermotor, telah meningkatkan tingkat persaingan yang kompetitif. Berbagai macam produk unggulan di tawarkan oleh perusahaan otomotif untuk menarik pembeli yang tentunya berdampak pada industri pendukungnya yaitu seperti industri suku cadang, yang sangat terkait erat dengan industri otomotif. Terutama pada era globalisasi saat ini yang menjadikan persaingan di dunia bisnis menjadi semakin ketat, sehingga setiap aspek perlu dipertimbangkan, seperti menawarkan produk dengan kualitas terbaik [1]. Di dalam industri otomotif, peran sistem kontrol dalam mengendalikan sistem kecepatan menjadi hal yang sangat dibutuhkan. Sistem kontrol pada mesin digunakan untuk mengatur kinerja suatu sistem atau dapat dikatakan sebagai otak dari mesin. Sistem kontrol akan mengatur parameter pada mesin agar dapat menghasilkan proses yang diinginkan hanya dengan mengubah program pada PLC (*Programmable Logic Controller*) melalui *ladder diagram* tanpa mengubah instalasinya [2].

Dengan menggunakan sistem kontrol, mesin dapat bekerja secara otomatis dan akurat sesuai dengan desain yang telah dibuat melalui software [3]. Penggunaan CNC dalam pembuatan poros ulir tentu akan menghasilkan produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan tentunya akan menghasilkan produk yang konsisten dengan kualitas yang sama [4]. Maka dari itu, salah satu komponen yang ada pada mesin CNC yang berguna untuk menghasilkan produk yang berkualitas, dibutuhkan motor induksi tiga fasa yang digunakan untuk mengatur kecepatan dari alat potong. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada perusahaan otomotif dikarenakan perawatannya yang mudah, memiliki efisiensi yang tinggi, serta biayanya yang terjangkau [5]. Kecepatan dari motor induksi 3 fasa perlu dikontrol oleh sistem kontrol berupa PLC untuk mendapatkan hasil produk yang presisi. Sistem kontrol yang digunakan pada motor induksi tiga fasa akan dikontrol kecepatan putaran dan arus serta tegangan yang masuk ke motor oleh PLC, lalu untuk mengubah frekuensinya menggunakan inverter [6]. Pengubahan frekuensi ini agar produk yang dihasilkan dapat sesuai dengan spesifikasi produk yang dibutuhkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan analisis sistem kontrol kecepatan motor menggunakan inverter pada mesin CNC guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi produksi. Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai arus dan tegangan, serta RPM pada motor induksi yang diinput berdasarkan frekuensi. Pada penelitian ini akan dibahas juga mengenai arus dan waktu yang dibutuhkan ketika akselerasi dan deselerasi, yang di mana hal tersebut tidak dibahas pada penelitian sebelumnya, sehingga dapat mengetahui kebutuhan torsi yang akan digunakan dan dapat meningkatkan efisiensi dengan menggunakan inverter di mesin CNC. Penelitian ini sangat penting karena dapat meningkatkan presisi, sehingga dapat menaikkan kualitas produk yang dihasilkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. MESIN CNC

Mesin CNC merupakan sebuah perangkat mesin yang dikendalikan menggunakan komputer melalui penggunaan bahasa numerik, yaitu perintah yang menggunakan dengan menggunakan bahasa digital untuk menggerakkan mesin. Sebagai contoh, apabila kita memasukkan perintah "M30" pada monitor mesin, spindel utama mesin akan berputar, sedangkan apabila kita memasukkan perintah "M05", spindel utama mesin akan berhenti berputar.

Mesin CNC pada dasarnya merupakan mesin otomatis yang bekerja berdasarkan pola benda kerja yang telah dirancang melalui software seperti Autocad. Sistem pada CNC terdiri dari tiga komponen utama, yaitu program yang isinya instruksi kerja, unit kontrol mesin MCU (Machine Control Unit), dan peralatan untuk memproses benda kerja. Dengan menggunakan sistem ini, mesin dapat bekerja secara otomatis dan akurat sesuai dengan desain yang telah dibuat melalui software [7]. Mesin CNC dapat menghasilkan produk dengan presisi tinggi yang tentunya dapat menaikkan kualitas produk dan meminimalisir biaya produksi.

B. MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik dengan ukuran KVA yang berbeda-beda dan memiliki perancangan yang hampir sama dengan motor listrik lainnya. Motor induksi 3 fasa akan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan proses tersebut dengan memanfaatkan medan listrik yang terjadi antara medan stator dan rotor yang memiliki gap atau celah yang sempit berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm [8]. Stator adalah bagian yang diam, memiliki kumparan yang berlapis-lapis, dan terdapat belitan stator yang ketika dialiri listrik akan menghasilkan fluks magnet. Rotor adalah bagian yang berputar dari motor yang dihubungkan dengan beban yang akan diputar dan shaft yang terpasang pada pusat rotor. Inti magnet dan slip ring pada rotor akan mengalirkan listrik DC yang menyebabkan adanya kutub magnet di rotor [7], [9]. Motor induksi tiga fasa dapat terjadi karena adanya arus yang mengalir pada rotor, arus yang terinduksi tersebut terjadi karena terdapat perbedaan relatif antara putaran poros pada rotor dengan medan putar pada stator. Kecepatan putar dari motor induksi tiga fasa dapat dipengaruhi oleh frekuensi.

Prinsip kerja pada motor induksi adalah ketika terjadinya induksi elektromagnetik yang disebabkan dari kumparan stator yang dihubungkan ke tegangan 3 fasa sehingga akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Kemudian setelah itu terjadi gaya gerak listrik dari garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator yang memotong kumparan rotor. Pada kumparan stator yang dihubungkan ke sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet berputar. Medan magnet akan memotong kumparan rotor dan menginduksi tegangan dan arus. Lalu arus pada rotor berinteraksi dengan medan magnet stator dan menghasilkan gaya Lorentz yang memutar rotor [7], [10]-[11].

Saat sumber tegangan tiga fasa dihubungkan ke terminal stator, arus akan mengalir pada kumparan tegangan (stator), yang kemudian akan menghasilkan fluks, fluks pada stator biasanya konstan, Persamaan (1) merupakan rumus untuk menghitung kecepatan dari putaran stator, dengan n_s adalah kecepatan putaran stator (rpm), f adalah frekuensi stator (Hz), dan P adalah jumlah kutub [12].

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (1)$$

Persamaan (2) merupakan rumus perbedaan kecepatan medan stator (n_s) dan kecepatan putaran rotor (n_r) dengan S adalah slip motor induksi (%). Hasil slip yang lebih tinggi menunjukkan bahwa rotor berputar lebih lambat daripada kecepatan idealnya dan akan meningkatkan arus rotor, sedangkan slip yang rendah menunjukkan bahwa rotor berputar lebih dekat dengan kecepatan idealnya dan akan meningkatkan efisiensi motor

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2)$$

Apabila nilai n_s sama dengan nilai n_r , maka tegangan tidak akan terinduksi dan pada kumparan rotor tidak akan menghasilkan arus dan berarti tidak menghasilkan kopel, hal tersebut karena kopel pada motor akan terjadi apabila nilai n_s lebih kecil dari nilai n_r [13]. Kelebihan motor induksi tiga fasa adalah memiliki struktur yang kuat dengan konstruksi yang sederhana sehingga membuat motor induksi tiga fasa mudah dirawat dan diperbaiki, harganya terjangkau, dan memiliki efisiensi yang tinggi. Adapun kelemahannya yaitu kecepatannya yang tidak dapat diatur, putaran motor akan turun apabila beban yang diberikan terlalu berat, dan arus awal yang besar [5].



Gambar 1. Nameplate Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa yang digunakan

Spesifikasi motor yang digunakan untuk penelitian ini memiliki 4 kutub (poles), output yang dihasilkan adalah 2 HP 1.5 KW, menggunakan frekuensi 50 Hz/60 Hz, dapat menggunakan tegangan 220 V atau 380 V, menggunakan arus 6.7A (50Hz)/3.8(60Hz) untuk tegangan 220V dan arus 5.5A (50Hz)/3.2A (60Hz) untuk tegangan 380V, dan total RPM di 1420.

C. INVERTER LS SV004IG5A-4

Inverter merupakan alat elektronik yang berfungsi mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi tertentu, menghasilkan sinyal sinus setelah melewati proses pembentukan gelombang serta filter. Inverter mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC menggunakan sinyal kontrol PWM dengan frekuensi yang dapat diatur [14]. Inverter dapat diklasifikasikan sebagai

sumber tegangan (*Voltage Fed Inverter*) jika tegangan inputnya konstan, menghasilkan tegangan output AC dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat dikontrol, dan sebagai sumber arus (*Current Fed Inverter*) jika arus inputnya konstan menghasilkan tegangan output AC dengan frekuensi yang dapat dikontrol, tetapi amplitudo tegangan output tergantung pada impedansi beban. Inverter dapat disebut sebagai *variable DC linked inverter* jika tegangan inputnya dapat diatur. Inverter berfungsi untuk mengubah kecepatan motor AC dengan cara mengubah frekuensi inputnya. Tegangan output pada amplitudo maupun frekuensinya harus stabil, distorsi yang dihasilkan harus rendah, dan tidak memiliki tegangan transien, untuk nilai tegangan dan frekuensinya dapat diatur [15]. Inverter terdiri dari beberapa komponen semikonduktor, seperti SCR, transistor, dan MOSFET sebagai saklar dan pengubah. Inverter juga terdiri dari beberapa rangkaian utama yaitu rangkaian penyearah yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi arus DC dan untuk menghilangkan riak di arus DC.

Inverter terbagi menjadi dua jenis berdasarkan penyesuaian tegangan dan frekuensi yang diatur, yaitu inverter Constant Voltage Constant Frequency (CVCF) yang menghasilkan tegangan dan frekuensi output yang konstan dan biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan tegangan dan frekuensi stabil, seperti penerangan dan elektronik, dan inverter dengan frekuensi dan tegangan output yang berubah-ubah yang biasanya digunakan pada penggerak motor listrik tiga fasa dengan sumber tegangan AC [16]. Inverter pada motor tiga fasa digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor dan mengontrol arus dan tegangan yang masuk ke motor.

Inverter LS SV004iG5A-4 adalah salah satu jenis inverter (pengubah frekuensi) buatan LS Industrial Systems yang banyak digunakan di industri untuk mengontrol kecepatan motor listrik. Spesifikasi inverter LS SV004iG5A-4 yang digunakan untuk penelitian ini memiliki kapasitas output sebesar 0.5 HP 0.4 kW dengan tegangan input 3 fasa AC 380-480V di frekuensi 50/60Hz, tegangan output di 3 fasa AC 380-480V, arus outputnya sebesar 2.5A, memiliki fitur keamanan proteksi *overload*, proteksi *ground fault*, proteksi *overvoltage*, proteksi *undervoltage*, proteksi *short circuit*, dan menggunakan komunikasi RS-485.

D. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL (PLC) Shihlin AXON-32MR-ES

PLC adalah alat yang dapat diprogram oleh bahasa pemrograman untuk menggantikan sistem pengendali konvensional. PLC beroperasi pada frekuensi tinggi untuk meminimalkan kehilangan energi [17]. PLC menggunakan bahasa pemrograman khusus, seperti *ladder logic*, function blok diagram, atau *structured text* yang digunakan untuk mengontrol input, output, dan berbagai perangkat yang terhubung dengannya. PLC akan mengoperasikan semua sistem yang memiliki output *device*, seperti membuat timer dan mengatur timer tersebut menjadi *on* atau *off* [18]. PLC menggantikan kabel, relay, *timer*, *counter*, dan komponen lainnya yang sebelumnya digunakan untuk otomatisasi, karena PLC mengintegrasikan semua komponen tersebut sehingga memungkinkan untuk melakukan program dengan lebih cepat dan efisien [19].

Hardware PLC terdiri dari *Central Processing Unit* (CPU), modul input/output, programmer, dan catu daya. CPU adalah otak dari PLC yang berguna untuk menjalankan program yang telah diprogram di dalamnya, misalnya menjalankan operasi aritmatika, menyimpan atau mengirim data [20]. Modul input/output berguna sebagai penghubung dari PLC dengan berbagai sensor dan aktuator atau peralatan input/output pada sistem operasi PLC. Programmer digunakan untuk berkomunikasi dengan PLC yang salah satu fungsinya untuk memprogram PLC. Catu daya akan digunakan untuk memberikan daya pada semua komponen di PLC [21].

PLC bekerja dengan menerima data dari *input*, memprosesnya, dan menghasilkan *output* untuk mengendalikan sistem [22]. Pada proses *input*, PLC akan menerima data dari sensor, saklar, atau sensor dan sinyal kontrol akan meneruskan ke tahap proses. Pada tahap pemrosesan PLC akan mengolah data input berdasarkan program yang disimpan dalam memori. Pada tahap *output*, PLC akan menghasilkan sinyal kontrol untuk mengendalikan aktuator, motor, atau *output* lainnya [23].

PLC Shihlin AXON-32MR-ES dilengkapi dengan fitur-fitur keamanan seperti proteksi password dan proteksi program untuk memastikan keamanan sistem, kemudian fitur built-in RTC (*Real Time Clock*) dan *built-in counter/pulse output* yang memungkinkan PLC ini untuk digunakan dalam aplikasi yang lebih kompleks. PLC Shihlin AXON-32MR-ES menggunakan 32-bit ARM Cortex-M3 CPU dengan kecepatan pemrosesan 0.5 μ s/instruksi dengan total I/O sebanyak 16 input dan 16 output, menggunakan tegangan input AC 100-240V 50/60 Hz 50 VA dan tegangan output DC 30V/240VAC. *Software* yang digunakan untuk memprogram PLC Shihlin AXON-32MR-ES adalah GX Developer.

E. RELAY MY4N

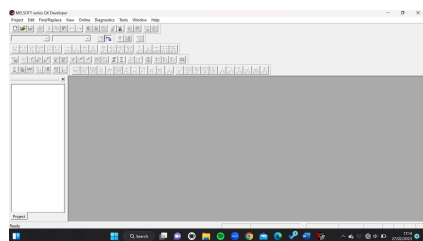
Relay adalah salah satu komponen elektrik yang bekerja ketika koil mendapat sumber arus AC atau DC. Kontak poin akan bergerak apabila koil pada relay telah bekerja, sehingga melalui kontak poin tersebut dapat bekerja dengan arus kecil tetapi dapat menghantarkan arus yang lebih besar [21]. Relay tersusun dari kumparan pegas, saklar yang terhubung ke pegas, dan 2 kontak *normally close* dan *normally open*. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, ketika kumparan relay dialiri tegangan, maka akan terjadi aliran arus listrik pada kumparan yang kemudian menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan menarik saklar *Normally Closed* (NC) ke *Normally Open* (NO), ketika tegangan dimatikan, maka medan magnet hilang dan pegas menarik kembali saklar ke posisi NC. Singkatnya, NC terjadi ketika relay tidak diaktifkan, ketika relay diaktifkan, kontak NC akan terputus. Berbeda dengan NC, NO terjadi ketika relay tidak diaktifkan, namun ketika relay diaktifkan, kontak NO akan terhubung [24].

Relay MY4N diproduksi oleh OMRON dan dilengkapi dengan LED *indicator* sebagai status yang menunjukkan relay tersebut aktif atau tidak. Relay MY4N ini juga dilengkapi dengan sistem penguncian mekanik. Relay MY4N menggunakan tegangan 24 DC dengan 4 kontak NO dan 4 NC, *rated current* sebesar 37.7 mA, *coil resistance* sebesar 636 Ω , *power consumption* sebesar 0.9 W, dan arus maksimum di 5A pada 30VDC.

F. GX Developer

GX-Developer adalah sebuah perangkat lunak dengan bahasa pemrograman ladder diagram yang digunakan untuk menulis dan mengubah program untuk mengendalikan PLC. Terdapat simbol perintah pemrograman, seperti input (X) yang digunakan untuk membaca sinyal dari sensor atau perangkat lain, output (Y) untuk mengirim sinyal ke aktuator, timer (T) untuk menghitung waktu

dalam program, dan counter (C) untuk menghitung jumlah pulsa dalam program. Lalu terdapat perintah logika dasar AND, OR, SET, RESET, PULSE. Dengan adanya software GX Developer, sistem produksi dan pemrosesan di industri dapat dikontrol melalui software ini [25].

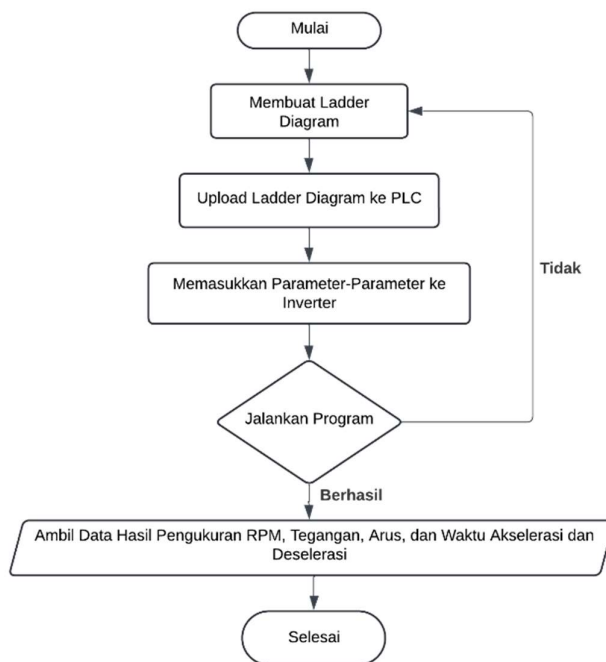


Gambar 2. Tampilan Awal GX-Developer

Penelitian yang dilakukan oleh Zulfikar (2019) mengenai penggunaan inverter 3G3MX2 yang digunakan untuk mengubah kecepatan putar motor induksi 3 fasa didapatkan hasil tegangan, arus, dan juga daya dari motor induksi 3 fasa dengan mengubah RPM berdasarkan frekuensi, semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka akan semakin cepat putaran motor yang dihasilkan. Pada penelitian ini akan ditambahkan data berupa arus dan waktu yang dibutuhkan ketika akselerasi dan deselerasi pada motor 3 fasa yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan torsi yang akan digunakan dalam pembuatan suatu produk serta dapat meningkatkan efisiensi, produk yang dihasilkan tentu akan menjadi presisi dan dapat menaikkan kualitas dari produk tersebut.

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah studi literatur dan dengan pengambilan data yang dilakukan di laboratorium *repair* salah satu Industri di Jakarta.



Gambar 3. Flow Chart Alur Penelitian

Proses diawali dengan pembuatan ladder diagram menggunakan software GX-Developer, kemudian ladder diagram tersebut di *upload* ke PLC, setelah itu masukkan parameter ke inverter secara bertahap. Setelah ladder diagram di *upload* ke PLC dan memasukkan parameter ke inverter, langkah selanjutnya adalah menjalankan program yang telah dibuat pada ladder diagram, apabila program tersebut terdapat kesalahan atau tidak berhasil, maka perlu dilakukan pengecekan ulang di bagian ladder diagram, namun apabila program berhasil dijalankan, maka pengambilan data berupa RPM, tegangan, arus, dan waktu akselerasi dan deselerasi dapat dilakukan.

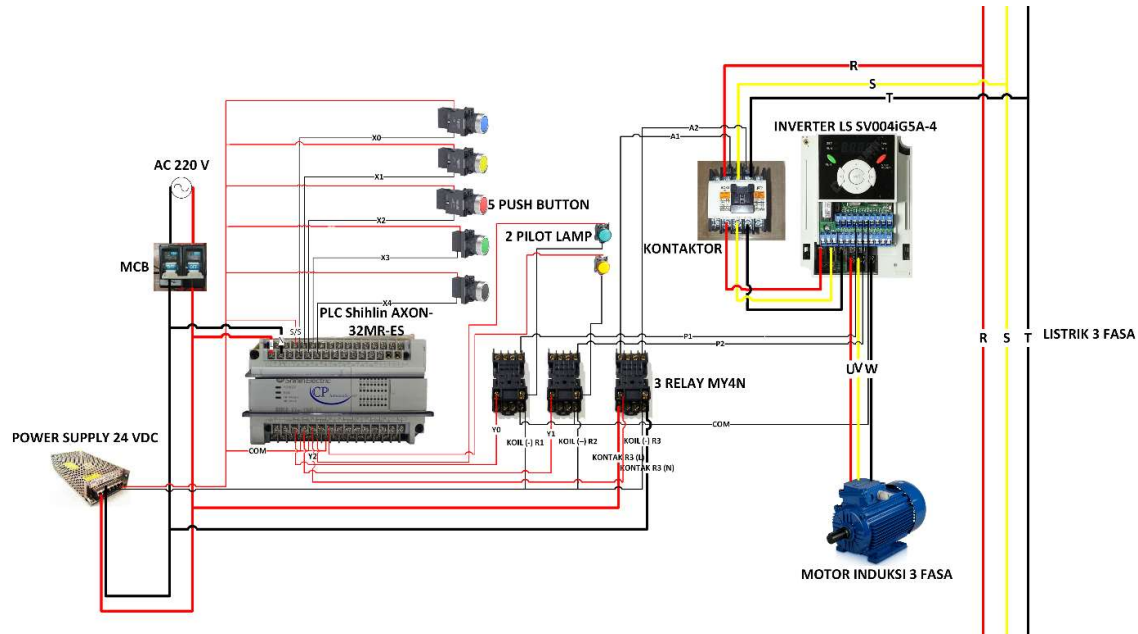
A. Setting Parameter pada Inverter LS SV004iG5A-4

Sebelum melakukan penelitian, diperlukan *setting* parameter yang terdapat pada inverter LS SV004iG5A-4. *Setting* parameter pada inverter LS SV004iG5A-4 bertujuan untuk mencocokkan karakteristik dari motor induksi, karena setiap motor induksi memiliki karakteristik yang berbeda. Adapun tujuan lainnya tentu untuk menghasilkan kinerja yang optimal, memaksimalkan efisiensi dari energi motor induksi, dan untuk melindungi motor dari lonjakan arus. Untuk waktu yang diatur pada inverter agar berakselerasi adalah 5 detik, berarti waktu yang dibutuhkan motor untuk mencapai perputaran yang telah ditentukan adalah 5 detik. Untuk waktu yang diatur pada inverter agar berdeselerasi adalah 10 detik, berarti waktu yang dibutuhkan motor untuk dapat berhenti dari yang sebelumnya kencang adalah 10 detik. Mode yang digunakan adalah untuk mengoperasikan terminal FX sebagai motor forward dan

RX sebagai motor reverse. Inverter digunakan untuk mengaktifkan inverter untuk menjalankan forward dan reverse sehingga diatur di F1. Untuk mencegah lonjakan arus, diatur di F54. Terakhir, untuk penyesuaian arus dapat diatur pada H33 dan diatur di 5.5 A sesuai pada spesifikasi motor.

B. Wiring Diagram Rangkaian Motor 3 Fasa dengan Inverter LS SV004iG5A-4

Pada desain yang terdapat pada Gambar 4 terlihat bahwa inverter difungsikan sebagai pengatur frekuensi untuk motor induksi, kecepatan dari motor induksi akan diatur oleh frekuensi dari inverter.



Gambar 4. Wiring rangkaian motor induksi tiga fasa dengan Inverter LS SV004iG5A-4

Rangkaian inverter yang akan digunakan untuk menggerakan motor induksi memiliki wiring diagram seperti pada Gambar 6. Komponen yang digunakan adalah MCB, Power supply 24 VDC, PLC Shihlin AXON-32MR-ES, 3 Relay MY4N, 5 buah push button NO, Kontaktor, Inverter LS SV004iG5A-4, dan motor induksi 3 phase. Untuk tegangan yang digunakan adalah 220V dan 380V, tegangan 220V akan masuk melalui MCB dan akan tersalurkan ke PLC, Power supply, dan ke Relay 3 yang terhubung dengan koil kontaktor A1 dan A2. Kemudian output positif 24VDC dari Power supply akan tersalurkan ke semua tombol NO, S/S, dan ke COM (COM digunakan sebagai tegangan 24VDC untuk mengaktifkan output Y0-Y4 (Pada koil positif Relay dan LED) dan output negatif 24VDC akan masuk ke koil negatif relay. Tombol NO menggunakan input X0 hingga X4 pada PLC. Kemudian COM pada inverter masuk ke input COMMON pada Relay 1, 2, dan 3, kemudian output NO pada relay 1 masuk ke sinyal P1 dan output NO pada relay 2 masuk ke sinyal P2. Kemudian pada tegangan 380V akan masuk melalui input kontaktor dan outputnya akan masuk ke input power inverter, setelah itu output dari inverter akan masuk ke beban yaitu motor induksi 3 phase.

C. Ladder Diagram pada GX Developer

Untuk dapat mengaktifkan dan menonaktifkan sistem kontrol, tentunya diperlukan program yang digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan sistem kontrolnya, seperti untuk mengoperasikan *push button* NO, LED, *relay*, dan timer. Pada rangkaian yang telah dibuat, terdapat 6 buah *push button* NO, 6 buah *relay*, 2 buah LED yang nantinya akan dimasukkan ke dalam program PLC. Berikut ini adalah nama device yang digunakan dan pengimplementasiannya.

TABEL I
NAMA DEVICE YANG DIGUNAKAN DAN PENGIMPLEMENTASIANNYA

Nama Device pada PLC	Pengimplementasiannya
X0	<i>Push button</i> Forward Motor
X1	<i>Push button</i> Reverse Motor
X2	<i>Push button</i> Motor OFF
X3	<i>Push button</i> Ready ON Kontaktor
X4	<i>Push button</i> Ready OFF Kontaktor
X5	<i>Push button</i> Auto Multi-step
Y0	Motor Forward ON
Y1	Motor Reverse ON + Indikator LED

Y2	Kontaktor Ready ON
Y3	Indikator LED Motor Forward ON

Untuk mengaktifkan semua nama device di atas, diperlukan program yang akan digunakan sebagai sistem kontrolnya. Rung pada PLC adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan diagram tangga yang digunakan untuk merepresentasikan program yang akan dijalankan oleh PLC. Rung sendiri terdiri dari sejumlah kontak dan koil yang merepresentasikan input dan output yang terhubung ke PLC. Berikut ini adalah penjelasan mengenai rung yang digunakan

1) Rung Kontaktor

Pada rung ini terdapat push button X3 yang digunakan untuk menyalakan kontaktor, ketika push button X3 ditekan, relay Y2 akan menyala dan akan mengaktifkan kontaktor yang telah terhubung dengan tegangan 380V dan digunakan untuk menyalakan sistem kontrol Inverter dan motor induksi 3 phase. Terdapat syarat untuk sistem kontrol, kontaktor harus dalam kondisi nyala terlebih dahulu agar dapat mengoperasikan sistem kontrol. Lalu terdapat push button X4 yang digunakan untuk mematikan kontaktor yang berarti akan mematikan sistem kontrol juga.

2) Rung Forward

Rung forward terdapat push button X0 yang apabila ditekan, maka motor akan berputar maju (forward), pada rung ini terdapat syarat agar push button X0 dapat ditekan, yaitu dengan penambahan relay Y2 (sebagai kontaktor ready), jadi selama relay Y2 belum menyala, maka push button X0 tidak dapat ditekan, karena memang motor harus tersambung dulu dengan aliran listrik 380V, kemudian setelah itu dapat ditekan untuk push button X0. Y0 akan berfungsi sebagai saklar untuk menyalakan motor dengan kondisi forward, kemudian terdapat push button X2 yang apabila ditekan, maka akan mematikan motor dengan kondisi forward. Terdapat syarat kedua, apabila relay Y0 dalam kondisi ON (motor sedang dalam kondisi forward), maka push button X1 tidak dapat ditekan, untuk dapat menekan push button X1, maka harus mematikan dahulu fungsi dari motor forward dengan menggunakan push button X2, hal tersebut tentunya sebagai safety bagi motor induksi.

3) Rung Reverse

Pada rung reverse terdapat push button X1 yang apabila ditekan, maka akan menyalakan motor dengan kondisi reverse dan indikator LED, pada rung ini juga terdapat syarat agar push button X1 dapat ditekan, yaitu dengan penambahan relay Y2 (sebagai kontaktor ready), jadi selama relay Y2 belum menyala, maka push button X1 tidak dapat ditekan. Relay Y1 akan berfungsi sebagai saklar untuk menyalakan motor dengan kondisi reverse, kemudian terdapat push button X2 yang apabila ditekan, maka akan mematikan motor dengan kondisi reverse.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk membandingkan nilai tegangan, arus, dan RPM Aktual pada motor induksi tentunya harus melihat spesifikasi yang digunakan oleh motor induksi. Telah diketahui pada landasan teori mengenai spesifikasi motor yang digunakan yaitu RPM pada motor diketahui sebesar 1420 dengan frekuensi maksimal yang digunakan adalah 50 Hz. Dari kedua data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk setiap frekuensi 1 Hz didapatkan nilai 28.4 RPM. Oleh karena itu untuk pengecekan nilai aktualnya dibutuhkan 2 pengukuran, yaitu menggunakan display yang terdapat di display inverter dan menggunakan Tachometer. Berikut ini adalah data nilai tegangan, arus, dan RPM Aktual yang telah didapatkan.

TABEL II
DATA NILAI TEGANGAN, ARUS, DAN RPM AKTUAL

Frekuensi	Tegangan	Arus	RPM pada Inverter	RPM Aktual dengan Tachometer
	Tegangan Aktual Menggunakan Avometer	Arus Aktual Menggunakan Avometer		
10 Hz	66 V	1,56 A	300	297
15 Hz	86,7 V	1,43 A	450	447
20 Hz	110,4 V	1,56 A	600	597
25 Hz	133,3 V	1,53 A	750	746
30 Hz	155,6 V	1,5 A	900	896
35 Hz	177,9 V	1,36 A	1050	1046
40 Hz	199,6 V	1,67 A	1200	1196
45 Hz	221,1 V	1,36 A	1350	1346
50 Hz	243,4 V	1,36 A	1500	1496

Dari data perbandingan arus dan tegangan yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa frekuensi tinggi yang digunakan, akan menghasilkan tegangan yang semakin tinggi dan semakin rendah frekuensi yang digunakan akan menghasilkan tegangan yang rendah, seperti pada data di atas, ketika di frekuensi 10 Hz, tegangan outputnya sebesar 66V, namun ketika frekuensinya di angka 50 Hz, tegangan outputnya sebesar 243V. Sedangkan untuk arus, output yang dihasilkan tidak stabil, fenomena tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti :

1. Kondisi beban yang terlalu berat dapat menyebabkan arus yang tidak stabil pada motor induksi 3 phase. Hal ini dapat terjadi karena beban yang terlalu berat dapat pada satu atau beberapa fase dapat menyebabkan arus yang tidak seimbang pada masing-masing fase. Ketika beban pada satu atau beberapa fase melebihi kapasitas maksimal yang dapat ditangani oleh motor, maka akan terjadi ketidakseimbangan antara arus pada setiap fase. Ketidakseimbangan arus ini dapat menyebabkan arus yang lebih besar pada salah satu fase dan arus yang lebih kecil pada fase lainnya sehingga pada grafik dapat terlihat bahwa arus di masing-masing frekuensi kadang memiliki nilai yang lebih besar ataupun sebaliknya.
2. Kerusakan pada bagian rotor atau stator juga dapat menyebabkan arus yang tidak stabil pada motor induksi. Kerusakan pada rotor dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban antara masing-masing fase, sedangkan kerusakan pada stator dapat mempengaruhi impedansi pada masing-masing fase.
3. Kerusakan pada bearing motor induksi dapat menyebabkan ketidakstabilan arus, karena bearing di sini berfungsi untuk menyangga poros rotor dan memungkinkan rotor untuk berputar dengan bebas di dalam stator. Ketika terjadi kerusakan pada bearing, seperti aus atau keausan berlebihan, maka akan terjadi friksi yang lebih besar pada poros rotor. Hal ini dapat menyebabkan poros rotor tidak dapat berputar dengan bebas di dalam stator dan meningkatkan beban pada motor. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan arus pada setiap fase motor.

Kemudian pada grafik RPM pada motor induksi di atas disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka putaran RPM pada motor induksi juga akan semakin tinggi. Pada percobaan di atas tidak menggunakan frekuensi 5 Hz karena memang terlalu berat bagi motor induksi untuk menahan arus jika frekuensi yang digunakan terlalu kecil. Data yang didapat dari display di inverter terjadi perbedaan antara 3 – 4 RPM dari data dari tachometer. Perbedaan data yang terjadi pada display di inverter dengan yang menggunakan tachometer dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti tachometer yang digunakan bisa saja mengalami ketidakakuratan dalam pengukuran RPM atau bisa saja kertas reflector yang digunakan untuk pemantulan sinar infrared pada tachometer kurang baik dalam memberikan pantulan, kelebihan beban pada motor dapat menyebabkan RPM motor menurun, sehingga RPM yang diukur oleh tachometer tidak sesuai dengan kecepatan sebenarnya, dan kerusakan pada bagian motor seperti rotor, stator, atau juga bearingnya tentu dapat mempengaruhi RPM motor. Jika terdapat kerusakan pada bagian tersebut biasanya RPM motor dapat menurun atau bahkan motor tidak dapat berputar sama sekali.

Perhitungan RPM dapat menggunakan rumus dengan perhitungan rumus berdasarkan pembagian antara RPM yang tertera di spesifikasi pada motor dengan frekuensi maksimalnya yaitu 50 Hz. Diketahui dari spesifikasi motor bahwa jumlah kutubnya ada 4, sehingga dari rumus di atas didapat perhitungan sebagai berikut.

1. Frekuensi 10 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 10}{4} = 300 \text{ Hz}$$

2. Frekuensi 15 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 15}{4} = 450 \text{ Hz}$$

3. Frekuensi 20 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 20}{4} = 600 \text{ Hz}$$

4. Frekuensi 25 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 25}{4} = 750 \text{ Hz}$$

5. Frekuensi 30 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 30}{4} = 900 \text{ Hz}$$

6. Frekuensi 35 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 35}{4} = 1050 \text{ Hz}$$

7. Frekuensi 40 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 40}{4} = 1200 \text{ Hz}$$

8. Frekuensi 45 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 45}{4} = 1350 \text{ Hz}$$

9. Frekuensi 50 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Hz}$$

Dari analisis hasil perhitungan, disimpulkan bahwa perhitungan dengan rumus memiliki nilai yang sama dengan yang ada pada display di inverter, hal tersebut dapat terjadi karena inverter otomatis akan melakukan perhitungan, sehingga data yang tertera pada display inverter memiliki nilai yang sama dengan perhitungan rumus. Pada pengaplikasian di mesin CNC tentunya harus memikirkan pemilihan frekuensi yang tepat agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Biasanya, pada proses pembubutan dengan permesalan gear ukuran kecil menggunakan frekuensi tinggi (misalnya 40 Hz) karena memang membutuhkan kecepatan RPM yang tinggi, namun apabila dengan gear ukuran besar menggunakan frekuensi rendah (misalnya 10 Hz) karena memang membutuhkan RPM yang rendah.

Akselerasi pada putaran motor induksi 3 phase merujuk pada kecepatan perubahan putaran pada motor induksi dari diam menuju kecepatan yang lebih tinggi. Akselerasi terjadi ketika tegangan dan frekuensi daya listrik yang diberikan ke motor berubah, sehingga medan magnetik di dalam motor berubah dan menyebabkan rotor motor berputar. Sedangkan deselerasi pada putaran motor induksi 3 phase merujuk pada kecepatan perubahan putaran pada motor induksi dari kecepatan tinggi menuju ke berhenti. Deselerasi terjadi ketika tegangan dan frekuensi daya listrik yang diberikan ke motor berubah, sehingga medan magnetik di dalam motor berubah dan menyebabkan rotor motor melambat atau berhenti. Untuk membandingkan waktu akselerasi dan deselerasi pada motor induksi dapat dilakukan dengan melihat pada display inverter diimbangi dengan mengukur waktu menggunakan stopwatch, jadi ketika putaran telah mencapai frekuensi yang telah ditentukan, maka akan didapatkan waktu akselerasi dan deselerasinya. Berikut ini adalah perbandingan waktu akselerasi dan waktu deselerasi yang didapatkan.

TABEL III
PERBANDINGAN WAKTU AKSELERASI DAN DESELERASI

Frekuensi	Waktu Akselerasi	Waktu Deselerasi
10 Hz	1.00 s	1.18 s
15 Hz	1.15 s	1.29 s
20 Hz	1.45 s	1.47 s
25 Hz	1.51 s	1.67 s
30 Hz	2.03 s	1.91 s
35 Hz	2.47 s	2.40 s
40 Hz	2.69 s	2.66 s
45 Hz	3.09 s	2.75 s
50 Hz	3.33 s	3.07 s

Pada data waktu akselerasi dan deselerasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin lama juga waktu akselerasi dan deselerasinya, namun sebaliknya, semakin rendah frekuensi yang digunakan, maka akan semakin cepat juga waktu akselerasi dan deselerasinya. Frekuensi yang diberikan ke motor induksi tentu akan berpengaruh pada waktu akselerasi dan deselerasi pada motor karena kecepatan putaran motor tergantung pada frekuensi yang diberikan. Ketika motor diberi sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi, maka kecepatan putaran motor akan meningkat dan tentunya juga akan semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh motor induksi untuk mencapai akselerasinya. Selain itu, waktu akselerasi dan deselerasi pada motor juga dipengaruhi oleh beban yang diputar oleh motor. Semakin berat beban yang diputar, maka waktu akselerasi dan deselerasi pada motor akan semakin lama. Sehingga dalam pengaplikasiannya, kita harus memikirkan pemilihan frekuensi yang tepat agar waktu akselerasi dan deselerasi yang sesuai dengan beban yang diputar oleh motor induksi, karena jika salah dapat menyebabkan singkatnya umur pemakaian motor induksi.

TABEL IV
ARUS PUNCAK KETIKA AKSELERASI DAN DESELERASI

Frekuensi	Arus Akselerasi	Arus Deselerasi
10 Hz	1.56 A	1.36 A
50 Hz	1.7 A	1.46 A

Pada tabel 4 didapatkan data arus puncak ketika sedang melakukan akselerasi dan deselerasi. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi rendah (10 Hz), arus puncak ketika akselerasi lebih kecil yaitu 1,56 A dibandingkan ketika frekuensi tinggi (50 Hz) yaitu 1,7 A. Begitupun untuk waktu deselerasinya, ketika frekuensi rendah (10 Hz) juga memiliki nilai arus puncak yang lebih kecil yaitu 1,36 A dibandingkan dengan frekuensi tinggi (50 Hz) yaitu 1,46 A. Hal tersebut dapat terjadi karena pada frekuensi rendah, muatan listrik memiliki waktu yang lebih lama untuk mengalir melalui konduktor, sehingga menghasilkan arus yang lebih kecil. Sedangkan pada frekuensi tinggi, muatan listrik memiliki waktu yang lebih singkat untuk mengalir melalui konduktor, sehingga muatan dapat bergerak lebih cepat dan menghasilkan arus yang lebih besar. Jadi, semakin tinggi frekuensi, semakin banyak muatan listrik yang dapat mengalir melalui konduktor dalam waktu yang sama, sehingga menghasilkan arus yang lebih besar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan inverter untuk mengatur frekuensi sangat penting guna meningkatkan produk yang berkualitas. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan, namun sebaliknya, semakin rendah frekuensi yang digunakan, maka akan semakin rendah tegangan yang dihasilkan. Arus output yang dihasilkan tidak stabil. Dengan menggunakan frekuensi tinggi sebesar 50 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi selama 3.33 s dan waktu deselerasinya selama 3.07 s, namun sebaliknya, apabila menggunakan frekuensi rendah di 10 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi menjadi lebih cepat di 1 s dan waktu untuk deselerasinya di 1.18 s.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Z. Zainuddin, M. N. A. Baso, and Y. Luki, "Strategi Penerapan Segmentasi, Targeting, Positioning pada PT. Kumala Motor Sejahtera Abadi Kendari," *Sultra J. Econ. Bus.*, vol. 4, no. 2, pp. 86–97, 2023, doi: <https://doi.org/10.54297/sjeb.v4i2.511>.

- [2] A. A. Putra, M. Rifa'i, and H. K. Safitri, "Implementasi Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper pada Proses Molding Microplastic Berbasis PID menggunakan PLC dan Arduino," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, pp. 22–30, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3601>.
- [3] M. Jufrizaldy, I. Ilyas, and M. Marzuki, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 1, p. 37, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i1.1743.
- [4] E. Kurniawan, Syaifurrahman, and B. Jekky, "Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis," vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.769>.
- [5] Hamdani and A. Hasibuan, "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Matlab," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 70–76, 2019, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v1i2.3014>.
- [6] W. WISANTI, "Sistem Kontrol Kecepatan Motor 3 Fasa Dengan Smart Relay Zelio Dan Inverter Altivar," *J. INSTEK (Informatika Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 41–48, 2022, doi: 10.24252/instek.v7i1.27085.
- [7] Zulfikar, N. Evalina, A. Azis, and Y. T. Nugraha, "Analisis Perubahan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan menggunakan Inverter 3G3MX2," vol. 2, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1308>
- [8] D. A. Prestanty and B. D. Cahyono, "Proses Pembangkit Listrik 15 Mw Pada Waste Heats Recovery System di PT. Cemindo Gemilang, Tbk.," *Jural Ris. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 52–66, 2022, doi: 10.55606/jurritek.v1i2.398.
- [9] A. Nurhadi, M. J. Afroni, and B. D. Sulo, "Kontrol dan Monitoring Motor - Generator menggunakan PLC LS dan Inverter VF-S9," *Sci. Electro*, vol. 12, no. 1, pp. 10–17, 2019.
- [10] S. Duta Pratama and S. Afandi, "Modifikasi Sistem Kontrol Pada Motor 3 Fasa dengan Inverter," *J. Instrumentasi dan Teknol. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 75–83, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.poltek-gt.ac.id/index.php/jiti/ProgramStudiD3TeknikElektronikaPoliteknikGajahTunggal>
- [11] A. T. Nugraha, R. Marjuki, D. I. Y. Agna, and F. Ivannuri, "Sistem Kontrol Tegangan pada Generator Induksi 3 Fasa dengan PLC Voltage," *Elektriese J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 21–33, 2023, doi: 10.47709/elektriese.v13i01.2347.
- [12] R. A. Rangkuti, Atmam, and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *J. Tek.*, vol. 14, no. 1, pp. 121–128, 2020, doi: 10.31849/teknik.v14i1.2295.
- [13] J. Siburian, Jumari, and A. Simangunsong, "Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Star Delta pada PT.Toba Pulp Lestari Tbk," *J. Teknol. ENERGI UDA J. Tek. ELEKTRO*, vol. 9, no. 2, pp. 81–87, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.darmaagung.ac.id/index.php/teknologienergi/article/view/964>
- [14] I. Nugrahanto, G. P. Riatma, and A. D. Risdhayanti, "Perancangan Variable Frequency Drive (Vfd) Satu Fasa dengan menggunakan Metode Sinusoida Pulse Width Modulation Berbasis Mikrokontroler," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 17, no. 2, pp. 32–34, 2022, doi: 10.30587/e-link.v17i2.4497.
- [15] Zulfikar, N. Evalina, and A. A., "Penggunaan Inverter 3G3MX2 Untuk Merubah Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa," *J. Electr. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 93–96, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/1622>
- [16] A. T. Nguyen, S. W. Ryu, A. U. Rehman, H. H. Choi, and J. W. Jung, "Improved Continuous Control Set Model Predictive Control for Three-Phase CVCF Inverters: Fuzzy Logic Approach," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75158–75168, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3081718.
- [17] Rimbawati, Cholish, E. Saputro, and P. Harahap, "Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v3i2.6482>.
- [18] M. P. . Kawulur, M. Tumembow, and A. Polii, "Pembuatan Program Alat Penekan Briket dari Campuran Arang Tempurung dengan Limbah Kertas Menggunakan Programmable Logic Controller Nano V-5," *J. Mas. Nipake*, vol. 2, no. 2, pp. 44–55, 2022, [Online]. Available: <https://p3m.polimdo.ac.id/jurnal/index.php/MASINA-NIPAKE/article/view/88>
- [19] F. E. Ahmad and E. Fitriani, "Penggunaan Sistem Outseal PLC Pada Pemilah Otomatis Dan Penghitung Otomatis," *Bina Darma Conf. Eng. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 27–39, 2020, [Online]. Available: <http://conference.binadarma.ac.id/index.php/BDCES>
- [20] Soleh Uddin, D. Alia, and D. D. Suharso, "Monitoring and Control of a Variable Frequency Drive Using Plc and Scada," *J. 7 Samudra*, vol. 8, no. 2, pp. 19–24, 2023, doi: 10.54992/7samudra.v8i2.119.
- [21] M. D. D. Rezaputra and M. R. A. Cahyono, "Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Press Roll Berbasis PLC Mitsubishi Type-Q Pada Building Tire Machine," *Indones. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–101, 2021.
- [22] A. Supardi, U. Umar, I. Setiyoko, and M. Saifurrohman, "Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Dilengkapi Layar Sentuh," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 65–72, 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i1.15784.
- [23] A. Setiawandira and Habibullah, "Sistem Pengontrolan Automatic Botol Minuman pada Mesin SMI Berbasis PLC Siemens S7-1200," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 940–948, 2023, doi: <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.522>.
- [24] B. W. Ermanda and U. Latifa, "Kendali Relay Otomatis dilengkapi Timer dan Deteksi Suhu menggunakan RTC DS3231," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 120–126, 2023, doi: <https://doi.org/10.30604/jti.v5i2.139>.
- [25] B. Ismoyo, M. A. G. Irawan, and M. D. D. Rezaputra, "Modifikasi Press Tread Pada Mesin BMC 02.03 Assembly Green Tire Plant B," *J. Instrumentasi dan Teknol. Informastika*, vol. 3, no. 1, pp. 39–54, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.poltek-gt.ac.id/index.php/jiti/article/view/22>

Desain dan Analisis Pencahayaan Gedung Bengkel Universitas Negeri Manado

Calvin Mamahit¹, Prayogi Pangestu²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado; email: calvinmamahit@unima.ac.id, prayogipangestu.unima@gmail.com

[Dikirimkan: 17 November 2023, Direvisi: 13 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Calvin Mamahit

INTISARI — Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain dan menganalisis pencahayaan Gedung Bengkel Universitas Negeri Manado. Penerangan alami dan buatan diperlukan untuk aktivitas manusia sehari-hari di luar dan di dalam bangunan. Penerangan harus memenuhi standar yang dituangkan dalam SNI dan Peraturan Menteri Kesehatan No. 70 Tahun 2016 tentang Standar Intensitas Cahaya. Salah satu tujuan penerangan gedung adalah untuk memberikan penerangan yang cukup sekaligus mengurangi bahaya kecelakaan. Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk mempelajari lebih lanjut dan menyelidiki standar pencahayaan yang ada pada fasilitas bengkel UNIMA saat ini. Penulis menggunakan survei dan analisis kebutuhan, kemudian melakukan pengembangan dengan merancang kebutuhan penerangan. Hasil perancangan tersebut langsung diimplementasikan pada proyek instalasi penerangan, lalu kembali dianalisis keefektifan dan efisiensi penerangan itu. Penulis memperoleh data penelitian untuk evaluasi dengan melakukan studi kasus dimana data dikumpulkan, diolah, dibandingkan, dan dievaluasi. Penulis menggunakan teori dasar dimana intensitas cahaya berbanding lurus dengan fluks cahaya, jumlah titik pasang, dan rugi-rugi cahaya, serta berbanding terbalik dengan luas ruangnya. Ada tujuh ruangan yang dianalisis, yaitu lima ruang pendukung, satu ruang kerja utama, dan ruang toilet. Hasil penelitian menunjukkan intensitas cahaya pada ruang bengkel UNIMA rata-rata 144,2 lux dan area kerja 191,06 lux. Perhitungan serta analisis banyaknya lampu yang dipakai supaya terpenuhi kriteria SNI, adalah 54 LED bervariasi daya 10, 22, 20, dan 40 watt.

KATA KUNCI — Analisis, Desain, Pencahayaan, Gedung, Bengkel.

I. PENDAHULUAN

Unsur fisik, kimia, biologi, dan psikologis semuanya berdampak pada tempat kerja. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, variabel fisik dapat berdampak pada lingkungan kerja dan personel. Pencahayaan merupakan salah satu contoh komponen fisik. Pekerja yang melakukan segala jenis aktivitas pekerjaan memerlukan penerangan [1].

Pencahayaan merupakan salah satu aspek yang berkontribusi terhadap lingkungan kerja yang menyenangkan dan terkait dengan produktivitas manusia. Penerangan yang baik memungkinkan individu untuk melihat apa yang sedang mereka kerjakan dengan jelas, cepat, dan tanpa usaha yang berlebihan. Penerangan yang buruk dapat menyebabkan kelelahan mata karena penurunan efektivitas aktivitas mata dan gejala nyeri dan sakit kepala di sekitar mata. Sumber penerangan diperlukan berdasarkan peruntukan ruangan untuk menyuplai kebutuhan cahaya pada ruangan tersebut [2].

Sistem pencahayaan adalah salah satu bagian paling penting dan mendasar dari suatu struktur, sehingga memungkinkannya menjadi bangunan yang kita idamkan. Pemasangannya harus hati-hati agar tidak mengancam pelanggan atau pengguna saat digunakan. Oleh karena itu, saat memasang sistem pencahayaan, sangat penting untuk menggunakan proses yang cermat dan tepat serta mematuhi persyaratan yang berlaku.

Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2011 [3] mengatur tentang perancangan instalasi listrik di Indonesia. Undang-undang ini menunjukkan bagaimana membangun instalasi listrik yang baik dan akurat [4], keduanya merupakan persyaratan Indonesia [5]. Sesuai Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Tata Cara Pelaksanaan Pencahayaan, diusahakan pencahayaan alami dan buatan agar tidak menimbulkan silau dan mempunyai intensitas yang sesuai. sesuai dengan peruntukannya [6].

Penerangan diperlukan untuk menunjang berbagai aktivitas manusia di dalam dan luar ruangan. Standar tingkat intensitas cahaya pada suatu pabrik atau area produksi adalah 300 lux, sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Kerja [7].

Bengkel Unima atau dalam kehidupan sehari-hari disebut Bengkel UNIMA merupakan tempat berkumpulnya para pelaku usaha kecil dan menengah yang memberikan jasa perbaikan metode pengelasan atau pengerjaan kayu. Bengkel Unima juga menjadi wadah bagi mahasiswa untuk membuat kerajinan tangan seperti bahan-bahan fungsional yang terkait dengan mata kuliahnya di Fakultas Teknik Unima.

Bengkel Universitas Negeri Manado merupakan tempat diadakannya pengerjaan kayu dan besi, dan banyak mahasiswa yang datang ke sini untuk berlatih atau belajar bagaimana memanfaatkan mesin-mesin terkini seperti mesin las atau mesin pemotong. Dengan seringnya para pekerja dan mahasiswa berkunjung untuk bekerja dan praktik, jelas bahwa penerangan sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan di ruang kerja bengkel Unima. Meskipun sistem pencahayaan pada Bengkel Unima masih tergolong baru, namun kebutuhan pencahayaan harus dianalisis untuk memastikan memenuhi tuntutan dan standar saat ini [8]. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menciptakan penerangan listrik yang efisien dan berstandar pada Bengkel Unima.

II. LANDASAN TEORI

Satuan standar lux didasarkan pada kebutuhan, dengan asumsi lampu yang digunakan adalah lampu LED dengan ukuran 1 Watt = 120 lumens dan juga memperhatikan besar kecilnya area dan area kerja [2], dalam analisa perhitungan ini menggunakan sederhana

rumusnya dengan mengabaikan ketinggian plafon namun tetap memperhatikan faktor lain seperti pengaruh dinding. Berikut rumusnya [2] dan [8]:

$$E = \frac{\Phi \times N \times Cu \times LLF}{A} \quad (1)$$

$$N = \frac{E \times A}{\Phi \times n \times Cu \times LLF} \quad (2)$$

Deskripsi rumus:

E = intensitas cahaya (lux)
 Φ = fluks cahaya (lumen), 1-watt setara dengan 100 lumens
N = jumlah titik pemasangan
Cu = Coefficient Utilization (koefisien penggunaan, menggunakan 50% atau 0,5
LLF = lost light factor (faktor rugi cahaya), nilai koefisiennya adalah 0.7 - 0.8 berdasarkan kondisi rumah
A = luasan ruangan (m²)

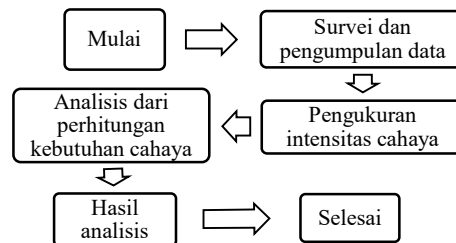
III. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tinjauan Pustaka: Yaitu pencarian istilah-istilah dalam buku, media, atau temuan penelitian orang lain untuk dijadikan landasan teori yang dapat dijadikan bahan rujukan dalam pembuatan laporan ini [9].
2. Metode observasi: Ini adalah metode pengumpulan data dengan melihat langsung suatu benda dalam jangka waktu tertentu dan mengandalkan pencatatan secara metodis terhadap benda-benda tertentu yang ingin dilihat. Dalam observasi ini penulis melakukan pengukuran dan observasi langsung di bengkel untuk mengumpulkan data untuk penyusunan laporan [10].
3. Teknik wawancara: Wawancara merupakan metode pengumpulan data yang melibatkan pertanyaan dan tanggapan langsung dari peserta lokakarya untuk mendapatkan data yang dapat dimanfaatkan untuk menyusun laporan [11].
4. Metode dokumentasi: Dokumentasi merupakan strategi pengumpulan data dengan memotret bahan penyusunan laporan dalam bentuk gambar dan diagram pengkabelan [12].

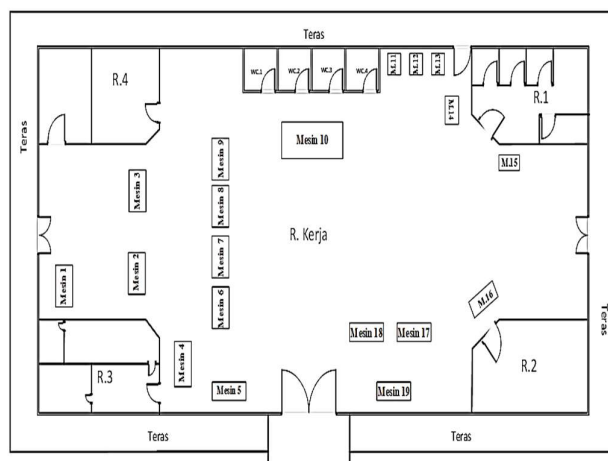
Observasi berlangsung selama tiga bulan. Penelitian ini dilakukan pada Bengkel Universitas Negeri Manado. Unima, Tataaran Satu, Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, dan Sulawesi Utara semuanya merupakan tempat yang bisa dikunjungi.

Diagram alir digunakan dalam penelitian untuk menggambarkan aliran serangkaian langkah yang berurutan. Hal ini digambarkan pada Gambar 1 diagram alir.



Gambar 1. Diagram alir desain penelitian

Bengkel Unima terbagi menjadi beberapa ruangan, antara lain area utama pengoperasian mesin dan ruangan lain yang lebih kecil seperti toilet. Gambar 2 menggambarkan gambaran denah lantai bengkel.



Gambar 2. Bengkel Unima

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Peneliti mengambil data atau pengukuran dengan menggunakan pengukuran lokal, yaitu perhitungan yang dilakukan langsung di atas area kerja yang dalam hal ini adalah mesin. Pengukuran dengan aplikasi Lux Meter pada smartphone menggunakan sensor cahaya saat ini [13]. Berikut langkah-langkah pengumpulan atau pengukuran data:

1. Luncurkan aplikasi Lux Meter dan kalibrasi.
2. Tempatkan perangkat aplikasi di lokasi yang diukur.
3. Berikan waktu untuk hasil terbaik.
4. Mengisi formulir pengukuran dengan hasil pengukuran.
5. Setelah menggunakan lux meter, segera keluar dari program.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran dan observasi lokal yang dilakukan pada seluruh ruangan dan peralatan di Bengkel Unima.

