

DISERTASI

MODEL *DECISION SUPPORT SYSTEM* UNTUK *FAULT DETECTION* PADA OPERASIONAL SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DI WILAYAH DESA TERPENCIL

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Doktor Dalam Bidang Ilmu Teknik Informatika**



**Feby Ardianto
03013682126020**

**PROGRAM DOKTOR ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

MODEL *DECISION SUPPORT SYSTEM* UNTUK *FAULT DETECTION* PADA OPERASIONAL SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DI WILAYAH DESA TERPENCIL

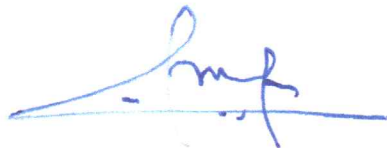
DISERTASI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Doktor Dalam Bidang Ilmu Teknik Informatika

Oleh
Feby Ardianto
03013682126020

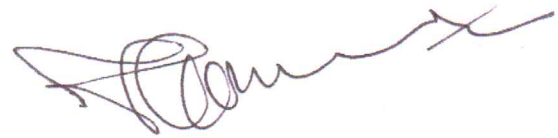
Palembang, 09 Mei 2025

Promotor



Prof. Dr. Ermatita, M. Kom
NIP. 196709132006041001

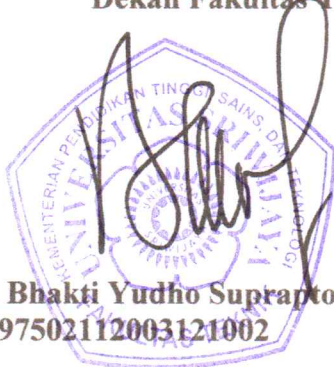
Ko-Promotor



Dr. Ir. Armin Sofijan, M.T.
NIP. 19641103199512001

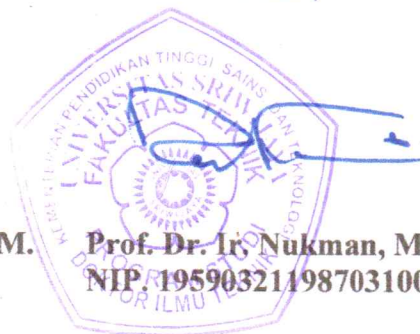
Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502112003121002

Koordinator Program Studi,



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi ini dengan judul “**Model Decision Support System Untuk Fault Detection Pada Operasional Sistem Photovoltaic Berbasis Internet of Things di Wilayah Desa Terpencil**” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya pada tanggal 05 Mei 2025.

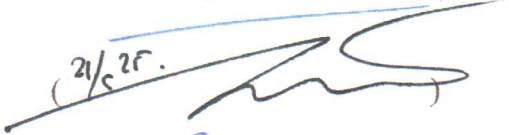
Palembang, Mei 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Disertasi

Ketua:

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. ()
NIP. 197502112003121002

Anggota:

1. **Dr. Fathoni, S.T., M. MSI.** ()
NIP. 197210182008121001
2. **Dr. Rossi Passarella, S.T., M.Eng.** ()
NIP. 197806112010121004
3. **Dr. Eng. Tresna Dewi, ST., M. Eng.** ()
NIP. 197711252000032001

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik,


Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502112003121002

Koordinator Program Studi,


Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Feby Ardianto
NIM : 03013682126020
Program Studi : Doktor Ilmu Teknik
BKU : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi saya dengan judul “*Model Decision Support System Untuk Fault Detection Pada Operasional Sistem Photovoltaic Berbasis Internet of Things Di Wilayah Desa Terpencil*”, bebas dari fabrikasi, falsifikasi, plagiat, kepengarangan yang tidak sah dan konflik kepentingan dan pengajuan jamak, seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021.

Bilamana ditemukan ketidak sesuaian dengan hal-hal di atas, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Palembang, 9 Mei 2025
Yang menyatakan



Feby Ardianto
NIM.03013622025008

SURAT KETERANGAN PENGECEKAN SIMILARITY

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Feby Ardianto
NIM : 03013622126020
Prodi : Doktoral Ilmu Teknik

Menyatakan bahwa benar hasil pengecekan similarity desertasi yang berjudul “*Model Decision Support System Untuk Fault Detection Pada Operasional Sistem Photovoltaic Berbasis Internet of Things Di Wilayah Desa Terpencil*” adalah dibawah 20%.

Dicek oleh: 1. Dosen Pembimbing
2. Dichek oleh operator UPT Perpustakaan Universitas Sriwijaya melalui laman
website: <https://digilib.unsri.ac.id/>

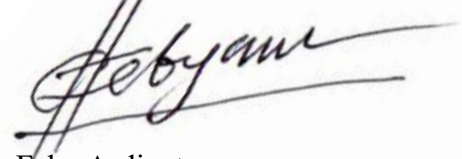
Demikian surat ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat dipertanggung jawabkan.

Menyetujui,
Promotor



Prof. Dr. Ermatita, M.Kom.
NIP. 196709132006042001

Palembang, 9 Mei 2025
Hormat saya,



Feby Ardianto
NIM. 03013622126020

ABSTRAK

MODEL *DECISION SUPPORT SYSTEM* UNTUK *FAULT DETECTION* PADA OPERASIONAL SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS INTERNET OF THINGS DI WILAYAH DESA TERPENCIL

Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dan deteksi kesalahan (*fault detection*) pada sistem fotovoltaik (PV) berbasis Internet of Things (IoT) yang diterapkan di wilayah terpencil, tepatnya di Desa Pandan Arang, Kecamatan Kandis, Kabupaten Ogan Ilir. Sistem PV ini dilengkapi dengan berbagai sensor seperti DHT-22, PZEM-017, BH1750, dan DS18B20 yang digunakan untuk memantau parameter lingkungan dan sistem PV yang penting, termasuk suhu, kelembapan, kecepatan angin, intensitas cahaya, dan beban listrik. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor tersebut kemudian dikirimkan melalui koneksi nirkabel jaringan seluler ke server *cloud* Adafruit untuk pemantauan secara real-time, serta disimpan dalam data *logger* untuk cadangan dan analisis lebih lanjut. Berdasarkan input data variabel lingkungan dan sistem PV diproses menggunakan model prediksi *Multiple Linear Regression* (MLR) menghasilkan output perkiraan daya keluaran panel 1 (P1) dan panel 2 (P2). Hasil prediksi MLR kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan *Fuzzy Logic* (FL) untuk menangani ketidakpastian yang ditimbulkan oleh kondisi lingkungan yang berubah-ubah, serta *decision support system* (DSS) dengan model MLR dan FL memberikan rekomendasi pengisian baterai dan mendeteksi potensi kesalahan sistem, seperti suhu panel yang terlalu tinggi atau rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem IoT, MLR, dan FL dapat mendeteksi *fault detection* pada operasional sistem PV di wilayah terpencil, berhasil memprediksi kinerja sistem PV dan mendeteksi kesalahan berdasarkan data yang terkumpul dari berbagai sensor lingkungan dan sistem PV menggunakan data logger berbasis IoT secara kontinu meskipun dalam kondisi infrastruktur yang terbatas.

