

Perancangan Deteksi Cacat Pada Layer Solar Cell Menggunakan Sensor Tegangan Static Permukaan Berbasis Bluetooth

Rocky Alfan¹, Imamul Muttaqin², Juan Carol³

[Submission: 28-06-2024, Accepted: 30-12-2024]

Abstract— This study highlights use of solar panels as a promising source of renewable energy due to the abundant availability of solar energy. However, solar cells often encounter various issues and damage, such as cracks, damage during transportation, and invisible defects that are difficult to detect. To address these issues, this research develops a defect detection tool for photovoltaic cells using a surface potential sensor connected via Bluetooth. This sensor works by detecting electrostatic field on the surface of the solar cells using a copper plate. The tool consists of several components, including an AD620 amplifier module to enhance the signal, an Arduino UNO as the microcontroller, and a Bluetooth HC-05 module to transmit data to an Android phone via Arduino Bluetooth Controller app. In testing, accuracy of the tool with a power supply input at three different distances 1mm, 3mm, and 5mm. In 1mm distance yielded better and more stable measurements, with a voltage range of 3.45V to 3.69V. In 3mm distance produced a voltage range of 3.31V to 3.54V, and the 5mm distance produced a voltage range of 2.76V to 2.99V. In testing tool under sunlight at a 1mm distance, the average voltage of normal cells was 3.534V, while voltage of damaged cells was 3.685V, indicating a difference of 0.151V. This research suggests that more cracks present in solar cells, the greater electrostatic field detected. The measurement data is then transmitted to an Android phone via Bluetooth HC-05, facilitating easier maintenance of the solar panels.

Intisari— Penelitian ini menyoroti penggunaan panel surya sebagai sumber energi terbarukan yang menjanjikan karena ketersediaan energi matahari yang melimpah. Namun, sel surya sering menghadapi berbagai masalah dan kerusakan seperti retak, kerusakan saat pengiriman, dan cacat tidak terlihat yang sulit dideteksi. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengembangkan alat pendeteksi cacat pada sel photovoltaic menggunakan sensor potensial permukaan yang terhubung dengan Bluetooth. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi medan elektrostatis pada permukaan sel surya menggunakan pelat 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. Pada pengujian akurasi alat dengan input power supply menggunakan 3 jarak yang berbeda, yaitu 1 mm, 3

mm, dan 5 mm. Pada jarak 1 mm menghasilkan pengukuran yang lebih baik dan stabil, yaitu memiliki nilai voltage 3,45V s.d. 3,69V. Sedangkan pada jarak 3 mm menghasilkan tegangan 3,31V s.d. 3,54V dan pada jarak 5 mm menghasilkan tegangan 2,76V s.d. 2,99V. Pada pengujian alat di bawah sinar matahari dengan jarak 1 mm, nilai voltage sel normal rata-rata adalah 3,534 V, sedangkan nilai sel yang rusak adalah 3,685 V, menunjukkan perbedaan sebesar 0,151 V. Penelitian ini mengindikasikan bahwa semakin banyak retak pada sel surya, semakin besar medan elektrostatis yang terdeteksi. Data pengukuran ini kemudian 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.

I. PENDAHULUAN

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 3x10²⁴ 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 p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

^{1, 2}Dosen, Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten 42435 (telp: +62254376712; fax: +62254376712; e-mail: rocky.alfanz@untirta.ac.id)

³Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten 42435 (telp: +62254376712; fax: +62254376712; e-mail: mjuancarol@gmail.com)



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.

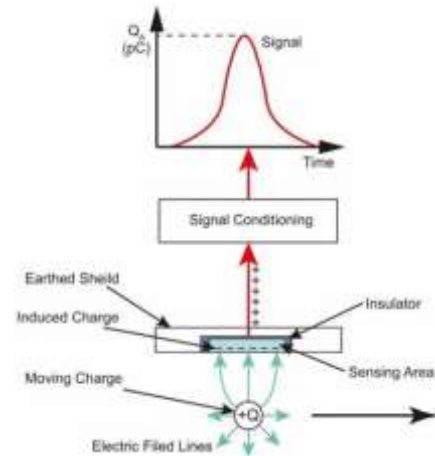
Pemeriksaan kualitas yakni langkah penting untuk mendeteksi kemungkinan cacat/kerusakan pada sel surya. Cacat ini dapat mengurangi efisiensi energi modul surya ataupun mengurangi efisiensi keseluruhan modul dan stabilitasnya dalam produksi energi dari waktu ke waktu [15]. *Quality control* banyak dilaksanakan 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 berdasarkan hasil pengukuran elektrostatisnya. Penggunaan elektrostatis dapat mendeteksi *crack* lebih akurat dikarenakan sensor yang digunakan memanfaatkan medan listrik dengan pengukuran di setiap *cell*-nya dengan indikator tegangan yang terukur.

