



COMPLETE

Journal of Computer, Electronic,
and Telecommunication

Vol.4 No.1 July 2023



JURNAL

KEMAJUAN TEKNIK
KOMPUTER, ELEKTRO, & TELEKOMUNIKASI

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

Website: journal.ittelkom-sby.ac.id/complete | E-mail: complete@ittelkom-sby.ac.id

COMPLETE | Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication | Vol.4 No.1 July 2023



Institut Teknologi Telkom Surabaya
Ketintang Str. No. 156, Surabaya, 60231,
East Java, Indonesia
E-mail: complete@ittelkom-sby.ac.id;
Web: journal.ittelkom-sby.ac.id/complete



EDITORIAL TEAM

Editor in Chief:

Dr. Chaironi Latif, ST, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Editorial Members:

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

Dr. Isa Hafidz., ST., MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Nisa Isrofi., ST., MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Aulia Rahma Annisa, S.ST., M.T., *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Billy Montolalu, S.Kom., M.Kom., *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Peer Reviewers:

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

Dr. Susijanto Tri Rasmana, S.Kom., M.T, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Dimas Adiputra, ST., M.Phil, PhD, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Anifatul Faricha, ST., M.Sc, *Tokyo Institute of Technology*

Mohamad Yani, S.ST., M.Phil, *Tokyo Metropolitan University*

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

Muhsin, ST., MT, *Universiti Teknologi Malaysia*

Ardiansyah Al Farouq, S.ST., M.T, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Risdillah Mimma Untsa, S.ST., M.T, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication

Faculty of Electrical Engineering - Institut Teknologi Telkom Surabaya

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

Phone. +6285 234852155; E-mail: complete@ittelkom-sby.ac.id;

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

(This page is intentionally left blank)

TABLE OF CONTENTS

COVER PAGE

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

ARTICLES

1. Pengenalan Gestur Jari Tangan Sebagai Media Pembelajaran Berhitung Bagi PAUD Berbasis Visi Komputer dan Deep Learning	9-18
2. Implementation of Extreme Learning Machine for Water Quality Control in Vannamei Shrimp Ponds	19-28
3. Perancangan Sistem Sortir Limbah Plastik Warna Berdasarkan Warna Menggunakan PLC	29-38
4. Rancang Bangun Sistem Kendali Nilai Klorin pada Kandungan Air Laut Menggunakan Metode Fuzzy Logic	39-50
5. Implementasi dan Optimalisasi Solar PV sebagai Sumber Tenaga Listrik untuk Memenuhi Beban Elektronik di Kampung Oase Ondomohen Surabaya	51-64

(This page is intentionally left blank)

ABOUT THE JOURNAL

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

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

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

(This page is intentionally left blank)

PREFACE

Welcome to the Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication, Vol. 4, Issue No. 1. It is my privilege and pleasure to present the fourth volume of this peer-reviewed journal under Institut Teknologi Telkom Surabaya. This journal aims to accommodate the results of research publications through national and worldwide journals as part of continuous improvement.

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

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

Surabaya, July 2023

Editor-In-Chief of Journal

(This page is intentionally left blank)

Pengenalan Gestur Jari Tangan Sebagai Media Pembelajaran Berhitung Bagi PAUD Berbasis Visi Komputer dan *Deep Learning*

Muhammad Rifki Pratama ¹, Heri Pratikno ^{2*}, Yosefine Triwidyastuti ³, dan Musayyanah ⁴

^{1,2,3,4} Teknik Komputer, Fakultas Teknologi dan Informatika, Universitas Dinamika, Indonesia

* Korespondensi: heri@dinamika.ac.id

Abstrak: Pendidikan anak usia dini (PAUD) merupakan periode perkembangan yang penting dalam kehidupan anak, salah satu pertumbuhan yang penting adalah aspek kognitif. Berhitung termasuk dalam kemampuan kognitif yang meliputi kemampuan menghafal, memahami, mengaplikasi, menganalisis, mensintesis, dan kemampuan mengevaluasi. Guna meningkatkan kemampuan berhitung bagi anak-anak maka harus diketahui bagaimana cara mengaplikasikan hitungan tersebut dalam dunia nyata. Pada penelitian ini memberikan solusi bagaimana cara belajar berhitung yang menyenangkan serta tidak membosankan bagi anak-anak menggunakan media pembelajaran berhitung yang interaktif melalui pengenalan bentuk gestur jari-jari kedua tangan berbasis visi komputer dan *deep learning* secara *realtime*. Adapun visi komputer pada penelitian ini menggunakan *framework* MediaPipe, sedangkan metode *deep learning* yang digunakan adalah arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN). Hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, akurasi deteksi kesepuluh jari tangan untuk proses berhitung dari metode MediaPipe sebesar 89,9% dengan *frame per second*-nya antara 20-25 FPS. Metode CNN persentase akurasi deteksinya 20% dengan nilai FPS-nya antara 10-12 FPS, manfaat dari hasil penelitian ini bisa memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan, menstimulasi, dan mendukung perkembangan anak secara holistik.

Kata Kunci: CNN; Gestur Jari Tangan; Mediapipe; Media Pembelajaran; Visi Komputer

1. Pendahuluan

Kesuksesan pada masa depan dimulai dari pendidikan sejak usia dini, sehingga pendidikan sejak dini merupakan aspek penting dalam kehidupan seseorang. Undang-undang sistem pendidikan nasional Republik Indonesia No. 20 tahun 2003 pada Bab 1 Butir ke-14 menyatakan bahwa pendidikan sejak usia dini merupakan upaya pembinaan anak dari lahir hingga usia 6 tahun melalui pemberian stimulus pendidikan guna membantu tumbuh dan kembangnya jasmani dan rohani agar anak mempunyai kesiapan mengikuti pendidikan lebih lanjut melalui pembiasaan, memberikan dorongan, semangat dan keteladanan [1].

Pada masa pandemi COVID-19 di seluruh dunia pada umumnya dan Indonesia pada khususnya terjadi perubahan yang signifikan pada dunia pendidikan, dimana kegiatan proses belajar-mengajar dilakukan secara *daring* atau *online*. Perubahan tersebut mengakibatkan terjadinya *learning loss* terutama pada pendidikan anak usia dini yang memerlukan proses interaksi yang interaktif secara langsung belajar dengan guru serta bermain dengan teman sebaya. Salah satu pembelajaran yang terkena *learning loss* adalah pelajaran dasar berhitung pada anak PAUD. Terkait dengan permasalahan tersebut diatas maka diperlukan berbagai cara yang kreatif untuk memberikan solusi agar aktivitas belajar berhitung dapat dilakukan dengan menyenangkan serta tidak membosankan bagi anak-anak, salah satu metode yang dapat diterapkan serta mempunyai prospek yang besar pada bidang pendidikan adalah bidang kecerdasan buatan (*artificial intelligence*).

Beberapa penelitian-penelitian yang telah menerapkan *artificial intelligence* baik menggunakan metode *machine learning*, *deep learning* dan *computer vision* untuk proses deteksi gesture jari tangan antara lain: penelitian pengenalan gestur tangan berbasis penghitungan jari menggunakan CNN dan sensor *infra-red*, sebagai antarmuka alternatif pengganti fitur tombol sentuh konvensional di mobil dengan nilai akurasi 97% [2]. Penelitian [3] melakukan klasifikasi gestur tangan menggunakan arsitektur CNN untuk membaca bahasa isyarat SIBI dengan tingkat akurasi sebesar 88%. Deteksi gestur jari tangan menggunakan YOLO untuk pengendalian slide presentasi pada jarak 1 meter hingga 2,5 meter mendapatkan rata-rata akurasi 91,18% [4].

Pengenalan gestur tangan juga dapat digunakan untuk menggantikan fungsi *mouse* komputer melalui kamera dengan tingkat akurasi 68% pada 75 kali percobaan [5]. Penelitian lain yang terkait dengan pengenalan gestur tangan untuk penerapan di layanan mandiri edukasi menggunakan kamera [6], disamping itu pengenalan gestur juga dapat digunakan sebagai alat bantu komunikasi pasien stroke berat yang terintegrasi dengan *internet of things* (IoT) untuk memberikan notifikasi perubahan gerak ke aplikasi berbasis Android [7].

Penulis pada penelitian ini menerapkan metode visi komputer dan *deep learning* yang digunakan sebagai media pembelajaran berhitung bagi anak PAUD melalui proses deteksi dan pengenalan gestur jari dari kedua tangan. Guna mengetahui seberapa *realtime* sistem yang telah dibuat maka juga dihitung FPS-nya (*frame per second*), dikatakan sistem berjalan dalam waktu nyata apabila *frame per second* nilainya diantara 8 – 30 FPS. Proses pengenalan gestur kesepuluh jari tangan secara visi komputer menggunakan *framework* MediaPipe sedangkan untuk metode *deep learning* menerapkan arsitektur CNN (*Convolutional Neural Network*), penjelasan dari kedua metode tersebut diatas dibahas pada *sub-bab* metode penelitian.

2. Bahan dan Metode

2.1. Perangkat Lunak

Pada sub-bab ini akan dibahas metode serta bahan-bahan pendukung utama penelitian, baik dari rancangan perangkat lunak maupun perangkat kerasnya. *Library* utama visi komputer pada penelitian ini menggunakan OpenCV (*Open Computer Vision*), OpenCV adalah *library open source* lisensi dari BSD-*Licensed* yang mempunyai lebih dari 2.500 macam algoritma yang mendukung keperluan penerapan visi komputer dan *machine learning*. Algoritma yang ada di OpenCV mempunyai fungsi dan kegunaan masing-masing, seperti halnya untuk proses deteksi dan pengenalan wajah, deteksi jenis kelamin, deteksi gerakan tangan, identifikasi objek dan sebagainya [8]. *Deep learning* merupakan metode pengembangan dari *machine learning* yang saat ini banyak digunakan dalam penelitian maupun penerapan kecerdasan buatan dalam aktivitas sehari-hari manusia, untuk mendapatkan *knowledge* maka diperlukan proses *training dataset* pada *deep learning*. *Deep learning* menjalankan perintah secara spesifik, perintah spesifik tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi gambar, identifikasi gambar, klasifikasi gambar maupun untuk proses prediksi [9].

Bahasa pemrograman yang digunakan pada penelitian ini adalah bahasa pemrograman yang interpretatif, yaitu: Python, karena Python dapat memenuhi kebutuhan programming yang fokus pada tingkat keterbacaan kode serta banyak diterapkan pada bidang *machine learning*, *Internet of Things* dan *data science* [10]. CNN merupakan salah satu arsitektur dari *deep learning* yang digunakan untuk proses data dari suatu citra, sehingga mampu mengenali dan mendeteksi objek yang diinginkan dari suatu citra. CNN selain dapat melakukan proses klasifikasi gambar, juga dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan pada bidang *Computer Vision* [11]. Perusahaan Google membangun sebuah *pipeline* yang digunakan untuk proses data persepsi dari berbagai format video dan audio dalam *framework* Mediapipe. Mediapipe dapat diterapkan pada rancangan aplikasi yang akan dibangun memerlukan kecerdasan buatan, *framework* dari Mediapipe memberikan sekumpulan solusi pada bidang *machine learning*, diantaranya: *iris detection*, *face detection*, *segmentation*, *holistic* dan sebagainya.

Jupyter Notebook mempunyai lingkungan komputasi interaktif yang populer sehingga memungkinkan pengguna untuk berbagi dan membuat dokumen untuk menggabungkan kode,

narasi dan visualisasi. *Jupyter* berbasis antarmuka *web* yang interaktif untuk pemrograman dari beberapa bahasa pemrograman, diantaranya Python, Julia dan R. *Jupyter Notebook* juga memiliki lingkungan yang fleksibel serta interaktif untuk eksplorasi data, pengembangan, komunikasi ilmiah dan pembelajaran mesin sehingga banyak digunakan oleh para peneliti, *data scientist*, komputasi jurnalisme dan *developer* untuk men-*develop* serta mendokumentasikan kode beserta proses analisis data.

2.2. Metode Penelitian

2.2.1 Instalasi *Environment* dan *Dataset*

Sebelum melakukan pemrograman untuk pengenalan gestur jari tangan berbasis visi komputer maupun pemrograman berbasis arsitektur *deep learning* maka diperlukan proses instalasi, setting dan konfigurasi *environment*. Pada proses *environment* melakukan instalasi semua *library* yang diperlukan agar program selanjutnya dapat berjalan dengan baik dan lancar sehingga tidak muncul pesan kesalahan yang ditampilkan pada saat program di-*running* atau di-*compile*. *Dataset* bentuk gestur jari tangan yang dipakai untuk proses *training* pada penelitian ini menggunakan *dataset* publik yang diambil dari alamat *web kaggle.com*, sebagaimana tampak pada Gambar 1 di bawah.

Proses augmentasi data juga dilakukan pada penelitian ini, augmentasi data merupakan salah satu cara untuk memperbanyak data latih yang dilakukan secara virtual dengan cara satu citra yang asli akan dikomputasi dengan dilakukan proses pengolahan citra di-*mirroring*, *zoom in/out*, *flip*, *rotate*, *crop* dan sebagainya. Proses augmentasi data tersebut tidak merubah arti atau makna citra aslinya, semakin banyak jumlah yang di-*training* maka akan semakin meningkatkan persentase akurasi dari *deep learning*. *Dataset* bentuk gestur jari tangan pada penelitian ini terdiri dari 11 jenis, yaitu: jari 0 sampai dengan jari 10, adapun *dataset* keseluruhan dari gestur jari tangan jumlahnya 21.600 citra yang mana setiap gestur jari mempunyai 1.800 citra dengan rincian 18.000 citra untuk proses *training* dan 3.600 citra gestur jari untuk proses validasi. Gambar 2(a) menampilkan *flowchart* proses *training* dan Gambar 2(b) menunjukkan *flowchart* proses validasi dari metode CNN.

Tahapan proses *training* yang dilakukan pada arsitektur CNN tampak pada Gambar 2(a), di mulai pada langkah *Start* hingga pengaksesan *dataset*, pada gambar 2(b) dari proses *training* dilakukan pengecekan kondisi, apakah proses *training* berhasil dilakukan jika belum maka dilanjutkan proses *training*nya, apabila sudah selesai maka program akan melanjutkan ke proses validasi *dataset*. Proses validasi akan melakukan tahapan *pre-testing*, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah *knowledge* atau pengetahuan dari CNN hasil dari proses *training* sudah mempunyai persentase *accuracy*, *specitivity* dan *sensitivity* yang tinggi, supaya pada saat dilakukan proses *testing* hasilnya tidak terjadi *overfitting* dan *underfitting*.

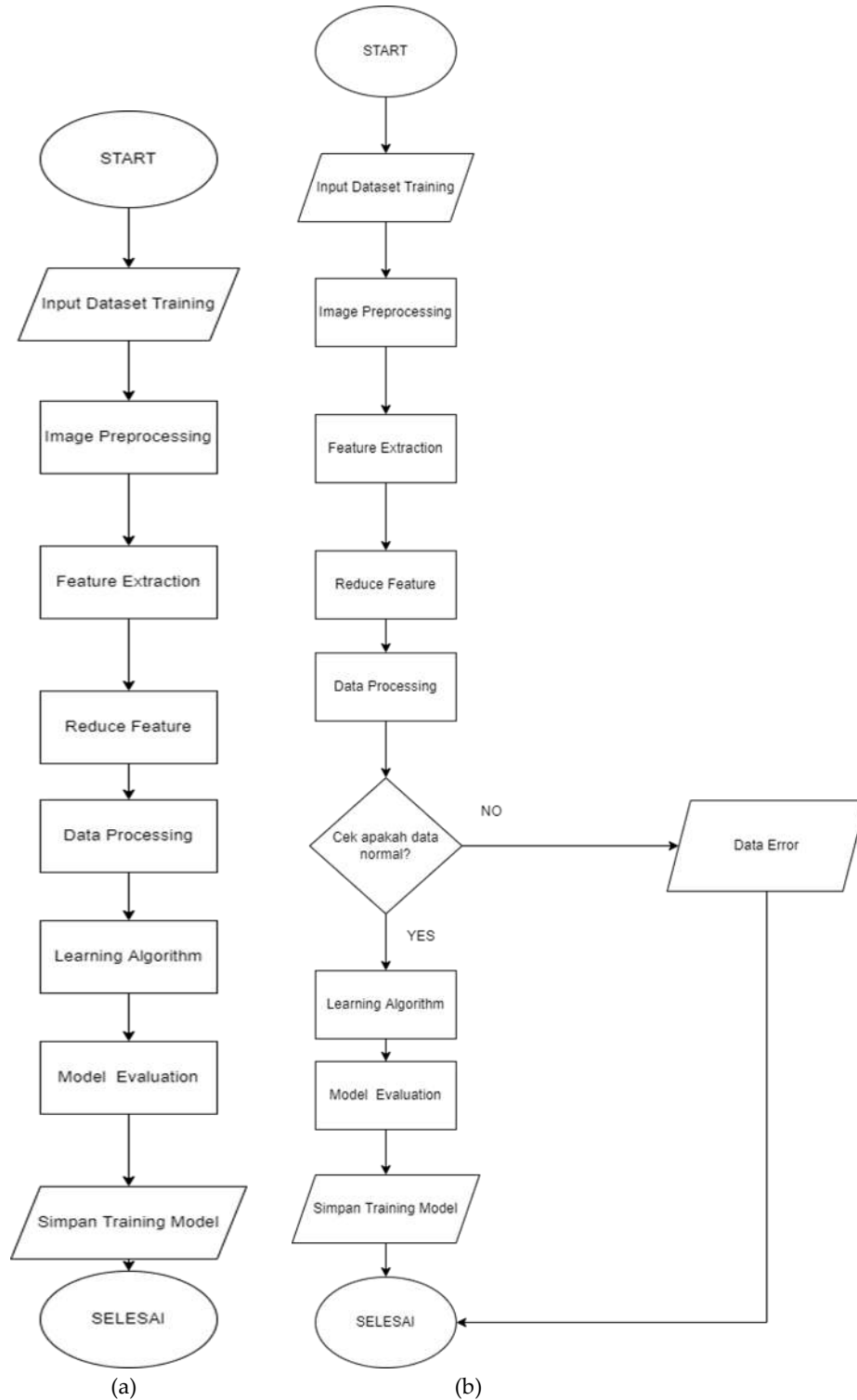


Gambar 1. *Dataset* gestur jari tangan

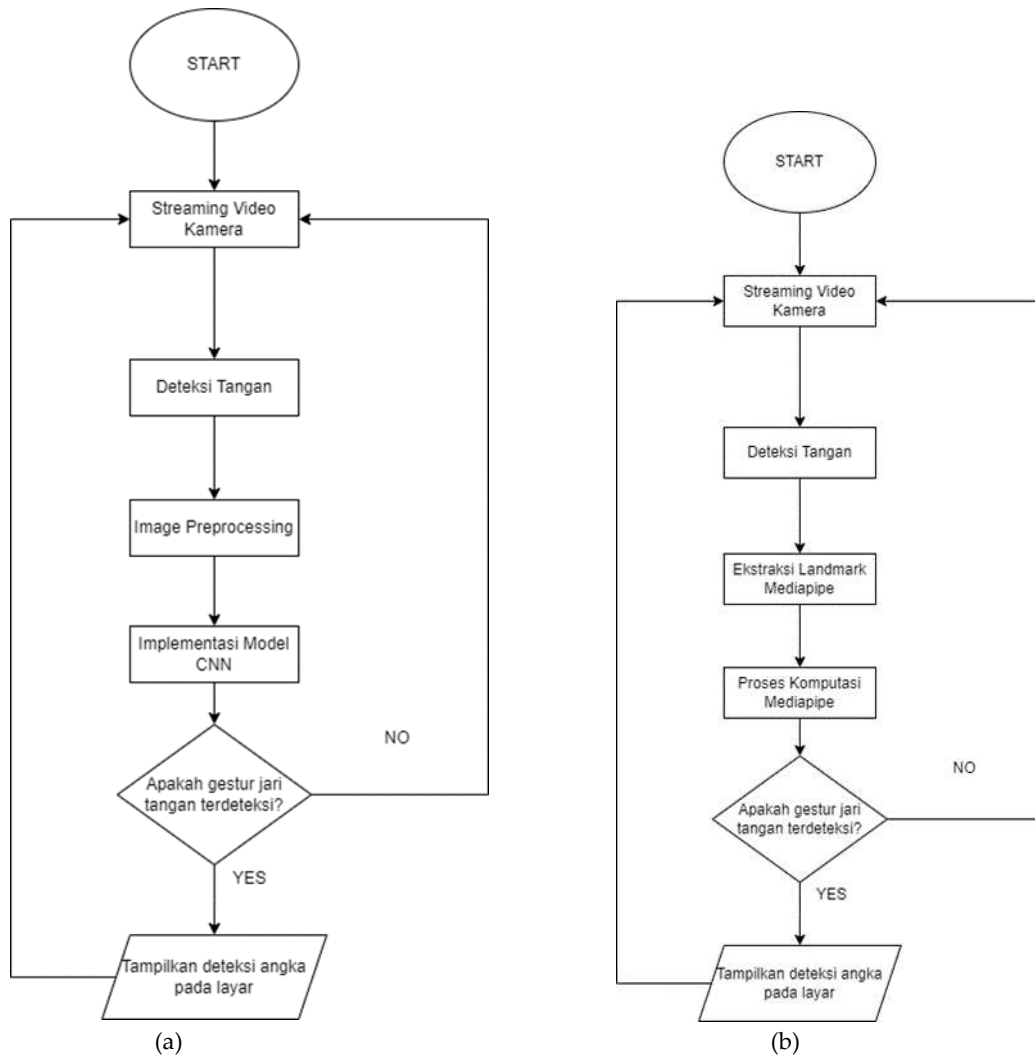
2.2.2 Metode Deteksi dengan CNN

Hasil dari proses *training* setelah dilakukan akan disimpan menjadi sebuah model, model ini akan dijalankan atau dipanggil pada saat CNN melakukan proses *testing*, hal ini dilakukan untuk mempersingkat waktu karena secara normalnya proses *training* ini akan perlu waktu yang cukup lama hingga berjam-jam tergantung dari besarnya dan banyaknya jumlah *dataset*-nya. Semakin banyak jumlah *dataset* maka waktu komputasinya juga akan semakin lama, guna mengetahui proses deteksi pada CNN dapat dilihat *flowchart*-nya pada Gambar 3(a). Pengujian proses deteksi menggunakan metode CNN dimulai dengan mengaktifkan *webcam*, jika terdeteksi gestur jari tangan

maka jari tangan akan ditampilkan di layar dengan diberi *squarebox* serta di layar akan ditampilkan angka yang menunjukkan jumlah dari jari tangan yang terdeteksi. Apabila jari tangan tidak terdeteksi maka di layar monitor tidak menampilkan apapun, program secara terus-menerus akan melakukan proses *scanning* atau *looping* secara terus-menerus untuk mendeteksi keberadaan dari jari tangan.



