



JREEC

**JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY,
ELECTRONICS AND CONTROL**

homepage URL : <https://ejurnal.itats.ac.id/jreec>



Analisa Optimalisasi Pengoperasian Photovoltaic pada Beban Pompa Air dengan Daya 350

Jamaaluddin Jamaaluddin¹, Askhaarina Aulia Tsaalits², Izza Anshory³, Dandy BS⁴

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo^{1,2,3,4},

Magister Agrobisnis Universitas Brawijaya Malang.

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal JREEC – Volume 06
Nomer 01, April 2026

Halaman:
1 – 8
Tanggal Terbit :
30 April 2026

DOI:
[10.31284/j.JREEC.2026.v6i1.1.85](https://doi.org/10.31284/j.JREEC.2026.v6i1.1.85)

EMAIL

jamaaluddin@umsida.ac.id
Askhaarina1@gmail.com *)
izzaanshory@umsida.ac.id
dandy2986@gmail.com

*) Coresponding author

PENERBIT

Jurusan Teknik Elektro-
ITATS
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim
No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

*Jurnal JREEC by
Department of Elecreical
Engineering is licensed under
a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0
International License.*

ABSTRACT

This research discusses the design and optimisation of a photovoltaic (PV) system to operate a 350 W water pump for 12 hours per day, from 08:00 to 20:00. The system is equipped with a Valve Regulated Lead Acid (VRLA) battery, solar charge controller (SCC), and pure sine wave inverter. This study determines the size of the PV panel to be approximately 1050 Wp and the battery capacity to be approximately 100 Ah at a voltage of 48 V, based on daily energy calculations and system efficiency. The methodology includes literature review analysis, mathematical calculations, and simulations. The results show that this system can operate optimally considering the average solar irradiation in Indonesia. The conclusion emphasises the importance of proper sizing for efficiency and sustainability.

Key Words: *Photovoltaic; Water Pump; VRLA Battery; Solar Charge Controller; Pure Sine Wave Inverter.*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas desain dan optimasi sistem photovoltaic (PV) untuk mengoperasikan pompa air dengan daya 350 W selama 12 jam per hari, mulai pukul 08.00 hingga 20.00. Sistem dilengkapi dengan baterai Valve Regulated Lead Acid (VRLA), solar charge controller (SCC), dan inverter pure sine wave. Penelitian ini menentukan ukuran panel PV sekitar 1050 Wp dan kapasitas baterai sekitar 100 Ah pada tegangan 48 V, berdasarkan perhitungan energi harian dan efisiensi sistem. Metodologi mencakup analisis tinjauan pustaka, perhitungan matematis, dan simulasi. Hasil menunjukkan bahwa sistem ini dapat beroperasi secara optimal dengan mempertimbangkan irradiansi matahari rata-rata di Indonesia. Kesimpulan menekankan pentingnya sizing yang tepat untuk efisiensi dan keberlanjutan.

Kata kunci: *Photovoltaic; Pompa Air; Baterai VRLA; Solar Charge Controller; Inverter Pure Sine Wave.*

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan semakin menjadi fokus utama di tengah krisis energi fosil dan perubahan iklim global[1]. Di Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan potensi sinar matahari yang tinggi,

pemanfaatan energi photovoltaic (PV) menjadi solusi yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi, termasuk pengoperasian pompa air. Pompa air dengan daya 350 W sering digunakan untuk irigasi pertanian, pasokan air rumah tangga, atau keperluan industri kecil[2]. Namun, pengoperasian pompa ini selama 12 jam (dari pukul 08.00 hingga 20.00) memerlukan sistem PV yang optimal, karena periode tersebut mencakup waktu siang dan malam, di mana irradiasi matahari tidak selalu tersedia.

Indonesia memiliki potensi PV output tahunan hingga 3.6-6 kWh/m²/hari, yang setara dengan 4-5 jam peak sun hours (PSH) rata-rata[3][4]. Hal ini memungkinkan desain sistem off-grid yang andal, dilengkapi baterai untuk penyimpanan energi. Penggunaan baterai VRLA dipilih karena ketahanannya terhadap siklus pengisian-pengosongan, sementara solar charge controller (SCC) jenis MPPT memastikan efisiensi pengisian maksimal. Inverter pure sine wave diperlukan untuk mengonversi DC ke AC dengan bentuk gelombang murni, sehingga aman untuk motor pompa air yang sensitif terhadap distorsi gelombang[5][6].