II. STUDI PUSTAKA

A. Sensor Elektrostatis

Sensor elektrostatis yakni sensor pasif yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektrostatis. Dalam sistem pemantauan elektrostatis, sensor dipergunakan untuk mengidentifikasi perubahan dalam medan elektrostatis di wilayah deteksi, yang dipicu oleh pengaruh muatan yang berada di sekitarnya. Itu prinsip dasar pengukuran elektrostatis diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1: Sistem Pengukuran Elektrostatis

Berdasarkan Gambar 1 memperlihatkan bagaimana muatan yang bergerak menciptakan medan listrik yang dideteksi oleh sensor. Muatan seluler di bagian dalam probe sensor elektrostatis dapat berpindah ke segala arah secara bebas. Ketika partikel bermuatan melewati sensor elektrostatis, muatan seluler di dalam sensor bergerak karena dipengaruhi oleh medan yang dihasilkan oleh muatan eksternal, hingga mencapai permukaan probe sensor. Gerakan muatan dalam sensor menghasilkan aliran arus melalui kabel sinyal, dan sinyal tersebut dapat diukur oleh pengkondisi sinyal. Setelah partikel bermuatan menjauh dari sensor, muatan di dalam probe sensor kembali ke keadaan netral [29].

B. Arduino

Penelitian Arduino, yang yakni turunan dari platform *wiring*, yaitu *microcontroller single board* yang bersifat *open source* serta sangat populer saat ini. Tujuan Arduino yaitu untuk membuat proyek mikrokontroler menjadi lebih mudah bagi semua orang. Sistem Arduino terdiri dari sejumlah komponen penting yang berfungsi bersama untuk mendukung pengembangan proyek elektronik. Pertama dari segi *hardware chip* Atmel AVR yaitu mikrokontroler yang kuat dan hemat energi. Kedua, *software* yang dipergunakan untuk pengembangan Arduino berbasis pada bahasa pemrograman standar C, yang memungkinkan pengguna menulis kode yang efisien dan mudah dipahami. Selain itu, Arduino mempunyai *bootloader* yang sudah dipasang pada chip utamanya, yang memungkinkan memasukkan program ke dalam mikrokontroler dengan mudah tanpa harus menggunakan perangkat pemrogram khusus. Arduino yaitu platform yang sangat populer dan mudah diakses oleh pemula dan profesional dalam bidang elektronik dan pemrograman berkat kombinasi ketiga komponen ini [30].

Modul penguat yaitu perangkat elektronika yang dimaksudkan untuk meningkatkan sinyal listrik sehingga bisa menggapai taraf yang lebih tinggi serta kuat dari kondisi aslinya. Modul penguat terdiri dari dua potensiometer yang sangat penting, yang pertama dipergunakan untuk mengontrol *gain* penguatan, yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan tingkat amplifikasi sesuai dengan aplikasi. Potensiometer kedua mengatur *offset* tegangan keluaran, yang membantu mengontrol dan menstabilkan tegangan output sehingga sesuai dengan parameter yang diinginkan. Kombinasi kedua potensiometer ini membuat modul amplifier sangat berguna untuk berbagai aplikasi elektronik, seperti pengukuran, komunikasi, dan audio. Modul amplifier AD620 mempunyai kemampuan untuk beroperasi dalam dua *mode*, satu *mode* untuk penguatan tegangan satu polaritas, dan *mode differential* untuk penguatan dua polaritas. *Mode differential* biasanya dipergunakan untuk sensor seperti *bridge* sensor ataupun sensor lain yang menghasilkan keluaran beda ataupun *differential* [31].

