

**PERANCANGAN *FAULT DETECTION* PADA 1 ROW
PHOTOVOLTAIC CELL MENGGUNAKAN *SURFACE*
POTENTIAL SENSOR BERBASIS *BLUETOOTH***

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Disusun Oleh:

JUAN CAROL

3332180056

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya sebagai penulis Skripsi berikut dengan ini menyatakan:

Judul : Perancangan *Fault detection* Pada 1 Row *Photovoltaic Cell* Menggunakan *Surface Potention Sensor* Berbasis *Bluetooth*

Nama Mahasiswa : Juan Carol

NPM : 3332180056

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Saya benar-benar ingin mengatakan bahwasannya skripsi yang disebutkan sebelumnya yaitu karya asli saya sendiri serta tidak mengandung karya orang lain selain dengan rujukan yang benar serta bisa dipertanggung jawabkan. Saya bersedia mengambil tindakan hukum apabila disuatu saat ditemukan bukti bahwasannya saya tidak bertanggungjawab atas sebagian ataupun seluruh karya ini. Selain itu, saya juga bersedia menanggung apapun konsekuensi hukum yang timbul dari pernyataan yang saya sampaikan secara sadar serta sengaja melalui dokumen ini.

Cilegon, 7 Agustus 2024



Juan Carol

3332180056

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berikut dengan ini ditetapkan:

Judul : Perancangan *Fault detection* Pada 1 Row
Photovoltaic cell Menggunakan *Surface Potential*
Sensor Berbasis *Bluetooth*

Nama Mahasiswa : Juan Carol

NPM : 3332180056

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 7 Agustus 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan **LULUS**.

Dewan Penguji

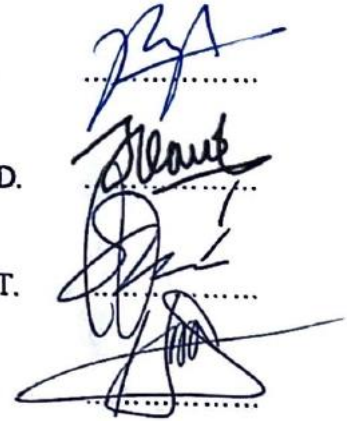
Tanda Tangan

Pembimbing I : Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.

Pembimbing II : Imamul Muttaqin, S.T., M.Eng., Ph.D.

Penguji I : Prof.Dr. Alimuddin, S.T., M.M., M.T.

Penguji II : Heri Haryanto S.T., M.T.



Mengetahui
Ketua Jurusan

Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.

NIP.198103282010121001

PRAKATA

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat serta rahmat-Nya saya bisa menuntaskan skripsi ini. Penulisan skripsi ini yakni suatu syarat guna menerima gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa di bidang teknik elektro. Saya menyadari bahwasannya menuntaskan skripsi ini sangatlah sulit bagi saya tanpa bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak selama masa perkuliahan serta selama penyusunannya. Akibatnya, saya berterima kasih kepada:

1. Orang tua serta keluarga yang telah memberikan semangat, bantuan material dan, do'anya;
2. Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus dosen pembimbing 1 yang sudah meluangkan pikiran, tenaga, serta waktu guna mengarahkan saya pada penyusunan skripsi ini;
3. Imamul Muttaqin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 yang sudah meluangkan, pikiran, tenaga, serta waktu guna mengarahkan saya pada penyusunan skripsi ini;
4. Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M. Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang sudah memberikan bimbingan kepada saya selama masa perkuliahan;
5. Dr. Irma Saraswati, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang sudah memberikan bimbingan kepada saya selama masa perkuliahan;
6. Seluruh dosen, staf akademik, serta teman-teman Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa atas semua ilmu yang diberikan sejak semester awal sampai sekarang, dukungan, serta saran guna menyelesaikan skripsi ini.