Latar belakang ini didasari oleh kebutuhan akan sistem energi mandiri di daerah pedesaan Indonesia, di mana akses listrik PLN terbatas. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa sistem PV untuk pompa air dapat mengurangi biaya operasional hingga 50% dibandingkan generator diesel, sambil mengurangi emisi karbon[7][8][9]. Namun, tantangan utama adalah sizing yang tepat untuk menghindari overdesign atau underdesign, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

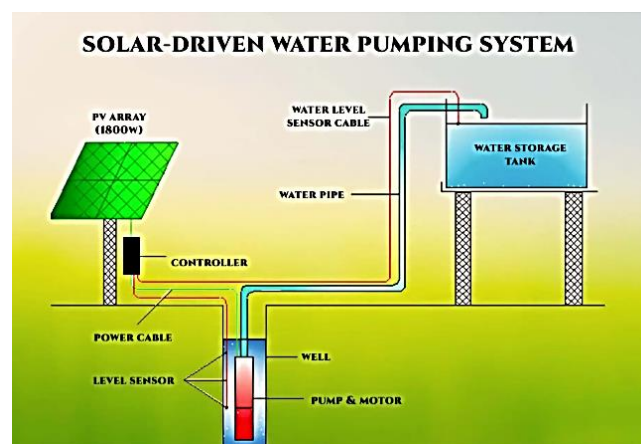
Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Berapa ukuran panel PV (dalam Watt Peak, Wp) yang diperlukan untuk mendukung beban pompa air 350 W selama 12 jam? Berapa kapasitas baterai VRLA yang optimal untuk memastikan operasi kontinu, terutama pada periode tanpa sinar matahari? Bagaimana pengaruh efisiensi SCC dan inverter pure sine wave terhadap performa keseluruhan sistem?

Tujuan penelitian ini adalah: Menentukan ukuran optimal panel PV dan kapasitas baterai VRLA untuk sistem tersebut. Menganalisis metodologi desain sistem PV dengan persamaan matematis dan simulasi. Memberikan rekomendasi untuk implementasi sistem yang efisien dan berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini mencakup konsep dasar sistem PV, komponen utama, dan studi terkait pengoperasian pompa air berbasis solar[10].

2.1 Sistem Photovoltaic untuk Pompa Air



Gambar 1. Solar Driven Water pumping Sistem

Sistem PV terdiri dari panel surya, SCC, baterai, inverter, dan beban[11][12]. Untuk pompa air DC atau AC, desain harus mempertimbangkan fluktuasi irradiasi. Menurut Leonics, sizing inverter

minimal 25% lebih besar dari beban untuk menangani surge[13][14][15]. Studi dari Electrical Technology menjelaskan bahwa untuk pompa DC, PV langsung terhubung, tetapi untuk AC seperti kasus ini, inverter diperlukan. Gambaran sistem dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 1.

2.2 Baterai VRLA dalam Sistem Solar

Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid) adalah tipe sealed lead-acid yang tidak memerlukan perawatan air. Efisiensinya sekitar 80-90%, dengan depth of discharge (DoD) maksimal 50% untuk umur panjang. Sizing baterai melibatkan perhitungan energi harian dibagi tegangan dan DoD[16][17]. Untuk sistem PV, baterai menyimpan kelebihan energi siang untuk digunakan malam hari.

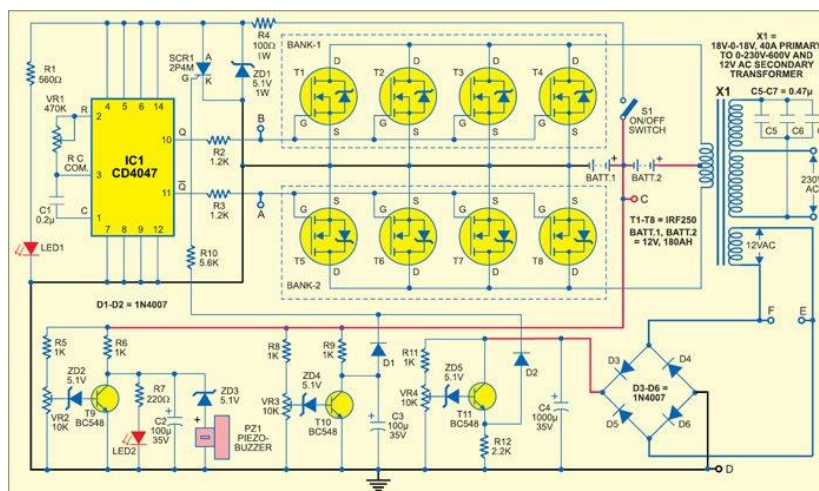
Gambar baterai VRLA tipikal untuk sistem solar ditunjukkan sebagaimana gambar 2.