Kata Kunci : *PV system, IoT, data logger, Multiple Linear Regression, Fuzzy Logic*

ABSTRACT

MODEL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR FAULT DETECTION IN PHOTOVOLTAIC SYSTEM OPERATION BASED ON INTERNET OF THINGS IN REMOTE VILLAGE AREAS

This research developed a monitoring and fault detection system for photovoltaic (PV) systems based on the Internet of Things (IoT), implemented in a remote area, specifically in Pandan Arang Village, Kandis District, Ogan Ilir Regency. The PV system is equipped with various sensors such as DHT-22, PZEM-017, BH1750, and DS18B20, which are used to monitor important environmental and PV system parameters, including temperature, humidity, wind speed, light intensity, and electrical load. The data collected by these sensors is transmitted wirelessly via a cellular network to the Adafruit cloud server for real-time monitoring, and also stored in a data logger for backup and further analysis. Based on input data of environmental and PV system variables, a Multiple Linear Regression (MLR) predictive model is used to estimate the output power of panel 1 (P1) and panel 2 (P2). The MLR prediction results are further analyzed using Fuzzy Logic (FL) to handle uncertainties caused by fluctuating environmental conditions. Additionally, a Decision Support System (DSS) incorporating the MLR and FL models provides battery charging recommendations and detects potential system faults, such as excessively high or low panel temperatures. The research results show that the integration of IoT, MLR, and FL systems can effectively detect faults in the operation of PV systems in remote areas, successfully predict PV system performance, and identify faults based on data collected from various environmental and PV system sensors using an IoT-based data logger continuously, even under limited infrastructure conditions.

Keywords : PV system, IoT, data logger, Multiple Linear Regression, Fuzzy Logic

KATA PENGANTAR

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan deteksi kesalahan (fault detection) pada sistem fotovoltaik (PV) yang berbasis Internet of Things (IoT), yang diterapkan di wilayah terpencil, khususnya di Desa Pandan Arang, Kecamatan Kandis, Kabupaten Ogan Ilir. Sistem fotovoltaik yang digunakan di daerah ini dilengkapi dengan berbagai sensor untuk memantau berbagai parameter penting, baik lingkungan maupun sistem PV itu sendiri, seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, intensitas cahaya, dan beban listrik. Sistem ini memanfaatkan teknologi IoT untuk memantau kinerja sistem secara real-time dan menyimpan data dalam data logger untuk analisis lebih lanjut.

Dalam penelitian ini, digunakan model Multiple Linear Regression (MLR) untuk memprediksi daya keluaran panel surya berdasarkan data lingkungan yang diperoleh. Hasil prediksi daya ini kemudian dianalisis dengan menggunakan Fuzzy Logic (FL) untuk menangani ketidakpastian yang disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan, serta memberikan rekomendasi mengenai pengisian baterai dan mendeteksi potensi kesalahan pada sistem. Dengan mengintegrasikan sistem IoT, MLR, dan FL, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem PV dapat dioptimalkan dalam deteksi kesalahan dan pemantauan kinerja secara otomatis, meskipun di daerah yang memiliki keterbatasan infrastruktur.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem energi terbarukan berbasis fotovoltaik yang efisien dan berkelanjutan di wilayah terpencil, serta memberikan rekomendasi model sistem PV untuk daerah terpencil.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	7
1.3. Tujuan Penelitian.....	7
1.4. Manfaat Penelitian.....	8
1.5. Batasan Penelitian.....	8
1.6. Sistematika Penulisan	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Sistem PV	11
2.2. Decision Support System.....	14
2.3. Internet of Things	17
2.3.1. Baterai.....	18
2.3.2. Inverter.....	18

2.3.3. Solar Charge Controller.....	18
2.3.1. Sensor Tegangan.....	19
2.3.2. Radiasi Matahari.....	20
2.3.1. Sensor Arus.....	20
2.3.2. Suhu.....	21
2.4. Photovoltaic Fault Detection	21
2.5. Multiple Linear Regression	22
2.6. Fuzzy Logic	23
2.7. Penelitian Terkait.....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1. Tahapan Penelitian	37
3.2. Data Penelitian.....	39
3.3. Rancangan Sistem PV	41
BAB 4 ARSITEKTUR SISTEM <i>PHOTOVOLTAIC</i>	48
4.1. Arsitektur Sistem PV	48
4.2. Arsitektur IoT	49
4.3. Sensor Sistem PV	53
4.3.1. Data PV.....	54
4.3.2. Data Charge Baterai.....	55
4.3.3. Data Discharge Baterai.....	56
4.3.4. Data Beban.....	57
4.4. Sensor Lingkungan.....	58
4.4.1. Data Kecepatan Angin.....	58
4.4.2. Data Intensitas Cahaya.....	59
4.4.3. Data Curah Hujan.....	59
4.4.4. Data Suhu Panel.....	60
4.4.5. Data Suhu Udara.....	61
BAB 5 MODEL <i>DECISION SUPPORT SYSTEM</i>	63
5.1. Arsitektur DSS.....	63
5.2. Pemodelan Data.....	66
5.3. Multiple Linear Regression	68
5.4. Fuzzy Logic	70
5.5. Himpunan Fuzzy.....	71
5.5.1. Himpunan Fuzzy.....	71
5.5.2. Decision Rules.....	72
5.5.3. Inferensi.....	75