TABEL I
DATA INTENSITAS CAHAYA TIAP RUANGAN

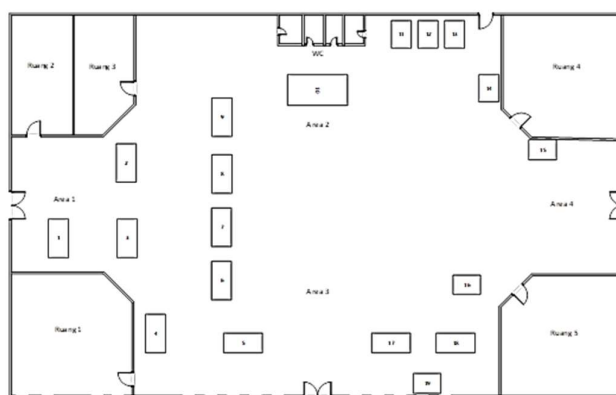
No	Ruang	Luas	Rata-rata pengukuran (lux)
1	Ruang 1	64 m ²	306
2	Ruang 2	32 m ²	224,4
3	Ruang 3	32 m ²	227
4	Ruang 4	64 m ²	206,2
5	Ruang 5	64 m ²	285
6	Wc 1	2,5 m ²	116,6
7	Wc 2	2,5 m ²	116,8
8	Wc 3	2,5 m ²	119
9	Wc 4	2,5 m ²	118,6

Seperti terlihat pada Tabel 1, menghasilkan data berdasarkan observasi yang dilakukan dengan memantau intensitas cahaya di setiap ruangan bengkel pada saat cuaca cerah. Setiap sudut bangunan memiliki lima kamar, empat toilet, dan tempat kerja. Masing-masing memiliki tingkat pencahayaan yang berbeda. Sesuai SNI dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Ketentuan Kesehatan Lingkungan Kerja, ruangan 1 sampai dengan 5 memenuhi norma. Namun ruangan kamar mandinya tidak mencapai 200–250 lux. Pengumpulan data dilakukan antara pukul 09.00 dan 14.00 dalam kondisi cuaca ideal atau cerah. Intensitas cahaya yang diterima di gedung bengkel akan berkurang drastis jika cuaca mendung dan hari menjelang gelap.

TABEL II
DATA INTENSITAS CAHAYA PADA SETIAP MESIN

No	Ruang kerja	Intensitas cahaya rata-rata
1	Mesin 1	161,4
2	Mesin 2	133,4
3	Mesin 3	169,2
4	Mesin 4	169
5	Mesin 5	175,8
6	Mesin 6	110,2
7	Mesin 7	98,6
8	Mesin 8	99
9	Mesin 9	268,6
10	Mesin 10	67,8
11	Mesin 11	123,2
12	Mesin 12	119
13	Mesin 13	122,4
14	Mesin 14	116
15	Mesin 15	142,2
16	Mesin 16	164,2
17	Mesin 17	168,2
18	Mesin 18	166,4
19	Mesin 19	165

Ruang kerja bengkel memiliki 19 mesin dengan berbagai ukuran dan penempatan (lihat Tabel 2). Beberapa mesin berukuran hampir sama, sedangkan mesin lainnya lebih besar atau lebih kecil. Posisi mesin mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengujian intensitas cahaya. Intensitas cahaya lebih tinggi pada mesin yang dekat dengan sumber cahaya, seperti jendela dibandingkan pada mesin dengan sumber cahaya yang terhalang.



Gambar 3. Sketsa lokasi mesin-mesin

Pengamatan ini juga menunjukkan bahwa hasil uji intensitas pada mesin tersebut serupa dengan temuan pada mesin lainnya. Hal ini disebabkan kedekatan mesin satu sama lain. Misalnya, mesin 1 sampai 3, 4 sampai 9, 11 sampai 14, dan 16 sampai 19. Gambar 3 menggambarkan lokasi ruangan.

TABEL 3
PENGUNAAN LAMPU

No.	Mesin	Luas (m ²)	Daya Lampu	Total Load
1	Ruang kerja	10	450 W	740 W
2	Ruang 1	4	40 W	
3	Ruang 2	1	10 W	
4	Ruang 3	1	10 W	
5	Ruang 4	6	60 W	
6	Ruang 5	1	10 W	
7	WC 1	1	10 W	
8	WC 2	1	10 W	
9	WC 3	1	10 W	
10	WC 4	1	10 W	
11	Teras	10	120 W	

Data jumlah lampu diperoleh berdasarkan observasi yang dilakukan terhadap sistem pencahayaan gedung tempat kerja seperti terlihat pada Tabel 3. Terdapat 27 lampu yang dimanfaatkan pada ruangan dan area kerja. Sepuluh lampu utama berada di area kerja, tiga belas lampu 10W di setiap ruangan, dan empat lampu 10W untuk menerangi toilet.

Sumber penerangan pada gedung bengkel meliputi penerangan buatan dan alami. Sumber penerangan didukung oleh beberapa jendela dan area kerja yang luas dan terbuka sehingga memungkinkan cahaya masuk lebih banyak [14].

TABEL 4
KONDISI SELURUH RUANGAN DI BENGKEL UNIMA

No	Hasil observasi	Kategori	Kesesuaian
1	Jenis permukaan benda dalam ruang	Menyerap karena tidak memantulkan cahaya	Sesuai
2	Warna dinding	Cerah, putih dan merah	Sesuai
3	Udara dalam ruangan	Segar tanpa asap dalam ruangan	Sesuai

Peneliti memeriksa keadaan setiap ruangan di gedung bengkel. Sehingga hasil pengamatan yang diperoleh berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa kondisi warna pada dinding, udara dalam ruangan, permukaan kerja, dan permukaan benda merupakan kondisi yang tidak dapat diterima sehingga tidak mengganggu aktivitas atau mengganggu saat pengukuran [15].

A. ANALISIS RUANG 1

Ruang 1 dipisahkan menjadi empat bagian. Ruang pertama berfungsi sebagai ruang tamu, ruang kedua sebagai kantor, dan ruang ketiga dan keempat sebagai tempat penyimpanan berkas atau gudang. Ruangan tersebut berukuran panjang 8 m dan lebar total 8 m dan terbagi menjadi ruangan A yang luasnya 22 m²; B yang mempunyai luas 22 m²; ruang C yang luasnya 15 m², dan ruang D yang luasnya 5 m². Ruangan A, B, dan C akan mendapat penerangan LED sebesar 20 watt, sedangkan ruangan D akan mendapat penerangan sebesar 10 watt. Nilai koefisien (CV) untuk sistem penerangan langsung dengan warna plafon dan dinding cerah adalah 50%. Asumsikan nilai kehilangan cahaya adalah 0,7. Selanjutnya menurut SNI, luxnya antara 150 hingga 250 lux. Jumlah lampu yang dibutuhkan kemudian dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$N = \frac{120 \times 22}{2400 \times 1 \times 0,5 \times 0,7}$$

$$N = \frac{2640}{840}$$

$$N = 3,14 \approx 3$$

Jumlah bohlam yang dibutuhkan dalam ruangan ini adalah tiga. Keluaran dari perhitungan tersebut adalah lampu ruangan B sebanyak 3 lampu, lampu ruangan C sebanyak 2 buah, dan lampu ruangan D sebanyak 3 buah.

B. ANALISIS RUANG 2 DAN RUANG 3

Kamar 2 mirip dengan Kamar 3 namun dipisahkan oleh tembok. Kamar 2 dan 3 berukuran 32 m², dengan dinding cemerlang dan lampu LED 22 watt. Nilai koefisien (CV) untuk sistem penerangan langsung dengan warna plafon dan dinding cerah adalah 50%. Asumsikan nilai kehilangan cahaya adalah 0,7. Selanjutnya menurut SNI, luxnya antara 150 hingga 250 lux. Jumlah lampu yang dibutuhkan kemudian dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$N = \frac{120 \times 32}{2640 \times 1 \times 0,5 \times 0,7}$$

$$N = \frac{3840}{924}$$

$$N = 4,1 \approx 4$$

Jumlah bohlam yang dibutuhkan dalam ruangan ini adalah empat. Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil ruangan 3 adalah empat lampu.

C. ANALISIS RUANG 4

Ruang 4 dipisahkan menjadi beberapa bagian, serupa dengan Ruang 1. Ruang utama memiliki luas 40 m² dan menggunakan LED 22 watt, sedangkan tiga area lainnya berukuran sama yaitu 4 m² dan menggunakan LED 10 watt. Ruangan bagian akhir memiliki luas 12 m² dan diterangi lampu LED 20 watt. Nilai koefisien (CV) untuk sistem penerangan langsung dengan warna plafon dan dinding cerah adalah 50%. Asumsikan nilai kehilangan cahaya adalah 0,7. Selanjutnya menurut SNI, luxnya antara 150 hingga 250 lux. Jumlah lampu yang dibutuhkan kemudian dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$N = \frac{120 \times 40}{2640 \times 1 \times 0,5 \times 0,7}$$

$$N = \frac{4800}{924}$$

$$N = 5,1 \approx 5$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama untuk ruangan B yang mempunyai empat ruangan yang masing-masing terdapat satu buah lampu, dan ruangan C yang mempunyai dua buah lampu, maka kebutuhan lampu pada ruangan tersebut sebanyak lima buah.

D. ANALISIS RUANG 5

Karena ruangan ini hanya terdapat satu ruangan, maka luas ruangnya adalah 64 m². Lampunya adalah LED 40 watt dengan tingkat lumen 4.800. Nilai koefisien (CV) untuk sistem penerangan langsung dengan warna plafon dan dinding cerah adalah 50%. Asumsikan nilai kehilangan cahaya adalah 0,7. Selanjutnya menurut SNI, luxnya antara 150 hingga 250 lux. Jumlah lampu yang dibutuhkan kemudian dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$N = \frac{120 \times 64}{4800 \times 1 \times 0,5 \times 0,7}$$

$$N = \frac{7680}{1680}$$

$$N = 4,57 \approx 5$$

Setelah dibulatkan, maka lampu yang dibutuhkan pada ruangan ini sebanyak 5 buah lampu.

E. ANALISIS RUANG TOILET

Struktur ini memiliki empat toilet. Setiap toilet mempunyai luas yang sama yaitu 2,5 m². Bohlam yang akan digunakan adalah lampu LED 10 watt dengan keluaran lumen 1000. Nilai koefisien (CV) untuk sistem penerangan langsung dengan warna plafon dan dinding cerah adalah 50%. Asumsikan nilai kehilangan cahaya adalah 0,7. Selanjutnya menurut SNI, luxnya sekitar 250 lux. Jumlah lampu yang dibutuhkan kemudian dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$N = \frac{250 \times 2,5}{1000 \times 1 \times 0,5 \times 0,7}$$

$$N = \frac{625}{420}$$

$$N = 1,48 \approx 2$$

Setelah dibulatkan, lampu yang dibutuhkan untuk setiap ruangan adalah 2 lampu.

F. ANALISIS AREA KERJA

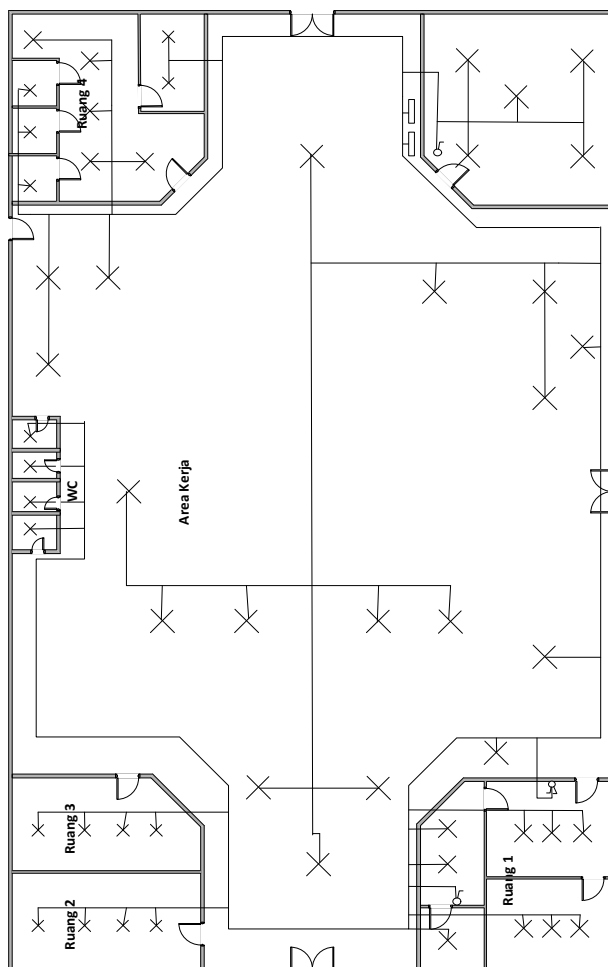
Perhitungan area kerja agak berbeda dengan ruangan sebelumnya. Karena luas dan terbukanya ruang serta untuk menghemat energi untuk penerangan dan barang lainnya, maka luas area yang digunakan dalam perhitungan setiap mesin didasarkan pada luas permukaan kerja masing-masing mesin. Lokasi mesin juga diperhitungkan. Hasil perhitungan dari 19 mesin dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5

HASIL PERHITUNGAN DARI PENCAHAYAAN DI 19 MESIN

No.	Mesin	Luas (m ²)	Jumlah Lampu
1	Mesin 1	2,89	1
2	Mesin 2 and 3	9	2
3	Mesin 4	2,89	1
4	Mesin 5	3,24	1
5	Mesin 6 and 7	9	2
6	Mesin 8 and 9	9	2
7	Mesin 10	3,75	1
8	Mesin 11, 12 and 13	9	2
9	Mesin 14	3,24	1
10	Mesin 15	3,24	1
11	Mesin 16	3,24	1
12	Mesin 17, 18 and 19	15	3

Gambar 4 menggambarkan hasil saran perancangan setelah dilakukan perhitungan pada setiap ruangan dan perhitungan jumlah lampu yang digunakan berdasarkan rekomendasi SNI dan Peraturan Menteri Kesehatan No.70 Tahun 2016.



Gambar 4. Desain Rekomendasi Penerangan Bangunan Bengkel Unima

V. KESIMPULAN

Rata-rata intensitas cahaya pada gedung Bengkel UNIMA sebesar 144,2 lux pada area kerja dan 191,06 lux pada ruangan biasa. Alhasil, intensitas cahaya dari standar SNI dan Peraturan Menteri Kesehatan No 70 Tahun 2016 tentang standar dan persyaratan kesehatan lingkungan kerja dengan nilai 250 lux untuk ruangan biasa dan 300 lux untuk area lingkungan kerja masih belum sesuai. Perhitungan dan analisis jumlah lampu yang digunakan untuk memenuhi kriteria SNI saat ini menghasilkan 54 lampu LED dengan variasi daya 10, 22, 20, dan 40 watt.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Renita, A. Fathimah, dan Anissatul, “Faktor-faktor yang Mempengaruhi Keluhan Kelelahan Mata Pada Pekerja Administrasi di PT. Antam Tbk, Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor Kabupaten Bogor 2018,” *Promotor*, vol. 2, no. 3, hlm. 222, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.32832/pro.v2i3.1940>.
- [2] R. Damayanti dan Utomo, “Evaluasi Sistem Pencahayaan Alami pada Ruang Kontrol Utama Iradiator Gamma Merah Putih,” *Prima*, vol. 15, no. 2, hlm. 18–25, 2018.
- [3] B. Kilis dan C. Mamahit, “Penerapan Sistem Proteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal,” *JURNAL EDUNITRO: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, hlm. 43–52, 2021, doi: 10.53682/edunitro.v1i2.2650.
- [4] B. Sawenduling, J. Malado, R. Ridwan, dan D. Olii, “Pengembangan Video Pembelajaran Instalasi Penerangan Listrik di SMK Negeri 1 Talaud,” *JURNAL EDUNITRO: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, hlm. 9–18, Apr 2022, doi: 10.53682/edunitro.v2i1.3299.
- [5] Layanan Mutu Ketenagalistrikan (LMK), SNI PUIL. 2011.
- [6] Kepmenkes RI No. 1405, Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2002, hlm. 1–22.
- [7] K. K. R. Indonesia, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar Dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. 2016, hlm. 2016.
- [8] J. Pattinasarany, R. Ridwan, B. Kilis, dan J. Rapar, “Perancangan Instalasi Tenaga Listrik di Bengkel Universitas Negeri Manado,” *JURNAL EDUNITRO: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, hlm. 19–28, Apr 2022, doi: 10.53682/edunitro.v2i1.3343.
- [9] R. Wahono, “Systematic Literature Review : Romi Satria Wahono.”
- [10] H. Hasanah, “TEKNIK-TEKNIK OBSERVASI (Sebuah Alternatif Metode Pengumpulan Data Kualitatif Ilmu-ilmu Sosial),” *At-Taqaddum*, vol. 8, no. 1, hlm. 21, 2017, doi: 10.21580/at.v8i1.1163.
- [11] T. Rachmawati, “Metode Pengumpulan Data dalam Penelitian Kualitatif,” dalam *UNPAR Press*, no. 1, Bandung: UNPAR Press, 2017, hlm. 1–29.
- [12] S. Gustiani, “Research and Development (R&D) Method as A Model Design in Educational Research and Its Alternative,” *Holistics Journal*, vol. 11, no. 2, hlm. 12–22, 2019.
- [13] P. Nugroho, I. Wijayanto, E. Susatio, F. T. Elektro, U. Telkom, dan A. L. Sensor, “Perancangan Dan Implementasi Aplikasi Light Meter Pada Smartphone Berbasis Android Design and Implementation Light Meter Application in Smartphone,” *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 2, hlm. 2214–2219, 2018.
- [14] A. Atthaillah, A. Bakhtiar, dan B. Badriana, “Optimalisasi Pencahayaan Alami Dengan Useful Daylight Illuminance Pada Desain Rumah Toko (Ruko) Di Kota Lhokseumawe,” *Nature: National Academic Journal of Architecture*, vol. 6, no. 1, hlm. 11, 2019, doi: 10.24252/nature.v6i1a2.
- [15] L. Budiman dan H. C. Indrani, “Desain Pencahayaan Pada Ruang Kelas Sma Negri 9 Surabaya,” *Dimensi Interior*, vol. 10, no. 1, hlm. 33–41, 2012, doi: 10.9744/interior.10.1.33-41.

Sistem Peringatan Gempa Bumi pada Gedung Bertingkat Terintegrasi dengan Pintu Darurat Otomatis

Alfina Putri Mulyo¹, Endah Setyaningsih², Wahidin Wahab³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara; email: alfina.525200010@stu.untar.ac.id, endahs@ft.untar.ac.id, wahidinwahab@ft.untar.ac.id

[Dikirimkan: 05 Januari 2024, Direvisi: 17 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Alfina Putri Mulyo

INTISARI — Indonesia terletak diantara pertemuan lempeng besar tektonik dunia dan masuk ke dalam wilayah *Ring of Fire*. Tinggi nya tingkat aktivitas tektonik menyebabkan Indonesia sering kali dilanda bencana gempa bumi yang dapat memberi risiko ancaman dan dampak yang signifikan terhadap kerusakan properti, infrastruktur, bahkan korban jiwa. Gempa bumi yang tidak dapat diprediksi kedatangannya dapat mengguncang gedung bertingkat yang menimbulkan kondisi penghuni menjadi panik dan berhamburan keluar menuju titik evakuasi. Optimasi waktu dalam memberikan peringatan dan memulai evakuasi sangat penting untuk mengurangi risiko adanya korban jiwa. Oleh karena itu, dirancanglah sebuah sistem peringatan bencana gempa bumi pada gedung bertingkat yang mampu membuka pintu darurat secara otomatis dilengkapi dengan alarm dan lampu darurat. Sistem peringatan gempa ini akan mengaktifkan pintu darurat otomatis, alarm, dan lampu darurat secara bersamaan. Konsep ini dirancang dalam bentuk prototipe yang terdiri dari sensor *accelerometer* MPU6050, Arduino Nano, motor servo MG90, *buzzer*, *pilot lamp*, serta modul catu daya UPS DC 12V. Batas nilai percepatan total untuk mengaktifkan sistem adalah 1.89 m/s^2 yang diambil dari hasil perhitungan rata-rata total pengujian sensor MPU6050 terhadap meja simulasi gempa saat digerakan pada 1,5 Hz, 2,5 Hz, 3,5 Hz, 4,5 Hz, 5,5 Hz, dan 6 Hz. Sistem dipasang pada maket bangunan bertingkat 3 dan diuji di atas meja simulasi gempa sebanyak 5 kali dengan frekuensi yang berbeda seperti disebutkan diatas. Hasilnya sistem peringatan gempa bumi ini dapat mengaktifkan modul alarm, modul lampu darurat, dan modul aktuator untuk membuka pintu darurat secara bersamaan.

KATA KUNCI — Gedung Bertingkat, Gempa Bumi, Pintu Darurat, Sistem Peringatan.

ABSTRACT — Indonesia is situated at the convergence of major tectonic plates and falls within the *Ring of Fire*. This high level of tectonic activity makes Indonesia prone to frequent earthquakes, which pose significant risks and can cause substantial damage to property, infrastructure, and even loss of life. The unpredictable nature of earthquakes can shake tall buildings, causing panic among occupants and forcing them to evacuate to designated safe zones. Optimizing the time taken to provide warnings and initiate evacuations is crucial to reducing the risk of casualties. To address this challenge, an earthquake early warning system for high-rise buildings has been designed. This system automatically opens emergency doors, activates alarms, and turns on emergency lights. The earthquake warning system activates the emergency doors, alarm, and emergency lights simultaneously. The system is designed as a prototype consisting of an MPU6050 accelerometer sensor, Arduino Nano, MG90 servo motor, buzzer, pilot lamp, and a 12V DC UPS power supply module. The threshold value for total acceleration to activate the system is 1.89 m/s^2 , derived from the average total testing results of the MPU6050 sensor against an earthquake simulation table when shaken at 1.5 Hz, 2.5 Hz, 3.5 Hz, 4.5 Hz, 5.5 Hz, and 6 Hz. The system was installed on a 3-story building model and tested on an earthquake simulation table five times with different frequencies as mentioned above. The results demonstrate that the earthquake early warning system can simultaneously activate the alarm module, emergency light module, and actuator module to open the emergency door.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terletak pada zona pertemuan tiga lempeng besar tektonik aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Lempeng-lempeng pertemuan pada zona tersebut dapat bergerak saling mendekati, menjauhi, ataupun bergesekan [1]. Selain berada pada zona lempeng tektonik aktif, Indonesia dilalui jalur pegunungan api sirkum Pasifik atau *Ring of Fire* yang dimana 80% dari total aktivitas gempa bumi dunia terjadi di wilayah tersebut [2,3]. Oleh karena itu, Indonesia menempati posisi peringkat tiga teratas negara rentan bencana di dunia terutama gempa bumi.

Gempa bumi adalah guncangan atau getaran yang terjadi pada kerak bumi akibat pelepasan energi oleh tekanan lempeng di dalam bumi yang bersifat merusak [4,5]. Sebagai contoh, gempa bumi magnitudo >5 dengan potensi tsunami pernah melanda Lombok Utara dan gempa bumi disusul tsunami juga melanda Palu-Donggala sehingga menimbulkan banyak korban jiwa dan kerusakan fasilitas bangunan, properti, dan infrastruktur [6,7]. Sejak tahun 2018 tren aktivitas gempa bumi melonjak secara signifikan yakni mencapai 11.417 kali gempa [8]. Peningkatan tren ini diperkirakan akan semakin meningkat disetiap tahun nya.

Bencana gempa bumi yang sering terjadi tanpa adanya peringatan dapat membuat perubahan situasi tenang menjadi darurat dengan sangat cepat. Situasi darurat ini menyebabkan masyarakat berhamburan keluar dari dalam rumah atau bangunan dalam kondisi panik. Hal ini juga terjadi kepada para penghuni gedung bertingkat yang harus keluar melalui pintu darurat menuju titik kumpul evakuasi [9]. Proses evakuasi pada gedung bertingkat membutuhkan waktu karena dipengaruhi oleh desain jalur evakuasi, jumlah orang yang dievakuasi, dan beberapa elemen pendukung lainnya [10]. Oleh karena itu, optimasi waktu dalam memberikan peringatan dan memulai evakuasi sangat penting untuk mengurangi risiko adanya korban jiwa.

Penelitian [11], membuat sistem deteksi gempa bumi otomatis yang dapat mendeteksi getaran mencapai nilai 6000 yang direpresentasikan setara 4.0 SR. Sistem mampu mendeteksi gempa pada daerah rawan gempa yang jauh dari posko BMKG. Alat pendeteksi getaran gempa berbasis IoT Arduino dapat dimonitoring dimana saja menggunakan internet dan mengirim *email* ke alamat yang sudah ditentukan, hal ini sesuai dengan penelitian [12]. Rancangan lainnya dapat mendeteksi gempa dengan menggunakan sensor 801S yang hasilnya akan dibandingkan dengan skala MMI dilengkapi *buzzer* sebagai sinyal peringatan dan LCD (*Liquid Crystal Display*) untuk menampilkan besaran gempa [13].

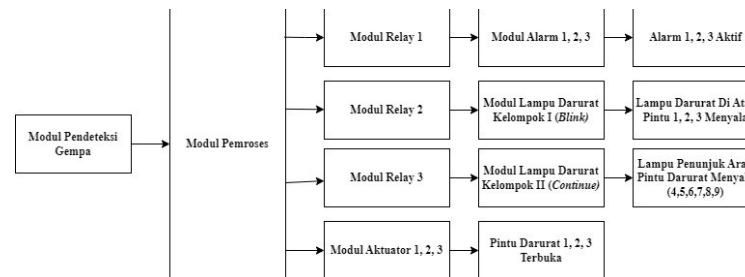
Berdasarkan permasalahan di atas, maka dirancanglah sebuah prototipe sistem peringatan bencana gempa bumi pada gedung bertingkat yang diintegrasikan dengan pintu darurat otomatis, alarm, dan lampu darurat. Modul-modul yang digunakan pada rancangan ini adalah sensor *accelerometer* MPU6050, Arduino Nano, *Buzzer*, *Pilot Lamp*, dan modul UPS DC 12 V. Tujuannya adalah merancang sistem peringatan gempa bumi terintegrasi dengan pintu darurat otomatis, alarm, dan lampu darurat yang dapat aktif secara bersamaan saat gempa bumi terjadi.

II. METODE

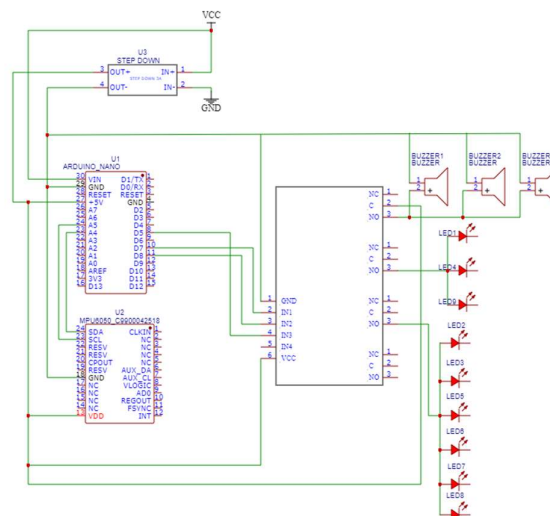
Metode penelitian yang digunakan dalam sistem ini adalah eksperimen. Konsepnya adalah membuat prototipe sistem peringatan gempa bumi pada gedung bertingkat menggunakan alarm, lampu darurat sebagai penunjuk jalur evakuasi dan letak pintu darurat, serta diintegrasikan dengan pintu darurat yang akan terbuka secara otomatis. Sistem ini dapat *direset* menggunakan *push button*. Adapun spesifikasi rancangannya yaitu:

1. Catu daya 12V sebagai sumber daya.
2. Modul pendeteksi gempa berupa sensor *accelerometer*.
3. Modul aktuator berupa servo motor 180°.
4. Modul alarm berupa interrupted buzzer.
5. Modul lampu darurat berupa pilot lamp 12V.
6. Modul pemroses menggunakan Arduino Nano.

Diagram blok sistem ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan skematik rancangan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Skematik Diagram

Berdasarkan kedua gambar di atas, rancangan tersusun dari beberapa modul yaitu modul catu daya cadangan modul pendeteksi gempa menggunakan sensor *accelerometer* MPU6050, mikrokontroler Arduino Nano sebagai modul pemroses, modul aktuator berupa *micro-servo* MG90, modul alarm menggunakan *buzzer*, dan modul lampu darurat sebanyak 9 buah menggunakan *pilot lamp*. Cara kerja rancangan ini adalah modul pendeteksi gempa akan mendeteksi nilai percepatan, kemudian data tersebut dikirim dan diproses modul pemroses. Jika data memiliki nilai lebih dari atau sama dengan batas nilai gempa yang telah ditetapkan yaitu 1,89

m/s², maka modul pemroses akan mengaktifkan modul aktuator pembuka pintu darurat, modul alarm, dan modul lampu darurat secara bersamaan.

A. SENSOR ACCELEROMETER MPU6050

Sensor MPU6050 merupakan perangkat *motion tracking* berupa percepatan yang menggabungkan 3 *axis accelerometer*, 3 *axis gyroscope*, dan *digital motion processor* (DMP). Sensor MPU6050 termasuk ke dalam golongan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) karena penggabungan dari *accelerometer* dan *gyroscope* dan bekerja dalam sistem *Micro-electromechanical system* (MEMS) [14,15]. Pada rancangan ini sensor MPU6050 digunakan sebagai modul pendeteksi gempa bumi.



Gambar 3. Sensor Accelerometer MPU6050

B. Pilot Lamp NXD-213

Pilot lamp atau lampu indikator adalah lampu berukuran kecil yang digunakan untuk memberi informasi visual tentang status suatu perangkat atau sistem [16]. Lampu ini dirancang untuk memberikan indikasi cepat dan mudah kepada pengguna tentang keadaan suatu peralatan seperti sinyal indikator, sinyal kesalahan, dan sinyal kecelakaan. Jenis-jenis *pilot lamp* diantaranya adalah *pilot lamp LED* (*light emitting diode*), *pilot lamp neon*, *pilot lamp flashing*, *pilot lamp LCD* (*liquid crystal display*), dan sebagainya. *Pilot lamp LED* menjadi salah satu pilihan umum karena konsumsi daya yang rendah, umur panjang, dan ketersediaan dalam berbagai warna. Perancangan ini menggunakan *pilot lamp* sebagai lampu penunjuk arah jalur evakuasi dan posisi pintu darurat.



Gambar 4. Pilot Lamp

C. Micro Servo MG90

Motor servo adalah aktuator yang dirancang untuk mengendalikan posisi sudut dari suatu poros [17]. Penggunaan motor servo dalam perancangan ini adalah untuk membuka prototipe dari pintu darurat. *Micro Servo MG90* adalah sebuah motor servo DC berukuran 22×12×35,5 mm dengan berat 13,4 gram yang beroperasi pada tegangan 4,8V sampai 6V. Kecepatan operasi sebesar 0,11 detik per 60° pada tegangan 4,8V dan 0,08 detik per 60° pada tegangan 6V. Motor servo MG90 memiliki sudut putaran yang terbatas, umumnya sekitar 180° yang dikontrol oleh *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan rentang lebar pulsa sekitar 1 ms hingga 20 ms. [18]. Selain itu, torsi *stall* pada modul aktuator ini adalah 1,8 kgF cm pada tegangan 4,8V dan 2,5 kgF cm pada tegangan 6V [19]. Motor servo ini memiliki konektor tipe S universal yang terdiri dari 3 kabel berwarna merah sebagai VCC, coklat sebagai GND, dan oranye sebagai *input* kontrol sinyal PWM.



Gambar 5. Micro Servo MG90

D. Modul UPS DC 12V

UPS (*Uninterruptible Power Supply*) DC 12V modul adalah perangkat yang dirancang untuk mengatur pemberian daya cadangan menggunakan tegangan searah sebesar 12V saat pasokan listrik terputus. UPS dapat memberikan tenaga listrik selang beberapa waktu secara independen tanpa harus adanya catu daya utama [20]. Komponen-komponen pada modul UPS DC 12V yaitu baterai,

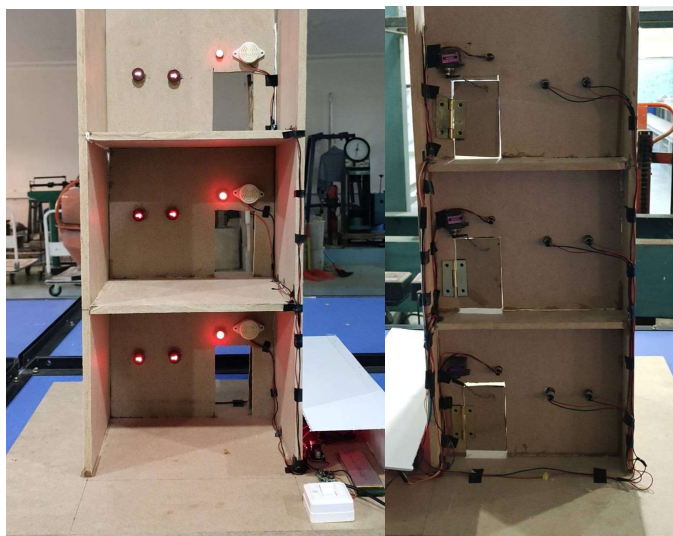
inverter, charge controller, transfer switch, indikator status, voltage protection, dan kontrol mikroprosesor. Tegangan pada UPS diperoleh dari baterai 12V yang digunakan untuk mengaktifkan seluruh rangkaian sistem.



Gambar 6. UPS DC 12V

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem dirangkai pada sebuah maket gedung bertingkat berukuran 60cm×25cm×25cm terbuat dari bahan MDF (*Medium Density Fiberboard*) dengan ketebalan 9 mm. Pada bagian depan lantai 1, 2, dan 3 terdapat *buzzer* dan 3 buah *pilot lamp* yang terhubung ke modul *relay* dan pada bagian belakang terdapat servo motor untuk menarik pintu darurat. Gambar hasil rancangan sistem pada maket dapat dilihat pada Gambar 6(a) dan 6(b).



Gambar 6. (a) Rancangan Sistem Tampak Depan, (b) Rancangan Sistem Tampak Belakang

Batasan nilai akselerasi dicari untuk mengaktifkan sistem saat terjadi gempa bumi. Nilai akselerasi diperoleh dari rata-rata perhitungan nilai percepatan total dengan metode *magnitude* yaitu menghitung besar vektor. Pada rancangan ini akselerasi pada sumbu X, Y, dan Z digunakan sebagai vektor dalam ruang 3 (tiga) dimensi. Nilai percepatan total yang dihasilkan oleh perhitungan metode *magnitude* ini bersifat positif yang artinya nilai tidak bergantung pada arah.

$$a_{total} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

Keterangan:

a_{total} = Percepatan Total.
 a_x = Percepatan sumbu X.
 a_y = Percepatan sumbu Y.
 a_z = Percepatan sumbu Z.

Perhitungan dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap sensor *accelerometer* MPU6050 yang telah diprogram dan meletakkannya di atas alat uji yaitu meja simulasi gempa. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap frekuensi yaitu 1,5 Hz, 2,5 Hz, 3,5 Hz, 4,5 Hz, 5,5 Hz, dan 6 Hz. Rata-rata nilai percepatan total yang direkam oleh sensor MPU6050 saat kondisi meja simulasi dalam keadaan diam sekitar 1,55 m/s². Oleh karena itu batas nilai percepatan yang diindikasikan sebagai gempa bumi untuk mengaktifkan sistem adalah 1,89 m/s² karena nilai tersebut sudah tidak berada di dalam rentang 1,0 m/s². Tabel hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN JUMLAH NILAI ACCELEROMETER SETIAP FREKUENSI

Frekuensi (Hz)	Nilai Akselerasi setiap Percobaan (m/s ²)					Rata-Rata (m/s ²)
	1	2	3	4	5	
0	1,56	1,53	1,55	1,56	1,54	1,55
1,5	1,93	1,64	1,98	1,86	2,03	1,89
2,5	2,41	2,67	2,85	2,86	2,25	2,61
3,5	3,64	3,34	4,56	4,16	3,62	3,87
4,5	5,59	6,05	4,82	5,00	5,39	5,37
5,5	6,45	6,62	7,43	6,54	6,45	5,76
6,0	6,45	6,62	7,43	6,54	4,55	6,32

Proses pengujian sistem dilakukan dengan meletakkan sistem seperti pada Gambar 6. di atas alat uji berupa meja getar atau *shaking table*. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan menjalankan meja getar selama 10 detik pada setiap frekuensi yaitu 1,5 Hz, 2,5 Hz, 3,5 Hz, 4,5 Hz, dan 5,5 Hz. Uji coba ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat aktif saat terjadi perubahan gerak pada meja getar yang diindikasikan sebagai gempa bumi. Gambar meja getar dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel hasil keseluruhan sistem dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 7. Meja Getar

TABEL 2
HASIL PENGUJIAN SISTEM

Frekuensi (Hz)	Modul Alarm (1,2,3)	Modul Lampu (1)	Modul Lampu (2)	Modul Aktuator (1,2,3)
1,5	✓	✓	✓	✓
2,5	✓	✓	✓	✓
3,5	✓	✓	✓	✓
4,5	✓	✓	✓	✓
5,5	✓	✓	✓	✓

Berdasarkan Tabel 2. dapat dilihat bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja dengan baik pada saat frekuensi meja simulasi gempa berada pada 1,5 Hz. Sistem sudah dapat mengaktifkan modul alarm 1, modul alarm 2, modul alarm 3, modul lampu darurat kelompok 1, modul lampu darurat kelompok 2, modul aktuator 1, modul aktuator 2, dan modul aktuator 3 secara bersamaan. Kemudian, ketika tombol *reset* sistem ditekan maka modul alarm 1, modul alarm 2, modul alarm 3, modul lampu darurat kelompok 1, modul lampu darurat kelompok 2 akan berhenti berbunyi dan tidak menyala serta modul aktuator 1, modul aktuator 2, dan modul aktuator 3 kembali ke posisi awal pada saat pintu dalam kondisi tertutup. Pada frekuensi berikutnya yaitu 2,5 Hz, 3,5 Hz, 4,5 Hz, dan 5,5 Hz, sistem menunjukkan kondisi yang sama seperti pada frekuensi 1,5 Hz.

IV. KESIMPULAN

Modul alarm, modul lampu darurat, dan modul aktuator aktif secara bersamaan ketika modul pendeteksi gempa bumi mendeteksi nilai percepatan total mencapai nilai batas yaitu 1,89 m/s² dari pergerakan meja simulasi gempa. Tingkat suara modul alarm dapat terdengar dengan jelas dan modul lampu darurat penunjuk jalur evakuasi dan letak posisi pintu dapat terlihat dengan jelas. Modul aktuator yang menggunakan motor servo MG90 ternyata sudah mampu menggerakkan pintu membuka atau menutup pada maket gedung yang dirancang. Sensor accelerometer MPU6050 telah berhasil mendeteksi adanya gempa walaupun hasil deteksi belum dapat dikalibrasi dengan ukuran kekuatan yang sebenarnya dengan nilai standar.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan pada penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Tarumangara yang telah menyediakan fasilitas penunjang perancangan dan penulisan artikel penelitian ini.

REFERENSI

- [1] R. Baihaqi and D. Pujiastuti, "Analisis Risiko Gempa Bumi di Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 12, no. 2, pp. 207-213, 2023.
- [2] D.P. Utomo and B. Purba, "Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia," In *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, vol. 1, Sept., pp. 846-853, 2019.
- [3] R. Metrikasari and A. Choiruddin, "Pemodelan Risiko Gempa Bumi di Pulau Sumatera Menggunakan Model *Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Process*," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 9, no. 2, pp. 102-107, 2020.
- [4] D.P. Ningtyas and D.F. Risina, "Pengembangan Permainan Sirkuit Mitigasi Bencana Gempa Bumi untuk Meningkatkan Self Awareness Anak Usia Dini," *Jurnal Caksana: Pendidikan Anak Usia Dini*, vol. 1, no. 2, pp. 172-187, 2018.
- [5] K.N. Suarbawa, I.K. Sukarasa, E. Riyono, "Identifikasi Deformasi Pulau Bali Berdasarkan Rekaman Data GPS, Menggunakan *Software* GAMIT/GLOBK 10.6," *Buletin Fisika*, vol. 22, no. 1, Feb., pp. 47-53, 2021.
- [6] E. Setyaningsih, Y. Calvinus, V.C. Marwadi, and P. Lukita, "Pemasangan Lampu sebagai Pencahayaan Tenda bagi Pengungsi di Desa Ciharang, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat," *MITRA: Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, vol. 7, no. 2, pp. 232-241, 2023.
- [7] Herlina, S. Mulyeni, S.M. Ulha, S. T. Partini, F. Redjeki, "Edukasi Wirausaha dan Pendampingan Psikologis Pasca Gempa Bumi Cianjur," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, pp. 135-146, 2023.
- [8] Badan Pusat Statistik Indonesia, *Statistik Indonesia 2023*, Jakarta: BPS Indonesia, 2023.
- [9] M.R.S. Damanik, M.F.G. Matondang, A.M. Situmorang, A.V. Sinabutar, R Fadilah, "Identifikasi Jalur Evakuasi Bencana Alam dan Non Alam di Gedung Biro Pusat Administrasi Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara," *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, vol. 5, no. 2, Jul., pp. 106-114, 2023.
- [10] D. Seftyarizki, P.A. Ramawangsa, D.O. Saputri, "Evaluasi Jalur Evakuasi Bencana Kebakaran Pada Sirkulasi Gedung Serbaguna UNIB," *Jurnal Mana jemen Aset Infrastruktur&Fasilitas*, vol.3, 2019.
- [11] R. Effendi, R. Kania, and M. Muhammad, "Rancang Bangun Pendeteksi Getaran Gempa Berbasis Mikrokontroler IOT Arduino," *IFTECH*, vol. 3, no. 2, Aug., pp. 41-55, 2021.
- [12] F. A. Tritunggal, C. Pradana, and E. R. K. Pradani, "Sistem Deteksi Gempa Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino dan Sensor Accelerometer MPU6050," *Metrotech*, vol. 2, no. 2, Jul., pp. 98-104, 2023.
- [13] A. Ghifari, M.A. Murti, and R. Nugrah, "Perancangan Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan Sensor Getar," In *eProc. of Engineering*, vol. 5, no. 3, Dec., pp. 4028-4035, 2018.
- [14] A.A. Rafiq, W.N. Rohman, S.D. Riyanto, "*Development of a Simple and Low-Cost Smartphone Gimbal with MPU6050 Sensor*," vol. 1, no. 4, Jul., pp. 136-140, 2020.
- [15] J. M. Sultan, N.H. Zani, M. Azuani, S.Z. Ibrahim, A.M. Yusop, "*Analysis of Inertial Measurement Accuracy Using Complementary Filter for MPU6050 Sensor*," *Jurnal Kejuruteraan*, vol. 34, no. 5, pp. 959-964, 2022.
- [16] MM. Watoni, R. Yasin, H.T. Alamsyah, "Sistem Pengendali Palang Pintu Kereta Api Berbasis Arduino," In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Sains*, vol. 2, Jan., pp. 463-468, 2023.
- [17] P.Yosua, D.B. Santoso, A. Stefanie, "Rancang Bangun Automatic Washing and Drying System untuk Mesin Pencuci Cylinder Block Motor," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 7, no. 4, Aug., pp. 430-444, 2021.
- [18] B.S. Haryanto, H.S. Utama, and D.S. Naga, "Perancangan Robot dengan Kemampuan Mencari, Mendekati, dan Menggiring Bola ke Gawang," *TESLA*, vol. 20, no. 1, Marc., pp. 70-81, 2018.
- [19] M.E.Bunardi, K.O. Bachri, "Perancangan dan Implementasi Wiper Otomatis pada Helm Berbasis Mikrokontroler," *CYLINDER*, vol. 8, no. 1, Oct., pp. 1-13, 2022.
- [20] M. Hammam, A. Feriansah, "Rancang Bangun Uninterruptible Power Supply (UPS) Berkapasitas Daya 1500 Watt Dengan Sistem Soft Start," *Jurnal Cahaya Bagaskara*, vol. 5, no. 1, Feb., pp. 32-45, 2020.

Sistem HIPOI 1.0: Hidroponik *Indoor* Berbasis *Internet of Things* untuk Tanaman Selada dengan Teknik NFT

Musayyanah¹, Harianto², Yosef Richo Adrianto³, Hardman Budiardjo⁴

^{1,2} Jurusan Teknik Komputer Fakultas Teknologi dan Informatika, Universitas Dinamika; email: musayyanah@dinamika.ac.id, harianto@dinamika.ac.id

^{3,4} Jurusan Teknik Desain Produk Fakultas Desain dan Industri Kreatif, Universitas Dinamika; email: yosef@dinamika.ac.id, hardman@dinamika.ac.id

[Dikirimkan: 18 Januari 2024, Direvisi: 15 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Harianto

INTISARI — IoT merupakan salah satu istilah teknologi yang telah diterapkan di berbagai macam sektor, salah satunya adalah sektor pertanian. Hidroponik merupakan pertanian modern yang berfokus pada pertumbuhan tanaman tanpa menggunakan media tanah, yang sangat cocok diterapkan di lingkungan perkotaan. Penerapan IoT pada hidroponik dilakukan dengan sistem pemantauan dan kendali yang dapat membantu kinerja para petani hidroponik. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP 32, sensor nutrisi, sensor suhu, RTC dan platform aplikasi IoT Panel MQTT. Sistem IoT bekerja dengan dua mode yakni mode otomatis dan mode manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor TDS bekerja secara stabil pada rentang nilai 900 ppm, rerata presentasi *error* dari sensor suhu sebesar 0,84%, Lampu *growlight* dan pompa sirkulasi bekerja sesuai dengan penjadwalan dan transmisi data ke broker dari MQTT berhasil 100%. Pengujian keseluruhan sistem berhasil 100 % ditandai dengan peningkatan pertumbuhan selada yang *significant*.

KATA KUNCI — Hidroponik, *Indoor*, *Internet of Things*, NFT, Selada.

I. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan salah satu paradigma komunikasi yang melibatkan mikrokontroler, media komunikasi *transceiver*, dan kumpulan protokol yang saling berkomunikasi [1]. IoT diterapkan di banyak sektor seperti rumah pintar, pertanian, layanan kesehatan keliling, bantuan lansia, jaringan pintar, sistem cerdas, dan manajemen lalu lintas. Selain itu, IoT mulai diterapkan di bidang Oseanografi [2]. Penerapan IoT di bidang pertanian membantu para petani lebih cerdas, lebih efisien dan terkoneksi dalam hal pemberian informasi kepada para analisis mengenai hasil panen, pemetaan tanah, aplikasi pupuk, data cuaca, kondisi perangkat dan kesehatan hewan [3]. Penelitian yang membahas IoT di bidang pertanian untuk budidaya jamur telah dilakukan oleh [4]. IoT untuk budidaya tanaman hidroponik telah ditelaah oleh [5] dan [6], dengan memantau parameter hidroponik seperti nutrisi, pH, kelembaban tanah, suhu air, cahaya UV, kadar oksigen dan karbon dioksida, serta konsumsi daya dari perangkat IoT seperti pada [7]. Perangkat keras IoTnya terdiri dari mikrokontroler seperti Arduino, ESP 8266, dan Raspberry Pi. Perangkat lunak platform IoT terdiri dari Mysql, Thingspeak, Firebase, Domoticz, and Wylodrin adjusted. Salah satu bentuk kontribusi pada artikel ini adalah membuat sistem IoT dengan perangkat ESP 32 yang terintegrasi dengan aplikasi IoT Panel MQTT, dimana metode komunikasinya menggunakan topik yang terhubung dengan broker pada aplikasi tersebut.

Hidroponik adalah metode budidaya tanaman dengan memanfaatkan air, yang memperhatikan nutrisi tanaman tanpa menggunakan media tanah [8]. Sistem Hidroponik merupakan salah satu yang ramah lingkungan, yang tidak menggunakan pestisida berlebihan. Teknik penanaman Hidroponik digolong menjadi dua yakni berbasis substrat dan kultur air. Hidroponik berbasis kultur air terdiri *Nutrient Film Technique* (NFT), *Deep Flow Technique* (DFT), dan *Floating Raft System* (FRS), Sistem Aeroponik, Sistem *Ebb Flow*, dan Sistem *Wick* [9]. Teknik DFT pernah dibahas oleh [10]. Sistem *Wick* telah diterapkan oleh [11]. Penerapan teknik hidroponik tidak boleh diterapkan sembarangan, melainkan wajib menyesuaikan jenis komoditas tanaman yang akan digunakan, kondisi lokasi pemasangan instalasi hidroponik, dan ketersediaan anggaran. Peluang sistem Hidroponik pada lahan lingkungan perkotaan, dapat mengurangi biaya distribusi hasil panen yang berdekatan dengan pemukiman. Jenis komoditas sayuran yang umum ditanam dengan hidroponik adalah selada, bayam, kangkung, seledri, tomat, dan sebagainya. Budidaya tanaman hidroponik dapat dilakukan di dalam ruang dan di luar ruang. Saat ini, tren pemasangan Hidroponik dilakukan di apartemen atau di dalam kantor.

Salah satu bentuk budidaya Hidroponik di dalam ruang adalah *Greenhouse*, yang dilengkapi dengan teknologi kendali parameter pH, suhu, nutrisi, dan cahaya dalam upaya meningkatkan hasil panen tanaman hidroponik. Sistem kendali yang diintegrasikan dengan teknologi jarak jauh telah dikerjakan pada [12]-[13]. Pada [12] membuat sistem IoT yang terdiri dari platform IoT Blynk dan ESP 8266 untuk pertumbuhan sawi dengan parameter pemantauan pH, suhu, dan level air. Penelitian tersebut tidak memaparkan hasil sistem IoT terhadap pertumbuhan sawi. Penelitian pada [14] meneliti objek tanaman selada bermedia tanah dengan parameter intensitas cahaya, kelembaban tanah, pH dan suhu ruang tanpa adanya sistem kendali dalam pemberian nutrisi. Penelitian yang dilakukan oleh Putu [15] menyimpulkan perangkat IoT yang telah dibuat berhasil mempercepat pertumbuhan swai putih, dengan teknik Aeroponik yang memanfaatkan kabut dalam proses pemberian nutrisi. Putu membutuhkan dua *resources* dengan *cost* tinggi yaitu Arduino untuk membaca data sensor dan Raspberry sebagai server aplikasi android. Pada [13] merancang *Greenhouse* untuk tanaman selada dengan media tanah menggunakan platform IoT Blynk. Berdasarkan penelitian di atas, salah satu bentuk keterbaruan dan pembeda dari artikel ini adalah memantau nutrisi, suhu, dan cahaya berdasarkan mode otomatis dengan mode penjadwalan dan mode manual, yang hanya menggunakan satu modul ESP 32 dan platform IoT Panel MQTT. Perangkat IoT pada penelitian ini, tidak membutuhkan biaya yang besar karena hanya menggunakan satu mikokontroler saja. Tampilan platform IoT yang digunakan cukup fleksibel menyesuaikan dengan inputan data sensor yang akan ditampilkan pada platform tersebut.

Faktor utama dalam hidroponik *indoor* dipengaruhi oleh pencahayaan dan pemberian nutrisi. Pencahayaan yang dimaksud adalah warna cahaya, durasi pencahayaan dan intensitas. Intensitas cahaya yang diberikan harus sesuai dengan kebutuhan komoditas tanaman yang digunakan atau memiliki karakteristik panjang gelombang yang sama dengan sinar matahari. Pada [16] memberikan

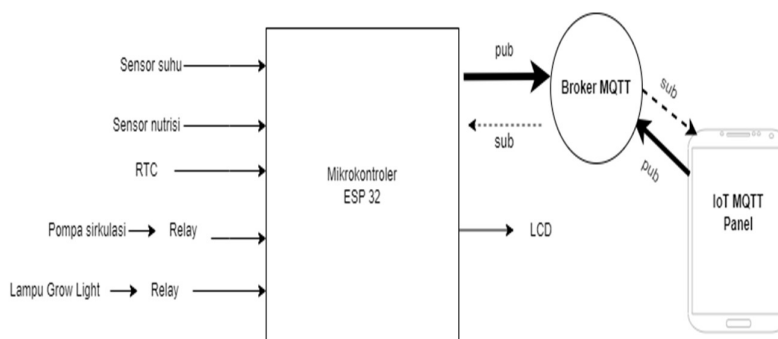
kesimpulan bahwa cahaya dari *growlight* membuat daun tanaman lebih lebat serta lebar, masa tanaman lebih berat dan batangnya lebih tinggi. Pada [17] menganalisis bahwa pengaruh dari lampu UV meningkatkan pertumbuhan sebesar 40-50%, disebabkan oleh kemampuan UV untuk mengurangi hama atau bakteri pada tanaman. Penelitian [18] juga menyimpulkan bahwa cahaya LED dapat memberikan peningkatan terhadap pertumbuhan tanaman cabai di dalam ruang. Berdasarkan penelitian di atas, penelitian ini memanfaatkan lampu *growlight* untuk pencahayaan tanaman hidroponik dalam ruang selama 12 jam.

Perancangan perangkat IoT wajib menyesuaikan dengan objek yang akan diteliti, baik itu desain perangkat keras dan perangkat lunak. Desain perangkat keras yang dibutuhkan adalah mikrokontroler, sensor, dan protokol komunikasi. Perangkat lunak digunakan untuk menampilkan data untuk analisis pertumbuhan objek. Protokol komunikasi merupakan bagian terpenting dalam perancangan sistem IoT untuk memastikan data diterima dengan baik. Saat ini, para peneliti mendesain protokol komunikasi sesuai dengan karakteristik perangkat IoT yang digunakan seperti pada [19]. *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) merupakan protokol IoT mudah diterapkan. MQTT adalah protokol yang mentransmisikan paket kecil dengan konsumsi daya rendah [20]. Penelitian ini menggunakan komunikasi dengan identitas topik dari setiap aktifitas dari pembacaan sensor baik itu monitoring dan kendali.

Kontribusi dari artikel ini terdiri dari sistem pemantauan dan sistem kendali untuk hidroponik dalam ruang. Sistem pemantauannya terdiri dari parameter kadar nutrisi suhu. Sistem kendali terhadap nyala lampu dari lampu *growlight* dan pompa sirkulasi. Sistem kendali yang dimaksud dilakukan secara otomatis sesuai penjadwalan pada modul RTC atau tanpa penjadwalan. Bentuk instalasi hidroponik dari artikel ini berbeda dengan hidroponik indoor pada penelitian-penelitian sebelumnya, dimana wadah dan instalasi pipa didesain untuk menambah kesan estetik dari sebuah ruangan sempit. Analisis pertumbuhan dari selada telah dianalisis sebagai bentuk validasi keberhasilan penerapan perangkat IoT.

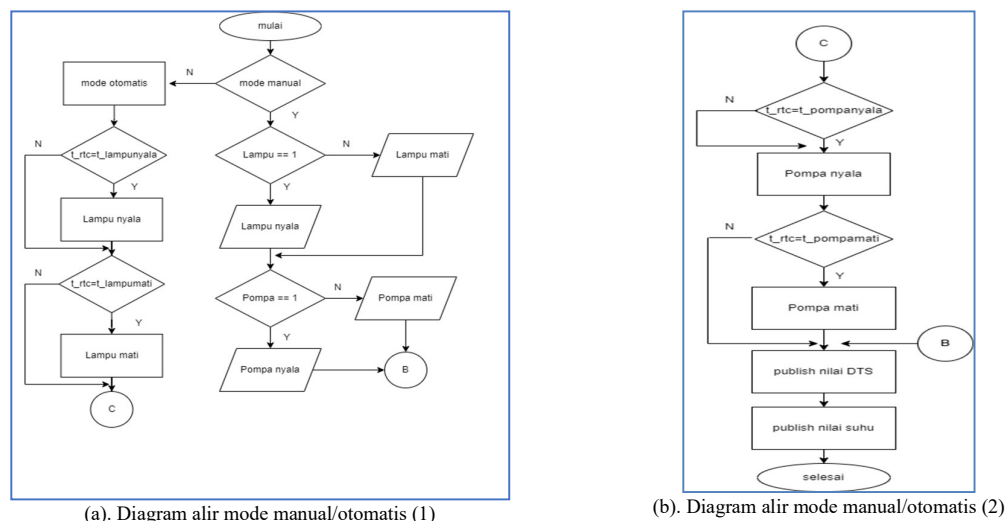
II. METODE PENELITIAN

Perangkat keras yang digunakan pada artikel ini, ditunjukkan pada Gambar 1. Perangkat keras tersebut akan dikendalikan dari input *smart phones* menggunakan komunikasi MQTT. Rancangan perangkat keras terdiri dari input sensor yaitu sensor suhu untuk mendeteksi suhu ruang, sensor nutrisi untuk membaca kadar nutrisi, pompa sirkulasi mengalirkan cairan campuran nutrisi dengan air ke tiap-tiap rak wadah tanaman hidroponik, modul RTC digunakan untuk penjadwalan pada sistem dengan mode otomatis, serta Relay sebagai penyalang arus elektrik pada pompa dan lampu *growlight*. *Output* dari sistem ini merupakan tampilan display digital atau LCD, guna menampilkan parameter nilai sensor.



Gambar 1. Rancangan Perangkat Keras.

Sistem kontrol dilakukan pada lampu *growlight* dan pompa sirkulasi dengan 2 mode yaitu, mode manual dan mode otomatis seperti diagram alir pada Gambar 2. Pengaktifan mode dilakukan pada aplikasi IoT MQTT Panel. Mode manual artinya menyalakan lampu dan pompa dilakukan pada saat tombol nyala ditekan, sedangkan mode otomatis akan menyala sesuai dengan penjadwalan atau pengaturan waktu pada RTC. Pengaturan waktu pada RTC dapat dilakukan pada aplikasi IoT Panel MQTT. Nilai nutrisi dan suhu hanya dipantau pada aplikasi, tidak terdapat proses kendali untuk kedua parameter tersebut.