Gambar 2, Baterey VRLA dengan Kapasitas : 48V 1000Ah 48 kWh Sol-Ark Carbon Nanotube VRLA/AGM Battery Energy ...

2.3 Solar Charge Controller dan Inverter Pure Sine Wave

SCC mengatur pengisian baterai dari PV, dengan tipe MPPT lebih efisien (hingga 98%) dibanding PWM. Inverter pure sine wave menghasilkan gelombang sinus murni, cocok untuk motor pompa yang memerlukan kualitas daya tinggi untuk menghindari overheating[18]. Diagram inverter pure sine wave sebagaimana pada gambar 3.



Gambar 3. Design 1kW Sine Wave Inverter Circuit

2.4 Studi Terkait

Studi dari ScienceDirect menunjukkan bahwa efisiensi subsistem PV untuk pompa air berkisar 40-50%, dipengaruhi irradiasi dan suhu. Penelitian lain dari PV Magazine menekankan pentingnya data hourly flowrate dan autonomy untuk sizing optimal. Di Indonesia, dengan PSH 4-5 jam, desain harus mempertimbangkan variasi musiman.

3. Metodologi

Metodologi penelitian ini melibatkan perhitungan teoritis, simulasi menggunakan Python, dan asumsi berdasarkan data lokasi Indonesia.

3.1 Asumsi Dasar

- Daya pompa: 350 W (AC).
- Jam operasi: 12 jam/hari (08.00-20.00).
- PSH rata-rata: 5 jam (berdasarkan data Indonesia).
- Efisiensi sistem keseluruhan: 80% (termasuk inverter 95%, baterai 90%, SCC 98%).
- Tegangan sistem: 48 V.
- DoD baterai VRLA: 50%.
- Jam matahari efektif: 6 jam/hari (puncak irradiasi).

3.2 Perhitungan Energi Harian

Energi harian yang dibutuhkan (E_{daily}) dihiung sebagai :

$$E_{daily} = P_{pump} \times t_{operation}$$

Dimana :

$$P_{pump} = 350 \text{ W}$$

$$t_{operation} = 12 \text{ jam}$$

$$E_{daily} = 350 \times 12 = 4200 \text{ Wh}$$

Dengan efisiensi sistem = 0.8

$$E_{required} = E_{daily} / \eta_{sis} = 4200 / 0.8 = 5250 \text{ Wh}$$

3.3 Sizing Panel PV

Ukuran PV (P_{PV}) dihitung sebagai :

$$PPV = E_{required} / PSH$$

$$PPV = 5250 / 5 = 1050 \text{ Wp}$$

Ini berarti diperlukan panel PV total 1050 Wp, misalnya 3 panel 350 Wp.

3.4 Sizing Baterai VRLA

Energi untuk periode non-matahari (asumsi 6 jam)

$$C_{bat} = E_{bat} / (V_{test} \times DoD \times \eta_{bat})$$

Dimana $V_{bat} = 48 \text{ V}$, $DoD = 0.5$, $\eta_{bat} = 0.9$

$$C_{bat} = 2100 / (48 \times 0.5 \times 0.9) = 97 \text{ Ah (dibulatkan ke 100 Ah)}$$

3.5 Sizing SCC dan Inverter

Arus SCC:

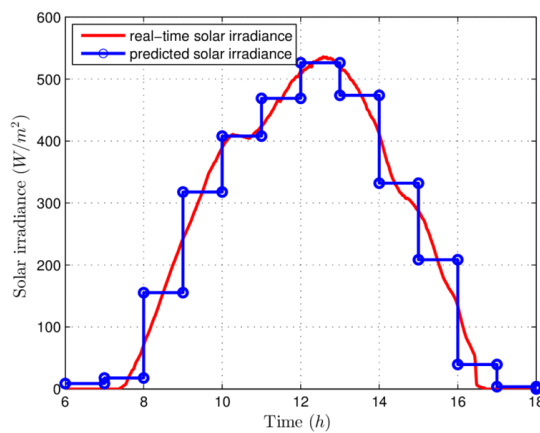
$$I_{SCC} = P_{PV} / V_{bat} \times 1.25 = 1050 / 48 \times 1.25 = 27 \text{ A} = \text{pilih } 30 \text{ A MPPT.}$$

Ukuran inverter: $1.2 \times 350 = 420 \text{ W}$ (pilih 500 W pure sine wave untuk surge).