5.5.4. Defuzzifikasi.....	76
5.6. Pengujian DSS.....	77
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	79
6.1. Kesimpulan.....	79
6.2. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	88
Lampiran 1 - Publikasi Jurnal IJACSA (Q3)	102
Lampiran 2 - Publikasi Jurnal BEEI (Q3)	112
Lampiran 3 - Publikasi Konferensi ICIMCIS (Scopus)	123
Lampiran 4 - Buku ISSN.....	131
Lampiran 5 – Log Pengumpulan Data.....	133
Lampiran 6 – Dataset Penelitian.....	147
Lampiran 7 – Kode Pemrograman Python	156
Lampiran 8 – Kode Pemrograman Arduino	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Sistem PV	12
Gambar 2.2 Modul PV.....	13
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian.....	37
Gambar 3.2 Rancangan Komponen Sistem PV	42
Gambar 3.3 Desain IoT pada Sistem PV	44
Gambar 3.4 Parameter Input IoT pada Sistem PV	45
Gambar 3.5 Blok Diagram DSS Untuk Sistem PV	46
Gambar 3.6 Integrasi DSS dan Sistem PV untuk <i>Fault Detection</i>	47
Gambar 4.1 Implementasi Sistem PV.....	49
Gambar 4.2 Implementasi IoT pada Sistem PV	50
Gambar 4.3 Monitoring IoT dengan Adafruit.com	51
Gambar 4.4 Monitoring Data PV	55
Gambar 4.5 Monitoring Data Charge Baterai	56
Gambar 4.6 Monitoring Data Discharge Baterai.....	57
Gambar 4.7 Monitoring Data Beban	57
Gambar 4.8 Monitoring Data Kecepatan Angin.....	58
Gambar 4.9 Data Monitoring Intensitas Cahaya	59
Gambar 4.10 Data Monitoring Intensitas Cahaya	60
Gambar 4.11 Data Monitoring Suhu Panel	61
Gambar 4.12 Data Monitoring Suhu Udara.....	62
Gambar 5.1 Integrasi Sistem PV dan DSS	64
Gambar 5.2 Model DSS Berbasis FL dan MLP	65
Gambar 5.3 Pemodelan Data DSS.....	67
Gambar 5.4 Perbandingan Data Aktual dan Prediksi Model MLR.....	69
Gambar 5.5 Aturan Fuzzy Untuk Prediksi P1 dan P2	70
Gambar 5.6 Klasifikasi Fuzzy untuk P1 dan P2	70
Gambar 5.7 Pseudocode Aturan Output Fuzzy	74
Gambar 5.8 Inferensi Fuzzy	75
Gambar 5.9 Inferensi Fuzzy	77
Gambar 5.10 Hasil Prediksi (MLR) dan Fuzzy Logic (FL)	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian terkait DSS untuk <i>fault detection</i> pada sistem PV.....	24
Tabel 3.1 Suhu, Kelembaban, Kecepatan Angin.....	40
Tabel 3.2 Curah hujan dan penyinaran matahari.....	41
Tabel 3.1 Spesifikasi Komponen Sistem PV.....	43
Tabel 4.1 Spesifikasi Komponen Parameter IoT.....	52

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem *photovoltaic* (PV) adalah sistem pembangkit listrik yang mengubah sumber energi berupa radiasi matahari menjadi listrik melalui sel surya atau sel fotovoltaiik. Semakin tinggi radiasi matahari yang mengenai sel fotovoltaiik maka semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan. Umumnya sistem PV dapat dibagi berdasarkan mode pengoperasian, posisi pemasangan, desain sistem. Mode pengoperasian terbagi menjadi 2 yaitu *on grid* (terhubung ke jaringan listrik) dan *off grid*. Posisi pemasangan sistem PV dibagi menjadi 3 yaitu *ground mouted* (dipasang diatas permukaan tanah), *rooftop* (dipasang diatas atau terintegrasi dengan atap) dan terapung[1-3].

Pembangkit listrik tenaga surya beserta komponen sistem digunakan sebagai objek dalam *decision support system* (DSS) dalam performasi dan keandalan sistem. Input data menggunakan sensor arus, tegangan dan suhu yang diletakan pada komponen sistem PV. Sensor-sensor yang terpasangan terkoneksi dengan *internet of things* (IoT) sehingga menghasilkan luaran dengan multivariable. Definisi DSS adalah kumpulan model yang didasarkan pada prosedur-prosedur untuk memproses data dan penilaian guna membantu dalam pengambilan keputusan dan untuk mencapai tujuan [4-6].

Sistem PV terdiri dari modul *photovoltaic*, baterai, *charger controller* dan *inverter*. Model *photovoltaic* alat pengubah energi panas matahari menjadi energi listrik, terdapat 7 jenis *photovoltaic* yang sering digunakan yaitu, *Monocrystalline silicon* (mono-Si), *Multicrystalline Silicon* (multi-Si), *Ribbon silicon* (*ribbon-Si*), *Cadmium Telluride* (CdTe), *Copper Indium Gallium Diselenide* (CIGS), *Amorphous thin-film silicon* (a-Si, TF-Si), *Gallium Arsenide* (GaAs). Baterai sebuah sumber energi yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan seperti perangkat elektronik. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (katoda) dan terminal negatif (anoda) serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. *Charger controller* peralatan

elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban, *solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan tegangan dari PV. Inverter menyuplai arus DC ke AC dan juga bekerja untuk merubah tegangan DC menjadi arus AC. Inverter rangkaian modulasi lebar pulsa *pulse width modulation* (PWM) dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC [7-9].

Sistem PV beserta komponen sistem digunakan sebagai objek dalam DSS mengelola input data dari sensor-sensor yang disimpan dalam database sistem dengan bantuan perangkat lunak komputer. Sensor yang digunakan seperti, sensor tegangan, sensor arus, sensor suhu. Sensor tegangan memakai transformator tegangan selaku penurun tegangan dari 220 Volt ke 5 Volt AC disearahkan menggunakan jembatan diode untuk mengganti tegangan AC ke tegangan DC, difilter memakai kapasitor dan masuk kerangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan, tegangan yang dihasilkan tidak lebih dari 5 Volt DC sehingga menjadi inputan ke mikrokontroller. Sensor arus menggunakan ACS712 merupakan sensor arus lebih yang perangkatnya hingga 5 kali syarat arus lebih. Terminal jalur konduktif secara elektrik diisolasi dari kabel sinyal pin5 sampai pin8. Hal ini memungkinkan ACS712 digunakan tanpa memerlukan isolasi listrik. Sensor suhu menggunakan sensor BH1750 Sensor cahaya digital BH1750 ini dapat mengukur tanpa harus melakukan perhitungan. Keluaran data dari sensor ini langsung dalam satuan lux atau Lx [10-12].

Penggunaan sistem pemantauan dalam instalasi PV dapat dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja dengan cara mendapatkan data indikator tentang status operasi. Selain itu, sistem dan alat pemantauan ini diperlukan dalam pengumpulan data analisis, perbandingan, identifikasi, deteksi dan identifikasi kejadian kesalahan (*fault*) yang terjadi pada sistem PV. Sistem pemantauan PV bekerja untuk memperoleh data tentang kondisi operasi sehingga dapat memungkinkan deteksi kesalahan dan kegagalan yang dapat mengurangi kinerja sistem PV sehingga tidak dapat bekerja secara optimal [15-16],

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan sistem *Decision support system* (DSS) untuk *fault detection* pada sistem photovoltaic berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian López-Vargas menggunakan Arduino Uno untuk memantau arus, tegangan, radiasi matahari, dan suhu pada sistem photovoltaic dengan data yang dipantau secara real-time melalui *ThingSpeak* dan menggunakan data logger untuk analisis kontinu [15]. Penelitian Pereira juga menggunakan mikrokontroler PIC18Fxx5x dan Raspberry Pi untuk memonitor parameter serupa, mengirimkan data nirkabel ke platform web untuk pemantauan secara real-time [16]. Paredes menggunakan Arduino Uno dan modul RFM95W LoRa untuk mengirimkan data monitoring arus DC, tegangan, daya DC, dan radiasi matahari ke platform web, memanfaatkan teknologi LoRa untuk manajemen data secara real-time [17]. Cheragee mengaplikasikan Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266 untuk memonitor parameter PV pada sistem yang dipasang di atap, dengan menggunakan ThingSpeak untuk mendeteksi kondisi sistem secara seragam dan tidak seragam [18].