Gambar 2. Flowchart proses di CNN: (a) Proses training dan (b) Proses validasi



Gambar 3. Flowchart deteksi getur jari tangan: (a) Metode CNN dan (b) Metode MediPipe

2.2.3 Metode Deteksi dengan MediaPipe

MediaPipe merupakan aplikasi *open-source framework* lintas *platform* yang dapat memproses data-data multimedia, MediaPipe dikembangkan oleh Google untuk melakukan komputasi hasil dari proses *pre-trained* pada *dataset* skala besar yang didesain untuk melakukan berbagai tugas spesifik, diantaranya: estimasi pose, pengenalan wajah, deteksi objek, pelacakan tangan dan sebagainya. Bahasa dan *platform* pemrograman MediaPipe menggunakan *backend* TensorFlow sehingga dapat mengeksekusi CPU dan GPU secara efisien, MediaPipe dapat berjalan secara *realtime* di berbagai perangkat karena bersifat *open-source* maka pengembangan modelnya sangat pesat yang didorong oleh kolaborasi dari para komunitas. Proses deteksi menggunakan metode MediaPipe, jika ada gestur jari tangan yang tertangkap oleh kamera maka program akan menampilkan *landmark* yang fungsinya untuk melakukan klasifikasi gestur jari tangan. Adapun tampilan *flowchart* proses di MediaPipe dapat dilihat pada Gambar 3(b), apabila terdeteksi keberadaan jari tangan yang ditandai munculnya *landmark* maka hasil deteksinya akan ditampilkan di layar.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada sub-bab ini akan dibahas hasil perbandingan kinerja dari kedua metode untuk mendeteksi dan mengenali gestur jari tangan, metode yang mana mempunyai akurasi paling tinggi dengan tingkat komputasi yang rendah, apakah metode yang berbasis visi komputer menggunakan MediaPipe atau metode yang berbasis *deep learning* menggunakan CNN. Proses pengujian dari kedua metode tersebut dilakukan dengan prosedur yang sama, yaitu: memberikan input deteksi yang sama, menjalankan proses deteksi dan pengenalan gestur jari tangan serta dilakukan perhitungan *frame per*

second (FPS). Hasil pembacaan pada Tabel 2, tampak rata-rata akurasi deteksi dari MediaPipe sebesar 89,9% lebih tinggi daripada akurasi dari CNN pada Tabel 1, *frame per second*-nya dapat mencapai 25 – 30 FPS, kelebihan dari metode MediaPipe ini didapat karena proses komputasinya lebih cepat dan lebih ringan daripada komputasi CNN, dalam proses deteksi gestur jari tangan MediPipe mempunyai fitur *landmark* sehingga hasil deteksinya lebih akurat walaupun dengan kontur *background* yang sama.

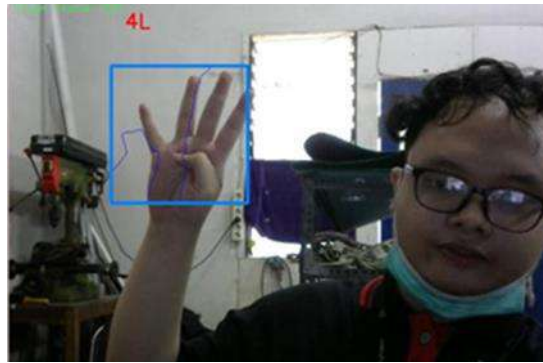
3.1. Hasil Pengujian pada Proses Deteksi

Proses pengujian serta pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada 5 orang dengan pengulangan sebanyak 3 kali dengan durasi 5 detik, 10 detik dan 15 detik. Setiap kali pengujian bentuk gestur jari kedua tangan memperagakan angka 0 sampai dengan angka 10, sehingga totalnya 11 buah. Jumlah pengambilan data setiap orang sebanyak 3 x 11 maka totalnya 33 bentuk gestur jari tangan, apabila hal tersebut dilakukan oleh 5 orang maka total data uji yang diambil sebanyak 165 buah. Perbandingan hasil pengujian proses deteksi dari metode CNN dan MediaPipe dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, pada Tabel 1 terlihat bahwa pengenalan gestur jari tangan menggunakan CNN rata-rata akurasinya masih rendah, yaitu: 20% dengan *frame per second*-nya antara 12 – 15 FPS, hal ini disebabkan komputasi dari metode CNN lebih berat daripada MediaPipe, disamping itu kondisi pencahayaan dan kontur *background* juga mempengaruhi. Pengujian proses deteksi tersebut menggunakan 11 gestur jari, yaitu: gestur jari 0 – 10, sebagai salah satu contoh gambar hasil dari proses deteksi perhitungan gestur jari angka 0 menggunakan MediaPipe terlihat pada Gambar 4 dengan kondisi semua jari tangan menggenggam atau mengepal sehingga jumlah semua nilai *keypoint* dari jari tersebut 0.

Salah satu contoh gambar hasil proses deteksi pengenalan gestur jari tangan menggunakan CNN terlihat pada Gambar 5, tampak CNN dapat mendeteksi 4 gestur jari tangan dan dikenali sebagai angka 4 yang tampil di layar. Proses deteksi dengan CNN menggunakan *region of interest* (ROI) untuk mendeteksi area dari objek yang diinginkan dan ekstraksi kontur yang didapatkan setelah objek dikonversi dari ruang warna RGB ke ruang warna BGR. Citra hasil dari konversi ruang warna tersebut akan dibandingkan dengan citra yang ada di *dataset* oleh model yang telah disimpan.

Tabel 1. Hasil Deteksi CNN

No	Subjek Uji	Percobaan ke-	Lama Uji (Detik)	Akurasi Deteksi Gestur Jari Tangan (%)											FPS
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	Rifki	1	15	30	30	40	30	40	30	20	10	20	10	10	15
		2	10	30	40	40	30	30	10	20	10	20	10	10	16
		3	5	20	10	30	20	30	20	10	20	10	10	30	13
2.	Akbar	1	15	30	20	30	30	20	10	30	10	20	10	20	15
		2	10	30	30	30	20	10	30	10	20	10	10	20	17
		3	5	30	10	20	30	30	20	10	30	10	10	20	14
3.	Toriq	1	15	30	20	10	40	30	10	20	10	10	20	10	13
		2	10	30	20	30	10	30	20	10	20	10	10	20	16
		3	5	30	30	20	10	10	20	10	20	10	20	10	17
4.	Erwin	1	15	30	20	30	10	20	10	10	10	10	20	10	15
		2	10	10	20	10	30	20	30	10	20	10	20	20	12
		3	5	30	20	30	30	20	10	20	10	10	20	10	13
5.	Stifandy	1	15	30	30	20	30	30	20	10	10	20	10	20	14
		2	10	30	40	30	30	20	10	10	20	20	10	20	16
		3	5	30	20	40	30	30	20	20	10	10	20	10	12



Gambar 4. Deteksi bentuk gestur jari angka 4 menggunakan landmark CNN

Tabel 2. Hasil Deteksi MediaPipe

No	Subjek	Percobaan Ke-	Lama Uji (detik)	Akurasi Deteksi Gestur Jari Tangan (%)											FPS
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	Rifki	1	15	90	90	80	100	90	90	90	80	90	90	90	26
		2	10	90	90	80	100	100	90	90	90	90	90	100	27
		3	5	90	100	90	100	90	90	100	90	90	90	100	30
2.	Akbar	1	15	80	100	90	100	90	90	90	100	90	80	100	28
		2	10	100	90	80	100	90	80	90	100	90	100	100	26
		3	5	100	90	90	80	100	90	100	90	90	80	90	27
3.	Toriq	1	15	100	90	100	90	80	90	90	100	90	90	90	26
		2	10	90	100	90	90	90	80	100	90	90	90	90	28
		3	5	90	90	100	90	90	80	80	90	90	90	100	30
4.	Erwin	1	15	90	90	90	100	100	90	90	80	90	90	100	25
		2	10	90	90	90	90	80	90	100	80	90	90	100	26
		3	5	90	100	90	90	90	80	80	90	90	90	100	27
5.	Stifa ndy	1	15	90	90	100	90	90	90	90	80	90	90	100	29
		2	10	90	90	100	90	100	90	100	90	90	90	100	28
		3	5	90	90	100	90	90	80	80	90	90	90	90	30



Gambar 5. Deteksi bentuk gestur jari angka 0 dengan keypoints menggunakan MediaPipe

3.2. Hasil Evaluasi Akurasi dan Loss

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa jumlah *epoch* pada saat proses *training* berkorelasi dengan peningkatan persentase akurasi, model yang di-*training* akan mengalami

kenaikan *loss* pada bagian validasi pada saat *epoch* rendah, *validasi loss* terdeteksi stabil ketika *epoch* tinggi. kenaikan *loss* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu diantaranya adalah kualitas input *dataset* yang kurang baik maka diperlukan tindakan awal *pre-processing*, *filtering* atau *image enhancement*. Jumlah *epoch* pada penelitian ini 5 *epoch*, berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini, jika *epoch* lebih dari 5 maka akan terjadi kondisi *overfitting* atau *underfitting* yang akan mengakibatkan hasil pengukuran dari parameter uji tidak menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Proses *training* dari 5 *epoch* tersebut memerlukan waktu total 17,113 detik dengan rata-rata waktu proses *epoch*-nya 3,423 detik.

Tabel 3. Hasil proses *training* dari CNN

Epoch	Lama Step	Loss	Accuracy	Validation Loss	Validation Accuracy
1	3.452 detik	0,5355	0,9254	10,1332	0.1667
2	3.439 detik	0,0565	0,9998	0,1292	0.9825
3	3.442 detik	0,0538	1,000	0,0538	1.000
4	3.414 detik	0,0527	1,000	0,0524	1.000
5	3.366 detik	0,0521	0,999	0,0512	1.000

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan terkait dengan evaluasi performa dari MediaPipe dan CNN dalam mengenali gestur jari tangan sebagai media pembelajaran berhitung bagi anak PAUD didapatkan kesimpulan sebagai berikut: akurasi hasil *training* dari arsitektur *Convolutional Neural Network* sebesar 100% pada *epoch* ke-5 dengan total waktu komputasi selama 17,113 detik. Arsitektur *Convolutional Neural Network* memerlukan waktu komputasi 12 detik pada tiap *steps* dan 3,366 – 3,452 detik pada setiap *epoch*-nya. Hasil komparasi rata-rata nilai persentase akurasi dari kedua metode deteksi pada proses *testing* menunjukkan bahwa persentase akurasi *framework* MediaPipe mencapai 89,9% dengan FPS-nya 25-30 *frame per second*, sedangkan persentase rata-rata akurasi *Convolutional Neural Network* 20% dengan *frame per second*-nya 12-15 FPS. Performa metode arsitektur CNN kurang optimal untuk penerapan pada deteksi objek secara *realtime*, dikarenakan memerlukan proses *training dataset* gestur jari tangan sehingga proses komputasinya lebih berat daripada MediaPipe yang memang didesain untuk deteksi gestur tangan maka arsitektur CNN lebih cocok untuk proses klasifikasi citra. Penelitian ini yang berbasis metode MediaPipe dan CNN ke depannya akan dikembangkan serta dibandingkan kinerjanya dengan arsitektur *deep learning* yang lainnya, yaitu: menggunakan pre-trained network model LSTM, Faster-RCNN dan ResNet5.0.

Referensi

1. A. Nurhayati. "Konsep Pendidikan Anak Usia Dini Menurut Ki Hajar Dewantara," S1 thesis, Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Pendidikan Indonesia, 2021.
2. S. Ahmed; F. Khan; A. Ghaffar; F. Hussain; S. H. Cho. "Finger-counting-based gesture recognition within cars using impulse radar with convolutional neural network," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 6, 2019, doi: 10.3390/s19061429.
3. N. Anam. "Sistem Deteksi Simbol pada SIBI (Sistem Isyarat Bahasa Indonesia) Menggunakan MediaPipe dan Resnet-50," Undergraduate thesis, Universitas Dinamika, 2022.
4. M. R. Zaman; F. Utamingrum. "Rancang Bangun Sistem Deteksi Gestur Tangan untuk Pengendalian Slide Presentasi menggunakan Algoritme You Only Look Once Versi 3," vol. 5, no. 8, pp. 3393–3398, 2021.

5. H. Yunita; E. Setyati. "Hand Gesture Recognition Sebagai Pengganti Mouse Komputer Menggunakan Kamera," *J. ELTIKOM*, vol. 3, no. 2, pp. 64–76, 2019, doi: 10.31961/eltikom.v3i2.114.
6. S. S. Makahaube; A. M. Sambul; S. R. Sompie. "Implementation of Gesture Recognition Technology for Automated Education Service Kiosk," *J. Tek. Inform.*, vol. 16, no. 4, pp. 1–8, 2021.
7. M. F. Nasution *et al.* "Perancangan Alat Bantu Komunikasi Pasien Stroke Berat Menggunakan Gesture Recognition Terintegrasi Internet Of Things Design a Communication Tool for Severe Stroke Patients Using Gesture Recognition Integrated with the Internet of Things," *Telekontran*, vol. 10, no. 2, pp. 128–138, 2022.
8. Andri Nugraha Ramdhon; Fadly Febriya. "Penerapan Face Recognition Pada Sistem Presensi," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 12–17, 2021, doi: 10.52158/jacost.v2i1.121.
9. M. Arsal; B. Wardijono; D. Anggraini. "Face Recognition Untuk Akses Pegawai Bank Menggunakan Deep Learning Dengan Metode CNN," *J. Nas. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 6, pp. 55–63, Jun. 2020, doi: 10.25077/TEKNOSI.v6i1.2020.55-63.
10. A. Zein. "Pendeteksian Kantuk Secara Real Time Menggunakan Pustaka OPENCV dan DLIB PYTHON," *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 28, Jul. 2018, doi: 10.37277/stch.v28i2.238.
11. A. Perdananto. "Penerapan deep learning pada Aplikasi prediksi penyakit Pneumonia berbasis Convolutional Neural networks," *J. Informatics Commun. Technol.*, vol. 1, pp. 1–10, Nov. 2019, doi: 10.52661/j_ict.v1i2.34.



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

Implementation of Extreme Learning Machine for Water Quality Control in Vannamei Shrimp Ponds

Faris Robby Zakariya^{1*}, Mat Syai'in², and Ryan Yudha Adhitya³

^{1,2,3}Departement of Automation Engineering, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

* Correspondence: faristech.id@gmail.com

Abstract: Based on the government's plan to increase shrimp production by 1,290,000 tons or experience a 250% increase, the application of science and technology knowledge is crucial in supporting the Indonesian Government's program, especially for increasing the production of *Litopenaesus Vannamei* shrimp. This research collaborates with shrimp pond farmers to develop technology that supports the cultivation of vaname shrimp. The water quality in the ponds can affect the harvest results, and water parameters such as pH, dissolved oxygen (DO), alkalinity, salinity, and temperature should be monitored and adjusted if they exceed the predetermined limits. Based on frequently encountered field conditions, water quality inspections are currently conducted manually with periodic checks, which can result in unstable water quality in the ponds. To address this, we have developed an Extreme Learning Machine-based water quality management system tailored to the geographic conditions of Indonesia. This tool uses sensors to read data from the pond water, which is then processed by a microcontroller and displayed in a web-based information system. This tool helps farmers determine the water conditions and address them accurately. Based on the experimental results, the data training error is 0.0001, and the error in the testing data is 0.1851. This indicates that the Extreme Learning Machine performs well in classifying water quality and determining the level of water quality controller in this research.

Kata Kunci: *Extreme Learning Machine; Litopenaesus Vannamei; Dissolved Oxygen; pH.*

1. Introduction

In the implementation of the National Development Plan (National Priorities) RPJMN 2020-2024, the Ministry of Marine Affairs and Fisheries aims to increase shrimp production in Indonesia by 250% over a five-year period (2019-2024) [1]. To achieve this target, support is required from various aspects, including the application of science and technology, to support the government's Shrimp Pond Revitalization program. The role of information systems is expected to enhance the outcomes of shrimp ponds, and the use of monitoring systems is closely related to Industry 4.0, where monitoring can be conducted anywhere and at any time.

In this research, we collaborated with one of the shrimp farmers as an industrial partner to develop technology that supports the cultivation of vannamei shrimp in intensive shrimp ponds. In managing the vannamei shrimp with our partner, cultivation is carried out using an intensive management system in circular ponds with a diameter of 25 meters and a water depth of 1.5 meters. Additionally, there are significant factors that affect the harvest results of shrimp farmers, namely water quality [2]. Given the relatively high shrimp density, water conditions must be constantly monitored, and specific treatments must be promptly applied if any parameter exceeds the predetermined threshold [3]. This is done to maintain the quality of pond water, and the parameters that need to be maintained include alkalinity, salinity, temperature, dissolved oxygen, and pH [3]. Based on observations conducted with our industrial partner, the monitoring of water quality parameters is still conducted periodically following the SNI standards, with Water Temperature of 29 - 32°C checked twice a day, Salinity of 15 - 23 (adjusted to the partner's shrimp pond) checked daily, pH of 7.5 - 8.5, and dissolved oxygen checked every 2 days.

This approach may lead to adverse consequences if sudden changes in water quality parameters occur due to certain factors [4].

Based on these factors, we developed an Extreme Learning Machine-based water quality management system. In this tool, we obtain real-time readings from sensors, which are then processed by a microcontroller and displayed in a web-based information system. The aim of this tool is to facilitate shrimp farmers in determining water conditions, enabling them to cultivate vannamei shrimp more effectively.

2. Materials and Methods

The overall design process of Water Quality Control using the Extreme Learning Machine can be explained as a following flowchart in Figure 1. It can be understood that the research process begins with data preparation, followed by data preparation for training. The prepared data is then used for determining the model of the extreme learning machine. Subsequently, the training process is conducted to obtain appropriate bias and weight values. If after 5000 iterations, the suitable bias and weight values have not been obtained, the ELM model is revised, and the training process is repeated. Once the minimum error value for training data (0.00001) is achieved, the obtained values are transferred to the microprocessor for testing data generation.