3.6 Simulasi

Menggunakan Python dengan NumPy dan Matplotlib untuk memodelkan irradiansi harian. Model sederhana: irradiansi = $1000 \times \sin(2\pi(t-6)/24) \text{ W/m}^2$.

Grafik irradiansi harian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 .



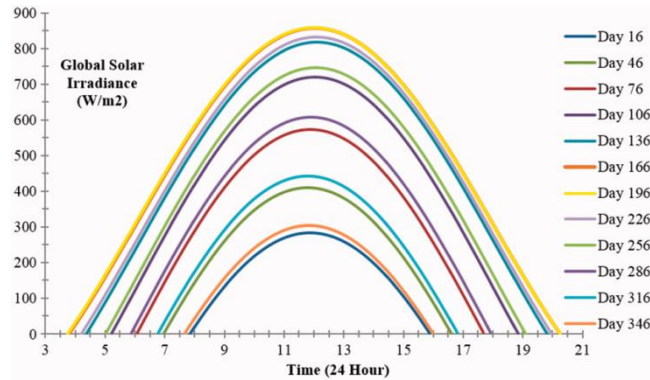
Gambar 4. Irradiansi Matahari

Sumbu X (horizontal): Waktu dalam jam (Time (h)), mulai dari pukul 6 pagi hingga pukul 18 sore. Ini mencakup periode siang hari ketika matahari terbit hingga terbenam. Sumbu Y (vertikal): Intensitas irradiansi surya dalam satuan W/m^2 (Watt per meter persegi). Nilai berkisar dari 0 hingga sekitar 600 W/m^2 . Pola umum: Irradiansi surya dimulai rendah di pagi hari (dekat 0 W/m^2 sekitar pukul 6-7), naik secara bertahap mencapai puncak sekitar pukul 12-13 (sekitar $500\text{-}600 \text{ W/m}^2$), kemudian turun kembali mendekati 0 di sore hari. Pola ini mirip lonceng (bell curve) yang khas untuk irradiansi surya harian pada hari cerah, dipengaruhi oleh posisi matahari di langit.

Garis merah (real-time solar irradiance): Mewakili data irradiansi surya aktual yang diukur secara real-time (misalnya dari sensor, satelit, atau stasiun pengukuran). Garis ini lebih halus dan sering kali lebih rendah atau menyimpang karena faktor cuaca nyata seperti awan yang lewat, yang menyebabkan penurunan tajam pada beberapa titik (misalnya di sore hari, irradiansi aktual turun lebih cepat). Garis biru (predicted solar irradiance): Mewakili prediksi irradiansi surya, biasanya berdasarkan model (seperti model cuaca, satelit, atau algoritma machine learning). Garis ini tampak lebih "teratur" dengan segmen lurus dan titik-titik diskrit, menunjukkan prediksi pada interval waktu tertentu. Prediksi ini sering mengasumsikan kondisi cuaca ideal atau rata-rata (clear sky), sehingga cenderung lebih tinggi dan stabil di beberapa bagian.

Di pagi hari (pukul 7-10): Kedua garis hampir berimpit, prediksi cukup akurat karena irradiansi masih rendah dan cuaca relatif stabil. Di siang hari (pukul 10-14): Prediksi (biru) sering lebih tinggi daripada aktual (merah), mencapai puncak lebih dulu. Ini menunjukkan model prediksi mungkin memperkirakan hari cerah tanpa gangguan awan. Di sore hari (pukul 14-18): Ada perbedaan signifikan—irradiansi aktual (merah) turun lebih drastis dan cepat mendekati 0, sementara prediksi

(biru) masih relatif tinggi lebih lama. Ini mengindikasikan adanya awan tebal atau perubahan cuaca nyata di sore hari yang tidak terdeteksi atau diprediksi dengan baik oleh model.



Gambar 5. Intensitas Radiasi Matahari Global Pada Berbagai Nomor Hari Dalam Setahun

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Perhitungan

Berdasarkan metodologi, hasil sizing adalah:

- Panel PV : 1050 Wp.
- Baterai VRLA : 100 Ah @ 48 V.
- SCC : 30 A MPPT.
- Inverter : 500 W pure sine wave.