D. Bluetooth HC-05

Bluetooth yakni sarana komunikasi yang memfasilitasi penghubungan antar perangkat komunikasi ke perangkat lainnya. Tujuan utamanya yaitu guna mempermudah proses pengiriman berkas dari perangkat elektronik yang dipergunakan guna berkomunikasi. Bluetooth yaitu suatu teknologi komunikasi nirkabel yang memungkinkan transfer data tanpa kabel. Ini bekerja di pita frekuensi 2,4 GHz, tepatnya antar 2.402 GHz serta 2.480 GHz, dan menggunakan *transceiver frequency hopping* yang bergerak dinamis di antara berbagai frekuensi dalam pita untuk mengurangi interferensi dan meningkatkan keandalan komunikasi. Dengan kecepatan transfer data yang baik dan penggunaan daya yang cukup rendah, bluetooth menjadi pilihan yang sempurna untuk berbaring. Bluetooth mempunyai jarak jangkauan yang terbatas, biasanya sekitar 10 meter untuk perangkat standar, tetapi dengan penggunaan daya yang lebih tinggi dan perangkat yang mendukung, dapat mencapai hingga 100 meter [32].

E. Modul RTC DS1307

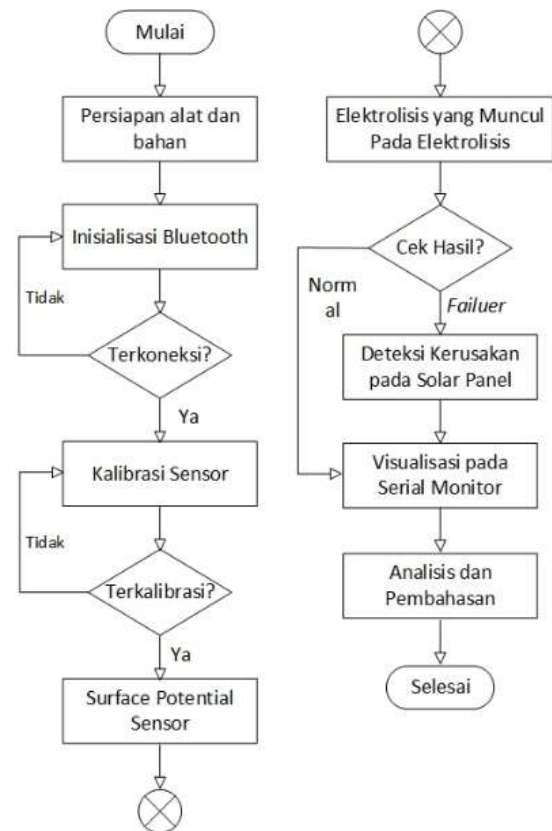
Modul RTC DS1307, salah satu jenis RTC, mempunyai kemampuan untuk menyimpan tanggal, bulan, tahun, menit, detik, dan jam [33]. DS1307 yaitu IC *Real-Time Clock* (RTC) *serial* yang dirancang untuk menyediakan fungsi pencatatan waktu yang sangat baik. Karena menggunakan jalur data dua arah I2C, IC ini cukup memerlukan 2 pin guna komunikasi: satu pin bagi data (SDA) serta satu pin bagi sinyal *clock* (SCL). Philips mengembangkan protokol komunikasi data serial I2C, yang sangat populer karena mudah dipergunakan dan efisien dalam menghubungkan berbagai perangkat. Dengan hanya dua jalur, I2C dapat menghubungkan beberapa perangkat pada satu bus, yang menjadikannya pilihan yang ideal untuk sistem yang mempunyai keterbatasan pin. Dalam berbagai aplikasi, seperti sistem penjadwalan, *log data*, dan perangkat elektronik lainnya yang memerlukan pencatatan waktu yang akurat, DS1307 memanfaatkan keunggulan ini untuk menyediakan waktu yang

akurat. I2C sangat populer karena sangat sederhana dan fleksibel, dan dapat berfungsi dengan berbagai kecepatan transfer data, yang membuatnya lebih bermanfaat untuk modul RTC DS1307 [34]. Penelitian ini menggunakan modul jam waktu real (RTC) untuk memperlihatkan data waktu tentang pemakaian daya secara real time. Modul RTC yang dipergunakan yaitu DS1307. Ini yaitu RTC serial yang hemat daya yang menawarkan penanggalan dan waktu pada format BCD (kode biner decimal), serta mempunyai SRAM guna penyimpanan data 56 *byte* [35].

III. METODOLOGI

A. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digambarkan pada flowchart penelitian dari awal sampai akhir sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 2: Flowchart Cara Kerja Alat

Flowchart tersebut menggambarkan tahapan-tahapan dalam pengolahan data sensor menggunakan mikrokontroler dan modul bluetooth. Proses dimulai dengan menginisiasi mikrokontroler, kemudian sensor diaktifkan untuk mengumpulkan data. Selanjutnya, modul bluetooth diaktifkan untuk memungkinkan pengiriman data secara nirkabel. Setelah nilai sensor diambil, sistem memeriksa apakah bluetooth berfungsi dengan baik. Jika tidak, proses inisiasi Bluetooth dan pembacaan sensor diulangi. Jika bluetooth berfungsi, data dikirim ke serial monitor. Setelah semua langkah selesai, proses berakhir dan sistem siap untuk memulai kembali atau menunggu instruksi berikutnya.