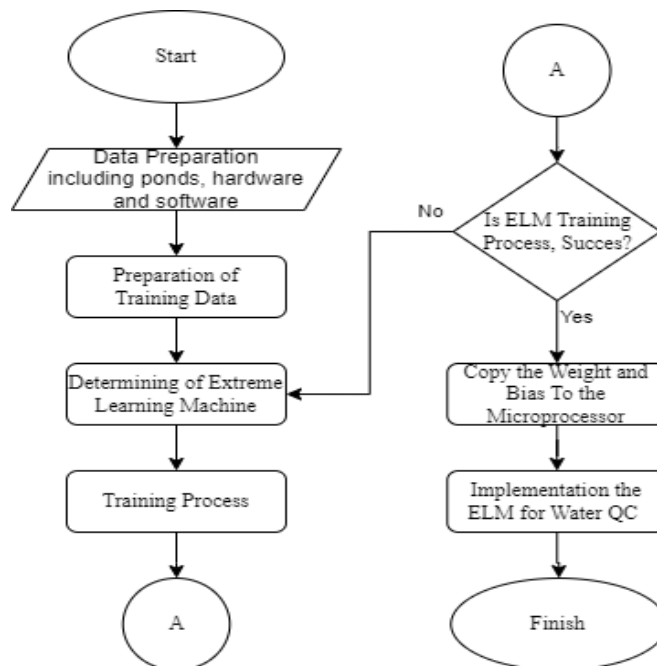


Figure 1. Flowchart of Design Water Quality Control



Figure 2. Shrimp Farm System



Figure 3. Standing Autofeeder

2.1. Experiment Data

Data used in this experiment consist of three components. The first component is shrimp ponds and the second component is Standing Auto Feeder (SAF) systems that contain sensors, processors, and actuators. The third components are treatment materials such as Molasses, and Calcium Carbonate (CaCO_3).

- **Shrimp Farm Data**

Shrimp Farm used in this experiment is circular a circular pond with a diameter of 10 m. The pond is also equipped with a piping system that is used for water circulation, to enter or remove water from the pond. The pool water level is in the range of 1.5 meters, so the volume of water in the pond is estimated at 736 m^3 .

The figure of the pond can be seen in Figure 2. The pond's constituent materials consist of a concrete foundation, with an iron support frame, and water-retaining material made of tarpaulin.

- **Standing Auto Feeder (SAF)**

Standing Autofeeder is an automatic feeding tool and an automatic water quality regulator. I use the autofeeder to control the parameter automatically, to maintain the pH, Disolved Oxygen, Alkalinity, Salinity, Temperature value within its range. From the Figure 3 above, we can identify the components of the autofeeder, which include:

1. Solar panel, as the energy source for the autofeeder.
2. Feed tube, for storing the feed before it is dispensed.
3. Reservoir tank, for storing CaCO_3 and molasses before spraying.
4. Feeder, for dispensing the feed into the pond.
5. Sprayer, for spraying molasses and CaCO_3 into the pond.
6. Controller panel, for placing the PCB board, valve relay, aerator relay, and SAF controller.

- **Water Treatment Material**

In this research, there are two materials for water threatment, CaCO_3 and Molasses. Both of them have their own functions, which are:

1. The first reservoir tank contains CaCO_3 liquid, which is chosen as a pH and alkalinity increaser. It can be used to increase alkalinity, which helps to maintain the stability of the pH value [5].
2. The second reservoir tank contains Molasses, which is chosen as a natural and effective pH reducer to help maintain the stable and optimal conditions of the water for the shrimp living in it [5].

2.2. Extreme Learning Machine

In this study, an Extreme Learning Machine model was used. This model was chosen to classify the water quality in vannamei shrimp ponds and determine the necessary actions [6]. The structure of the Extreme Learning Machine can be seen in Figure 4 below.

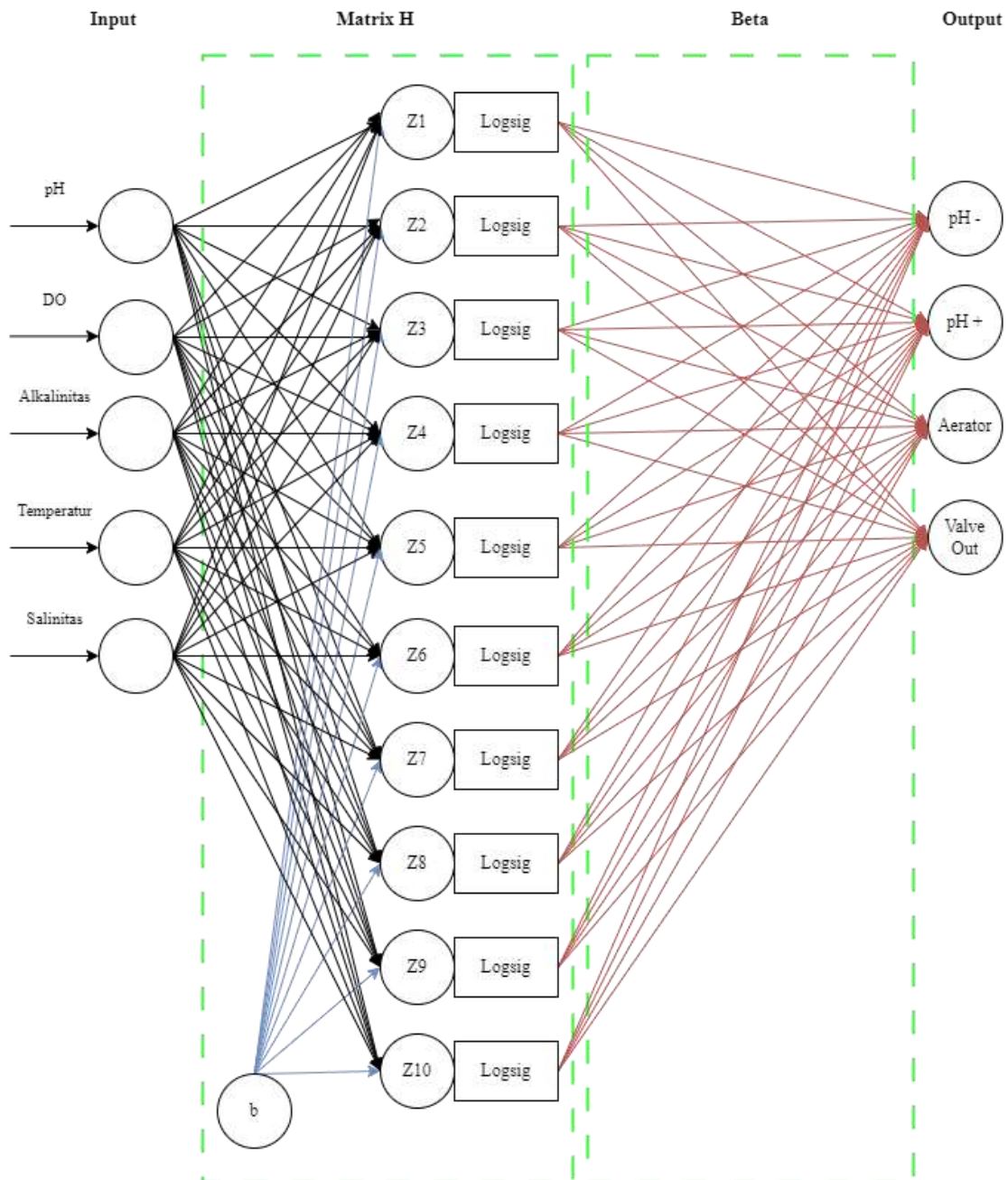


Figure 4. Extreme Learning Machine Structure

In the Figure 4 we can see the structure of the Extreme Learning Machine, The implementation of the Extreme Learning Machine (ELM) in this study utilized five input and a hidden layer composed of 10 neurons, with four output . The activation function used in each hidden layer of the Extreme Learning Machine model was logsig. The activation function is chosen because no negative values are obtained in this operation. That is formula for training and testing the Extreme Learning Machine [6].

1. Data Normalization (minmax normalization)

Data normalization is performed to scale the data so that the obtained values are in the range of 0 to 1. ELM uses random weights in the hidden layer, and when the input data has a wide range, these weights can become very large or very small. This can lead to numerical

problems such as overflow or underflow, which can disrupt the model's performance and hinder efficient training.

$$d' = \frac{d - \min}{\max - \min} \quad (1)$$

d' = Data after normalization

d = Data before normalization

min = Smallest value from all data variable

max = Highest value from all data variable

2. Calculate hidden layer value (H_{init} & H^+)

The transposed of weight matrix is then multiplied with the matrix obtained from the output of the hidden layer with the usual activation function, which is called matrix H. Next step is to calculate the inverse of matrix H. After that, the Moore-Penrose Generalized Inverse of the output from the hidden layer with the activation function is computed. The following equation is used to calculate the values of the output weight and:

$$H_{init\ ij} = (\sum_{k=1}^n w_j \times x_{ik}) + b_j \quad (2)$$

$$H = \frac{1}{1 + e^{-H_{init}}} \quad (3)$$

$$H^+ = (H^T * H)^{-1} * H^T \quad (4)$$

H_{init} = Matriks keluaran hidden layer.

H^T = Matriks H Traspose.

H^+ = Matriks Moore-Penrose Generalized Invers from matrix H .

$i = [1, 2, \dots, N]$, where N is a total of data.

$j = [1, 2, \dots, \tilde{N}]$, where \tilde{N} is a total of hidden neuron.

n = Total of input neuron.

w = Weight.

x = Inpus.

b = Bias value.

3. Calculate output weight:

The value of β can be calculated by multiplying H^+ with the target matrix, where the target matrix refers to the output from the training data.

$$\beta = H^+ * T \quad (3)$$

β = Output weight matrix.

H^+ = Moore-Penrose Generalized Invers from matrix H .

T = Matrix Target.

4. Testing Process

In this process, the aim is to evaluate the results of the ELM method from the previous training process. This process is carried out using the input weight, bias, and output weight obtained from the training process. The following are the steps in the testing process:

1. In the first stage, the initialization of the input weight and bias obtained from the training process is performed.

2. Then, the output of the hidden layer is computed using an activation function. One of the activation functions that can be used includes sigmoid, sin, hardlim.

3. The output weight values obtained in the training process are then used to calculate the output of the output layer, which represents the prediction result from ELM. The following equation is used to calculate the value of the output layer:

$$y = H\beta \tag{4}$$

y = Output layer

β = Output weight matrix.

H = Output from hidden layer and calculated using activation.

5. Denormalisasi data (minmax – denormalization)

Denormalization function is the inverse process of normalization, where the normalized values are reverted back to their original or pre-normalization range. Denormalization is necessary after the normalization process is completed, especially in the context of data analysis or machine learning.

$$d = d'(max - min) + min \tag{5}$$

d' = Data before denormalization

d = Data after denormalization

min = Smallest value from all data variable

max = Highest value from all data variable

2.3. Extreme Learning Machine Training and Testing Data

In this study, the training and testing data were obtained from vannamei shrimp farmers in Modung, Bangkalan, Madura. Due to space limitations, not all data can be presented in this paper. However, I will provide a sample of the training and testing dataset used in this Extreme Learning Machine model.

Table 1. Input-Output Dataset

No.	Input					Output			
	pH	Alkalinity (mg/L)	DO (ppm)	Salinity (ppm)	Temperature (°C)	CaCO3 (mg/L)	Molases (mg/L)	Aerator (State)	Drain Valve (State)
1	8.4	133	8.5	16	27	0	0	Off	On
2	7.4	108	8.5	18	28	0	220.7812	Off	Off
3	8.3	136	8.1	16	26	0	0	Off	On
4	8.5	130	8.3	10	28	0	0	Off	On
5	8.4	138	8.1	10	26	0	0	Off	On
.
.
146	8.6	137	7.7	14	27	220.7812	0	Off	On
147	8.4	123	8	15	29	0	0	Off	Off
148	8.2	124	8.1	15	28	0	0	Off	Off
149	7.5	105	7.6	15	29	0	0	Off	Off
150	7.3	111	4.9	17	27	0	441.5625	On	On

In this study, there are five input parameters, namely pH, CaCO₃, DO (Dissolved Oxygen), Salinity, and Temperature. Additionally, there are four output parameters, namely pH+ (CaCO₃), pH- (Molasses), aerator relay, and central drain valve. CaCO₃ is used to increase the pH value in order to maintain the pH range above the lower limit of 7. Furthermore, CaCO₃ functions to regulate the alkalinity value, where a higher alkalinity value contributes to pH stability [8]. Moreover, molasses is used to lower the pH level in the pond when the pond's pH is higher than 8. The aerator is used to control the Dissolved Oxygen (DO) by creating air bubbles in the water; it will turn on if the DO is less than 5. Meanwhile, the Drain Valve is used to regulate the temperature to be maintained between 29 - 32°C and the salinity between 15 - 23 (adjusted according to the vannamei shrimp pond in Bangkalan, Madura). Periodic water changes will be conducted to address these two factors.

3. Results

3.1. Experimental Case Study

The aim of this paper is to test whether the Extreme Learning Machine model is suitable for classifying water quality parameters in shrimp ponds.

3.1.1. Extreme Learning Machine Training

Figure 5 shows the results of the Extreme Learning Machine testing, where the Google Colab platform was used for data analysis in the simulation. The error calculation was performed using the RMSE formula.

The error percentage in this research is represented by RMSE (Root Mean Square Error). Iterations are performed to obtain the best results for the learning process, which is used to find the appropriate weight and bias values for this ELM program. Furthermore, after the training process, weight values and bias values were obtained as shown in Tables 2 and 3 below.

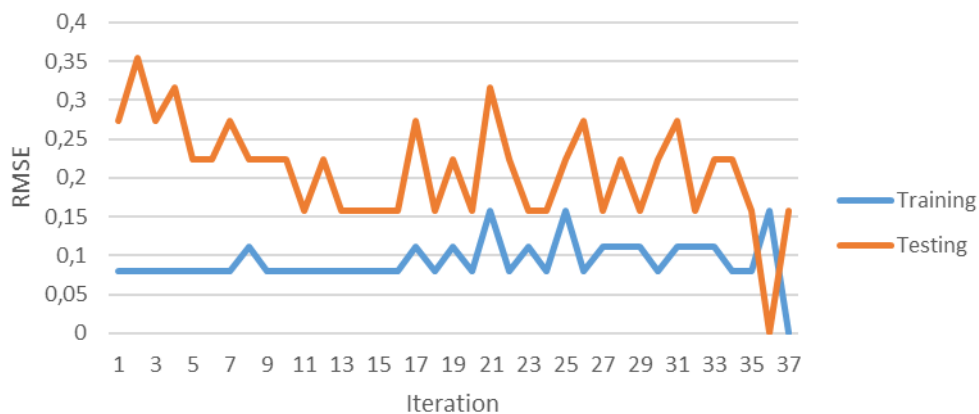


Figure 5. The error graph between training and testing results.

Table 2. Weight of Extreme Learning Machine

Weight									
-0.56673	0.585656	-0.17369	-0.06445	-2.35324	0.62695	0.708345	0.795255	1.443814	1.046769
0.616462	-0.42603	-1.47167	0.109994	2.230553	-1.55055	0.746343	-0.17574	0.539182	0.84859
-0.0172	0.574503	1.841321	-1.91592	0.471911	0.12081	1.18302	-1.57646	-0.01391	-0.12896
0.958257	2.033196	-0.55554	0.981786	1.88726	2.44978	1.525008	-0.28907	0.788142	0.656266
0.206519	-1.20659	-1.35798	-1.4047	1.345166	-1.04578	1.461619	1.477358	0.150207	0.246396

Tabel 3. Bias of Extreme Learning Machine

Bias									
1.615941	-0.7791	-2.03994	0.382376	-1.5076	-0.0182	0.768683	-0.8349	-0.5620	-0.74792

The weight and bias values mentioned above are then applied on a website to control the usage of pH, DO, salinity, alkalinity, and temperature.

4. Discussion

The final RMSE value from the training process is 0.0001, indicating that the Extreme Learning Machine model has found good weighting and bias parameters for the training data. Therefore, the obtained bias and weight values can be directly implemented in the system for testing purposes. However, the error graph in Fig 5 shows significant fluctuations in both training and testing values. Fluctuations of the value on the graph in Fig 5 are caused by randomly generated weights and biases, leading to random variations in the output results.

To improve the model's accuracy, steps such as adding additional datasets to the training data and increasing the number of neurons in the model can be taken. The testing results show an error value of 0.1581, indicating that there are still some errors in the predictions made by the Extreme Learning Machine model. This could be due to the limited amount of testing data available.

5. Conclusion

This research collaborates with shrimp pond farmers to develop technology that supports the cultivation of vaname shrimp. The experiment demonstrates that the Extreme Learning Machine model has provided reasonably good results in predicting the training data; however, further enhancements are required to achieve higher accuracy in predicting the testing data. Based on this research, it can be inferred that the Water Quality Control system performs quite well. This can be observed from the testing results, where the predicted output yields a relatively small root mean square error of 0.1851. Therefore, it can be concluded that the Water Quality Control system functions adequately.

References

1. Kementerian Kelautan dan Perikanan, "Rencana Strategis Kementerian Kelautan Dan Perikanan Tahun 2020-2024," Kementerian Kelautan Dan Perikanan, Jakarta, 2020.
2. Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo, *Budidaya Udang Vaname di Tambak Millennial (MSF)*, Situbondo: Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo, 2021.
3. T. Poernomo, "Faktor Lingkungan Dominan pada Budidaya Udang Intensif," Seminar Budidaya Udang Intensif, 1988.
4. Supono, *Manajemen Kualitas Air Untuk Budidaya Udang*, Bandarlampung: AURA, 2018.
5. Supono, *Teknologi Produksi Udang*, Bandar Lampung, 2017.
6. I. C. M. T. F. Iga Permata Siwi, *Peramalan Produksi Gula Pasir Menggunakan Extreme Learning Machine (ELM)*, Malang: Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, 2016.

7. A. W. W. S. A. Ayustina Giusti, "Prediksi Penjualan Mi Menggunakan Metode Extreme Learning Machine (ELM) di Kober Mie Setan Cabang Soekarno Hatta," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2018.
8. Supito, *Teknik Budidaya Udang Vaname (Litopenaeus Vannamei)*, Jepara: Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara, 2017.



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

Perancangan Sistem Sortir Limbah Plastik Warna Berdasarkan Warna Menggunakan PLC

Fayola Liyani ¹, Aulia Rahma Annisa ^{2*}, Ardiansyah Al Farouq ³, dan Ryan Yudha Adhitya ⁴

^{1,2,3} Program Studi Teknik Komputer, Institut Teknologi Telkom Surabaya

⁴ Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

* Korespondensi: aulia.ra@ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Produksi dan penggunaan terhadap plastik sekali pakai yang semakin meningkat, sehingga diperlukan proses daur ulang pada limbah sampah plastik yang efisien untuk mengurangi dampak negatifnya. Dalam proses daur ulang, diperlukan tahapan proses penyortiran limbah sampah plastik berdasarkan warna yang digunakan untuk mempermudah pada tahapan selanjutnya yang hasilnya nanti akan dilebur menjadi pelet lalu akan digunakan kembali oleh produsen kemasan plastik dan diolah menjadi barang baru yang dapat digunakan kembali. Saat ini, proses penyortiran limbah sampah plastik masih dilakukan secara manual dan membutuhkan tenaga kerja manusia. Pada penelitian sebelumnya sudah terdapat inovasi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu sistem sortir barang berdasarkan warna menggunakan arduino. Pada penelitian ini penulis mengusulkan untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan sistem sortir limbah plastik berdasarkan warna menggunakan PLC, dengan deteksi webcam sebagai input dan pneumatik sebagai output. Metode pengambilan deteksi warna menggunakan OpenCV python untuk memproses video dalam analisis citra dan untuk komunikasi PLC dengan PC menggunakan python serial. Proses awal yaitu saat warna dideteksi oleh webcam setelah itu pneumatik akan aktif mendorong limbah plastik tersebut sesuai warnanya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem ini 100% akurat dalam keberhasilan penyortiran warna merah, biru dan hijau. Dalam proses deteksi warna, dibutuhkan waktu rerata yang berbeda antar warna, yakni 6,78 detik, 7,78 detik, dan 8,87 detik untuk warna merah, hijau, dan biru secara berurutan.

Kata Kunci: Programmable Logic Control (PLC); Sistem Automasi; Sistem Sortir

1. Pendahuluan

Berdasarkan data tahun 2021, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melaporkan bahwa total konsumsi plastik nasional mencapai 5,63 juta ton per tahun [2]. Kementerian Perindustrian melaporkan bahwa di Indonesia terdapat sekitar 600 industri besar dan 700 industri kecil yang bergerak di bidang daur ulang plastik. Industri-industri ini memiliki total nilai investasi sebesar Rp7,15 triliun dan mampu memproduksi sekitar 2,3 juta ton plastik per tahun. Selain itu, nilai tambah dari industri daur ulang plastik ini mencapai lebih dari Rp10 triliun setiap tahunnya [5].

Dalam proses daur ulang limbah plastik, dilakukan beberapa langkah antara lain koleksi limbah, penyortiran berdasarkan jenis dan warna, pencucian, *resizing*, pemilahan, kemudian penggabungan. Selama ini, pemilahan limbah plastik berdasarkan kategori warna masih dilakukan secara manual, sehingga memerlukan waktu yang lama, biaya upah yang tinggi, dan rentan terjadi *human error* akibat warna plastik yang hampir serupa.