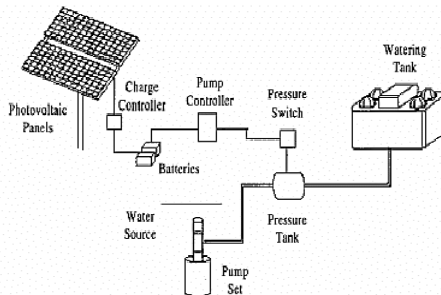
Maka akan didapatkan hasil analisa sebagaimana tabel 1

Tabel 1: Komponen Sistem

Komponen	Spesifikasi	Alasan
Panel PV	1050 Wp	Untuk memenuhi 5250 Wh/hari
Baterai VRLA	100 Ah, 48 V	Penyimpanan untuk 6 jam malam
SCC	30 A MPPT	Pengisian efisien dari PV
Inverter	500 W PSW	Konversi DC-AC dengan surge

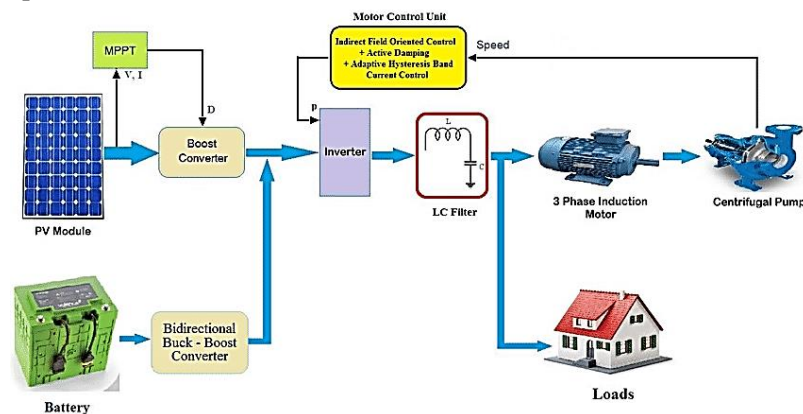
4.2 Pembahasan Efisiensi

Efisiensi sistem mencapai 80% dengan MPPT, lebih tinggi dari PWM (70%). Pada irradiansi rendah, baterai memastikan operasi stabil. Simulasi menunjukkan bahwa pada PSH 4 jam, PV perlu ditingkatkan 20% untuk keamanan. Diagram sistem baterai-coupled dapat dilihat sebagaimana Gambar 5.



Gambar 5. Battery-Coupled Solar Water Pumping System

Diagram penyimpanan baterai.



Gambar 6. Battery Storage System For The PV Water Pumping System.

4.3 Analisis Sensitivitas

Jika PSH turun ke 4 jam, PV menjadi 1312 Wp. Suhu tinggi mengurangi efisiensi PV 0.5%/°C di atas 25°C. Pembahasan ini menunjukkan bahwa lokasi spesifik mempengaruhi desain.

4.4 Implikasi Praktis

Sistem ini dapat diterapkan di pertanian Indonesia, dengan biaya awal sekitar Rp 50-70 juta, ROI dalam 5-7 tahun. Tantangan: Debu pada panel mengurangi output 10-20%, sehingga perawatan rutin diperlukan.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk mengoperasikan pompa air 350 W selama 12 jam, diperlukan panel PV 1050 Wp dan baterai VRLA 100 Ah @ 48 V, dengan SCC 30 A dan inverter 500 W pure sine wave. Desain ini optimal untuk kondisi Indonesia dengan PSH 5 jam, memastikan efisiensi dan keandalan. Rekomendasi: Lakukan monitoring real-time dan pertimbangkan ekspansi untuk autonomy lebih lama. Penelitian lanjutan dapat mencakup integrasi IoT untuk optimasi.