Penelitian Rouibah menggunakan Arduino Mega dan ESP8266 untuk memantau berbagai parameter pada sistem photovoltaic lokal dengan pengiriman data nirkabel ke platform web untuk pemantauan *online* [19]. Penelitian Li menggabungkan ZigBee, GPS, dan Raspberry Pi 3 dalam sistem untuk memonitor radiasi matahari, suhu, arus, dan tegangan, dengan menggunakan metode *Extreme Learning Machine* (ELM) untuk diagnosis kerusakan dan pengiriman laporan dengan akurasi 97,5% [20]. Wu penelitian menggunakan kecerdasan buatan untuk mengklasifikasikan kesalahan pada panel PV seperti *short-circuit*, *partial shading*, dan *degradasi*, dengan menggunakan metode *Radial Basis Function-Extreme Learning Machine* (RBF-ELM) untuk meningkatkan akurasi deteksi [21]. Dhimish mengembangkan sistem berbasis *fuzzy logic* untuk mengklasifikasikan kesalahan pada susunan panel PV dengan aplikasi LabVIEW, melakukan analisis offline untuk deteksi kerusakan [22]. Yang dan Ismail menggunakan algoritma *Random Forest* dalam Matlab Simulink untuk mendeteksi kesalahan pada panel PV dengan akurasi deteksi 99,2% dan klasifikasi 99,1% [23]. Aragon mengembangkan

mekanisme matematis berbasis *fuzzy logic* untuk mengoptimalkan produksi energi di fasilitas fotovoltaik dengan menggunakan metode *Ordered Weighted Averaging* (OWA) dan *fuzzy logic* (FL) untuk mendeteksi anomali dalam energi yang dihasilkan [24]. Penelitian Lu mengintegrasikan support vector machines (SVM) dan multiple linear regression (MLR) untuk mendeteksi kerusakan pada panel PV, termasuk *short-circuit* dan *open-circuit* pada *bypass diodes*, dengan strategi diagnosis yang cocok untuk daerah darurat bencana gempa bumi [25].

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan kombinasi metode untuk *fault detection* pada sistem *photovoltaic* (PV) di wilayah desa terpencil, dengan menggunakan berbagai metode seperti *Fuzzy Logic*, *Multiple Linear Regression* (MLR), dan *Internet of Things* (IoT), dengan *photovoltaic* terpasang pada *rooftop* dan atas penampungan air (*tendon*). Penelitian-penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh López-Vargas, Pereira dan Paredes-Parra telah menggunakan IoT untuk memantau berbagai parameter sistem PV secara real-time, namun belum membahas *fault detection* dan *fuzzy logic* untuk mengklasifikasikan dan menganalisis kesalahan pada panel PV [17–19].

Penelitian Li dan Wu telah menggunakan teknik *fault detection* dalam sistem PV menggunakan metode *extreme learning machine* (ELM) dan *radial basis function-extreme learning machine* (RBF-ELM). Meskipun ELM dan RBF-ELM memiliki keunggulan dalam hal akurasi dan kecepatan deteksi, terutama dalam menganalisis dan mengklasifikasikan kesalahan pada sistem *photovoltaic* (PV) namun belum diterapkan pada dua kondisi pemasangan *rooftop* dan *floating point*. Kebutuhan akan infrastruktur yang cukup untuk mendukung proses pelatihan dan operasional model ini sehingga membutuhkan perangkat keras dengan kapasitas komputasi tinggi, seperti server atau perangkat dengan GPU, yang mungkin sulit diakses di daerah terpencil. Selain itu, ELM dan RBF-ELM bergantung pada data pelatihan yang besar untuk memperoleh hasil yang akurat, yang mungkin tidak tersedia di wilayah terpencil dengan data historis yang [22-23].

Penelitian Aragon menggunakan metode *ordered weighted averaging* (OWA) namun membutuhkan penentuan bobot yang tepat untuk parameter-

parameter input. Untuk sistem PV di wilayah terpencil, pemilihan bobot yang tepat bisa sulit tanpa data historis yang memadai atau tanpa pengetahuan yang cukup tentang prioritas dan hubungan antara variabel-variabel yang berbeda. Kesalahan dalam penetapan bobot dapat mengarah pada keputusan yang kurang optimal atau deteksi kesalahan yang tidak tepat [24].

Penelitian ini menggunakan *multiple linear regression* (MLR) untuk analisis hubungan antara beberapa variabel, seperti arus, tegangan, dan daya pada sistem photovoltaic (PV), dengan mempertimbangkan faktor lingkungan seperti radiasi matahari dan suhu. Dengan menggunakan MLR, sistem dapat mengidentifikasi kerusakan pada komponen-komponen PV yang dapat mempengaruhi performa sistem. Penggunaan MLR dapat diterapkan pada daerah dengan infrastruktur terbatas karena analisis dengan sumber daya komputasi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pembelajaran mesin yang lebih kompleks, sehingga lebih cocok diterapkan di lokasi dengan keterbatasan infrastruktur dan akses ke perangkat keras. MLR juga memerlukan lebih sedikit data historis untuk menghasilkan model yang valid, yang relevan dengan pengumpulan data yang terbatas di wilayah terpencil [25]. Selain itu, penelitian ini akan menggunakan *data logger* untuk menyimpan data secara kontinu sehingga dapat digunakan untuk analisis jangka panjang dalam mengidentifikasi kerusakan pada panel PV, baterai, dan inverter secara otomatis [20-21].

Berdasarkan latar belakang diatas, peneltian bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan deteksi kesalahan pada sistem *photovoltaic* (PV) berbasis *Internet of Things* (IoT) di wilayah terpencil, dengan menggunakan *Multiple Linear Regression* (MLR) dan *Fuzzy Logic* (FL). Sistem ini akan memanfaatkan *data logger* untuk merekam dan menyimpan data secara kontinu dari berbagai parameter yang mempengaruhi kinerja sistem PV, seperti suhu panel atas (X_1), suhu panel bawah (X_2), suhu udara (X_3), hujan (X_4), radiasi matahari (X_5), dan kecepatan angin (X_6). Parameter ini akan digunakan untuk memprediksi dan mendeteksi potensi kerusakan atau penurunan kinerja sistem, khususnya pada Power Output Panel 1 (P_1) dan Power Output Panel 2 (P_2).