Cilegon, 7 Agustus 2024

Juan Carol

ABSTRAK

Juan Carol
Teknik Elektro

Perancangan *Fault detection* Pada 1 Row *Photovoltaic cell* Menggunakan *Surface Potential Sensor* Berbasis *Bluetooth*

Sel surya sebagai sumber energi terbarukan yang memanfaatkan energi matahari sering kali menghadapi berbagai masalah pada bentuk fisiknya. Masalah tersebut berupa kerusakan retak pada bagian permukaannya, dan cacat tidak terlihat yang sulit dideteksi. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dikembangkan alat pendeteksi kegagalan pada sel *photovoltaic* menggunakan potensial sensor permukaan yang terhubung dengan *bluetooth*. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi medan elektrostatis pada permukaan sel surya menggunakan plat tembaga. Alat ini terdiri dari beberapa komponen, termasuk modul *amplifier* AD620 untuk memperkuat sinyal, Arduino UNO sebagai mikrokontroler, dan *Bluetooth* HC-05 untuk mengirimkan data ke ponsel Android melalui aplikasi *Arduino Bluetooth Controller*. Hasil pengujian menunjukkan alat ini mampu mendeteksi dan mengukur medan elektrostatis pada permukaan sel surya dalam satu baris dengan tingkat akurasi yang baik. Pengukuran *voltage* sel dilakukan pada jarak 1 mm, 3 mm, dan 5 mm. Dengan hasil pengukuran jarak 1 mm menghasilkan *voltage* sel normal rata-rata adalah 3,534 V, sementara nilai sel yang rusak adalah 3,685 V, dengan itu menunjukkan perbedaan sebesar 0,151 V. Sehingga dengan banyaknya kerusakan yang terdapat pada sel Surya maka semakin besar medan elektrostatis yang terdeteksi. Kemudian data pengukuran ini dikirim ke ponsel Android melalui *Bluetooth* HC-05, memudahkan pengguna dalam melakukan perawatan panel surya.

Kata kunci: Sel Surya, Deteksi Cacat, Medan Elektrostatis, Modul *Amplifier* AD620, *Bluetooth* HC-05

ABSTRACT

Juan Carol
Electrical Engineering

Design of Fault detection in 1 Row Photovoltaic cell Using Bluetooth-Based Surface Potential Sensor

Solar cells as a renewable energy source that utilizes solar energy often face various problems in their physical form. These problems include cracks on the surface, and invisible defects that are difficult to detect. To overcome these problems, a failure detection tool was developed on photovoltaic cells using a surface potential sensor connected to bluetooth. This sensor works by detecting the electrostatic field on the surface of the solar cell using a copper plate. Surface of the solar cell using a copper plate. This tool consists of several components, including an AD620 amplifier module to amplify the signal, Arduino UNO as a microcontroller, and Bluetooth HC-05 to transmit data to an Android phone via the Arduino Bluetooth Controller application. The test results show that this tool is able to detect and measure the electrostatic field on the surface of solar cells in one line with a good level of accuracy. Cell voltage measurements were made at a distance of 1 mm, 3 mm, and 5 mm. With the results of measurements at a distance of 1 mm, the average normal cell voltage is 3.534 V, while the value of damaged cells is 3.685 V, with it showing a difference of 0.151 V. So that with the amount of damage found in solar cells, the greater the electrostatic field detected. Then this measurement data is sent to the Android phone via Bluetooth HC-05, making it easier for users to perform solar panel maintenance.

Keywords: Solar Panel, Fault detection, Electrostatic Field, Amplifier Modul AD620, Bluetooth HC-05

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	6
2.1 Energi Surya	6
2.2 Panel Surya.....	7
2.3 Jenis-Jenis Sel Surya	7
2.3.1 Monocrystalline.....	7
2.3.2 Polycrystalline.....	8
2.3.3 Thin film Solar Cell	9
2.4 Karakteristik Sel Surya.....	9
2.5 Sensor Elektrolisis	12
2.6 Arduino.....	13
2.7 Modul <i>Amplifier</i> AD620	13
2.8 Modul <i>Bluetooth</i> HC-05	14
2.9 Modul RTC DS1307	15
2.10 Klasifikasi Gangguan Sel Surya.....	16
2.11 Kajian Pustaka	17