Gambar 2. Flowchart mode manual/otomatis sistem Hidroponik indoor

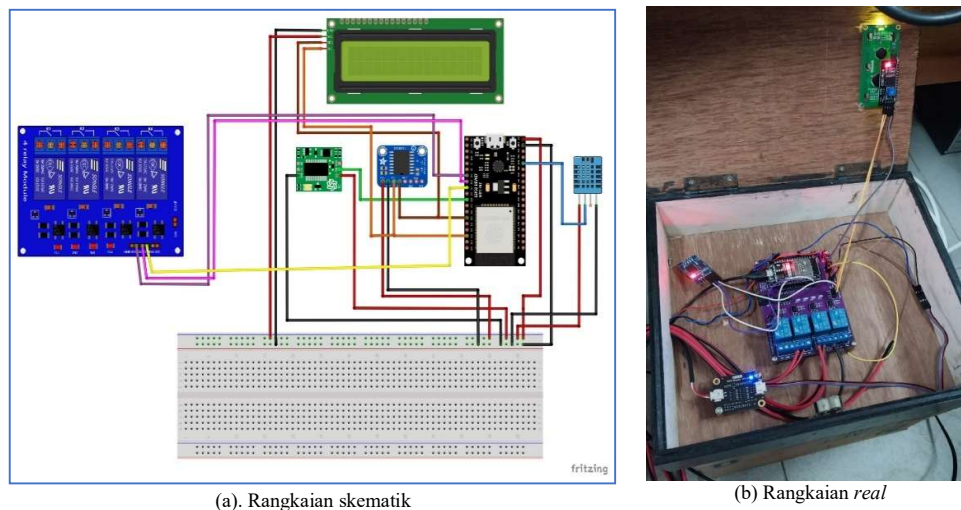
A. RANGKAIAN SKEMATIK HIDROPONIK

Rangkaian perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 2, dimana terdiri dari rangkaian skematik dan bentuk rangkaian nyata yang tersimpan di dalam kotak hitam. Probe dari sensor TDS, sensor suhu dan pompa sirkulasi terletak di luar kotak hitam. Modul ESP 32 beserta relay, *board* dari sensor TDS, RTC, dan LCD terletak di dalam kotak hitam. Sambungan pin input dan output dari mikrokontroler ESP 32 disebutkan pada Tabel 1.

TABEL I

KONEKSI PIN MIKOKONTROLER DENGAN SENSOR INPUT DAN OUTPUT

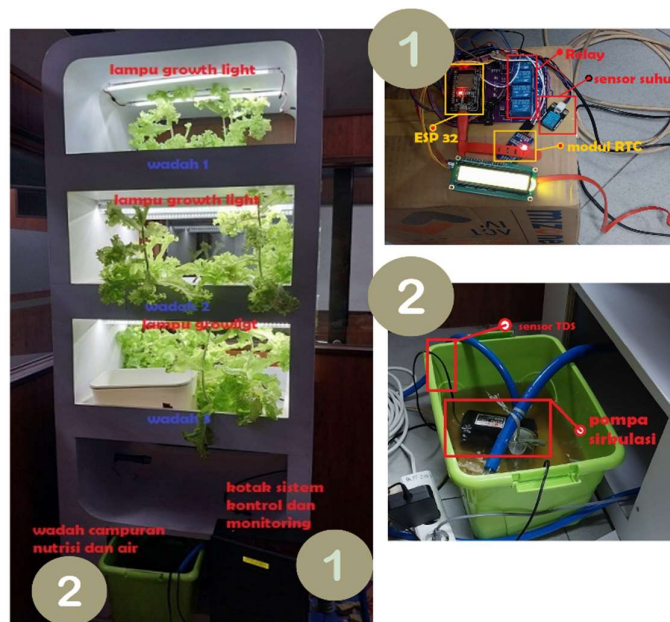
Mikrokontroler ESP 32	Sensor Suhu (DHT 11)	Sensor TDS	Pompa Sirkulasi	Lampu <i>growlight</i>
Data	GPIO 17	GPIO 36 (Analog 35)		
VCC	VCC	VCC		
GND	GND	GND		
Relay Channel 1	-	-	Relay on/off	-
Relay Channel 2	-	-	-	Relay on/off



Gambar 1. Bentuk rangkaian sistem hidroponik Indoor

B. WADAH TANAMAN HIDROPONIK INDOOR

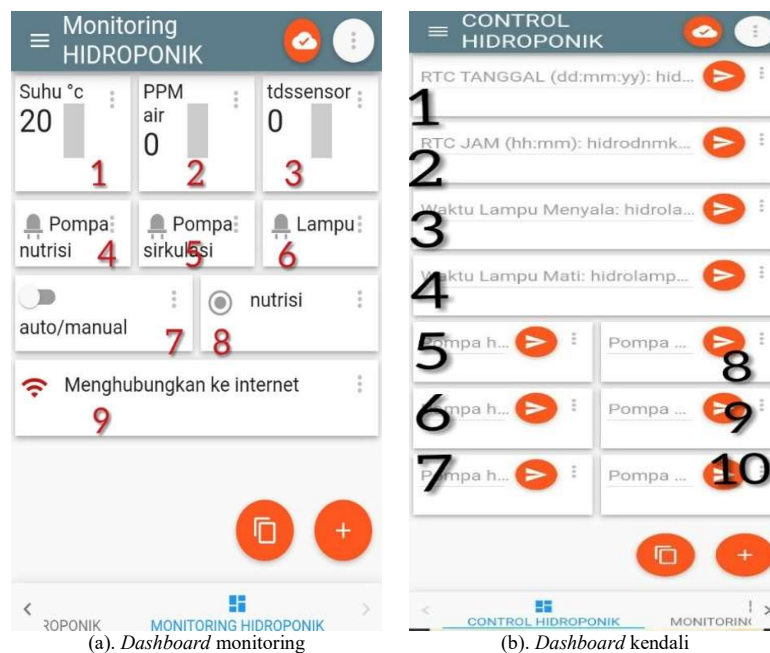
Salah satu kontribusi dari artikel ini adalah merancang sistem hidroponik *indoor*, dimana wadah dari tanaman tersebut terlihat pada Gambar 4. Wadah tersebut tersusu tiga rak dengan perairan sirkulasi vertikal. Wadah pencampuran nutrisi berada di bagian bawah rak sesuai dengan tag 1 pada Gambar 4, distribusi pencampuran nutrisinya dilakukan oleh pompa sirkulasi. Pada wadah pencampuran nutrisi terdapat pompa sirkulasi dan *probe* sensor TDS. Tiap rak terdapat lampu *growthlight* untuk membantu proses fotosintesis pada tanaman hidroponik. Pompa sirkulasi dan lampu *growthlight* dapat dinyalakan secara manual dengan aplikasi IoT MQTT Panel atau dinyalakan secara otomatis sesuai dengan penjadwalan pada RTC. Penuangan nutrisi pada artikel ini masih dilakukan secara manual. Keseluruhan perangkat elektronik terletak pada kota hitam dengan tag 2 pada Gambar 4.



Gambar 2. Wadah Hidroponik Indoor

C. TAMPILAN DASHBOARD IoT MQTT PANEL

Tampilan Aplikasi Broker MQTT untuk monitoring dan kendali parameter hidroponik tanaman dapat dilihat pada Gambar 5. Tampilan *dashboard* monitoring meliputi suhu, kadar nutrisi, nyala pompa, nyala lampu, dan pemilihan menu auto/manual. Jika mode manual diaktifkan, artinya dilakukan input kontroling secara manual pada *dashboard* kontrol hidroponik. Pada *dashaboard* kontrol hidroponik terdiri dari beberapa inputan seperti tanggal jam, waktu lampu menyala, waktu lampu hidup, waktu pompa menyala, waktu pompa mati, semua parameter tersebut diatur ulang agar sistem berjalan sesuai dengan inputan pada menu *dashboard* tersebut. Setiap data sensor yang dipublish atau dikirimkan ke broker MQTT menggunakan topik tertentu seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3, sedangkan keperluan untuk kontrol di-*subscribe* sesuai topiknya dari aplikasi oleh broker untuk dieksekusi oleh perangkat.



(a). Dashboard monitoring

(b). Dashboard kendali

Gambar 3. Tampilan keseluruhan dashboard MQTT

TABEL II

PENJELASAN MENU INPUT PADA MQTT

No.	Tipe panel	Deskripsi	Topik
1.	Text input	Mengatur tanggal . RTC (tanggal/bulan/tahun)	hidrodnmkRTCT
2.	Text input	Mengatur jam RTC (jam.menit)	hidrodnmkRTCTj
3.	Text input	Menyalakan lampu sesuai waktu yang diinput	hidrolampunya
4.	Text input	Mematikan lampu sesuai waktu yang diinput	hidrolampumati
5.	Text input	Menyalakan pompa di jam yang diinput (jadwal 1)	hidropompahidup
6.	Text input	Menyalakan pompa di jam yang diinput (jadwal 2)	hidropompahidup1
7.	Text input	Menyalakan pompa di jam yang diinput (jadwal 3)	hidropompahidup2
8.	Text input	Mematikan pompa di jam yang diinput (jadwal 1)	hidropompamati
9.	Text input	Mematikan pompa di jam yang diinput (jadwal 2)	hidropompamati1
10.	Text input	Mematikan pompa di jam yang diinput (jadwal 3)	hidropompamati2

TABEL III

PENJELASAN INPUT PADA DASHBOARD KONTROL

No.	Tipe panel	Deskripsi	Topik
1.	Vertikal meter	Monitoring suhu	hidrodnmksuhu
2.	Vertikal meter	Monitoring ppm	hidrodnmktds
3.	Vertikal meter	Monitoring nilai ADC TDS	hidrodnmkppm
4.	LED indicator	Led menyala jika relay pompa nutrisi menyala	hidrodnmkled1
5.	LED indicator	Led menyala jika relay pompa sirkulasi menyala	hidrodnmkled2
6.	LED indicator	Led menyala jika relay lampu menyala	hidrodnmkled3
7.	Switch	Mengubah mode pompa nutrisi dari auto menjadi manual	hidro automanual
8.	Switch	Menyalakan pompa nutrisi jika berada di mode manual	hidronutrisi
9.	Switch	Menyalakan/mematikan fungsi reconnecting internet	koneksimqttthidro

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan, artikel ini membahas terkait kinerja sensor, pengujian keseluruhan sistem dengan mode manual dan otomatis serta hasil pengamatan objek tanaman hidroponik selada dalam ruang selama 30 hari.

A. HASIL PENGUJIAN KINERJA PERANGKAT YANG DIGUNAKAN

Hasil pengujian perangkat keras bertujuan menganalisis perangkat sensor yang telah digunakan pada sistem hidroponik. Salah satunya adalah kinerja sensor nutrisi, sensor suhu ruang, modul RTC dan hasil pengiriman data dengan protokol MQTT. Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan mode manual dan otomatis, dibarengi dengan analisis pertumbuhan dari tanaman selada.

1) ANALISIS KINERJA SENSOR NUTRISI

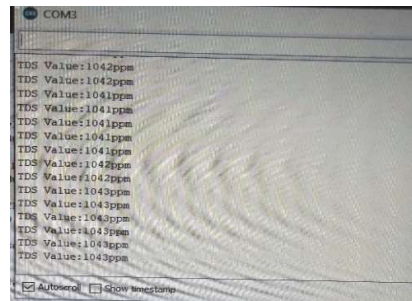
Pengujian sensor nutrisi atau *Total Dissolved Solids* (TDS) menggunakan *library* pada IDE Arduino. Luaran dari sensor TDS adalah nilai ADC yang diubah menjadi ppm, konversi tersebut bisa dilakukan dengan fungsi *map()*. Sensor TDS diuji pada larutan air murni dan campuran air mineral dengan nutrisi. Contoh program untuk fungsi *map()* seperti Gambar 6.

```
void bacatds(){
  char kirimtds[4];
  char kirimtdsl[4];
  sensor = analogRead(TDSsensor);
  //nilai adc 1, adc 2, ppm 1, ppm2
  val = map(sensor, 280, 2426, 133, 1080);
```

Gambar 4. Contoh fungsi map()

Parameter input dari fungsi *map()* pada pembacaan sensor TDS, membutuhkan nilai dari akurasi pembacaan nutrisi seperti TDS meter. Dengan menginputkan batas atas dan batas bawah dari nilai TDS meter terhadap air murni dengan air campuran nutrisi. Hasil fungsi *map()* dari sensor TDS dibandingkan dengan TDS meter menggunakan persamaan *error* pada (1). Hasil pengujian dilakukan dengan 30 sampel data sebanyak dua kali percobaan, untuk mengetahui kestabilan dari kinerja sensor TDS. Nilai yang didapatkan dari pengujian ini adalah rerata *error* dalam bentuk persen dan penyebaran data untuk melihat kestabilan outputan dari sensor atau *standart* deviasi.

$$Error (\%) = \left\| \frac{\text{nilai sensor TDS} - \text{nilai TDS meter}}{\text{nilai TDS meter}} \right\| \times 100\% \quad (1)$$



(a). Nilai sensor TDS pada serial monitor



(b). Nilai TDS meter



(c). Proses pengujian sensor TDS

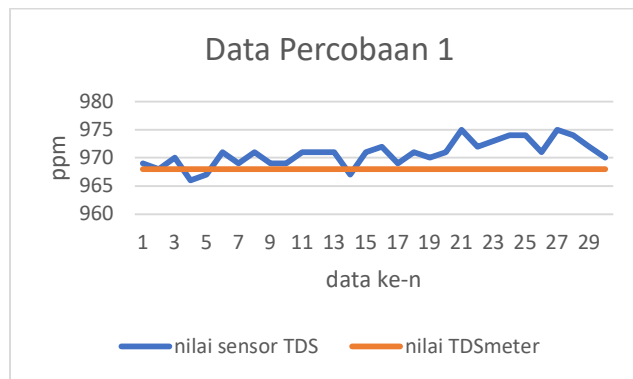


(d). Tampilan LCD nilai nutrisi

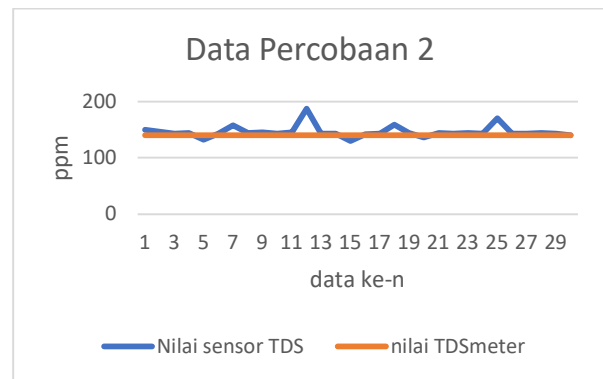
Gambar 5. Hasil pengukuran nutrisi

Pada Gambar 7 terdapat dua kali percobaan dengan 30 data sampel. Percobaan 1 merupakan pengujian dengan nilai rentang batas bawah untuk air mineral sebesar 133 ppm dan batas atas untuk campuran nutrisi dengan air mineral sebesar 1080, kedua nilai batas tersebut berasal dari TDS meter. Kemudian masing-masing dari batas atas tersebut didapatkan nilai ADC dari sensor nutrisi sebesar 280-1080. Rerata presentase *error* dari percobaan 1 mencapai 0,3%.

Percobaan 2 menggunakan nilai TDS meter sebesar 140 ppm, dengan output nilai ADC dari sensor TDS pada Gambar 7b. Rerata presentase *error* dari percobaan 2 sebesar 5,3%. Penyebaran data dari hasil kedua percobaan sensor TDS tersebut menunjukkan bahwa percobaan 1 lebih stabil dibandingkan dengan percobaan 2. Hal ini ditunjukkan nilai *standard deviasi* dari percobaan 1 ($\sigma = 2,3$) lebih kecil dibandingkan percobaan 2 ($\sigma = 10,5$).



(a). Nilai sensor TDS pada rentang nilai 900

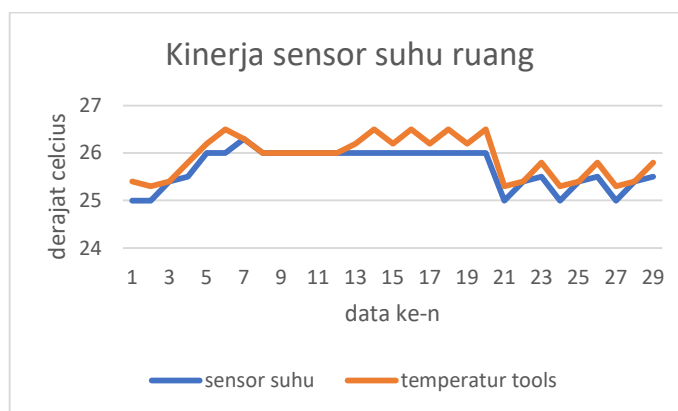


(b). Nilai sensor TDS pada rentang nilai 140

Gambar 6. Kinerja sensor TDS

2) ANALISIS KINERJA SENSOR SUHU RUANG

Sensor suhu ruang yang digunakan adalah sensor suhu DHT 11. Pembacaan data digital pada sensor suhu DHT 11 dilakukan dengan fungsi `readtemperature()`. Pengujian dilakukan satu kali percobaan dengan 30 data sampel pada Gambar 8. Rerata presentasi *error* pada percobaan sensor mencapai 0,84% dengan validator *temperature tools*. Kinerja sensor suhu dinyatakan stabil dengan nilai *standard deviasi* sebesar 0,4 ($\sigma = 0,4$).



Gambar 7. Kinerja sensor suhu ruang



(a). alat ukur termometer



(b). Data sensor suhu pada aplikasi

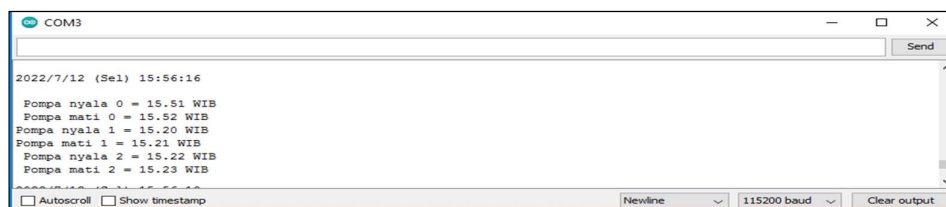
Gambar 8. Tampilan data suhu sensor dengan multimeter

3) ANALISIS KINERJA MODUL RTC

Pengujian modul RTC dibarengkan dengan nyala relay yang dihubungkan dengan pompa sirkulasi. Modul RTC yang digunakan tipe DS3231, merupakan modul yang menyediakan informasi waktu nyata. Pengujian ini melibatkan relay untuk mengaktifkan pompa sirkulasi sesuai penjadwalan pada RTC. Fungsi untuk mengaktifkan waktu nyata dari RTC terlihat pada Gambar 11. Data dari RTC digunakan untuk menyalakan pompa sirkulasi pada Gambar 12, sesuai dengan waktu yang ditentukan. Pompa dinyatakan aktif sesuai dengan tanggal dan waktu yang diatur pada RTC sesuai dengan tampilan serial monitor.

```
rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
// This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
// January 21, 2014 at 3am you would call:
// rtc.adjust(DateTime(2014, 1, 21, 3, 0, 0));
```

Gambar 9. Fungsi mengaktifkan RTC



Gambar 10. Tampilan Serial monitor untuk Nyala pompa sirkulasi dan RTC

Pengujian RTC divalidasi dengan waktu internet seperti Gambar 13a. Hasil validasi tersebut yang terdiri dari jam, menit dan detik dengan perbedaan 3 detik dari pengujian 30 sampel data.



(a). Waktu internet

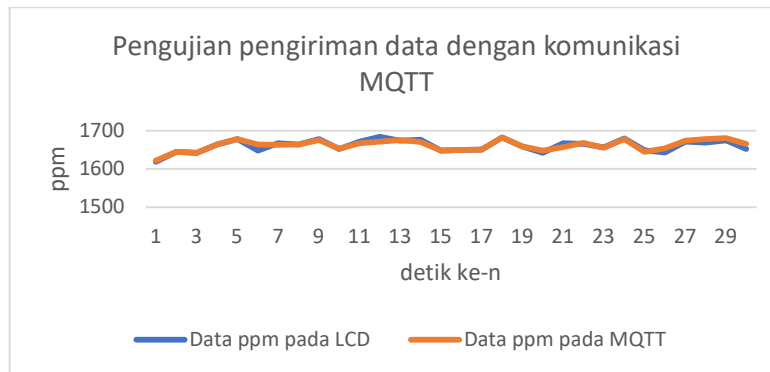


(b). Tampilan LCD untuk data RTC

Gambar 11. Pengujian modul RTC

4) PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA DENGAN KOMUNIKASI MQTT

Pengujian transmisi data dengan komunikasi MQTT mengirimkan data ppm dari sensor TDS. Data tersebut ditampilkan pada LCD dan pada aplikasi IoT MQTT Panel. Pengujian ini memastikan data yang dikirimkan dapat diterima oleh broker MQTT pada waktu yang sama dengan waktu pengiriman. Berdasarkan 30 sampel data pada Gambar 14, membuktikan bahwa terdapat dua data yang diterima mengalami delay, sehingga tingkat keberhasilannya 93%.



Gambar 12. Pengiriman data dengan komunikasi MQTT

B. PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM MONITORING DAN KONTROLING HIDROPONIK INDOOR

Skenario pengujian keseluruhan sistem dilakukan bersamaan dengan pengamatan pertumbuhan selada selama 30 hari. Pengujian ini mengaktifkan mode otomatis untuk pompa sirkulasi dan pencahayaan lampu *growlight*. Mode otomatis diatur sesuai dengan jadwal. Jadwal nyala lampu yakni pukul 07.00-19.00 WIB. Pompa sirkulasi dijadwalkan mulai menyala 07.00 WIB sampai 10.00 WIB, pompa diatur untuk menyala tiga jam sekali dengan durasi 2 menit. Sensor TDS membaca kadar nutrisi, apabila ppm yang terbaca kurang dari 900 ppm, maka larutan AB Mix akan ditambahkan secara manual sampai sensor TDS terbaca di rentang 900 ppm. Hasil pengujian keseluruhan disajikan pada Tabel 4, setiap tiga hari sekali air campuran pada wadah berkurang karena diserap oleh tanaman sehingga ditambahkan air 2 liter dan nutrisi AB Mix sebanyak 200 ml. Skenario pengujian berpengaruh terhadap pertumbuhan selada yang semakin tinggi dan berdaun lebar lebar seperti pada Gambar 15.

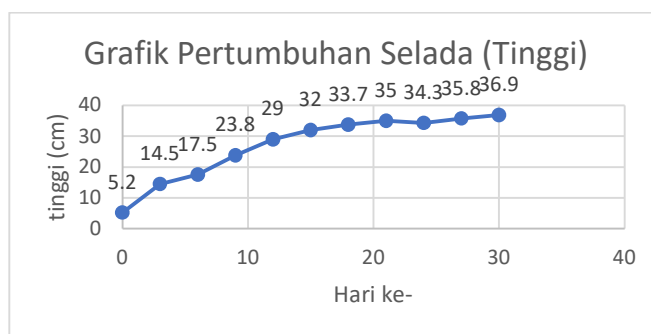
TABEL IV
PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM

Pengamatan	Kadar pada TDS	Nutrisi sensor	Lampu <i>Growlight</i>	Pompa sirkulasi	Penambahan AB Mix	Penambahan pada pencampuran	Air tandon
Hari ke-3	820 ppm		Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	-	-	
Hari ke-6	620 ppm		Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	Dituangkan 200 ml larutan AB Mix.	Ditambahkan 2 liter air	
Hari ke-9	950 ppm		Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	-	-	

Hari ke-12	620 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	-	-
Hari ke-15	930 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	Dituangkan 200 ml larutan AB Mix.	
Hari ke-18	660 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal		Ditambahkan 2 liter air
Hari ke-21	910 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	Dituangkan 200 ml larutan AB Mix.	
Hari ke-24	580 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	-	-
Hari ke-27	930 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	Dituangkan 200 ml larutan AB Mix.	Ditambahkan 2 liter air
Hari ke-30	770 ppm	Nyala sesuai jadwal	Nyala sesuai jadwal	-	-

C. HASIL PENGAMATAN PERTUMBUHAN SELADA PADA SISTEM HIPOI

Jenis komoditas tanaman yang dijadikan objek pada penelitian ini adalah selada. Selada disemai ke dalam wadah rak hidroponik setelah melalui proses pembenihan selama 6 hari. Proses pembenihan dimulai dari benih selada dengan penyinaran lampu *Growlight* dari sistem HIPOI. Setelah terlihat tumbuh beberapa daun, baru selada dipindahkan ke dalam wadah rak. Grafik pertumbuhan selada dimulai dari proses penyemaian ditunjukkan pada Gambar 15. Proses pengamatan selada dilakukan selama 3 hari sekali selama 30 hari.



Gambar 13. Pertumbuhan dari tanaman Selada

Dokumentasi dari percepatan pertumbuhan tanaman selada disajikan pada Tabel 5. Selada dapat tumbuh dengan *significant* terlihat dari tinggi batang dan daunnya yang semakin lebar selama 30 hari pengamatan. Selama pengamatan, nutrisi selalu dipantau setiap hari dan ditambahkan manual apabila kadar nutrisinya tidak sesuai dengan kebutuhan selada. Kadar nutrisi yang diberikan sebesar 900 ppm. Penyinaran lampu *growlight* dinyalakan dengan mode otomatis 12 jam penyinaran. Pompa sirkulasi dinyalakan mode otomatis tiap 3 jam menyala selama 2 menit.

TABEL V

HASIL PENGAMATAN TANAMAN SETELAH PENERAPAN SISTEM

Hasil Pengamatan Pertumbuhan Selada			
Pengamatan 1	Pengamatan 2	Pengamatan 3	Pengamatan 4
Tinggi = 14,5 cm Setelah 3 hari penyemaian	Tinggi = 17,5 cm Tumbuh 3 cm setelah 3 hari berikutnya dari pengamatan 1.	Tinggi = 23,8 cm Tumbuh 6,3 cm dari 3 hari sebelumnya dari pengamatan 2	Tinggi = 29 cm Tumbuh 5,2 cm dari 3 hari sebelumnya dari pengamatan tiga.
			

IV. SIMPULAN

Sistem IoT pada hidroponik NFT dalam ruang yang telah dibuat pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak dan analisis pertumbuhan selada dengan mode penjadwalan dan mode manual. Perangkat kerasnya terdiri dari mikrokontroler ESP

32 berserta relay, dimana relay digunakan sebagai pemutus arus elektrik untuk mode otomatis nyala mati lampu dan pompa sirkulasi. Sensor TDS bekerja stabil pada rentang nutrisi 900 ppm, sensor suhu bekerja optimal dengan rerata presentasi eror sebesar 0,84 %. Perangkat lunak yang digunakan adalah platform IoT Panel MQTT dengan pengujian keberhasilan transmisi data ke Broker 93%. IoT panel MQTT digunakan untuk *subscribe* dan *publish* dari data sensor. Pengamatan operasi keseluruhan sistem dengan mode otomatis, disimpulkan berhasil 100% selama 30 hari. Selada berhasil tumbuh dari hasil penerapan sistem IoT, dengan batangnya semakin tinggi, daunnya semakin lebar dan lebat.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian luaran dari hibah penelitian skema inovasi dengan pendanaan internal Universitas Dinamika dengan surat perjanjian pelaksanaan program hibah inovasi Tahun anggaran 2022 No: 007:ST-PPM/KPJ/V/2022.

REFERENSI

- [1] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [2] H. Kusuma, M. A. Akbar, T. Suhendra, A. Zuchriadi, and A. K. A. Cintra, "IoT Sea Level Monitoring Development and Field Testing Study," *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 70–77, 2023, doi: 10.33019/electron.v4i2.50.
- [3] N. N. Misra, Y. Dixit, A. Al-Mallahi, M. S. Bhullar, R. Upadhyay, and A. Martynenko, "IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 9, pp. 6305–6324, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2020.2998584.
- [4] H. Andre, F. D. Pratama, M. R. Pahlevi, and M. Afif, "Perancangan dan Implementasi Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Kumbung Jamur Berbasis Internet of Things.pdf," *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 26–32, 2022, doi: <https://doi.org/10.33019/electron.v3i1.14>.
- [5] A. Hadinata and Mashoedah, "Internet of Things-based Hydroponic: Literature Review," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2111, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2111/1/012014.
- [6] M. Rindy Saputra, M. Ulfah, and Hilmansyah, "Sistem Monitoring dan Penyiraman Tanaman Sawi Daging Berbasis Internet Of Things (IoT)," *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 89–96, 2023, doi: 10.33019/electron.v4i2.56.
- [7] W. Atmadja, I. Alexander, S. Dewanto, A. Cahya Nugraha, and S. Gokparulian, "Indoor Hydroponic System Using IoT-Based LED," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 998, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/998/1/012048.
- [8] F. Giampieri, S. Tulipani, J. M. Alvarez-Suarez, J. L. Quiles, B. Mezzetti, and M. Battino, "The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health," *Nutrition*, vol. 28, no. 1, pp. 9–19, 2012, doi: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
- [9] B. Fr. T. Qurrohman, *Bertanam Selada Hidroponik Konsep dan Aplikasi*. 2013.
- [10] N. Anika and E. P. D. Putra, "Analisis Pendapatan Usahatani Sayuran Hidroponik Dengan Sistem Deep Flow Technique (Dft)," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 9, no. 4, p. 367, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9i4.367-373.
- [11] P. E. Kresnha, Sugiartowo, and N. L. A. Wicahyani, "Automasi Hidroponik Indoor Sistem Wick dengan Pengaturan Penyinaran Menggunakan Growing Lights dan Pemberitahuan Nutrisi berbasis SMS Gateway," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [12] D. Galuh Pratama, J. Maulindar, and R. Puspita Indah, "Perancangan Monitoring & Pengontrol pH Sayuran Sawi Hidroponik Berbasis IoT (Internet Of Things)," *Ratna Puspita Indah Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, pp. 4051–4060, 2023.
- [13] B. Murtianta, S. Danis Ronaldo, and D. Susilo, "Perancangan Prototype Smart Indoor Greenhouse IoT untuk Membantu Permasalahan Budidaya Tanaman Selada di Kota Kupang," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 21, no. 2, pp. 297–310, 2022, doi: 10.31358/techné.v21i2.331.
- [14] C. Cantica *et al.*, "Sistem Pemantauan dan Kendali Budidaya Selada dalam Ruangan pada Media Tanah Berbasis Internet of Things Internet of Things Based Monitoring and Control System for Indoor Lettuce Cultivation on Soil Media," *J. Comput. Eng. Syst. Sci.*, no. July, pp. 510–525, 2022.
- [15] P. Denanta Bayuguna Perteka, I. N. Piarsa, and K. S. Wibawa, "Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik Aeroponik Berbasis Internet of Things," *J. Ilm. Merpati (Menara Penelit. Akad. Teknol. Informasi)*, vol. 8, no. 3, p. 197, 2020, doi: 10.24843/jim.2020.v08.i03.p05.
- [16] Y. Prasetya, A. G. Putrada, and A. Rakhmatsyah, "Evaluation of IoT-Based Grow Light Automation on Hydroponic Plant Growth," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 7, no. 2, p. 314, 2021, doi: 10.26555/jiteki.v7i2.21424.
- [17] H. Saputra, I. D. Sumitra, D. Hirawan, R. Lesmana, and E. S. Soegoto, "Smart Urban Farming Application: Uv Light in Hydroponic Installations," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 1007–1018, 2023.
- [18] M. Saputri, Q. Oktaria, A. Junaidi, and M. A. Ardiansyah, "Effect of Light Intensity and Sound Intensity on the Growth of Various Types of Chili in Indoor System," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 8, pp. 6330–6336, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i8.3856.
- [19] N. ; Ammar, L. ; Noirie, and S. Tixeul, "Network-Protocol-Based IoT Device Identification," 2019, doi: 10.1109/FMEC.2019.8795318.
- [20] A. A. Zulfikri, D. Perdana, and G. Bisono, "Design and Analysis of Trash Monitoring System Prototype Based On Internet of Things (IoT) Using MQTT Protocol," *J. Infotel*, vol. 10, no. 3, p. 113, 2018, doi: 10.20895/infotel.v10i3.381.

Sistem Prediksi Pergerakan Harga Valuta Asing Menggunakan Kecerdasan Buatan Metode SARSA

Vinsensius Reinard¹, Joni Fat², Suraidi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara; email: vinsensius.525200005@stu.untar.ac.id, jonif@ft.untar.ac.id, suraiddi@ft.untar.ac.id

[Dikirimkan: 12 Desember 2023, Direvisi: 15 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Vinsensius Reinard

INTISARI — Pada era modern komputer dimanfaatkan untuk melakukan komputasi. Tidak terhindar pasar valuta asing juga mengalami transisi tersebut. Sistem yang dibuat menggunakan kecerdasan buatan metode *state action reward state action* (SARSA) yang memprediksi dengan tepat 52% atau lebih sesuai dengan metode evaluasi. Evaluasi keberhasilan prediksi dilakukan dengan membandingkan prediksi pada *state* k dan *state* setelah k . *State* didefinisikan menjadi 3. *State* 3 adalah harga lebih besar dari jumlah k dan *sma*, *state* 2 adalah jumlah *sma* dan k lebih kecil dari harga dan harga lebih kecil dari perbedaan *sma* dan k , dan *state* 1 adalah harga lebih kecil dari selisih dari *sma* dan k . Variabel *sma* adalah rata-rata 200 harga *closed* terakhir dari periode waktu 5 menit. Konstanta k bernilai 0.0005. Sistem menggunakan bahasa pemrograman Python dan terhubung ke pasar valuta asing. Pengujian dilakukan pada 2023-11-10 22:05:00 sampai 2023-11-18 06:55:00. Metode uji yang digunakan adalah metode *forward testing*. *Forward testing* adalah sistem uji menggunakan data *live market*. Metode kecerdasan buatan SARSA memprediksi dengan rata-rata keberhasilan 63.08% pada sampel data EUR/USD, GBP/USD, USD/CAD, USD/CHF, AUD/USD, dan USD/JPY. Prediksi berhasil paling tinggi adalah pasangan USD/CHF dengan tingkat keberhasilan 72.39%, sedangkan yang paling rendah pada GBP/USD dengan tingkat keberhasilan 59.66%. Berdasarkan hasil yang didapatkan bias disimpulkan sistem prediksi yang dibuat berkemampuan untuk aktif ketika pasar valas aktif. Sistem dapat memprediksi dengan mengeluarkan *state* selanjutnya.

KATA KUNCI — Kecerdasan Buatan, SARSA, Valuta Asing, Prediksi Arah Harga.

I. PENDAHULUAN

Pasar valuta asing (valas), atau *foreign exchange (forex)* adalah pasar perdagangan mata uang dari berbagai negara [1]. Memfasilitasi perdagangan internasional menjadi peran utama pasar valas [2]. Pasar valas juga menjadi tempat investasi, investor dapat memanfaatkan fluktuasi nilai tukar dan meraih keuntungan atau sering kali dikenal sebagai *trading* [3].

Pasar valas menjadi salah satu titik risiko bagi perusahaan multinasional yang memerlukan instrumen transaksi berupa valas. Perusahaan juga sering kali menggunakan opsi valas sebagai perlindungan dari perubahan nilai tukar yang merugikan [4]. Secara keseluruhan pasar valas memfasilitasi perdagangan internasional, menyediakan peluang investasi juga titik risiko bagi perusahaan multinasional.

Pada era modern yang didominasi oleh teknologi, sektor keuangan juga tidak lepas dari perkembangan tersebut. *Market maker* di seluruh dunia mengandalkan komputer untuk membuat keputusan [5]. Komputer berkemampuan menimbang informasi dengan cepat, menjadikan komputer alat utama dalam pasar valuta asing era modern.

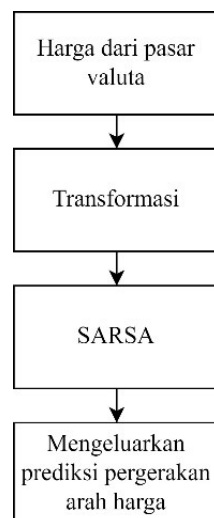
Kecerdasan buatan atau biasa dikenal dengan *artificial intelligence (AI)* adalah alat efektif untuk menemukan pola-pola tersembunyi dalam data [6]. AI mampu memproses, menganalisis, dan memahami data skala besar yang kompleks dengan waktu relatif singkat dibandingkan manusia, sesuatu yang tidak mungkin dilakukan oleh manusia. AI memproses data dan mengeluarkan prediksi dengan tahapan yang terstruktur. Tahapan dimulai dari pengambilan data, memproses data sehingga AI mengerti data tersebut, dan memasukkan data yang sudah ditransformasi ke model AI [7], [8]. Proses transformasi adalah sebuah algoritma berfungsi sebagai penyaring data, menghilangkan bising data mentah sehingga data masukkan AI data bersih [6]. Menghindari kejadian masuk sampah keluar sampah yang dibahas oleh [9], [10].

Metode SARSA unggul memprediksi langkah selanjutnya berdasarkan *state* aktif [11]. Kemampuan AI dapat mengurangi risiko dan mengambil keputusan berdasarkan pengalaman masa lampau [12], [13], [14], [15]. Arah harga bisa menjadikan 3 kondisi pada pasar valuta asing diantaranya naik, turun, atau tetap. Pergerakan harga bergerak berdasarkan persetujuan antara penjual dan pembeli [16] mata uang tersebut (*supply and demand*).

Berdasarkan latar belakang masalah, sebuah sistem berkemampuan untuk memprediksi arah pergerakan harga pada pasar valas dapat menyelesaikan masalah-masalah tersebut. Sistem bertujuan untuk memprediksi arah pergerakan harga pasar valuta asing berdasarkan data pasar valuta asing *live market*. Sistem mampu memprediksi benar dengan metode evaluasi sebesar 52% atau lebih.

II. METODE

Sistem yang telah dibuat adalah sebuah sistem yang memiliki fungsi memprediksi pergerakan harga pada pasar valuta asing. Pasar valuta asing adalah arena keuangan yang dinamis, harga mata uang berubah dengan cepat. Sistem yang dirancang memanfaatkan metode SARSA, sebuah teknik dalam *machine learning* yang dapat diaplikasikan untuk memprediksi perilaku berulang di sebuah *environment* [17], [18].



Gambar 1. Diagram Blok Aliran Pemrosesan Data dan Prediksi Pergerakan Arah Harga dari Pasar Valas

Gambar 1, merupakan diagram blok sistem prediksi. Diagram blok dimulai dengan mengambil harga dari pasar valuta asing. Data tersebut akan melalui fungsi transformasi sehingga informasi yang dibutuhkan bisa diambil. Data yang sudah diproses tersebut akan dimasukkan ke algoritma SARSA yang menghasilkan sebuah prediksi pergerakan arah.

Elemen utama dari sistem yang akan dirancang adalah model prediksi pergerakan harga. Model ini akan didasarkan pada data historis pasar valuta asing yang telah diproses. Melalui analisis metode SARSA, sistem berusaha untuk memahami pola pergerakan harga. Sistem yang dirancang bertujuan untuk memberikan informasi kepada para *market maker*, termasuk pedagang dan investor, yang dapat membantu mereka membuat keputusan dalam mengelola risiko dan mengoptimalkan potensi keuntungan mereka di pasar valuta asing. Beberapa persamaan dasar diaplikasikan untuk sistem prediksi SARSA.

$$R_{\Sigma}^{(n)} = \sum_{j=0}^n \gamma^j r_{k+j} + \gamma^{n+1} Q(s_{k+n+1}, a_{k+n+1}) \quad (1)$$

(1) menggambarkan suatu konsep SARSA. Merangkum semua penghargaan yang terakumulasi dari *state* awal, yaitu *state* k , hingga ke n dengan pertimbangan pada setiap titik waktu, yaitu $k + j$. Penggunaan parameter n dalam persamaan tersebut menentukan jangka waktu sejauh mana algoritma SARSA harus memperhitungkan masa depan. Nilai n mencerminkan sejauh mana algoritma mempertimbangkan reward yang lebih jauh ke depan dalam pengambilan keputusan saat ini [11], [12], [19]. γ berfungsi sebagai *discount factor* yang mengindikasikan seberapa besar bobot yang diberikan pada *reward* di masa depan dibandingkan dengan *reward* yang diterima saat k . Sistem prediksi pasar valuta asing menggunakan parameter $n = 0$ dan $\gamma = 0.8$.

$$Q_{baru}(s_k, a_k) = Q_{lama}(s_k, a_k) + \alpha (R_{\Sigma}^n - Q_{lama}(s_k, a_k)) \quad (2)$$

$Q_{lama}(s_k, a_k)$, mencerminkan nilai sebelumnya yang telah dihasilkan oleh algoritma untuk pasangan *state* (s_k) dan *action* (a_k) tersebut. $Q_{lama}(s_k, a_k)$ dianggap sebagai pengalaman sebelumnya. (2) memperbarui model secara adaptif dan meningkatkan perkiraannya tentang seberapa baik suatu *action* (a_k) dalam *state* (s_k) berdasarkan pengalaman baru. Penggunaan *learning rate* yang tepat, algoritma SARSA dapat mempelajari kebijakan yang optimal secara bertahap untuk mencapai tujuan tertentu dalam konteks yang melibatkan tindakan berurutan dalam environment pasar valuta asing [11], [12], [14], [15], [19]. Parameter α mengontrol pengaruh pengalaman sebelumnya terhadap pembaruan. Nilai α yang berada dalam rentang 0 hingga 1 menentukan seberapa besar dampak pengalaman sebelumnya dalam pembaruan tersebut. Nilai α yang lebih besar dari $\frac{1}{n}$ lebih menekankan pengalaman saat k dibandingkan dengan pengalaman sebelum k . Parameter α yang digunakan oleh sistem adalah 0.8.

Pembagian *state* pasar valuta asing dilakukan dengan mengkalulasi. Harga tutup yang di atas rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir ditambah 0.0005 (*state* = 3), harga tutup berada di antara rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir ditambah 0.0005 dan rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir dikurang 0.0005 (*state* = 2), dan harga tutup yang di bawah rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir dikurang 0.0005 (*state* = 1). Data dikategorikan untuk menentukan kondisi sehingga dapat lebih efisien dimengerti oleh SARSA. Setiap *state* memiliki 3 *action* yang bisa diambil oleh agen yaitu diam, naik, dan turun. Agen adalah sebuah entitas yang berinteraksi dengan *environment*.

A. PEMILIHAN PERALATAN

1) SISTEM KOMPUTASI

Sistem komputasi yang digunakan mewajibkan untuk menggunakan sistem operasi *windows* dikarenakan aplikasi yang digunakan oleh perancangan alat hanya tersedia di sistem operasi *windows*. Sistem operasi yang digunakan adalah *windows 11 home single language* versi 10.2.22621. Sistem komputasi menggunakan laptop ASUS TUF FX506HC. Sistem komputasi memiliki spesifikasi perangkat keras, *central processing unit* i5 11400H, kapasitas *random access memory* (RAM) 24GB, *graphic processing unit* RTX 3050. Sistem komputasi dipasangkan aplikasi yang dibutuhkan untuk perancangan. Aplikasi yang dipasang adalah Python dan MetaTrader5. [20]

2) METATRADER5

MetaTrader5 adalah platform trading yang dikembangkan oleh *MetaQuotes Software*. Aplikasi bertujuan untuk melakukan transaksi keuangan seperti valas, saham, dan *index*. MetaTrader5 menyediakan penyajian data dari *broker* dalam berbagai bentuk. Pengembang MetaTrader5 menyediakan fitur untuk antarmuka (*interface*) dengan bahasa pemrograman Python melalui *library* MetaTrader5. Perancangan menggunakan *library* tersebut sebagai penghubung antara program Python dengan pasar valas yang disediakan oleh *broker* [20].

3) PYTHON

Python merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan diatas C/C++. Python memiliki fitur yang memudahkan pengembang dalam mengembangkan aplikasi tanpa perlu mengkhawatirkan teknisitas sistem komputer. Pengembang bisa lebih fokus terhadap penyelesaian masalah dunia nyata. Bahasa Python bisa digunakan di berbagai sistem operasi di antaranya *windows*, *linux*, dan *macOS*. Python memiliki sifat *opensource* sehingga pengembang yang sudah berpengalaman dapat dengan mudah beradaptasi dengan bahasa Python [21], [22].

4) METATRADER5 PYTHON APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE

MetaTrader5 python application programming interface (MT5 python API) merupakan *library* yang disediakan oleh pengembang MetaTrader5. MT5 Python API memiliki kemampuan untuk mengambil data dari broker melalui aplikasi MetaTrader5, bertujuan untuk mengembangkan *artificial intelligence*. MT5 Python API menyediakan fungsi untuk mengambil data sesuai kebutuhan dari *broker* melalui aplikasi *MetaTrader5*. Fungsi selain pengambilan data juga disediakan seperti fungsi untuk membeli/menjual mata uang dengan harga tertentu. MT5 Python API tidak ditujukan untuk aplikasi *high frequency trading* (HFT) dikarenakan waktu tunggu jaringan yang jauh lebih lama dibandingkan dengan program langsung (*native language*) yang disediakan oleh *MetaTrader5* [23].

5) PANDAS

Pandas menyederhanakan tugas pengolahan data dengan mengabstraksi kode tingkat rendah melakukan operasi kompleks dengan kode minimal. *Pandas* digunakan dalam ilmu data, keuangan, dan bidang lain dimana bekerja dengan data tabel merupakan sebuah kebutuhan. Fleksibilitas dan efisiensi *pandas* menjadikannya alat dasar untuk membersihkan, menjelajahi, dan mengubah kumpulan data dalam bahasa pemrograman *python* [21].

B. REALISASI SUB-SISTEM

1) PENGAMBILAN DATA DARI PASAR VALUTA ASING

Realisasi pengambilan data menggunakan Python. Program Python dijalankan pada sistem operasi *windows* 11 yang sudah dipasang aplikasi MetaTrader5. Akun yang diberikan oleh broker untuk mengakses data diberikan. Program python dihubungkan ke pasar valas menggunakan *library* MT5 Python API. Program penghubung pasar valas dengan Python terdapat pada Gambar 2.

```
1 if mt.initialize():
2     print("Intialization Successful...")
3 else:
4     print("Initialization Failed... Exiting...")
5     exit(1)
6 if mt.login(username, password, server):
7     print("Login successful...")
8 else:
9     print("Login Failed recheck credentials or internet connection...")
10    exit(1)
```

Gambar 2. Cuplikan Program Penghubung Python dan MetaTrader5

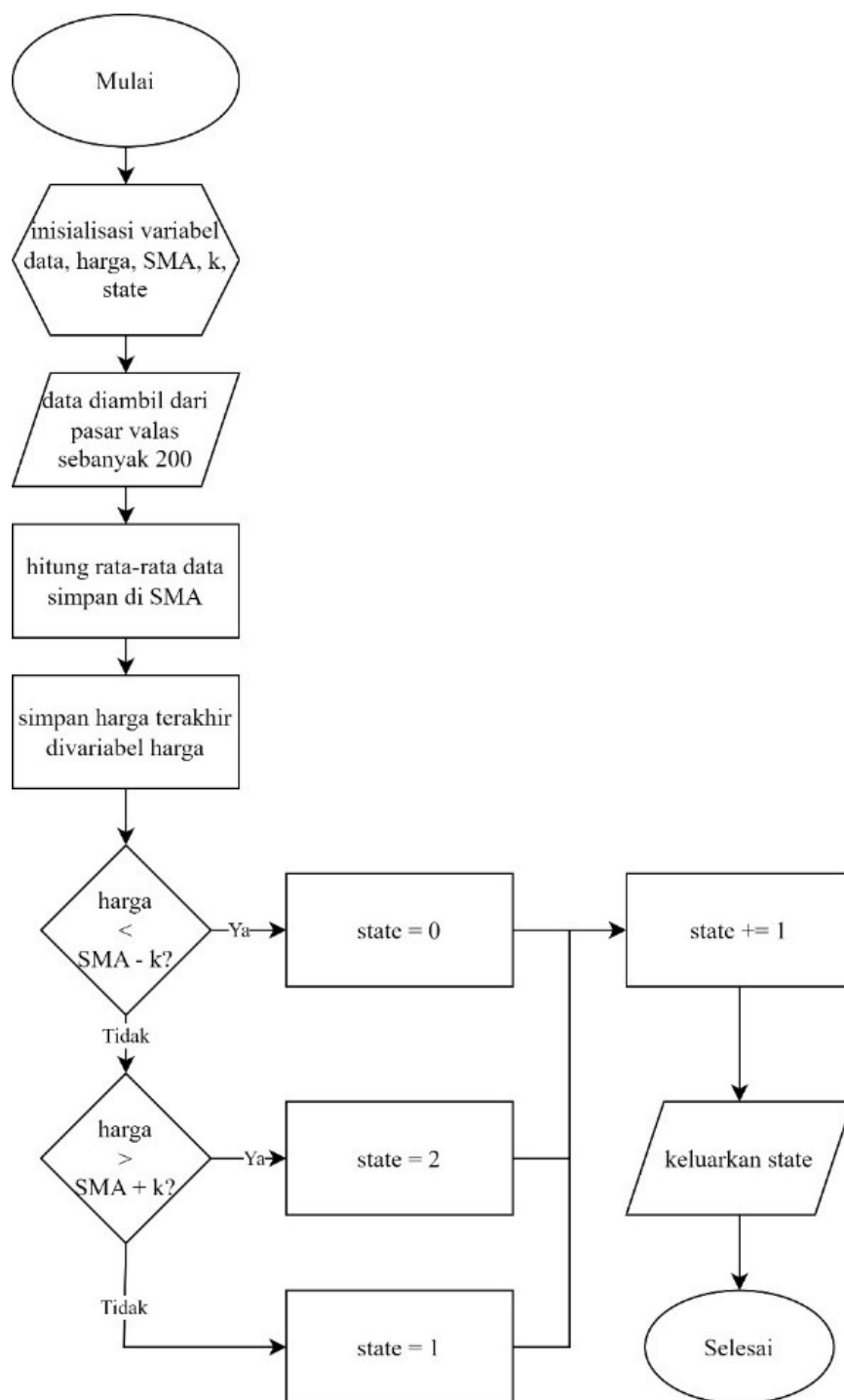
Pengambilan data dilakukan dengan memanggil sebuah fungsi dengan memberikan parameter pasangan mata uang EUR/USD, periode waktu selama 5 menit, waktu mulai waktu adalah sekarang, dan jumlah data yang telah terjadi dari periode waktu dimulai dari waktu sekarang sebanyak 200 data. Fungsi yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 2. Data yang disimpan di variabel *ohlcv* adalah data *open*, *close*, *high*, dan *low*.

```
1 ohlcv = mt.copy_rates_from(pair, mt.TIMEFRAME_M5, datetime.now(), 200)
```

Gambar 3. Cuplikan Program Pengambilan Data dari Pasar Valas

2) TRANSFORMASI

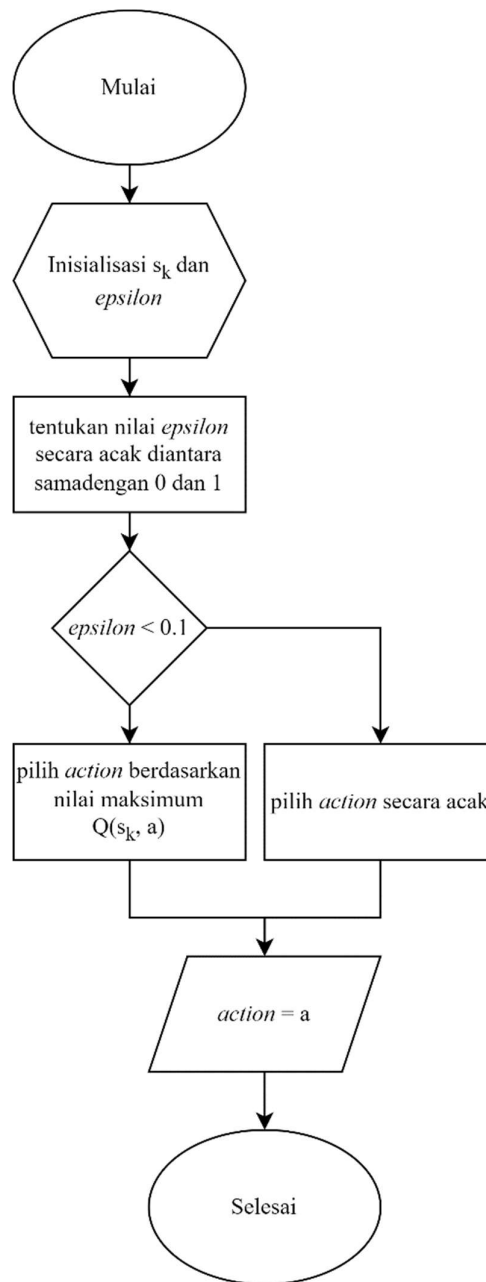
Data dimasukkan melalui pasar valas sebanyak 200 data terakhir. Rata-rata dari data *close* tersebut dikalkulasi. Simpan harga *close* terakhir dari variabel data disimpan di variabel harga. Kemudian jika harga lebih kecil dari SMA dikurangkan k maka *state* = 0, jika harga lebih besar dari SMA ditambahkan k maka *state* = 2. Selain dari kondisi-kondisi tersebut *state* = 1. Setelah variabel *state* ditentukan variabel *state* ditambahkan 1 untuk mempermudah penggunaan. Variabel *state* dapat digunakan, algoritma selesai. Perlu diketahui variabel *state* berhubungan dengan *state* pembagian *state* pasar valas. Diagram alir algoritma ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Algoritma Penentuan State

3) SARSA

SARSA diberikan $state$ awal s_k , $state$ awal ditentukan menggunakan sub sistem transformasi. $Action$ a_k akan ditentukan berdasarkan s_k dan algoritma yang bisa dilihat pada Gambar 5. setelah mendapatkan s_k dan a_k , s_{k+1} ditentukan dengan mengambil action a_k pada $state$ s_k . Setelah mengetahui $state$ s_{k+1} , $action$ a_{k+1} dicari menggunakan algoritma yang sama ketika s_k pada Gambar 5. $Reward$ sudah ditentukan berdasarkan $environment$, sehingga nilai r_k diambil berdasarkan s_k dan a_k . Sub sistem SARSA menghasilkan sebuah prediksi, prediksi yang dimaksud adalah s_{k+1} . Nilai $Q^{baru}(s_k, a_k)$ tetap dikalkulasi guna memperbarui nilai Q .

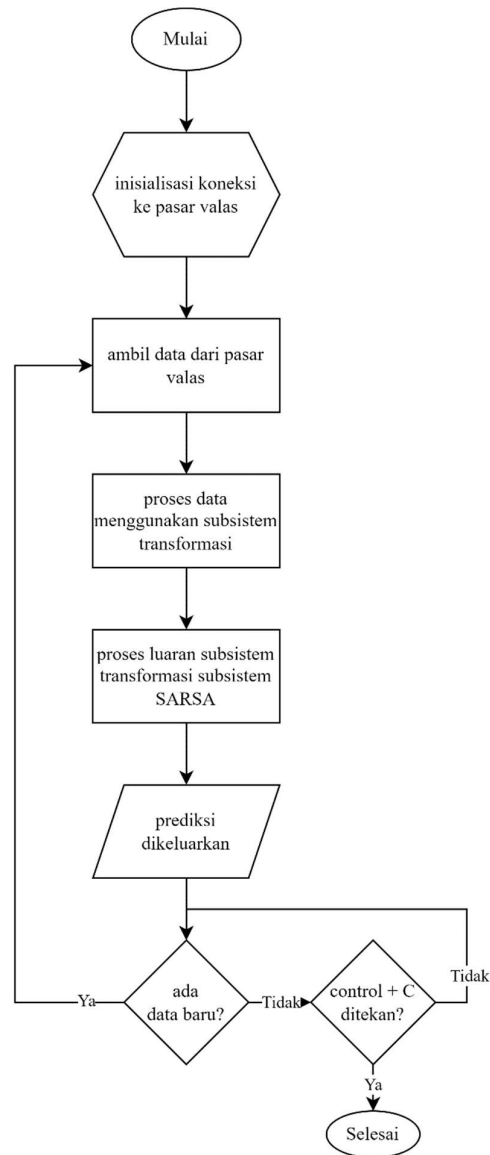


Gambar 5. Algoritma SARSA

C. REALISASI KESELURUHAN SISTEM

Realisasi rancangan keseluruhan sistem dilakukan dengan merangkai semua sub sistem menjadi sebuah sistem. Sebelum sistem dijalankan sistem komputasi wajib memasang aplikasi yang diperlukan di antaranya Python dengan library *pandas* dan *MetaTrader5* dan aplikasi *MetaTrader5*. Sistem dijalankan menggunakan perintah “python main.py”. Perintah tersebut diketikan di *windows powershell*.