Metode MLR digunakan untuk menganalisis hubungan linier antara parameter-parameter tersebut dan output daya panel PV. Metode MLR dapat mengidentifikasi nilai variabel terhadap produksi daya panel dan mengembangkan model prediktif yang dapat digunakan untuk memproyeksikan performa sistem berdasarkan kondisi lingkungan dan parameter sistem. Metode MLR dipilih karena metode ini relatif lebih sederhana dan membutuhkan sumber daya komputasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode *machine learning* serta efektif dalam menangani hubungan antara beberapa variabel yang saling terkait [28-29]

Sistem *photovoltaic* (PV) di wilayah terpencil, komponen yang akan dianalisis adalah panel PV, suhu panel, parameter lingkungan seperti radiasi matahari, suhu udara, kecepatan angin, hujan, baterai, inverter, dan sistem pemantauan berbasis IoT serta data logger. Dalam hal ini, penerapan *fuzzy logic* (FL) sangat diperlukan dalam menangani ketidakpastian dan fluktuasi variabel-variabel ini, seperti suhu yang dapat mempengaruhi efisiensi panel PV, fluktuasi radiasi matahari yang sulit diprediksi, serta kondisi lingkungan yang sering berubah di wilayah terpencil. Metode FL digunakan untuk menganalisis ketidaknormalan pada baterai dan inverter, serta mengatasi data yang tidak sempurna atau hilang akibat gangguan jaringan. Dengan kemampuannya untuk menangani ketidakpastian dan perubahan kondisi, FL memungkinkan sistem PV beroperasi secara optimal meskipun di daerah dengan tantangan lingkungan ekstrem, seperti bencana alam atau daerah terpencil dengan keterbatasan infrastruktur [28]. Dukungan data berbagai sensor yang terpasang pada sistem PV sehingga pemantauan yang lebih terperinci untuk memberikan gambaran mengenai kinerja sistem sepanjang waktu dan digunakan untuk melatih model MLR dan FL untuk memberikan analisis deteksi kesalahan pada sistem PV. Penelitian ini diharapkan dapat mengimplemtasikan rakayasa perangkat “model *decision support system* untuk *fault detection* pada operasional sistem *photovoltaic* di wilayah desa terpencil” dengan implementasi 4 fungsi menu monitoring, diagnosis, prediksi dan DSS *fault detection* sistem PV.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana mengembangkan sistem pemantauan dan *fault detection* pada sistem *photovoltaic* (PV) berbasis *internet of things* (IoT)?
2. Bagaimana penerapan metode *multiple linear regression* (MLR) dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara parameter lingkungan (seperti suhu panel, suhu udara, radiasi matahari, kecepatan angin, dan hujan) dan output daya panel PV untuk *fault detection* pada sistem PV?
3. Bagaimana penerapan *fuzzy logic* (FL) untuk *fault detection* pada sistem PV yang diakibatkan oleh perubahan parameter lingkungan terhadap sistem PV?
4. Bagaimana pengembangan rekayasa perangkat lunak (software) *decision support system* untuk *fault detection photovoltaic* pada wilayah desa terpencil dengan implementasi 4 fungsi menu monitoring, diagnosis, prediksi dan DSS *fault detection* untuk *fault detection* sistem PV.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengembangkan sistem pemantauan dan *fault detection* pada sistem *photovoltaic* (PV) berbasis *Internet of Things* (IoT) di wilayah terpencil, dengan memanfaatkan perangkat keras dan perangkat lunak untuk memantau kinerja sistem secara *real-time*, serta mendeteksi kerusakan sistem PV.
2. Menganalisis hubungan antara parameter lingkungan (seperti suhu panel, suhu udara, radiasi matahari, kecepatan angin, dan hujan) dengan output daya panel PV menggunakan metode *multiple linear regression* (MLR), untuk mendeteksi potensi kerusakan atau penurunan kinerja sistem PV.
3. Menerapkan metode *fuzzy logic* (FL) untuk *fault detection* pada sistem PV, untuk menangani ketidakpastian dan fluktuasi variabel lingkungan yang

sering berubah, serta meningkatkan kemampuan deteksi kesalahan yang dapat mengurangi kinerja sistem.

4. Pengembangan rekayasa perangkat lunak (software) *decision support system* untuk *fault detection photovoltaic* pada wilayah desa terpencil sebagai implementasi 4 fungsi menu monitoring, diagnosis, prediksi dan DSS *fault detection* untuk *fault detection* sistem PV.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kinerja dan keandalan *sistem photovoltaic* (PV) di wilayah terpencil dengan mengembangkan sistem pemantauan dan fault detection berbasis Internet of Things (IoT). Dengan menggunakan metode *Multiple Linear Regression* (MLR), penelitian ini dapat menganalisis hubungan antara parameter lingkungan dan output daya panel PV, sehingga memungkinkan deteksi dini potensi kerusakan atau penurunan kinerja sistem. Penerapan *Fuzzy Logic* (FL) juga memberikan manfaat dalam menangani ketidakpastian dan fluktuasi variabel lingkungan yang sering berubah, sehingga meningkatkan akurasi dalam mendeteksi kesalahan yang dapat mengurangi efisiensi sistem. Selain itu, penggunaan data logger berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data secara kontinu dan jangka panjang, yang sangat bermanfaat untuk pemeliharaan dan pengarsipan data secara otomatis, serta mendukung pemodelan MLR dan FL. Dengan sistem ini, deteksi kesalahan dapat dilakukan secara otomatis sehingga pemeliharaan sistem PV di daerah terpencil, mengurangi ketergantungan pada intervensi manual, dan memastikan ketersediaan energi yang stabil di daerah dengan infrastruktur terbatas.

1.5. Batasan Penelitian

Beberapa batasan masalah penelitian ini diuraikan sebagai pembatas ruang lingkup pembahasan pada penelitian ini:

1. Penelitian ini difokuskan pada penerapan sistem photovoltaic (PV) berbasis *Internet of Things* (IoT) di wilayah terpencil dengan keterbatasan

infrastruktur. Sistem PV yang diteliti hanya berlaku untuk instalasi panel surya yang dipasang di atap atau area yang terbatas, dengan parameter lingkungan yang mengacu pada kondisi setempat, seperti suhu, radiasi matahari, hujan, dan kecepatan angin.