BAB III	20
3.1 Perancangan Penelitian.....	20
3.1.1 Diagram Sistem	20
3.1.2 Perancangan Sensor Elektrostatik Menggunakan Plat Tembaga 23	
3.1.3 Rangkaian <i>Input</i>	24
3.1.4 Rangkaian <i>Output</i>	25
3.2 Spesifikasi Panel Surya	26
3.3 Perancangan Perangkat Lunak	26
3.3.1 Pengiriman Data HC-05 ke Terminal	26
3.3.2 Tampilan Awal Serial Monitor	27
BAB IV	29
4.1 Hasil Perancangan Alat	29
4.1.1 Mounting Alat	30
4.1.2 Peletakan Sensor	31
4.2 Pengujian Alat Deteksi Cacat Pada Sel Surya.....	33
4.2.1 Peletakan Titik Pengujian	33
4.2.2 Pengujian Kalibrasi Sensor	35
4.3 Pengukuran Medan Elektrostatik Pada 1 <i>Row</i> Panel Surya Menggunakan <i>Powersupply</i>	35
4.3.1 Jarak Pengukuran 1 mm	35
4.3.2 Jarak Pengukuran 3 mm	36
4.3.3 Jarak Pengukuran 5 mm	37
4.4 Pengukuran Medan Elektrostatik Pada 1 <i>Row</i> Panel Surya Menggunakan Sinar Matahari	38
4.4.1 Jarak Pengukuran 1 mm	38
4.4.2 Jarak Pengukuran 3 mm	40
4.4.3 Jarak Pengukuran 5 mm	43
4.5 Perbandingan Data 1 mm, 3 mm, dan 5 mm di Bawah Sinar Matahari .	45
4.5.1 Perbandingan Data 1 mm dan 3 mm	45
4.5.2 Perbandingan Data 3 mm dan 5 mm	46
4.5.3 Perbandingan Data 1 mm dan 5 mm	46
4.6 Perbandingan Data 1 mm, 3 mm dan 5 mm Menggunakan <i>Input</i> dari <i>Powersupply</i>	47

4.7	Perbandingan Data 1 mm di Bawah Sinar Matahari dan 1 mm Menggunakan <i>Powersupply</i>	49
4.8	Perbandingan Data Pengujian Pada Sel Normal Dan Sel <i>Crack</i>	50
4.9	Hasil Pengiriman Data ke <i>Platform Bluetooth</i> HC-05	52
BAB V	54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel Surya Jenis <i>Monocrystalline</i> [24]	8
Gambar 2.2 Sel Surya Jenis <i>Polycrystal</i> [25].....	8
Gambar 2.3 Sel Surya Jenis <i>Thin film</i> [25]	9
Gambar 2.4 Karakteristik Sel Surya [27].....	10
Gambar 2.5 Skema Sistem Pengukuran Elektrostatik [28]	12
Gambar 2.6 Arduino Uno [30]	13
Gambar 2.7 Modul <i>Amplifier AD620</i> [31].....	14
Gambar 2.8 <i>Bluetooth HC-05</i> [32].....	14
Gambar 2.9 RTC DS1307 [35]	15
Gambar 3.1 Skematik Rancangan Perangkat Keras.....	20
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Cara Kerja Alat.....	22
Gambar 3.3 Sensor Elektrostatik Menggunakan Plat Tembaga.....	24
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Input</i>	25
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Output</i>	25
Gambar 3.6 Tampilan Terminal di <i>Handphone</i>	27
Gambar 4.1 <i>Surface Potential Sensor Hardware</i>	29
Gambar 4.2 Kerangka <i>Mounting</i> Alat.....	30
Gambar 4.3 Peletakan Panel Surya dalam Kerangka Alat.....	31
Gambar 4.4 Peletakan Sensor Saat Proses Pengujian	32
Gambar 4.5 Letak Sensor Pada 1 mm, 3 mm, 5 mm	32
Gambar 4.6 Letak 1 <i>Row</i> pada Panel Surya.....	33
Gambar 4.7 Modul 1 <i>Row</i> Panel Surya.....	34
Gambar 4.8 Titik Peletakan Sensor Pada Saat Pengujian	34
Gambar 4.9 Grafik Jarak 1 mm menggunakan <i>Powersupply</i>	36
Gambar 4.10 Grafik Jarak 3 mm menggunakan <i>Powersupply</i>	37
Gambar 4.11 Grafik 5 mm menggunakan <i>Powersupply</i>	38
Gambar 4.12 Grafik Jarak 1 mm.....	39
Gambar 4.13 Grafik <i>Irradiance</i> 23 April 2024.....	40
Gambar 4.14 Grafik Jarak 3 mm.....	41
Gambar 4.15 Grafik <i>Irradiance</i> 24 April 2024.....	42