Berdasarkan Gambar 6 sistem dimulai dengan koneksi dengan pasar valas setelah koneksi terjalin. Sistem mengambil data dari pasar valas. Data tersebut diproses oleh sub sistem transformasi sehingga dimengerti oleh SARSA. Data transformasi dimasukkan ke SARSA, SARSA mengeluarkan sebuah prediksi berupa sebuah *state* selanjutnya. Setelah mengeluarkan prediksi sistem menunggu data baru, ketika menunggu pengguna bisa mengeluarkan program dengan cara menekan *control + C*. Jika sistem mendeteksi data baru, sistem mengulangi proses prediksi dari tahap pengambilan data pasar valuta asing.



Gambar 6. Diagram Alir Keseluruhan Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada keseluruhan sistem bertujuan untuk mengetahui sistem memenuhi kriteria yang ditentukan. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan program selama pasar valuta asing aktif. Evaluasi prediksi dilakukan dengan cara membandingkan nilai prediksi $state\ s_k$ dengan nilai awal $state\ s_{k+1}$. Data percobaan diambil pada tanggal 2023-11-18 pukul 06:10:00 WIB sampai 06:55:00 WIB. Pasangan mata uang yang digunakan adalah *euro* dan *united states dollar*. Cuplikan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM PREDIKSI

Percobaan	Awal (state)	Prediksi (state)	Evaluasi Prediksi
1	3	3	-
2	3	3	Berhasil
3	3	3	Berhasil
4	3	2	Berhasil
5	3	3	Gagal
6	3	3	Berhasil
7	3	3	Berhasil
8	3	1	Gagal
9	3	3	Berhasil
10	3	3	-

Berdasarkan Tabel 1, sistem berhasil memprediksi *state* selanjutnya 6 dari 8 evaluasi. Sehingga akurasi sistem adalah 75% pada cuplikan data tersebut. Pengujian lebih lanjut dilakukan pada 2023-11-10 22:05:00 sampai 2023-11-18 06:55:00 metode uji yang digunakan adalah *forward test* menggunakan akun demo. *Forward test* adalah metode uji yang menguji dengan menggunakan pasar valas *live*, data yang diterima oleh program merupakan data yang belum pernah terjadi. Pengujian lebih lanjut dilakukan dengan data sampel sebanyak 1544. Data terdiri dari 1542 evaluasi setiap pasangan mata uang. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2
HASIL PENGUJIAN LEBIH LANJUT DENGAN PASANGAN MATA UANG YANG BERBEDA

No	Pasangan Mata Uang	Akurasi (%)
1	AUD/USD	62.82
2	EUR/USD	62.63
3	GBP/USD	59.66
4	USD/CAD	61.18
5	USD/CHF	72.39
6	USD/JPY	59.79

Hasil pengujian lebih lanjut menunjukkan akurasi rata-rata 63.08%. Data menunjukkan variabilitas akurasi antar mata uang. Pasangan mata uang Pasangan mata uang dengan akurasi paling rendah adalah 59.66% pada pasangan mata uang GBP/USD. Pasangan mata uang USD/CHF memiliki tingkat akurasi paling tinggi yaitu 72.39%. Pasangan mata uang AUD/USD, EUR/USD, dan USD/CAD memiliki nilai akurasi yang relatif dekat dengan keberhasilan rata-rata dari sampel data.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengembangan sistem prediksi arah pergerakan pasar valuta asing, dapat diambil beberapa kesimpulan. Sistem prediksi SARSA mampu melakukan prediksi arah pergerakan harga pasar valuta asing secara langsung selama pasar tersebut aktif. Sistem mengidentifikasi *state* selanjutnya sebagai petunjuk arah pergerakan harga. Tingkat akurasi prediksi sistem mencapai 63.08%, berdasarkan sampel pasangan mata uang yang diuji. Sistem prediksi SARSA berhasil memberikan prediksi dalam pergerakan pasar valuta asing.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. Wang, Y. Yuan, Y. Li, dan X. Wang, "Financial contagion and contagion channels in the forex market: A new approach via the dynamic mixture copula-extreme value theory," *Econ Model*, vol. 94, hlm. 401–414, 2021.
- [2] T. Wen dan G. Wang, "Volatility connectedness in global foreign exchange markets," *Journal of Multinational Financial Management*, vol. 54, hlm. 100617, 2020, doi: 10.1016/j.mulfin.2020.100617.
- [3] C. Li, B. Li, dan K. H. Tee, "Measuring liquidity commonality in financial markets," *Quant Finance*, vol. 20, no. 9, hlm. 1553–1566, Sep 2020, doi: 10.1080/14697688.2020.1744698.
- [4] S. Vohra dan F. Fabozzi, "Effectiveness of developed and emerging market FX options in active currency risk management," *J Int Money Finance*, vol. 96, hlm. 130–146, 2019.
- [5] Z. Hu, Y. Zhao, dan M. Khushi, "A Survey of Forex and Stock Price Prediction Using Deep Learning," *Applied System Innovation 2021, Vol. 4, Page 9*, vol. 4, no. 1, hlm. 9, Feb 2021, doi: 10.3390/ASI4010009.
- [6] D. Long dan B. Magerko, "What is AI literacy? Competencies and design considerations," dalam *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems*, Association for Computing Machinery, Apr 2020, hlm. 1–16. doi: 10.1145/3313831.3376727.
- [7] S. Vaid, R. Kalantar, dan M. Bhandari, "Deep learning COVID-19 detection bias: accuracy through artificial intelligence," *Int Orthop*, vol. 44, no. 8, hlm. 1539–1542, Agu 2020, doi: 10.1007/S00264-020-04609-7.
- [8] J. H. Chen dan Y. C. Tsai, "Encoding candlesticks as images for pattern classification using convolutional neural networks," *Financial Innovation*, vol. 6, no. 1, Des 2020, doi: 10.1186/S40854-020-00187-0.
- [9] R. Stuart Geiger dkk., "Garbage in, garbage out? Do machine learning application papers in social computing report where human-labeled training data comes from?," *FAT* 2020 - Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, hlm. 325–336, Jan 2020, doi: 10.1145/3351095.3372862.
- [10] B. Vidgen dan L. Derczynski, "Directions in abusive language training data, a systematic review: Garbage in, garbage out," *PLoS One*, vol. 15, no. 12, hlm. e0243300, Des 2021, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0243300.
- [11] S. L. Brunton dan J. N. Kutz, "Reinforcement Learning," dalam *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*, 2 ed., Cambridge University Press, 2022, hlm. 419–448. doi: 10.1017/9781009089517.016.
- [12] C. J. C. H. Watkins dan P. Dayan, "Q-learning," *Machine Learning 1992 8:3*, vol. 8, no. 3, hlm. 279–292, Mei 1992, doi: 10.1007/BF00992698.
- [13] N. Bäuerle dan U. Rieder, *Markov decision processes with applications to finance*. 2011.
- [14] T. Meng dan M. K. Data, "Reinforcement learning in financial markets," *mdpi.com*, vol. 4, no. 110, 2019, doi: 10.3390/data4030110.
- [15] S. Sun, R. Wang, dan B. An, "Reinforcement Learning for Quantitative Trading," *ACM Trans Intell Syst Technol*, vol. 14, no. 3, Mar 2023, doi: 10.1145/3582560.
- [16] D. Gale, "The law of supply and demand," *JSTOR*, hlm. 155–169, 1955.
- [17] S. Sitompul, R. Nurul Ichsan, dan L. Nasution, "The Influence of Exchange Rate, Inflation, For the Results of the Development Assets of Islamic Banks," 2021, doi: 10.47191/jefms/v4-i3-05.

-
- [18] M. Vochozka, J. Maroušek, Z. Rowland, P. Suler, dan J. Marousek, “THE INFLUENCE OF THE INTERNATIONAL PRICE OF OIL ON THE VALUE OF THE EUR/USD EXCHANGE RATE.,” *researchgate.net*, 2020, doi: 10.7441/joc.2020.02.10.
- [19] A. Millea, D. Podareanu, dan M. Wiering, “Optimal action selection for the Foreign Exchange market using a Sarsa-Echo State Network,” *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, hlm. 1–8, 2023.
- [20] “MQL5 Reference.”
- [21] W. McKinney, *Python for data analysis*. 2022.
- [22] A. Martelli, A. Ravenscroft, S. Holden, dan P. McGuire, *Python in a Nutshell*. 2023.
- [23] “Python Integration - MQL5 Reference.”

Rancang Bangun Sistem Deteksi Binatang Penyebab Gangguan Distribusi SUTM Berbasis *IoT*

Sofyan Rifai¹, Sri Ratna Sulistiyanti², Afri Yudamson³, Emir Nasrullah⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia; email: sulistiyanti@eng.unila.ac.id

[Dikirimkan: 30 Januari 2024, Direvisi: 14 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Siti Ratna Sulistiyanti

INTISARI — Distribusi listrik tegangan menengah di Indonesia didominasi oleh saluran tegangan menengah (SUTM). SUTM adalah konstruksi distribusi tenaga listrik non-isolasi dengan tegangan berkisar antara 5kV hingga 20kV menghubungkan gardu induk dengan pelanggan. SUTM sering mengalami gangguan sesaat hingga permanen akibat faktor binatang seperti kukang dan tupai. Penelitian ini berfungsi untuk merancang suatu sistem deteksi binatang berbasis *IoT* untuk mencegah dan memperingatkan dalam bentuk gambar jika terdapat binatang atau suhu berlebih di jaringan SUTM. Sistem deteksi ini menggunakan sensor PIR HC-SR501 untuk mengidentifikasi gerakan binatang, sensor DHT22 untuk deteksi suhu, *buzzer* ultrasonik untuk mencegah binatang, dan ESP32-CAM untuk mengambil gambar. Data yang diperoleh terkirim di Thingsboard menggunakan mikrokontroler ESP32, serta gambar terkirim pada aplikasi Telegram. Uji coba dilakukan secara subsistem dan keseluruhan dengan simulasi dan pengujian langsung di lapangan pada gardu hubung SUTM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi pergerakan binatang dengan sudut deteksi hingga $\angle 63,4^\circ$ dan sensor DHT22 dapat memantau suhu dengan nilai akurasi suhu 98,78%. *Buzzer* ultrasonik dapat mengusir binatang dengan frekuensi 35kHz. *Delay* pengambilan gambar ESP32-CAM ketika variabel terpenuhi bervariasi tergantung pada provider yang digunakan, dengan Telkomsel memiliki rata-rata *delay* terkecil sebesar 1,39 detik, provider Axis rata-rata *delay* sebesar 1,89 detik dan provider Tri memiliki rata-rata *delay* sebesar 2,34 detik.

KATA KUNCI — NodeMCU ESP32, PIR HC-SR501, DHT22, Gangguan SUTM, Thingsboard.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan energi. Konsumsi energi listrik per individu di Indonesia telah mengalami kenaikan signifikan sebanyak 178,6 GWh dari tahun 2015 yang mencapai 909,91 GWh, dengan tingkat elektrifikasi sekitar 88,30%, menjadi 1.088,51 GWh pada tahun 2020, dengan tingkat elektrifikasi meningkat menjadi 99,20%. Untuk mengatasi pertumbuhan tersebut, diperlukan sistem distribusi energi listrik yang memenuhi standar kualitas dan terbebas dari gangguan seperti osilasi dan permasalahan serupa [1,2].

SUTM merupakan suatu konstruksi untuk pendistribusian tenaga listrik tanpa isolasi dengan tegangan berkisar antara 5kV sampai 20kV untuk menghubungkan dari gardu induk ke lokasi pelanggan[3]. Berdasarkan data PLN UP3 Tanjung Karang sejak Januari 2021 hingga September 2022, terdapat 1.112 kasus gangguan hewan seperti kukang dan tupai di jaringan SUTM Lampung[4]. Selain itu keberadaan binatang di area jaringan SUTM menjadi faktor penyebab kerusakan pada peralatan FCO (*fuse cut out*), serta beberapa gangguan temporer atau bahkan gangguan permanen [5]. Namun, dalam upaya penanganan gangguan tersebut belum efektif serta memerlukan biaya dan waktu dalam pencarian penyebab gangguan.

Dengan adanya permasalahan di atas, diperlukan suatu alat deteksi untuk mencegah binatang di jaringan distribusi listrik SUTM. Sebagai dasar pengembangan, beberapa penelitian telah dilakukan, seperti pembuatan *prototype* alat pendeteksi dan pengusir tikus berbasis Arduino Uno [6], serta penelitian mengenai sistem pendeteksi hama monyet pada area perkebunan berbasis mikrokontroler [7]. Pada penelitian ini, telah dilakukan pembaruan dengan menggunakan *hardware* DHT22, modul ESP32-CAM sebagai *output* kamera, serta pemanfaatan *software* seperti Thingsboard dan Telegram. Hal ini bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam memonitor keadaan sekitar tempat alat diletakkan. Sehingga ketika sensor mendeteksi objek (binatang) maka alat secara otomatis memberi *output* untuk mencegah binatang kukang atau tupai dari jaringan SUTM.

II. LANDASAN TEORI

A. GANGGUAN SUTM

Jaringan distribusi merupakan komponen dalam suatu sistem tenaga listrik yang bertugas mengalirkan tegangan listrik dari sumber daya listrik berkapasitas besar (*bulk power source*) ke pelanggan. Distribusi energi listrik jaringan tegangan menengah (JTM) dibagi menjadi tiga kategori, yakni Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM), dan Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM). SUTM menjadi konstruksi yang dominan di Indonesia, namun memiliki kelemahan karena lokasinya yang terletak di luar dan terbuka. Hal ini membuat saluran udara SUTM rentan terhadap gangguan seperti petir, pepohonan, dan binatang. Gangguan binatang jaringan SUTM di Lampung disebabkan oleh kukang (*Nycticebus coucang*) yang terancam kepunahan dengan ciri-ciri gerak lambat dan warna rambut kecoklatan[8]. Selain itu, binatang tupai/bajing dan ular sering ditemukan oleh petugas sebagai penyebab gangguan jaringan SUTM.

B. NODEMCU ESP32

ESP32 merupakan suatu perangkat mikrokontroler berupa chip IC (*Integrated Circuit*) yang dilengkapi dengan modul WiFi, Bluetooth Low Energy (LE), dan merupakan MCU generik yang kuat. Keberadaannya sangat bermanfaat dalam pengembangan sistem aplikasi *Internet of Things* (IoT). ESP32 ditujukan untuk berbagai aplikasi jaringan sensor berdaya rendah dan ditenagai oleh

dua inti prosesor dengan kecepatan hingga 240 MHz [9]. Selain itu, ESP32 juga dilengkapi dengan berbagai fungsi seperti pemrosesan sinyal digital, sensor sentuh, dan mendukung berbagai protokol komunikasi seperti SPI, I2C, UART, dan CAN.

C. SENSOR DHT22

DHT22 merupakan sensor yang mampu mengukur suhu dan kelembaban dengan keluaran berupa sinyal digital yang presisi. Sensor ini dilengkapi dengan pengaturan suhu sekitar yang presisi karena disimpan dalam memori OTP yang terintegrasi[13]. Selain itu, sensor DHT22 memiliki rentang pembacaan suhu dan kelembaban yang luas dan mampu mendistribusikan sinyal keluaran hingga jarak 20 meter melalui kabel [10]. Sensor DHT22 beroperasi menggunakan perubahan kapasitansi pada kapasitor polimer yang terdapat pada elemen penginderaan. Kapasitas kapasitor polimer akan berubah seiring dengan perubahan kelembaban udara di sekitar sensor, sedangkan perubahan suhu mempengaruhi resistansi termistor yang terdapat pada elemen sensor.

D. SENSOR PIR HC-SR501

HC-SR501 merupakan sensor gerak PIR inframerah pasif yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan cahaya inframerah yang dipancarkan suatu benda[11]. Ketika ada pergerakan manusia atau binatang dalam jangkauan sensor, maka akan terjadi perubahan suhu. Sensor PIR dirancang untuk mendeteksi pantulan inframerah dengan panjang gelombang 8 hingga 14 mikrometer[12]. Modul sensor pada HC-SR501 terdiri dari amplifier, filter, pengatur sensitivitas dan pengaturan waktu tunda menggunakan potensiometer pada modul[16].

E. ESP32-CAM

ESP32-CAM ialah mikrokontroler dengan prosesor *dual-core* yang bertenaga serta mendukung koneksi WiFi dan Bluetooth pada modulnya. ESP32-CAM dilengkapi dengan kamera OV2640 yang mampu mengambil gambar dengan resolusi kamera 2 megapiksel dan ukuran gambar (1600x1200 piksel) sehingga memungkinkan dalam pengambilan foto atau merekam video dengan kualitas yang cukup baik. ESP32-CAM mendukung komunikasi UART yang memungkinkan komunikasi dengan perangkat eksternal melalui antarmuka serial. Ini berguna untuk mengontrol modul ESP32-CAM, mentransfer data atau debugging.

F. BUZZER

Buzzer merupakan suatu komponen elektronik yang menghasilkan gelombang suara dengan mengubah sinyal listrik. Buzzer piezoelektrik adalah jenis *buzzer* yang umumnya ditemui dan digunakan karena memiliki berbagai kelebihan. Sinyal piezoelektrik dapat menciptakan frekuensi dalam rentang 1,5 kHz hingga 100 kHz, khususnya untuk aplikasi ultrasonik[12]. Prinsip kerja *buzzer* hampir sama dengan speaker, dimana bunyinya berasal dari kumparan yang tertanam pada diafragma.

G. ARDUINO IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak dengan menggunakan bahasa pemrograman C untuk membentuk perintah pada mikrokontroler. *Software* Arduino IDE memiliki pengaturan bernama Bootloader yang bertindak sebagai penghubung *compiler* Arduino dengan mikrokontroler..

H. PLATFORM IOT THINGSBOARD

Thingsboard adalah perangkat lunak yang menghubungkan data melalui koneksi internet ke objek digital tanpa memerlukan campur tangan pengguna[14]. Thingsboard merupakan salah satu platform IoT yang mendukung penerapan *on-premise* dan *cloud* serta dapat digunakan untuk manajemen perangkat, pengumpulan data, dan visualisasi data berbasis situs web [15]. Perangkat IoT ini mendukung protokol MQTT, CoAP, dan HTTP.

I. TELEGRAM

Telegram adalah aplikasi jejaring sosial yang dapat digunakan untuk mengirim gambar atau video, dll. Telegram mendukung fitur bot yang dapat digunakan pengguna tanpa perlu mendaftarkan nomor telepon tambahan di server Telegram. Akun ini berfungsi sebagai antarmuka antara server dan kode program pada *software* Telegram.

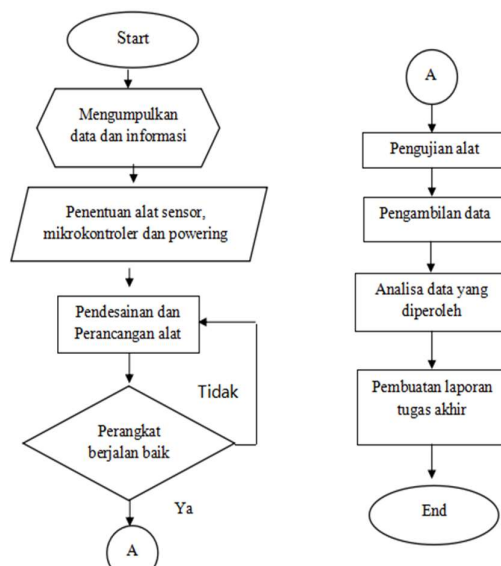
III. METODE PENELITIAN

A. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan NodeMCU ESP32, sensor PIR HC-SR501, dan sensor DHT22, ESP32-CAM, *buzzer*, baterai lithium, LED, Arduino IDE, Thingsboard dan Telegram yang merupakan perangkat keras dan perangkat lunak penelitian.

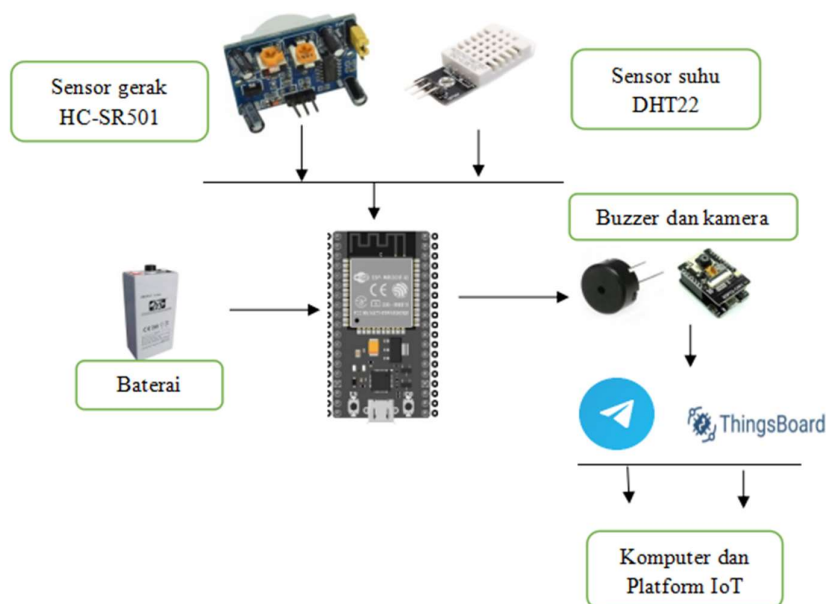
B. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem pada penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perancangan perangkat keras dengan pembuatan flowchart penelitian, perancangan alat pendeteksi, dan perancangan alur kerja sistem. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat lunak untuk platform Thingsboard IoT dan aplikasi Telegram.



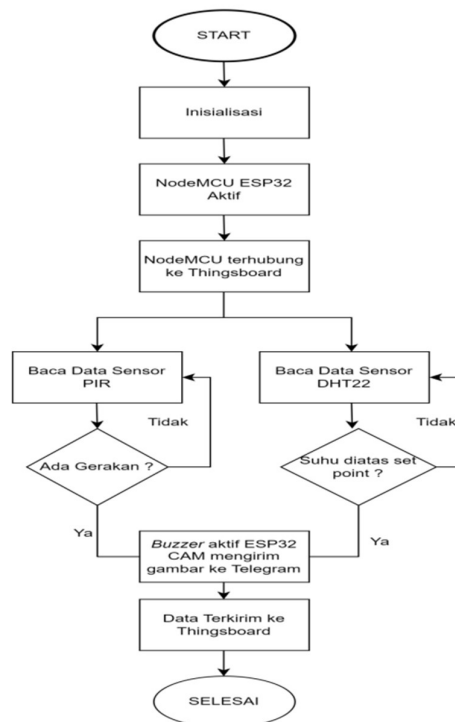
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Gambar di atas menjelaskan tahapan-tahapan penelitian yang dikerjakan untuk merancang alat pendeteksi binatang mulai dari pengumpulan data informasi berupa jenis gangguan, sensor, mikrokontroler dan daya, perancangan dan tata letak alat, alat pengujian serta uji lapangan terhadap alat deteksi.



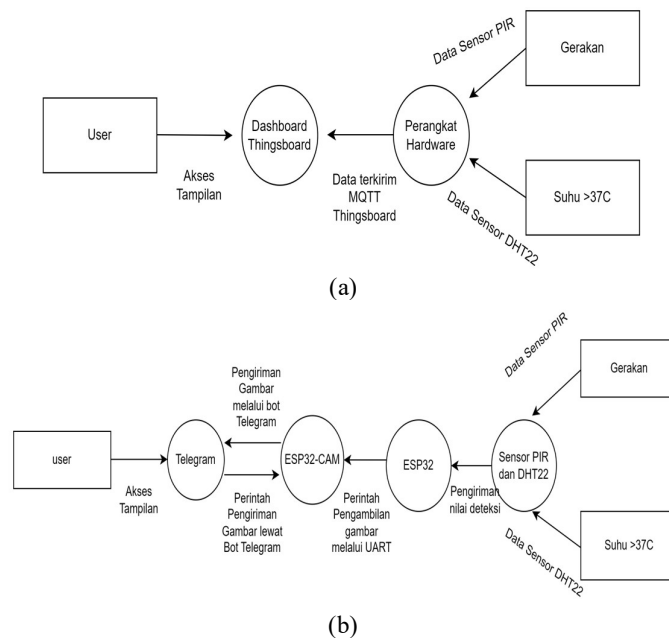
Gambar 2. Desain alat deteksi

Perancangan alat pendeteksi ini menggunakan *input* sensor PIR dan DHT22, ESP32 sebagai mikrokontroler utama dan baterai sebagai sumber listrik yang digunakan. Apabila nilai pembacaan sensor memenuhi variabel yaitu sensor PIR mendeteksi pergerakan binatang yang melintasi jaringan SUTM atau sensor DHT22 mendeteksi kelebihan suhu diatas nilai ambang batas 37°C maka keluaran akan aktif yaitu, ESP32-CAM, mengambil foto lokasi pemasangan perangkat dan *buzzer* akan aktif. Data tersebut kemudian akan dikirim ke Thingsboard dan gambar ESP32-CAM yang diambil akan dikirim ke bot Telegram.



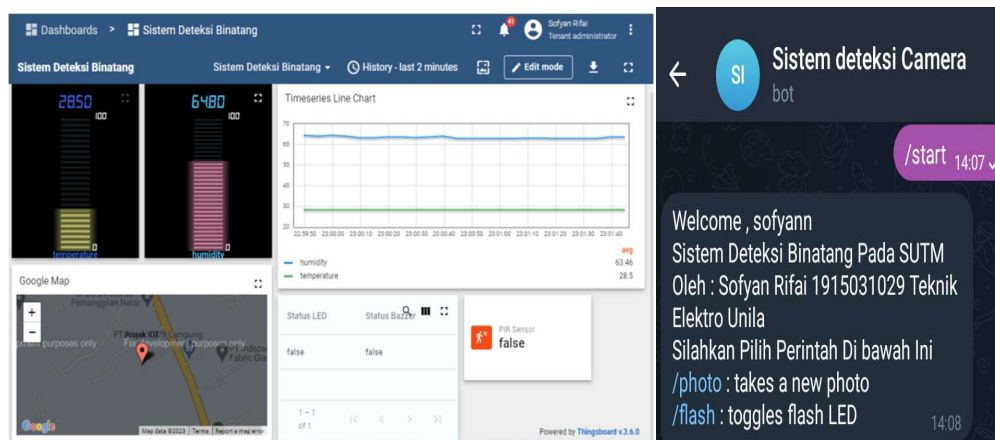
Gambar 3. Flowchart sistem

Gambar 3 menunjukkan diagram alir sistem deteksi binatang yang mencerminkan penggunaan berbagai variabel sensor. Ketika sensor PIR mendeteksi pergerakan binatang atau sensor DHT22 membaca suhu di sekitar jaringan SUTM di atas nilai set point ($>37^{\circ}\text{C}$), sistem akan mengaktifkan *output* ESP32-CAM dan frekuensi *buzzer* ultrasonik. Sensor PIR membaca kondisi sekitar secara langsung setiap interval waktu 3 detik, sementara pembacaan sensor DHT22 dilakukan setiap interval waktu 5 detik. ESP32-CAM kemudian mengambil foto dan mengirimkannya langsung ke Telegram dan *output buzzer* akan aktif selama 5 detik ketika variabel *input* terpenuhi.



Gambar 4. (a) DFD Thingsboard (b) DFD Telegram

Diagram aliran data pada Thingsboard (Gambar 4) dilakukan secara *real time* dengan setiap pembacaan sensor sehingga pengguna dapat memantau status jaringan SUTM dari jarak jauh. Sedangkan pada data flow diagram Telegram, gambar diperoleh ketika satu atau dua variabel sensor terpenuhi, kemudian sistem pada ESP32-CAM akan diaktifkan sehingga dapat mengambil foto area sekitar jaringan SUTM. Hasil Tampilan Thingsboard dan Aplikasi Telegram direpresentasikan pada Gambar 5.

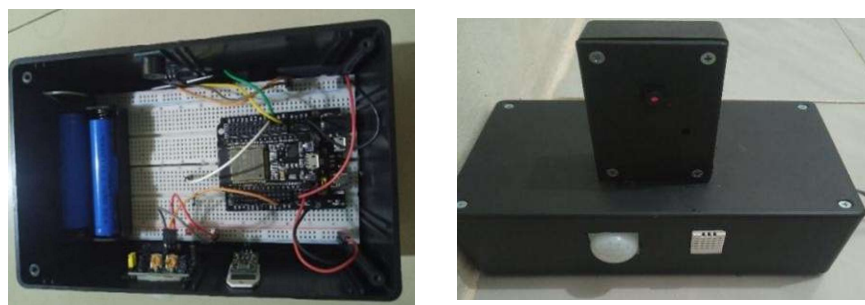


Gambar 5. Hasil tampilan Thingsboard dan aplikasi Telegram

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. HASIL PERANCANGAN ALAT

Hasil dari perancangan alat ini adalah menciptakan sistem deteksi gangguan binatang pada jaringan listrik tegangan menengah SUTM dengan basis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini terintegrasi dengan platform IoT Thingsboard dan memberikan notifikasi melalui aplikasi Telegram. Adapun rancangan alat telah terbuat pada Gambar 6.



(a)

(b)

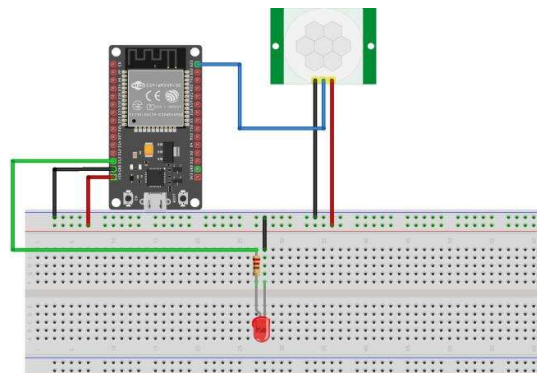
Gambar 6. Bentuk alat (a) Tampak dalam, (b) Tampak luar

B. PENGUJIAN SENSOR PIR

Sensor PIR HC-SR501 diuji melalui berbagai simulasi untuk memastikan kinerjanya yaitu pengujian waktu *setup*, pengujian penundaan, pengujian sudut pancar horizontal, dan pengujian sudut pancar vertikal.

1) PENGUJIAN SETTING TIME SENSOR PIR

Pengujian *setting time* merupakan waktu inisialisasi atau pengaturan yang diperlukan sensor untuk menangkap sinar infra merah. Sehingga diperoleh waktu yang cukup sebelum menghubungkan sensor PIR ke perangkat lain. Pengujian dilakukan dengan mengatur PIR untuk mendeteksi gerakan dan mencatat waktu nyala LED sebagai pengukur waktu *setup* atau inisiasi sensor hingga LED mati.



Gambar 7. Rangkaian uji *setting time*

Gambar 7 memperlihatkan rangkaian pengujian *setup* waktu sensor PIR, di mana pengukuran dilakukan saat sensor PIR mendeteksi pergerakan, dan sebagai hasilnya, LED akan menyala selama beberapa detik. Saat LED menyala ini, adalah waktu yang dicatat sebagai pengukuran *setting time* hingga LED *off* kembali.

TABEL I
PENGUJIAN SETTING TIME SENSOR PIR

Percobaan	Tegangan (V)	Delay (s)
1	3,28	3,2
2	3,28	3,1
3	3,28	3,2
4	3,28	3,2
5	3,28	3,2
6	3,28	3,1
7	3,28	3,3
8	3,28	3,2
9	3,28	3,2
10	3,28	3,1
rata-rata <i>delay</i> (s)		3,18

Tabel 1 menunjukkan waktu rata-rata uji coba *setting time* sensor PIR HC-SR501 dari 10 kali pengujian yaitu sebesar 3,18 detik dengan tegangan *output* saat sensor *HIGH* sebesar 3,28V. Hal tersebut sesuai dengan *datasheet* sensor yang digunakan dengan nilai antara 3 detik sampai 5 menit.

2) PENGUJIAN ON DELAY PIR

Pengujian *on delay* pada sensor PIR dilakukan dengan tujuan untuk menentukan interval waktu di mana sensor PIR tetap aktif setelah mendeteksi suatu objek, sebelum kembali ke posisi non-aktif. Proses pengujian ini melibatkan penggunaan *stopwatch* untuk mengukur lama waktu yang dibutuhkan sensor PIR saat dalam keadaan aktif dan saat kembali ke keadaan tidak aktif.

TABEL II
PENGUKURAN ON DELAY SENSOR PIR

Uji coba	Jarak (cm)	Waktu (s)
1	5	2,67
2	15	2,67
3	30	2,75
4	45	2,83
5	60	2,83
6	75	2,83
7	90	2,83
8	105	2,64
9	120	2,83
10	135	2,83
11	150	2,83
12	165	2,67
13	180	2,83
14	195	2,83
15	210	5,64
16	225	5,43
17	240	5,62
18	255	5,41
19	270	5,78
20	285	6,23
21	300	6,18
Rata-rata <i>delay</i>		3,77

Berdasarkan Tabel II nilai rata-rata *on delay* sensor PIR adalah 3,77 detik dari pengujian pada jarak 5 cm sampai 300 cm. Selain itu pada pengujian ini juga dilakukan penyesuaian sensitivitas pada jarak >200 cm karena sensor PIR mulai berkurang sensitivitasnya terhadap objek. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian potensiometer sensitivitas pada sensor PIR agar sensor tersebut dapat mendeteksi objek dengan baik pada saat kembali ke posisi non-aktif.

3) PENGUJIAN SUDUT PANCAR HORIZONTAL PIR

Sudut pancar horizontal sensor PIR merupakan sudut lebar yang mampu menangkap radiasi infra merah dari binatang bergerak dari sisi sebelah kanan/kiri dari sensor. Pengukuran sudut pancar dilakukan dengan cara meletakkan alat deteksi pada posisi tertentu

tanpa ada benda yang menghalanginya, kemudian meletakkan tikus sebagai binatang yang dideteksi dan mengukur posisi tikus pada alat sistem deteksi LED menyala dan pada saat LED mati dari posisi jarak horizontal dalam satu arah (kanan/kiri sensor).

TABEL III
PENGUJIAN SUDUT PANCAR PIR HORIZONTAL

Jarak Objek (cm)	Mean lebar deteksi (cm)	Sudut °
15	17,6	40,46
35	37	43,41
55	53,6	45,73
75	71,8	46,26
95	86,2	47,77
115	101,4	48,59
135	110,6	50,67
155	114,4	53,57
175	120	55,56
195	126,5	57,02
215	134,2	58,02
235	140,8	59,07
250	148,4	59,40

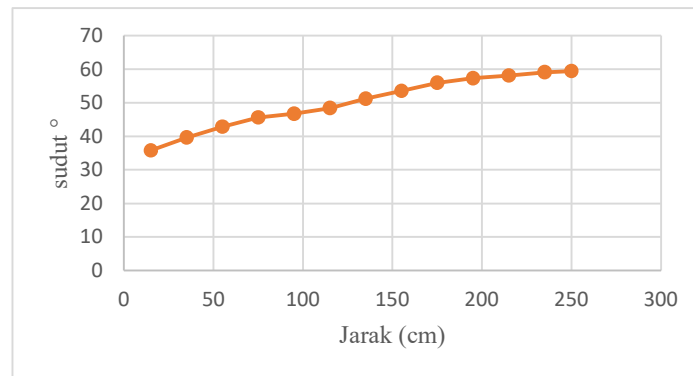
Berdasarkan Tabel III dapat diketahui besar sudut pancar horizontal PIR menggunakan persamaan Trigonometri sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{\text{Jarak objek terhadap PIR}}{\text{Jarak maksimum dideteksi PIR}} \quad (1)$$

$$\tan \theta = \frac{15}{17,6}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{15}{17,6} = 40,46^\circ$$

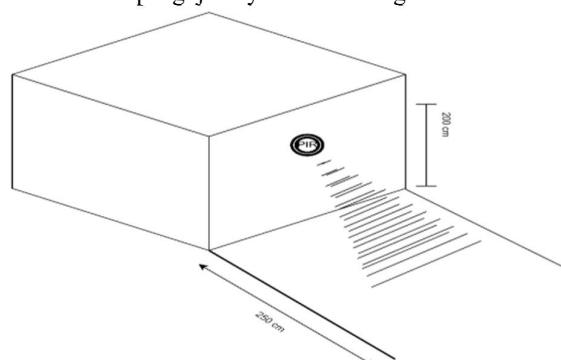
Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan sudut pancaran PIR secara horizontal, sensor PIR dapat mendeteksi pergerakan binatang pada rentang jarak 15 cm hingga 250 cm dengan sudut terbesar 59,40°. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengukuran sudut pancar horizontal

4) PENGUJIAN SUDUT PANCAR VERTIKAL PIR

Pengukuran sudut pancaran vertikal pada sensor PIR merupakan pengujian untuk menentukan sudut dimana sensor PIR dapat mendeteksi gerakan pada bidang vertikal. Skema pengujiannya adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Skema pengujian sudut pancar vertikal sensor PIR

Gambar 9 menunjukkan letak alat yang dipasang pada ketinggian 200 cm terhadap suatu benda (binatang) yang ingin dideteksi pada jarak yang bervariasi dengan jarak maksimal 250 cm pada pengujian sudut pancaran vertikal PIR. Data hasil pengujiannya seperti pada Tabel IV.

TABEL IV
SUDUT PANCAR VERTIKAL SENSOR PIR

Uji coba	Jarak Objek (cm)	LED	Sudut °
1	15	Mati	85,7
2	35	Mati	80
3	55	Mati	74,6
4	75	Mati	69,5
5	95	Menyala	63,4
6	115	Menyala	58,5
7	135	Menyala	51,3
8	155	Menyala	49,3
9	175	Menyala	48,4
10	195	Menyala	47,1
11	215	Menyala	42,4
12	235	Menyala	41,3
13	250	Menyala	38,7

Berdasarkan hasil pengujian (Tabel IV), besar sudut vertikal dapat dicari menggunakan persamaan Trigonometri sebagai berikut,

$$\tan \theta = \frac{\text{Letak Tinggi Sensor}}{\text{Jarak Objek}} \quad (2)$$

$$\tan \theta = \frac{200}{15}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{200}{15} = 85,7^\circ$$

Berdasarkan hasil pengujian dan hasil perhitungan sudut pancaran vertikal PIR, sensor PIR dapat mendeteksi pergerakan binatang pada rentang jarak 95 cm hingga 250 cm dengan ketinggian 200 cm ketika perangkat diletakkan pada objek dengan sudut deteksi maksimum 63,4°. Namun untuk jarak pengujian 5 cm hingga 75 cm, sensor PIR tidak dapat mendeteksi pergerakan binatang. Gambar 10 merupakan grafik hasil pengujian sudut pancar vertikal sensor PIR.



Gambar 10. Grafik pengukuran sudut pancar vertikal

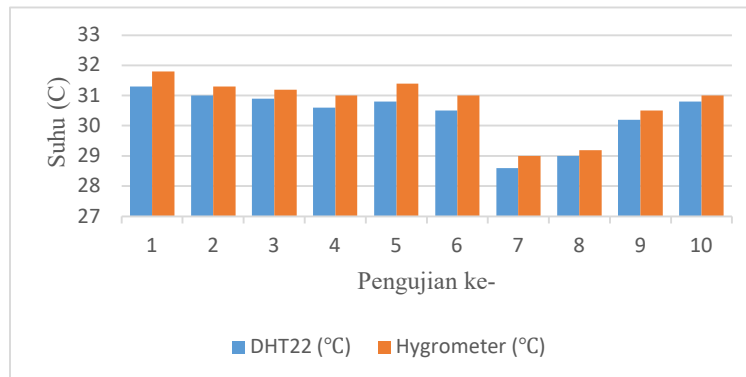
C. PENGUJIAN SENSOR DHT22

Pengujian akurasi pada sensor DHT22 memiliki tujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana ketidakakuratan atau perbedaan relatif antara nilai pengukuran yang diberikan oleh sensor DHT22 dengan nilai standar acuan sebagai referensi. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data suhu dari sensor DHT22 dengan suhu alat ukur higrometer standar. Data hasil pengujiannya pada Tabel V.

TABEL V
PENGUJIAN AKURASI SUHU SENSOR DHT22

No.	DHT22 (°C)	Hygrometer (°C)	Selisih	Error (%)
1	31,3	31,8	0,5	1,57
2	31	31,3	0,3	0,95
3	30,9	31,2	0,3	0,96
4	30,6	31	0,4	1,2
5	30,8	31,4	0,6	1,9
6	30,5	31	0,6	1,93
7	28,6	29	0,4	1,37
8	29	29,2	0,2	0,68
9	30,2	30,5	0,3	0,98
10	30,8	31	0,2	0,64
Rata-rata error				1,22

Dari hasil percobaan kalibrasi sensor DHT22 yang dilakukan pada suhu ruangan normal diperoleh rata-rata *persentase error* sebesar 1,22%. Sehingga, dapat dicari nilai akurasi pembacaan suhu sensor DHT22 terhadap alat referensi higrometer dengan *persentase* maksimal 100% dikurangi nilai *error* pengujian sensor DHT22. Jadi, nilai akurasi deteksi suhu yang diperoleh dari sensor DHT22 sebesar 98,78% dan hasil pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik pengujian suhu DHT22 dan higrometer

D. PENGUJIAN DELAY PENGAMBILAN GAMBAR ESP32-CAM

Test delay ESP32-CAM merupakan pengujian yang dilakukan untuk melihat perbedaan waktu saat sensor mencapai *set point* yaitu PIR mendeteksi gerakan atau sensor DHT22 melebihi nilai 37°C dengan waktu respon ESP32-CAM saat pengambilan gambar dengan kualitas gambar 320x240 piksel. Selain itu, pengujian ini digunakan untuk melihat nilai keterlambatan data yang dikirim ke Thingsboard dengan data yang didapat seperti Tabel VI.

TABEL VI
PENGUJIAN DELAY OUTPUT TELEGRAM DAN THINGSBOARD

PIR	DHT22 (°C)	Delay Thingsboard (s)	Delay Bot Telegram pada Provider (s)		
			Telk	Tri	Axis
Aktif	31°C	0	1,4	2,2	1,8
Aktif	31°C	0	1,5	2,1	1,6
Aktif	32°C	0	1,3	2,4	1,9
Aktif	32°C	0	1,3	2,3	1,7
	38°C	0	1,5	2,3	1,9
	38°C	0	1,5	2,5	1,8
	38°C	0	1,3	2,3	1,8
	39°C	0	1,3	2,3	2,1
Aktif	39°C	0	1,4	2,5	2,2
Aktif	39°C	0	1,4	2,5	2,1
Delay rata-rata		0	1,39	2,34	1,89

Berdasarkan hasil pengujian *delay* pengambilan gambar ESP32-CAM dan data terkirim di Thingsboard saat sensor memenuhi variabel dengan kualitas gambar 320x240 pixel. Didapatkan dari 10 kali percobaan rata-rata *delay* provider Telkomsel, Tri dan Axis berturut-turut sebesar 1,39, 2,34, dan 1,89 detik. Adapun *delay* data Thingsboard sebesar 0 detik atau *real-time*.

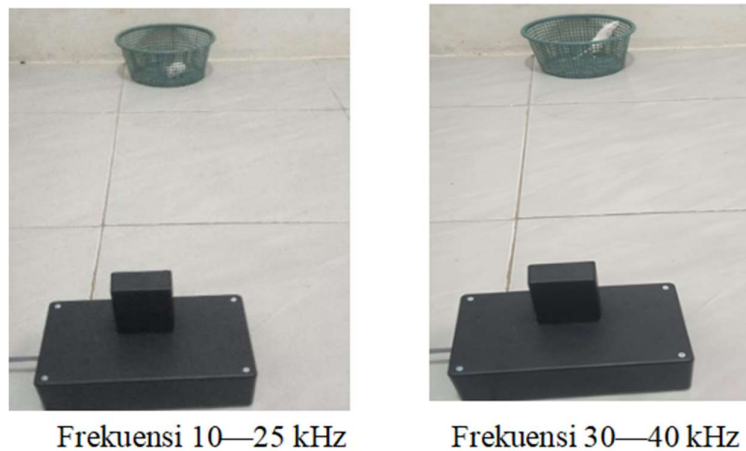
E. PENGUJIAN FREKUENSI BUZZER

Pengujian frekuensi *buzzer* merupakan suatu proses yang bertujuan untuk mencari nilai frekuensi efektif untuk mencegah adanya binatang pada jaringan listrik (SUTM) [17]. Uji frekuensi ini harus memperhatikan frekuensi pendengaran Binatang [18]. Kukang dapat mendengar frekuensi dari 22 kHz hingga 50 kHz [19]. Sedangkan tupai merupakan binatang yang mempunyai pendengaran yang baik pada rentang 50 Hz sampai 50 kHz [20]. Selanjutnya dengan mengetahui frekuensi tersebut, penelitian ini menggunakan tikus yang memiliki rentang pendengaran antara 20 dan 50 kHz [5]. Adapun uji coba yang dilakukan adalah sebagai berikut.

TABEL VII
PERCOBAAN FREKUENSI BUZZER ULTRASONIK

Uji Coba	Frekuensi Buzzer	Respon Binatang Tikus
1	10 kHz	Normal
2	15 kHz	Normal
3	20 kHz	Normal
4	25 kHz	Normal
5	30 kHz	Terganggu
6	35 kHz	Terganggu
7	40 kHz	Terganggu

Dari hasil pengujian frekuensi *buzzer* sebagai pengusir binatang pada jaringan SUTM dengan frekuensi 10 kHz sampai 25 kHz respon binatang normal. Kemudian pada saat pengujian dilakukan pada frekuensi 30 kHz hingga 40 kHz, respon binatang tersebut terganggu, seperti terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Respon binatang pada frekuensi ultrasonik

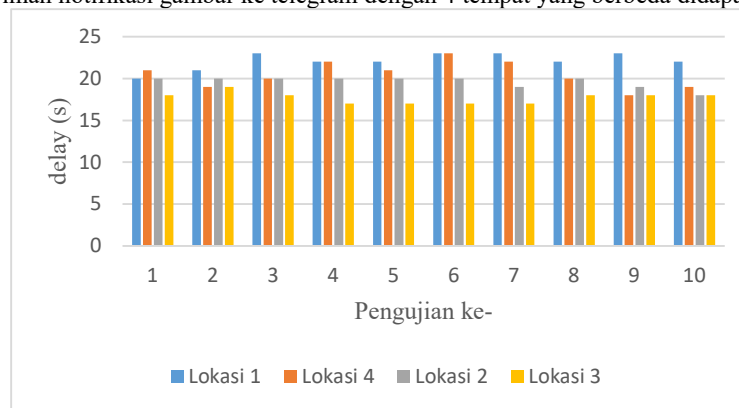
F. PENGUJIAN JARAK JAUH PENGIRIMAN GAMBAR TELEGRAM

Uji jarak pengiriman dilakukan untuk mengirimkan notifikasi dari bot Telegram dalam jarak jauh untuk memastikan perbedaan waktu pengiriman notifikasi pesan masuk ke bot Telegram di 4 titik lokasi berbeda pada *smartphone*, yang dilakukan secara bertahap dengan menguji alat yang terletak di ULP Natar. Jarak pengiriman ditunjukkan pada Tabel VIII, sebagai berikut.

TABEL VIII
LOKASI PENGIRIMAN NOTIFIKASI BOT TELEGRAM

No.	Lokasi	Jarak dari ULP Natar
1	GH NTRBR0066	3,93 km
2	Pasar Natar	1,07 km
3	SMPN 1 Natar	500 m
4	GH NTRBR0044	3,79 km

Dari hasil pengujian pengiriman notifikasi gambar ke telegram dengan 4 tempat yang berbeda didapatkan grafik pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan *delay* pengiriman gambar pada 4 lokasi berbeda

Berdasarkan hasil pengujian dari grafik pengiriman gambar ke Telegram pada empat lokasi berbeda diketahui bahwa jarak tempat pengiriman gambar mempengaruhi keterlambatan pengiriman gambar. Dimana rata-rata waktu tunda pengiriman dari terjauh ke terdekat masing-masing sebesar 22,1 detik, 20,5 detik, 19,6 detik, dan 17,7 detik.

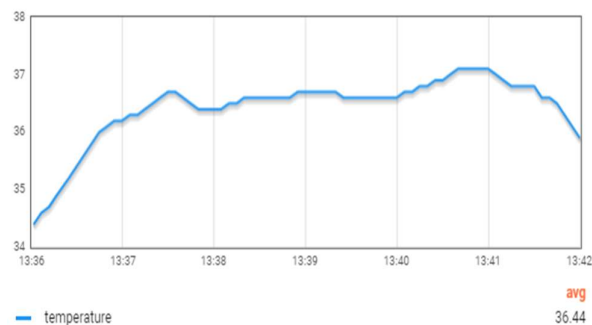
G. PENGUJIAN DI LAPANGAN

Pengujian lapangan untuk alat sistem deteksi binatang berfungsi untuk melihat kinerja kalibrasi dan program, sehingga alat dapat mendeteksi dan mencegah binatang dari jaringan SUTM. Pengujian dilakukan di 2 lokasi berbeda di Gardu Hubung *feeder* Ferrari ULP Natar. Adapun penempatan alat di jaringan SUTM terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemasangan alat deteksi

Gambar 15 merupakan hasil pembacaan alat sistem pendeteksi binatang yang menyebabkan penyaluran listrik SUTM terganggu pada saat pengujian di *feeder* Natar ULP Ferrari. Pada gambar a. adalah pembacaan sensor DHT22 yang ditampilkan pada Thingsboard dengan suhu tertinggi yang tercatat selama pengujian sebesar 36,8°C dan dengan suhu rata-rata 36,44°C. Kemudian pada Gambar b. merupakan hasil tangkapan gambar ESP32-CAM yang dikirimkan ke Telegram ketika sensor PIR mendeteksi tupai/kukang melalui jaringan SUTM. Kemudian pada Gambar c. merupakan pengambilan gambar setelah 5 detik deteksi tupai melalui jaringan SUTM. Diketahui bahwa tupai telah meninggalkan jaring SUTM karena *buzzer* ultrasonik yang dihasilkan oleh alat yang dapat menakuti binatang dan mencegah gangguan pada jaring SUTM.



(a)



(b)



(c)

Gambar 15. Pengujian Alat di Lapangan, (a) Cuplikan pembacaan suhu oleh DHT22 dari Thingsboard, (b) Deteksi sensor PIR pada jaringan SUTM dari Telegram, (c). SUTM setelah binatang terusir

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai sistem deteksi binatang penyebab gangguan listrik SUTM, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah terbangun sistem deteksi binatang penyebab gangguan pada jaringan listrik SUTM dengan *input* sensor Passive Inframerah (PIR) dan sensor suhu DHT22, menghasilkan keluaran berupa *buzzer* dengan frekuensi 30kHz hingga 40kHz sebagai pengusir binatang, dan foto modul ESP32-CAM serta terhubung menggunakan *software* Thingsboard dan Telegram yang dapat diakses dari *smartphone* dan *personal computer* (PC).
2. Sistem deteksi binatang penyebab gangguan jaringan listrik SUTM dapat mendeteksi pergerakan binatang dengan sudut deteksi hingga $\angle 63,4$ dan jarak 300 cm. Sensor DHT22 dapat memantau suhu dengan nilai akurasi suhu sebesar 98,78%. Dan rata-rata *delay* pengambilan gambar pada operator Telkomsel, Axis dan Tri masing-masing adalah 1,39 detik, 1,89 detik, dan 2,34 detik.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2020," 34th ed. Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2021. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/8f7e720211110-statistik-2020-rev03.pdf. Accessed: Oct. 30, 2022.
- [2] H Alsuwaidi and A. A. Adam, "Design and Simulation of a Seven Taps Electronic on Load Tap Changer in 11/0.4KV Distribution Transformers Using a PI Controller," in 2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), Nov. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICECTA48151.2019.8959675.
- [3] Hasanuddin, Padli T., "Analisa Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan SUTM DI PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Malino," Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 2019.
- [4] Database Gangguan Sistem Distribusi UP3 Tanjung Karang Hasil Rekon pada Tahun 2021-2022.
- [5] D. F. Ashari, L. Ruslan, dan Alimin, "Analisis Gangguan Gardu Distribusi Di PT PLN (Persero) ULP Watang Sawitto," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, Makassar, 21 September 2021.
- [6] Terwianti, S., dkk. Prototype Alat Pendeteksi dan Pengusir Tikus pada Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis Arduino Uno. Skripsi. Universitas Bengkulu, 2019.
- [7] Gunawan, R. Sistem Pendeteksi Keberadaan Hama Monyet yang Berada di Area Perkebunan Penduduk Berbasis Mikrokontroler. Skripsi. Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam. Institut Agama Islam Negeri Batusangkar, 2019.
- [8] Greeners.Co, "Kukang, Satu-satunya Primata di Dunia yang Berbisa," 2023. [Online]. Available: Greeners.Co.
- [9] Aji, A. R., and Prasetyo, A., "Pendeteksi Kehadiran menggunakan ESP32 untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, pp. 1-6, 2020.
- [10] Puspita, F., et al., "Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 Berbasis Arduino Terhadap Termohyrometer Standar," Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada, 2020.
- [11] Desmira et al., "Penerapan Sensor passive infrared (PIR) Pada Pintu Otomatis di PT LG Electronic Indonesia," *Pendidikan Teknik Elektro*, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2020.
- [12] Sekar, Khanina Rizki, and Subali, "Sistem Keamanan Rumah Otomatis Menggunakan Sensor PIR, Sensor Suhu, Sensor Gas yang terhubung dengan Telepon Seluler Berbasis Microcontroller Atmega8 dan Atmega 162 dengan Backup Daya," *Jurnal Gema Teknologi*, vol. 17, 2013.
- [13] M. Y. Eka Aditya dan H. Wibawanto, "Sistem Pengamatan Suhu dan Kelembaban Pada Rumah Berbasis Mikrokontroler ATmega8," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang*, vol. 5, no. 1, 2013.
- [14] R. Saputro and H. Suhendi, "Sistem Monitoring dan Automatic Feeding Hewan Peliharaan Menggunakan Android Berbasis Internet of Things," *E- Prosiding Teknik Informatika (PROTEKTIF)*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, Juni 2021.
- [15] A. Farhan, "Internet of Things: Sejarah Teknologi dan Penerapannya," Bandung, Jurusan Teknik Informatika, Institut Teknologi Nasional Bandung, 2019.
- [16] Laksana, K., et al., "Sistem Keamanan Ksatria Dengan Sensor PIR Menggunakan Metode Cluster Based," *Prodi Teknik Elektro*, Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang, 2017.
- [17] Ardiansyah, "Perancangan Alat Pendeteksi Hewan Pengganggu Tanaman Kebun Menggunakan Sensor Gerak PIR (Passive InfraRed) Berbasis Mikrokontroler," Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alaudin Makassar, 2019.
- [18] J. F. Hare and B. A. Atkins, "The squirrel's distress call: A unique Ultrasonic Vocalization," *Animal Behaviour*, vol. 61, no. 4, pp. 713-719, 2021.
- [19] Kukangku, "Wow, Kukang Dapat Mendengar Suara Ultrasonik," [Online]. Available: [Kukangku]. Accessed: Sep. 27, 2021.
- [20] T. G. Leighton, "Whats is Ultrasound ?," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 111, no. 2-3, pp. 92-114, 2016. [Online]. Available: ScienceDirect.

Sistem Kendali Proportional Integral Derivative (PID) Menggunakan Mikrokontroler Arduino Pada Thinkercad

Ririn Solekha¹, Ulinnuha Latifa²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang; email: 2010631160026@student.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 10 Januari 2024, Direvisi: 16 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Ririn Solekha

INTISARI — Dalam sebuah percobaan simulasi sistem kendali yaitu dengan melakukan percobaan pengendalian posisi Motor DC menggunakan PID (Proportional Integral Derivative) pada website Thinkercad dimana dilakukan simulasi menggunakan komponen arduino uno R3 sebagai mikrokontroler sistemnya (otak sistem) kemudian Motor Driver (IC L293D) untuk menggerakkan motor DC dan Motor DC with Encoder memberikan umpan balik posisi untuk memungkinkan pengendalian yang akurat. Selain itu, untuk mendapatkan respon sistem yang baik dalam percobaan ini maka diperlukan pemilihan parameter nilai Kp (Konstanta Proportional), Ki (Konstanta Integral) dan Kd (Konstanta Derivative) yang tepat karena nilai Kp dapat mengontrol respon transient yang dihasilkan sistem, kemudian nilai Ki dapat mengontrol sejauh mana sistem menanggapi kesalahan steady state dan nilai Kd dapat mengontrol sejauh mana sistem merespons perubahan cepat dalam variabel masukan yang juga dapat mengurangi osilasi. Selanjutnya serial monitor yang dihasilkan dari run simulation pada matlab diambil 200 sample untuk kemudian di export ke matlab untuk mengetahui nilai rise time dan *settling* dari nilai Kp, Ki, Kd yang telah disimulasikan. Adapun percobaan ini dikatakan sebagai sistem embedded dikarenakan telah melakukan percobaan yang mencakup penggunaan perangkat keras dan perangkat lunak yaitu kombinasi perangkat keras (mikrokontroler, motor driver, dan motor DC dengan encoder) dan perangkat lunak (algoritma PID) yang terintegrasi dalam suatu sistem.