Hasil penelitian sebelumnya pada sortasi warna buah tomat menunjukkan bahwa otomasi ini cenderung mempercepat pengerjaan dibandingkan cara manual [4]. Hasil yang serupa juga dilaporkan dalam penggunaan sensor TCS3200 dalam penyortiran barang dan pengolahan sampah plastik [3].

Untuk mengatasi permasalahan ini, penulis melakukan pengembangan model sistem otomasi sortir limbah berdasarkan warna menggunakan pendekatan Programmable Logic Control (PLC) berbasis Mikrokontroler. Prinsip kerja sistem ini adalah pemindahan objek melalui konveyor, kemudian sebuah kamera akan mendeteksi warna pada limbah sampah plastik. Setelah dilakukan klasifikasi warna, pergerakan dilanjutkan dan mekanisme pneumatik akan bekerja untuk mengalihkan limbah sampah plastik ke wadah yang sesuai dengan warnanya. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arisandy et al (2022) dengan menggunakan objek sortir kain menunjukkan *range* jarak deteksi mulai 0 hingga 99 cm, lebih jauh Sagita & Rozany (2017) menjelaskan bahwa pengujian jarak sensor terhadap objek yang optimal adalah 0,75cm.

Rancangan sistem dalam penelitian ini mencoba menggabungkan sistem deteksi berbasis *webcam* dan otomasi pemindahan sampah dengan modifikasi jarak optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem penyortir dan pemindah limbah plastik serta melakukan perbandingan efisiensi sistem dengan metode sortir manual. Ke depannya, penelitian ini diharapkan mampu membantu industri daur ulang limbah plastik dalam melakukan sortir limbah plastik lebih efisien dan mengurangi biaya industri.

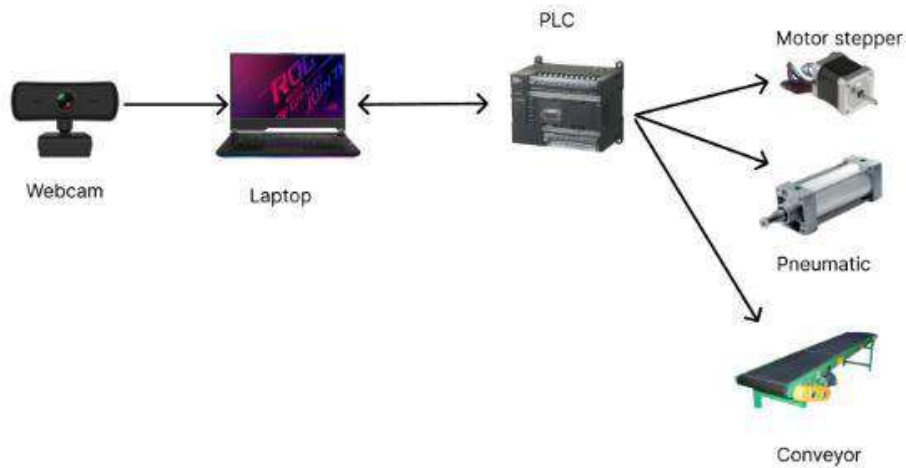
2. Metode

Metode yang akan diterapkan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D), sebuah pendekatan yang digunakan untuk menciptakan atau mengembangkan produk baru. Produk atau pengembangan yang dihasilkan akan diuji untuk menilai efektivitasnya. Penelitian ini dimulai dengan pendalaman pustaka untuk menentukan keperluan dan detail sistem. Adapun rangkaian penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam perancangan, prosesnya dibagi menjadi dua tahap terpisah. Tahap pertama adalah perancangan perangkat keras (*hardware*), sedangkan tahap kedua adalah perancangan perangkat lunak (*software*). Rangkaian dari *hardware* dan *software* ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan sistem sortir limbah



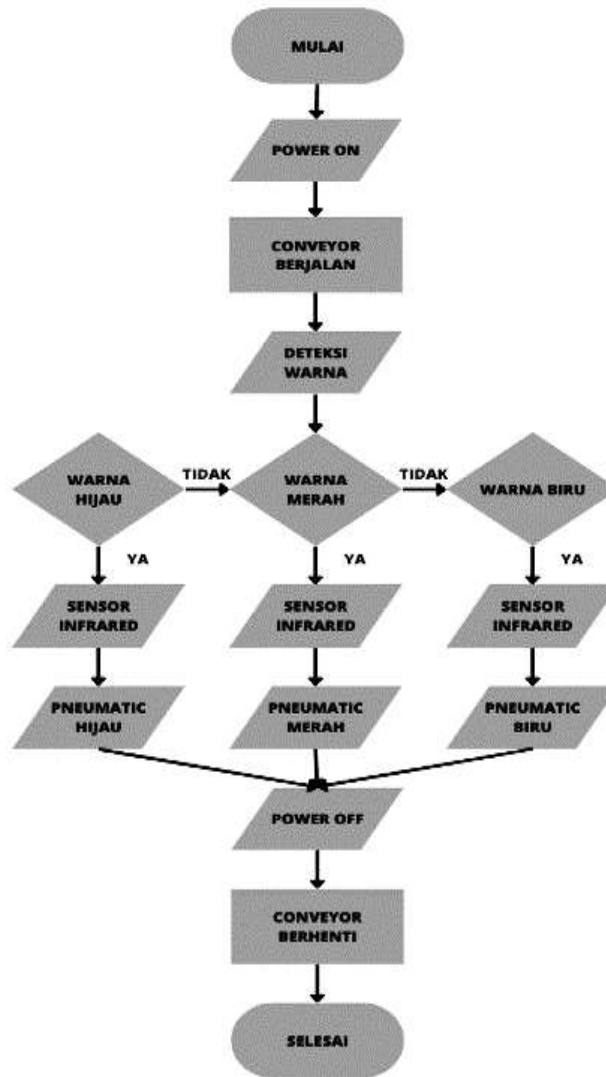
Gambar 2. Blok diagram rancangan sistem penyortir warna limbah plastik

Skema rancangan ini dapat digambarkan sebagai berikut: gerakan konveyor yang akan diatur oleh motor. Limbah sampah plastik berwarna akan diarahkan melalui konveyor menuju kamera *webcam* untuk mendeteksi warna. Setelah itu, limbah sampah plastik akan diidentifikasi warnanya oleh kamera *webcam* yang memiliki kemampuan deteksi warna. Setelah terdeteksi oleh *webcam*, limbah sampah plastik akan dipindahkan menuju pneumatik. Sistem pneumatik akan bergerak sesuai dengan warna yang terdeteksi dan memindahkan limbah sampah plastik ke wadah yang sesuai dengan warna tersebut.

Penjelasan dari blok diagram (Gambar 2) adalah sebagai berikut:

- Webcam*: Berfungsi sebagai pendeteksi dan juga klasifikasi jenis warna limbah plastik warna.
- Pneumatik merah: Berfungsi sebagai penyortir untuk mendorong objek berwarna merah.
- Pneumatik hijau: Berfungsi sebagai penyortir untuk mendorong objek berwarna hijau.
- Pneumatik biru: Berfungsi sebagai penyortir untuk mendorong objek berwarna biru.
- Tempat objek: Berfungsi sebagai tempat untuk objek limbah plastik warna yang telah tersortir dan juga telah dipilah sesuai warna.
- PLC: Berfungsi untuk memproses *input* dan *output* pada sistem tersebut.
- Motor stepper*: Berfungsi untuk arus searah yang dihasilkan nantinya akan diubah menjadi energi mekanis yang berupa putaran atau gerak pada *conveyor*.
- Conveyor*: Berfungsi untuk menggerakkan sistem menuju *webcam* dan setelah itu akan di sortir.

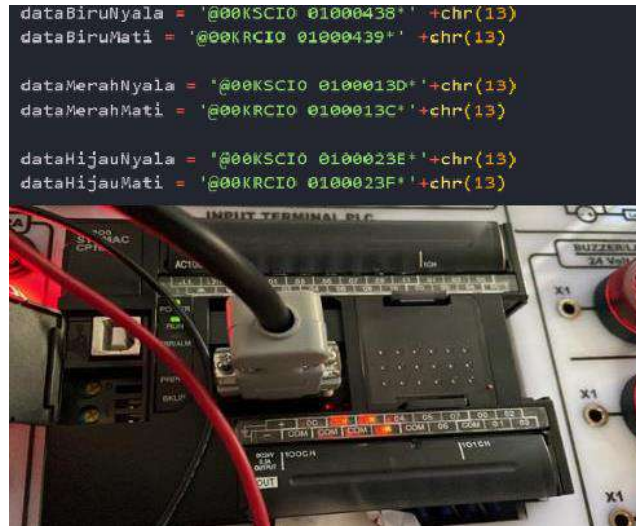
Pada flowchart di Gambar 3 menjelaskan mengenai langkah-langkah cara kerja dari sistem yang dibuat. Dimulai dari *input power on* yang akan menjalankan konveyor lalu webcam akan mendeteksi apakah warna merah, hijau, atau biru. Setelah warna terdeteksi sensor infrared akan mendeteksi dan *output* pneumatik akan aktif sesuai dengan warna yang terdeteksi. Flowchart dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Flowchart sistem

2. Perancangan sistem.

Tahapan perancangan sistem ini dibuat dengan aplikasi visual studio code menggunakan bahasa python. Karena PLC menggunakan warna sebaga *input* yang didapatkan dari *webcam*, diperlukan komunikasi antara *webcam*, PC, dan PLC Omron CPIE. Komunikasi antara PC dan PLC dilakukan dengan menggunakan kabel USB to serial RS232 dan kabel *male to female*. Program selanjutnya yaitu python serial pada visual studio code sebagai komunikasi antara PC dengan PLC, dengan melakukan *import* serial pada python lalu memasukan serial *port com*, *baudrate*, *databits*, *timeout*, dan juga *parity*. Selanjutnya dilakukan penambahan kode program KS (forced set) Header code KS berfungsi untuk mengaktifkan bit pada alamat word yang dituju (0 →1), dan juga untuk mengirimkan data dari Python serial ke PLC. Pada tahap akhir, dilakukan konfirmasi keberhasilan pemograman visual studio code dalam mengirim dan menerima data ke PLC dengan *output address* 100.01, 100.02, 100.04 yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan code data warna dan PLC saat berhasil menerima kiriman data dari visual studio code

3. Pengujian Sistem

Tahapan pengujian sistem digunakan untuk mengetahui dengan baik kinerja sistem di setiap bagian dan keseluruhan sistem serta mendapatkan hasil pengujian yang valid. Pengujian sistem pada penelitian ini berfokus pada sistem sortir limbah sampah plastik berdasarkan warna. Pengujian ini bertujuan untuk mengobservasi kemampuan sortir menggunakan *image processing* dari *webcam* dan untuk mengetahui akurasi dari pneumatik saat mendorong limbah plastik warna.

Tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Webcam* ditempatkan di lokasi awal sebelum pneumatik.
- b. Limbah plastik berwarna ditempatkan di titik awal sebelum dideteksi oleh *webcam*.
- c. Pada tahap awal, gerakan disusun sedemikian rupa sehingga limbah plastik warna dapat disortir.
- d. Pengujian dilakukan berulang dengan variasi warna bergantian, termasuk warna merah, hijau, dan biru.

2. Hasil dan Analisis

Hasil penelitian ini menunjukkan keberhasilan tahapan kalibrasi menggunakan modul yang diverifikasi dengan pengujian *real-time*. Pendekatan pengujian sistem juga dilaporkan secara menyeluruh untuk menentukan presisi dan efisiensi kerja sistem.

- a. Hasil percobaan identifikasi warna menggunakan *webcam*

Kalibrasi warna merupakan sebuah proses penyamaan warna dan kecerahan, sehingga dapat dihasilkan warna yang jelas dan tajam. Hal ini dilakukan dengan menentukan nilai *range* warna merah, hijau dan biru didapatkan dari proses HSV dan mencari nilai *h_low*, *h_high*, *s_low*, *s_high*, *v_low*, *v_high* (Gambar 5). Setelah pengaturan *range high and low* HSV, hasil seperti gambar 6 yang mengambil sampel warna merah, untuk deteksi spesifik warna dan mengeliminasi warna lainnya. Warna tujuan (dalam hal ini merah) akan menjadi putih, sementara warna lainnya dikonversi menjadi hitam sehingga tidak terdeteksi (Gambar 6).



Gambar 5. Kontrol menentukan *low and high* HSV



Gambar 6. Proses kalibrasi mengambil warna RGB dan hasil proses setelah menentukan HSV

Tabel 1. Hasil data percobaan setelah penentuan HSV

Warna	Kondisi					
	<i>Low H</i>	<i>High H</i>	<i>Low S</i>	<i>High S</i>	<i>Low V</i>	<i>High V</i>
Merah	0	8	171	255	91	255
Hijau	33	89	138	255	33	255
Biru	91	139	157	255	94	210

Setelah proses kalibrasi tersebut, dapat ditentukan nilai *low and high* HSV pada 3 sampel warna yaitu warna merah, hijau dan juga biru. Dapat dilihat pada Tabel 1 data hasil percobaan *low and high* HSV pada RGB

b. Hasil percobaan mendeteksi warna secara *real-time*

Pengujian deteksi warna dilakukan sebanyak empat kali dengan menggunakan 4 sampel warna yaitu warna merah, hijau, biru dan abu-abu. Pada sistem ini hanya mengambil warna merah, hijau, dan biru dikarenakan warna tersebut adalah salah satu warna dasar segala objek dalam kehidupan sehari-hari yang sering digunakan dalam bidang pengolahan citra digital. Hasil pengujian deteksi warna menunjukkan bahwa sistem telah merespon dengan jelas dan mampu mengidentifikasi warna merah, hijau, dan biru. Sistem tidak dapat menerjemahkan warna abu-abu yang tidak diprogramkan. Hasil ini dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengujian *real-time* terhadap warna

Tabel 2. Hasil pengujian sistem

Warna dideteksi	Waktu proses (detik)	Warna	Hasil
Warna merah	6,64	Terdeteksi	Pneumatik merah berhasil bergerak
Warna merah	6,93	Terdeteksi	Pneumatik merah berhasil bergerak
Warna merah	7,05	Terdeteksi	Pneumatik merah berhasil bergerak
Warna merah	6,52	Terdeteksi	Pneumatik merah berhasil bergerak
Warna merah	6,52	Terdeteksi	Pneumatik merah berhasil bergerak
Warna hijau	6,78	Terdeteksi	Pneumatik hijau berhasil bergerak
Warna hijau	8,22	Terdeteksi	Pneumatik hijau berhasil bergerak
Warna hijau	8,19	Terdeteksi	Pneumatik hijau berhasil bergerak
Warna hijau	8,14	Terdeteksi	Pneumatik hijau berhasil bergerak
Warna hijau	7,89	Terdeteksi	Pneumatik hijau berhasil bergerak
Warna biru	7,7	Terdeteksi	Pneumatik biru berhasil bergerak
Warna biru	8,44	Terdeteksi	Pneumatik biru berhasil bergerak
Warna biru	9,4	Terdeteksi	Pneumatik biru berhasil bergerak
Warna biru	9,2	Terdeteksi	Pneumatik biru berhasil bergerak

Prototipe sistem yang telah dikembangkan menjalani serangkaian pengujian untuk memvalidasi kemampuannya dalam menyortir berdasarkan warna menggunakan *webcam*. Proses pengujian sistem dilakukan dengan meletakkan objek sebelum *webcam*, dan pneumatik ditempatkan setelah *webcam*. Setelah objek terdeteksi oleh *webcam*, pneumatik akan bergerak untuk mendorong objek masuk ke dalam wadah yang sesuai dengan warnanya. Adapun data hasil

pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 yang disajikan, data mengenai sistem sortir limbah plastik berdasarkan warna menggunakan PLC dan *webcam* dijelaskan. Hasil yang tercatat dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa untuk limbah plastik berwarna merah, waktu proses rata-rata adalah sekitar 6,78 detik. Sementara itu, untuk limbah plastik berwarna hijau, waktu proses rata-rata adalah sekitar 7,78 detik. Sedangkan untuk limbah plastik berwarna biru, waktu proses rata-rata adalah sekitar 8,87. Waktu proses deteksi warna pada sistem ini memiliki rentang yang bervariasi, yakni antara 6,52 detik hingga 9,43 detik. Sistem tidak akan mendeteksi warna selain merah, hijau, dan biru tidak akan tersortir dan *webcam* tidak mendeteksi warna tersebut. Lamanya waktu proses ini tergantung pada warna yang sedang dideteksi. Fungsi pneumatik pada sistem ini yaitu sebagai *output* yang membantu mendorong limbah plastik berwarna untuk tersortir pada tempat sesuai warnanya. Pada sistem ini mempunyai 3 pneumatik yang fungsinya sama tetapi dibedakan dengan pneumatik yang akan mensortir warna merah, pneumatik yang akan mensortir warna hijau, dan pneumatik yang akan mensortir warna biru. Pada tabel 2 tersebut mencatat hasil deteksi warna untuk warna merah, hijau, dan biru pada setiap kasus. Dari data yang tercatat, dapat disimpulkan bahwa semua warna berhasil dideteksi pada setiap pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan yang baik dalam mengenali warna-warna yang telah ditentukan. Keberhasilan dalam deteksi semua warna ini merupakan indikator positif bahwa sistem ini dapat secara akurat dan efisien mengidentifikasi berbagai warna yang menjadi fokus penelitian. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa pneumatik berhasil bergerak setelah deteksi warna yang tepat. Hal ini menandakan bahwa sistem berhasil melakukan tindakan yang diinginkan, yaitu menggerakkan pneumatik sesuai dengan deteksi warna yang telah dilakukan. Keberhasilan ini mengindikasikan kinerja yang baik dari sistem, sehingga proses penyortiran limbah plastik berdasarkan warna dapat berjalan secara efektif dan akurat.

Secara menyeluruh, sistem sortir limbah plastik berdasarkan warna menggunakan PLC dan *webcam* telah berhasil dalam mendeteksi dan memproses limbah plastik sesuai dengan warna yang ditentukan. Waktu proses, deteksi warna, dan penggerak pneumatik berjalan dengan lancar sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal ini menandakan keberhasilan dan efektivitas sistem dalam melakukan proses penyortiran limbah plastik berdasarkan warna, yang dapat berpotensi untuk diterapkan secara lebih luas dalam pengolahan limbah plastik secara efisien dan akurat.

3. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil dalam menyortir limbah sampah plastik warna berdasarkan warna dengan penggunaan PLC sebagai otak sistem dan *webcam* sebagai sensor warna telah membuktikan keberhasilannya dalam mendeteksi dan memisahkan limbah plastik berdasarkan warnanya. Dengan data waktu proses rata-rata deteksi warna merah adalah sekitar 6,78 detik. Sementara itu, waktu proses rata-rata untuk deteksi warna hijau adalah sekitar 7,78 detik. Selanjutnya, warna biru memiliki waktu proses rata-rata sekitar 8,87 detik. Tingkat akurasi keberhasilan sistem ini 100% dalam mensortir limbah plastik berdasarkan warnanya.

Sistem ini memiliki tingkat keberhasilan yang layak, sehingga diharapkan sistem ini dapat diaplikasikan dalam membantu mensortir limbah plastik berdasarkan warna secara otomatis dan

dapat menjadi solusi dalam permasalahan sortir limbah plastik berdasarkan warna yang masih manual dan masih membutuhkan tenaga kerja manusia.

Referensi

1. Arisandy, Z., Haykal, T. M., & Purba, A. M. Rancang Bangun Alat Sortir Bahan Kain Berdasarkan Degradasi Warna Dengan Kontrol Outseal PLC. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 2022, 3(1), 926–933.
2. Astriani, L., Mulyanto, T. Y., Bahfen, M., & Dityaningsih, D. Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Melalui Produk Kreatif dari Pengolahan Sampah Plastik. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 2021, 1(1).
3. Jannah, W. Proses Pengolahan Sampah Plastik di Lembaga Generasi Bintang Sejahtera. *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial Dan Pendidikan)*, 2019, 3(1).
4. Joko, T. Perancangan Alat Sortasi Buah Tomat Berdasarkan Warna Menggunakan Arduino. Universitas AMIKOM Yogyakarta. 2017.
5. Pratama, A. W., Yudiarti, D., & Hidayat, M. N. Perancangan Folding Stool Menggunakan Limbah Plastik. *EProceedings of Art & Design*, 2022, 9(3).
6. Safaris, A., & Effendi, H. Rancang bangun alat kendali sortir barang berdasarkan empat kode warna. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 2020, 6(2), 391–402.
7. Sagita, H., & Rozany, B. A. “Model Sistem Automasi Sortir Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Programmable Logic Control Berbasis Mikrokontroler. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 2017, 6(1), 1367–1374.