Gambar 4.16 Grafik Jarak 5 mm.....	43
Gambar 4.17 Grafik <i>Irradiance</i> 25 April 2024.....	44
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Jarak 1 mm dengan 3 mm	45
Gambar 4.19 Perbandingan 3 mm dengan 5 mm.....	46
Gambar 4.20 Perbandingan Jarak 1 mm dengan 5 mm	47
Gambar 4.21 Perbandingan Jarak 1 mm, 3 mm dan 5 mm <i>Powersupply</i>	48
Gambar 4.22 Perbandingan 1 mm Sinar Matahari dengan 1 mm <i>Powersupply</i> ...	49
Gambar 4.23 Data Pengujian Pada Sel Normal	50
Gambar 4.24 Data Pengujian Pada Saat Sel <i>Crack</i>	51
Gambar 4.25 Tampilan <i>Electroluminescence</i>	52
Gambar 4.26 Tampilan Serial Monitor pada <i>Handphone</i>	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perolehan Pengujian Kalibrasi Sensor	35
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perbincangan tentang pemanfaatan sumber energi alternatif dalam pembangkit listrik sedang hangat, hal ini dipicu oleh peningkatan permintaan akan energi listrik. Sebagai solusi menghadapi keterbatasan sumber daya energi, penggunaan energi alternatif seperti energi surya menjadi pilihan yang relevan [1]. Penggunaan energi matahari yaitu sebuah cara guna meminimalisir *global warming* dan bisa meminimalisir bergantungnya dalam bahan bakar fosil, yakni cara yang baik untuk menurunkan emisi gas rumah kaca [2]. Potensi energi matahari sebagai alternatif sumber energi sangat besar karena ketersediaannya yang melimpah, ramah lingkungan, dan dapat diperbaharui [3]. Mengingat pasokan energi surya yang mencapai 3×10^{24} Joule setiap tahun, penggunaan energi surya menjadi pilihan yang masuk akal sebagai sumber energi [4]. Permintaan akan energi listrik terus tumbuh seiring dengan kemajuan teknologi dan kenaikan pendapatan penduduk [5].

Sebagai negara tropis yang berlokasi disepanjang garis khatulistiwa, Indonesia mempunyai kesempatan besar guna menggunakan sinar matahari secara optimal dijadikan sumber energi [6]. Sinar matahari yakni pancaran radiasi matahari yang bisa diserap serta dikonversi menjadi energi listrik dengan media sel surya [7]. Pemanfaatan energi surya di Indonesia belum maksimal, dimana tercatat hanya sekitar 10 MWp dari potensi pemanfaatan energi surya yang besar yakni 4.8 KWh/m² ataupun setara dengan 112.000 GWp [8]. Dengan peraturan Menteri ESDM No.53 Tahun 2018 pada rangka pemenuhan keperluan energi listrik serta pencapaian target energi baru terbarukan melalui regulasi energi nasional [9]. Potensi serta realisasi PLTS di Indonesia ditahun 2020. Indonesia mempunyai potensi pembangkit listrik surya sebesar 207,8 gigawatt *peak* (GWp). Namun, dari potensi tersebut, hanya 0,15 GWp yang telah direalisasikan menjadi pembangkit listrik aktif pada tahun 2020. Pemerintah Indonesia menetapkan target guna menaikkan kapasitas terpasang energi surya menjadi 0,87 GWp pada tahun 2025.

Target ini mencerminkan upaya guna mengembangkan serta memanfaatkan energi surya secara lebih optimal dalam beberapa tahun mendatang. [10].