B. Perancangan Sensor Elektrostatik Menggunakan Plat Tembaga

Metode yang digunakan dalam sistem *fault detection photovoltaic* adalah menggunakan elektrostatik yang berguna untuk mendeteksi kerusakan pada panel surya berbasis bluetooth. Prinsip dasar medan elektrostatik didasarkan pada gaya elektrostatik dan Hukum Coulomb. Medan elektrostatik didefinisikan sebagai daerah sekitar suatu benda bermuatan di mana gaya elektrostatik dapat dirasakan oleh muatan lainnya. Hukum Coulomb menyatakan bahwa gaya elektrostatik antara dua muatan tergantung pada besar kedua muatan dan jarak di antara mereka. Lebih spesifiknya, gaya elektrostatik antara dua muatan sebanding dengan perkalian kedua muatan tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara mereka.

Oleh karena itu, jika muatan sejenis saling tolak-menolak, sedangkan jika muatan berlawanan, mereka saling tarik-menarik. Medan elektrostatik dihasilkan oleh muatan listrik. Ketika muatan listrik ditempatkan pada suatu benda atau titik, mereka menciptakan medan elektrostatik di sekitarnya. Medan ini diukur dalam satuan Newton per Coulomb. Dalam medan elektrostatik, muatan lain yang ditempatkan dalam medan ini akan merasakan gaya elektrostatik yang bekerja padanya. Gaya ini akan menggerakkan atau mengubah lintasan muatan tersebut.

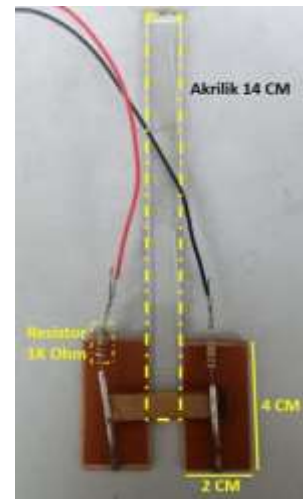
Prinsip dasar medan elektrostatik adalah bahwa medan ini mempengaruhi muatan lainnya dalam jarak tertentu. Medan elektrostatik bisa jadi terbentuk oleh muatan tetap di suatu benda, seperti muatan pada benda bermuatan atau listrik statis, atau oleh muatan bergerak, seperti pada kabel yang mengalirkan arus listrik. Jadi, prinsip dasar medan elektrostatik adalah tentang interaksi muatan listrik yang menciptakan medan elektrostatik di sekitarnya, yang pada gilirannya mempengaruhi muatan lain dalam medan tersebut.

Lempengan tembaga dapat digunakan untuk mendeteksi medan elektrostatik. Lempengan tembaga adalah konduktor yang baik, yang berarti mereka memiliki kemampuan untuk menghantarkan arus listrik dengan baik. Ketika ada medan elektrostatik di sekitarnya, seperti saat ada muatan listrik yang ditempatkan dekat dengan lempengan tembaga, medan elektrostatik ini akan menyebabkan muatan listrik pada lempengan tembaga berpindah.

Perubahan muatan ini dapat kita deteksi dalam bentuk perubahan tegangan atau arus yang mengalir. Sensor elektrostatik berfungsi untuk mendeteksi medan listrik statis dari suatu objek. Pada penelitian kali ini menggunakan Sensor Elektrostatik yang terbuat dari 2 plat tembaga berukuran 4x2 cm yang berfungsi untuk mengumpulkan medan listrik statis pada permukaan sel surya, bentuk dari plat tembaga dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari ilustrasi pada Gambar 3, Sensor elektrostatik berfungsi sebagai sensor pasif yang mendeteksi medan listrik statis di sekitar sel fotovoltaik. Sensor ini beroperasi tanpa sumber daya tambahan, mengandalkan medan listrik yang ada untuk menghasilkan sinyal. Ketika medan listrik statis terdeteksi, sensor menghasilkan sinyal yang merepresentasikan intensitas dan lokasi medan tersebut.