KATA KUNCI — Arduino, PID, Sistem Embedded, Thinkercad

I. PENDAHULUAN

Dalam era perkembangan teknologi yang dinamis, sistem kendali otomatis telah menjadi elemen tak terpisahkan dalam beragam bidang, seperti industri manufaktur dan teknologi kendaraan canggih. Salah satu pendekatan paling terkenal dan efektif dalam mengontrol respon suatu sistem terhadap perubahan input adalah sistem kendali PID (Proportional Integral Derivative). Sistem kendali PID merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam bidang kontrol otomatis. Metode PID memiliki kemampuan untuk menjaga sistem pada setpoint yang diinginkan dengan mengontrol variabel keluaran berdasarkan perbedaan antara setpoint dan variabel masukan [1].

Penggunaan sistem kendali PID tidak terbatas pada industri semata, namun juga merambah ke berbagai sektor kehidupan sehari-hari, seperti sistem pemanas, kendaraan otomatis, dan bahkan aplikasi dalam bidang kedokteran [2]. Penggunaan teknologi mikrokontroler, seperti Arduino, menjadi solusi yang terjangkau dan mudah diakses bagi para pengembang untuk mempelajari dan menerapkan kontrol otomatis. Namun, dalam pengaplikasiannya, pengaturan parameter PID yang tepat dan pemahaman mendalam mengenai respons sistem terhadap parameter-parameter ini merupakan tantangan tersendiri [3]. Oleh karena itu, penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam pemahaman lebih lanjut tentang penyetelan parameter PID dan evaluasi kinerjanya dalam simulasi.

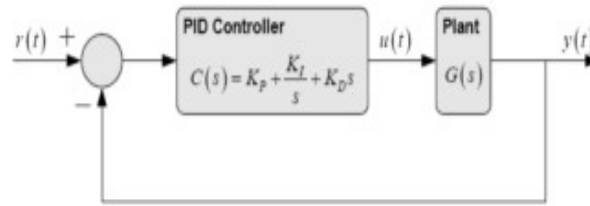
Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan sistem kendali PID dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dalam lingkungan simulasi Thinkercad. Arduino telah menjadi platform yang diminati dalam pengembangan prototipe sistem elektronik dan kendali otomatis. Penggunaan lingkungan simulasi Thinkercad memungkinkan peneliti untuk mempelajari, merancang dan menguji kinerja sistem kendali PID tanpa memerlukan perangkat keras fisik, memfasilitasi eksperimen yang efisien dan efektif [4][5].

Penelitian ini akan menelaah konsep dasar dari kontrol PID dan menerapkannya dalam lingkungan simulasi Thinkercad dengan menggunakan Arduino sebagai kontroler. Fokus analisis akan ditujukan pada respons sistem terhadap perubahan input, stabilitas sistem, serta evaluasi kinerja implementasi kontroler PID dalam berbagai skenario simulasi. Diharapkan melalui penelitian ini, akan terbentuk pemahaman yang lebih mendalam mengenai penerapan sistem kendali PID dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dalam lingkungan simulasi, yang dapat menjadi dasar bagi pengembangan teknologi yang lebih lanjut dalam aplikasi di dunia nyata.

II. STUDI PUSTAKA

A. KONTROL PID DALAM PEMROGRAMAN

Sistem kendali PID pada rangkaian close-loop secara sederhana diperlihatkan pada gambar 1 yang mana pada rangkaian tersusun sebuah plant dengan kontrol PID yang melakukan kalkulasi kepada error luaran system. Respon yang diinginkan harus memiliki settling time minimum dengan sedikit atau tanpa overshoot dari respon step sistem loop [6].



Gambar 1. Rangkaian system close-loop sederhana dengan kontroler PID

PID Controller sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (Proportional) Controller, D (Derivative) Controller, dan I (Integral) Controller [7]. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, hal ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Dalam implementasinya di dunia program, persamaan matematis pada tiap komponen control PID perlu diubah kedalam Bahasa yang dimengerti oleh sistem. Sistem computer berjalan secara diskrit, maka dari itu perlu dilakukan konfigurasi pada metode control PID melalui pendekatan matematis seperti pada Tabel I.

TABEL I

PERBANDINGAN PERSAMAAN MATEMATIS DENGAN PERSAMAAN PROGRAM PID

Metode/kontroler	Proporsional	Integrator	Derivative
Matematis	$K_p \times e$	$K_i \int e dt$	$K_d \frac{de}{dt}$
Program	$K_p \times e$	$K_i \times \left(\sum e \times dt \right)$	$K_d \times \frac{e' - e}{dt}$

B. MIKROKONTROLER ARDUINO UNO

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Uno memiliki 14 pin I/O digital (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator keramik 16MHz, konektor USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Uno dibangun berdasarkan apa yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, sumber daya bisa menggunakan power USB (jika terhubung ke komputer dengan kabel USB) dan juga dengan adaptor atau baterai. Arduino Uno berbeda dari semua papan sebelumnya karena tidak menggunakan chip driver FTDI USBto serial. Di sisi lain, Atmega16U2 (Atmega8U2 hingga versi R2) diprogram sebagai konverter USB ke serial. Uno revisi 2 memiliki resistensi yang menarik HWB 8U2 ke ground, membuat mode DFU lebih mudah digunakan [8].



Gambar 2. Arduino uno

Namun, tidak semua pin Arduino dapat digunakan untuk memproses sinyal analog. Board Arduino Uno memiliki 6 pin analog dari A0 sampai A5. Huruf A di awal nama pin Arduino menunjukkan bahwa pin tersebut dapat digunakan untuk memproses sinyal analog. Pemetaan digital yang tepat dari nilai sinyal analog tergantung pada resolusi ADC. Semakin tinggi resolusi ADC, semakin dekat dengan nilai analog sinyal. Resolusi ADC board Arduino Uno adalah 10 bit. Ini berarti dapat mewakili hingga 1024 level analog diskrit. Beberapa jenis mikrokontroler lain memiliki resolusi 8-bit, 256 level analog diskrit, dan beberapa memiliki resolusi 16-bit dan 65536 level analog diskrit.

C. MOTOR DC

Motor DC memiliki dua bagian penting. Bagian pertama adalah stator yang tidak berputar dan bagian kedua adalah rotor yang berputar. Poros ditempatkan pada rotor ini. Benda yang berputar (seperti puli sabuk) dapat dipasang pada ujung poros.



Gambar 3. Motor DC

D. PULSE WIDTH MODULATION (PWM)

Pulse Width Modulation atau yang biasa disingkat PWM merupakan bentuk modulasi sinyal yang mengatur lebar durasi sinyal pada satu sisinya. PWM digunakan pada tegangan DC untuk mengatur durasi pada tegangan aktif (tegangan puncak) dan tegangan non-aktif (tegangan nol) yang perbandingan tegangan aktif dan non-aktifnya pada suatu periode disebut sebagai Duty Cycle [9]. Dalam mikrokontroler, sinyal PWM beroperasi pada frekuensi rendah dari 500 Hz hingga 2 KHz. Pada board Arduino, pin yang dapat digunakan untuk PWM adalah pin yang ditandai dengan tilde (~): pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Pin ini adalah pin yang digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM.



Gambar 4. Sinyal PWM

E. THINKERCAD

TinkerCAD adalah layanan online gratis untuk membuat bentuk 3D dasar dan mengembangkan prototipe digital komponen elektronik. Prototipe ini termasuk sirkuit dasar dengan lampu LED, buzzer, sakelar, dan bahkan sensor cahaya.



Gambar 5. Halaman Dashboard Thinkercad

Prototipe ini dapat menyertakan mikroprosesor sebagai bagian dari desain. Mikroprosesor adalah bentuk komputer paling sederhana yang dapat diprogram. Mereka dapat diprogram untuk memanipulasi komponen elektronik seperti lampu LED dan buzzer. Mikroprosesor dapat diprogram untuk mengumpulkan informasi dari sensor dan menginterpretasikan informasi tersebut. Mereka digunakan di berbagai perangkat di sekitar kita. Mereka ada di microwave, lemari es, mobil, komputer, dan banyak perangkat elektronik lainnya [10].

Proses yang digunakan dalam TinkerCAD sering digunakan untuk pembuatan prototipe cepat. Prototyping adalah proses di mana kita dapat mengembangkan komponen dengan cara yang fleksibel daripada yang dapat dengan cepat diperbarui dan dimodifikasi untuk menguji berbagai opsi saat mengembangkan proyek atau produk. Kami akan menggunakan proses pembuatan prototipe ini untuk mempelajari cara membuat rangkaian elektronik dasar. Tinkercad terintegrasi dengan layanan Media Sosial seperti Facebook. Ini juga Terintegrasi dengan layanan seperti Microsoft dan Google. Siswa dapat menggunakan akun distrik mereka untuk masuk ke Tinkercad jika distrik Anda menggunakan akun direktori aktif dengan Google atau Microsoft. Sebuah

proyek dapat dibuat dan dibuka. Sebuah proyek mencakup berbagai komponen elektronik. Komponen elektronik termasuk LED, tombol, resistor, dan sumber daya. Komponen yang dapat kita gunakan ditampilkan dalam panel di bagian bawah halaman.

III. METODE PENELITIAN

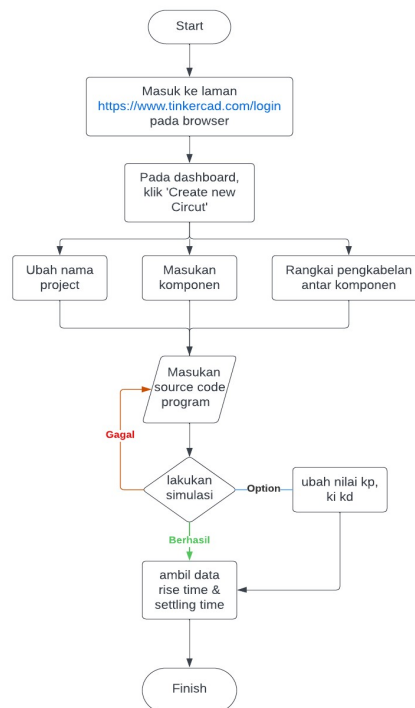
Pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif yaitu dengan melakukan pengujian atau simulasi rangkaian menggunakan perangkat lunak atau software. Adapun software yang digunakan yaitu Thinkercad dalam menjalankan simulasi PID yang diintegrasikan dengan arduino uno R3 kemudian data yang didapatkan pada simulasi tersebut digunakan pada software Matlab untuk melakukan percobaan dalam mengetahui nilai *rise time* (T_r) dan *settling time* (T_s) untuk mengetahui kestabilan pada sistem kendali tersebut [11]. Adapun alat dan bahan yang digunakan beserta langkah percobaannya yaitu sebagai berikut.

A. ALAT DAN BAHAN YANG DIGUNAKAN

- Komputer atau laptop
- Jaringan Internet
- Thinkercad dan Matlab
- Arduino Uno R3, Motor Driver IC L293D, dan Motor DC with Encoder
- Buku catatan dan Alat tulis

B. LANGKAH PERCOBAAN

Adapun langkah-langkah dalam percobaan atau simulasi dapat dilihat pada flowchart dibawah ini.



Gambar 6. Flowchart Langkah Percobaan

Gambar 6 merupakan alur dari langkah percobaan pada pengendalian posisi dengan PID menggunakan Thinkercad dimulai dengan menyusun rangkaian dengan menghubungkan komponen satu dengan komponen lain, lalu memasukan source code program untuk dilakukan simulasi. Apabila simulasi berhasil maka ambil data tersebut dengan mengubah nilai k_p , k_i dan k_d yang selanjutnya akan di integrasi dengan matlab untuk mengetahui kestabilan pada rangkaian sistem kendali tersebut.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mengikuti langkah-langkah percobaan maka didapatkan hasil sebagai berikut.

A. SIMULASI PADA THINKERCAD

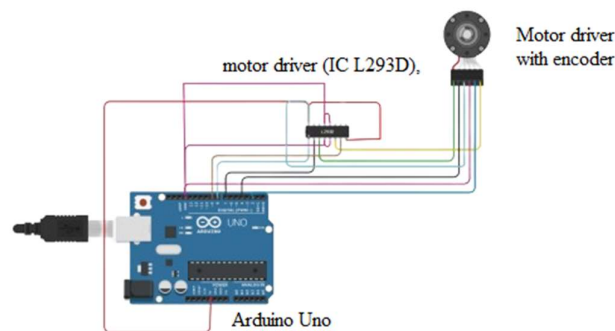
Pada percobaan ini dengan menggunakan Thinkercad melakukan simulasi Pengendali posisi motor DC dengan PID, yang menggunakan tiga komponen yaitu Arduino Uno R3, Motor Driver (IC L293D) dan Motor DC dengan Encoder. Kemudian merangkai komponen antar satu dengan yang lain sesuai ketentuan pengkabelan atau koneksi antar komponen yaitu sebagai berikut :

TABEL II

KENTENTUAN PENGKABELAN ANTAR KOMPONEN

Motor Driver (IC L293D) > Motor DC dengan Encoder	
Output 1	Motor Positive
Power 1	Encoder Power
Output 2	Motor Negative
Motor Driver (IC L293D) > Arduino Uno R3	
Enable 1 & 2	D8
Input 1	D7
Input 2	D9
Ground	GND
Power 1 & 2	5V
Motor DC dengan Encoder > Arduino Uno R3	
Encoder Ground	GND
Channel A	D2
Channel B	D4

Setelah Mengikuti alur pengkabelan seperti tabel diatas dengan menghubungkan pin pada komponen satu dengan yang lainnya, didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 7. Hasil Rangkaian pada Thinkercad

Dalam percobaan pengendalian posisi motor DC menggunakan PID pada Thinkercad, digunakan komponen-komponen seperti Arduino, motor driver (IC L293D), dan motor DC dengan encoder karena masing-masing memiliki peran penting dalam implementasi dan pengendalian sistem. Arduino adalah mikrokontroler yang berfungsi sebagai otak atau pusat kendali dalam sistem. Arduino mengambil input dari sensor (encoder) dan menghasilkan output yang dikirim ke motor driver untuk mengendalikan motor DC. Arduino juga menjalankan algoritma PID untuk menghitung sinyal kontrol yang diperlukan [12][13].

Sedangkan Motor driver bertanggung jawab untuk mengontrol arah dan kecepatan motor DC. Motor driver menerima sinyal kontrol dari Arduino dan menggerakkan motor DC sesuai dengan instruksi yang diberikan. sehingga didapatkan implementasi PID untuk menghasilkan sinyal kontrol yang dapat mengatur posisi motor DC dengan akurat. Kemudian Motor DC dengan encoder digunakan untuk memberikan umpan balik posisi motor [14][15]. Encoder adalah sensor yang terpasang pada poros motor dan menghasilkan sinyal yang berkaitan dengan putaran dan pergerakan motor [16][17]. Dengan menggunakan encoder, maka akan mendapatkan informasi real-time tentang posisi aktual motor. Sehingga ini menjadi penting dalam implementasi PID karena memungkinkan sistem untuk membandingkan posisi aktual dengan posisi yang diinginkan (setpoint) dan menghasilkan sinyal kontrol yang sesuai untuk mengurangi kesalahan posisi.

Dengan menggunakan kombinasi Arduino, motor driver (IC L293D), dan motor DC dengan encoder, penulis dapat mengimplementasikan sistem kendali PID yang efektif dalam mengendalikan posisi motor DC. Arduino bertindak sebagai otak sistem, motor driver menggerakkan motor DC, dan encoder memberikan umpan balik posisi untuk memungkinkan pengendalian yang akurat. Kemudian memprogram arduino dengan memasukkan source code program seperti dibawah ini :

```

32 void doEncoderA()
33 {
34   digitalWrite(encoderPinB) ? encoderPos-- : encoderPos++;
35 }
36
37 void setup()
38 {
39   //Setup interrupt
40   pinMode(encoderPinA, INPUT_PULLUP);
41   pinMode(encoderPinB, INPUT_PULLUP);
42   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoderPinA),
43     doEncoderA, RISING);
44
45   //Setup Motor Driver
46   pinMode(motorDirPin, OUTPUT);
47   pinMode(enablePin, OUTPUT);
48   digitalWrite(enablePin, HIGH);
49   prevErr = 0;
50
51   Serial.begin(9600);
52 }
53
54 void loop()
55 {
56   error = targetPos - encoderPos;
57   proporsional = Kp*error;
58   integrator += integrator * dt;
59   derivative = (error+prevErr)/dt;
60   control = proporsional + Ki*integrator + Kd*derivative;
61   speed = min(max(control, -255), 255);

```

```

1 //Arah Rotasi Motor
2 #define CW 0 //arah rotasi searah jarum jam
3 #define CCW 1 //arah gerak berlawanan arah jarum jam
4
5 //Pin Kontrol Motor
6 #define motorDirPin 7
7 #define motorPWMPin 9
8 #define enablePin 8
9
10 //Pin Motor Encoder
11 #define encoderPinA 2 //Pin encoder channel A
12 #define encoderPinB 4 //Pin encoder channel B
13
14 //Posisi encoder var
15 int encoderPos = 0;
16
17 //Kontrol PID
18 float Kp = 10;
19 float Ki = 30;
20 float Kd = 40;
21 float dt = 0.01;
22 float integrator = 0;
23 float prevErr;
24 float proporsional;
25 float derivative;
26 int targetPos = 100;
27 int error;
28 int control;
29 int speed;
30
Serial Monitor

```

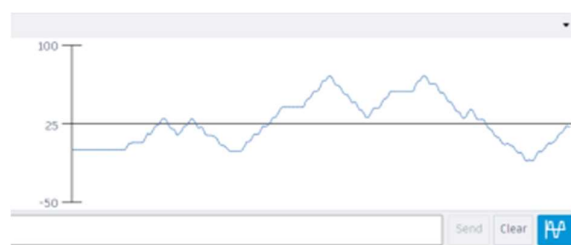
```

62   if (speed >= 0)
63   {
64     digitalWrite(motorDirPin, CW);
65     analogWrite(motorPWMPin, speed);
66   }
67
68   control = proporsional + Ki*integrator + Kd*derivative;
69
70   speed = min(max(control, -255), 255);
71
72   if (speed >= 0)
73   {
74     digitalWrite(motorDirPin, CW);
75     analogWrite(motorPWMPin, speed);
76   }
77
78   else
79   {
80     digitalWrite(motorDirPin, CCW);
81     analogWrite(motorPWMPin, 255+speed);
82   }
83
84   prevErr = error;
85
86   Serial Monitor

```

Gambar 8. Source code program

Kemudian melakukan *run simulation* untuk melihat hasil sinyal pada serial monitor.



Gambar 9. Grafik Hasil Simulasi

Dikarenakan hasil sinyal tersebut masih dikatakan belum mendapatkan respon sistem terbaik sehingga, penulis melakukan beberapa percobaan dengan mengubah nilai k_p , k_i , k_d pada source code nya untuk memperoleh respon sistem yang menurut penulis terbaik karena Nilai K_p , K_i , dan K_d dalam kendali PID memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respons sistem. Perubahan nilai-nilai ini dapat mempengaruhi kinerja dan karakteristik sistem secara keseluruhan. Berikut adalah pengaruh nilai K_p , K_i , dan K_d dalam kendali PID:

1) K_P (GAIN PROPORSIONAL)

- Nilai K_p mengontrol sejauh mana respons sistem terhadap perbedaan antara setpoint dan variabel masukan.
- Semakin besar nilai K_p , semakin cepat sistem akan merespons perbedaan tersebut.
- Namun, jika nilai K_p terlalu besar, sistem dapat menjadi tidak stabil dan mengalami osilasi atau overshoot yang berlebihan.

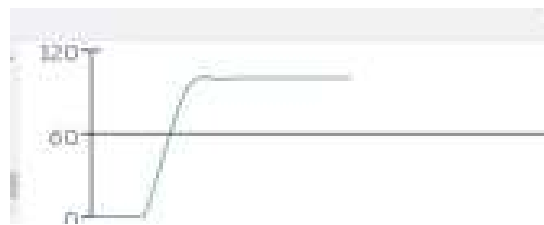
2) KI (GAIN INTEGRAL)

- Nilai Ki mengontrol sejauh mana sistem menanggapi kesalahan steady-state.
- Dengan nilai Ki yang lebih besar, sistem memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghilangkan kesalahan steady-state.
- Namun, jika nilai Ki terlalu besar, sistem dapat menjadi terlalu responsif dan menyebabkan osilasi atau overshoot yang tidak diinginkan.

3) KD (GAIN DERIVATIF)

- Nilai Kd mengontrol sejauh mana sistem merespons perubahan cepat dalam variabel masukan.
- Dengan nilai Kd yang lebih besar, sistem dapat merespons perubahan dengan lebih cepat dan mengurangi osilasi.
- Namun, penggunaan Kd yang terlalu besar dapat menyebabkan sistem menjadi responsif terhadap noise atau gangguan, dan menyebabkan perubahan yang tidak stabil.

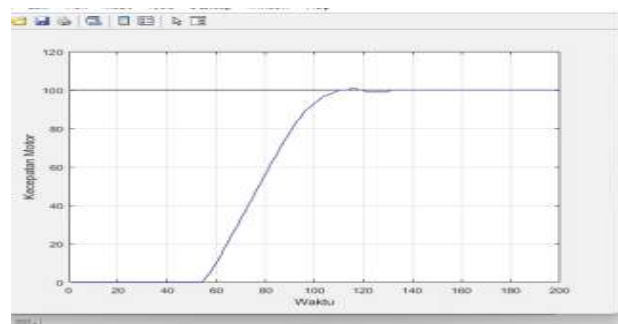
Oleh karena itu penulis memilih parameter nilai $k_p = 5$; $k_i = 0.4$; $k_d = 0,1$ dengan alasan nilai k_p yang besar (5) supaya sistem dapat merespons perbedaan antara setpoint dan variabel masukan dengan cepat, kemudian nilai Ki yang relatif kecil (0.4) dapat memberikan penyesuaian yang cukup untuk mengatasi kesalahan steady-state tanpa risiko terjadinya osilasi yang signifikan dan Nilai Kd yang relatif kecil (0.1) dapat membantu mengurangi osilasi yang berlebihan dan mempertahankan respons yang stabil. Adapun hasil simulasinya dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Simulasi Pada Thinkercad

B. SIMULASI PADA MATLAB

Kemudian nilai yang terdapat di serial monitor yang telah mencapai 200 sampel terlebih dahulu di *copy-paste* ke excel untuk selanjutnya dirapihkan dan di export ke matlab serta dengan mencantumkan syntax untuk memperoleh nilai rise time dan settling time nya, maka didapatkan hasil sebagai berikut



Gambar 11. Grafik Hasil Export ke Matlab

Sehingga untuk nilai $k_p = 5$; $k_i = 0.4$; $k_d = 0,1$ didapatkan nilai rise time (T_r) = 37 s dan settling time (T_s) = 106 s yang menurut penulis percobaan ini adalah percobaan dengan respon sistem terbaik. Rise Time (T_r) adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai sekitar 90-95% dari nilai setpoint setelah terjadi perubahan input. Semakin kecil T_r , semakin cepat sistem merespons perubahan dan semakin baik responsnya. Dalam percobaan ini, dengan $T_r = 37$, respons sistem tergolong cepat. Settling Time (T_s) adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai yang stabil dan berada dalam toleransi tertentu dari setpoint. Semakin kecil T_s , semakin cepat sistem mencapai kestabilan. Dalam percobaan ini, dengan $T_s = 106$ respon sistem dikatakan cepat jika dibandingkan dengan percobaan lainnya yang penulis lakukan.

Selain itu, percobaan pengendalian posisi motor DC menggunakan PID pada Thinkercad, termasuk dalam kategori sistem embedded. Sistem embedded merujuk pada kombinasi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang terintegrasi dalam suatu sistem tertentu. Dalam percobaan ini, komponen perangkat keras seperti mikrokontroler Arduino, motor driver (IC L293D), dan motor DC dengan encoder digunakan untuk mengendalikan motor DC. Mikrokontroler Arduino bertindak

sebagai otak atau pusat kendali sistem, sementara motor driver dan motor DC dengan encoder berperan dalam menggerakkan motor dan memberikan umpan balik posisi [18][19].

Dalam pengendalian PID, algoritma PID juga diimplementasikan dalam perangkat lunak pada mikrokontroler Arduino. Algoritma ini mengambil input dari sensor (misalnya, encoder) dan menghasilkan output yang dikirim ke motor driver untuk mengendalikan motor DC. Secara keseluruhan, percobaan pengendalian posisi motor DC menggunakan PID pada Thinkercad memanfaatkan kombinasi perangkat keras (mikrokontroler, motor driver, dan motor DC dengan encoder) dan perangkat lunak (algoritma PID) yang terintegrasi dalam suatu sistem yang dapat dikategorikan sebagai sistem embedded [20].

V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan bahwa Kombinasi Arduino, motor driver (IC L293D), dan motor DC dengan encoder, penulis dapat mengimplementasikan sistem kendali PID yang efektif dalam mengendalikan posisi motor DC. Arduino bertindak sebagai otak sistem, motor driver menggerakkan motor DC, dan encoder memberikan umpan balik posisi untuk memungkinkan pengendalian yang akurat. Kemudian nilai K_p , K_i dan K_d akan mempengaruhi respon sistem yang disimulasikan karena Nilai K_p mengontrol sejauh mana respons sistem terhadap perbedaan antara setpoint dan variabel masukan, Nilai K_i mengontrol sejauh mana sistem menanggapi kesalahan steady-state. Dan Nilai K_d mengontrol sejauh mana sistem merespons perubahan cepat dalam variabel masukan.

Pada percobaan ini penulis memilih nilai $k_p = 5$; $k_i = 0.4$; dan $k_d = 0.1$ yang memperoleh nilai Rise time (T_r) = 37 dan Nilai Settling time (T_s) = 106 yang menurut penulis memperoleh respon sistem terbaik. Serta percobaan pengendalian posisi motor DC menggunakan PID pada Thinkercad memanfaatkan kombinasi perangkat keras (mikrokontroler, motor driver, dan motor DC dengan encoder) dan perangkat lunak (algoritma PID) yang terintegrasi dalam suatu sistem yang dapat dikategorikan sebagai sistem embedded.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan.

REFERENSI

- [1] I. Setiawan, E. A. Nugroho, N. R. Wibowo, T. R. Mekatronika, and P. E. Indorama, "SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR UNIVERSAL," vol. 3, no. 1, pp. 22–29, 2023.
- [2] S. Muharom, I. Masfufiah, R. A. Firmansyah, A. Hamid, and S. Utomo, "Implementasi Kontrol Suhu Menggunakan Metode PID pada Aplikasi Inkubator Infant Warmers," vol. 4, pp. 55–59, 2021.
- [3] C. N. Hamdani, A. Azizy, R. Heru, and H. Kurniadi, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE SISTEM KONTROL BERTINGKAT MENGGUNAKAN FUZZY-PID BERBASIS ARDUINO," no. 3, pp. 98–105, 2022.
- [4] A. M. A. Arif and R. Istiamo, "Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning," vol. 9, no. 2, pp. 374–388, 2021.
- [5] A. Ma, R. D. Puriyanto, and F. T. Hasan, "Robot Keseimbangan Dengan Kendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID) dan Kalman Filter," vol. 4, no. 2, pp. 117–127, 2020.
- [6] P. Baseada, E. M. Arduino, and P. Aprendizado, "ARDUINO BASED PLATFORM FOR PROCESS CONTROL LEARNING," vol. 06, pp. 585–593, 2020, doi: 10.18540/jcecv16iss5pp0585-0593.
- [7] F. Isdaryani, M. Fadhilah, and V. Hesya, "Sintesis Kendali PID Digital dengan Diskritisasi Langsung dan Backward Difference," vol. 9, no. 2, pp. 467–481, 2021.
- [8] D. Sonny and R. Dwi, "Implementation of DC Motor PID Control on Conveyor for Separating Potato Seeds by Weight," vol. 1, no. 1, pp. 15–26, 2021.
- [9] A. Budianto, W. S. Pambudi, S. Sumari, and A. Yulianto, "PID Control Design for Biofuel Furnace using Arduino," vol. 16, no. 6, pp. 3016–3023, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i6.9770.
- [10] H. M. Asraf, K. A. N. Dalila, A. W. M. Hakim, and R. H. M. F. Hon, "Development of Experimental Simulator via Arduino-based PID Temperature Control System using LabVIEW," vol. 9, no. 1, pp. 53–57, 2020.
- [11] M. D. Ardiansyah, F. Rohman, T. O. Politeknik, and N. Malang, "IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC 1 kW MENGGUNAKAN ALGORITMA PID," pp. 81–93, 2021.
- [12] T. Pujiati, "Penerapan Kontroler PID pada Sistem Kendali Level Cairan dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino," vol. 2, no. 1, pp. 55–60, 2021.
- [13] M. Lamatenggo and Z. Acc, "Perancangan Balancing Robot Beroda Dua Dengan Metode Pengendali PID Berbasis Arduino Nano," vol. 2, pp. 39–43, 2020.
- [14] R. F. Anugrah, "Kontrol Motor Brushless DC Menggunakan Six Step Comutation dengan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative)," vol. 7, no. 2, 2020.
- [15] W. Mahardika and P. Wiratama, "KOMPARASI KESTABILAN POSISI PANEL SURYA MENGGUNAKAN PENGENDALI PID (PROPORTIONAL, INTEGRAL DAN DERIVATIVE) DENGAN FLC (FUZZY LOGIC CONTROL)," vol. 14, no. 1, pp. 77–88, 2023.
- [16] N. D. Khotimah and M. Rifa, "Desain Sistem Kontrol Kecepatan Motor menggunakan Kendali PID pada Solar E-Bike," vol. 8, no. 9, 2021.
- [17] Y. U. D. Sipul, D. A. Prasetya, and W. Dirgantara, "CONTROL SYSTEM KENDALI KECEPATAN SEPEDA," vol. 1, no. 1, pp. 45–49, 2019.
- [18] D. Fisika and U. Diponegoro, "Rancang bangun sistem kendali pid untuk intensitas cahaya lampu dc menggunakan mikrokontroler arduino uno," vol. 22, no. 1, 2019.
- [19] R. Muhandian, "Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Controller PID dan Antarmuka Visual Basic," vol. 06, no. 01, pp. 328–339, 2020.
- [20] M. Pid and B. Plc, "Desain sistem kontrol level cairan dengan metode pid berbasis plc," vol. 6, no. 2, pp. 195–209, 2022.

Monitoring dan Kendali Sistem Penyiraman pada Cabai Merah dengan Aplikasi Android

Agus Sutyana¹, Ulinnuha Latifa²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang; email: 2010631160002@student.unsika.ac.id, ulinnuha.latifa@ft.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 20 Februari 2024, Direvisi: 18 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Agus Sutyana

INTISARI —Menurut Laporan Departemen Pertanian Republik Indonesia salah satunya penyebab gagal panen yang diakibatkan oleh kurang efektifnya metode pemeliharaan pada cabai merah seperti melakukan penyiraman air secara manual dan ketersediaan air yang menentukan keberhasilan tanaman, karena air merupakan kebutuhan utama bagi tanaman. kapasitas dan jadwal pemberian harus sangat diperhatikan, karena air merupakan media pengangkut nutrisi atau hara dari media tanam ke seluruh bagian tanaman. Solusi atas permasalahan tersebut perancangan sistem *Smart Sprinkler Irrigation* berbasis IoT. Dengan memanfaatkan sensor suhu DHT 11 dan sensor kelembapan tanah kapasitif V3 sebagai parameter untuk pengendalian pompa air secara otomatis dan *mobile apps* sebagai aplikasi untuk memantau kondisi suhu dan kelembapan tanah dan mengendalikan pompa air jarak jauh. Hasil dari penelitian menunjukkan selisih *error* pengukuran suhu menggunakan sensor DHT 11 sebesar 0,0058% dan sensor kelembapan tanah kapasitif V3 sebesar 0,015% setelah dikalibrasi. Sedangkan hasil monitoring dan kendali otomatis pada sistem penyiraman bekerja sesuai dengan fungsionalitasnya, hasil pengukuran suhu rata-rata pada *greenhouse* adalah 32,68°C dan rata-rata hasil pengukuran kelembapan tanah sebesar 77,56% menunjukkan kondisi tanaman berada pada kondisi cukup lembab. Hasil kendali pompa air otomatis bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya, berdasarkan hasil pengujian pompa aktif sebanyak tiga kali pada pukul 08.00 WIB, pukul 12.07 dan pukul 12.59 WIB. Sistem pengendali jarak jauh menggunakan aplikasi *mobile* bekerja dengan baik dengan *delay* transmisi data antara 1 sampai 5 detik.

KATA KUNCI — IoT, ESP8266, Monitoring, Kendali, *Smartphone*.

I. PENDAHULUAN

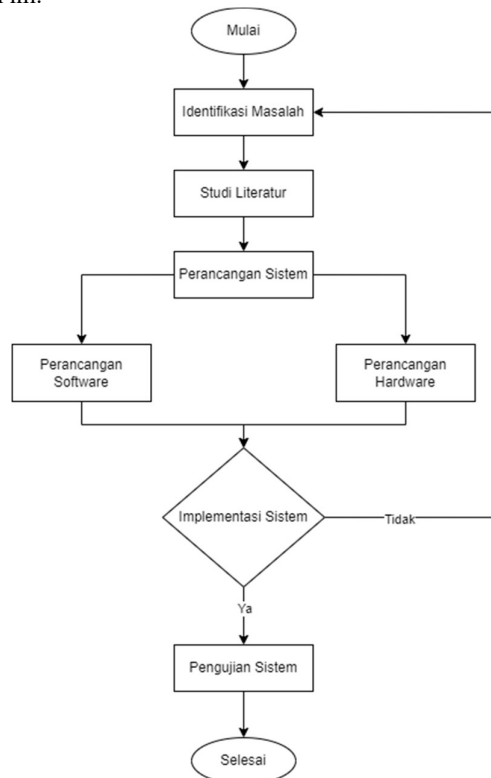
Kemajuan teknologi masa kini semakin berkembang semakin pesat, menciptakan berbagai inovasi baru sebagai solusi untuk memecahkan berbagai permasalahan dari berbagai aspek kehidupan [1]. Indonesia adalah negara yang kaya akan hasil alam, salah satunya dari komoditas sayuran yaitu cabai merah yang banyak dibudidayakan oleh para petani di berbagai wilayah Indonesia [2]. Cabai merah (*Capsicum annum*) memiliki khasiat sebagai antioksidan dan mengandung senyawa *Lasparaginase* yang mampu mencegah sel kanker [3]. Selain itu cabai merah memiliki manfaat untuk bumbu atau rempah-rempah masakan dan sebagai penguat rasa untuk makanan. Selain itu tanaman ini memiliki daya jual yang ditinggi dan cocok ditanam di daerah dataran tinggi maupun rendah [4]. Dalam proses pertumbuhan cabai merah terdapat beberapa permasalahan yang sering terjadi, menurut Laporan Departemen Pertanian Republik Indonesia salah satunya penyebab gagal panen yang diakibatkan oleh serangan hama dan kurang efektifnya metode pemeliharaan pada cabai merah seperti melakukan penyiraman air secara manual [5]. Tanaman cabai merah dapat berkembang dengan baik pada tanah berstruktur remah atau gembur yang kaya akan bahan organik dengan kandungan pH tanah antara 6-7 dengan rentan suhu udara antara 24 – 28 Celcius dan kelembapan tanah lebih dari 60% [6]–[8].

Faktor lain yang mempengaruhi proses pertumbuhan cabai merah adalah ketersediaan air yang menentukan keberhasilan tanaman, karena air merupakan kebutuhan utama bagi tanaman. kapasitas dan jadwal pemberian harus sangat diperhatikan, karena air merupakan media pengangkut nutrisi atau hara dari media tanam ke seluruh bagian tanaman [7], [9]. Salah satu metode optimalisasi proses penyiraman pada tanaman cabai merah dengan menggunakan metode *Sprinkle Irrigation* (Irigasi Curah/Siraman) kelebihan dari irigasi curah adalah memiliki efisiensi pemakaian air yang tinggi dan meningkatkan keseragaman dan pemerataan air dalam proses penyiraman[10]. Tanaman cabai merah membutuhkan ketersediaan air dan waktu penyiraman yang tepat agar hasilnya optimal. Irigasi curah diterapkan dengan menggunakan konsep rumah kaca atau *greenhouse* dalam penelitian ini, salah satu manfaat dari sistem *greenhouse* adalah kemudahan pengendalian jumlah debit air untuk cabai merah. Pemberian air yang diperlukan untuk cabai merah berdasarkan hasil penelitian [11] cukup bervariasi bergantung kepada umur tanaman cabai merah, yaitu 110 ml/hari untuk umur 1 bulan, 422 ml/hari untuk umur 2 bulan, 1,148 l/hari untuk umur 3 bulan dan 1,323 l/hari untuk umur 4 bulan.

Smart Sprinkler Irrigation merupakan solusi atas permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya dengan memanfaatkan teknologi yang mengintegrasikan antara *Internet of Things* (IoT) dengan sistem irigasi curah agar bisa dikendalikan jarak jauh melalui *mobile apps* sehingga mempermudah proses penyiraman cabai merah. Konsep utama penelitian ini adalah menggunakan *smart farming*. Hal ini bermanfaat untuk proses penyiraman tanaman khususnya pada cabai merah [12]–[14]. Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem irigasi yang terintegrasi dengan *Internet of Things* pernah dilakukan oleh [14]–[16] menjelaskan hasil pengendalian irigasi curah dengan memanfaatkan *solenoid valve* untuk mengatur keluarnya volume air, berdasarkan pada beberapa parameter seperti sensor kelembapan dan sensor suhu yang mampu dikendalikan secara virtual menggunakan aplikasi *Blynk* dan mampu melakukan monitoring hasil pengukuran dan pengeluaran volume air pada aplikasi *Blynk* [17], [18]. Tujuan penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem penyiraman otomatis berdasarkan suhu dan kelembapan dengan menggabungkan sistem irigasi curah dan aplikasi *mobile* sebagai pengendali jarak jauh.

II. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem *smart spinkler irrigation* berbasis *internet of things* terdiri dari perancangan *hardware* (perangkat keras) dan *software* (perangkat lunak) dengan memanfaatkan beberapa komponen diantaranya mikrokontroler ESP8266, sensor kelembapan tanah kapasitif V3 DF Robot, sensor DHT 11 dan relay untuk mengendalikan pompa air. Berikut merupakan tahapan perancangan sistem yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Flowchart tahapan penelitian.

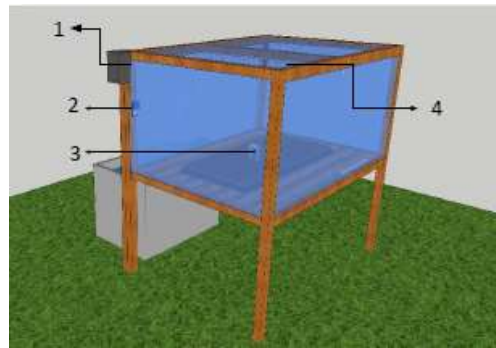
Gambar 1 merupakan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan, langkah pertama identifikasi masalah, selanjutnya melakukan analisis terhadap masalah agar kebutuhan sistem dapat disesuaikan. Tahapan kedua merupakan studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi melalui artikel, buku dan beberapa referensi lainnya untuk mendukung penelitian. Berikutnya adalah perancangan sistem yang terdiri dari perancangan perangkat lunak dan perangkat keras yang kemudian akan diimplementasikan pada sistem, dilanjutkan dengan pengujian pada sistem yang terdiri dari pengujian sensor suhu DHT 11, sensor kelembapan kapasitif V3 DF Robot dan pengujian keseluruhan sistem.

A. METODE SMART SPRINKLER IRRIGATION (IRIGASI CURAH)

Metode *Smart Sprinkler Irrigation* merupakan gabungan dua metode yang berbeda yaitu cara penyiraman dengan menggunakan sistem irigasi curah yang memanfaatkan tiga komponen utama yaitu *sprinkler*, pompa dan pipa dalam proses penyiraman sehingga tidak memerlukan campur tangan manusia dalam prosesnya. Komponen utama dalam sistem irigasi ini adalah *nozzel* sebagai penyalur air dan mengatur semburan air dengan memanfaatkan tekanan air pada pipa sehingga pendistribusian dapat diatur oleh *nozzel* [19], [20]. Dengan memanfaatkan konsep *Internet of Things* (IoT) yaitu memanfaatkan konektivitas antara perangkat satu dengan lainnya seperti sensor, aktuator, mikrokontroler dengan manusia untuk bertukar informasi melalui konektivitas internet seperti frekuensi radio, jaringan provider dan Bluetooth [21], [22]. Dalam hal ini adalah menggunakan mikrokontroler ESP8266 atau NodeMCU sebagai pemroses dan relay sebagai pengendali pompa air untuk proses pendistribusian air sehingga mampu dikendalikan melalui aplikasi *mobile*. Tujuan menggunakan metode ini adalah untuk mempermudah proses pengendalian pompa untuk pendistribusian air.

B. PERANCANGAN HARDWARE SMART SPRINKLER IRRIGATION

Dengan menggunakan *software Sketchup* untuk merpresentasikan desain *hardware* sistem, bentuk dasar desain menggunakan konsep dasar mini *greenhouse*. Bahan dasar mini *greenhouse* ini adalah kayu kaso yang memiliki dimensi panjang dan lebar 1 × 1 meter dan tinggi nya 80 cm yang dilapisi dengan plastik ultraviolet. Berikut merupakan desain 3 dimensi sistem yang di tujuan pada Gambar 2.



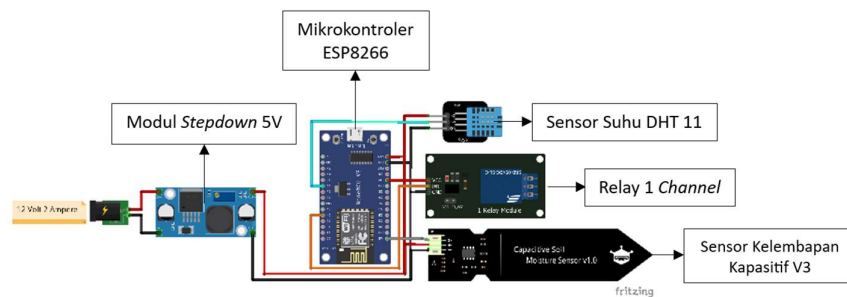
Gambar 2. Desain 3 dimensi sistem

Adapun bagian-bagian dari sistem sprinkler diatas terlihat pada Tabel 1 dibawah ini.

TABEL I
BAGIAN-BAGIAN SISTEM SMART SPRINKLER IRRIGATION

No	Keterangan
1	Panel Kendali
2	Sensor Suhu DHT11
3	Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif V3
4	Nuzzle Sprinkler Spary

Desain sistem elektronika sistem, menggunakan software fritzing untuk mengetahui pengkabelan pin-pin sensor pada mikrokontroler. Di bawah ini merupakan skematik sistem.



Gambar 3. Desain elektronika sistem

Konfigurasi pin sensor dengan mikrokontroler yang terpasang dijelaskan pada Tabel II.

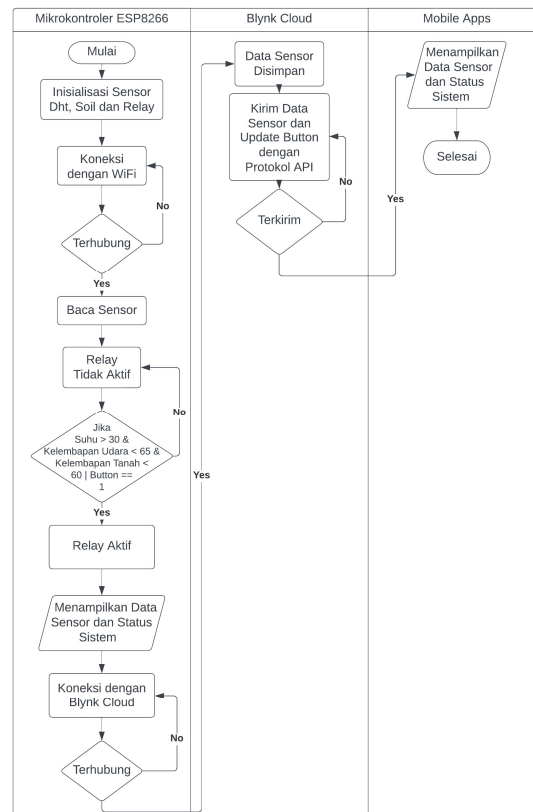
TABEL II
KONFIGURASI PIN INPUT OUTPUT SISTEM

Komponen I/O	Pin I/O	Pin Mikrokontroler
Sensor Suhu DHT11	GND	GND
	VCC	5V
	DATA	DATA
Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif V3	GND	GND
	VCC	5V
	A0	A0
Relay 1 Channel	GND	GND
	VCC	3.3V
	DATA	D4

Dari skematik diatas menunjukan mikrokontroler ESP8266 berfungsi sebagai pemroses dari input sensor suhu DHT 11 dan sensor kelembapan tanah kapasitif V3 dengan melakukan pembacaan data analog dan data digital, untuk memperoleh nilai suhu dan kelembapan dilingkungan tanaman. Nilai suhu yang ditampilkan dalam satuan derajat dan hasil pengukuran kelembapan yang ditampilkan adalah presentase kelembapan. Sumber listrik utama dari sistem ini menggunakan *Power Supply* 12 2A untuk kebutuhan sistem yang diturunkan menjadi 5V sesuai dengan kebutuhan mikrokontroler dan sensor yang digunakan.

C. PERANCANGAN SOFTWARE SMART SPRINKLER IRRIGATION

Perancangan perangkat lunak sistem menggunakan *software* Arduino IDE untuk membuat program sistem dan aplikasi kodular untuk membuat *mobile apps* IoT sistem. Untuk *flowchart* program sistem dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Flowchart perangkat lunak sistem

Gambar 4 di atas sistem monitoring terdiri dari tiga bagian sistem. Pertama adalah proses mikrokontroler ESP8266 untuk proses input sinyal sensor berupa sinyal digital dan analog dan output aktuator untuk mengendalikan pompa air, kemudian data sensor dikirim melalui internet dengan menggunakan modul WiFi pada sub sistem *Blynk Cloud* untuk menyimpan data. Setelah data disimpan maka akan ditampilkan pada aplikasi kodular dengan menggunakan protokol API (*Application Programming Interface*) sehingga data bisa ditampilkan pada *mobile apps* sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

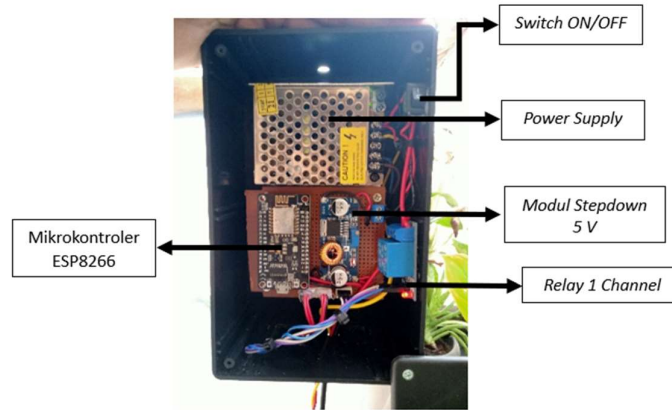
A. IMPLEMENTASI SISTEM

Implementasi sistem merupakan tahapan dari hasil proses perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sebelumnya. Berikut merupakan gambar hasil implementasi sistem yang telah dirancang.



Gambar 5. Implementasi sistem

Gambar 5 merupakan hasil implementasi sistem yang berbentuk mini *greenhouse* yang terdiri dari beberapa bagian seperti tempat tanaman, panel kendali, pipa air, pompa air dan *nuzzle spray* yang berada dalam mini *greenhouse* sistem untuk proses penyiraman.



Gambar 6. Panel kendali sistem.

Gambar 6 merupakan panel kendali sistem yang berfungsi sebagai tempat komponen utama. Terdiri dari beberapa komponen seperti *power supply* 12 2A, mikrokontroler ESP8266, *stepdown* 5V, *relay* dan soket sensor suhu DHT11 dan sensor kelembapan. Dalam proses pengoperasian sistem langkah pertama hanya menekan tombol yang ada pada panel kendali maka sistem akan bekerja sesuai dengan kebutuhan tanaman.

B. PENGUJIAN HARDWARE SISTEM

Proses pengujian *hardware* terdiri atas tiga tahap pengujian pertama adalah pengujian sensor suhu DHT 11, kedua adalah pengujian sensor kelembapan tanah dan ketiga adalah pengujian keseluruhan sistem. Pengujian pertama adalah akurasi pengukuran sensor suhu DHT 11 dengan cara melakukan kalibrasi agar proses pengukuran menjadi lebih akurat, metode kalibrasi yang digunakan dalam pengujian sensor suhu DHT 11 adalah *Regresi Linear* dengan mengambil 10 data sampel seperti Tabel III di bawah ini.

TABEL III
DATA KALIBRASI SENSOR SUHU DHT11

Alat Standar (°C)	Sensor DHT 11 (°C)	Setelah Kalibrasi (°C)	Error Sebelum Kalibrasi	Error Sesudah Kalibrasi
31,3	31,1	31,14	0,0064 %	0,005 %
31,1	31,2	31,24	0,0032 %	0,004 %
31,4	31,2	31,24	0,0064 %	0,005 %
31,3	31,1	31,14	0,0064 %	0,005 %
31,2	31,5	31,53	0,0096 %	0,010 %
31,4	31,6	31,62	0,0064 %	0,007 %
31,5	31,7	31,72	0,0063 %	0,007 %
31,6	31,8	31,81	0,0063 %	0,007 %
31,7	31,5	31,53	0,0063 %	0,005 %
31,8	31,9	31,91	0,0031 %	0,003 %

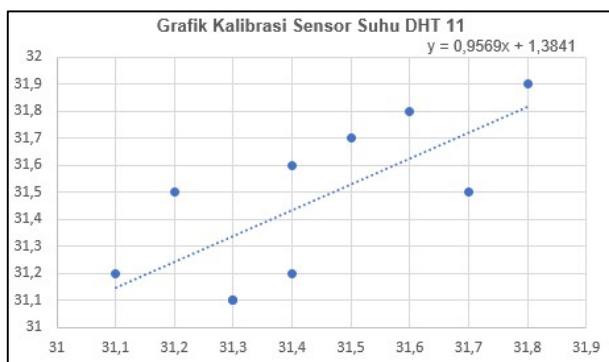
Tabel III merupakan hasil dari kalibrasi menggunakan *regresi linear* pada *microsoft excel*. diperoleh formula kalibrasi di bawah ini.

$$y = 0,9569x + 1,3841 \quad (1)$$

Sedangkan untuk menghitung *error* pengukuran digunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Error} = \text{ABS} \frac{(\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat})}{\text{Nilai Alat}} \times 100\% \quad (2)$$

Hasil rata-rata hasil pengukuran suhu pada mini *greenhouse* adalah 31,49°C sedangkan hasil rata-rata pengukuran suhu menggunakan alat standar (termometer digital) diperoleh suhu sebesar 31,43°C memiliki selisih sebesar 0,06°C. Hasil rata-rata *error* sebelum kalibrasi adalah 0,006%, namun setelah dilakukan kalibrasi diperoleh rata-rata *error* pengukuran sebesar 0,0058% berdasarkan Tabel III. Gambar 7 merupakan hasil dari grafik *regresi linear* yang diperoleh berdasarkan data pengukuran.



Gambar 7. Grafik kalibrasi sensor suhu DHT11

Pengujian kedua adalah proses pengukuran nilai kelembapan tanah pada tanaman menggunakan sensor kelembapan tanah kapasitif, dengan sampel pengukuran sebanyak 10 sampel dengan menggunakan metode *regresi linear*.

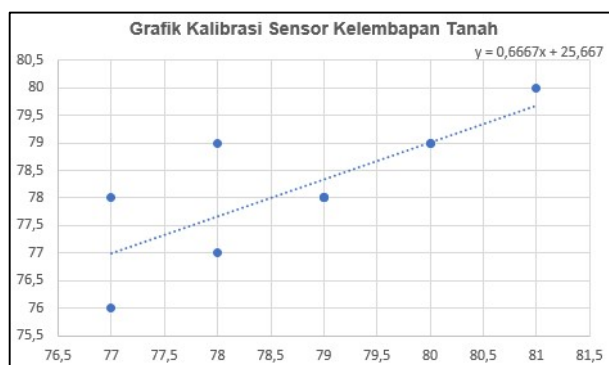
TABEL IV
DATA KALIBRASI SENSOR KELEMBAPAN TANAH

Alat Standar (%)	Sensor Soil Moisture (%)	Setelah Kalibrasi (%)	Error Sebelum Kalibrasi (%)	Error Sesudah Kalibrasi (%)
79	78	77,67	0,0127	0,017
78	79	78,34	0,0128	0,004
78	77	77,00	0,0128	0,013
77	78	77,67	0,0130	0,009
79	78	77,67	0,0127	0,017
80	79	78,34	0,0125	0,021
81	80	79,00	0,0123	0,025
77	76	76,34	0,0130	0,009
80	79	78,34	0,0125	0,021
79	78	77,67	0,0127	0,017

Tabel 4 merupakan data hasil pengukuran kelembapan tanah menggunakan sensor dan alat standar untuk proses kalibrasi, data pengukuran diolah dengan menggunakan software *microsoft excel*, maka diperoleh formula berikut ini.

$$y = 0,6667x + 25,667 \quad (3)$$

Persamaan (2) merupakan rumus untuk mencari nilai *error* pengukuran sensor. Adapun grafik hasil kalibrasi sensor kelembapan tanah adalah sebagai berikut.



Gambar 8. Grafik kalibrasi sensor kelembapan tanah.

Gambar 8 merupakan grafik kalibrasi sensor kelembapan tanah menunjukkan hasil pengukuran kelembapan tanah setelah dilakukan kalibrasi, rata-rata hasil pengukuran kelembapan adalah 77,80% sedangkan hasil pengukuran menggunakan alat pengukur kelembapan standar sebesar 78,8% dengan presentase *error* sebelum kalibrasi adalah 0,127% sedangkan setelah dilakukan kalibrasi presentase *error* sebesar 0,015%.

TABEL V
HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM

Waktu	Sensor Suhu DHT 11 (°C)	Sensor Kelembapan Tanah (%)	Status Pompa
08.00	30	50	Pompa Hidup
08.45	28	80	Pompa Mati
09.30	29	78	Pompa Mati
10.51	33	79	Pompa Mati
12.07	35	55	Pompa Hidup
12.59	37	60	Pompa Hidup
13.17	36	77	Pompa Mati
13.50	40	75	Pompa Mati
14.08	38	87	Pompa Mati
15.01	39	86	Pompa Mati
15.19	32	87	Pompa Mati
15.41	30	88	Pompa Mati
16.00	29	89	Pompa Mati
16.30	30	86	Pompa Mati
17.00	29	83	Pompa Mati
17.30	28	81	Pompa Mati

Tabel V merupakan hasil dari pengujian secara keseluruhan yang dilakukan pada *greenhouse* selama 12 jam dengan rentang waktu pukul 08.00 WIB sampai pukul 17.30 WIB. Hasil dari pengukuran sensor suhu DHT 11 diperoleh nilai rata-rata suhu sebesar 32,68°C, sedangkan nilai rata-rata pengukuran sensor kelembapan tanah kapasitif diperoleh nilai kelembapan tanah sebesar 77,56%. Sistem memiliki dua kondisi, pertama kondisi kering jika suhu lebih dari 30°C dan kelembapan kurang dari 60%, kedua kondisi lembab jika pompa air jika suhu kurang dari 30°C dan kelembapan lebih dari 60%. Dalam pengujian pompa aktif sebanyak tiga kali, Pompa air aktif pada kondisi pertama selama 8 detik pada pukul 08.00 WIB. Pada pukul 12.07 pompa aktif kembali selama 15 detik dan pompa air aktif kembali pada pukul 12.59 selama 20 detik.

C. PENGUJIAN SOFTWARE SISTEM

Pada percobaan menggunakan aplikasi *mobile apps kodular*, dilakukan percobaan untuk mengendalikan pompa air dengan jarak 0 sampai dengan 100 meter. Perintah ON/OFF dalam aplikasi berfungsi untuk menyalakan dan mematikan pompa air dengan menggunakan *mobile apps* serta memanfaatkan jaringan internet dalam penggunaannya. Terdapat dua kondisi yang menyebabkan pompa air mati atau menyala, pertama adalah ketika kondisi suhu melebihi 30°C dan kelembapan tanah kurang dari 60%. Sedangkan kondisi kedua adalah bisa dikendalikan secara manual dengan bantuan *mobile apps kodular* dengan menekan tombol ON untuk menyalakan pompa dan tombol OFF untuk mematikan pompa air. Delay waktu pengiriman perintah bisa terjadi dalam proses transmisi data karena kondisi kecepatan jaringan internet dan provider yang digunakan sangat berpengaruh terhadap proses pengiriman data. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan rata-rata *delay* yang diperoleh berkisar dari 1 detik hingga 5 detik pada saat diberikan instruksi.