Modul sel surya sendiri berisi dari beberapa sel dan guna menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar, sel-sel ini dapat dihubungkan secara seri [11]. Selain itu, penghubungan secara paralel pada sel surya dilaksanakan untuk meningkatkan arus. Akhirnya, hasil dari proses ini yaitu pembuatan daya listrik [12]. Terdapat variasi panel surya meliputi *monocrystalline silicon*, *polycrystalline silicon*, *thin film solar cell*, serta *compound thin film triple junction photovoltaic* [13]. Modul surya biasanya dilindungi oleh beberapa komponen seperti, bingkai aluminium dan laminasi kaca agar terhindar dari pengaruh lingkungan seperti hujan, angin, dan salju. Tetapi, beberapa komponen tersebut tidak selalu dapat mencegah kerusakan mekanis yang disebabkan oleh jatuhnya modul PV selama pemasangan, benturan dari cabang pohon yang jatuh, hujan es, ataupun tekanan panas [14]. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sel surya yang berdampak pada penurunan kinerja dari sel surya itu sendiri. Maka dari itu diperlukan inspeksi terhadap kualitas produk sel surya.

Pemeriksaan kualitas yakni langkah penting untuk mendeteksi kemungkinan cacat/kerusakan pada sel surya. Cacat ini dapat mengurangi efisiensi energi modul surya ataupun mengurangi efisiensi keseluruhan modul dan stabilitasnya dalam produksi energi dari waktu ke waktu [15]. *Quality control* banyak dilaksanakan oleh manusia dengan segala keterbatasannya. Dimana proses ini dapat memakan waktu, sehingga tidak kompatibel dengan kecepatan siklus produksi saat ini. Karena itu, industri mendorong ke arah pemeriksaan otomatis yang dapat mempercepat proses inspeksi. Dalam beberapa tahun terakhir, dilaksanakan beberapa pengembangan terhadap pemeriksaan pada kerusakan modul sel surya menggunakan beberapa teknologi yang menggeser metode pemeriksaan yang dilaksanakan secara visual oleh manusia [16]. Metode deteksi cacat menggunakan beberapa teknologi telah menarik minat perkembangan industri yang cukup besar karena dapat memperoleh banyak keuntungan, seperti deteksi waktu nyata, akurasi, kecepatan, dan kenyamanan operasional [17]. Ada berbagai metode untuk mengetahui cacat pada sel surya seperti metode visual, perhitungan

kurva I-V, *thermography*, *electroluminescence*, *UV fluorescences*, dan metode transmisi sinyal [18].

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan diatas bahwasannya, penelitian ini akan membuat perancangan detektor cacat pada *photovoltaic cell* menggunakan *surface potential sensor*, dengan objek pengukuran sel surya tipe *monocrystalline* untuk mengetahui kualitas dari sel surya tersebut bedasarkan hasil pengukuran elektrostatisnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar fenomena yang terdapat dari paparan sebelumnya maka perumusan permasalahan dalam penelitian ini dapat ditentukan seperti dibawah ini:

1. Bagaimana cara merancang detektor cacat pada *photovoltaic cell* menggunakan *surface potential sensor* berbasis *bluetooth*?
2. Bagaimana menganalisis cara kerja detektor cacat pada satu *row* panel surya menggunakan *surface potential sensor* berbasis *bluetooth*?
3. Bagaimana menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi ketepatan alat pada pendeteksian cacat pada satu *row* panel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam studi ini sebagai berikut:

1. Merancang detektor cacat pada *photovoltaic cell* menggunakan *surface potential sensor* berbasis *bluetooth*.
2. Menganalisis cara kerja detektor cacat pada *photovoltaic cell* menggunakan *surface potential sensor* berbasis *bluetooth*.
3. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi keakuratan alat dalam pendeteksian cacat pada satu *row* panel surya

1.4 Manfaat Penelitian

Studi ini terdapat beberapa manfaat, yaitu:

1. Pada penelitian ini diharapkan dapat melaksanakan pendeteksi cacat pada satu *row* panel surya secara konvensional.

2. Pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pendeteksian cacat pada satu *row* panel surya.
3. Pada penelitian ini diharapkan dapat mendeteksi cacat pada satu *row* panel surya secara tak kasat mata.