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

Rancang Bangun Sistem Kendali Nilai Klorin pada Kandungan Air Laut Menggunakan Metode Fuzzy Logic

Dimas Bagas Wicaksono¹, Dimas Adiputra^{2*}, dan Isa Hafidz^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Korespondensi: adimas@ittelkom-sby.ac.id dan isa@ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Populasi manusia yang terus meningkat termasuk di Indonesia menyebabkan peningkatan konsumsi energi listrik. Salah satu pembangkit listrik di Indonesia adalah PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB), yang merupakan anak perusahaan dari PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN). Beberapa proses untuk mendapatkan energi listrik yaitu ada pretreatment, demineralization, dan salah satunya ada proses desalination plant. Desalination plant merupakan proses pengurangan kadar garam pada air laut yang akan diubah menjadi air tawar karena air laut yang menjadi air tawar akan digunakan untuk bahan baku memproduksi bahan baku PLTGU. Proses desalination plant di dalamnya terdapat proses antiscalant yang bertujuan untuk menghilangkan kadar klorin yang terdapat kandungan air laut. Kadar klorin hal yang perlu diperhatikan karena bisa merusak peralatan pembangkit lainnya. Proses antiscalant pada PT. Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Gresik untuk mengetahui kadar klorinnya masih dalam secara manual dengan cara pengambilan sampel dan dibawa ke dalam laboratorium untuk dideteksi berapa kadar klorin yang terdapat dalam air laut. Penghilangan kadar klorin bisa menggunakan pencampuran bahan kimia antara NaOH dan H₂O. Permasalahan pada proses antiscalant bisa digaris bawahi, bahwa untuk penelitian ini mengambil sistem kendali yang menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani. Sehingga dengan adanya metode tersebut bisa untuk melakukan pengendalian berapa banyak bahan kimia yang akan dituangkan ke dalam tangki secara otomatis, dan tidak melakukan secara manual dengan membawa sampel ke laboratorium serta hasil yang diperoleh bisa secara maksimal dan tidak merusak peralatan pembangkit.

Kata Kunci : Antiscalant; Desalinatin Plant; Fuzzy Logic; PT. PJB UP Gresik; PLTGU

1. Pendahuluan

Populasi manusia di Indonesia atau dunia semakin meningkat dan semakin berkembang, hal ini bisa diambil garis besar bahwa di dalam kehidupan pasti membutuhkan energi dan salah satunya yaitu energi listrik. Kegiatan sehari – hari baik di rumah tangga maupun industri memiliki kebutuhan energi listrik tinggi yang harus dipenuhi. Indonesia sendiri memiliki beberapa perusahaan BUMN yang bisa menghasilkan energi listrik, ada beberapa jenis pembangkit di Indonesia yaitu PLTA, PLTS, PLTU, PLTP, PLTSa, PLTBg, PLTBm, PLTB [1]. PT PJB UP Gresik merupakan sebuah perusahaan salah satu pembangkit listrik yang mencakup Jawa – Bali dan menghasilkan cukup sangat besar energinya, di dalam PJB UP Gresik ada tiga pembangkit yaitu PLTGU, PLTG, dan PLTU. PT PJB UP Gresik memiliki beberapa komponen yang untuk menggerakkan utama sebuah pembangkit yaitu ada pompa, boiler, generator, turbin, dan condenser [2]. Pada umumnya PT. PJB UP Gresik bahan utamanya menggunakan air laut dan penambahan gas alamnya ada dua yaitu High Speed Diesel (HSD) dan Marine Fuel Oil (MFO).

PLTGU merupakan pembangkit yang menggunakan gas uap dan memanfaatkan sebuah gas sebagai fluida untuk menggerakkan sebuah turbin dan membutuhkan bantuan kompresor dan alat

mesin pembakaran yang internal. Sebuah sistem PLTGU untuk menghasilkan listrik banyak melewati proses dan salah satunya yaitu desalination plant, desalination merupakan salah satu proses yang menghasilkan gas uap dengan cara air laut dipanaskan menggunakan boiler khusus. Air laut yang menjadi gas uap akan diubah menjadi air destilite, dan air destilite itu lah akan menjadi energi listrik. Akan tetapi sebelum melakukan dalam proses boiler, awalnya air laut masuk ke dalam proses antiscalant yang bertujuan menghilangkan buih – buih air laut dan menurunkan nilai klorin dan conductivitynya [3]. Proses antiscalant ini sangat penting sekali salah satunya juga untuk memelihara dan mengurangi risiko rusaknya alat tersebut. PT PJB UP Gresik sendiri untuk mengetahui nilai klorinnya sendiri masih menggunakan manual yaitu dengan pengambilan sampel pada air laut tersebut dan dibawa ke dalam laboratorium, setelah dibawa ke laboratorium akan dilanjutkan proses bahan kimia untuk pengurangan dalam nilai klorinnya. Maka dari itu muncullah ide untuk meningkatkan proses antiscalant ini dengan monitoring serta pengendalian penambahan bahan kimia menggunakan metode Fuzzy Logic. Adanya monitoring ini bisa mempermudah saat bekerja dan bisa melihat hasil keluarannya sudah maksimal atau belum. Selain itu adanya monitoring ini juga bisa membantu para penganalisis kandungan air laut tersebut, sehingga bisa lebih maksimal.

1. Pendahuluan

Fuzzy Logic merupakan cara penyelesaian dengan cara pengimplementasikan sebuah masalah ke dalam sebuah sistem, metode ini bisa digunakan untuk penggabungan dari perangkat keras ke perangkat lunak. Fuzzy logic ditemukan oleh Lutfi Zadeh pada tahun 1965, metode ini sangat mudah digunakan dan dipahami. Metode ini dalam menyelesaikan permasalahannya bisa memberikan keluaran yang lebih dekat dari hasil yang sesungguhnya, dan resistansi error sangat kecil sekali [4]. Himpunan memiliki anggota antara 0 sampai 1 dan biasanya disebutkan dengan himpunan kabur. Fuzzy Logic memiliki besaran nilai bisa dibilang benar dan salah secara bersama [5]. Fuzzy logic memiliki beberapa tahapan secara umum yaitu fuzzifikasi, mesin penalaran, aturan dasar, dan defuzzifikasi, serta pada penentuan fungsi keanggotaan bisa digambarkan dengan kurva segitiga, trapesium, dan bentuk bahu. Metode Mamdani yaitu metode ini sering disebut sebagai metode MaxMin. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Konsep tersebut terdiri dari empat langkah untuk mencapai hasil yang diinginkan yaitu pembentukan himpunan fuzzy, penerapan fungsi fuzzy implisit, perumusan aturan, dan penegasan. Metode ini untuk input dan output berupa himpunan fuzzy, metode ini juga menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max dan metode ini bisa disebut dengan metode min-max serta keluaran n pada sebuah aturan untuk metode ini bisa dipersamakan sebagai berikut:

$$\mu_{B^k}(y) = \max[\min[\mu_{A_1^k}(x_i)]]_k \quad (1)$$

Persamaan di atas menyatakan untuk $K = 1, 2, \dots, n$, A_1^k dan A_2^k menyatakan himpunan fuzzy pasangan anteseden ke- k , dan B^k adalah himpunan fuzzy konsekuen ke- k . Fuzzy Logic memiliki beberapa jenis yang biasanya digunakan antara lain sebagai berikut [6]:

1. Metode Tsukamoto merupakan metode yang memiliki konsep yang aturannya harus berkesinambungan dengan IF – THEN yang memiliki suatu himpunan fuzzy logic dan dipresentasikan dengan anggota bersifat monoton.
2. Metode Sugeno biasanya metode ini dibilang dengan metode untuk penalaran dan rule evaluation. Konsep pada metode Sugeno ini untuk bisa menghasilkan output tidak berkesinambungan dengan himpunan fuzzy. Metode ini terdiri dari dua jenis yaitu model Fuzzy Sugeno Orde – Nol dan secara umum bentuk model ini sebagai berikut:

$$IF(X1 \text{ is } A1) \dots o(XN \text{ is } AN), z = k \quad (2)$$

Jika x_1 adalah A_1 dan X_N adalah A_N maka z adalah K . Model *Fuzzy Sugeno Orde – Satu* memiliki model secara umum sebagai berikut:

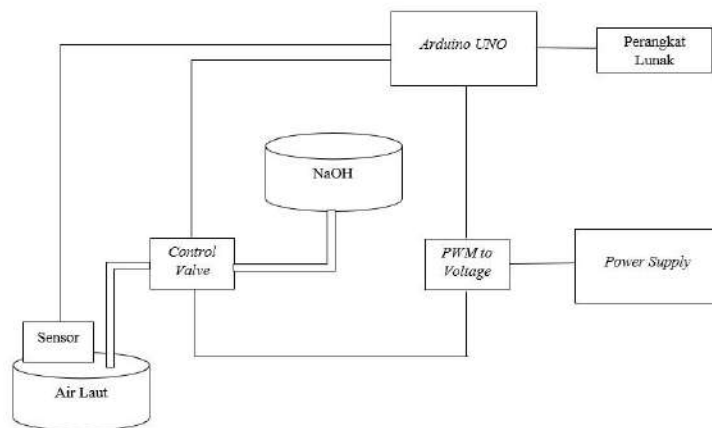
$$IF(X1 \text{ is } A1) \dots o(XN \text{ is } AN), z = p_1 * x_1 + \dots + p_N * x_N + q \quad (3)$$

Jenis – jenis *fuzzy logic* yang sering digunakan oleh penelitian lainnya ada beberapa kekurangan dan kelebihan sendiri, dan jenis *fuzzy logic* yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu berjenis Mamdani. Tipe jenis ini sangat sering digunakan karena ada dapat dipahami oleh orang baru yang sedang belajar *fuzzy logic* Mamdani, *fuzzy logic* jenis ini menggunakan sistem area dalam pemrosesan nilai keluaran dengan nilai aslinya sehingga nilainya hampir dikatakan mendekati. Mamdani menggunakan rumus integral sedangkan dalam aplikasi Matlab sudah ada rumus integral dan pengguna *fuzzy logic* hanya memasukkan nilainya saja ke dalam aplikasi Matlab. Sedangkan pada Sugeno memiliki kekurangan pada *outputnya*, karena *outputannya* bukan areaa tetapi singleton sehingga tidak sesuai untuk kendali kadar klorin pada air laut.

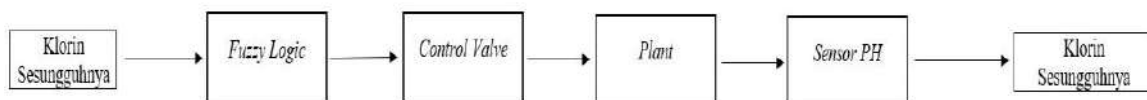
2. Metode dan Pemodelan

2.1. Perancangan Hardware dan Software

Melakukan proses penelitian memerlukan sebuah perancangan *hardware* seperti pada gambar 1. Pada perancangan *hardware* ini memerlukan berbagai komponen antara lain yaitu *Arduino UNO*, *PWM to Voltage*, *Control Valve*, *Power Supply*, Cairan NaOH , dan Sensor pH. Untuk sistem kerja pada *hardware* ini yaitu sensor pH mendeteksi pada kandungan air laut yaitu kadar asam pH, kemudian data yang diterima akan melakukan sebuah pemrosesan logika pada *control valve* yang sudah diatur menggunakan logika *fuzzy logic*. Selain perancangan pada *hardware* pada penelitian ini juga melakukan perancangan *software* dari topik yang diambil judul penelitian ini seperti yang tertera pada gambar 2.



Gambar 1. Perancangan Hardware

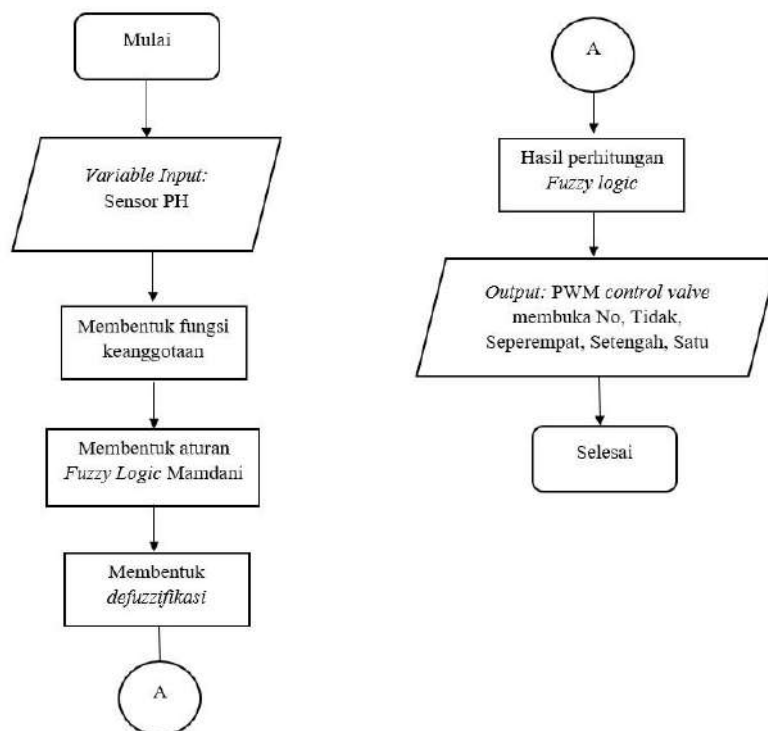


Gambar 2. Blok Diagram Sistem Alur Kendali

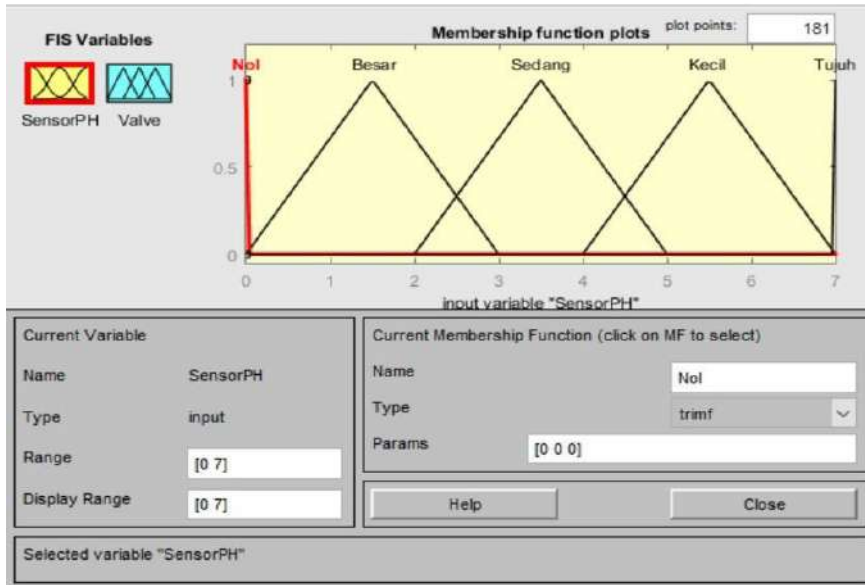
Data klorin atau asam pH yang diperoleh dari pembacaan sensor akan melakukan sebuah proses penambahan bahan kimia untuk mengurangi kadar klorin dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic*. Setelah melakukan perhitungan akan dilanjutkan dengan pembukaan *control valve* yang di dalamnya sudah di *coding* di *arduino* dan *control valve* akan secara otomatis membuka berapa persen bahan kimia yang akan ditambahkan di air laut. Waktu proses pencampuran bahan klorin akan dilakukan selama beberapa menit serta dideteksi lagi oleh sensor pH untuk memantau kadar nilai klorinnya yang keluar, keluarannya merupakan kadar klorin sesungguhnya. Air laut yang akan ditambahkan bahan kimia dihitung terlebih dahulu menggunakan *Fuzzy logic Mamdani* untuk mengetahui berapa banyak kandungan bahan kimia yang akan ditambahkan.

2.2. Metode Fuzzy Logic Mamdani

Metode *Fuzzy Logic Mamdani* harus menentukan nilai *variable input* Sensor PH dan *variable output Valve*. Kemudian melanjutkan sebuah proses pembentukan fungsi keanggotaan dan pembentukan aturan dari *fuzzy logic Mamdani*, setelah itu melanjutkan sebuah proses *defuzzifikasi* dan menghasilkan sebuah hasil perhitungan *Fuzzy logic*. Keluaran dari proses ini yaitu berupa pembukaan PWM *control valve* ketika penambahan bahan kimia. Alur metode ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Metode Fuzzy Logic Mamdani



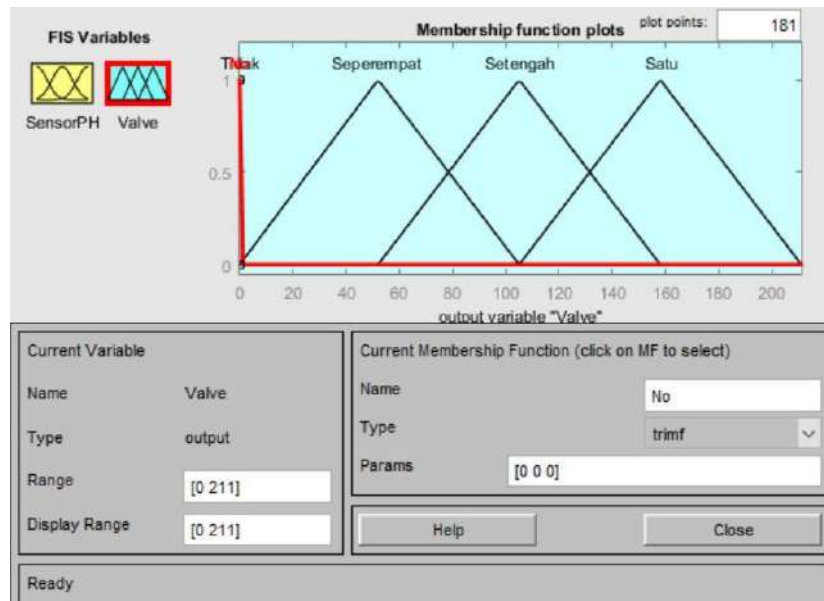
Gambar 4. Himpunan *Input* Sensor pH

Variabel *input* Sensor pH yang berfungsi sebagai pendeteksi dan mengategorikan 5 himpunan data yang diperoleh Nol, Besar Sedang, Kecil, dan Tujuh dengan *range* 0 sampai 7, bisa ditunjukkan pada gambar 4. Himpunan Nol mempunyai *paramater* [0 0 0], himpunan besar [0 1.5 3] yang memiliki arti golongan ini mendeteksi pH nilai 0 sampai 3. Himpunan Sedang [2 3.5 5] yang memiliki arti golongan ini mendeteksi pH nilai 2 sampai 5. Himpunan Kecil [4 5.5 7] yang memiliki arti golongan ini mendeteksi pH nilai 4 sampai 7, sedangkan pada himpunan Tujuh [7 7 7] memiliki arti golongan pada saat pendeteksian air laut hanya mendeteksi nilai 7.

Dalam menggunakan metode Fuzzy, ada urutan logika yang digunakan. Dampaknya bisa menghasilkan *outputan* yang sesuai dengan *inputan*, *rule membership functon* bisa ditunjukkan pada tabel 1. Dari urutan logika pada *fuzzy logic* diketahui untuk sensor pH mendeteksi nilai nol, maka kontrol *valve* mengeluarkan sinyal tidak. Apabila sensor pH mendeteksi himpunan besar, maka sinyal dari *output fuzzy* mengeluarkan perintah satu. Kemudian pada *input* sensor pH mendeteksi himpunan sedang, maka sinyal yang keluar yaitu berupa setengah. Selain itu, untuk sensor pH ketika mendeteksi himpunan kecil maka akan mengeluarkan sinyal *output* berupa perintah seperempat. Sedangkan sensor pH mendeteksi sinyal *input* Tujuh atau sensor pH mendeteksi nilai tujuh, maka *output* yang keluar berupa perintah no atau *valve* menutup secara keseluruhan.