Gambar 9. Pengujian Mobile Apps Kodular.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dikemukakan sebelumnya, hasil dari penelitian menunjukkan kinerja sistem monitoring dan kendali pada sistem penyiraman tanaman cabai merah telah bekerja sesuai dengan fungsionalitasnya. Pengukuran nilai suhu dan kelembapan memiliki selisih *error* pengukuran antara alat ukur suhu standar dan sensor suhu DHT 11 memiliki selisih yang cukup kecil sebesar 0,0058%. Sama halnya dengan hasil pengukuran kelembapan tanah menggunakan sensor kelembapan tanah kapasitif V3 sebesar 0,015%. Hal ini menunjukkan pengukuran sensor suhu DHT11 dan sensor kelembapan kapasitif V3 memiliki tingkat

pengukuran yang cukup akurat. Sedangkan hasil pengujian keseluruhan sistem monitoring dan kendali sudah sesuai dengan harapan dan bekerja otomatis sesuai dengan kondisi suhu dan kelembapan. Hal ini, berdasar pada hasil pengujian *hardware* sistem pompa aktif pada pukul 08.00 WIB, pukul 12.07 WIB dan pukul 12.59 karena status tanaman kering dengan suhu lebih dari 30°C dan kelembapan kurang dari 60%. Selain itu, kendali pompa air menggunakan aplikasi *mobile* bekerja sesuai dengan fungsinya namun dalam proses pengiriman perintah memiliki delay antara 1 detik hingga 5 detik dengan rentang jarak perintah antara 0 sampai 100 meter. Penelitian ini masih perlu dikembangkan dengan menambahkan atau mengganti metode sistem pengendali suhu agar terjaga sesuai dengan kebutuhan tanaman cabai merah dan memaksimalkan sistem pengiriman data agar tidak terjadi *delay* yang terlalu lama dalam proses pengiriman data pada aplikasi *mobile*.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang membantu penelitian ini untuk setiap tahapannya.

REFERENSI

- [1] J. Tarigan, M. Bukit, and S. N. Yilu, "Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes Otomatis Untuk Budidaya Tanaman Terong Ungu (*Solanum Melongena* L.) Berbasis *Internet Of Things* (IoT)," *J. Fis.*, vol. 8, no. 2, pp. 30–39, 2023.
- [2] L. Delvita, "Motivasi Petani Menanam Cabe (*Capsicum Annum* L.) Di Kecamatan Lembah Gumanti Kabupaten Solok," *J. Spasial*, vol. 3, no. 2, 2017, doi: 10.22202/js.v3i2.1602.
- [3] A. Alparahab, N. Nehru, and S. Fuady, "Pengembangan Instrumen Monitoring Dan Penyiraman Bibit Cabai Rawit Berbasis Iot," 2021.
- [4] D. Rienzani Supriadi, A. D. Susila, and E. Sulistyono, "Penetapan Kebutuhan Air Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) dan Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)," *J. Hortik. Indones.*, vol. 9, no. 1, pp. 38–46, 2018, doi: 10.29244/jhi.9.1.38-46.
- [5] N. Fauzia, N. Kholis, and H. K. Wardana, "Otomatisasi Penyiraman Tanaman Cabai Dan Tomat Berbasis Iot," *Reaktom Rekayasa Keteknikan dan Optimasi*, vol. 6, no. 1, pp. 22–28, 2021.
- [6] A. K. Nalendra and M. Mujiono, "Perancangan Iot (*Internet Of Things*) Pada Sistem Irigasi Tanaman Cabai," *Gener. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 61–68, 2020, doi: 10.29407/gj.v4i2.14187.
- [7] A. Pertiwi, V. E. Kristianti, I. Jatnita, and A. Daryanto, "Sistem Otomatisasi Drip Irigasi Dan Monitoring Pertumbuhan Tanaman Cabai Berbasis Internet of Things," *Sebatik*, vol. 25, no. 2, pp. 739–747, 2021, doi: 10.46984/sebatik.v25i2.1623.
- [8] W. I. S. A. Talli, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Tanah Untuk Tanaman Cabai Berbasis Iot (Internet of Things)," vol. 7, no. 5, pp. 1–8, 2023.
- [9] L. Kabat, "Penerapan Teknologi Automatic Drip Irrigation System (Adis) Untuk Meningkatkan Produktivitas Cabai Di Program Studi Agribisnis , Politeknik Negeri Banyuwangi," vol. 6, no. 1, pp. 1176–1184, 2020.
- [10] D. Perangin-Angin *et al.*, "Implementation of Smart Irrigation System on Carrot Plantation Using Internet of Things," *J. Sist. Inf. dan Ilmu Komput. Prima (JUSIKOM PRIMA)*, vol. 5, no. 2, pp. 28–32, 2022, doi: 10.34012/jurnalsisteminformasidanilmukomputer.v5i2.2347.
- [11] A. Furkan, "Penerapan Irigasi Tetes Pada Tanaman Cabe Merah Di Desa Buncu Kecamatan Sape Kabupaten Bima," Universitas Muhammadiyah Mataram, 2022.
- [12] L. Syafaah, "Sistem Monitor dan Kontrol Pertumbuhan Cabai Rawit Hidroponik dengan Perbedaan Warna LED Berbasis IoT," *Pros. SENTRA (Seminar Teknol)*, pp. 80–87, 2021.
- [13] S. Dwiyatno, E. Krisnaningsih, D. Ryan Hidayat, and Sulistiyono, "Smart Agriculture Monitoring Penyiraman Tanaman Berbasis *Internet of Things*," *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 38–43, 2022, doi: 10.30656/prosisko.v9i1.4669.
- [14] L. Hartawan *et al.*, "Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Arduino IoT Cloud di Lahan Pertanian," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 93–100, 2023.
- [15] A. I. Sujana and L. Hartawan, "Component Modification and Data Communication Lines of Automatic Crop Sprinklers on Soil Moisture-Based Agricultural Land," vol. 7, no. 1, pp. 85–90, 2024.
- [16] R. E. Putri, I. Putri, and M. A. Pilly, "Design and Implementation of an IoT System for Smart Irrigation," 2021.
- [17] N. Muzammil Norhanan, N. Nasrin Nadhirah Azmi, A. Farhana Raymedin, and Z. Ali, "Sistem Tanaman Pintar IoT," *Multidiscip. Appl. Res. Innov.*, vol. 3, no. 1, pp. 459–465, 2022.
- [18] M. M. F. Fatori, "Aplikasi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik," *J. Pendidik. Sains dan Komput.*, vol. 2, no. 02, pp. 350–356, 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i02.1746.
- [19] A. M. Mudzakir, C. Bowo, and P. Andianto, "Distribusi Kadar Air Tanah Dengan Irigasi Curah Pada Budidaya Tanaman Stevia (*Stevia rebaudiana* B.)," *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 9, no. 4, pp. 689–700, 2023, doi: 10.29303/jstl.v9i4.469.
- [20] W. Bahtiar, A. Suhardono, and R. Sasongko, "Studi Optimasi Pola Tata Tanam Terhadap Kebutuhan Air Pada," *Jos - Mrk*, vol. 3, pp. 24–29, 2022.
- [21] R. D. RUSNAWATI and T. S. HARIYATI, "Implementasi Internet Of Things Pada Layanan Kesehatan (Literature Review)," *J. Innov. Reseach Knowl.*, vol. 3471, no. 8, pp. 569–574, 2022.
- [22] Anggy Giri Prawiyogi and Aang Solahudin Anwar, "Perkembangan *Internet of Things* (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review," *J. MENTARI Manajemen, Pendidik. dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 187–197, 2023, doi: 10.34306/mentari.v1i2.254.

IoT-Based Vaname Shrimp Pond Water Quality Monitoring Using the Quamonitor Tool

Marwana¹, Rosliana Eso², Husein³

^{1,2,3} Department of Physics Education, Faculty of Teacher Training and Education, Halu Oleo University, Kendari; email: marwanatkj@gmail.com

[Received: 28 February 2024, Revised: 17 May 2024, Received : 27 May 2024]
Corresponding Author: Marwana

ABSTRACT — Pond water pollution is the main problem in vannamei shrimp cultivation, so to overcome this problem, The decline in water quality is caused by a decline in the quality of pH, salinity and temperature in pond water. Researchers created the Quamonitor tool to monitor IoT-based vaname shrimp pond water. The research was conducted using the Research and Development (R&D) method with the Analyze, Design, Develop, Implement and Evaluate (ADDIE) model, assisted by WiFi, MQTT and Node Red networks to monitor water in order to display monitoring results on Android. This study aims to monitor the condition of vaname shrimp pond water quality in the form of pH, temperature, and salinity parameters using pH E-4052C sensor, DS18B20 temperature sensor, TDS/Conductivity DFRobot V1.0 sensor and NodeMCU ESP32 as a data manager and system controller that runs in real time. The test results of PH sensors, temperature sensors and TDS/conductivity sensors obtained a sensor error percentage of 0.29% for pH parameters, 1.7% for temperature parameters and 0.41% for salinity parameters. Based on the sensor error value, Thingspeak graph display, real time monitor display on Android, it can be said that the manufacture of the Quamonitor tool for IoT-based vaname shrimp pond water quality monitoring is successful and can function well.

KEYWORDS — IoT; Quamonitor Tool; Sensors; NodeMCU ESP32; Vaname Shrimp

I. INTRODUCTION

Shrimp pond management is one of the leading exports in Indonesia, whose quality needs to be improved [1]. To produce quality shrimp, there must be facilities, namely water as a place for cultivation, the method used is traditional cultivation, because one of the conditions for carrying out cultivation is the presence of cultivated organisms, living media and the place [2]. The water medium used can be river water or sea water, water quality management is an indicator to see water quality through measuring PH, salinity, temperature and brightness [3]. Aquaculture management requires a control system to support the survival of shrimp [4].

This is based on the results of research conducted by [5] which states that shrimp cultivation is influenced by the water quality in ponds, the results obtained by water quality can be monitored via a website-based application. One type of shrimp that is easy to cultivate is the vaname shrimp or commonly called *litopenaeus vannamei*, which is a mainstay commodity in the fisheries sector [6]. To produce superior vaname shrimp requires attention to both internal aspects, such as water quality, as well as internal factors, the quality of water, feed and waters as well as the technology used, good water quality, a temperature of 28-30 °C, water pH of 7-8, 5, and water salinity of 10-30 ppt, because vaname shrimp will develop and grow in these factors and will not die easily [7]. The use of technology in cultivation will help people save time and energy, because the method used is IoT-based, where devices can detect water quality in the form of temperature, salinity and PH [8]. The use and application of IoT technology in the aquaculture sector is highly recommended in assisting the implementation of pond cultivation [9] [10].

Water quality data collection to measure pond productivity. One of them is chemical and physical factors including pH, salinity, water temperature. Based on DKP data from South Konawe district in 2016, the pond land had less than optimal quality, including a water temperature of 33°C which was considered high and 27 °C which was low. Apart from that, there are a lot of organic weathering residues so the average pH value is 6. Salinity 30 ppt.

It is important to constantly monitor water quality parameters and take corrective steps when necessary. By monitoring pond water parameters at all times, you can prevent a decrease in the water quality of vaname shrimp ponds and reduce the risk of disease and shrimp death, so a remote monitoring system based on the Internet of Things is needed to make things easier for the farming community and provide contributions and facilities in vaname shrimp cultivation so that accurate data is obtained at any time (*real time*) which is stored automatically in the system. This data can provide information about the water quality in the pond.

Research conducted by [10] designed a pH monitoring system for shrimp pond water that can provide SMS (*Short Message Service*) warnings and also display on the LCD. The overall system test results show that the system can send SMS messages at any change in water quality conditions.

Another research conducted by [11] designed a prototype of a salinity control device in shrimp ponds using a salinity sensor/TDS, with Arduino as data management. The test results of the tool provide information regarding salinity conditions on the 16x2 LCD screen and the availability of each pump for fresh water and sea water as a reaction so that the pond water quality is always in a normal condition. From existing research, there has been a lot of research regarding monitoring pond water quality using pH sensors [13], temperature sensors and TDS sensors [14] [15]. However, this research has not used and utilized the ESP 32 Dev Kit as a processing medium. Apart from that, both studies need development. This is because *Gate Away SMS-based notifications* result in the waste of cellular credit when sending continuous warnings. For this reason, monitoring development is needed, one of which is IoT-based using a WiFi module so that water quality monitoring can be seen in *real time* [16] [17].

One of the microcontrollers that is often used is the ESP 32 dev kit module which is a combination of WIFI and Bluetooth modules. It has been widely used in *internet of things applications* as a control that can use the MQTT protocol or a *web server* as

a link between sensors and communication devices in the form of *cellphones* to send appropriate messages. topics desired by the user.

The Internet of Things (IoT) is a solution to various problems in cultivating vaname shrimp remotely. IoT has a concept where various physical devices (such as sensors, electronic devices, vehicles, household appliances, etc.) are equipped with technology that allows them to communicate with each other and exchange data via the internet network. This concept allows these objects to collect, transfer, and receive data without requiring direct interaction between humans and devices[18] [12] . The main goal of IoT is to create an environment where devices can communicate with each other, collaborate, and work automatically to increase efficiency, convenience, and productivity[20].

Based on this problem, the researcher raised the topic of developing a Quamonitor tool to remotely monitor the water conditions of vaname shrimp ponds based on IoT (*Internet of Things*). This Quamonitor tool can enable users to *real-time* monitoring and collecting data from various devices and environments .

II. METHOD

The steps taken in developing the IoT-based Quamonitor tool are as follows.

A. ANALYSIS

At this stage, researchers analyze the problems behind the emergence of this product development. Preliminary research carried out by researchers took the form of literature studies in several national and international journals.

This stage will be carried out system design which will be able to meet the needs of the system designed by displaying data from the results of tool implementation. Data that has been obtained from the results of sensor testing will then be analyzed from the sensors used. The analysis data obtained is data when the tool is tested and then a comparison will be made with standard tools[21].

B. DESIGN

The research instruments used in this research are as follows.

1. The ESP32 NodeMCU functions as a microcontroller that processes input, output, communication and runs the entire system.
2. The DS18B20 sensor functions to measure water temperature.
3. The E-4052C pH sensor functions to measure the acid-base levels of water.
4. Gravity DFRobot Analog TDS Sensor V1.0 functions to measure water salinity.
5. Jumper cables function to connect electronic components.
6. *The breadboard* functions as a place for a series of electronic components.
7. The function of the charging battery is to change the electrical voltage from the electrical power source into a voltage that suits the needs of the Quamonitor device.
8. LCD (*Liquid Crystal Display*) functions to display images or text.
9. The tool box functions to help protect tools from damage due to dust, dirt or liquid that can enter it. This also helps keep tools clean and ensures that nothing gets lost.
10. The I2C module functions to transfer data between devices connected on a single data bus in an efficient and reliable manner.
11. Pin headers function as connectors like jumper wires or solder-based connectors to create a sturdy and reliable connection between two components or circuit boards.

C. WIRING DESIGN AND HARDWARE SCHEMATICS OF QUAMONITOR TOOLS

Design of water quality monitoring tools for vaname shrimp ponds, pH sensors, temperature sensors and the TDSV1.0 sensor and LCD are connected to the NodeMCU ESP32 wiring and the schematic can be seen in Figure 1.

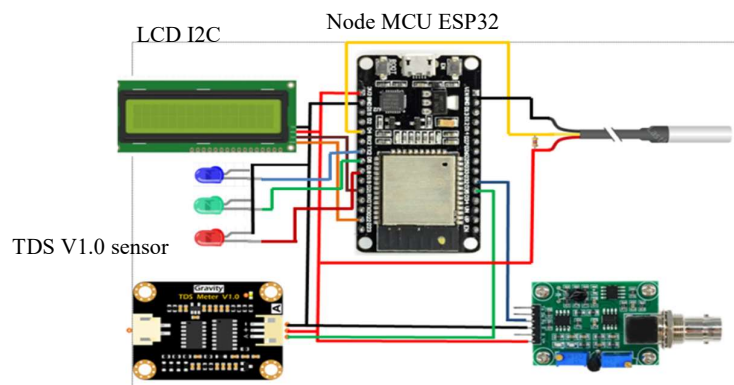


Figure 1. Wiring system hardware

D. SYSTEM BLOCK DIAGRAM

Block diagram can be shown in Figure 2.

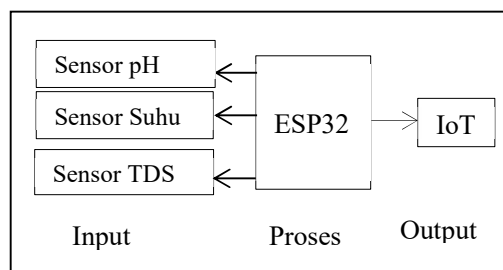


Figure 2. System Block Diagram

Block diagram of the Quamonitor tool works:

1. The E-4052C pH sensor, DS18B20 temperature sensor and TDS V1.0 Gravity sensor function as *input*, where the sensors will send data to the ESP32 NodeMCU
2. Next, the NodeMCU ESP32 as a microcontroller will control or control the input and output of the entire system. When the sensor detects the occurrence electricity usage, the data will be processed according to the program that has been set.
3. The NodeMCU ESP32 output will send data via the MQTT protocol and the data can be displayed on the MyMQTT *Android mobile application*.

E. SOFTWARE DEVELOPMENT DESIGN

The water quality monitoring design is equipped with an E-4052C pH sensor, DS18B20 sensor, and TDS V1.0 Gravity sensor. Water parameters to be measured include pH, temperature and salinity. The flow chart can be seen in Figure 3 .

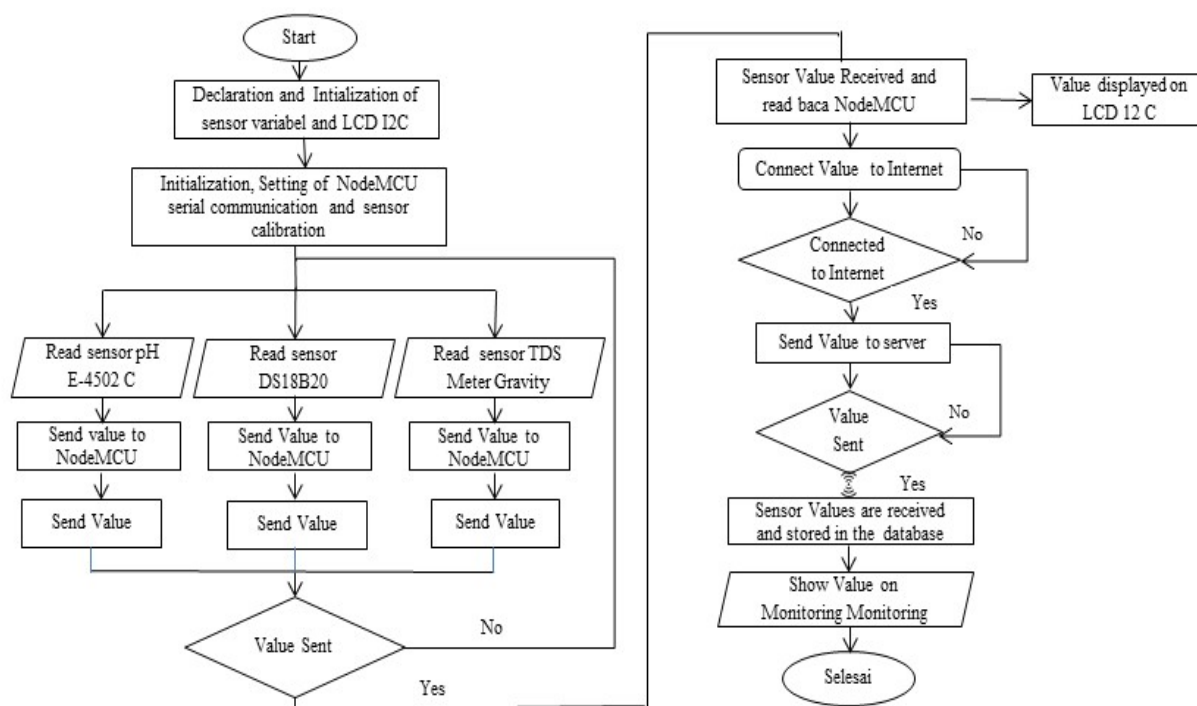


Figure 3. System design flowchart

Information:

1. Starting the initial process.
2. The pH sensor and temperature sensor are analyzed by the sensor serial port.
3. First calibrate the pH sensor and TDS sensor, check the data in the form of maximum voltage and minimum sensor voltage to be entered in the program that has been designed.
4. Input and output installation, initial preparation for installation of input and output devices on the microcontroller.
5. The sensor will read the condition of the water around the container in the form of parameters for acid base levels, temperature and salinity of the water.
6. If the sensor reads the parameters of acid base levels, temperature and salinity, the data will be sent to the NodeMCU ESP32.

7. Next, NodeMCU will manage the data received from the sensors. Before collecting data, NodeMCU will check whether the network is connected or not. After connecting to the network, data will be sent and stored in the MQTT database.
8. Next, data from the MQTT receiver and Node Red will be processed by NodeMCU to display notification data in the MyMQTT application
9. The process of detecting acid base levels, temperature and salinity of water is complete.

F. DEVELOPMENT

The IoT concept developed is a vaname shrimp pond water quality monitoring system using MQTT which supports WAN (connection between countries), Node Red, and My MQTT technology in delivering information to determine the water conditions in vaname shrimp ponds.

G. IMPLEMENTATION

The implementation stage in this research is to unite all components into one unit. This is necessary to ensure that all components work properly. If an error occurs, a review of the system design will be carried out.

H. EVALUATION

The evaluation stage is a process to see whether the system created is successful in accordance with initial expectations or not. The evaluation stage can be carried out in the form of hardware circuit testing, program testing, sensor testing and data analysis in the form of sensor error percentage, MQTT testing.

I. SYSTEM TESTING AND ANALYSIS

Tests have been carried out on the E-4052C pH sensor, DS18B20 sensor and DFRobot Gravity V1.0 TDS sensor using NodeMCU ESP32 as a microcontroller which has an analog value resintivity range of 0 – 4096/12 Bit.

1) E-4052C pH Sensor Testing

Testing the E-4052C pH sensor begins by calibrating the sensor connected to the NodeMCU ESP32 which has an analog output value in the form of sensor voltage in real *time* by inserting the sensor probe into two water samples that have a pH of 4.01 and a pH of 6.68 to find the minimum and maximum voltage, then calculate the calibration value of the voltage and pH type. The calibration values that have been obtained will be entered into the program to convert the analog values to digital values so that the sensor can detect the pH of the water automatically. The sensor voltage for each water solution sample can be seen in Table I.

TABLE I
SENSOR VOLTAGE IN POWDERSBUFFER SOLUTION PH 4.01 AND 6.68

No	Buffer Powder	Analog	Voltage (Volts)
1.	4.01	4071	3.31
2.		4077	3.32
3.		4071	3.31
4.		4075	3.32
5.		7,074	3.31
	Average	-	3.31
6.	6.68	3152	2.56
7.		3193	2.60
8.		3149	2.56
9.		3150	2.56
10.		3149	2.56
	Average	-	2.56

To find the calibration value for the E-4052C pH sensor, the following equation is used.

$$y = \frac{(xA - xB)}{(B - A)}$$

$$y = \frac{(3.31 - 2.56)}{(6.68 - 4.01)}$$

$$y = \frac{0.75}{2.85}$$

$$y = 0.266$$

(1)

Information:

Y = Calibration Value

A = pH 4.01

B = pH 6.68
xA = Voltage Value pH 4.01
xB = Voltage Value pH 6.68

The pH value of the water has been tested using a pH meter, before measuring the pH of the water using the E-4052C pH sensor in vaname shrimp ponds using the internet network and *Android notifications*, the pH meter must be calibrated first. Then data was collected on a good scale from the Quamonitor tool with pH parameters and the pH meter measuring tool so that a comparison of the E-4052C pH sensor value was obtained with the value of the pH meter measuring tool. Testing of the E-4052C pH sensor and pH meter measuring instrument can be seen in Figure 4.



Figure 4. pH and pH Sensor Testing Meters

The table of experimental results from the water pH testing that has been carried out can be seen in Table 2.

TABLE II
TEST RESULTS FROM WATER PH

Time (s)	pH sensors	PH meter	pH difference	Presentation Error (%)
5	7.43	7.47	0.04	0.53
10	7.47	7.49	0.02	0.26
15	7.46	7.48	0.02	0.27
20	7.48	7.47	0.01	0.13
25	7.47	7.45	0.02	0.27
Average				0.29

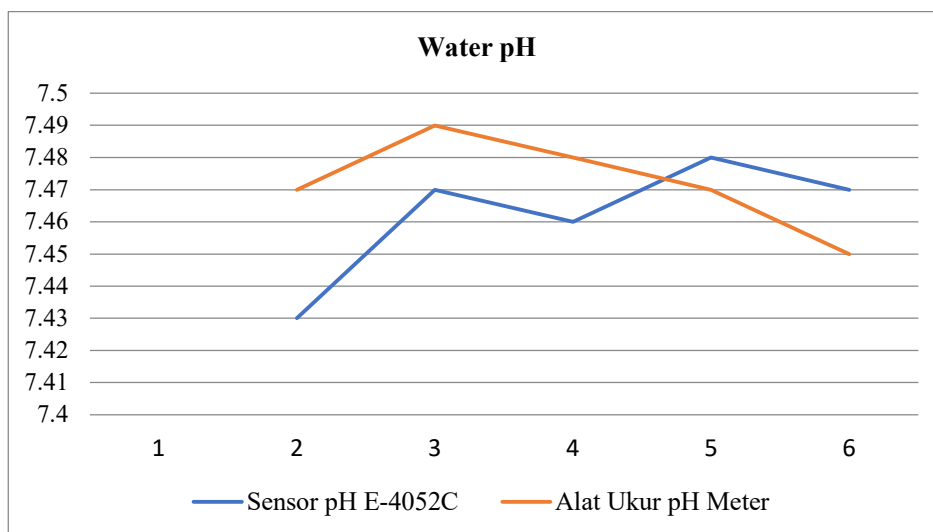


Figure 5. Comparison Chart of pH Sensors and pH Meters

2) DS18B20 Temperature Sensor Testing

Temperature testing is carried out by comparing the values from the Quamonitor tool and the temperature tool, as in Figure 6



Figure 6. DS18B20 temperature sensor testing and DO/Temperature measuring instruments

The results of comparing the Quamonitor and Temperature meter tools can be seen in Table 3.

TABLE III

WATER TEMPERATURE TEST RESULTS

Time (s)	Temperature Sensor (oC)	Temperature measuring instrument	Water Temperature Difference	Errors (%)
5	26.0	26.6	0.6	2.2
10	26.0	26.3	0.3	1.1
15	26.0	26.5	0.5	1.8
20	27.0	26.8	0.2	0.7
25	28.0	28.8	0.8	2.7
Average				1.7

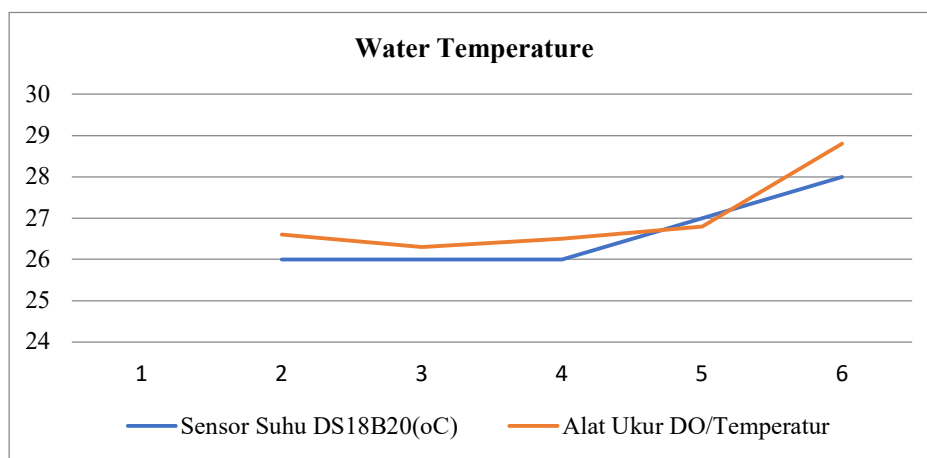


Figure 7. Value Comparison Graph between DS18B20 Sensor and Temperature Measuring Instrument

In Table 3 and Figure 7 is a comparison of test results for water temperature. The difference value is obtained from subtracting the DS18B20 sensor value from the temperature meter value. Here's the formula to find the temperature difference:

$$\text{Temperature difference} = \text{sensor value} - \text{measuring instrument value} \quad (4)$$

error (%) from testing the DS18B20 sensor was calculated. The following is the formula for finding the percentage error in temperature values

$$\text{Persentase error suhu} = \frac{\text{selisih suhu}}{\text{nilai alat ukur}} \times 100\% \quad (5)$$

From the results of testing the DS18B20 sensor, it can be seen in the table that the *error percentage value* obtained was 1.7%. It can be concluded that the water quality monitoring system with temperature parameters using the DS18B20 sensor is said to be successful and functioning well.

3) DfRobot Gravity V1.0 Conductivity/TDS Sensor Testing

Before testing is carried out, it is necessary to calibrate the DfRobot conductivity/TDS sensor. This sensor can detect the salinity value in water by determining the maximum salinity and minimum salinity values to determine the sensor ADC value. Then convert the ADC sensor value to digital using the linear equation $Y=ax+b$.

Calculation of the formula for DFRobot conductivity/TDS sensor calibration in Table 4.

TABLE IV
CONDUCTIVITY/TDS SENSOR CALIBRATION DATA DFRobot GRAVITY

Sample no	x	y	x^2	y^2	xy
1	358	0	128164	0	0
2	2773	30	7689529	900	83190
3	2831	34	8014561	1156	96254
Amount	5962	64	15832254	2056	179444

Information:

x = ADC value read on the sensor

y = Salinity value contained in Refractometer

x^2 = Sensor Squared ADC Value

y^2 = Squared salinity value present on the refractometer

xy = The result of multiplying the ADC value by salinity value read by refractometer

The test results of the conductivity/TDS sensor and refractometer can be seen in Figure 8 and Table 5.

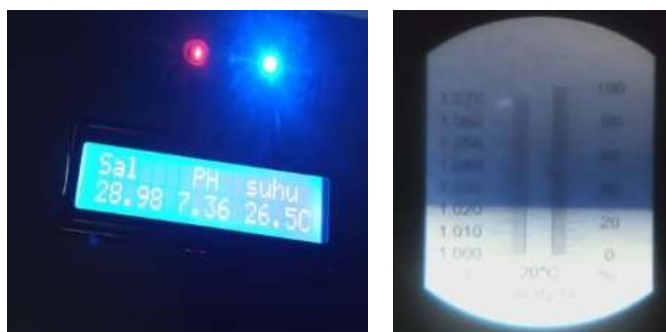


Figure 8. TDS And Conductivity Sensor Testing Refractometer

TABLE V
TEST RESULTS FOR WATER SALINITY

No	Censorship TDS DFRobot (ppt)	Refrato-meter (ppt)	Salinity Difference (ppt)	Error Percentage (%)
1.	29.8	30	0.2	0.67
2.	29.8	30	0.2	0.67
3.	29.98	30	0.02	0.06
4.	29.9	30	0.1	0.33
5.	30.11	30	0.11	0.36
Amount				0.41

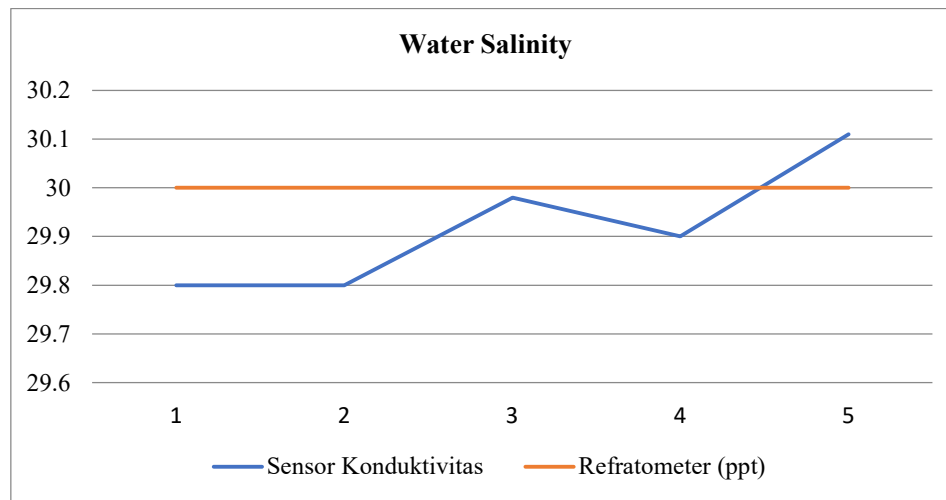


Figure 9. Value Comparison Graph between DFrobot TDS Sensor and Refractometer

In table 5 and figure 9 is a comparison of test results for water temperature . The parameter difference value is obtained by subtracting the salinity value between the DFrobot TDS sensor and the refractometer. The following is the formula for finding the difference in salinity:

$$\text{Salinity difference} = \text{sensor value} - \text{measuring instrument value} \quad (6)$$

the error percentage (%) obtained from the DFrobot TDS sensor test results was determined . The following is the formula for finding the percentage error in temperature values.

$$\text{Persentase error salinitas} = \frac{\text{selisih salinitas}}{\text{nilai alat ukur}} \times 100\% \quad (7)$$

From the test results of the DFrobot Conductivity/TDS sensor, it can be seen in the table that the percentage error value obtained was 0.41 % . It can be concluded that the water quality monitoring system with the Salinity parameter using the DFrobot Conductivity/TDS sensor is said to be successful and functioning well.

The Implementation of hardware in water quality monitoring tools that has been designed to detect acid base levels, temperature and salinity using the E 4502 C pH sensor, DS18B20 temperature sensor and Dfrobot gravity V1.0 and ESP 32 TDS sensors as data managers.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The tests carried out include program testing, sensor testing, IoT-based data delivery testing and data testing on servers and notifications to users. The functional testing of the system was carried out in implementing the development of the Quamonitor tool for monitoring water quality which used the E 4502 C pH sensor, DS18B20 temperature sensor and Dfrobot gravity V1.0 and ESP 32 TDS sensors as data managers.

A. NODE RED MONITORING TESTING, MQTT

Testing the MQTT protocol using the publish/subscribe concept and sending graphics can be seen in Figure 10. **Figure 10** is monitoring as a form of implementation of the IoT protocol from MQTT. The test is carried out using a container by providing a test water sample where the test material consists of powder with a pH of 4.01 , 6.86 and 9.18, ordinary water and sea water. Test results are shown in **Table 6** below

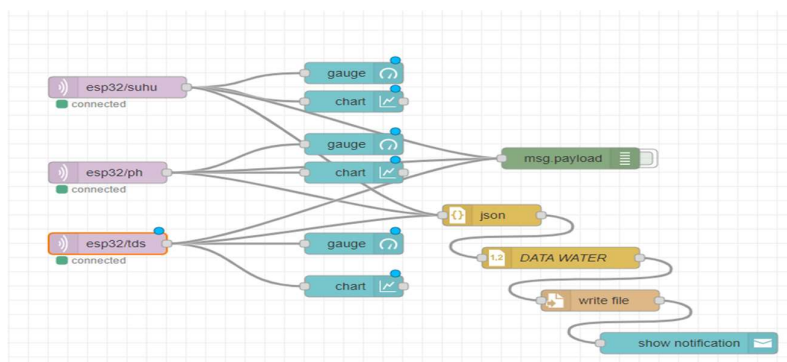


Figure 10. Water Quality Monitoring Display on Node Red

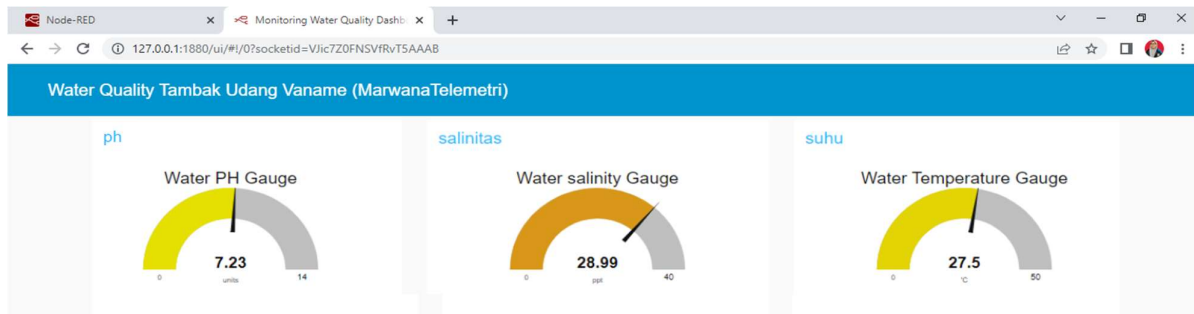


Figure 11. MQTT Dashboard Display Water Quality Monitoring on Node Red

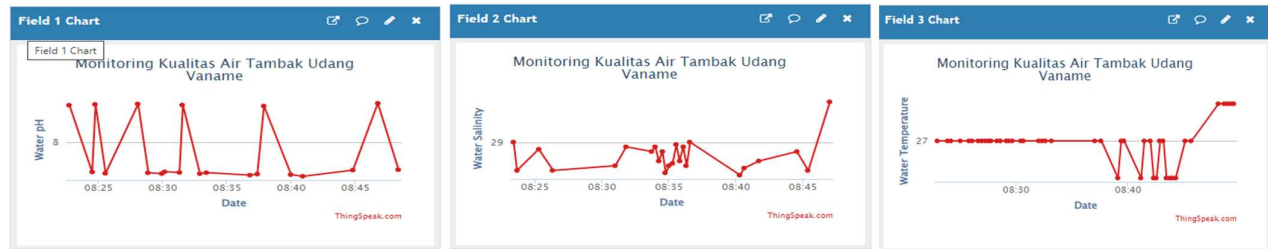


Figure 12. Graphic display of water quality monitoring on Thingspeak



Figure 13. Water Quality Monitoring Display on MyMQTT

TABLE VI
OBSERVATION DATA

No	Date/Time	Water Ph	Water Salinity (ppt)	Water Temperature (°C)
1	2022-09-02/11:01	8.05	19.05	30
2	2022-09-02/11:03	8.07	19.05	30
3	2022-09-02/11:05	7.98	19.07	30.5
4	2022-09-02/11:07	8.34	19.10	30.5
5	2022-09-02/11:09	7.96	19.14	30.5
6	2022-09-02/11:11	8	19.1	31
7	2022-09-02/11:13	7.98	19.09	31
8	2022-09-02/11:15	8.12	19.05	31
9	2022-09-02/11:17	8.14	19.10	31.5
10	2022-09-02/11:19	8.17	19.15	31.5

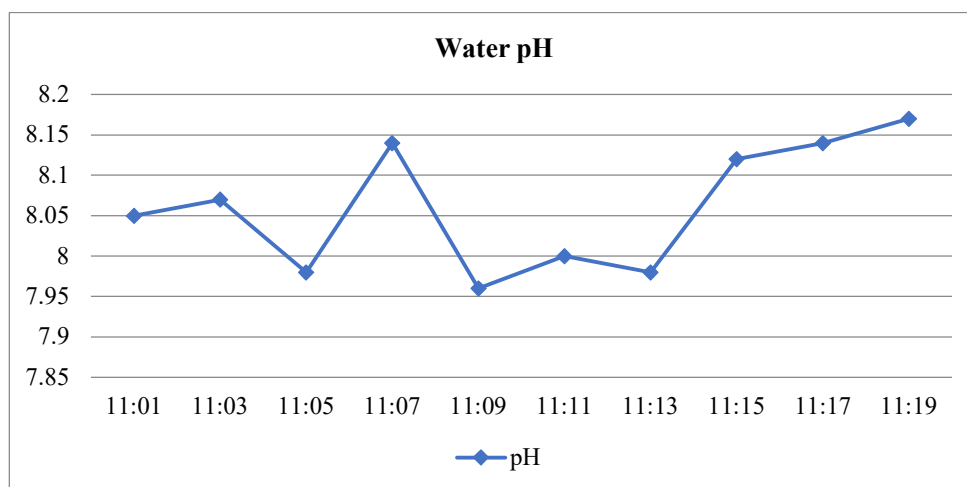


Figure 14. Graph of the Relationship Between Water pH Parameter Values and Time obtained

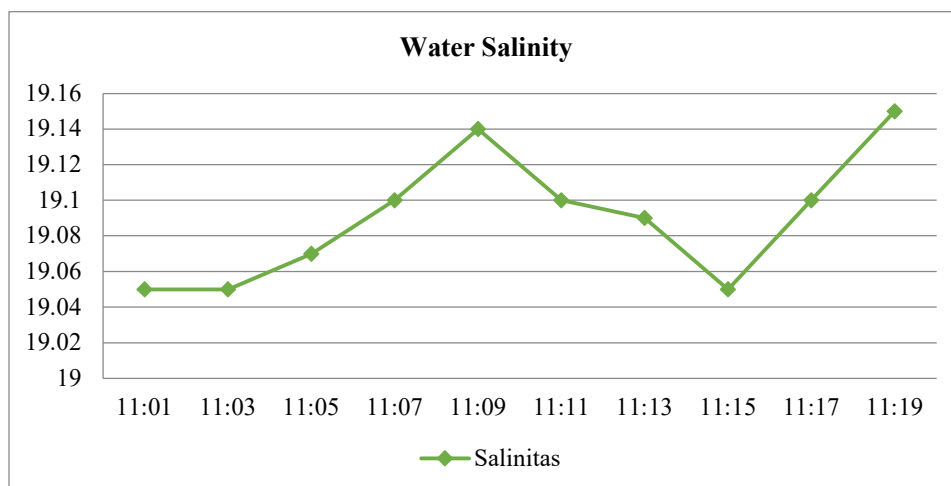


Figure 15. Graph of the Relationship Between Water Salinity Parameter Values and Time Obtained

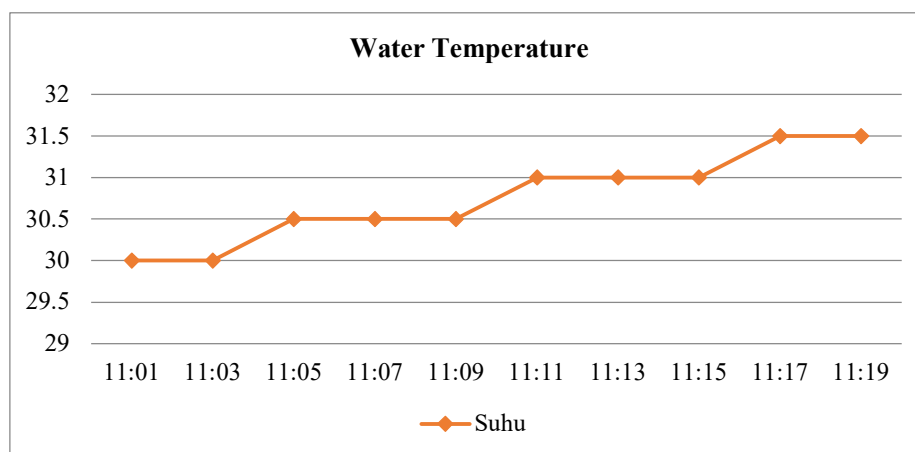


Figure 16. Graph of the Relationship Between Water Temperature Parameter Values and Time Obtained

Based on these tests, it can be seen that the water quality detection system in the form of temperature, pH and water salinity can function well. It can be seen that the sensor can read and measure water quality. The test was carried out on a money container filled with water. The water quality monitoring tool is connected to a power source, namely a lithium battery (charging battery), once connected the tool will operate where the E-4052 C pH sensor will read the pH value of the water, the DFRobot Conductivity/TDS sensor will detect the water salinity value, and the DS18B20 sensor will detect water temperature. Then the

sensor detects the data, the nodeMCU will send the data via the internet to *the database*. The data that has been sent to *the database* will be updated at any time by the broker and will then appear on the main page of the website in the form of numbers and graphs. After that the sensor will work for monitoring.

VI. CONCLUSION

The Quamonitor tool based on *the Internet of Things* (IoT) has been proven to be able to be used to monitor the water quality of white vaname shrimp ponds temperature, pH and salinity of water. Different from other measuring tools, we combine three sensors at once and one microcontroller. Apart from that, this tool also provides a lot of information regarding water quality data in the pond remotely because it is equipped with IoT technology so it can be connected to Android. The test results of the PH sensor, temperature sensor and TDS/salinity sensor obtained a sensor *error percentage* of 0.29 %, 1.7% and 0.41%. From the sensor *error values*, graphs and *real time monitor displays* on Android, it can be said that the creation of an IoT- based vaname shrimp pond water condition monitoring tool was successful and can function well.

It is hoped that further research can be developed by adding a water control system when using an aquarium container.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] A. Zamzami, O. Fransisco, I. Irwan, and M. I. Nugraha, "Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Internet of Things (IoT)," in *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2021, pp. 1–7.
- [2] S. Anwar and A. Abdurrohman, "Pemanfaatan Teknologi Internet of Things untuk Monitoring Tambak Udang Vaname Berbasis Smartphone Android Menggunakan Nodemcu Wemos D1 Mini," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 5, no. 2, pp. 77–83, 2020, doi: 10.32897/infotronik.2020.5.2.484.
- [3] M. Marsudiarto, Y. Ariyanto, and S. N. Arief, "Sistem Monitoring dan Controlling Kualitas Air Tambak Udang Vannamei Berbasis Internet of Things (IoT)," in *Seminar Informatika Aplikatif Polinema*, 2020.
- [4] O. Natan, A. I. Gunawan, and B. S. B. Dewantara, "Design and Implementation of Embedded Water Quality Control and Monitoring System for Indoor Shrimp Cultivation," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 129–150, 2019, doi: 10.24003/emitter.v7i1.344.
- [5] D. Eridani, E. D. Widiyanto, and N. Kholid, "Rancang bangun sistem monitoring dan controlling tambak udang windu dengan konsep internet of things menggunakan protokol message queuing telemetry transport," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 5, no. 1, pp. 137–145, 2020, doi: 10.24114/cess.v5i1.14718.
- [6] Z. Zainuddin, R. Idris, and A. Azis, "Water Quality Monitoring System for Vannamae Shrimp Cultivation Based on Wireless Sensor Network In Taipa, Mappakasunggu District, Takalar," in *First International Conference on Materials Engineering and Management-Engineering Section (ICMEMe 2018)*, Atlantis Press, 2019, pp. 89–92. doi: 10.2991/icmeme-18.2019.20.
- [7] M. M. Faruq and D. Hirawan, "Water Quality Monitoring System In Vaname Shrimp At Tirtayasa District Based On Internet Of Things," *1st Int. Conf. Mater. Eng. Manag. - Eng. Sect.*, vol. 165, 2018.
- [8] F. Meyllianawaty Pratiwy, A. Kinasih Jacinda, and A. Yustiati, "Application of IoT-based Technology in Vaname Shrimp Cultivation: A Systematic Literature," *Asian J. Fish. Aquat. Res.*, vol. 15, no. 6, 2021, doi: 10.9734/AJFAR/2021/v15i630354.
- [9] A. Rifa'i, M. U. H. Al Rasyid, and A. I. Gunawan, "SISTEM PEMANTAUAN DAN KONTROL OTOMATIS KUALITAS AIR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN PLATFORM NODE-RED UNTUK BUDIDAYA UDANG," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 7, no. 1, pp. 19–26, 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i1.317.
- [10] N. D. Susanti, D. Sagita, I. F. Apriyanto, C. E. Wahyu, D. A. Darmajana, and A. Rahayuningtyas, "Design and Implementation of Water Quality Monitoring System (Temperature , pH , TDS) in Aquaculture Using IoT at Low Cost," vol. 16, pp. 7–11, 2022.
- [11] A. S. Pratama, A. H. Efendi, D. Burhanudin, and M. Rofiq, "Simkartu (Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang) Berbasis Arduino dan SMS Gateway," *J. SITECH Sist. Inf. dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 121–126, 2019, doi: 10.24176/sitech.v2i1.3498.
- [12] H. Hidayat and H. Hambali, "Rancang Bangun Alat Kontrol Salinitas Air Otomatis pada Budidaya Udang Vaname," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 4, no. 2, pp. 135–143, 2022, doi: 10.31933/rrj.v4i2.457.
- [13] A. B. Pratama, I. Much, I. Subroto, and A. Riansyah, "Sistem Monitoring Dan Kontrol Kualitas Air Pada Kolam Ikan Koi Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 4, no. 3, pp. 171–180, 2022.
- [14] U. Latipah, Z. Alamsyah, and F. Mamdani, "ANALISIS PERANCANGAN SISTEM MONITORING AIR," no. September, 2022.
- [15] S. T. Elektro, F. Teknik, U. N. Surabaya, S. T. Elektro, F. Teknik, and U. N. Surabaya, "SISTEM MONITORING KUALITAS AIR PADA SISTEM AKUAPONIK BERBASIS IOT Risma Alfia Arif Widodo , Nurhayati , Nur Kholis," 2020.
- [16] F. Febrianti, S. Adi Wibowo, and N. Vendyansyah, "IMPLEMENTASI IoT(Internet Of Things) MONITORING KUALITAS AIR DAN SISTEM ADMINISTRASI PADA PENGELOLA AIR BERSIH SKALA KECIL," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 5, no. 1, pp. 171–178, 2021, doi: 10.36040/jati.v5i1.3249.
- [17] A. Firdhouzi, P. H. Trisnawan, and D. P. Kartikasari, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air dengan menggunakan Arsitektur Jaringan Internet of Things," vol. 4, no. 10, pp. 3623–3629, 2020.
- [18] V. Gnanasagar and V. Mannava, "Design and Implementation of a Controller for a Recirculating Aquaponics System using IoT Design and Implementation of a Controller for a Recirculating Aquaponics System using IoT," no. June, pp. 3–8, 2020.
- [19] S. Mluyati and S. Sadi, "Internet Of Things (IoT) Pada Prototipe Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis MQ-2 Dan SIM800L," *J. Tek.*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [20] C. Journal, Y. Thiro, and K. Yuniur, "Sistem Monitoring Kualitas Air pada Budidaya Perikanan Berbasis IoT dan Manajemen Data," vol. 6, no. 2, 2019.
- [21] A. Lestari and A. Zafia, "Penerapan Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet Of Things," *LEDGER J. Inform. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2022, doi: 10.20895/ledger.v1i1.776.

Rancang Bangun Teko Minum Pintar dan Sehat Berbasis Arduino dan Blynk Menggunakan Sensor Ultrasonik

M. Yonggi Puriza¹, Yandi Anzari², Welly Yandi³, Habib Satria⁴, Ghiri Basuki Putra⁵, Fardhan Arkan⁶, Almeera A R⁷

^{1,3,5,6} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung; email: myonggipuriza@ubb.ac.id

² Program Studi Teknologi Informasi Universitas Nurdin Hamzah

⁴ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Medan Area

[Dikirimkan: 25 Maret 2024, Direvisi: 13 Mei 2024, Diterima: 28 Mei 2024]

Corresponding Author: M. Yonggi Puriza

INTISARI — Minum merupakan proses manusia memenuhi kebutuhan tubuh dalam hal cairan karena 70% tubuh manusia terdiri dari kandungan air. Kebanyakan manusia tidak mengetahui jumlah air yang harus diminum dalam sehari sesuai dengan umur dan berat badan atau sesuai dengan jumlah yang dianjurkan untuk kesehatan tubuh manusia. Oleh karena itu, pembuatan sebuah alat untuk membantu manusia dalam mengatur pola minum yang tergantung dengan aktivitas dan fisik manusia tersebut sangat perlu dilakukan sehingga alat tersebut dapat membantu manusia dalam mengetahui jumlah cairan yang diperlukan serta untuk mencegah penyakit terutama dehidrasi akibat kurangnya minum air. Hal ini memberi gambaran bagi penulis untuk membuat sebuah teko minum cerdas yang dapat membantu kesehatan manusia. Teko minum ini akan terintegrasi dengan perangkat elektronik dengan beberapa sensor sebagai pengukurnya. Seperti sensor pH untuk mengukur pH air karena memengaruhi kesehatan manusia, sensor ultrasonik untuk mengukur jumlah air yang telah diminum oleh manusia, dengan mikrokontroler untuk mengatur pola minum dan mengukur kebutuhan cairan yang dibutuhkan oleh manusia secara spesifik. Banyak di pasaran produk teko air minum cerdas atau *smart water jug*, tetapi hanya sebatas menghitung mundur pola minum dan kapasitas air di dalam wadah. Teko air minum cerdas yang di bangun merupakan sebuah terobosan pengaturan kebutuhan cairan seseorang dengan postur fisik dan aktivitas yang spesifik serta pengaturan secara otomatis kadar cairan dalam tubuhnya dan diharapkan dapat menjaga kesehatan tubuh dalam mengatasi kekurangan cairan serta mencegah dehidrasi dan mungkin penyakit ginjal akibat sering kurangnya minum air.

KATA KUNCI — Arduino, Blynk, Teko Minum, Sensor

I. PENDAHULUAN

Makan dan minum adalah suatu proses rutin yang dilakukan manusia secara terus menerus. Selain menjadi kebutuhan hidup, makan dan minum sangat memengaruhi tingkat kesehatan tubuh manusia tersebut [1]. Pola makan dan minum sangat memengaruhi kesehatan karena tubuh manusia harus mendapatkan asupan makan dan minum beberapa kali dalam sehari terutama untuk minum, dimana baik makan dan minum manusia tidak boleh berlebihan ataupun kekurangan. Minum merupakan proses manusia memenuhi kebutuhan tubuh dalam hal cairan karena sebagian besar tubuh manusia atau kurang lebih 70% mengandung air. Karena itu pola minum dan banyaknya air yang harus diminum menjadi penting terutama untuk mencegah dehidrasi dan penyakit ginjal akibat kurang cairan. Minum memungkinkan manusia untuk mengisi kembali cairan tubuh yang hilang karena melakukan berbagai macam aktivitas. Berbeda dengan proses makan yang cenderung memiliki waktu sama setiap manusia, minum memiliki waktu yang berbeda setiap manusia karena perbedaan aktivitasnya, dimensi tubuh, dan kondisi geografis tempat tinggal manusia tersebut. Oleh sebab itu, perlu diketahui kebutuhan seseorang terhadap asupan mineral yang seharusnya diterima oleh tubuh selama beraktivitas. Aktivitas manusia yang begitu padat mengakibatkan pengabaian terhadap pola minumannya. Hal ini berimbas pada kesehatan manusia tersebut yang cenderung menurun.

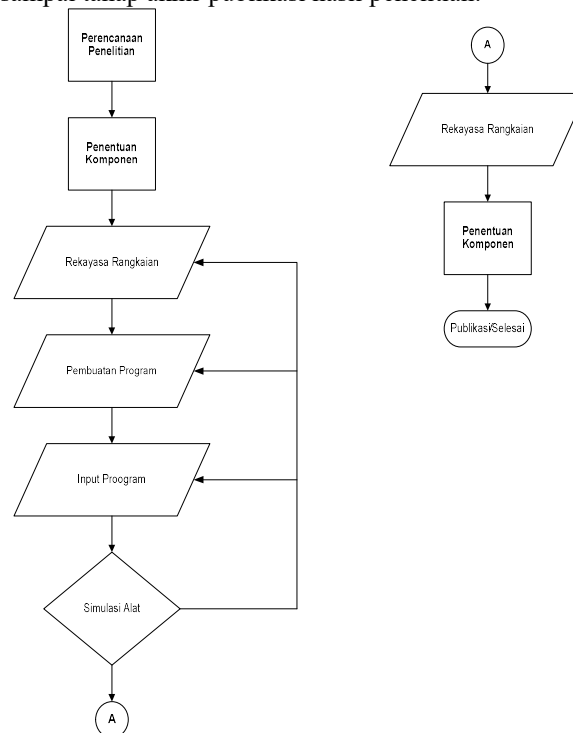
Kebanyakan manusia tidak mengetahui jumlah air yang harus diminum dalam sehari sesuai dengan umur dan berat badan atau sesuai dengan dianjurkan untuk kesehatan tubuh manusia. Karena itu, pembuatan sebuah alat untuk membantu manusia dalam mengatur pola minum tergantung dengan aktivitas dan fisik manusia tersebut sangat perlu dilakukan sehingga alat ini dapat membantu manusia dalam mengetahui jumlah cairan yang diperlukan serta untuk mencegah penyakit terutama dehidrasi akibat kurangnya minum air.