1.5 Batasan Masalah

Terdapat beberapa pembatasan permasalahan penelitian diantaranya:

1. Objek yang diteliti hanya satu *row* panel surya.
2. Deteksi kerusakan menggunakan metode *Surface Potential Sensor*.
3. Menggunakan panel surya *polycrystalline*.
4. Menggunakan Arduino UNO sebagai pengolah data *input* dan *output* dari sensor.
5. Tidak bisa menentukan jenis dan letak *crack* pada panel surya

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yaitu urutan garis besar yang dipergunakan untuk menulis skripsi. Pokok bahasan di bawah ini diberikan untuk memberikan gambaran tentang bagaimana materi yang dibahas di tiap bab.

BAB I PENDAHULUAN

Latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, keuntungan penelitian, serta sistematika penulisan dibahas dalam bab ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini mencakup paparan mengenai teori-teori dasar sebagai penunjang dalam perancangan detektor kerusakan pada *photovoltaic cell* menggunakan *surface potential sensor* berbasis *bluetooth*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Proses perancangan alat, cara kerjanya, dan perangkat dan spesifikasi alat yang dipergunakan pada pembuatan alat, baik hardware serta software, dibahas dalam bab ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil penelitian serta pembahasan yang disampaikan, termasuk penjelasan hasil pengujian yang dihasilkan dari pembuatan alat serta

pengolahan data penelitian guna menguji medan elektrostatis pada panel surya satu baris.

BAB V PENUTUP

Bab ini mencakup penyimpulan serta ringkasan dari temuan pembahasan yang dilaksanakan beserta rekomendasi guna perkembangan pada peneliti kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ula, A. Rahmadani, and P. Elektronika Negeri Surabaya, “Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya dengan Metode Incremental Conductance Menggunakan Zeta Konverter,” *Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 22, no. 1, pp. 1–20, 2023, doi: <https://doi.org/10.31358/techne.v22i1.334>.
- [2] R. O. Serfa Juan and Kim Jeha, “*Photovoltaic cell* Defect Detection Model based-on Extracted Electroluminescence Images using SVM Classifier,” in *International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication*, 2020, pp. 578–582.
- [3] A. Kurniawan, “Perancangan Model dan Simulasi Modul Sel Surya Paralel Menggunakan MATLAB,” *JURNAL TEKNIK MESIN, INDUSTRI, ELEKTRO DAN INFORMATIKA*, vol. 1, no. 3, pp. 146–151, 2022.
- [4] Y. Sakhinatul, D. Jatmiko, and E. Suseno, “Wireless sensor system untuk pengukuran daya listrik panel surya,” *Youngster Physics Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 221–228, 2017.
- [5] A. Giyantara, R. Bagja Rizqullah, and Wisyahyadi, “PENGARUH PARTIAL SHADING TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PANEL SURYA,” in *Prosiding Seminar Nasional Kahuripan I Tahun 2020*, Dec. 2020, pp. 280–283.
- [6] A. Azrin Fakhira, Sudarti, and Yushardi, “Analisis Pemanfaatan Panel Surya Tipe *Polycrystalline* 100 Wp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat Pedesaan Di Indonesia,” *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, vol. 02, no. 04, pp. 982–985, 2023, doi: <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1318>.
- [7] N. Huda, “ENERGI BARU TERBARUKAN *SOLAR CELL* SEDERHANA UNTUK SISTEM PENERANGAN RUMAH TANGGA,” *Jurnal Cahaya Bagaskara*, vol. 3, no. 1, pp. 6–10, 2018.
- [8] A. H. Andriawan and P. Slamet, “Tegangan Keluaran *Solar Cell* Type *Monocrystalline* Sebagai Dasar Pertimbangan Pembangkit Tenaga Surya,” *Jurnal Penelitian LPPM Untag*, vol. 02, no. 01, pp. 39–45, 2017.