6. Daftar Pustaka

- [1] J. Jamaaluddin *et al.*, "Heat Transfer Management of Solar Power Plant for Dryer," *Int. J. Eng. Appl.*, vol. 12, no. 3, pp. 195–203, 2024, doi: 10.15866/irea.v12i3.23959.
- [2] Jamaaluddin, I. Robandi, I. Anshory, Mahfudz, and R. Rahim, "Application of interval type-2 fuzzy inference system and big bang big crunch algorithm in short term load forecasting new year holiday," *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, 2020, doi: 10.5373/JARDCS/V12I2/S202010024.
- [3] A. A. Tsalits and M. Ilham, "SISTEM PHOTOVOLTAIC ON-GRID DENGAN CHANGE OVER SWITCH OTOMATIS UNTUK POMPA AIR DI SD," vol. 8, pp. 3210–3219, 2025.
- [4] J. Assadeg, A. H. A. Alwaeli, K. Sopian, H. Moria, A. S. A. Hamid, and A. Fudholi, "Solar assisted heat pump system for high quality drying applications: A critical review," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 303–316, 2020, doi: 10.20508/ijrer.v10i1.10403.g7876.
- [5] J. Jamaaluddin, I. Y. Akbar, D. Hadidjaja, and M. Ahfas, "Forecasting Joule Thief Efficiency Using Fuzzy Logic Method," vol. 6, no. 1, pp. 36–50, 2025, doi: 10.46962/forteijeeri.v6i1.29.

-
- [6] I. Anshory and A. Wisaksono, "Implementation of Inverter and Modbus RTU RS-485 Communication in Controlling Induction Motor Speed," pp. 85–98, 2025.
- [7] M. R. Pratama, Jamaaluddin, I. Sulistiyowati, and I. Anshory, "Electric Bicycle Battery Charging System Design Using Solar Panel," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 70–80, 2024.
- [8] S. Hernada, O.E., Sumarno, Jamaaluddin, J., "Enhancing design and print services: A web-based ordering system for indesign digital printing storeNo Title," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1, no. 1, 2024, doi: 10.1063/5.0219709.
- [9] S. Mohamadi, M. H. Yazdi, E. Solomin, A. Fudholi, K. Sopian, and P. L. Chong, "Heat transfer and entropy generation analysis of internal flow of nanorefrigerant with slip condition at wall," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 22, 2021, doi: 10.1016/j.tsep.2020.100829.
- [10] A. Majid, A., Jamaaluddin, Wiguna, A., Setiawan, H., Fariyah, "Development of an Automatic Water Flow Sensor System Using ESP32 for Efficient Water ControlNo Title," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1242, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1242/1/012016.
- [11] J. Jamaaluddin, I. Anshory, A. Akbar, Khoiri, Mardiyono, and A. Fudholi, "Analysis of the Use of Digital Ultrasonic Based on Fuzzy Inference System to Get More Precise Water Discharge Measurement Results," *Int. Rev. Model. Simulations*, vol. 16, no. 6, pp. 396–404, 2023, doi: 10.15866/iremos.v16i6.24023.
- [12] E. Getahun, M. A. Delele, N. Gabbiye, and S. W. Fanta, "Case Studies in Thermal Engineering Studying the drying characteristics and quality attributes of chili pepper at different maturity stages : Experimental and mechanistic model," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, no. April, p. 101052, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101052.
- [13] R. Rani *et al.*, "The Impact of Drying and Salting on the Fish Resilience and Quality," *Int. J. Nat. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–36, 2022, doi: 10.23887/ijnse.v6i1.41473.
- [14] H. H. AL-RUBAI, K. H. A. HASSAN, and M. Z. ESKANDDER, "Drying and salting fish using different methods and their effect on the sensory, chemical and microbial indices," *Multidiscip. Rev.*, vol. 3, no. 1, p. e2020003, 2020, doi: 10.29327/multi.2020003.
- [15] I. Adler, J. Kotta, R. Tuvikene, and K. Kaldre, "Optimizing the Processing of Shellfish (*Mytilus edulis* and *M. trossulus* Hybrid) Biomass Cultivated in the Low Salinity Region of the Baltic Sea for the Extraction of Meat and Proteins," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 10, 2022, doi: 10.3390/app12105163.
- [16] J. Jamaaluddin, I. Robandi, I. Anshory, and A. Fudholi, "Very Short-Term Load Forecasting Of Peak Load Time Using Fuzzy Type-2 And Big Bang Big Crunch (Bbbc) Algorithm," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 15, no. 7, pp. 854–861, 2020.
- [17] A. A. Tsalits *et al.*, "Rancang Bangun Pengaman Pintu Rumah , Beserta Otomasi Lampu Dan Kipas Berbasis Arduino Android," pp. 719–730.
- [18] V. N. Tahun *et al.*, "Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan," vol. 13, no. 2, pp. 173–180, 2025.