Tabel 1. Rule Memberhip Function

No.	Rule	
	If pH	Then Valve
1	Nol	Tidak
2	Kecil	Seperempat
3	Sedang	Setengah
4	Besor	Satu
5	Tujuh	No

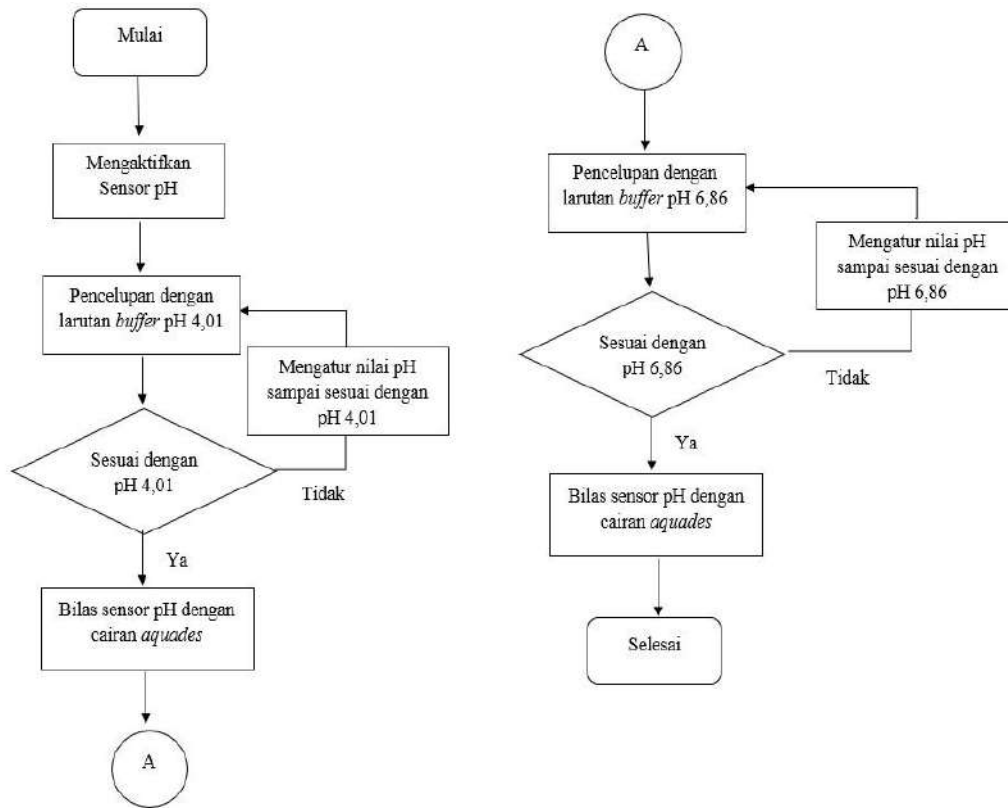


Gambar 5. Himpunan Output Valve

Variabel *output Valve* merupakan *control valve* yang berfungsi memberikan pembukaan *valve* berapa besar PWMnya ketika pembacaan sensor memberikan himpunan Nol, Besar Sedang, Kecil, dan Tujuh. Variabel ini mengategorikan 5 himpunan yaitu himpunan Tidak memiliki *parameter* [0 0 0] sebagai penerima *inputan* dari himpunan Nol. Himpunan Seperempat memiliki *parameter* [0 52 105] atau nilai PWM 0 sampai PWM 105 sebagai penerima *inputan* dari himpunan Kecil. Himpunan Setengah memiliki *parameter* [52 105 158] atau nilai PWM 52 sampai PWM 158 sebagai penerima *inputan* dari himpunan Sedang. Himpunan Satu memiliki *parameter* [105 158 211] atau nilai PWM 105 sampai PWM 211 sebagai penerima *inputan* dari himpunan Besar. Himpunan No memiliki *parameter* [0 0 0] sebagai penerima *inputan* dari himpunan Tujuh. Himpunan *output valve* bisa ditunjukkan pada gambar 5 dan himpunan ini memiliki *range* 0 sampai 211. Pada himpunan ini dibagi menjadi 3 himpunan utama yaitu ada Seperempat, Setengah, dan Satu. Nilai parameter pada himpunan tersebut dibagi atas dasar dari pembagian nilai anggota himpunan dari *inputan* pada sensor pH.

2.3 Langkah Validasi Sensor pH

Sensor pH sebelum dan sesudah digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu agar pembacaan waktu pengujian di air laut bisa akurat. Kalibrasi dilakukan dengan dua cara yaitu minimal menggunakan dua cairan *buffer* dengan skala pH 4,01, pH 6,86, atau pH 9,18. Hal ini dikarenakan larutan *buffer* merupakan zat yang bersifat penyangga yang terdiri dari sifat asam dan basa sehingga sensor pH bisa memiliki referensi yang akurat. Alur validasi sensor bisa ditunjukkan pada gambar 6. Langkah awal untuk memvalidasi adalah mengaktifkan sensor pH terlebih dahulu, kemudian memvalidasi larutan *buffer* yang pertama dengan pH 4,01. Jika tidak sesuai perbaiki sensor dengan cara memutar pada alat tersebut dengan obeng kecil hingga mencapai nilai pH 4,01 sesuai larutan *buffer* yang pertama, apabila sudah sesuai sensor langsung dibilas dengan cairan *aquades* kemudian keringkan sensornya. Setelah itu lakukan validasi lagi dengan cairan *buffer* yang memiliki nilai 6,86 apabila tidak sesuai perbaiki sensor dengan cara memutar pada alat tersebut dengan obeng kecil hingga mencapai nilai pH 6,86 sesuai dengan larutan *buffer* yang kedua. Jika sesuai, bilas lagi dengan cairan *aquades* dan keringkan sensor kemudian sensor siap digunakan dengan hasil yang akurat.



Gambar 6. Flowchart Memvalidasi Sensor pH

4. Hasil dan Analisa

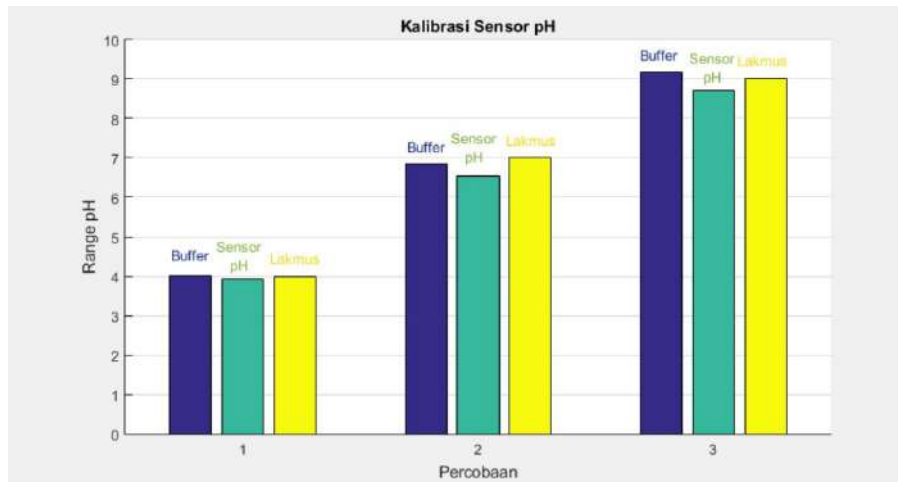
4.1. Kalibrasi Sensor pH dengan Lakmus pada Buffer

Pengkalibrasian menggunakan cairan *aquades* 250 ml sebagai pencampuran serbuk *buffer*, karena cairan *aquades* memiliki air netral. Maka bisa diambil perbandingan serta mencari persentase *error* apakah sensor pH alat bisa digunakan dengan baik apa tidak. Mencari sebuah perhitungan *error* menggunakan rumus nilai ketetapan dari pH *buffer* dikurang dari pembacaan sensor pH alat dan dibagi dengan nilai ketetapan pH *buffer*, kemudian dikali dengan 100% dan hasilnya seperti pada tabel 2.

Hasil dari tabel 2 bisa diketahui untuk hasilnya pembacaan sensor pH dengan uji lakmus tidak terlalu jauh setiap nilai *buffer*. Sedangkan pada persentase *error* untuk nilai *buffer* bernilai 6,71%, akan tetapi tidak terlalu mempengaruhi hasilnya karena bisa ditoleransi dan untuk hasil grafiknya bisa dilihat pada gambar 7 yang grafiknya bisa dibilang stabil.

Tabel 2. Hasil Data Kalibrasi Sensor pH

<i>Buffer</i>	Sensor PH	Lakmus	<i>Error (%)</i>
4,01	3,92	4	2,00
6,86	6,53	7	6,71
9,18	8,72	9	3,11



Gambar 7. Hasil Grafik Data Kalibrasi

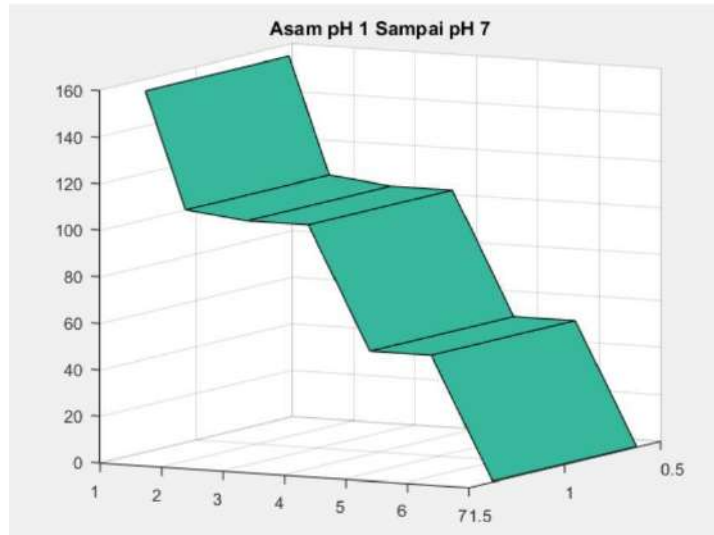
4.2. Hasil Pengujian Alat

Pada pengujian ini yaitu melakukan sebuah percobaan dengan mengambil beberapa sampel pH yang nanti akan dilakukan penambahan bahan kimia NaOH yang memiliki pH 12 secara otomatis, dengan cara membuka PWM *control valve* yang telah diatur. Hasil data yang diperoleh dari uji coba dengan pH air laut 1,34 bisa disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan tabel 3 bisa dilihat, air laut yang berkadar pH 1.34 bisa menjadi pH 7 memakan waktu sebanyak 12 detik. Ketika asam pH 1,34 PWM langsung membuka sebesar 158 dan ketika sensor pH berubah menjadi 2, maka PWM langsung turun menjadi 108. Pada saat sensor mendeteksi pH 3 dan pH 4 membutuhkan waktu selama 7 detik dan PWM turun menjadi 105, dan ketika sensor pH membaca 6 PWM membuka sebesar 52,4 dan memerlukan waktu sebanyak 10 detik. Pada saat sensor pH mendeteksi 7 maka *control valve* langsung menutup atau PWMnya 0, PWM turun dikarenakan mengikuti fungsi keanggotaan dari *fuzzy logic*. Perubahan grafik PWM ketika 158 sampai 0 bisa dilihat pada gambar 8.

Tabel 3. Hasil Uji Coba pH 1,4 Sampai pH 7

Asam pH	Waktu	Pembacaan Sensor	PWM	Tegangan (V)	Error (%)
1,34	0	1,34	158	7,5	80,8
	3	2	108	5,1	71,4
	5	3	105	5	57,1
	7	4	105	5	42,8
	8	5	52,4	2,3	28,5
	10	6	52,4	2,3	14,2
	12	7	0	0	0



Gambar 8. Hasil Grafik PWM pada pH 1,34 Sampai pH 7

Table 4. Hasil Uji Coba pH 3,4 Sampai pH 7

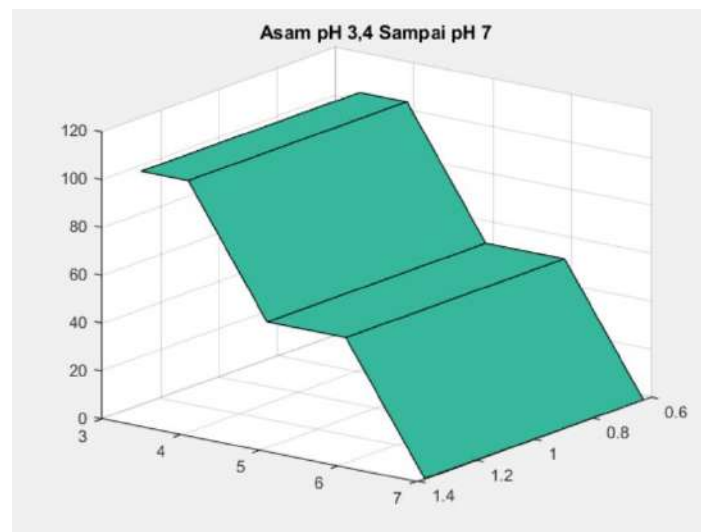
Asam pH	Waktu	Pembacaan Sensor	PWM	Tegangan (V)	Error (%)
3,4	0	3,4	105	5	51.4
	3	4	105	5	42.8
	5	5	52,4	2,3	28.5
	8	6	52,4	2,3	14.2
	10	7	0	0	0

Untuk persentase *error* dari pH 1 sampai 7 bisa dilihat penurunannya yang sangat stabil dan persentase tersebut ditujukan pada nilai pH netral yaitu tujuh, sedangkan setiap nilai pH memiliki nilai persentase *error* berbeda dan nilai pH 1 memiliki persentase *error* yang sangat besar maka ketika nilai pH naik atau asam pH mengecil maka persentase *error* mengecil seperti pada nilai pH 6 memiliki persentase *error* 14,2% dari nilai pH netral. Nilai tegangan pada percobaan ini memiliki nilai awal yaitu 7,5v dan menurun sampai 0v karena mengikuti dari pembukaan PWM pada *valve* awal yaitu 158 sampai 0.

Hasil data yang diperoleh dari uji coba dengan pH air laut 3,40 bisa disajikan pada tabel 4. Diketahui hasil data pembacaan sensor pada uji coba asam awal dengan nilai pH 3,4 sampai mendapatkan hasil netral membutuhkan waktu pencampuran selama 10 detik. Pada saat asam pH 3,4 PWM pada *control valve* membuka sebesar 105, kemudian setelah berjalan 3 detik kadar pH berubah menjadi 4 serta PWM tetap membuka 105. Pada detik ke 5 sensor pH mendeteksi air laut menjadi asam pH 5 dan PWM turun sampai 52,4, sedangkan proses pencampuran selama 8 detik

PWM tetap membuka 52,4 karena pembacaan sensor masih dikategori asam yaitu 6. Akan tetapi detik ke 10 pembacaan sensor pH mendeteksi menjadi 7 dan PWM pada *control valve* langsung menutup atau 0. Bisa dilihat grafik proses kendali PWM dari 105 sampai 0 pada gambar 9. Hasil data yang diperoleh dari uji coba dengan pH air laut 5,88 bisa disajikan pada tabel 5.

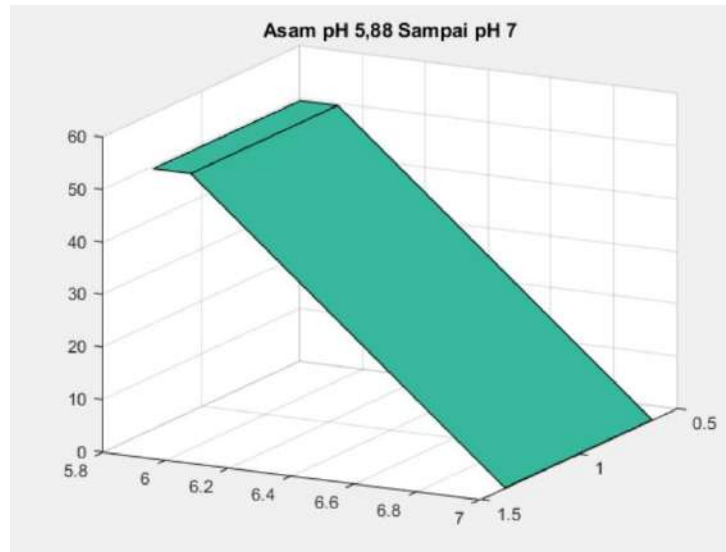
Diketahui uji coba yang diambil yaitu asam pH 5,88 dan untuk mendapatkan nilai netral atau basa cukup memakan waktu selama 4 detik. Pada 2 detik selama pencampuran air laut menghasilkan nilai pH 6 dan PWM yang dibuka sebesar 52,4, kemudian nilai pH pada saat 7 hanya memakan waktu selama 4 detik serta PWM langsung menutup menjadi 0. Grafik kendali PWM pada pH 5,88 sampai pH 7 bisa dilihat pada gambar 10.



Gambar 9. Hasil Grafik PWM pada pH 3,4 Sampai ph 7

Table 5. Hasil Uji Coba pada pH 5,88 Sampai pH 7

Asam pH	Waktu	Pembacaan Sensor	PWM	Tegangan (V)	Error (%)
	0	5,88	52,4	2,3	16
5,88	2	6	52,4	2,3	14.2
	4	7	0	0	0



Gambar 10. Hasil Grafik PWM pada pH 5,88 Sampai pH 7

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian ini bisa ditarik kesimpulan terhadap pengamatan serta hasil datanya yaitu untuk kalibrasi sensor menggunakan cairan *aquades* karena cairan ini memiliki pH netral, apabila menggunakan air aqua, PDAM dan sejenisnya maka kalibrasinya kurang sempurna. Kemudian pada persentase *error* pada kalibrasi asam bisa dikatakan cukup standar karena tidak memiliki perbedaan yang sangat jauh yaitu untuk pH 4 memiliki *error* 2%, pH 6.86 memiliki *error* 6,71%, dan pH 9,18 memiliki *error* 3,11%. Selain itu untuk *input* dan *output fuzzy logic* pada *arduino* untuk keanggotaannya harus sama jumlahnya, apabila berbeda jumlah keanggotaannya maka program *arduino* tidak bisa berjalan. *Control valve* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki PWM maksimal 211 dan tegangan maksimalnya 10 volt, jika PWM di atas 211 maka PWM akan menutup total. Sedangkan pada PH NaOH pada saat pencampuran terhadap air laut juga sangat mempengaruhi karena nilai pH NaOH menentukan berapa lama proses reaksi penurunan kadar klorinnya. Kadar klorin bisa dibuat dengan *paramater* pH asam, karena kimia asam juga memiliki kandungan klorin yang bisa menyebabkan korosi pada perlatan besi dan sejenisnya.

Referensi

1. N. Yuniarti, "Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik," *Jur. Pendidikan Tek. Elektro FT. Univ. Negeri Yogyakarta*, pp. 26–39, 2019. Author 1, A.; Author 2, B. Title of the chapter. In *Book Title*, 2nd ed.; Editor 1, A., Editor 2, B., Eds.; Publisher: Publisher Location, Country, 2007; Volume 3, pp. 154–196.
2. Sutrisno and M. R. Efendi, "Analisa Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Efisiensi Pendinginan Pada Cooling Water Heat Exchanger Di PLTU Unit 1 PT. PJB UP GRESIK," vol. 07, pp. 65–81, 2018.
3. I. W. Putri, "Analisis efisiensi desalinasi unit 1 b pt. pembangkit jawa bali up. muara karang," p. 114, 2010.
4. H. Suprpto and P. Simanjuntak, "Fuzzy Logic Untuk Memprediksi Pemakaian Listrik," *Comasie*, vol. 02, 2020.

5. S. Batubara, "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani Dan Fuzzy Sugeno Untuk Penentuan Kualitas Cor Beton Instan," *It J. Res. Dev.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2017, doi: 10.25299/itjrd.2017.vol2(1).644.
6. N. P. D. Fadhilah Azmi, Insidini Fawwaz, Muhathir, "Rancang Bangun Water Level Detection Dengan Sensor Ultrasonik Berbasis Fuzzy Logic Design," *JITE (Journal Informatics Telecommun. Eng. Available)*, vol. 3, no. 1, pp. 62–68, 2019.



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

Implementasi dan Optimalisasi Solar PV sebagai Sumber Tenaga Listrik untuk Memenuhi Beban Elektronik di Kampung Oase Ondomohen Surabaya

Moch. Fikry Fathul Yaqin ¹, Isa Hafidz ^{2*}, dan Lora Khaula Amifia ^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Korespondensi: isa@ittelkom-sby.ac.id dan loraamifia@ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki konsep yang sederhana yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang mana cahaya matahari adalah salah satu bentuk energi yang memiliki sifat renewable energy. Pada kampung oase sendiri PLTS dimanfaatkan untuk sumber tenaga listrik pompa air untuk mengaliri pipa hidroponik dan kolam ikan. Akan tetapi, Solar PV yang mereka miliki sudah tidak dapat difungsikan lagi. Penyebab kerusakan solar PV ini kemungkinan disebabkan oleh desain dan instalasi photovoltaic yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban alat elektronik yang digunakan. Sehingga dilakukan penelitian untuk merancang dan mengoptimalkan solar PV sebagai sumber pembangkit listrik yang akan digunakan untuk menjalankan pompa air hidroponik. Pengamatan dan pengujian yang dilakukan adalah pengambilan data terkait hasil keluaran solar PV dan kualitas daya listrik yaitu analisis pada drop tegangan di kampung oase ondomohen. Alat ukur yang digunakan berupa multimeter dan energy meter untuk mengukur dan memonitoring hasil keluaran pompa air bertenaga PLTS yang bersistem internet of things. IoT yang digunakan berupa mikrokontroler Esp8266 dengan aplikasi Blynk Iot. Dengan dibangunnya Solar photovoltaic beserta pengembangan teknologinya ini menunjukkan hasil bahwa solar PV layak digunakan sebagai renewable energy untuk memenuhi kebutuhan beban pompa air dan dapat meningkatkan kembali produktivitas masyarakat sehari-hari, yaitu utamanya untuk mendukung budidaya ikan dan tanaman tanpa menggunakan media tanah atau hidroponik. Penggunaan analisis ekonomis menunjukkan pengembalian biaya investasi selama 19.6 tahun pemakaian.