- [9] Kementrian ESDM, “PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA NOMOR 53 TAHUN 2018,” 2018. [Online]. Available: www.peraturan.go.id
- [10] F. Afif and A. Martin, “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia,” *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022.
- [11] S. E. P. Pagan, I. D. Sara, and H. Hasan, “Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal dan Polykristal Studi Kasus Cuaca Banda Aceh,” *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, no. 4, pp. 19–23, 2018.
- [12] M. Siregar, N. Evalina, Cholish, Abdullah, and Moh. Z. Haq, “Analisa Hubungan Seri Dan Paralel Terhadap Karakteristik Solar Sel Di Kota Medan,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 94–100, 2021.
- [13] A. Gunadhi, D. Lestariningsih, and R. Sitepu, “PELATIHAN DAN IMPLEMENTASI TEKNOLOGI TENAGA SURYA UNTUK POMPA TANAMAN HYDROPONIK di RT 03 TAMBAK SEGARAN IV KELURAHAN TAMBAKREJO KECAMATAN SIMOKERTO KOTA SURABAYA,” *Jurnal Leverage, Engagement, Empowerment of Community (LeECOM)*, vol. 5, no. 1, pp. 35–42, 2023, doi: <https://doi.org/10.37715/leecom.v5i1.3619>.
- [14] A. M. A. Sabaawi, A. N. Khaleel, Z. S. Yahya, and A. M. A. Sabaawi, “Study of Efficiency-limiting Defects in Silicon Solar Cells,” in *11th International Renewable Energy Congress, IREC 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020. doi: 10.1109/IREC48820.2020.9310427.
- [15] J. Balzategui, L. Eciolaza, and N. Arana-Arexolaleiba, “Defect detection on Polycrystalline solar cells using Electroluminescence and Fully Convolutional Neural Network,” in *Proceedings of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 2020, pp. 949–953. doi: 10.1109/SII46433.2020.9026211.
- [16] S. Xiaoyu, Y. Liu, X. Xinghua, and C. Zhili, “Defect detection method for solar cells based on human visual characteristics,” in *Proceedings - 2020 5th*

- International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020, pp. 515–518. doi: 10.1109/ICMCCE51767.2020.00118.
- [17] X. Zhang, T. Hou, Y. Hao, H. Shangguan, A. Wang, and S. Peng, “Surface Defect Detection of *Solar Cells* Based on Multiscale Region Proposal Fusion Network,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62093–62101, Apr. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3074219.
- [18] N. Wiliani, A. Sani, and A. T. Andyanto, “KLASIFIKASI KERUSAKAN DENGAN JARINGAN SYARAF BACKPROPAGATION PADA PERMUKAAN *SOLAR PANEL*,” *JURNAL ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI KOMPUTER*, vol. 5, no. 1, pp. 89–94, 2019, doi: <https://doi.org/10.33480/jitk.v5i1.662>.
- [19] G. Widayana, “PEMANFAATAN ENERGI SURYA,” *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 9, no. 1, pp. 37–46, 2012, doi: <https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v9i1.2876>.
- [20] C. I. Cahyadi, I. G. A. A. Mas Oka, and D. Kusyadi, “EFEKTIFITAS KINERJA *SOLAR CELL* PADA PLTS DENGAN SUMBER 50WP,” *Jurnal Teknovasi*, vol. 07, no. 3, pp. 47–56, 2020.
- [21] I. K. R. Fibrina Firmandanu, I. G. B. W. Kusuma, and I. W. B. Adnyana, “Pengujian Kinerja Panel Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PT Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Bali,” *Jurnal METTEK*, vol. 5, no. 2, pp. 105–109, 2019, doi: 10.24843/mettek.2019.v05.i02.p07.
- [22] Madagaskar, A. Muin, M. Ali, and D. Istate, “ANALISA PENGARUH SUDUT DATANG SINAR MATAHARI TERHADAP KINERJA *SOLAR CELL* 50 Wp,” *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 100–104, 2021.
- [23] E. Fernandez and S. Prajapati, “A Study on the Influence of Open Circuit Voltage (Voc) and Short Circuit Current (Isc) on Maximum Power Generated in a *Photovoltaic* Module/Array,” in *2019 International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, IEEE, 2019. doi: 10.1109/UPCON47278.2019.8980284.