Setelah mendeteksi medan listrik, sensor terhubung dengan modul amplifier AD620 untuk memperkuat sinyal yang dihasilkan. Amplifier AD620 dipilih karena kemampuannya dalam memberikan penguatan yang tinggi dan akurasi yang



Gambar 3: Sensor Elektrostatik Menggunakan Plat Tembaga

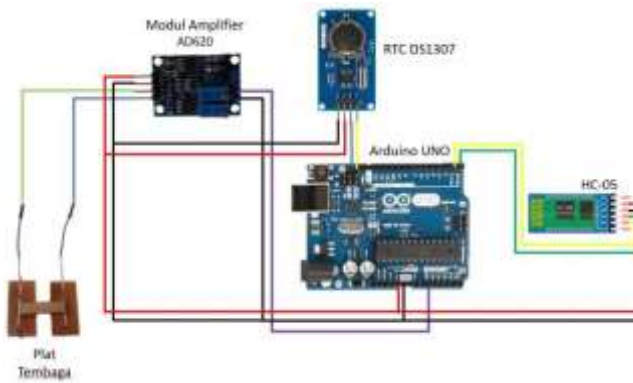
baik, yang sangat penting untuk mendeteksi variasi kecil dalam medan listrik yang dapat mengindikasikan adanya cacat atau retakan pada sel surya.

Sebelum sinyal dari sensor diteruskan ke modul amplifier, sensor dilengkapi dengan resistor bernilai 1 K Ω berfungsi sebagai pengaman. Resistor ini melindungi amplifier AD620 dari lonjakan tegangan yang tidak terduga yang mungkin dihasilkan oleh sensor. Dengan adanya resistor ini, integritas sinyal tetap terjaga dan modul amplifier terlindungi dari kerusakan potensial.

Setelah sinyal diperkuat oleh AD620, data tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk analisis lebih lanjut. Mikrokontroler bertugas menginterpretasi data dan menentukan apakah ada cacat atau retakan pada sel surya berdasarkan variasi dalam medan listrik yang terdeteksi oleh sensor. Data yang telah diolah kemudian dikirim melalui modul Bluetooth ke perangkat pemantau, seperti komputer atau smartphone, di mana hasilnya dapat ditampilkan dan dianalisis secara real-time.

Dengan kombinasi sensor elektrostatik, resistor 1 K Ω sebagai pelindung, dan amplifier AD620, sistem ini dapat mendeteksi cacat pada sel fotovoltaik secara efektif dan efisien. Metode ini menawarkan cara yang non-invasif dan akurat untuk memonitor kondisi sel surya, memastikan bahwa cacat atau kerusakan dapat diidentifikasi dan ditangani segera, sehingga meningkatkan efisiensi dan umur panjang dari sistem fotovoltaik.

Pengukuran medan listrik statis dengan menggunakan plat tembaga memerlukan pemasangan instalasi yang cermat. Saat melaksanakan pengukuran terhadap suatu objek, penting untuk menjaga jarak antara objek yang diukur dengan sensor elektrostatik dan objek lainnya, karena adanya potensi muatan dari objek lain dapat memengaruhi keluaran sensor dan mengakibatkan perbedaan dengan nilai sebenarnya. Hindari meletakkan benda yang tidak akan diukur di sekitar area pengukuran, dan pastikan kabel tidak menghalangi permukaan sensor yang dipergunakan untuk mendeteksi medan listrik statis. Gambar skematik alat dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 plat tembaga yakni komponen pengukur utama dalam penelitian ini. Perangkat tersebut membutuhkan perangkat keras tambahan berupa modul



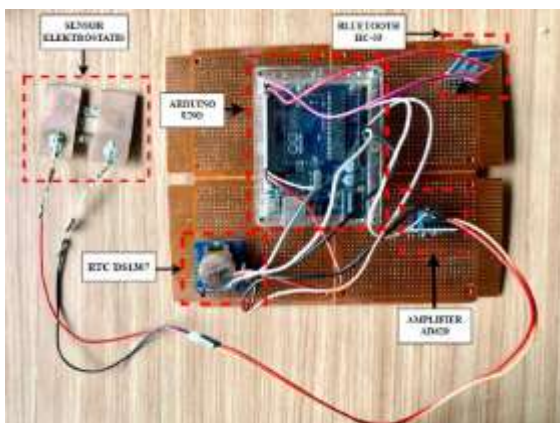
Gambar 4: Sensor Elektrostatik Menggunakan Plat Tembaga

amplifier ADD620 yang berfungsi sebagai penguat tegangan yang didapat dan mikrokontroler arduino uno sebagai pengendali dan pengolah hasil yang didapat. Berdasarkan rangkaian di atas, kabel keluaran sensor dihubungkan ke pin A0 input analog Arduino Uno.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Alat