Kata Kunci: Irradiansi Matahari; Kampung Oase Ondomohen; Pompa Air; Renewable Energy; Solar PV

1. Pendahuluan

Potensi energi terbarukan Nasional untuk dikonversi menjadi listrik mencapai 422 sampai 500 GW, sekitar 7 sampai 8 kali dari total kapasitas pembangkit terpasang saat ini. Pemerintah menargetkan bauran energi penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dapat direalisasikan [1]. Mengingat fakta dari energi matahari yang tidak akan habis ketersediannya. Energi ini memiliki peran penting yang bebas emisi karbon untuk menghasilkan energi listrik menggunakan teknologi photovoltaic. Mengingat pengurangan emisi gas rumah kaca merupakan upaya yang perlu kita lakukan untuk mencegah perubahan iklim dan menjaga laju pemanasan bumi tetap berada di bawah 1.5 derajat celcius [2]. Indonesia telah memasang target untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% melalui usaha sendiri dan 41% melalui bantuan Internasional serta berkomitmen untuk mencapai net zero emission pada 2060 [3].

Pada kampung oase sendiri solar PV dimanfaatkan untuk sumber tenaga listrik pompa air untuk mengaliri pipa hidroponik dan kolam ikan. Akan tetapi, Solar PV yang mereka miliki sudah tidak dapat difungsikan lagi. Penyebab kerusakan solar PV ini kemungkinan disebabkan oleh desain

dan instalasi photovoltaic yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban alat elektronik yang digunakan, Sehingga dibutuhkan desain dan instalasi terbaru yang dapat menyesuaikan dengan beban penggunaan listrik dari photovoltaic. Dampak dari kerusakan solar PV yang ada tersebut menyebabkan kualitas air tidak stabil atau berubah-ubah maka dapat berdampak buruk terhadap ikan yang dibudidayakan, akibatnya ikan dapat stress, sakit bahkan mati bila tidak mampu bertoleransi terhadap perubahan lingkungan. Tak hanya itu, dampak buruk lainnya adalah warga kampung oase ondomohen harus memproses secara manual tanaman-tanaman urban farming yang telah menjadi sumber mata pencaharian mereka. Hal ini tentunya mengakibatkan penurunan hasil pertanian tanpa media tanah atau hidroponik mereka mengingat estimasi waktu dalam proses pertumbuhan tanamannya tidak seefektif ketika masih menggunakan PLTS.

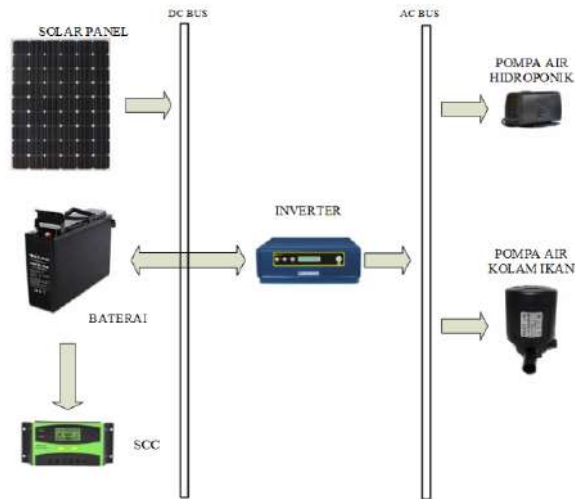
Penelitian ini menggunakan penelitian sebelumnya sebagai acuan dan melakukan pengembangan dari penelitian tersebut. Pada tahun 2018 dilakukan penelitian oleh Mardiyono, Sugeng Ariyono, Endro Wasito, dan Slamet Handoko yang meneliti sistem hidroponik yang dikembangkan berbentuk media tanam secara horisontal dan vertikal dengan PLTS berkonfigurasi *hybrid* dengan PLN [4]. Pada penelitian lainnya oleh Poppy Honora yang menggunakan dua jenis solar PV yang berbeda yaitu jenis *polycrystalline* dan *monocrystalline* untuk menyalakan beban pompa air [5]. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ali Basrah Pulungan, Juli Sardi, Hamdani, dan Hastuti menggunakan *Dual Power Automatic Transfer Switch (ATS)* untuk sistem *hybrid* pada PLTS dengan pembebanan pompa airnya [6]. Lalu, penelitian lain yang berfokus pada respons sistem PLTS terhadap *setting point* yang dilakukan oleh Luthfansyah Mohammad dkk [7]. Maka dari itu untuk keterbaruan yang akan digunakan pada paper ini ialah penggunaan monitoring energi listrik pada pompa air bertenaga PLTS ini yang berbasis Internet of Things. Alasan penggunaan IoT dalam sistem monitoring ini adalah agar memberikan efisiensi dalam mengetahui parameter listrik yang dihasilkan serta mengetahui seberapa besar losses yang terjadi pada beban elektronik.

Pada paper ini bertujuan untuk memberikan desain sistem dan instalasi PLTS dengan mempertimbangkan kebutuhan daya listrik untuk pompa air serta memonitoring kualitas daya listrik pada beban elektronik guna mengurangi resiko terjadinya drop tegangan dan pemadaman listrik akibatnya penggunaan beban berlebih yang dapat mempercepat kerusakan pada jaringan sistem PLTS. Selain itu, untuk mengetahui biaya penggunaan listrik serta carbon pricing pada pemasangan solar PV sebagai renewable energy beserta seberapa lama balik modal yang didapatkan dengan total biaya investasi yang telah dikeluarkan.

2. Metode

2.2. Konfigurasi Sistem

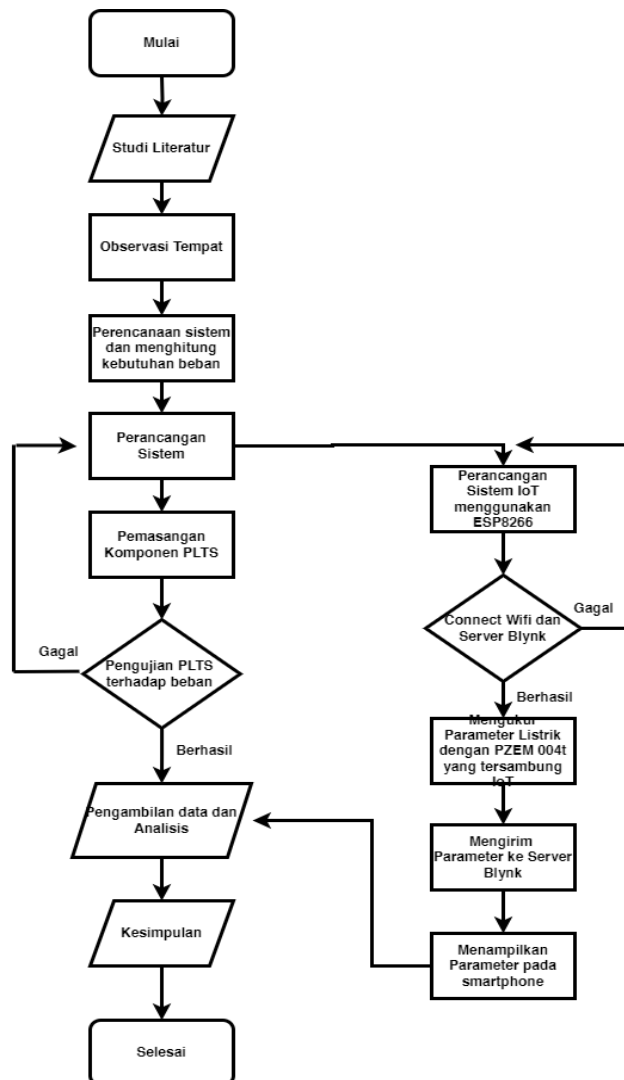
Berdasarkan Konfigurasi sistem pada Gambar 1 diketahui bahwa Solar PV, Baterai, dan Solar charge controller (SCC) berada pada bus DC sedangkan beban pompa air pada bus AC. Inverter berfungsi mengelola energi yang didapatkan dari Solar PV untuk disimpan ke baterai dan apabila beban menyala maka energi yang disimpan pada baterai diubah dari listrik DC ke AC untuk disuplai ke pompa air. Penggunaan SCC sendiri hanya dihubungkan pada baterai guna memonitoring parameter yang ada pada baterai seperti persentase energi yang disimpan, tegangan, dan suhu baterai.



Gambar 1. Konfigurasi Desain PV, Baterai, Kontroller, Inverter, Dan Beban Pompa Air

2.2. Flowchart

Flowchart dari Solar PV Sebagai Sumber Tenaga Listrik Untuk Memenuhi Beban Elektronik Di Kampung Oase Ondomohen Surabaya ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Alur Pengerjaan Pembuatan Alat

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dimulai dengan melakukan studi literatur terkait komponen dan parameter-parameter terkait penyelesaian dalam rumusan masalah yang diambil. Setelah studi literatur dilakukan maka dilanjutkan melakukan observasi tempat untuk dapat mengetahui kemungkinan yang paling optimal dalam pemasangan solar PV. Ketika sudah dilakukan observasi tempat maka dilakukan perencanaan sistem dan perhitungan kebutuhan beban elektronik yang perlu dipenuhi dalam sistem PLTS. Setelah perencanaan dan perhitungan beban dilakukan maka langkah berikutnya adalah perencanaan sistem. Perancangan sistem disini dilakukan dalam 2 tahap dimana perancangan terkait sistem PLTS dan terkait sistem IoT guna memonitoring hasil energi yang dihasilkan terhadap beban yang terpasang. Selepas kedua sistem telah dipasang, apabila alat gagal berfungsi ataupun mengalami kendala maka kembali pada perancangan sistem alat untuk menemukan problem solve nya dan jika berhasil digunakan dengan baik sesuai awal perencanaan sistem maka dilakukan pengambilan data dan analisis terkait alat yang terpasang tersebut. Langkah terakhir setelah analisis dilakukan adalah kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan tersebut.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Perancangan Desain PV

Tujuan dari perancangan desain PV ini ialah untuk mengetahui total Kapasitas baterai, Kapasitas Solar PV, dan kapasitas Inverter yang sesuai dengan kebutuhan beban yang akan dipenuhi.

3.1.1. Perhitungan kebutuhan beban

Tabel 1. Kebutuhan Energi Tiap Hari

No	Beban Elektronik	Jumlah	Jumlah Daya (Watt)	Jam Pemakaian (h)	Total Daya yang Digunakan (Wh)
1	Pompa Air Kolam Ikan	1	26	24	624
2	Pompa Air Hidroponik	2	90	12	1080
	Total	3	116	36	1704

Pompa air hidroponik menyala 12 jam karena metode yang digunakan dalam budidaya hidroponik ialah DFT (Deep Flow Technique) dimana akar tanaman dibiarkan terendam di dalam larutan nutrisi yang mengalir dengan kecepatan rendah melalui saluran dangkal. Sehingga Total konsumsi daya yang diperlukan adalah 116 Watt dan konsumsi energi sebesar 1704 Wh per hari. Dengan mengasumsikan adanya kehilangan energi dalam sistem Solar PV maka total kebutuhan energi per hari tersebut dikalikan dengan safety faktor sebesar 20% ialah :

$$\begin{aligned}
 ET &= EB \times \text{Rugi dan Safety Faktor} & (1) \\
 &= 1704 \times 1.2 \\
 &= 2044.8 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Sedangkan jumlah daya setelah dikalikan dengan safety faktor adalah $116 \times 1.2 = 139.2$ Watt

3.1.2. Perhitungan Kapasitas Baterai

Perhitungan kapasitas baterai mempertimbangkan faktor cuaca apabila terdapat kondisi tanpa ada matahari (No-sun or Black Day). Kondisi tersebut diasumsikan baterai dapat bertahan atau dapat digunakan dalam kurun waktu 2 hari dengan DOD (Depth of Discharge) sebesar 80%. Rata-rata waktu beban adalah:

$$\text{Rata-rata waktu beban} = \frac{(\Sigma \text{Energy})}{(\Sigma \text{Power})} = \frac{2044.8}{139.2} = 14.68 \text{ h} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata discharge rate (h)} &= ((\text{autonomy day} \times \text{rata-rata waktu beban}) / \text{DOD}) \\ &= ((2 \times 14.68) / 0.8) = 36.7 \text{ h} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{(D \times ET)}{(\text{DOD} \times \eta_{\text{out}} \times V)} = \frac{(2 \times 2044.8)}{(0.8 \times 0.9 \times 48)} = 118.33 \text{ Ah} \quad (4)$$

Sesuai perhitungan maka kapasitas baterai yang digunakan adalah 118.33 Ah atau 100 Ah. Jika baterai yang digunakan adalah baterai dengan tipe SOL12-100 12 Volt, 10 Hr rate capacity 100 Ah, maka jumlah baterai yang digunakan agar mampu bertahan dalam kondisi tanpa ada matahari atau (2x24jam) adalah:

$$\text{Paralel} = 118.33 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah} = 1.183 = 1 \text{ unit} \quad (5)$$

$$\text{Seri} = 48 \text{ V} / 12 \text{ V} = 4 \text{ unit} \quad (6)$$

Sehingga total baterai yang digunakan adalah $1 \times 4 = 4$ unit

3.1.3. Perhitungan Kapasitas Solar PV

Solar PV monocrystalline 120 Wp dipilih dalam perancangan penelitian ini. Pada kondisi Standart Temperature Condition (STC) yaitu saat irradiasi senilai 1000 W/m² dan temperatur suhu mencapai 25°C yang akan digunakan sebagai acuan perhitungan kapasitas panel Solar PV array. Lama penyinaran matahari dalam satu hari antara jam 09.00 sd 14.00 atau sekitar 5 jam per hari.

$$\text{PV array power output} = \frac{\text{Daily electricity consumption}}{\text{Minimum sunshine time}} = \frac{2044.8 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} = 408.96 \text{ Watt} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Safety factor} &= \frac{(1 + \text{Surplus capacity})}{(\text{Battery efficiency} \times \text{Temperature loss factor} \times \text{dust loss factor} \times \text{controller efficiency})} \\ &= \frac{(1 + 0.15)}{(0.9 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.85)} = 1.85 \end{aligned} \quad (8)$$

Nilai Surplus capacity berkisar antara 10% - 15%, perancangan ini diambil 15% = 0.15

$$\text{System Capacity} = \text{Output} \times \text{safety factor} = 408.96 \text{ W} \times 1.85 = 756.576 \text{ Watt} \quad (9)$$

$$\text{Total PV} = 756.576 \text{ W} / 120 \text{ W} = 6.304 = 7 \text{ unit panel Solar PV} \quad (10)$$

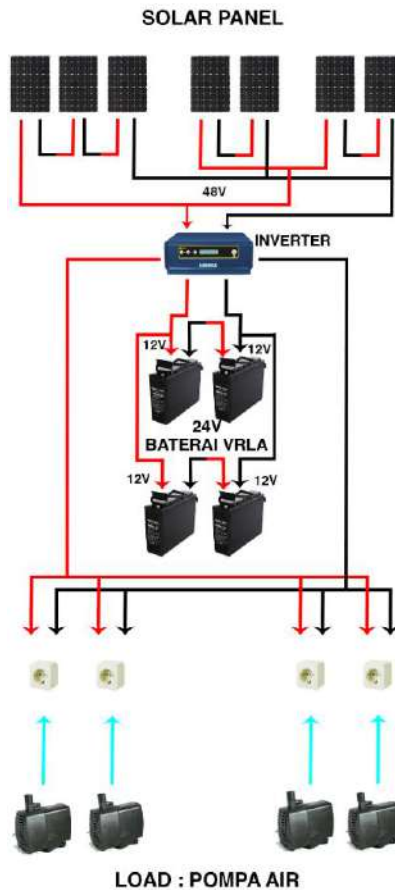
Dari perhitungan diatas maka dapat ditemukan hasil dimana solar PV untuk memenuhi kebutuhan beban di kampung oase ondomohen yang akan digunakan membutuhkan total 756.576 Watt atau berjumlah 7 unit dengan konfigurasi rangkaian campuran, seri-paralel.

3.1.4. Perhitungan Kapasitas Inverter

$$\text{Inverter Capacity} = \frac{\text{Load Power}}{\eta_{\text{inverter}}} = \frac{102 \text{ W}}{0.8} = 127.5 \text{ Watt} \quad (11)$$

$$\text{Controller current} = \frac{\text{System Capacity}}{(\text{Voltage} \times \text{Loss Factor})} = \frac{756.576 \text{ W}}{(48 \times 0.85)} = 19 \text{ A} \quad (12)$$

Sehingga, Inverter yang dipilih pada penelitian ini adalah jenis Hybrid Pure Sine Wave Inverter 1500Va dengan Controller current senilai 20 Ampere. Setelah perhitungan terkait parameter perancangan komponen telah ditemukan hasilnya maka berikut gambaran rangkaian hasil perhitungan perancangannya dengan menggunakan 7 unit solar PV, 4 Baterai, dan 1 unit Inverter yang disambungkan dengan beban elektronik yang ada ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Hasil Perancangan Solar PV

3.2. Pengujian Kelayakan Solar PV

Pengujian solar PV dengan mempertimbangkan cuaca cerah, mendung, dan hujan sebagai perbandingan tentang pengaruh cuaca terhadap parameter yang dihasilkan oleh solar PV bertujuan untuk mengetahui seberapa layak penggunaan Solar PV digunakan di ondomohen. Dalam melakukan pengujian dan pengambilan data solar PV dilakukan menggunakan alat ukur multimeter dimana probe diletakkan pada kabel output solar PV atau terminal input inverter.

3.2.1. Pengujian Solar PV dengan Cuaca Mendung Dan Hujan

Tabel 2. Hasil Pengukuran Solar PV pada Cuaca Mendung & Hujan

Jam (Wib)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Irradiansi (W/M ²)	Keterangan
08.00	24.16	3.25	78.52	27	375.8	Mendung
09.00	24.26	3.27	79.33	30	574.88	Mendung
10.00	24.19	3.19	77.16	30	876.56	Mendung
11.00	24.17	3.16	76.37	31	954.82	Mendung
12.00	24.11	3.13	75.46	32	757.34	Mendung
13.00	24.07	3.14	75.579	32	154.72	Mendung
14.00	24.05	3.06	73.593	33	223.83	Mendung
15.00	24.04	0.82	19.712	31	185.31	Hujan
16.00	24.4	3.15	76.86	29	165.72	Hujan
17.00	24.1	2.4	57.84	27	75.71	Mendung
18.00	2.9	0.15	0.435	25	14.3	Mendung

Pada tabel 2 yang merupakan tabel hasil pengukuran hari pertama, dimana pada tabel tersebut pada pengukuran solar PV didapatkan titik puncak penyinaran matahari pada pukul 09.00-12.00. Pada pukul 13.00 hingga 18.00 irradiansi matahari sebagai input dari solar PV tidak dalam kondisi optimal dikarenakan pengaruh cuaca pra hujan - hujan - pasca hujan yang berdampak pada penurunan nilai arus solar PV.