- [24] A. Pengaruh *et al.*, “Jurnal Mesil (Mesin, Elektro, Sipil,)” vol. 1, no. 2, pp. 99–106, 2020.
- [25] Z. Iqtimal, I. D. Sara, and D. Syahrizal, “APLIKASI SISTEM TENAGA SURYA SEBAGAI SUMBER TENAGA LISTRIK POMPA AIR,” *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [26] A. Ahmad, Muh. R. Akhdan, M. R. Ardiyansyah, and Usman, “RANCANG BANGUN *PHOTOVOLTAIC* SIMULATOR UNTUK PENGUJIAN KARAKTERISTIK PANEL SURYA,” in *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2021*, Telekomunikasi..., 2021.
- [27] H. M. Ali, E. A. Setiawan, A. Setiawan, and D. Siregar, “ANALYSIS ON SOLAR PANEL PERFORMANCE AND PV-INVERTER CONFIGURATION FOR TROPICAL REGION,” *Journal of Thermal Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 1259–1270, 2017, doi: 10.18186/journal-of-thermal-engineering.323392.
- [28] J. Sun, L. Wang, J. Li, F. Li, J. Li, and H. Lu, *Online oil debris monitoring of rotating machinery: A detailed review of more than three decades*, vol. 149. Academic Press, 2021. doi: 10.1016/j.ymsp.2020.107341.
- [29] Z. Wen, J. Hou, and J. Atkin, *A review of electrostatic monitoring technology: The state of the art and future research directions*, vol. 94. Elsevier Ltd, 2017. doi: 10.1016/j.paerosci.2017.07.003.
- [30] A. Hutahaean and A. S. Tamsir, “ANALISIS KAPASITANSI SENSOR DIELEKTRIK MENGGUNAKAN CDC (CAPACITANCE TO DIGITAL CONVERTER) AD7746,” 2013, Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://lontar.ui.ac.id/detail?id=20331581&lokasi=lokal>
- [31] H. M. Nur, P. A. Topan, T. Andriani, and A. Jaya, “PEMBUATAN ALAT PENGUKUR ARUS BERNILAI MICRO MENGGUNAKAN RESISTOR SHUNT DAN MODUL OP-AMP AD620,” *Jurnal Altron*, vol. 02, no. 01, pp. 46–53, 2023.
- [32] S. SADI and S. MULYATI, “MONITORING SUHU RUANGAN MENGGUNAKAN MODUL HC 05 BERBASIS ANDROID,” *Jurnal Teknik*, vol. 8, no. 2, pp. 50–55, 2019.

- [33] S. T. Subandi, M. A. Novianta, and D. F. Athallah, "RANCANG BANGUN PEMBATAAN PEMAKAIAN AIR MINUM BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 PRO MINI DENGAN SENSOR WATER FLOW YF-S204," *Jurnal Elektrikal*, vol. 8, no. 2, pp. 1–9, 2021, Accessed: Feb. 03, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/3734>
- [34] B. Febiyanto *et al.*, "PERANCANGAN ALAT PEMBERI PAKAN AYAM SECARA OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA16," *Jurnal Elektrikal*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2014, Accessed: Feb. 04, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2693>
- [35] M. Mario, B. P. Lapanporo, and M. Muliadi, "Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Penggunaan Daya Listrik Pada Beban Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler ATmega328P," *Jurnal Untan*, vol. 6, no. 1, pp. 26–33, 2018.
- [36] T. Hidayat, "Teknologi Deteksi dan Diagnosis Kerusakan pada PLTS," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO INSTITUT TEKNOLOGI PADANG*, vol. 9, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.21063/JTE.2020.3133903.
- [37] S. Miyajima, K. Nishioka, and Y. Hishikawa, "Non-contact Voltage Measurement of Solar Cell with Electrostatic Voltmeter," in *2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2017. doi: 10.1109/PVSC.2017.8366426.
- [38] R. Alfan, M. A. Kevin, S. Wardoyo, and I. Muttakin, "STUDI FAILURE DETECTION DAN JENIS CRACK PADA SOLAR CELL MENGGUNAKAN METODE ELECTROLUMINESCENCE BERBASIS PENGOLAHAN CITRA," *Jurnal Ilmiah SETRUM*, vol. 12, no. 1, 2023.
- [39] Y. Yan *et al.*, "Their principles and applications," *Electrostatic sensors*, vol. 169, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108506>.
- [40] S. Yu, B. Wang, and L. Dong, "Study on Micro Force Sensor and its Signal Acquisition System Based on Android and Arduino," *Wiley Online Library*, vol. 15, no. 9, 2020, doi: 10.1002/tee.23205.

- [41] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," *Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: <https://doi.org/10.24036/voteteknika.v8i2.109138>.