Tujuan pada studi yaitu untuk membuat perancangan yang dapat mendeteksi cacat pada photovoltaic cell dengan menggunakan sensor potensi permukaan. Terdapat beberapa langkah yang harus dilaksanakan dalam perancangan alat, seperti perencanaan komponen dan pemrograman sistem. Berdasarkan referensi penelitian yang telah dibaca, dua plat tembaga dipergunakan untuk mengukur medan elektrostatis. berguna memproses informasi dari sensor serta menciptakan data yang dibutuhkan, kode program dibuat pada tahap pemrograman. Pasca proses penyusunan selesai, hasil design sudah dites serta dievaluasi guna memaksimalkan pembacaan medan elektrostatis saat pengujian di bawah sinar matahari. Pengujian dilaksanakan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor pada jarak 1 milimeter, 3 milimeter, dan 5 milimeter. Analisis ini bertujuan guna mengidentifikasi seberapa jauh alat dapat mengukur dengan tepat serta bisa dimanfaatkan. Bentuk fisik penyusunan alat bisa diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Hasil Perancangan Alat

Rocky Alfan: Perancangan Deteksi Cacat Pada...

Gambar 5 yakni bukti melalui perancangan deteksi cacat dalam *photovoltaic cell* menggunakan *surface potential sensor*. Pembuatan alat terdiri dari 2 buah plat tembaga yang dipergunakan sebagai sensor yang terhubung dengan resistor 1 K Ω dan modul amplifier sebagai penguat sinyal yang didapat dari sensor dan diolah menggunakan mikrokontroler arduino UNO kemudian hasil pengolahan data di arduino UNO dikirim ke serial monitor yang ada di handphone melalui sinyal bluetooth menggunakan modul HC-05 dan data yang tampilan di serial monitor ditambahkan timestamp menggunakan modul RTC DS1307, alat ini dipergunakan dengan cara mendeteksi medan elektrostatis pada sel surya dalam 1 row menggunakan plat tembaga supaya dapat di analisa apakah sel surya tersebut dalam kondisi baik ataupun cacat.

B. Perbandingan Data Pada Jarak 1mm, 3mm dan 5mm Dengan Input Power Supply

Berikut hasil perbandingan medan elektrostatis pada 1 row panel surya dengan jarak 1mm, 3mm, 5mm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Grafik Jarak 1mm, 3mm, 5mm

Pada Gambar 6 diatas terdapat hasil perbandingan jarak 1mm, 3mm dan 5mm. terlihat bahwasannya pengamatan pada jarak 1mm memperlihatkan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan jarak 3mm dan 5mm. Data yang dikumpulkan pada jarak 1mm memperlihatkan variasi *voltage* yang relatif kecil, dengan rentang nilai antara 3,45V s.d. 3,69V. Di sisi lain, pada jarak 3 mm, variasi *voltage* menjadi lebih mencolok dengan rentang antara 3,31V s.d. 3,54V, memperlihatkan variasi yang lebih besar antara pengukuran yang berbeda. Namun, ketika mempertimbangkan data dari jarak 5mm, fluktuasi *voltage* menjadi lebih signifikan, dengan rentang yang paling luas antara 2,76V hingga 2,99V. Hal ini memperlihatkan bahwasannya *voltage* cenderung menjadi lebih tidak stabil semakin jauh jarak pengukuran dari sumbernya, jadi dapat disimpulkan bahwasannya data *voltage* cenderung memperlihatkan ketidakstabilan yang lebih tinggi semakin jauh jarak pengukuran, dan pengamatan pada jarak 1 mm memperlihatkan karakteristik yang lebih stabil daripada pengamatan pada jarak 3mm dan 5mm.

C. Perbandingan Data 1mm dan 3mm di Bawah Matahari

Berikut hasil perbandingan medan elektrostatis pada 1 row panel surya dengan jarak 1mm dan 3mm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 7.