2. Penelitian ini hanya mempertimbangkan komponen utama sistem *photovoltaic* (PV), seperti panel surya, baterai, inverter, dan *solar charge controller* (SCC). Sensor yang digunakan untuk pengumpulan data adalah sensor suhu, arus, tegangan, dan daya, yang terpasang pada komponen-komponen tersebut.
3. Penggunaan data *logger* berbasis IoT dibatasi pada pengumpulan data secara kontinu dan real-time untuk tujuan pemodelan dan analisis. Sistem ini tidak mencakup penyimpanan data dalam skala besar atau integrasi dengan sistem lainnya.
4. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem *decision support system* (DSS) untuk *fault detection* pada sistem PV, dengan tujuan untuk mendeteksi kerusakan berdasarkan data yang terkumpul.
5. Sistem ini hanya diuji dengan kapasitas terbatas sesuai dengan keterbatasan infrastruktur di wilayah terpencil dengan menggunakan koneksi jaringan seluler.
6. Penelitian ini terbatas pada parameter lingkungan yang terukur dan tidak memperhitungkan variabel eksternal lainnya yang dapat mempengaruhi performa sistem PV, seperti kerusakan mekanis atau gangguan eksternal yang tidak dapat diprediksi oleh sistem.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disertasi ini dimulai dengan Bab 1 Pendahuluan, yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2 Tinjauan Pustaka menyajikan ulasan terkait teori dasar mengenai sistem *photovoltaic* (PV), *decision support system* (DSS), *Internet of Things* (IoT), serta berbagai komponen terkait seperti baterai, inverter, dan solar

charge controller. Bab 3 Metodologi Penelitian menjelaskan data penelitian, tahapan penelitian, dan model sistem PV yang digunakan. Bab 4 Arsitektur Sistem *Photovoltaic* menguraikan desain dan arsitektur sistem PV, termasuk arsitektur IoT dan sensor-sensor yang terpasang pada sistem PV serta sensor lingkungan. Bab 5 Model *Decision Support System* membahas pemodelan data, penggunaan metode *Multiple Linear Regression* (MLR) dan *Fuzzy Logic*, serta implementasi dan pengujian sistem DSS untuk fault detection pada sistem PV. Akhirnya, Bab 6 Kesimpulan dan Saran merangkum hasil penelitian dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya. Disertasi ini diakhiri dengan Daftar Pustaka dan Lampiran sebagai referensi dan tambahan informasi terkait penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. N. Nwaigwe, P. Mutabilwa, and E. Dintwa, “An overview of solar power (PV systems) integration into electricity grids,” *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 629–633, 2019.
- [2] M. H. Mohamed Hariri, M. K. Mat Desa, S. Masri, and M. A. A. Mohd Zainuri, “grid-connected PV generation system—Components and challenges: A review,” *Energies*, vol. 13, no. 17, p. 4279, 2020.
- [3] A. K. Hamid, N. T. Mbungu, A. Elnady, R. C. Bansal, A. A. Ismail, and M. A. AlShabi, “A systematic review of grid-connected photovoltaic and photovoltaic/thermal systems: Benefits, challenges and mitigation,” *Energy Environ.*, vol. 34, no. 7, pp. 2775–2814, 2023.
- [4] A. Livera, M. Theristis, L. Micheli, E. F. Fernandez, J. S. Stein, and G. E. Georghiou, “Operation and maintenance decision support system for photovoltaic systems,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 42481–42496, 2022.
- [5] J. Kim, T. Hong, J. Jeong, C. Koo, K. Jeong, and M. Lee, “Multi-criteria decision support system of the photovoltaic and solar thermal energy systems using the multi-objective optimization algorithm,” *Sci. Total Environ.*, vol. 659, pp. 1100–1114, 2019.
- [6] S. Lindig *et al.*, “Towards the development of an optimized Decision Support System for the PV industry: A comprehensive statistical and economical assessment of over 35,000 O&M tickets,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 31, no. 12, pp. 1215–1234, 2023.
- [7] M. A. Hannan, Z. A. B. D. Ghani, M. M. Hoque, P. J. Ker, A. Hussain, and A. Mohamed, “Fuzzy logic inverter controller in photovoltaic applications: Issues and recommendations,” *Ieee Access*, vol. 7, pp. 24934–24955, 2019.
- [8] B. Yang *et al.*, “Recent advances in fault diagnosis techniques for photovoltaic systems: A critical review,” *Prot. Control Mod. Power Syst.*, 2024.
- [9] G. Jiménez-Castillo, F. J. Muñoz-Rodríguez, C. Rus-Casas, and P. Gómez-Vidal, “Improvements in performance analysis of photovoltaic systems: Array power monitoring in pulse width modulation charge controllers,” *Sensors*, vol. 19, no. 9, p. 2150, 2019.
- [10] W. Wedashwara, I. W. A. Arimbawa, A. H. Jatmika, A. Zubaidi, and T. Mulyana, “IoT based Smart Small Scale Solar Energy Planning using Evolutionary Fuzzy Association Rule Mining,” in *2020 International Conference on Advancement in Data Science, E-learning and Information Systems (ICADEIS)*, 2020, pp. 1–6.
- [11] A. Musa, E. Alozie, S. A. Suleiman, J. A. Ojo, and A. L. Imoize, “A review of time-based solar photovoltaic tracking systems,” *Information*, vol. 14, no. 4, p. 211, 2023.

- [12] B. R. Madhu, G. S. Anitha, and S. Krishna, "Smart Charging Station for Electric Vehicles Using Solar Power," in *2023 7th International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, 2023, pp. 1–5.
- [13] A. E. Lazzaretti *et al.*, "A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants," *Sensors*, vol. 20, no. 17, p. 4688, 2020.
- [14] G. M. El-Banby, N. M. Moawad, B. A. Abouzalm, W. F. Abouzaid, and E. A. Ramadan, "Photovoltaic system fault detection techniques: a review," *Neural Comput. Appl.*, vol. 35, no. 35, pp. 24829–24842, 2023.
- [15] A. López-Vargas, M. Fuentes, and M. Vivar, "Evaluation of long-term performance of a solar home system (SHS) monitoring system on harsh environments," *Sensors*, vol. 19, no. 24, p. 5462, 2019.
- [16] R. I. S. Pereira, S. C. S. Jucá, and P. C. M. Carvalho, "IoT embedded systems network and sensors signal conditioning applied to decentralized photovoltaic plants," *Measurement*, vol. 142, pp. 195–212, 2019.
- [17] J. M. Paredes-Parra, A. J. García-Sánchez, A. Mateo-Aroca, and Á. Molina-García, "An alternative internet-of-things solution based on Lora for PV power plants: Data monitoring and management," *Energies*, vol. 12, no. 5, 2019, doi: 10.3390/en12050881.
- [18] S. H. Cheragee, N. Hassan, S. Ahammed, and A. Islam, "A study of IoT based real-time solar power remote monitoring system," *Int. J. Ambient Syst. Appl.*, vol. 9, no. 1, pp. 27–36, 2021.
- [19] N. Rouibah, L. Barazane, M. Benghanem, and A. Mellit, "IoT-based low-cost prototype for online monitoring of maximum output power of domestic photovoltaic systems," *ETRI J.*, vol. 43, no. 3, pp. 459–470, 2021.
- [20] Y. F. Li *et al.*, "On-line monitoring system of PV array based on internet of things technology," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 93, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/93/1/012078.
- [21] Y. Wu, Z. Chen, L. Wu, P. Lin, S. Cheng, and P. Lu, "An Intelligent Fault Diagnosis Approach for PV Array Based on SA-RBF Kernel Extreme Learning Machine," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 1070–1076, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.462.
- [22] M. Dhimish, V. Holmes, B. Mehrdadi, M. Dales, and P. Mather, "Photovoltaic fault detection algorithm based on theoretical curves modelling and fuzzy classification system," *Energy*, vol. 140, pp. 276–290, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.08.102.
- [23] N.-C. Yang and H. Ismail, "Robust intelligent learning algorithm using random forest and modified-independent component analysis for PV fault detection: In case of imbalanced data," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 41119–41130, 2022.