Hal ini memberi ide bagi penulis untuk membuat sebuah teko minum yang cerdas dan dapat membantu kesehatan manusia, dimana teko minum ini akan terintegrasi dengan beberapa perangkat elektronik sebagai sensor terutama sensor pH untuk mengukur pH air karena memengaruhi kesehatan manusia juga [2][3], serta sensor yang dapat mengukur jumlah air yang telah diminum oleh manusia [4] dan mikrokontroler agar dapat mengatur pola minum dan mengukur kebutuhan cairan yang dibutuhkan oleh seorang manusia secara spesifik[5]. Produk semacam ini masih jarang tersedia di pasaran sehingga memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut. Meskipun penelitian tentang analisis tinggi dan aliran fluida dengan menggunakan sensor yang terhubung ke Arduino telah banyak dilakukan [6][7][8][9], namun penerapannya dalam industri air minum, terutama yang berkaitan dengan kesehatan, masih belum umum. Beberapa topik penelitian yang bisa di kembangkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut : 1. *Development of a Smart Water Bottle for Hydration Monitoring*, penelitian ini fokus pada pengembangan botol air pintar yang dilengkapi dengan sensor untuk memantau tingkat hidrasi pengguna. Data yang dikumpulkan oleh botol ini kemudian dapat diakses melalui aplikasi seluler untuk memberikan penggunaan informasi tentang konsumsi air mereka. 2. *Smart Water Bottle Design for Health Monitoring*, penelitian ini bertujuan untuk merancang botol air pintar yang mampu memantau kualitas air dan memberikan informasi tentang kelembapan lingkungan sekitarnya. Selain itu, botol ini juga dapat mengukur suhu air dan

memberikan peringatan jika air terlalu panas atau terlalu dingin untuk dikonsumsi. 3. *Wireless Smart Water Bottle for Fitness Tracking*, penelitian ini fokus pada pengembangan botol air pintar yang terhubung secara nirkabel dengan perangkat pelacak kebugaran seperti jam tangan pintar atau ponsel. Botol ini dapat secara otomatis mencatat jumlah air yang dikonsumsi oleh pengguna dan menyinkronkannya dengan data kebugaran mereka untuk memberikan informasi yang lebih lengkap tentang kesehatan dan kebugaran mereka. 4. *Smart Water Bottle with Integrated Nutrient Analysis*, penelitian ini menggabungkan teknologi sensorik untuk memantau komposisi nutrisi air minum dalam botol pintar. Botol ini dapat mengidentifikasi kandungan nutrisi dalam air, seperti mineral dan elektrolit, dan memberikan informasi kepada pengguna tentang manfaat kesehatan dari konsumsi air tertentu. 5. *IoT-Enabled Smart Water Bottle for Sustainable Consumption*, Penelitian ini berfokus pada pengembangan botol air pintar yang terhubung dengan Internet of Things (IoT) untuk memantau pola konsumsi air pengguna. Dengan memanfaatkan data yang dikumpulkan, botol ini dapat membantu pengguna untuk mengurangi pemborosan air dan mendorong konsumsi yang lebih berkelanjutan[10], [11],[12],[13], [14],[15], [16], [17], [18], [19], [20] .

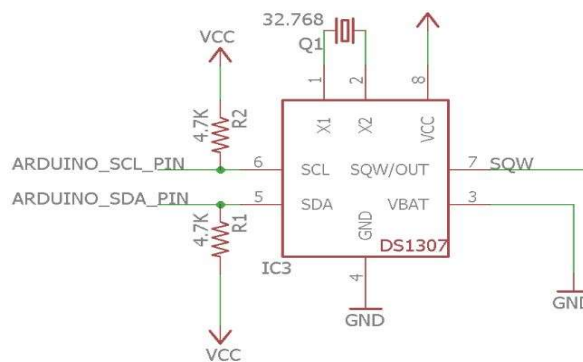
II. METODE PENELITIAN

Pada Gambar 1, dapat dilihat bagaimana diagram alir proses pembuatan teko air pintar dan sehat ini, mulai dari perancangan penelitian, penentuan komponen, rekayasa rangkaian, pembuatan program, input, simulasi alat, rekayasa rangkaian, penentuan komponen, uji coba teko airnya, dan sampai tahap akhir publikasi hasil penelitian.



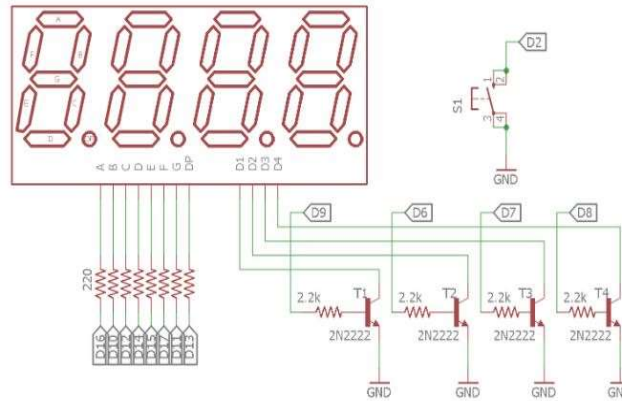
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 merupakan rangkaian kontrol terhadap kualitas dan kapasitas air yang tersedia dan dihubungkan dengan kebutuhan dari pengguna dengan melakukan pengukuran kandungan ion air dalam tubuh pengguna.



Gambar 2. Rangkaian Kontrol

Gambar 3 merupakan rangkaian *display* pelengkap dalam memberikan notifikasi tentang kekurangan cairan dalam tubuh pengguna sehingga dapat menentukan jumlah air yang harus diminum oleh pengguna. Gambar rangkaiannya dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3. Rangkaian Display

Gambar 4 merupakan koding *smart water jug* yang terdapat pada Arduino. Pada koding ini dimaksudkan membagi kondisi air menjadi tiga bagian dengan indikasi LED. Pada saat sensor ultrasonik mendeteksi air di dalam teko penuh, maka perintah dari koding yang terdapat pada Arduino akan menyalakan LED berwarna hijau. Saat air yang terdeteksi sensor ultrasonik di dalam teko masih tersisa setengah, maka Arduino akan menjalankan perintah untuk menyalakan LED berwarna kuning. Dan pada saat sensor ultrasonik mendeteksi kondisi air di dalam teko telah habis, maka koding Arduino akan menjalankan perintah untuk menyalakan LED berwarna merah.

```
Program_Arduino | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help

Program_Arduino

#define triggerPin 3 // Jumper pin trigger sensor ke pin D0 NodeMCU
#define echoPin 4 // Jumper pin echo sensor ke pin D1 NodeMCU
#define led1 8
#define led2 9
#define led3 10

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(triggerPin, OUTPUT);
  pinMode(led1, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
  pinMode(led3, OUTPUT);
}

void loop() {
  //baca permintaan dari nodemcu
  String minta = "";
  //baca permintaan nodemcu
  while (Serial.available() > 0) {
    minta += char(Serial.read());
  }

  //buang spasi yang diterima
  minta.trim();
  //uji variabel minta
  if (minta == "1a") {
    //kirim datanya
  }

  //kirim datanya
}

Done compiling

Sketch uses 7412 bytes (24% of program storage space. Maximum is 263952 bytes.
Global variables use 202 bytes (2% of dynamic memory, leaving 7990 bytes for local variables. Maximum is 8192 bytes.
```

Gambar 4. Koding Smart Water Jug pada Arduino

Gambar 5 merupakan koding *smart water jug* yang terdapat pada nodeMCU. Pada koding ini dibuat perintah untuk mengirimkan data dari Arduino ke aplikasi Blynk yang terdapat pada Android melalui nodeMCU dengan metode serial komunikasi dengan menghubungkan pin RX yang terdapat pada Arduino ke pin D6 yang terdapat pada nodeMCU dan menghubungkan pin TX yang terdapat pada Arduino dan juga menghubungkannya ke pin D7 yang terdapat pada nodeMCU.

```
Program_NodeMCU | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help

Program_NodeMCU

#include <SoftwareSerial.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

char auth[] = "YSHjKy3LsepZv0Hx4tLS_ILyhb3QH6Gk";
char ssid[] = "rumahhantu";
char pass[] = "pe tu la";

//buat variabel untuk software serial (Rx =D6, Tx=D7)
SoftwareSerial DataSerial(D6, D7);

//millis sebagai ganti delay
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 1000;

//variabel array untuk data parsing
String arrData[2];

float tinggi, air;

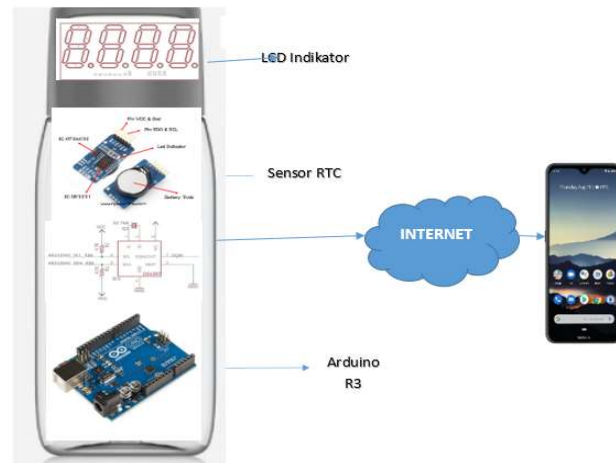
WidgetLCD lcd(V0);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  DataSerial.begin(9600);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  lcd.clear();
}

}
```

Gambar 5. Koding Smart Water Jug pada NodeMCU

Pada rancangan Gambar 6 dapat dilihat bagaimana kerja dari teko pintar dan komponen yang digunakan agar dapat berfungsi. Teko minum ini dapat diakses menggunakan *smartphone* untuk melihat data berapa banyak air yang kita minum dan kebutuhan air minum bagi kita sesuai dengan data yang dimasukkan. Diharapkan dengan teko air minum ini dapat membantu dalam mencegah dehidrasi dan mengetahui kebutuhan air minum manusia setiap hari.

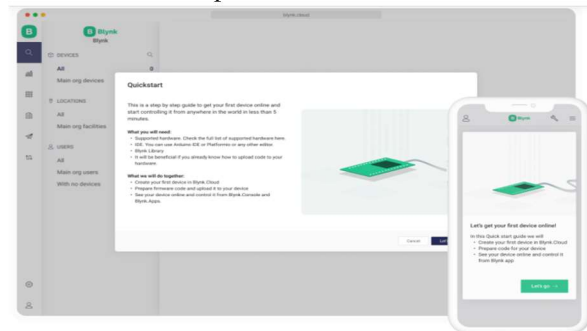


Gambar 6. Rancangan Teko Air Pintar dan Sehat

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada mulanya alat yang akan dirancang menggunakan botol air minum seperti Gambar 6. Prinsip kerja secara sederhananya adalah alat ini dapat memberitahukan dan memperingatkan pengguna jika belum memenuhi standar kebutuhan air minum untuk berbagai usia. Pengguna hanya perlu memasukkan usia mereka. Perhitungan penggunaan air didasarkan pada level ketinggian air yang dipantau oleh sensor ultrasonik melalui rangkaian kontrol yang dikirim ke Arduino. Oleh Arduino informasi ini diproses dan ditampilkan ke *display* juga dikirimkan ke pengguna melalui aplikasi Blynk.

Aplikasi Blynk ini adalah aplikasi gratis yang tersedia untuk *mobile operating system* seperti Android dan IOS untuk keperluan pemantauan dan pengendalian modul Arduino, Raspberry Pi, WEMOS D1, dan lainnya melalui internet. Aplikasi ini termasuk dalam konsep IoT (*Internet of Things*), yaitu *device* atau peralatan yang dapat bekerja mengirimkan dan menerima data melalui jaringan internet tanpa campur tangan manusia. Unsur-unsur yang terkandung dalam IoT, diantaranya adalah *Artificial Intelligence* – AI (kecerdasan buatan), konektivitas tanpa campur tangan manusia, melibatkan sensor dan ukuran perangkat yang cenderung kecil. Aplikasi Blynk dan IoT ini telah banyak digunakan dibidang kesehatan yang dapat membantu pekerjaan tenaga kesehatan seperti dokter untuk bekerja secara lebih mudah dan lebih presisi untuk meminimalisasi risiko kesalahan.



Gambar 7. Petunjuk Penggunaan Aplikasi Blynk yang Dapat Diunduh Secara Gratis di Website-nya: <https://Blynk.io/>

Pembuatan alat menggunakan teko air minum ternyata terkendala sensor ultrasonik yang tidak kedap air dan tidak memenuhi standar *food grade* dan belum ada lem khusus yang memenuhi standar *food grade* sehingga aman untuk bersentuhan langsung dengan air minum didalam teko nantinya. Sensor ultrasonik kedap air ini penting karena sensor ini nanti akan terkena air langsung karena berada di mulut teko. Sensor ultrasonik ini juga ukurannya cukup besar sehingga akan menyulitkan jika diletakkan di atas mulut teko yang sempit. Peletakan sensor ultrasonik di bagian atas teko penting dilakukan karena sensor inilah nanti yang akan mengukur ketinggian air untuk diproses oleh Arduino sehingga datanya bisa dikirimkan ke pengguna.

Standar *food grade* juga penting untuk dipenuhi oleh sensor ultrasonik dan lem yang digunakan untuk merekatkan sensor ini di mulut teko setelah melubangi teko untuk keperluan jalur perkabelan. *Food grade* bermakna seluruh material dan alat yang bersentuhan langsung dengan makanan terbukti aman dikonsumsi dan juga aman serta tahan terhadap suhu tinggi. Jika masih menggunakan teko, maka kedua persyaratan di atas tidak bisa penulis penuhi sehingga tim memutuskan untuk menggunakan teko air minum.



Gambar 8. Teko Air yang Sudah Terpasang Mikrokontroler

Prinsip kerja teko air minum pada Gambar 8 sama persis dengan teko yaitu mendeteksi jumlah air yang telah diminum oleh pengguna dan memberitahukan pengguna jika belum memenuhi standar air minum yang dianjurkan berdasarkan usia pengguna. Perbedaan hanya terdapat pada penggunaan alat saja. Kalau teko airnya langsung diminum sedangkan teko air tidak langsung diminum di teko tersebut.



Gambar 9. LED Indikator Hijau Kondisi Air di Teko Masih Penuh

Setelah dilakukan uji coba dari penelitian, didapatkan hasil bahwa alat bekerja sesuai dengan program yang telah dibuat seperti pada Gambar 9 air teko pada kondisi penuh dan LED memberikan indikasi warna hijau.



Gambar 10. LED Indikator Kuning Kondisi Air di Teko Tinggal Separuh

Setelah dilakukan uji coba dari penelitian, didapatkan hasil bahwa alat bekerja sesuai dengan program yang telah dibuat seperti pada Gambar 10 air teko pada kondisi setengah dan LED memberikan indikasi warna kuning.



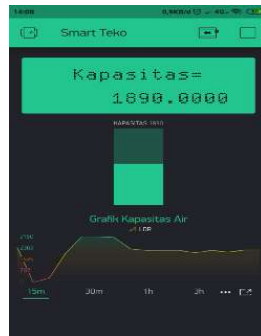
Gambar 11. LED Indikator Merah Kondisi Air di Teko Sudah Habis

Setelah dilakukan uji coba dari penelitian didapatkan hasil bahwa alat bekerja sesuai dengan program yang telah dibuat seperti pada Gambar 11 air teko pada kondisi habis dan LED memberikan indikasi warna merah.



Gambar 12. Tampilan Antarmuka Aplikasi Blynk yang Menampilkan Kondisi Air di Teko Habis

Gambar 12 merupakan tampilan dari antarmuka aplikasi Blynk yang terpasang di Android yang menampilkan pada saat kondisi air didalam teko kosong yang memiliki kapasitas penyimpanan penuh.



Gambar 13. Tampilan Antarmuka Aplikasi Blynk yang Menampilkan Kondisi Air di Teko Setengah

Gambar 13 merupakan tampilan dari antarmuka aplikasi Blynk yang terpasang di Android yang menampilkan pada saat kondisi air setengah didalam teko yang memiliki kapasitas penyimpanan setengah.



Gambar 14. Tampilan Antarmuka Aplikasi Blynk yang Menampilkan Kondisi Air di Teko Penuh

Gambar 14 merupakan tampilan dari antarmuka aplikasi Blynk yang terpasang di Android yang menampilkan pada saat kondisi air penuh didalam teko yang memiliki kapasitas penyimpanan nol.

IV. KESIMPULAN

Alat sudah berhasil dirancang dan dirangkai serta menunjukkan performa yang cukup baik. Arduino dan sensor berkerja dengan baik. Penulisan program perintah Arduino juga sudah bekerja dengan baik. Konektivitas aplikasi Blynk dan *smartphone* Android juga terlihat bekerja dengan baik.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bangka Belitung yang Telah Membiayai penelitian ini melalui Skema PDTJ Sesuai DIPA Universitas Bangka Belitung dengan Nomor DIPA- 023.17.2.677533/2021

REFERENSI

- [1] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum," *Peratur. Menteri Kesehat. Republik Indones.*, pp. 1–20, 2017.
- [2] E. Ihsanto and S. Hidayat, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Ph Meter dengan Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno," *J.*

- Teknol. Elektro*, vol. 5, no. 3, 2014, doi: 10.22441/jte.v5i3.769.
- [3] Amrullah, A. Karim, and H. Hardyanto, "Alat Pengisian Air di Botol Menggunakan Arduino," *Din. Inform.* 2021, vol. 1, no. 2, pp. 128–131, 2021.
- [4] F. Cahyo P, M. Rosmiati, and A. Sularsa, "Dispenser Pintar Menggunakan Sensor Jarak Berbasis Arduino (DISTIS)," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 267–272, 2020.
- [5] A. Arfandi and Y. Supit, "Pengisian Depot Air Minum Isi Ulang Berbasis Arduino Uno," *J. Sist. Inf. Dan Tek. Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 91–99, 2019.
- [6] U. M. Arief, "Pengujian Sensor Ultrasonik PING untuk Pengukuran Level Ketinggian dan Volume Air," *J. Ilm. "Elektrikal Enjiniring" UNHAS*, vol. 09, no. 02, pp. 72–77, 2011.
- [7] D. Hartanti, W. H. Martono, and S. P. Sihombing, "Perangkat Pencatat Pintar Aliran Tangki Bensin Menggunakan Sensor Rfid," *J. Ilm. FIFO*, vol. 9, no. 2, p. 163, 2017, doi: 10.22441/fifo.2017.v9i2.010.
- [8] I. Gani, M. Jamil, and A. Sardju, "Sistem Monitoring Tinggi Permukaan Air Panci Penguapan Berbasis Node MCU Dengan Menggunakan Teknologi Internet of Things (IoT)," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 53–58, 2019, doi: 10.33387/protek.v6i2.1202.
- [9] B. Muslim, A. Dinata, and Y. I. Mukti, "Prototype Pengukur Tinggi Rendah Permukaan & Arus Air Sungai Memprediksi Kemungkinan Banjir," *J. FASILKOM*, vol. 11, no. 2, pp. 112–118, 2021.
- [10] E. Jovanov, V. R. Nallathimareddygar, and J. E. Pryor, "SmartStuff: A case study of a smart water bottle," *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, vol. 2016-October, no. March, pp. 6307–6310, 2016, doi: 10.1109/EMBC.2016.7592170.
- [11] E. Jovanov, "Wearables Meet IoT: Synergistic Personal Area Networks (SPANs)," *Sensors*, vol. 19, no. 19, p. 4295, Oct. 2019, doi: 10.3390/s19194295.
- [12] Y. Chen and F. Castleman, "Effects of Smart Bottles on Water Consumption and Health Status of College Students," *Int. J. Phys. Educ. Fit. Sport.*, vol. 12, no. 3, pp. 84–91, 2023, doi: 10.54392/ijpefs2338.
- [13] J. Mendes, A. Curralo, A. Curado, and S. I. Lopes, "Fostering Sustainability on Campus: Design of an IoT-Enabled Smartbottle for Plastic Reduction in the Academic Environment," *Lect. Notes Networks Syst.*, vol. 277, no. June, pp. 18–25, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-80415-2_3.
- [14] R. Cohen, G. Fernie, and A. Roshan Fekr, "Monitoring fluid intake by commercially available smart water bottles," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-08335-5.
- [15] N. E. Lee, T. H. Lee, D. H. Seo, and S. Y. Kim, "A smart water bottle for new seniors: Internet of Things (IoT) and health care services," *Int. J. Bio-Science Bio-Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 305–314, 2015, doi: 10.14257/ijbsbt.2015.7.4.30.
- [16] M. K. M S, "IoT Based Smart Water Bottle," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 12, pp. 322–327, 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.57315.
- [17] L. L. Jalagam, "IoT Based Smart Water Bottle," *SSRN Electron. J.*, pp. 2–7, 2021, doi: 10.2139/ssrn.3919060.
- [18] A. F. Curralo, S. I. Lopes, J. Mendes, and A. Curado, "Joining Sustainable Design and Internet of Things Technologies on Campus: The IPVC Smartbottle Practical Case," *Sustain.*, vol. 14, no. 10, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/su14105922.
- [19] N. J. Okoli and B. Kabaso, "Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 4, 2024, doi: 10.3390/w16040557.
- [20] M. J. Mudumbe and A. M. Abu-Mahfouz, "Smart water meter system for user-centric consumption measurement," *Proceeding - 2015 IEEE Int. Conf. Ind. Informatics, INDIN 2015*, no. July 2015, pp. 993–998, 2015, doi: 10.1109/INDIN.2015.7281870.

Assessing Voltage and Frequency Instability in Renah Kemumu's Micro Hydro Power Plant

Dasrinal Tessel¹, Joko Candra², Abdul Manab³, Dean Corio⁴

^{1,2,3} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Jambi; email: dasrinaltessel@unja.ac.id, jokocandra13@gmail.com, am@unja.ac.id

⁴ Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Sumatera; email: dean.corio@el.itera.ac.id

[Received: 23 December 2023, revised: 20 May 2024, Accepted: 28 May 2024]

Corresponding Author: Dean Corio

ABSTRACT — The increasing demand for energy and the need for environmental sustainability have led to the adoption of renewable energy sources, such as micro-hydropower plants (PLTMH), in isolated communities in Indonesia. However, voltage and frequency instability issues are commonly encountered in PLTMH systems, which undermine their performance. In 2009, a micro-hydropower plant with a capacity of 30 KW was built in Renah Kemumu village. Renah Kemumu village is located in Jangkat sub-district, Merangin district, Jambi province. In this study, the voltage and frequency instability of PLTMH in Renah Kemumu Village were investigated. The methodology employed in this study was observational. The voltage and frequency data were measured and recorded during peak load hours from 18.00 to 21.00 over one month. The percentage increase relative to the standard voltage and frequency was calculated. Boxplots were generated to visualize the distributions. The voltage measurements showed maximum and minimum values of 270 V and 264 V, representing increases of 22.72 % and 20.45% from the 220 V (standard set by the power utility (PLN)). The frequency ranged from 66.32 Hz to 57.46 Hz, corresponding to 30.92% and 14.92% deviations from the 50 Hz (standard set by the power utility (PLN)). These values exceeded the tolerance limits of the State Electricity Company of Indonesia. The analysis indicates that the voltage and frequency levels at the PLTMH in Renah Kemumu Village are unstable during peak loads, with fluctuations stemming from changing water flows, load currents, and weather conditions.

KEYWORDS — PLTMH, Voltage Instability, Frequency Instability, Peak Load, Water Flow Regulation, Load-Current Fluctuations

I. INTRODUCTION

The escalating demand for energy and the imperative for environmental sustainability are driving the exploration of alternative energy sources such as micro-hydropower plants (PLTMH). PLTMHs, known for their lower production capacity compared to larger generators, have emerged as a novel solution for isolated communities, such as Renah Kemumu Village, which have not yet been integrated into the national power grid. The adoption of these micro hydro plants in such locales not only bolsters the movement towards clean energy [1] but also plays a significant role in enhancing the well-being of the community by ensuring a consistent and dependable source of electricity, [2], [3].

However, the deployment of these systems often encounters technical hurdles, particularly in maintaining consistent voltage and frequency levels [4], [5], [6]. This aspect is crucial, as it has a direct impact on supply reliability and efficiency. Fluctuations in the voltage and frequency can lead to disruptions in electronic devices and diminish the infrastructure lifespan [7], [8]. In Renah Kemumu Village, addressing these issues is a priority, given the unique aspects of the PLTMH system and the specific geographical factors that influence plant performance.

Thus, an in-depth analysis of the instabilities in the voltage and frequency within PLTMH systems is critical. This study is dedicated to pinpointing the root causes of these instabilities [9], [10] and devising effective strategies to enhance the functionality of PLTMHs in Renah Kemumu Village. The insights gained from this study are expected to guide the development of PLTMH systems in other regions in similar contexts, aiding the broader mission of fortifying the dependability of renewable energy sources in Indonesia.

II. THEORY

A. PREVIOUS STUDIES

The research presented in this paper includes the development and testing of innovative control techniques aimed at enhancing the performance of power generation systems, with a particular focus on micro-hydropower plants (PLTMH). Zulfatman and his team investigated Flow Valve Control (FVC) and Electronic Load Control (ELC) strategies to expedite response times and minimize Total Harmonic Distortion (THD) in PLTMH outputs [11]. The simulation outcomes indicated notable improvements in the response times and reductions in THD with the implementation of these control techniques. Ari Rahyuningtyas and colleagues [12] delved into load regulation systems within PLTMH, striving to uphold electrical voltage and frequency stability. This system proactively adjusts to load variations, ensuring consistent loading of the turbines and generators to maintain the system equilibrium.

Muhammad Prambudi's team introduced the PID-GA and PID-PSO methods, aiming to enhance the frequency and voltage quality in power generation systems [13]. Testing of these methods demonstrated their effectiveness in sustaining the frequency and voltage stability of the PLTMH under fluctuating loads. Srikanta et al. explored the integration of fuzzy PID controllers combined with the L-CSA algorithm in power systems, successfully ensuring the frequency and power stability of connection lines,

even under uncertain conditions. Syarifudin Nojeng [14] underscored the critical role of optimal load shutdown as an immediate strategy to boost transient stability in electrical power systems, particularly in stabilizing synchronous generators. These studies collectively underscore the advancement of novel control methodologies for maintaining frequency and voltage stability in power generation systems. This is particularly relevant in micro-hydropower contexts, as it ensures optimal performance with significant load variations. Ningsih et al. developed a micro-hydro-frequency and voltage stabilization control system [15]. This system utilizes a rotating generator to deliver voltage to the primary load. Voltage sensors relay information to a microcontroller via an Analog-to-Digital Converter (ADC), triggering a proportional-integral-derivative (PID) algorithm that feeds it into a Pulse-Width Modulation (PWM) unit. The PWM then directs the pulse signals to a dummy load-control circuit, acting as a switch. To maintain the generator voltage at 220 Vac, the system responds to the voltage fluctuations detected by the sensors, with the microcontroller interpreting this data and the PID algorithm minimizing errors before informing the PWM. PWM regulates dummy load. This dummy load balances the primary load, ensuring that the generator operates at 220 Vac. The ability of the system to maintain a generator voltage of 220 Vac and frequency of 50 Hz under varying dummy load conditions was confirmed by measurements. Furthermore, the adoption of an Induction Generator Controller (IGC) and a Dspic 30f4012 microcontroller enables automatic control of the generator. This study also highlighted that electronic load control can significantly reduce damage resulting from unstable frequency outputs in the distribution system [16].

B. VOLTAGE STABILITY

Voltage stability is defined as the ability of an electrical system to maintain a constant voltage at all busbars within the system under normal operating conditions and after disturbances. It must comply with established standards [17]. A system is considered to be voltage-unstable when faults occur, load demand increases, or system conditions change, leading to a gradual and uncontrolled decrease in voltage. The primary factor contributing to instability is the inability of the power system to satisfy the reactive power requirements. The core issue often lies in the voltage drop that occurs as active and reactive power flow through inductive resistors in the transmission network. Control of the voltage and system power will always be maintained if a stable voltage is maintained. The main factor that causes voltage instability is the limited capability of the transmission network to transmit power [18]. As some generators reach their reactive power limits, power transmission becomes increasingly restricted. Load is the primary cause of voltage instability. The distribution voltage regulators and additional load transformers are expected to mitigate these disturbances and restore the power consumed by the load. Load restoration increases the pressure on the high-voltage network, leading to greater voltage dissipation. This results in a voltage instability. Frequency stability refers to a system's ability to maintain the frequency within a predetermined range and to comply with standards [19]. Frequency stability can be influenced by the load shedding or disconnection of the generators in the system. Frequency instability can lead to load shedding and even cause generators to become unsynchronized in the system [20].

C. ANALYSIS OF VOLTAGE INSTABILITY AT PEAK LOAD

Voltage and frequency stability analysis involves periodic measurements and recording of voltage and frequency values according to a predefined schedule, typically hourly during peak-load conditions [21]. This process aims to capture changes in the voltage and frequency values, thereby facilitating the generation of graphical representations. The recorded values correspond to the voltage and frequency when the generator is under load, allowing the assessment of load-induced impacts on voltage and frequency variations. Notably, the standards set by the power utility (PLN) specify tolerances for voltage fluctuations, ranging from -10% to +5% of the nominal voltage of 220 V. These tolerances ensure that the voltage remains within an acceptable range of 198–231 V [22]. Voltage, also known as the potential difference (V), represents the effort required to move the charge from one component terminal to another. It can be conceptualized as the energy per unit charge released as a result of the actual work performed. Voltage stability issues, which lead to voltage collapse in the power system, can occur because of sudden load increases exceeding the capacity of the system or tripping of a generator unit. The voltage drops, known as voltage regulation, is determined by the difference between the sending and receiving end voltages, and is influenced by the impedance and admittance of the transmission line, load, and power factor. Effective voltage regulation is crucial in power systems, and involves adjustments at the substation, transmission lines, and generation levels to maintain voltage stability [23].

D. FREQUENCY INSTABILITY ANALYSIS OF THE PEAK LOAD

Frequency is defined as the number of cycles per second, and in the context of electrical systems, it represents the quantity of electrical waves in seconds. The electrical frequency is a crucial parameter in electrical wave analysis and significantly influences the performance of an electrical system. Changes in frequency can have a substantial impact on certain devices, with one consequence being the instability of electric motor rotations, which is a critical driver in industrial production machinery. Frequency instability, particularly a drastic decrease, can lead to complete system blackout [24]. A strategy for anticipating a potentially drastic frequency drop involves shedding a portion of the load carried by the system. Releasing part of the load reduces the burden on the operating power generators, restoring the frequency to normal once a balance is achieved between generation and load. Load shedding must be promptly executed when the frequency of the system begins to decrease significantly. According to IEEE standards, the permissible frequency deviation is $\pm 1\%$ from the standard frequency, which is 50 Hz in Indonesia. The SPLN frequency standards in Indonesia aim not to fall below 49.5 Hz or exceed 50.5 Hz. In emergency situations and disturbance scenarios, the allowable frequency tolerance ranges from a decrease to 47.5 Hz and an increase to 52 Hz.

III. METHOD

The methodology employed in this study was observational and did not influence the variables under investigation. Rather, it serves the purpose of recording and observing the measured data. This research entails the collection of data concerning the rotational speed of the generator, voltage, frequency, and load on each phase, R, S, and T. The data utilized in this study are quantitative in nature, involving numerical figures, such as load measurements on each phase R, S, and T, and subsequent data processing. Upon data acquisition, a data processing procedure was initiated to derive conclusions from the results of the data analysis. The daily load of a micro-hydropower plant (PLTMH) or consumers encompasses the load of consumers within Renah Kemumu Village, Merangin Regency, Jambi Province. The village comprises 81 houses, one mosque, and one building used for weddings and customary events.

The analysis of the daily load was conducted during peak load hours, occurring between approximately 18:00 and 21:00. During this timeframe, residents heavily utilize electricity for cooking, washing, ironing, watching television, and other activities. Normal load conditions prevailed from 21:00 to 08:00 WIB. The PLTMH in Renah Kemumu Village operates solely from 21:00 to 8:00 WIB. Flow chart diagram for this study are figure 1

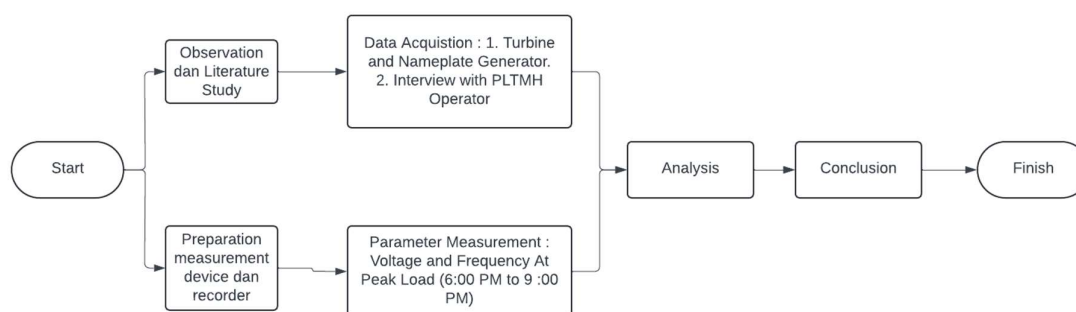


Figure 1. Flow Chart Diagram Methods of this study

IV. RESULT AND DISCUSSION

A. SPECIFICATION

The system employs two crossflow turbines capable of operating effectively within a head range of 5–200 m and processing flow rates ranging from 0.03 to 16 m³/s.

TABLE I
SPECIFICATION MICRO HYDRO

Parameter	Specification
Turbine Type	Crossflow
Number of Turbines	Two
Head Range	5-200 meters
Flow Rate	0.03-16 m ³ /s
Capacity	10-7000 kW
Turbine Efficiency	84%
Generator Type	Synchronous Generator
Model	S274G100B3
Voltage	380 V
Phase	3 Phase
Field Voltage	37.8 V
Number of Poles	4 Poles
Rotational Speed	50Hz - 1500 rpm
Power Factor	0.8
Frequency	50 Hz
Excitation Current	9.5 A

With a capacity ranging from 10 kW to 7000 kW, the crossflow turbines exhibited an efficiency of 84%, illustrating their proficiency in converting water energy into electrical power. The synchronous generator, model S274G100B3, operates at 380 V in three phases, a field voltage of 37.8 V, and features four poles rotating at speeds ranging from 50 Hz to 1500 rpm. In addition, the generator maintained a power factor of 0.8, operated at a frequency of 50 Hz and required an excitation current of 9.5 A. This detailed analysis enhances the understanding of the operational and technical characteristics of crossflow hydroelectric power generation components, aiding the optimization of system performance for increased efficiency and productivity, as shown in Table 1.

B. VOLTAGE ANALYSIS AT PEAK LOAD

In Figure 2, there is a visual representation of three-phase voltage data measured over a one-month period at peak load, namely between 18.00 and 21.00. The three voltage channels, R, S, and T, exhibit significant voltage distribution characteristics. In the R channel, the median voltage recorded was 245 V, with the lower quartile (Q1) at 240 V and upper quartile (Q3) at 250 V. The interquartile ranges (IQR) reached 10. The S channel showed a median of 248 V, Q1 245 V, Q3 252 V, and IQR 7 V. Channel T has a median of 243 V, Q1 240 V, Q3 245 V, and IQR 5 V. The whiskers on each channel expanded until they reached the maximum and minimum values, with some outliers appearing as isolated points, indicating significant deviations from the main stress distribution. This analysis provides a deep understanding of stress variations and potential anomalies during peak load periods.

Examining the percentage of voltage increase during peak loads in the initial week, the highest and lowest increases were observed at 30.92% and 21.74%, respectively. In the second week, these percentages fluctuated between 30.92% and 14.92%, respectively. The third week witnessed a range of 32.64% to 21.74% in voltage increase, whereas the fourth week showed variations between 30.92% and 21.74%. According to (State Electricity Company of Indonesia) standards, the permissible deviation from the standard frequency of 50 Hz is $\pm 1\%$. Consequently, frequencies should ideally not fall below 49.5 Hz or exceed 50.5 Hz.

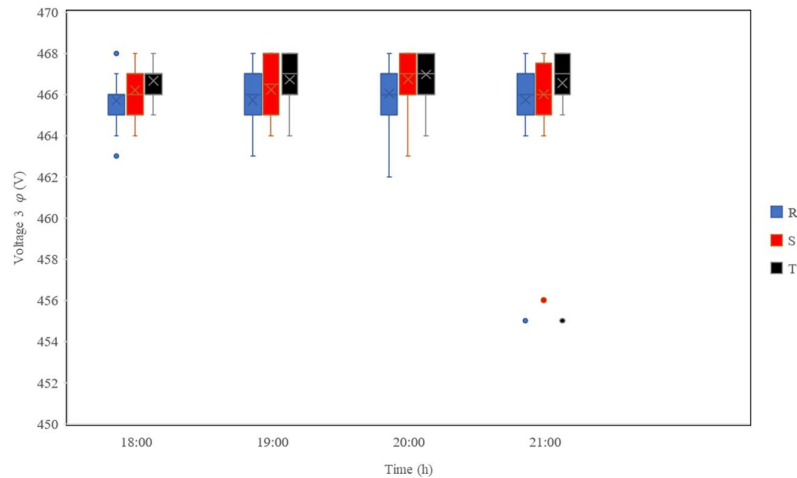


Figure 2. PLTMH voltage during peak load (18.00 to 21.00) in the span of 1 month

However, at the micro hydropower plant (PLTMH) in Renah Kemumu Village, the frequency variations during peak loads deviated significantly from the standard voltage allowed by the National Electricity Company (PLN). The highest and lowest frequency increases were 32.64% and 14.92%, respectively. These variations in the PLTMH of Renah Kemumu Village represent significant deviations from the SPLN standard, exceeding the allowed tolerance limits for frequency changes.

C. FREQUENCY ANALYSIS AT PEAK LOAD

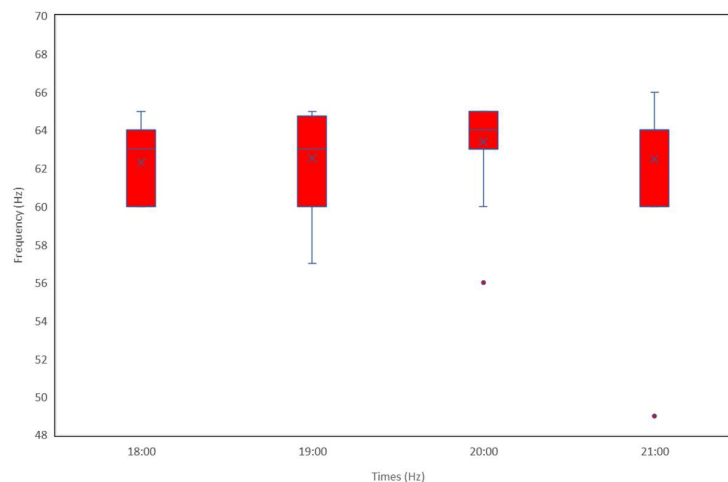


Figure 3. PLTMH frequency during peak load (18.00 to 21.00) within 1 month

Figure 3 shows a box plot representing the frequency data over time during peak load hours from 18:00 to 21:00, collected over a month. The horizontal axis is labeled "Times (h)" and marks the time slots at 18:00, 19:00, 20:00, and 21:00. The vertical axis is labeled "Frequency (Hz)" and shows a range from approximately 48 Hz to 70 Hz.

Each box plot represents data for one of the hours mentioned, with the central box depicting the interquartile range (IQR), which contains the middle 50% of the data. The line inside the box indicates the median frequency, and the 'X' within the box denotes the

mean frequency. The whiskers extend from the top and bottom of the box to the highest and lowest values within 1.5 times the IQR from the upper and lower quartiles, respectively. Points outside this range are considered outliers, and are represented by dots.

Comparing the observed frequencies with the standard frequency range permitted by the Indonesian electricity company PLN (49.5 Hz to 50.5 Hz), it is clear that the values are significantly higher than the standard range. This could indicate an over-frequency condition, which may suggest that the power system is experiencing a lower load than anticipated, or that there is an excess of generation relative to demand. It is important to maintain the frequency within prescribed standards to ensure the stability and reliability of the power grid. Deviations from this range can lead to equipment damage and operational inefficiency.

D. ANALYSIS

This research identified several factors contributing to voltage and frequency instability in the micro hydropower plant (PLTMH) of Renah Kemumu Village. The primary cause of this instability is the fluctuating water flow controlled by the operator, which affects the turbine rotation, leading to high generator speeds, and consequently, high voltage and frequency outputs. Additional factors include the constantly changing load currents and rainy weather conditions. These variable load currents result in inconsistent generator rotations, which destabilize the generated voltage and frequency.

Specifically, voltage instability during the peak load periods was noted, with the highest and lowest voltages recorded at 270 V and 264 V, respectively, and the highest and lowest percentage increases from the standard voltage of 22.72% and 20.45%, respectively. The highest and lowest observed frequencies were 66.32 Hz and 57.46 Hz, with the percentage increasing from the standard frequency to 30.92% and 14.92%, respectively. These measurements and data analyses indicate that the voltage and frequency levels at PLTMH in Renah Kemumu Village during peak loads are not in accordance with the standards and exceed the tolerance limits allowed by (State Electricity Company of Indonesia)

V. CONCLUSION

This research identified several factors contributing to voltage and frequency instability in the micro hydropower plant (PLTMH) of Renah Kemumu Village. The primary cause of this instability is the fluctuating water flow controlled by the operator, which affects the turbine rotation, leading to high generator speeds, and consequently, high voltage and frequency outputs. Additional factors include the constantly changing load currents and rainy weather conditions. These variable load currents result in inconsistent generator rotations, which destabilize the generated voltage and frequency. Specifically, voltage instability during the peak load periods was noted, with the highest and lowest voltages recorded at 270 V and 264 V, respectively, and the highest and lowest percentage increases from the standard voltage of 22.72% and 20.45%, respectively. The highest and lowest observed frequencies were 66.32 Hz and 57.46 Hz, with the percentage increasing from the standard frequency to 30.92% and 14.92%, respectively. These measurements and data analyses indicate that the voltage and frequency levels at PLTMH in Renah Kemumu Village during peak loads are not in accordance with the standards and exceed the tolerance limits allowed by the State Electricity Company of Indonesia.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

- [1] D. H. N. Cahyo, *Evaluasi Kinerja Instalasi Mikrohidro Tanpa Elektronik Load Controller (ELC) Pada PLTMH Tanah Merah Kabupaten Probolinggo*. sipora.polije.ac.id, 2022. [Online]. Available: <https://sipora.polije.ac.id/id/eprint/14387>
- [2] M. Edo and K. H. Khwee, "EVALUASI KONDISI FISIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI DUSUN MEDENG DESA SUNKUNG II KECAMATAN SIDING KABUPATEN ...," *Jurnal Teknik Elektro UNTAN*, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/35379>
- [3] K. Firmanto, A. Hiendro, R. Kurnianto, and ..., "STUDI EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI DUSUN KM. 44 KECAMATAN SAYAN KABUPATEN MELAWI," *Journal of Electrical ...*, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/j3eituntan/article/view/65066>
- [4] M.-S. Gong, Y. R. Seong, and C.-H. Lee, "On-Line Dynamic Voltage Scaling on Processor with Discrete Frequency and Voltage Levels," in *2007 International Conference on Convergence Information Technology (ICCIT 2007)*, 2007, pp. 1824–1831. doi: 10.1109/ICCIT.2007.191.
- [5] S. Sukamta, "Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan," *Edu Elekrika Journal*, 2018, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/eduel/article/view/29118>
- [6] D. W. Kusuma, *Studi Evaluasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Pada Pabrik Kopi Blawan Kabupaten Bondowoso*. sipora.polije.ac.id, 2021. [Online]. Available: <https://sipora.polije.ac.id/id/eprint/9521>
- [7] B. Rajagopal Veramalla and Singh, "Integrated Voltage and Frequency Controllers (IVFCs) for Pico Hydro Off-Grid Power Generation," in *Power Quality: Infrastructures and Control*, S. R. and G. J. M. and K. S. Giri Ashutosh K. and Arya, Ed., Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, pp. 189–215. doi: 10.1007/978-981-19-7956-9_7.
- [8] K. Nisa and R. H. Alfanani, "Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Panel Surya Dan Mikro Hidro Di Taman Airlangga Desa Pataan Kecamatan Sambeng Kabupaten ...," *Nucleus Journal*, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.undar.or.id/index.php/Nucleus/article/view/39>
- [9] N. P. A. Smith, P. Maher, and A. A. Williams, "Chapter 309 - Strategies for Sustainable and Cost-Effective Village Electrification Using Pico Hydro Power," in *World Renewable Energy Congress VI*, A. A. M. Sayigh, Ed., Oxford: Pergamon, 2000, pp. 1490–1495. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-008043865-8/50309-3>.
- [10] I. Mardiyanto, J. Raharjo, S. Utami, W. Mursanto, and A. Harjatmo, "An Improvement in Power Quality and By-Product of the Run-Off River Micro Hydro Power Plant," *Energy Engineering*, vol. 120, pp. 1295–1305, 2023, doi: 10.32604/ee.2023.027756.

- [11] Zulfatman and F. Rahman, "Control System in Micro Hydro Power Plant (PLTMH) to Improve the Response Time and Reduce Total Harmonic Distortion," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 1, no. 2, pp. 152–159, Dec. 2011.
- [12] A. Rahyuningtyas, I. Robandi, and M. Anal, "Micro Hydro Power Plant's Load Regulation System to Maintain the Stability of Voltage and Frequency," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 4, no. 1, pp. 57–62, 2015.
- [13] M Prambudi, I. Robandi, and M. Anal, "Optimization of PID Controller Based on Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization to Improve Micro Hydro Power Plant Stability," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 1468–1478, Sep. 2019.
- [14] P. V RAJ, "Optimum Load Shedding in Power System Strategies with Voltage Stability Indicators," *Engineering*, vol. 02, pp. 12–21, Apr. 2010, doi: 10.4236/eng.2010.21002.
- [15] S. Nojeng, I. Robandi, and M.D. Oktaviana, "Optimal Load Shedding to Improve Transient Stability on Electrical Power System," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 1113–1121, Apr. 2014.
- [16] R. Ningsih, A. Fudholi, M. Anal, and I. Robandi, "Microhydro Generator's Voltage and Frequency Stabilization System," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 4, no. 3, pp. 211–216, 2015.
- [17] R. Maharjan and S. Kamalasadan, "Voltage stability index for online voltage stability assessment," *2015 North American Power Symposium, NAPS 2015*, Nov. 2015, doi: 10.1109/NAPS.2015.7335245.
- [18] J. Fuller, P. Obiomon, and S. I. Abood, "Voltage and Reactive Power Control," *Power System Operation, Utilization, and Control*, pp. 87–123, Jun. 2022, doi: 10.1201/9781003293965-4/VOLTAGE-REACTIVE-POWER-CONTROL-JOHN-FULLER-PAMELA-OBIONMON-SAMIR-ABOOD.
- [19] A. Dixon, "Modern aspects of power system frequency stability and control," *Modern Aspects of Power System Frequency Stability and Control*, pp. 1–321, Jan. 2019, doi: 10.1016/C2017-0-03431-6.
- [20] A. W. Korai and I. Erlich, "Frequency dependent voltage control by der units to improve power system frequency stability," *2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015*, Aug. 2015, doi: 10.1109/PTC.2015.7232349.
- [21] C. Cañizares, L. Rouco, and G. Andersson, "Angle, Voltage, and Frequency Stability," *Electric Energy Systems*, pp. 401–460, Dec. 2017, doi: 10.1201/9781420007275-10.
- [22] S. N. Hidayat, K. Karnoto, and A. Warsito, "ANALISIS PERBANDINGAN NILAI SAIDI(SYSTEM AVERAGE INTERRUPTION DURATION INDEX) DAN SAIFI (SYSTEM AVERAGE INTERRUPTION FREQUENCY INDEX) PLN APJ PURWOKERTO TAHUN 2014, 2015 DAN 2016 DENGAN STANDAR SPLN 1985," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 8–12, Mar. 2018, doi: 10.14710/TRANSIENT.V7I1.8-12.
- [23] C. Kitcher and A. J. Watkins, "Electrical Installation Calculations: Basic," *Electrical Installation Calculations: Basic*, Sep. 2013, doi: 10.4324/9781315871035.
- [24] A. Wang, Y. Tang, H. Sun, W. Wu, and J. Yi, "An adaptive emergency control method for interconnected power grids against frequency decline and system blackout," *10th International Power and Energy Conference, IPEC 2012*, pp. 439–444, 2012, doi: 10.1109/ASSCC.2012.6523308.

Drowsiness Detection in the Advanced Driver-Assistance System using YOLO V5 Detection Model

Muhammad Fauzan Ridho¹, Fransiskus Panca², Welly Yandi³, Almeera Amsana Rachmani⁴

^{1,3,4} Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering Universitas Bangka Belitung;
email: muhammadfauzanridho@ubb.ac.id, wellyyandi.koto@gmail.com, almeera_ar@ubb.ac.id

² Information Technology Department, Faculty of Engineering Universitas Bangka Belitung; email: fransiskuspi@ubb.ac.id

[Received: 18 February 2024, Revised: 17 May 2024, Accepted: 28 May 2024]

Corresponding Author: Muhammad Fauzan Ridho

ABSTRACT — The development of Artificial Intelligence (AI) in the automobile industry, particularly in the Advanced Driver-Assistance System (ADAS), has been increasing rapidly in recent years. One of the essential features of ADAS is the drowsiness alert system, which monitors the state of the driver's eyes. This article presents a study on the development of ADAS that focuses on drowsiness detection using deep learning through a Convolutional Neural Network (CNN) approach. The study utilized the YOLO V5 model for object detection, which was trained using custom datasets containing images annotated with two labels: "Mengantuk" (Drowsy) and "Bangun" (Awake). The goal was to recognize whether the driver was drowsy or awake. The results of the study showed that the modified YOLO V5 CNN Model had high accuracy based on evaluation metrics in terms of accuracy, precision, and recall in detecting drowsiness around the area of the eyes, with a Mean Average Precision (mAP) of 99.5% and an F1-Score of 99.8%. For better understanding and visualization, the model was tested using real-time detection through a web camera, using Jetson Nano as the inference device. The model detected drowsiness in real time, with a confidence rate of 80% to 97%.

KEYWORDS — Driver-Assistance System, Drowsiness Detection, Convolutional Neural Network, YOLO V5, F1-Score, Mean Average Precision.

I. INTRODUCTION

One of the leading causes of accidents on highways is drivers feeling drowsy and falling asleep at the wheel. This phenomenon of feeling sleepy for a few seconds while driving is known as microsleep. It is particularly common among car drivers and poses a serious risk to road safety [1]. Microsleep is a phenomenon where a person falls asleep for a very short period, usually ranging from 3 to 10 seconds [1], [2]. Drivers are sometimes unaware of this happening, which can result in a significant decrease in their response time to road conditions. This can potentially lead to collisions between vehicles.

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) installed in a car can help to lower the risk of accidents. ADAS is usually equipped with features that can monitor the driver's condition, including the level of drowsiness, and provide a warning to stop driving immediately if the driver is observed to be drowsy [3], [4].

There are various ways to monitor a driver's level of drowsiness, and one of them is by utilizing artificial intelligence. The data collection process can be done using sensors that detect brain and body wave activity such as electrocardiogram (ECG) [5], [6] or electroencephalography (EEG) [7]. The recorded data is processed, and relevant features are extracted and fed into machine learning-based classification algorithms such as Multilayer Perceptron (MLP), K-Nearest Neighbor (KNN), and Bayesian Network (BN) [6]. This data becomes the training data for the algorithm to classify and detect the level of sleepiness in the driver. However, this method has some drawbacks - one of which is that the driver must have electrodes attached to their body to measure body and brain wave activity. This can negatively impact the driving comfort.

Another effective way to detect driver drowsiness is by using cameras and artificial intelligence-based image processing techniques to monitor the condition of the driver's eyes. Deep learning can be applied to a sequence of images to determine if the driver is feeling sleepy. To pre-process the image sequence, we can use the Recurrent Convolutional Neural Network algorithm based on the EfficientNetB0 model [8]. Fuzzy logic can then be applied to the image processing results to determine the driver's level of sleepiness [8]. Alternatively, a Convolutional Neural Network (CNN) can be used with the InceptionV3, VGG16, ResNet50V2 model architectures to detect sleepiness in real-time via the camera. The performance of the three models can be compared to determine the most effective method [9]. The research proposes a method to detect drowsiness using a camera that captures the driver's eyes in real-time. This is achieved by employing a Convolutional Neural Network that identifies the state of driver's eyes. The model architecture utilized in the study is You Only Look Once (YOLO), specifically the YOLO V5 model, which processes annotated images belonging to two classes, "Mengantuk" (Drowsy) and "Bangun" (Awake) for classification. Based on this classification, the system can determine whether the driver is alert or drowsy. The warning system is activated when the driver keeps their eyes closed for a predetermined length of time.

II. THEORY

A. YOLO V5

YOLO V5 is an object detection algorithm that belongs to a series of previous iterations of the YOLO (You Only Look Once) model. This model uses a Convolutional Neural Network (CNN) based algorithm. The architecture of the YOLO V5 model is an advancement over the previous version. However, unlike the previous version which used Darknet, YOLO V5 uses PyTorch [10].

Three main parts are included in all YOLO models for object detection: backbone, neck and classification head [11]. However, YOLO V5 differs from previous models in that it uses a cross section partial network (CSP), called CSPDarknet53, on the previous YOLO Darknet. This network is used as an image feature extractor in the YOLO V5 network [11]. The Neck section of YOLO V5 employs a Path Aggregation Network (PANet) model to connect the Backbone and Head, which enhances the flow of information. It gathers and refines low-level features from the image obtained by the Backbone, thereby strengthening the spatial and semantic information and enabling accurate object localization [11]–[13]. The Head section consists of three branches that generate object class probability maps, prediction bounding boxes, and confidence scores for the objects detected in the image [11]–[13]. To complete object detection, Non-Maximum Suppression (NMS) is used to filter overlapping bounding boxes with low confidence scores below the threshold [12], [14]. Architecture used for object detection model YOLO V5 is shown in Figure 1. Meanwhile, Figure 2 illustrates the object detection process in YOLO V5.

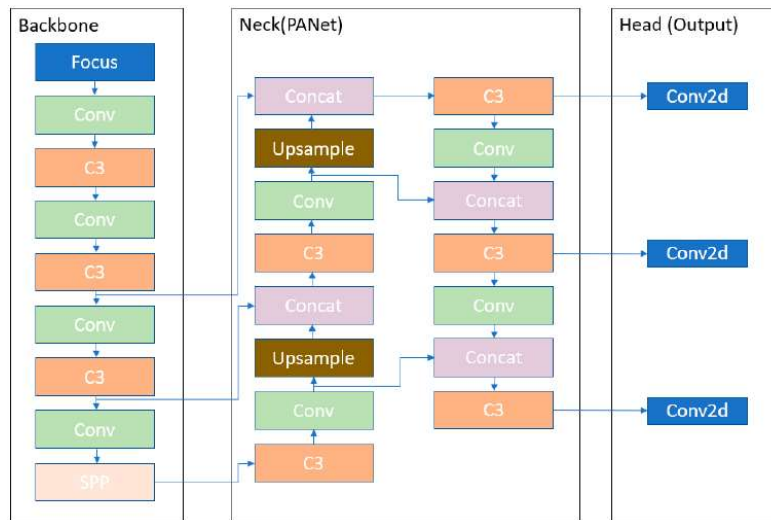


Figure 1. YOLO V5 network architecture [11].

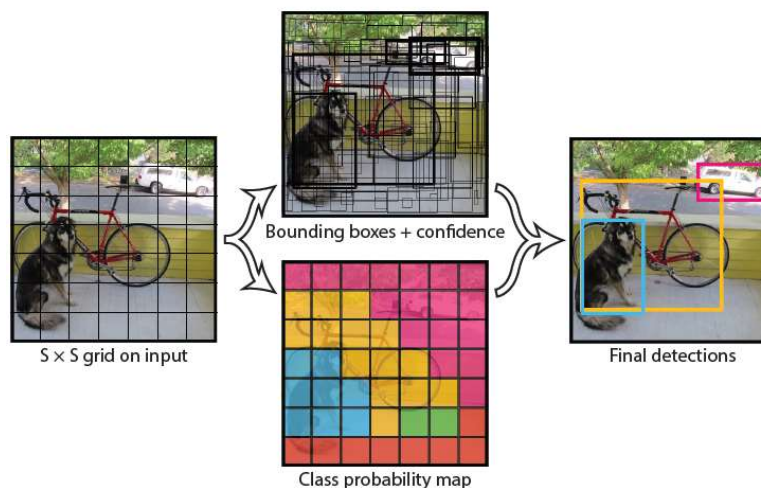


Figure 2. Object detection process in YOLO V5 [14].

III. METHODS

A. DATASET

Prior to implementing training procedures for YOLO V5 to enable object recognition based on customized data and labels, a preparatory process for the dataset is required. This research utilized a dataset comprising 200 images of the state of driver's eyes, each annotated with object class labels around the region of interest (ROI), specifically the eye area.

The object class label comprises two categories: "Bangun" and "Mengantuk". The image annotation process was automated using Roboflow. Subsequently, the 200 annotated images were segmented into training, validation, and test datasets. The division of the dataset employs a 70:20:10 ratio, with 70% of the data allocated to the training dataset, 20% to the validation dataset, and 10% to the test dataset. Figure 3 depicts the flow of the image dataset preparation process.

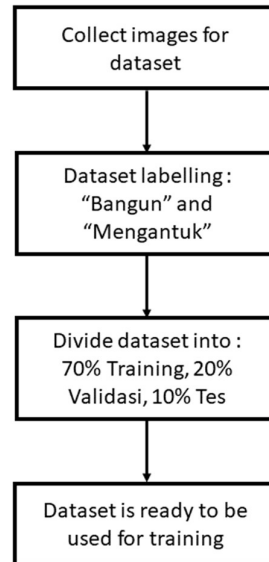


Figure 3. Image dataset preparation process

B. TRANSFER LEARNING

To detect the state of driver's eyes from a prepared dataset, the pre-trained YOLO V5 model used in this research requires re-training. This is done using the transfer learning method, where a new dataset replaces the classification head of the pre-trained model. The model is then fine-tuned based on the new target provided [15]. This process is faster and more efficient than training a new model from scratch and requires less data [16]. The YOLO V5 transfer learning process uses the Pytorch library for Python and is conducted through Google Collab. The process utilizes an Nvidia T4 GPU on the Google Collab cloud server, eliminating the need for a physical GPU to carry out the retraining process. To better understand the transfer learning process in YOLO V5, refer to Figure 4.