Gambar 7: Grafik Perbandingan Jarak 1mm dengan 3mm

Pada Gambar 7 di atas, perbandingan pada jarak 1mm dan 3mm memperlihatkan perbedaan yang signifikan pada nilai *voltage* yang dihasilkan. Perbedaan pada pengujian di jarak 1mm dan 3mm terdapat pada nilai *voltage* di setiap row nya. Pada pengujian dengan jarak 1mm nilai *voltage* cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian pada jarak 3mm. Sebagai contoh, pada row pertama pukul 11.00 s.d. 11.59 nilai *voltage* pada pengujian dengan jarak 1mm didapat pada range nilai 3 V s.d. 3,35 V. Sedangkan, nilai *voltage* pada row pertama di pengujian dengan jarak 3 mm didapat pada range nilai 2,7 V s.d. 3 V. Hal ini terjadi karena, dengan jarak 1mm yang dimana letak sensor lebih dekat dengan sel surya, maka perpindahan medan elektrostatis lebih mudah terbaca oleh sensor, sehingga nilai *voltage* yang didapat lebih tinggi dibandingkan dengan jarak 3 mm.

D. Perbandingan Data 3mm dan 5mm di Bawah Matahari

Berikut hasil perbandingan data jarak 3 mm dengan data jarak 5 mm. Hasil perbandingan bisa diperlihatkan pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8: Grafik Perbandingan Jarak 3mm dengan 5mm

Pada Gambar 8 di atas, perbandingan pada jarak 3mm dan 5mm memperlihatkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada nilai *voltage* yang dihasilkan. Perbedaan pada pengujian di jarak 3mm dan 5mm terdapat pada nilai *voltage* di setiap row-nya. Pada pengujian dengan jarak 3mm nilai *voltage* cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian pada jarak 5mm. Pada row pertama pukul 11.00 - 11.59 nilai *voltage* pada pengujian dengan jarak 3mm didapat pada range nilai 2,7 V s.d. 3 V. Sedangkan, nilai *voltage* pada row pertama di pengujian dengan jarak 5mm didapat pada range nilai 2,5 V s.d. 2,8 V. Perbedaan pada nilai *voltage* pada kedua pengujian dengan jarak 3mm dan 5mm tidak terlalu beda jauh, namun semakin jauh jarak sensor dengan panel surya maka nilai *voltage*-nya pun menghadapi penurunan.

E. Perbandingan Data 1mm dan 5mm di Bawah Matahari

Berikut hasil perbandingan medan elektrostatis pada 1 row panel surya dengan jarak 1mm dan 5mm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9: Grafik Perbandingan Jarak 1mm dengan 5mm

Pada Gambar 9 perbandingan pada jarak 1mm dan 5mm memperlihatkan perbedaan yang signifikan pada nilai *voltage* yang dihasilkan. Perbedaan pada pengujian di jarak 1mm dan 5mm terdapat pada nilai *voltage* di setiap row-nya. Pada pengujian dengan jarak 1mm nilai *voltage* cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian pada jarak 3mm. Sebagai contoh, pada row pertama pukul 11.00 s.d. 11.59 nilai *voltage* pada pengujian dengan jarak 1mm didapat pada range nilai 3 V - 3,35 V. Sedangkan, nilai *voltage* pada row pertama di pengujian dengan jarak 5mm didapat pada range nilai 2,5 V s.d. 2,8V. Hal ini terjadi karena, dengan jarak 1mm yang dimana letak sensor lebih dekat dengan sel surya, maka perpindahan medan elektrostatis lebih mudah terbaca oleh sensor, sehingga nilai *voltage* yang didapat lebih tinggi dibandingkan dengan jarak 5mm. Maka dapat disimpulkan, jarak sensor terhadap panel surya berpengaruh terhadap pembacaan nilai *voltage* yang didapat.

F. Perbandingan Data 1mm di Bawah Sinar Matahari dan 1mm Menggunakan Powersupply

Berikut hasil perbandingan medan elektrostatis pada 1 row panel surya dengan jarak 1mm dibawah sinar matahari dan 1mm menggunakan *powersupply*. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10: Grafik Perbandingan Jarak 1mm dibawah sinar matahari dengan menggunakan *powersupply*

Pada gambar 10 diatas dapat diperlihatkan perbandingan antara data 1mm sumber matahari dan 1mm *powersupply* mengungkapkan perbedaan yang mencolok dalam karakteristik dan stabilitasnya. Pada jarak 1mm dari sumber matahari, tegangan yang tercatat cenderung fluktuatif dalam interval waktu tertentu. Di sisi lain, data dari *powersupply* 1mm

memperlihatkan kestabilan yang lebih baik pada jarak yang sama, dengan tegangan yang dihasilkan cenderung tetap relatif konstan. Selain itu, terdapat perbedaan yang mencolok dalam stabilitas waktu antara kedua sumber tersebut. Data dari *powersupply* 1mm memperlihatkan tingkat kestabilan yang meningkat seiring berjalannya waktu, dengan fluktuasi yang minimal, sementara sumber matahari memperlihatkan fluktuasi yang lebih acak dan sulit diprediksi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwasannya meskipun keduanya menghasilkan tegangan serupa pada jarak 1mm, *powersupply* memperlihatkan keunggulan dalam kestabilan dan konsistensi tegangan.