- [24] R. G. Aragon, M. E. Cornejo, J. Medina, J. Moreno-García, and E. Ramirez-Poussa, “Decision support system for photovoltaic fault detection avoiding meteorological conditions,” *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 21, no. 03, pp. 911–932, 2022.
- [25] S.-D. Lu, H.-D. Liu, M.-H. Wang, and C.-C. Wu, “A novel strategy for multitype fault diagnosis in photovoltaic systems using multiple regression analysis and support vector machines,” *Energy Reports*, vol. 12, pp. 2824–2844, 2024.
- [26] A. Keddouda *et al.*, “Solar photovoltaic power prediction using artificial neural network and multiple regression considering ambient and operating conditions,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 288, p. 117186, 2023.
- [27] A. A. Babatunde and S. Abbasoglu, “Predictive analysis of photovoltaic plants specific yield with the implementation of multiple linear regression tool,” *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 38, no. 4, p. 13098, 2019.
- [28] T. Afolabi and H. Farzaneh, “Optimal design and operation of an off-grid hybrid renewable energy system in Nigeria’s rural residential area, using fuzzy logic and optimization techniques,” *Sustainability*, vol. 15, no. 4, p. 3862, 2023.
- [29] A. Pandey, P. Pandey, and J. S. Tumuluru, “Solar energy production in India and commonly used technologies—An overview,” *Energies*, vol. 15, no. 2, p. 500, 2022.
- [30] S. Dixit, “Solar technologies and their implementations: A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 28, pp. 2137–2148, 2020.
- [31] S. Arif, J. Taweekun, H. M. Ali, A. Ahmed, and A. A. Bhutto, “Building Resilient communities: Techno-economic assessment of standalone off-grid PV powered net zero energy (NZE) villages,” *Heliyon*, vol. 9, no. 11, 2023.
- [32] T. A. Chandel, M. A. Mallick, and M. Y. Yasin, “Oxidation: A dominant source for reduced efficiency of silicon solar photovoltaic modules,” *Mater. Today Proc.*, vol. 27, pp. 1092–1098, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.473.
- [33] H. Kang, “Crystalline silicon vs. amorphous silicon: the significance of structural differences in photovoltaic applications,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 726, no. 1, p. 12001.
- [34] S. H. Susilo, A. Asrori, and G. Gumono, “Analysis of the efficiency of using the polycrystalline and amorphous PV module in the territory of Indonesia,” *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 20, no. 1, pp. 239–245, 2022.
- [35] L. Serrano-Gomez, I. C. Gil-García, M. S. García-Cascales, and A. Fernández-Guillamón, “Improving the Selection of PV Modules and Batteries for Off-Grid PV Installations Using a Decision Support System,” *Information*, vol. 15, no. 7, p. 380, 2024.
- [36] S. Gupta, S. Modgil, S. Bhattacharyya, and I. Bose, “Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 308, no. 1, pp. 215–274, 2022.

- [37] F. G. Filip, "DSS—A class of evolving information systems," *Data Sci. New Issues, Challenges Appl.*, pp. 253–277, 2020.
- [38] E. Turban and J. E. Aronson, "Decision support systems and intelligent systems. 2001."
- [39] S. D. Riskiono, L. Oktaviani, and F. M. Sari, "Implementation of the School Solar Panel System To Support the Availability of Electricity Supply At Sdn 4 Mesuji Timur," *IJISCS (International J. Inf. Syst. Comput. Sci.)*, vol. 5, no. 1, pp. 34–41, 2021.
- [40] C. Li, C. Xu, and X. Li, "A multi-criteria decision-making framework for site selection of distributed PV power stations along high-speed railway," *J. Clean. Prod.*, 2020, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620341317>.
- [41] Y. M. Al-Sharo, K. Al Smadi, and T. Al Smadi, "Optimization of stable energy PV systems using the internet of things (IoT)," *Tikrit J. Eng. Sci.*, vol. 31, no. 1, pp. 127–137, 2024.
- [42] W. N. Septiadi, K. Astawa, R. P. Eleazar, D. Ramadhani, N. R. A. Bhaswara, and K. D. Jayendra, "L-Heat Pipe Simulation for Lithium-Ion Electric Vehicle Battery Cooling Systems," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2025, vol. 2972, no. 1, p. 12006.
- [43] P. Kumar, S. Bansal, and A. Sonthalia, "Introduction to battery systems," in *Handbook of Thermal Management Systems*, Elsevier, 2023, pp. 95–118.
- [44] E. Can, "A new multi-level inverter with reverse connected dual dc to dc converter at simulation," *Int. J. Model. Simul.*, vol. 42, no. 1, pp. 34–46, 2022.
- [45] N. Evalina, F. I. Pasaribu, and A. Azis, "The Use of Inverters in Solar Power Plants for Alternating Current Loads," *Britain Int. Exact Sci. J.*, vol. 3, no. 3, pp. 151–158, 2021.
- [46] N. P. Grebenchikov, D. O. Varlamov, S. M. Zuev, R. A. Maleev, A. A. Skvortsov, and A. P. Grebenchikov, "Study of solar panel charge controllers," *J. Commun. Technol. Electron.*, vol. 65, pp. 1053–1061, 2020.
- [47] D. Jiang, Z. Shen, Q. Li, J. Chen, and Z. Liu, *Advanced pulse-width-modulation: With freedom to optimize power electronics converters*. Springer Nature, 2021.
- [48] A. O. Baba, G. Liu, and X. Chen, "Classification and evaluation review of maximum power point tracking methods," *Sustain. Futur.*, vol. 2, p. 100020, 2020.
- [49] T. Grahn, B. Thango, and A. Nnachi, "Internet of Things-Based Smart Monitoring of a 400VA 220/110V Transformer," in *2024 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, 2024, pp. 1–6.
- [50] H. S. Sahu, N. Himanish, K. K. Hiran, and J. Leha, "Design of Automatic Lighting System based on Intensity of Sunlight using BH-1750," in *2021 International*

Conference on Computing, Communication and Green Engineering (CCGE), 2021, pp. 1–6.