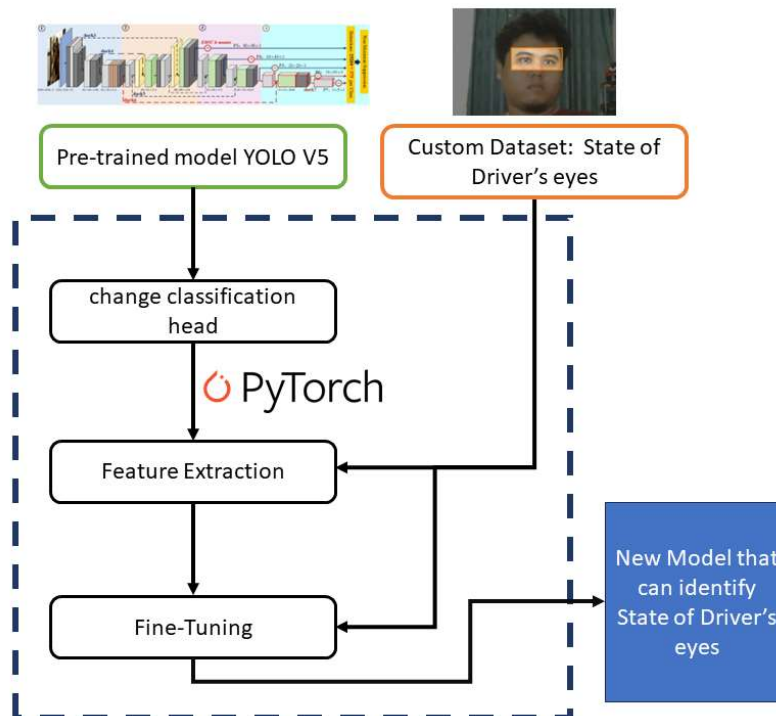


Figure 4. Transfer learning process for re-training YOLO V5 model

C. EVALUATION METRICS

Evaluation metrics, such as confusion matrix and mean average precision (mAP), are used to convey the performance of the trained model. A confusion matrix is a tool used in machine learning to evaluate the accuracy of a classification model. It provides a summary of the model's performance by comparing the predicted outcomes with the actual outcomes. The matrix displays the number of correct and incorrect predictions made by the model, broken down by class[17]. Each row of the matrix represents the

instances in an actual class, while each column represents the instances in a predicted class, as shown in Figure 5. This enables the model to be quickly identified as having a misclassification of classes and errors [17].

The confusion matrix consists of four classifications: True Negative (TN), True Positive (TP), False Negative (FN), and False Positive (FP). These classifications are derived from the comparison of actual and predicted values. TP (True Positive) represents the number of correctly classified positive samples; TN (True Negative) represents the number of correctly classified negative samples; FP (False Positive) is the number of negative samples that are wrongly classified as positive; FN (False Negative) is the number of positive samples that are wrongly classified as negative [17], [18].

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Figure 5. Confusion Matrix

The four parameters can be used to measure the model performance through Precision, Recall, and F1-Score values. Precision is a measure that indicates the proportion of true positives to the total number of projected positive data. It is an indicator of how accurately a classifier can identify positive instances [18], [19]. The precision formula is calculated by dividing the number of true positives (TP) by the total number of projected positive data. The variable FP plays a role in determining the precision value by acting as the divisor in the denominator [19], [20]. Equation (1) expressed mathematical formula of Precision [18]–[20].

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

On the other hand, Recall is a measure of how well a test or model identifies true positives. It is calculated by dividing the number of true positives by the total number of true positive and false negative cases [19], [20]. In other words, recall tells the proportion of actual positive cases that were correctly identified as positive. The mathematical formula of Recall expressed in (2) [18]–[20].

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

Recall and Precision have an inverse relationship. This means that when one goes up, the other goes down. For instance, if a model has a high Recall value, its Precision value will be lower and vice versa [19]. To find a balance between Recall and Precision, the F1-Score is used as metric that measures the harmonic mean of the two [18]–[20]. The F1-Score is commonly used to evaluate a classification model's overall performance. To calculate the F1-Score includes both Recall and Precision, which shown in (3) [18]–[20].

$$F1 - Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

Another way of evaluating the performance of a model is Mean Average Prediction (mAP). In object detection tasks, average precision (AP) is the most commonly used metric [21]. To calculate the AP, the area under the Precision-Recall curve (AUC) can be used as a measure of model performance [21], [22]. However, Precision and Recall curves can be challenging to visualize on a graph due to their zigzag-shaped nature and fluctuating values. For this reason, the AP number is calculated as the average precision of all Recall values from 0 to 1, using the 11 Point Interpolation method. This method involves interpolating the closest Precision value at 11 Recall points, including [0.0, 0.1, 0.2, 0.3, ..., 1.0] as shown in (4) [22].

$$AP = \frac{1}{11} \sum_{r \in \{0.0, 0.1, \dots, 1\}} \rho_{interp}(r) \quad (4)$$

With:

$$\rho_{interp} = \max_{\tilde{r}: \tilde{r} \geq r} \rho(\tilde{r}) \quad (5)$$

If a model is designed to detect various classes of objects, the Average Precision (AP) for each class must be calculated. Subsequently, these AP values are averaged to produce a final performance metric known as the Mean Average Precision (mAP). To compute mAP at a certain IoU ($mAP@α$), the formula presented in (6) may be employed [22]. Intersection over Union (IoU) quantifies the overlap between the predicted bounding box or segmented region and the ground truth bounding box or annotated region from a dataset.

$$mAP@α = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AP_i \text{ for } n \text{ class} \quad (6)$$

D. MODEL INFERENCE AND TESTING

To test the YOLO V5 model's real-time detection capabilities, the model was deployed on computing hardware. In this stage, end users provide inputs to the computing system, which then processes the data, feeds it into the machine learning model, and returns prediction output to the users. This stage is called model inference. The hardware used for the inference system is Jetson Nano Single Board Computer as shown in Figure 6. The Single Board Computer was chosen to evaluate the model's performance when inferred on hardware with limited computing capabilities, so that it can be installed on a compact and practical device on the car. To capture videos and pictures, a Logitech C525 webcam camera was used. Additionally, a sound card and speaker were used to provide a warning sound to the driver. A 7-inch monitor was used to observe the detection results during the inference process.

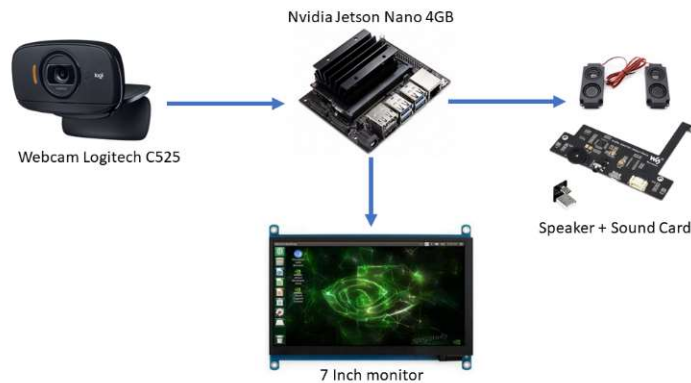


Figure 6. Hardware diagram for model inference testing

The inference process starts by capturing a sequence of the real-time image of the driver's eyes, and then the data is processed on the inference engine and fed to the model. The model then outputs the classification of new data, whether the driver detected drowsy or awake. The detection result is displayed on the screen along with the confidence score and bounding box. If the detection result is drowsy, a timer in the program is going to start counting until the counter count is more than 30 seconds to activate the warning system. Flowchart of state of driver's eye detection, model inference process, and warning system is shown in Figure 7.

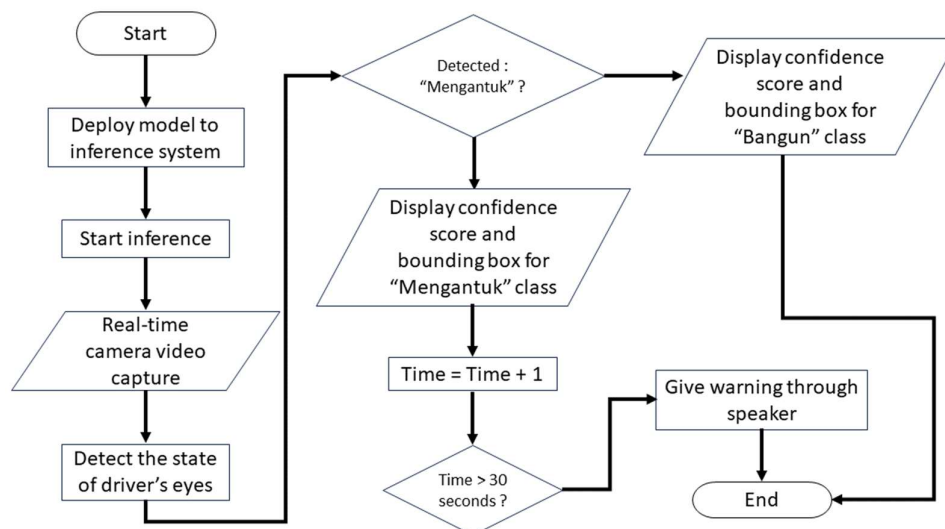


Figure 7. Model inference and drowsiness detection flowchart

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The YOLO V5 model was trained with the MS COCO dataset, and then underwent a re-training process using a custom dataset. The custom dataset contained 139 training images, 40 validation images, and 20 test images. The model was trained over 100 epochs to classify "Bangun", "Mengantuk", and "Background" categories. The confusion matrix for the trained model is shown in Figure 8.

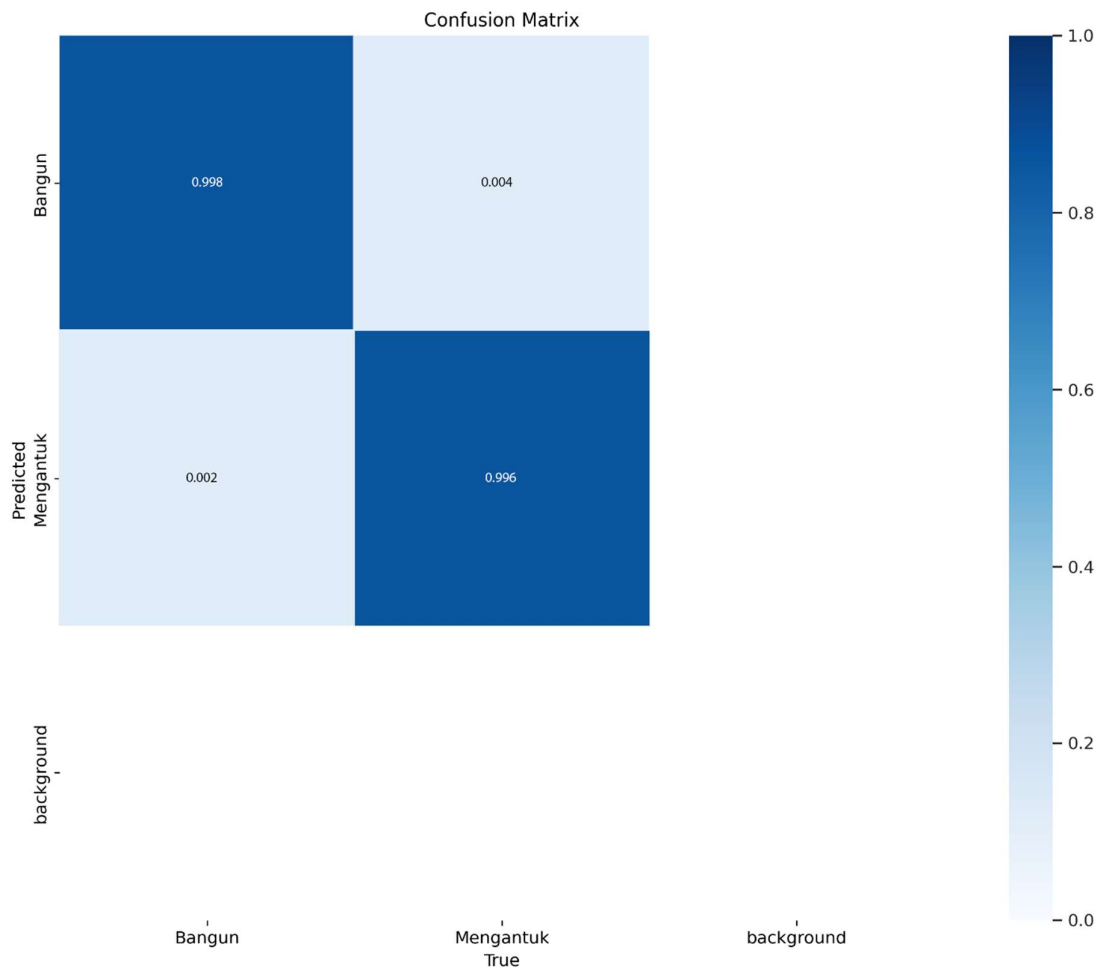


Figure 8. Confusion matrix of trained YOLO V5

The model validation results show a TP (true positive) value of 0.998 for the "Bangun" class and a TP value of 0.996 for the "Mengantuk" class. The FN (false negative) value for both classes is 0. On the other hand, the FP (false positive) value is 0.002 for the "Bangun" class, which was predicted as "Mengantuk", and 0.004 for the "Mengantuk" class, which was predicted as "Awake". Based on these results, we can calculate the Precision model value using (1) and get 0.998 or 99.8% for the "Awake" class and 0.996 or 99.6% for the "Drowsy" class. The overall model Precision value, considering both classes, is 0.997 or 99.7%. Regarding the Recall model results, based on (2), we obtained a value of 1 or 100% for both classes and overall. You can see the overall model evaluation metric results in Figure 9.

Class	Images	Instances	P	R
all	40	40	0.997	1
Bangun	40	26	0.998	1
Mengantuk	40	14	0.996	1

Figure 9. The overall value of the model evaluation metrics

The F1-Score value of the model is derived from the Precision and Recall values using (3). The calculations show that the F1-Score value is 0.998 or 99.8%, indicating that the model has a high accuracy level. The graph in Figure 10 displays the model's performance, which is consistent with the high F1-Score value. Meanwhile, the results of mAP 0.5, shown in Figure 11, also demonstrate the model's high accuracy, with a value of 0.995 or 99.5%. The characteristics of the model performance, as depicted in the graph in Figure 10, suggest that the model is neither overfitting nor underfitting. Overall, the model appears to be performing well and delivering accurate results.

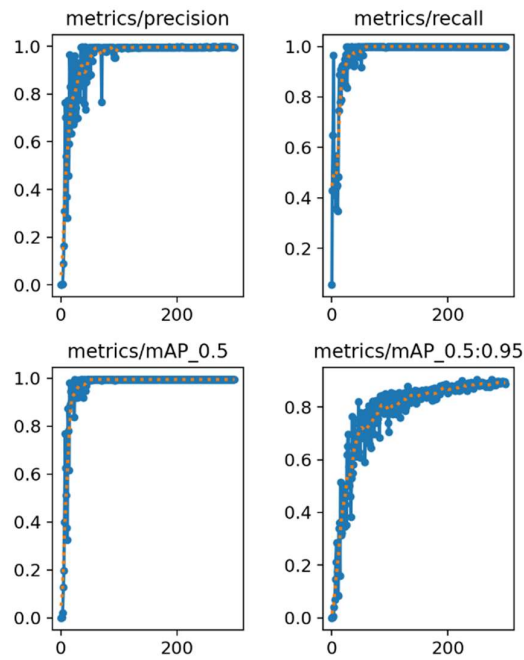


Figure 10. Model performance graph

mAP50	mAP50-95:
0.995	0.888
0.995	0.884
0.995	0.892

Figure 11. Overall mAP value of trained model

Inference testing demonstrates that the model can distinguish between "Mengantuk" and "Bangun" states. Figure 12 shows the detection results from the trained model's inference procedure.



Figure 12. Detection of the state of driver's eyes using the custom YOLO V5 model

V. CONCLUSION

The YOLO V5 model can accurately determine the state of the driver's eyes with a Precision value of 99.7%, Recall 100%, F1-Score 99.8%, and mAP 0.5 99.5%, according to the research's findings and discussion. Performance graphs and inference testing demonstrate that the model is capable of inference on devices with limited computational power and does not exhibit overfitting or underfitting. The model performance value is influenced by variations in the dataset and the quantity of the dataset. The author suggests that in order to get a model with good performance and prevent overfitting and underfitting, the dataset should have variations in angles, brightness levels, and photo backgrounds. It should also increase the training dataset and distinguish it from the validation data.

CONFLICT OF INTEREST

All authors declare that they have no conflicts of interest

REFERENCES

- [1] S. Jay and R. Anis, "Microsleep: What Is It, What Causes It, and Is It Safe?," 2023. <https://www.sleepfoundation.org/how-sleep-works/microsleep> (accessed Oct. 18, 2023).
- [2] S. Felson, "What to Know About Microsleep," WebMD, 2023. <https://www.webmd.com/sleep-disorders/what-to-know-microsleep> (accessed Oct. 18, 2023).
- [3] M. Q. Khan and S. Lee, "A comprehensive survey of driving monitoring and assistance systems," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 11, 2019, doi: 10.3390/s19112574.
- [4] A. Ziebinski, R. Cupek, D. Grzechca, and L. Chruszczyk, "Review of advanced driver assistance systems (ADAS)," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1906, 2017, doi: 10.1063/1.5012394.
- [5] M. Gromer, D. Salb, T. Walzer, N. M. Madrid, and R. Seepold, "ECG sensor for detection of driver's drowsiness," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 159, pp. 1938–1946, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.366.
- [6] N. S. Nor Shahrudin and K. A. Sidek, "Driver drowsiness detection using different classification algorithms," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1502, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1502/1/012037.
- [7] Z. Mardi, S. Naghmeh, M. Ashtiani, and M. Mikaili, "EEG-Based Drowsiness Detection for Safe Driving Using Chaotic Features and Statistical Tests," vol. 1, no. 2, pp. 130–137, 2011.
- [8] E. Magán, M. P. Sesmero, J. M. Alonso-Weber, and A. Sanchis, "Driver Drowsiness Detection by Applying Deep Learning Techniques to Sequences of Images," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/app12031145.
- [9] R. Florez, F. Palomino-Quispe, R. J. Coaquira-Castillo, J. C. Herrera-Levano, T. Paixão, and A. B. Alvarez, "A CNN-Based Approach for Driver Drowsiness Detection by Real-Time Eye State Identification," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 13, 2023, doi: 10.3390/app13137849.
- [10] J. Solawetz, "What is YOLOv5? A Guide for Beginners.," 2020. <https://blog.roboflow.com/yolov5-improvements-and-evaluation/> (accessed Jan. 03, 2024).
- [11] U. Nepal and H. Eslamiat, "Comparing YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 for Autonomous Landing Spot Detection in Faulty UAVs," *Sensors*, vol. 22, no. 2, 2022, doi: 10.3390/s22020464.
- [12] H. Liang, J. Chen, W. Xie, X. Yu, and W. Wu, "Defect detection of injection-molded parts based on improved-YOLOv5," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2390, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2390/1/012049.
- [13] B. Aydin and S. Singha, "Drone Detection Using YOLOv5," *Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 416–433, 2023, doi: 10.3390/eng4010025.
- [14] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 2016-Decem, pp. 779–788, 2016, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- [15] Dhruv Matani, "A Practical Guide to Transfer Learning using PyTorch," *KDnuggets*, 2023. <https://www.kdnuggets.com/2023/06/practical-guide-transfer-learning-pytorch.html> (accessed Jan. 03, 2024).
- [16] A. Hosna, E. Merry, J. Gyalmo, Z. Alom, Z. Aung, and M. A. Azim, "Transfer learning: a friendly introduction," *J. Big Data*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s40537-022-00652-w.
- [17] G. Zeng, "On the confusion matrix in credit scoring and its analytical properties," *Commun. Stat. Methods*, vol. 0, no. 0, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1080/03610926.2019.1568485.
- [18] Y. Zhang, T. Zuo, L. Fang, J. Li, and Z. Xing, "An Improved MAHAKIL Oversampling Method for Imbalanced Dataset Classification," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 16030–16040, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3047741.
- [19] Z. Ning, X. Wu, J. Yang, and Y. Yang, "MT-YOLOv5: Mobile terminal table detection model based on YOLOv5," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1978, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1978/1/012010.
- [20] Teemu Kanstrén, "A Look at Precision, Recall, and F1-Score," *Towards Data Science*, 2020. <https://towardsdatascience.com/a-look-at-precision-recall-and-f1-score-36b5fd0dd3ec> (accessed Jan. 03, 2024).
- [21] M. Otani, R. Togashi, Y. Nakashima, E. Rahtu, J. Heikkilä, and S. Satoh, "Optimal Correction Cost for Object Detection Evaluation," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 2022-June, pp. 21075–21083, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.02043.
- [22] Kristian Wilianto, "Evaluation Metrics pada Computer Vision dari Klasifikasi hingga Deteksi Objek," *Data Folks Indonesia*, 2021. <https://medium.com/data-folks-indonesia/evaluation-metrics-pada-computer-vision-dari-klasifikasi-hingga-deteksi-objek-5049d3fd90d2> (accessed Jan. 03, 2024).

Sistem Deteksi Pneumonia Paru-Paru dengan Pengolahan Citra Digital dan Machine Learning

Ilham Jawaz¹, Reni Rahmadewi²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang; email: jawas271@gmail.com, reni.rahmadewi@ft.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 18 Januari 2024, Direvisi: 21 Mei 2024, Diterima: 28 Mei 2024]

Corresponding Author: Ilham Jawaz

INTISARI — Penelitian ini berfokus pada penggunaan pengolahan citra digital, khususnya dalam konteks sistem machine learning untuk diagnosis penyakit paru-paru. Dalam eksplorasi ini, sistem diusulkan yang mengintegrasikan Python dan kerangka kerja terkait untuk mengimplementasikan langkah-langkah penting dalam pengolahan citra. Proses ini melibatkan input citra, pemrosesan untuk meningkatkan kualitas, segmentasi area paru-paru, dan ekstraksi fitur penting. Setelah citra diproses dan area paru-paru diidentifikasi, sistem menerapkan algoritma klasifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Algoritma ini didesain untuk memanfaatkan informasi fitur yang diekstraksi untuk mengambil keputusan yang tepat dalam mengklasifikasikan citra. Pengujian dilakukan menggunakan dataset yang mengandung citra paru-paru normal dan kasus pneumonia. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik akurasi, yang memberikan gambaran tentang seberapa baik sistem dapat membedakan antara kedua kategori citra. Sebelum pengolahan citra, sistem memiliki tingkat akurasi sebesar 75%. Setelah pengolahan citra, tingkat akurasi meningkat menjadi 78%. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi besar penggunaan pengolahan citra digital dalam konteks sistem machine learning untuk diagnosis penyakit paru-paru. Hasil-hasilnya dapat memberikan landasan yang kuat untuk pengembangan sistem yang lebih canggih dalam diagnosis medis berbasis citra. Penelitian lebih lanjut dapat memperluas penggunaan metode lain dalam pengolahan citra yang dapat meningkatkan akurasi deteksi pneumonia secara signifikan.

KATA KUNCI — Pneumonia, Histogram Equalization, Machine Learning, X-ray, Paru-paru

I. PENDAHULUAN

Pneumonia adalah penyakit peradangan paru-paru yang disebabkan oleh infeksi bakteri, virus, jamur, atau parasit[1]. *Pneumonia* dapat menyebabkan gejala seperti demam, batuk, sesak napas, nyeri dada, dan menggigil[2]. *Pneumonia* merupakan penyakit yang ada pada paru-paru yang bisa dilihat lebih detailnya dengan foto *rontgen*[3]. *Pneumonia* merupakan salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia, terutama di negara-negara berkembang[4]. Menurut data WHO, *pneumonia* menyebabkan sekitar 2,5 juta kematian pada tahun 2019, yang sebagian besar adalah anak-anak di bawah usia 5 tahun[5]. Deteksi dini *pneumonia* sangat penting untuk mengurangi risiko komplikasi dan mempercepat penanganan medis.

Selain itu, dokter juga dapat melakukan pemeriksaan radiologi, seperti *rontgen* dada, CT-Scan, atau MRI, untuk melihat gambaran paru-paru pasien [6]. *Rontgen* dada yaitu menggunakan sinar-X untuk menghasilkan gambar dua dimensi dari organ dalam tubuh[7]. CT-Scan yaitu menggabungkan teknologi *rontgen* atau sinar-X dengan sistem komputer khusus[8]. Tujuannya adalah untuk melihat kondisi dalam tubuh dari berbagai sudut dan potongan[9]. MRI yaitu menggunakan medan magnet dan energi gelombang radio untuk menghasilkan gambar struktur dan organ dalam tubuh[10]. Pemeriksaan radiologi ini dapat membantu dokter untuk menentukan lokasi, luas, dan jenis *pneumonia*, serta untuk membedakannya dengan penyakit paru-paru lainnya[11]. Namun, pemeriksaan radiologi memiliki beberapa keterbatasan, seperti membutuhkan peralatan yang mahal, memerlukan tenaga ahli yang terlatih, dan berpotensi menimbulkan efek samping akibat radiasi[12]. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang dapat membantu dalam mendiagnosis *pneumonia*. [13] Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *machine learning*[14].

Machine Learning adalah salah satu cabang dari ilmu *artificial intelligence* yang bertujuan untuk mengembangkan sistem yang dapat belajar secara mandiri[15]. Pada saat proses klasifikasi sistem membandingkan gambar yang dimasukan sebagai *input* dengan gambar yang telah digunakan sebagai latihan sistem[16]. Dalam konteks mendiagnosis *pneumonia*, *machine learning* dapat memberikan kontribusi berupa pendeteksian otomatis tanda-tanda *pneumonia* pada gambar radiologi, segmentasi *area* yang terkena *pneumonia*, klasifikasi jenis *pneumonia*, dan prediksi hasil pengobatan[17]. Pada penelitian ini pengolahan citra digital akan diimplementasikan pada sistem *machine learning* tersebut dengan tujuan mengetahui apakah pengolahan citra dapat meningkatkan akurasi klasifikasi sistem *machine learning* atau tidak[18]. Metode pengolahan citra digital yang akan diimplementasikan pada sistem ini adalah *histogram equalization*. Dengan menggunakan metode ini dapat membantu meningkatkan kontras gambar dengan cara mendistribusikan intensitas piksel secara merata di seluruh rentang nilai.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data:

1) Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mencari serta mempelajari berbagai sumber referensi atau teori yang berhubungan dengan penelitian ini, seperti halnya buku, jurnal dan berbagai artikel yang bersangkutan dengan penelitian ini[19].

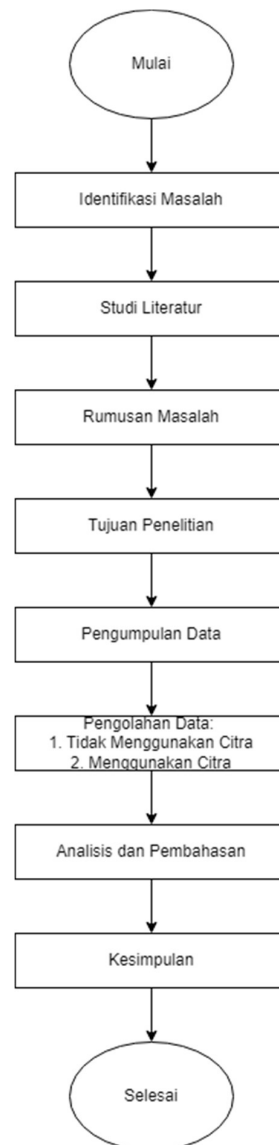
2) Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mencari *datasheet* yang akan digunakan untuk sistem *Machine Learning*.

3) Pengolahan Data

Metode pengolahan data bertujuan untuk menampilkan hasil dari uji coba yang dilakukan[20].

Perancangan sistem ini meliputi sebagian besar langkah kerja dari sistem *machine learning* klasifikasi penyakit paru-paru. Adapun *flowchart* dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Penelitian

A. IDENTIFIKASI MASALAH

Pneumonia sebagai penyakit serius yang memerlukan deteksi dini untuk mengurangi risiko komplikasi. Kualitas gambar sangat dibutuhkan untuk mengenali area yang mencurigakan. Penelitian lebih lanjut akan terus mengoptimalkan metode ini untuk mengidentifikasi kasus *pneumonia* secara efisien dan memungkinkan penanganan yang lebih cepat dan lebih baik bagi pasien.

B. STUDI LITERATUR

Studi literatur digunakan untuk memeriksa berbagai referensi seperti jurnal ilmiah, buku, dan artikel terkait, kami membangun landasan teoretis yang kuat sebelum melangkah lebih jauh dalam penelitian kami sendiri. Metode ini memungkinkan kami untuk memahami perkembangan baru dalam bidang penelitian, memahami perspektif yang beragam, dan mengidentifikasi kekurangan penelitian terdahulu.

C. RUMUSAN MASALAH

Pengembangan Sistem ini merupakan salah satu tantangan utama untuk menciptakan sistem yang mampu mendeteksi tanda-tanda *pneumonia* pada citra X-ray paru-paru dengan akurasi yang tinggi. Ini melibatkan pemilihan dan implementasi algoritma yang tepat, serta penyesuaian dan peningkatan berkelanjutan berdasarkan hasil tes. Proses pengolahan citra digital harus dioptimalkan untuk meningkatkan kualitas gambar dan memudahkan sistem dalam mengidentifikasi area yang mencurigakan. Ini

melibatkan peningkatan teknik pengolahan dan penyesuaian parameter untuk mencapai hasil terbaik. Sistem harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat memberikan hasil yang akurat dan membantu dalam diagnosis dini *pneumonia*.

D. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada tantangan deteksi *pneumonia* pada citra X-ray paru-paru, suatu masalah yang penting dalam bidang medis. Tujuan utama adalah untuk mengembangkan solusi yang efektif dengan menggabungkan dua teknologi canggih: pengolahan citra digital dan *machine learning*. Pengolahan citra digital digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar dan menyoroti area yang mencurigakan, sementara *machine learning* digunakan untuk menganalisis pola dan fitur dalam citra tersebut. Dengan pendekatan ini, penelitian ini berharap dapat memberikan alat yang kuat dan akurat untuk mendeteksi *pneumonia* pada tahap awal, sehingga meningkatkan peluang pemulihan pasien.

E. PENGUMPULAN DATA

Proses pengumpulan *datasheet* dimulai dengan mencari data gambar paru-paru yang diperoleh dari hasil citra X-ray. Ini melibatkan penelusuran berbagai sumber data, untuk mendapatkan citra X-ray paru-paru yang berkualitas. Setelah data ditemukan, langkah selanjutnya adalah mengekstrak informasi yang relevan dari citra tersebut. Informasi ini kemudian disimpan dalam *datasheet*, yang akan digunakan sebagai *input* untuk sistem deteksi *pneumonia*. Pengumpulan *datasheet* ini merupakan langkah penting dalam penelitian ini, karena kualitas dan jumlah data yang dikumpulkan akan berdampak langsung pada akurasi dan efektifitas sistem yang sedang dikembangkan.

F. PENGOLAHAN DATA

Dalam penelitian ini, proses pengolahan data dibagi menjadi dua bagian utama: satu yang tidak menggunakan pengolahan citra dan satu lagi yang menggunakan pengolahan citra.

Bagian pertama, yang tidak menggunakan pengolahan citra, melibatkan analisis data mentah seperti yang diperoleh dari citra X-ray. Ini memungkinkan sistem untuk memahami pola dasar dan fitur dalam data tanpa manipulasi atau penyesuaian apa pun.

Bagian kedua, yang menggunakan pengolahan citra, melibatkan serangkaian teknik untuk meningkatkan kualitas gambar dan menyoroti area yang mencurigakan. Teknik ini dapat mencakup peningkatan kontras, penajaman, pengurangan noise, dan lainnya.

Dengan cara ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan efektifitas sistem dalam kedua skenario tersebut dan dapat menentukan apakah pengolahan citra memberikan peningkatan signifikan dalam deteksi *pneumonia*.

G. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan metode pengolahan citra digital, khususnya teknik yang dikenal sebagai *histogram equalization*, dalam sistem deteksi *pneumonia*. Teknik ini, yang bertujuan untuk meningkatkan kontras dalam citra, telah terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi *pneumonia* pada citra X-ray paru-paru. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan teknologi pengolahan citra dengan *machine learning* dapat membawa peningkatan signifikan dalam efisiensi deteksi kasus *pneumonia*. Ini menunjukkan potensi besar dari pendekatan ini dalam meningkatkan kualitas dan kecepatan diagnosis *pneumonia*.

Selain itu, penemuan ini juga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut tentang bagaimana teknologi pengolahan citra dan *machine learning* dapat digabungkan dalam berbagai aplikasi medis lainnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada bidang deteksi *pneumonia*, tetapi juga pada bidang kesehatan secara lebih luas. Akhirnya, meskipun hasil ini sangat menjanjikan, masih banyak pekerjaan yang harus dilakukan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk terus mengoptimalkan dan memperbaiki sistem ini, serta untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam berbagai kondisi dan populasi pasien.

H. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, proses menyimpulkan hasil melibatkan penyandingan antara tinjauan pustaka dan hasil uji coba. Tinjauan pustaka memberikan kerangka teoritis dan konteks pengetahuan yang ada, sementara hasil uji coba memberikan data empiris dan temuan aktual dari penelitian. Tinjauan pustaka dilakukan untuk memahami pengetahuan yang ada dan menetapkan dasar teoritis untuk penelitian. Ini melibatkan penelusuran dan analisis literatur relevan untuk memahami metode, teknik, dan temuan sebelumnya yang terkait dengan topik penelitian. Kemudian, hasil uji coba dianalisis dan dibandingkan dengan tinjauan pustaka. Ini melibatkan interpretasi data, identifikasi pola, dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil uji coba.

Akhirnya, hasil dari kedua proses ini disandingkan untuk menyimpulkan penelitian. Ini melibatkan integrasi pengetahuan dari tinjauan pustaka dengan temuan dari hasil uji coba untuk mencapai kesimpulan yang komprehensif dan berwawasan luas. Dengan demikian, proses ini memungkinkan penelitian untuk memberikan kontribusi yang signifikan dan berarti ke dalam bidang pengetahuan yang ada.

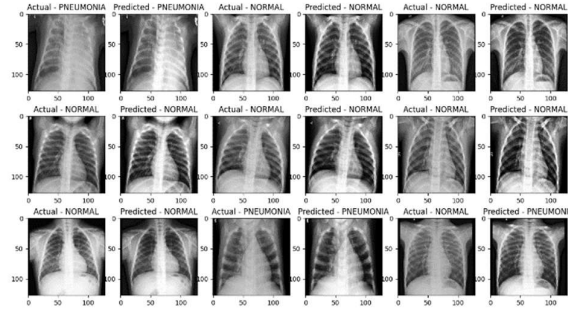
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

I. HASIL TANPA PENGOLAHAN CITRA

Peneliti melakukan percobaan tanpa pengolahan citra sebanyak lima kali percobaan. Dalam setiap percobaan menggunakan 9 gambar yang berbeda. Berikut merupakan gambar dan hasil tanpa pengolahan citra dengan 5 kali percobaan:

1) Percobaan I

Berikut merupakan hasil gambar dari percobaan 1 tanpa pengolahan citra:

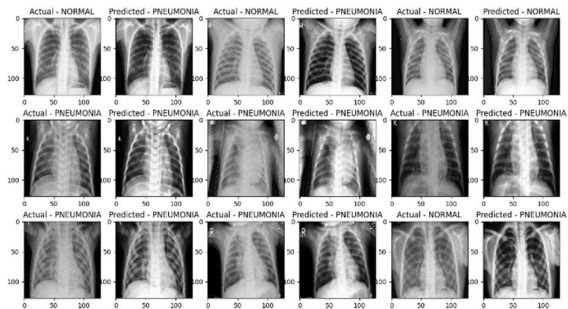


Gambar 2. Percobaan 1 Tanpa Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 2 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* terdapat 6 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 1 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

2) Percobaan 2

Berikut merupakan hasil gambar dari percobaan 2 tanpa pengolahan citra:

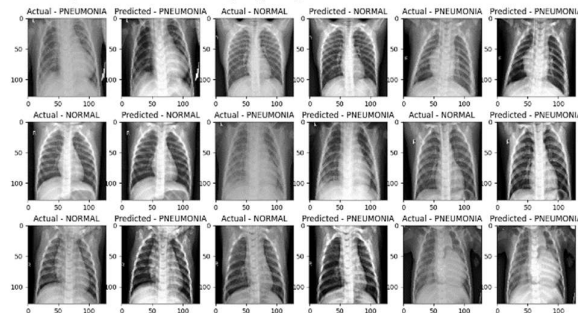


Gambar 3. Percobaan 2 Tanpa Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 5 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* terdapat 1 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 3 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

3) Percobaan 3

Berikut merupakan hasil gambar dari percobaan 3 tanpa pengolahan citra:

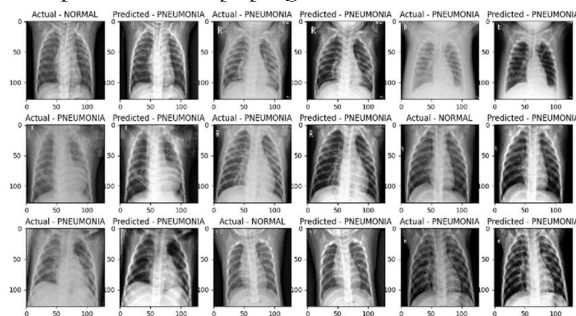


Gambar 4. Percobaan 3 Tanpa Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 4 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* terdapat 2 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 3 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

4) Percobaan 4

Berikut merupakan hasil gambar dari percobaan 4 tanpa pengolahan citra:

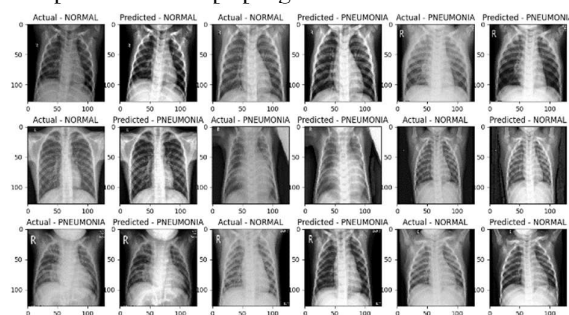


Gambar 5. Percobaan 4 Tanpa Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 6 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* tidak terdapat gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 3 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

5) Percobaan 5

Berikut merupakan hasil gambar dari percobaan 5 tanpa pengolahan citra:



Gambar 6. Percobaan 5 Tanpa Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 3 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* terdapat 3 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 3 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

Dalam tahap awal penelitian, penulis melakukan serangkaian percobaan menggunakan dataset yang telah diproses sebelumnya. Dataset ini digunakan untuk mengimplementasikan sistem deteksi *pneumonia* yang sedang dikembangkan. Percobaan ini dilakukan sebanyak lima kali untuk memastikan keandalan hasil. Dari kelima percobaan tersebut, ditemukan bahwa dari total kasus yang diteliti, terdapat 12 kasus yang menunjukkan paru-paru normal dan 33 kasus yang menunjukkan gejala *pneumonia*.

Tanpa melakukan proses pengolahan citra, sistem yang dikembangkan mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 73%. Tingkat akurasi ini dihitung menggunakan metode *confusion matrix*, sebuah teknik yang umum digunakan dalam bidang *machine learning* untuk mengevaluasi kinerja model klasifikasi.

TABEL I

DATA TANPA PENGOLAHAN CITRA

Tanpa Menggunakan Pengolahan Citra		<i>Actual Class</i>	
		<i>Pneumonia</i>	Normal
<i>Predict Class</i>	<i>Pneumonia</i>	21	13
	Normal	0	12

Berikut merupakan hasil perhitungan menggunakan metode *confusion matrix* dengan menggunakan rumus:

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

$$Accuracy = \frac{(21 + 12)}{(21 + 13 + 12)}$$

$$Accuracy = \frac{33}{45}$$

$$Accuracy = 0,73 * 100\%$$

$$Accuracy = 73\%$$

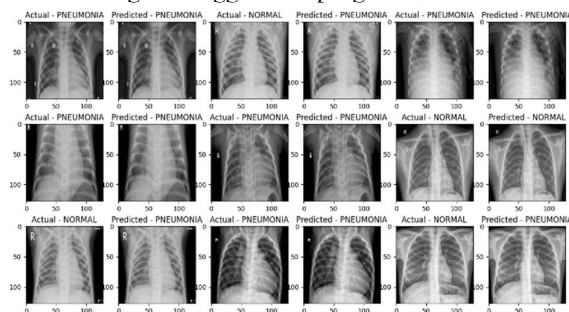
Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun tanpa pengolahan citra, sistem yang dikembangkan sudah mampu mendeteksi *pneumonia* dengan akurasi yang cukup tinggi. Namun, peningkatan dan optimasi lebih lanjut tentunya masih dibutuhkan untuk meningkatkan akurasi dan efektifitas sistem ini dalam mendeteksi *pneumonia*. Oleh karena itu, penulis melakukan uji coba untuk menggali lebih dalam dengan memperkenalkan metode pengolahan citra.

J. HASIL DENGAN MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA

Peneliti melakukan percobaan dengan menggunakan pengolahan citra sebanyak lima kali percobaan. Dalam setiap percobaan menggunakan 9 gambar yang berbeda. Berikut merupakan gambar dan hasil tanpa pengolahan citra dengan 5 kali percobaan:

1) Percobaan 1

Berikut merupakan gambar percobaan 1 dengan menggunakan pengolahan citra:

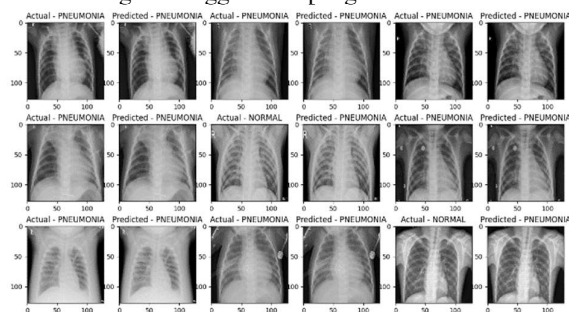


Gambar 7. Percobaan 1 Menggunakan Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 5 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* terdapat 1 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 3 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

2) Percobaan 2

Berikut merupakan gambar percobaan 2 dengan menggunakan pengolahan citra:

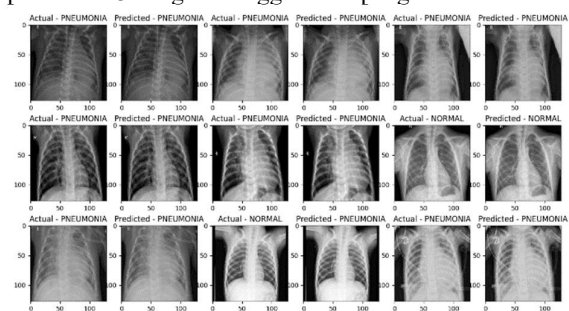


Gambar 8. Percobaan 2 Menggunakan Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 7 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* tidak terdapat gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 2 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

3) Percobaan 3

Berikut merupakan gambar percobaan 3 dengan menggunakan pengolahan citra:

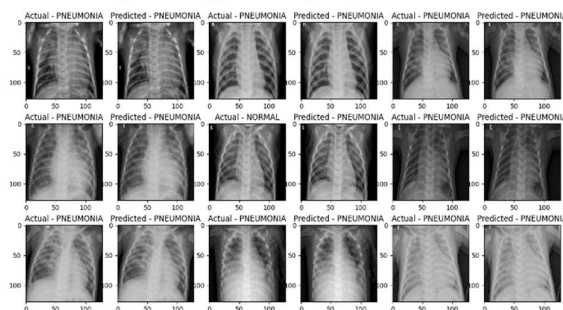


Gambar 9. Percobaan 3 Menggunakan Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 7 gambar, *actual-normal* dengan *predicted normal* terdapat 1 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 1 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted normal* tidak ada.

4) Percobaan 4

Berikut merupakan gambar percobaan 4 dengan menggunakan pengolahan citra:

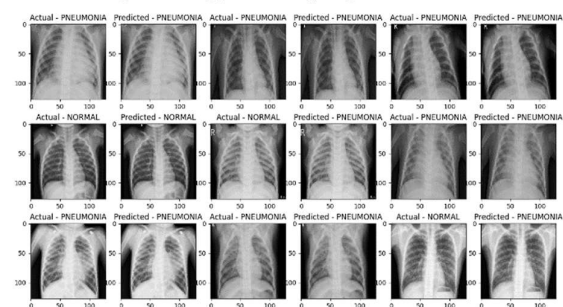


Gambar 10. Percobaan 4 Menggunakan Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 7 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* tidak terdapat gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 2 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

5) Percobaan 5

Berikut merupakan gambar percobaan 4 dengan menggunakan pengolahan citra:



Gambar 11. Percobaan 5 Menggunakan Pengolahan Citra

Hasilnya menunjukkan bahwa *actual-pneumonia* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 6 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-normal* terdapat 1 gambar, *actual-normal* dengan *predicted-pneumonia* terdapat 2 gambar, dan *actual-pneumonia* dengan *predicted-normal* tidak ada.

Dalam penelitian ini, metode pengolahan citra digital diperkenalkan sebagai upaya untuk meningkatkan akurasi sistem deteksi *pneumonia* pada citra X-ray paru-paru. Teknik ini melibatkan serangkaian proses yang dirancang untuk memperbaiki kualitas gambar, sehingga memudahkan sistem dalam mengidentifikasi pola dan fitur yang mencurigakan.

Berbeda dengan percobaan sebelumnya yang hanya mengandalkan data mentah, penelitian ini mengeksplorasi bagaimana pengolahan citra dapat memperbaiki hasil prediksi. Dengan memanfaatkan teknik pengolahan citra, sistem diharapkan dapat lebih efektif dalam mengenali tanda-tanda *pneumonia*, sehingga meningkatkan akurasi deteksi.

Selain itu, penelitian ini juga berusaha untuk memahami bagaimana teknik pengolahan citra dapat diintegrasikan dengan algoritma *machine learning* yang ada. Tujuannya adalah untuk menciptakan sistem yang tidak hanya akurat, tetapi juga efisien dan dapat diadaptasi untuk berbagai jenis data citra. Adapun hasil data setelah menggunakan pengolahan citra:

TABEL II

DATA MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA

Menggunakan Pengolahan Citra		<i>Actual Class</i>	
<i>Predict Class</i>	<i>Pneumonia</i>	<i>Pneumonia</i>	Normal
	Normal	32	10
		0	3

Berikut merupakan hasil perhitungan menggunakan metode confusion matrix dengan menggunakan rumus:

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

$$Accuracy = \frac{(32 + 3)}{(32 + 3 + 10)}$$

$$Accuracy = \frac{35}{45}$$

$$Accuracy = 0,78 * 100\%$$

$$Accuracy = 78\%$$

Perbedaan utama antara kedua percobaan terletak pada hasil prediksi. Dalam percobaan yang menggunakan pengolahan citra, terdapat peningkatan akurasi sistem sebesar 5%. Ini menunjukkan bahwa pengolahan citra dapat memperbaiki kinerja sistem dalam mendeteksi tanda-tanda *pneumonia* pada citra X-ray. Metode *confusion matrix* yang digunakan untuk mengukur kinerja sistem, menunjukkan bahwa dengan pengolahan citra, sistem menjadi lebih tepat dalam mengenali tanda-tanda *pneumonia*. Ini berarti bahwa sistem mampu membedakan antara citra paru-paru normal dan citra yang menunjukkan gejala *pneumonia* dengan lebih baik. Pengolahan citra digital menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan akurasi sistem deteksi *pneumonia*. Teknik ini membantu dalam memperjelas fitur-fitur dalam citra yang mungkin menunjukkan adanya *pneumonia*, sehingga memudahkan sistem dalam mengidentifikasi kasus *pneumonia*. Dengan terus mengoptimalkan metode pengolahan citra ini, sistem dapat menjadi lebih efisien dalam mengidentifikasi kasus *pneumonia* pada tahap awal. Ini sangat penting karena deteksi dini *pneumonia* memungkinkan penanganan yang lebih cepat dan lebih baik bagi pasien, yang pada akhirnya dapat meningkatkan peluang pemulihan pasien.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berfokus pada eksplorasi potensi metode pengolahan citra digital, khususnya teknik yang dikenal sebagai histogram equalization, dalam meningkatkan akurasi sistem deteksi *pneumonia* pada citra X-ray paru-paru. Teknik ini dirancang untuk meningkatkan kontras dan distribusi intensitas piksel dalam citra, sehingga memudahkan sistem dalam mengenali tanda-tanda *pneumonia*.

Sebelum implementasi *histogram equalization*, sistem memiliki akurasi sebesar 73% berdasarkan perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + FN + TN)} \\ \text{Accuracy} &= \frac{(21 + 12)}{(21 + 13 + 12)} \\ \text{Accuracy} &= \frac{33}{45} \\ \text{Accuracy} &= 0,73 * 100\% \\ \text{Accuracy} &= 73\% \end{aligned}$$

Setelah implementasi histogram equalization dalam proses pengolahan citra, akurasi sistem meningkat menjadi 78% berdasarkan perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + FN + TN)} \\ \text{Accuracy} &= \frac{(32 + 3)}{(32 + 3 + 10)} \\ \text{Accuracy} &= \frac{35}{45} \\ \text{Accuracy} &= 0,78 * 100\% \\ \text{Accuracy} &= 78\% \end{aligned}$$

Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan citra dapat memainkan peran penting dalam membantu sistem mengidentifikasi tanda-tanda *pneumonia*. Meskipun peningkatan ini signifikan, masih ada ruang untuk perbaikan dan optimasi lebih lanjut. Ini menunjukkan bahwa metode pengolahan citra, seperti histogram equalization, memiliki potensi besar untuk lebih meningkatkan akurasi sistem deteksi *pneumonia*. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan terus mengoptimalkan metode pengolahan citra ini, kita dapat lebih efisien dalam mengidentifikasi kasus *pneumonia* pada tahap awal. Ini sangat penting karena deteksi dini memungkinkan penanganan yang lebih cepat dan lebih baik bagi pasien, yang pada akhirnya dapat meningkatkan peluang pemulihan pasien. Penelitian lebih lanjut dapat memperluas penggunaan metode lain dalam pengolahan citra yang dapat meningkatkan akurasi deteksi *pneumonia* secara signifikan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan deteksi *pneumonia*, tetapi juga membuka jalan untuk inovasi dan peningkatan lebih lanjut dalam bidang ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan.

REFERENSI

- [1] B. Alnur, Mulyono, Fitri Amillia, en S. Sutoyo, "JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)", *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol 7, no 1, bl 102-111, 2023, [Online]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/335117624_Malang_City_Polytechnic_Web_Based_Student_Attendance_Information_System_Telecommunications_Engineering_Study_Program_Using_Fingerprint/fulltext/5d515fe34585153e594ef214/Malang-City-Polytechnic-Web-Based-S
- [2] O. F. Soedradjat, R. Magdalena, en N. K. C. Pratiwi, "Deteksi Gangguan Paru-Paru Berbasis Citra X-Ray Menggunakan Deep Learning", *e-Proceeding Eng.*, vol 8, no 6, bl 2891-2896, 2022.
- [3] U. P. Sanjaya, Z. Alawi, A. R. Zayn, en G. P. Dirgantoro, "Optimasi Convolutional Neural Network dengan Standard Deviasi untuk Klasifikasi Pneumonia pada Citra X-rays Paru", *Gener. J.*, vol 7, no 3, bl 40-47, 2023, doi: 10.29407/gj.v7i3.20183.
- [4] J. Yopento, E. Ernawati, en F. F. Coastera, "Identifikasi Pneumonia Pada Citra X-Ray Paru-Paru Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Berdasarkan Ekstraksi Fitur Sobel", *Rekursif J. Inform.*, vol 10, no 1, bl 40-47, 2022, doi: 10.33369/rekursif.v10i1.17247.
- [5] A. A. Hipzi, G. W. Wiriasto, I. Made, en B. Suksmadana, "Klasifikasi Pneumonia Pada Augmentasi Citra X-Ray Paru-Paru Menggunakan Metode Convolution Neural Network (Cnn)", 2023, [Online]. Available at: <http://eprints.unram.ac.id/id/eprint/39247>
- [6] A. S. Wiratama, M. Rifqi, en S. Maesaroh, "Efektivitas Transfer Learning Dalam Pendeteksian Penyakit Pneumonia Melalui Citra X-

- Ray Paru Manusia”, *J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol 7, no 1, bl 43–52, 2023, doi: 10.47080/saintek.v7i1.2551.
- [7] “19-Article Text-118-1-10-20230728.pdf”.
- [8] P. I. Prayogi, F. Hilman, en S. S. Tomhert, “Klasifikasi Penyakit Pneumonia Dan Covid-19 Berbasis Citra X-Ray Menggunakan Arsitektur Deep Residual Network”, *e-Proceeding Eng.*, vol 9, no 4, bl 1837–1843, 2022.
- [9] N. P. Ekananda en D. Riminarsih, “Identifikasi Penyakit Pneumonia Berdasarkan Citra Chest X-Ray Menggunakan Convolutional Neural Network”, *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol 27, no 1, bl 79–94, 2022, doi: 10.35760/ik.2022.v27i1.6487.
- [10] F. Antony, H. Irsyad, en M. E. Al Rivan, “KNN Dan Gabor Filter Serta Wiener Filter Untuk Mendiagnosis Penyakit Pneumonia Citra X-RAY Pada Paru-Paru”, *J. Algoritm.*, vol 1, no 2, bl 147–155, 2021, doi: 10.35957/algoritme.v1i2.893.
- [11] M. Adzkia, F. Arland, en A. W. Setiawan, “Deteksi Pneumonia Menggunakan Citra Sinar-X Paru berbasis Residual Network”, *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol 9, no 2, bl 373–380, 2022, doi: 10.25126/jtiik.2022925626.
- [12] R. R. E. PRASETYO en M. ICHWAN, “Perbandingan Metode Deep Residual Network 50 dan Deep Residual Network 152 untuk Deteksi Penyakit Pneumonia pada Manusia”, *MIND J.*, vol 6, no 2, bl 168–182, 2021, doi: 10.26760/mindjournal.v6i2.168-182.
- [13] M. A. Alghozali *et al.*, “Klasifikasi Penyakit Pneumonia Citra Digital X-Ray Menggunakan Metode Convolutional Neural Network dan RGB Equalization”, vol 3, bl 229–236, 2024.
- [14] B. Nugroho en E. Y. Puspaningrum, “Kinerja Metode CNN untuk Klasifikasi Pneumonia dengan Variasi Ukuran Citra Input”, *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol 8, no 3, bl 533–538, 2021, doi: 10.25126/jtiik.2021834515.
- [15] N. Yudistira, A. W. Widodo, en B. Rahayudi, “Deteksi Covid-19 pada Citra Sinar-X Dada Menggunakan Deep Learning yang Efisien”, *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol 7, no 6, bl 1289, Des 2020, doi: 10.25126/jtiik.2020763651.
- [16] I. Gusmanda, J. Raharjo, en E. Suhartono, “Deteksi Penyakit Pneumonia Berbasis Citra XRay Menggunakan Cnn Arsitektur Vgg-19”, vol 10, no 6, bl 5178–5181, 2023.
- [17] B. M. Sapata en D. Juniati, “Ray Thorax Menggunakan Metode Fraktal Box Counting”, vol 7, no 3, 2019.
- [18] R. A. Wati, H. Irsyad, en M. E. A. R. Rivan, “Klasifikasi Pneumonia Menggunakan Metode Support Vector Machine”, *J. Algoritm.*, vol 1, no 1, bl 21–32, 2020, [Online]. Available at: [http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2652619&val=24585&title=KLASIFIKASI PNEUMONIA MENGGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE](http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2652619&val=24585&title=KLASIFIKASI%20PNEUMONIA%20MENGUNAKAN%20METODE%20SUPPORT%20VECTOR%20MACHINE)
- [19] W. Darmalaksana, “Metode Penelitian Kualitatif Studi Pustaka dan Studi Lapangan”, *Pre-print Digit. Libr. UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, bl 1–6, 2020.
- [20] Ahmad en Muslimah, “Memahami Teknik Pengolahan dan Analisis Data Kualitatif”, *Proceedings*, vol 1, no 1, bl 173–186, 2021.

ISSN 2830-523X



Alamat Redaksi & Tata Usaha

Gedung Dharma Penelitian
Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung
Balunijuk, Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka Belitung
Laman : <http://journal.ubb.ac.id/index.php/electron>
e-mail : jurnalelectron@gmail.com