3.2.2. Pengujian Solar PV dengan Cuaca Cerah, Mendung, dan Hujan

Tabel 3. Hasil Pengukuran Solar PV Cuaca Cerah, Mendung & Hujan

Jam (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Irradiansi (W/M ²)	Keterangan
08.00	25.03	3.35	83.850	30	216.68	Cerah
09.00	25.31	3.28	83.016	30	392.2	Cerah
10.00	24.95	3.19	79.59	30	634.5	Cerah
11.00	24.69	3.18	78.514	31	451.33	Cerah
12.00	24.58	3.17	77.918	32	306.77	Mendung
13.00	24.84	3.2	79.488	32	344.33	Mendung
14.00	24.78	3.18	78.8	33	360.22	Mendung
15.00	24.83	3.2	79.456	31	363.36	Mendung
16.00	24.16	3.13	75.62	30	119.09	Mendung
17.00	22.91	3.04	69.64	29	23.43	Hujan
18.00	1.8	0.08	0.144	24	0	Hujan

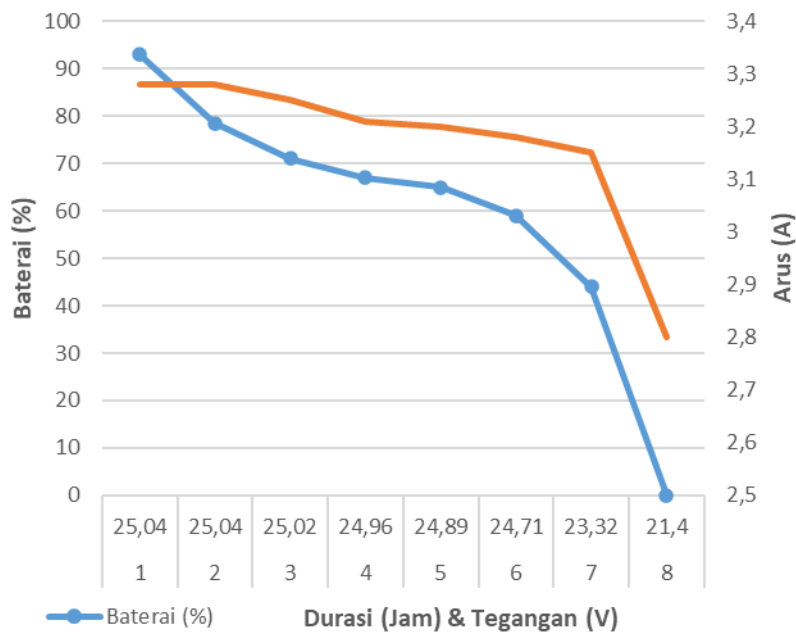
Pada tabel diatas menunjukkan bahwa titik puncak penyinaran matahari pada pukul 09.30-15.00 dengan hasil tegangan dan arus yang didapatkan cukup stabil dan cuaca yang mendung hingga pukul 17.00 baru Hujan turun yang menyebabkan arus drop menjadi 1 ampere.

3.2.3. Pengujian Solar PV dengan Cuaca Cerah

Tabel 4. Hasil Pengukuran Solar PV Hari pada Cuaca Cerah

Jam (Wib)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Irradiansi (W/M ²)	Keterangan
08.00	24.43	3.21	78.420	27	224.47	Cerah
09.00	24.61	3.22	79.244	28	479.03	Cerah
10.00	25.18	3.28	82.590	29	573.12	Cerah
11.00	25.73	3.27	84.137	29	546.33	Cerah
12.00	25.62	3.25	83.265	32	561.13	Cerah
13.00	24.6	3.12	76.752	31	625.08	Cerah
14.00	24.41	3.12	76.159	31	506.59	Cerah
15.00	24.46	3.15	77.049	30	367.72	Cerah
16.00	24.26	3.14	76.176	28	253.57	Cerah
17.00	24.2	3.12	75.504	27	91.07	Cerah
18.00	11.33	2.38	26.965	27	31.28	Cerah

Pada Tabel diatas menunjukkan hasil dimana cuaca seharian dalam kondisi cerah sehingga pada pengukuran solar PV didapatkan titik puncak penyinaran matahari pada pukul 10.00-14.00. Inverter juga berpengaruh dalam kestabilan daya pada saat transisi dari keadaan sore ke malam dimana irradiansi menurun. Kestabilan daya inverter ini dihasilkan oleh fitur power optimizer yang ada didalamnya.



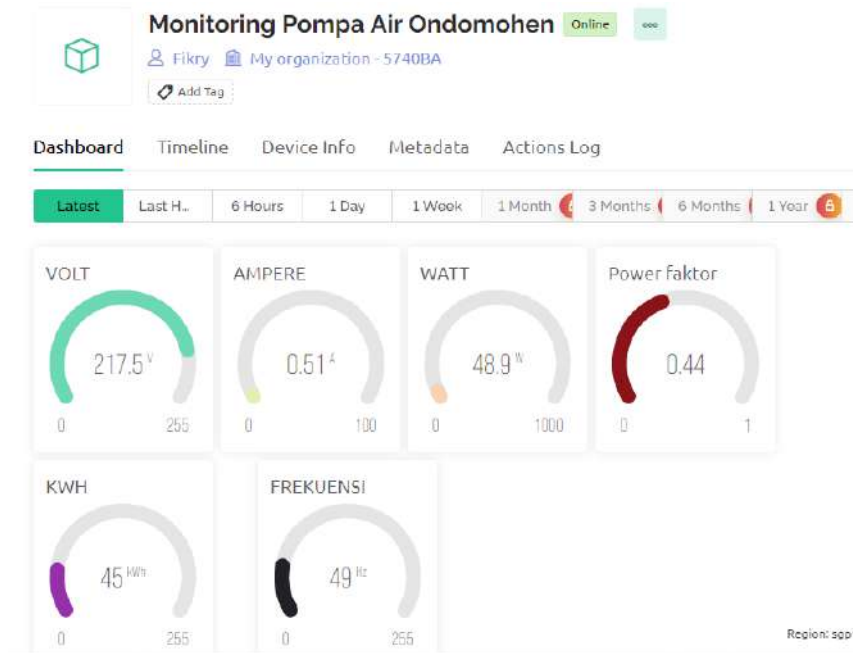
Gambar 4. Grafik Respon Discharge

3.3. Respon Discharge Baterai dengan penggunaan 3 buah pompa air nonstop.

Pengujian discharge baterai ini bertujuan untuk mengetahui seberapa lama ketahanan baterai untuk digunakan terhadap beban yang menyala secara terus menerus hingga energi yang disimpan pada baterai telah habis. Total durasi yang dibutuhkan untuk pengujian discharge baterai 24V 200Ah adalah 8 jam dan pada hasil akhirnya menunjukkan bahwa baterai mencapai 0% dengan tegangan di bawah batas kerja optimal yaitu 21 Volt. Setelah 5 jam, tegangan baterai tidak lagi optimal dan penurunan baterai terjadi dengan cepat, berbeda dengan jam-jam sebelumnya di mana kapasitas baterai turun secara konstan.

Tabel 5. Uji Kalibrasi PZEM 004T dengan Tang Ampere Terhadap 3 Pompa Air

Parameter	3 Pompa Air		
	PZEM-004T	Tang Ampere	Error (%)
Tegangan (Volt)	212.7	213	0.3
	216	216	0
	215.3	215.5	0.2
	215.8	216	0.2
	215.1	215	0.1
	0.51	0.5	0.01
Arus (Ampere)	0.22	0.2	0.02
	0.23	0.25	0.02
	0.5	0.5	0
	0.25	0.25	0
Frekuensi (Hz)	49.8	49.5	0.3
	49.8	50	0.2
	49.8	50	0.2
	49.8	50	0.2
	50	50	0



Gambar 5. Tampilan Software Blynk guna memonitoring hasil keluaran Solar PV terhadap Beban

3.4 Penggunaan Alat ukur PZEM-004T

Dalam memonitoring hasil keluaran sistem PLTS menggunakan alat ukur PZEM-004T berbasis *Internet of Things*. Tujuan penggunaan alat ukur ini adalah untuk mengetahui nilai parameter dari beban pompa air bertenaga PLTS ini dimana data hasil pengukuran akan diolah pada ESP8266 sebagai mikrokontroler. Dari mikrokontroler akan mengirimkan data pengukuran ke software Blynk guna mengetahui seberapa hasil keluaran solar PV terhadap beban pompa air yang digunakan.

Dari hasil uji kalibrasi alat yang sudah digunakan menunjukkan hasil error antara Energy meter PZEM-004T dengan Tang Ampere sebesar 0 – 0.4%. Berdasarkan hasil uji kalibrasi alat ukur ini menunjukkan bahwa penggunaan alat ukur PZEM 004-T masih valid dan mampu digunakan sebagai modul pengukuran pada penelitian ini. Setelah diketahui kelayakan alat ukur ini maka PZEM-004T ini disambungkan dengan mikrokontroler ESP8266 agar dapat digunakan secara IoT menggunakan software Blynk. Tampilan Blynk dapat dilihat melalui Gambar 5 dibawah ini.

3.5 Perhitungan Drop Tegangan

Dalam penyaluran tenaga listrik di ondomohen ini pada solar PV ke beban pada suatu instalasi, akan terjadi suatu perbedaan tegangan antara tegangan di sisi sumber yaitu titik solar PV terpasang dan tegangan di sisi beban elektronik yang dipasang yaitu pompa air. Dimana tegangan pada sisi sumber atau solar PV lebih besar dari pada tegangan di sisi beban pompa air. Hal inilah yang menyebabkan menjadi tujuan dilakukannya perhitungan drop tegangan.

Persentase Drop tegangan ialah 5% maka :

$$\text{Untuk sistem 1 Fasa: } \Delta V(\%) = \Delta U / (100\%) \quad U_n = \frac{5\%}{100\%} 220 = 11V$$

Rugi tegangan berdasarkan Luas penampang untuk arus bolak-balik satu Fasa (penampang minimum), yaitu : $\Delta U = 2 \times I \times l (RL \cos\phi + XL \sin\phi)$ Maka perhitungan diambil dari jarak terjauh dari MCB utama yaitu grup 2 . Dengan asumsi $\cos\phi = 0.9$ Kabel NYM 3 x 2.5 mm²

$$l = 8 \text{ Meter} = 0.08 \text{ Km (Dari MCB utama ke grup 2)} \tag{13}$$

$$I = I_n = \frac{P}{(V \times \cos\phi)} = \frac{85}{(220 \times 0.9)} = 0.347 \text{ A}$$

$$\Delta U = 2 \times I \times l (RL \cos\phi + XL \sin\phi) \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times 0.695 \times 0.8 (8.866 + 0.318) \\
 &= 10.21 \text{ V} \\
 \Delta V(\%) &= \frac{\Delta U}{U_n} 100\% = \frac{10.21}{220} 100\% = 4.64\% \tag{15}
 \end{aligned}$$

3.6 Perhitungan Ekonomis

Perhitungan ekonomis dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis aspek-aspek ekonomi yang terkait dengan penerapan teknologi energi surya. Hal ini melibatkan berbagai komponen dan parameter ekonomi untuk membantu mengambil keputusan yang informasional dan rasional terkait investasi, pengembangan, dan penggunaan teknologi Solar PV.

3.6.1 Carbon Pricing

Perhitungan carbon pricing atau jejak karbon adalah untuk mengetahui jumlah karbon atau gas emisi yang dihasilkan dari energi listrik yang digunakan sebelumnya, yaitu sebelum dipasang solar PV. Selain itu tujuan lain dari dilakukannya perhitungan ini ialah untuk mengetahui seberapa besar dampak dari pemasangan solar PV sebagai renewable energy guna mendorong emisi gas rumah kaca.

Tabel 6. Jejak Karbon Listrik

No	Beban Elektronik	Jumlah	Jam/Minggu	Watt/alat	Total Watt	Total kW
1	Pompa Air Kolam Ikan	1	168	26	4368	4.368
2	Pompa Air Hidroponik	2	84	90	7560	7.560
Total					11928	11.928

$$\begin{aligned}
 \text{Electric Emission} &= \text{Electric Consumption} \times \text{Emisi Faktor} \tag{16} \\
 &= 11.928 \times 0.725 = 8647.8 \text{ kg/co}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Reduction Emission} &= \text{Electric Emission} \times \text{Percentage current of using solar photovoltaic} \tag{17} \\
 &= 8647.8 \times 4 \\
 &= 3459.12 \text{ kg/C0}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *carbon pricing* diatas didapatkan emisi energi listrik senilai 8647.8 kg/co² dan mampu ditekan dengan penggunaan solar PV sebesar 3459.12 kg/C0². perhitungan emisi karbon ini dilakukan dengan mempertimbangkan faktor emisi wilayah yang sesuai dengan tempat penelitian yaitu pulau Jawa yang senilai 0.725.

3.6.2 Life Cycle Cost

Dalam pengelolaan aset dan manajemen proyek, Life Cycle Cost bertujuan untuk menggambarkan semua biaya yang terkait dengan suatu produk, sistem, atau proyek dari awal hingga akhir siklus hidupnya. Konsep ini mencakup semua biaya yang terkait dengan pengembangan, pembuatan, penggunaan, perawatan, pemeliharaan, dan pembuangan barang atau sistem tersebut. Ini terdiri dari biaya awal (investasi), biaya penggunaan/operasi, dan biaya perawatan.

Tabel 7. Total Biaya Investasi (Peralatan)

No	Item	Jumlah	Harga Satuan (Rp.)	Total (Rp.)
1	Solar PV Mono 120 Wp	7	730.000.00	5.110.000
2	Inverter	1	3.000.000.00	3.000.000
3	Baterai VRLA Solana	4	2.250.000.00	9.000.000
4	Twin Kabel 2x2.5mm	1	260.500.00	260.500
5	Konektor kabel	2	12.535.00	25.070
6	MCB	1	85.000.00	85.000
7	Solar Charge Controller	1	180.000.00	180.000
Jumlah				17.660.570

$$\begin{aligned}
 O\&M_p &= O\&M [(1+i)^n/i(1+i)^n] & (18) \\
 &= USD 10 [(1+10\%)^{10}/(10\%(1+10\%)^{10})] \\
 &= USD 100 \\
 &= Rp.1.516.045
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui biaya investasi dan biaya operasional dan perbaikan maka dapat dihitung nilai LCC dalam penggunaan modul PV.

$$\begin{aligned}
 LCC &= II + O\&M_p & (19) \\
 &= 17.660.570 + 1.516.045 \\
 &= Rp.19.176.615
 \end{aligned}$$

3.6.3. Cost Of Energy

Dalam penelitian ini, analisis *cost of energy* bertujuan untuk dapat membantu dalam memperkirakan tingkat kelayakan ekonomi dari sistem PLTS, mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap biaya energi.

$$CRF = \frac{I(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{10\% (1+10\%)^{10}}{(1+10\%)^{10} - 1} = 10 \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Estimasi Energi} &= \frac{\text{Kapasitas Total}}{\text{Radiasi Maksimum}} \times \text{Irradiasi} = \frac{840 \text{ Wp}}{1000 \text{ W/M}^2} \times 387.2 \text{ W/M}^2 \times 365 \text{ hari} & (21) \\
 &= 118.71 \text{ kWh/ Tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF, dan estimasi energi dalam satu tahun maka besar biaya energi (cost of energy) untuk PLTS sebagai berikut :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} = \frac{19.176.615 \times 10}{118.71} = \text{Rp. } 1.615.417/\text{kWh} \quad (22)$$

3.6.4. Break Even Point

Analisis break-even point bertujuan untuk menghitung periode waktu yang diperlukan agar investasi awal dalam sistem Solar PV dapat terbayar kembali melalui penghematan biaya energi.

$$\text{Biaya listrik} = 1.704 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.444,70.- = \text{Rp. } 2.461,76,-/\text{hari} \quad (23)$$

Apabila satu tahun rata-rata terdiri dari 365 hari, maka biaya listrik yang diperlukan selama satu tahun adalah

$$\text{Biaya listrik} = 365 \times \text{Rp. } 2.461,76,-/\text{hari} = \text{Rp. } 898.546/\text{tahun} \quad (24)$$

$$BEP = \frac{II}{\text{Biaya Listrik Tahunan}} = \frac{17.660.570}{898.546} = 19.6 \text{ Tahun} \quad (25)$$

4. Pembahasan

Berdasarkan hasil perancangan desain PV dengan total kebutuhan beban elektronik yang terpasang dimana pada penelitian ini beban yang digunakan ialah 3 buah pompa air dengan jumlah total kebutuhan listrik yang harus dipenuhi sebesar 139.2 Watt, kapasitas baterai yang dapat bertahan dalam kemungkinan kondisi tanpa ada matahari serta tetap memperhatikan nilai efisiensinya sehingga diperlukan 4 unit baterai yang dipasang seri-paralel, Pemilihan jenis solar panel yang perlu memperhatikan titik suhu standar dengan maksimum irradiansi sebesar 1000 W/m² dan untuk memenuhi kapasitas beban maka diperlukan 7 buah solar PV. Kapasitas inverter dengan standar efisiensi 0.8 dan controller current sebesar 20 ampere. Sebagai pengujian kelayakan dari hasil perencanaan maka dilakukan percobaan dengan kondisi hujan, mendung, maupun cerah dengan hasil dimana solar PV tetap mampu menghasilkan daya yang maksimal ketika cuaca sedang cerah dan mendung.

Berdasarkan Penggunaan energy meter atau PZEM-004T berbasis IoT yang menggunakan mikrokontroler Esp8266 dan aplikasi Blynk Iot guna memonitoring kualitas daya listrik pada beban elektronik dengan menggunakan Kabel jenis NYM 3 x 2.5 mm² menunjukkan hasil bahwa drop tegangan sebesar 10.21 Volt atau 4.64% yang nilainya masih termasuk kategori standar.

Berdasarkan Perhitungan biaya ekonomis yang meliputi total emisi karbon yang berguna untuk mengetahui seberapa banyak emisi yang dihasilkan sebelum pemasangan solar PV sebesar 8647.8 kg/co² dan total emisi yang dikurangi setelah pemasangan PV sebesar 3459.12 kg/C0². Life Cycle Cost yang digunakan untuk menggambarkan semua biaya yang terkait dengan suatu produk, sistem, atau proyek dari awal hingga akhir siklus hidupnya seperti biaya awal (investasi) senilai Rp. 17.660.570. biaya penggunaan/operasi dan biaya perawatan sebesar Rp. 1.516.045.00. Cost of energy atau biaya energi yang merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menghitung dan mengevaluasi biaya yang terkait dengan produksi energi dari sistem PLTS dimana berjumlah Rp. 1.615.417/kWh. BEP atau disebut juga balik modal yang dinyatakan dalam tahunan ini membutuhkan selama 19.6 Tahun untuk kembalinya modal dari investasi penelitian ini.

5. Kesimpulan

Implementasi Solar PV ini diharapkan dapat mengembalikan dan mengoptimisasi kembali inovasi sebagai salah satu kampung wisata edukasi dengan menggunakan metode *Standalone/ Offgrid*. Hasil Implementasi dengan pengujian yang memperhatikan macam kondisi tropis yaitu hujan, mendung, dan cerah menunjukkan bahwa solar PV layak untuk digunakan sebagai renewable energy. Monitoring kualitas daya listrik menunjukkan hasil bahwa drop tegangan sebesar 10.21 Volt atau 4.64% yang nilainya masih termasuk kategori standar daya listrik. Pengamatan alat dan beban dilaksanakan selama 3 bulan operasional alat. Biaya penggunaan listrik serta *carbon pricing* pada pemasangan PV sebagai *renewable energy* mampu menekan 13.496 %C0² dan hasil pengembalian investasi didapatkan ketika mencapai 19.6 tahun pemakaian

Saran yang dapat dilakukan untuk kelanjutan penelitian (future study) adalah dengan melakukan penambahan kapasitas baterai agar pompa air dapat bertahan lebih lama, Melakukan pengujian tambahan terkait data baterai seperti SOC, SOH, dan DOD untuk menambah kedalaman dan analisis penelitian, Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi, disarankan bahwa untuk penelitian-penelitian selanjutnya perlu ditambahkan metode analisis dalam pengolahan data terkait penelitian yang dilakukan. Melakukan perbandingan dengan hasil pengukuran solar PV tipe lain agar dapat mengetahui perbedaan, efisiensi, serta hasil pemakaian dalam kondisi cuaca yang beragam juga.

Referensi

1. D. A. Widodo, "Pengembangan Potensi Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Berwawasan Lingkungan Pada Area Atap Fotovoltaik Permukiman Provinsi Jawa Tengah," 2020.
2. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia, "Upaya Penurunan Gas Rumah Kaca Melalui Langkah Strategis Pada Sektor Kritis Perubahan Iklim," 2021. [Online]. Available: [Www.Ekon.Go.Id](http://www.ekon.go.id)
3. Media Publication Green Info, "Mengenal Carbon Pricing Dan Peranannya Dalam Mengatasi Perubahan Iklim," Nov. 19, 2021.
4. S. Ariyono, E. Wasito, S. Handoko, J. Teknik Elektro, And J. Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang, "Pemanfaatan Teknologi Konversi Energi Surya Untuk Hidroponik Pada Smp Alam Ar Ridho," 2018.
5. P. Honora, "Pemanfaatan Tenaga Surya Sebagai Penggerak Pompa Air Dc Pada Tanaman Hidroponik," 2018.
6. A. B. Pulungan, J. Sardi, And J. T. Elektro, "Pemasangan Sistem Hybrid Sebagai Penggerak Pompa Air," Vol. 5, P. 2019, [Online]. Available: [Http://Ejournal.Unp.Ac.Id/Index.Php/Jtev/Indexjtev](http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/indexjtev)
7. L. Mohammad, Suyanto, Muhammad Khamim Asy'ari, Asma'ul Husna, And Sarinah Pakpahan, "Pengembangan Sistem Hidroponik Otomatis-Modern Berbasis Panel Surya Dan Baterai," *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, Vol. 10, No. 1, Pp. 77-84, Feb. 2021, Doi: 10.22146/jnteti.V10i1.727.



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