- [51] T. R. Lin, N. H. O. Khan, and M. Z. Daud, “Arduino based Appliance Monitoring System using SCT-013 Current and ZMPT101B Voltage Sensors.,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 97, no. 9, 2021.
- [52] A. B. A. Aziz, S. A. H. Bin Amirrudin, and L. B. Raya, “Analysis and Monitoring Energy Consumption in Basic Electric Bills,” in *2023 19th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, 2023, pp. 248–251.
- [53] L. M. Baicu, B. Dumitraşcu, and M. Andrei, “Arduino temperature monitoring solution for routers,” *Ann. “Dunarea Jos “University Galati. Fascicle III, Electrotech. Electron. Autom. Control. Informatics*, vol. 44, no. 1, pp. 5–9, 2021.
- [54] S. Krishnakumar, A. Kumar, N. Selvarani, G. Satish, R. RamanChandan, and M. Sivaramkrishnan, “IoT-based battery management system for E-vehicles,” in *2022 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, 2022, pp. 428–434.
- [55] Y.-Y. Hong and R. A. Pula, “Methods of photovoltaic fault detection and classification: A review,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 5898–5929, 2022.
- [56] U. Yilmaz, A. Kircay, and S. Borekci, “PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 994–1001, 2018.
- [57] A. Fathtabar, A. Ebrahimzadeh, and J. Kazemitabar, “Center of gravity (CoG): a novel optimization algorithm,” *Evol. Intell.*, vol. 17, no. 4, pp. 2245–2278, 2024.
- [58] A. López-vargas, M. Fuentes, and M. Vivar, “IoT Application for Real-Time Monitoring of Solar Home Systems Based on Arduino TM With 3G Connectivity,” vol. 19, no. 2, pp. 679–691, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2018.2876635.
- [59] R. I. S. Pereira, I. M. Dupont, P. C. M. Carvalho, and S. C. S. Jucá, “IoT embedded linux system based on Raspberry Pi applied to real-time cloud monitoring of a decentralized photovoltaic plant,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 114, pp. 286–297, 2018, doi: 10.1016/j.measurement.2017.09.033.
- [60] S. Sarswat, I. Yadav, and S. K. Maurya, “Real Time Monitoring of Solar PV Parameter Using IoT,” *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 9, no. 1S, pp. 267–271, 2019, doi: 10.35940/ijitee.a1054.1191s19.
- [61] N. Rouibah, L. Barazane, M. Benghanem, and A. Mellit, “IoT-based low-cost prototype for online monitoring of maximum output power of domestic photovoltaic systems,” *ETRI J.*, 2021, doi: 10.4218/etrij.2019-0537.
- [62] J. Sun, F. Sun, J. Fan, and Y. Liang, “Fault diagnosis model of photovoltaic array based on least squares support vector machine in Bayesian framework,” *Appl. Sci.*, vol. 7, no. 11, 2017, doi: 10.3390/app7111199.

- [63] Z. Chen *et al.*, “Random forest based intelligent fault diagnosis for PV arrays using array voltage and string currents,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 178, no. October, pp. 250–264, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.10.040.
- [64] F. Harrou, B. Taghezouit, and Y. Sun, “Improved \$ k \$ NN-based monitoring schemes for detecting faults in PV systems,” *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 3, pp. 811–821, 2019.
- [65] Y. Zhao, L. Yang, B. Lehman, J. F. De Palma, J. Mosesian, and R. Lyons, “Decision tree-based fault detection and classification in solar photovoltaic arrays,” *Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC*, no. December 2015, pp. 93–99, 201AD, doi: 10.1109/APEC.2012.6165803.
- [66] N. V. Sridharan and V. Sugumaran, “Visual fault detection in photovoltaic modules using decision tree algorithms with deep learning features,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–17, 2021, doi: 10.1080/15567036.2021.2020379.
- [67] R. G. Aragón, M. E. Cornejo, and J. Medina, “Decision Support System for Photovoltaic Fault Detection Avoiding Meteorological Conditions,” *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 21, no. 3, 2022, doi: 10.1142/S0219622022500080.
- [68] I. Stamatescu, N. Arghira, I. Făgărășan, G. Stamatescu, S. S. Iliescu, and V. Calofir, “Decision support system for a low voltage renewable energy system,” *Energies*, vol. 10, no. 1, 2017, doi: 10.3390/en10010118.
- [69] R. Pereira, “On harvesting residual thermal energy from photovoltaic module back surface,” *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 111, 2019, doi: 10.1016/j.aeue.2019.152878.
- [70] J. M. Paredes-Parra, A. Mateo-Aroca, G. Silvente-Niñirola, M. C. Bueso, and Á. Molina-García, “PV module monitoring system based on low-cost solutions: Wireless raspberry application and assessment,” *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113051.
- [71] A. M. Nassir Rouibah, Linda Barazane, Mohamed Benghanem, “IoT based low cost prototype for online monitoring of maximum output power of domestic photovoltaic systems,” *ETRI J. Wiley*, vol. 43, no. 3, pp. 459–470, 2020, doi: DOI: 10.4218/etrij.2019-0537.
- [72] S. A. Shams and R. Ahmadi, “Dynamic optimization of solar-wind hybrid system connected to electrical battery or hydrogen as an energy storage system,” *Int. J. Energy ...*, 2021, doi: 10.1002/er.6549.
- [73] H. Ziar *et al.*, “Innovative floating bifacial photovoltaic solutions for inland water areas,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 29, no. 7, pp. 725–743, 2021.
- [74] H. Chen, “Free-standing ultrathin lithium metal–graphene oxide host foils with controllable thickness for lithium batteries,” *Nat. Energy*, vol. 6, no. 8, pp. 790–798, 2021, doi: 10.1038/s41560-021-00833-6.

- [75] F. Harrou, “Improved κ N-Based monitoring schemes for detecting faults in PV systems,” *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 3, pp. 811–821, 2019, doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2896652.
- [76] Q. Zhao, S. Shao, L. Lu, X. Liu, and H. Zhu, “A new PV array fault diagnosis method using fuzzy C-mean clustering and fuzzy membership algorithm,” *Energies*, vol. 11, no. 1, p. 238, 2018.
- [77] I. Stamatescu, N. Arghira, I. Făgărășan, G. Stamatescu, S. S. Iliescu, and V. Calofir, “Decision Support System for a Low Voltage Renewable Energy System,” *Energies*, vol. 10, no. 1, 2017, doi: 10.3390/en10010118.
- [78] Badan Pusat Statistik, “Ogan Ilir dalam angka 2022,” *Badan Pusat Statistik Kabupaten Ogan Ilir*, 2022. .
- [79] S. Mehta and P. Basak, “Solar irradiance forecasting using fuzzy logic and multilinear regression approach: A case study of Punjab, India,” *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 2, p. 125, 2019, doi: 10.11591/ijaas.v8.i2.pp125-135.