G. Perbandingan Data Pengujian Pada Sel Normal Dan Sel Crack

Berikut hasil perbandingan medan elektrostatis pada 1 row panel surya dengan jarak 1 mm data sel normal dan sel crack. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11: Grafik Perbandingan Jarak 1mm data sel normal

Dapat dilihat pada Gambar 11 data pengujian dalam 1 row *photovoltaic* modul yang terdapat 9 Sel pada 1 row. Pengujian sel 1 sensor elektrostatis membaca nilai 3,54 V pada jam 10:22:24 WIB, pengujian sel 2 sensor elektrostatis membaca nilai 3,55 V pada jam 10:28:54 Wib, pengujian sel 3 sensor elektrostatis membaca nilai 3,54 V pada jam 10:35:24, pengujian sel 6 sensor elektrostatis membaca nilai 3,53 V pada jam 10:54:55, pengujian sel 8 sensor elektrostatis membaca nilai 3,51 V pada jam 11:07:55. Dapat disimpulkan pada saat pendeteksian di sel 1, 2, 3, 6 dan 8 didapatkan nilai rata-rata 3,534 V, dan Saat pendeteksian sel 4, 5, 7, 9 terjadi perubahan nilai pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12: Grafik Perbandingan Jarak 1mm data sel crack

Pada Gambar 12 dapat dilihat pada sel 4, 5, 7, 9 terjadi perubahan nilai pada grafik karena kenaikan nilai *voltage*. Pengujian sel 4 sensor elektrostatis membaca nilai 3,69 V pada jam 10:40:49 Wib, Pengujian sel 5 sensor elektrostatis membaca nilai 3,69 V pada jam 10:47:19 Wib, Pengujian Sel 7 sensor elektrostatis membaca nilai 3,69 V pada jam 11:00:20 Wib, Pengujian Sel 9 sensor elektrostatis membaca nilai 3,67 V pada jam 11.13.20 Wib. Dapat disimpulkan pada saat pendeteksian di sel 4, 5, 7, 9 didapatkan nilai rata-rata 3,685 V.

Perbandingan data dalam 1 row pengujian saat sensor mendeteksi sel normal pada sel 1, 2, 3, 6, 8 dengan nilai rata-rata 3,534 V, dan saat sensor mendeteksi sel crack pada sel 4, 5, 7, 9 dengan nilai rata-rata 3,685 V. Perubahan nilai *voltage* senilai 0,151 V pada saat pengujian sel normal dan crack dalam 1 row. Terjadinya kenaikan nilai medan elektrostatis ini karena adanya sel *crack* yang menyebabkan aliran medan listrik didalamnya menjadi tidak terarah ataupun tidak pada jalurnya, hal inilah yang membuat saat sensor mendeteksi sel crack nilai medan elektrostatisnya menjadi lebih tinggi.

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, merancang dan mengembangkan detektor cacat pada sel fotovoltaik menggunakan sensor potensial permukaan. Alat ini menggunakan pelat tembaga sebagai pendeteksi dan pengukur medan elektrostatis yang dibantu dengan modul penguat sinyal AD620 untuk memudahkan pembacaan sensor. Sensor ini efektif mendeteksi medan elektrostatis, di mana medan yang lebih besar menunjukkan adanya retakan pada sel surya. Pengujian dilakukan antara sensor dan sel surya dengan 3 jarak yang berbeda, yaitu 1mm, 3mm, dan 5mm menunjukkan hasil pendeteksian medan elektrostatis yang diukur lebih rendah jika jarak antara sensor dan sel surya lebih kecil seperti pada pengujian alat dengan jarak 1mm menghasilkan tegangan 3,45V s.d. 3,69V, sedangkan pada jarak 3mm menghasilkan tegangan 3,31V s.d. 3,54V, dan pada jarak 5mm menghasilkan tegangan 2,76V s.d. 2,99V. Saat terdapat retakan pada sel surya, medan elektrostatis akan terdeteksi lebih besar dibandingkan dengan sel surya normal, medan elektrostatis yang dihasilkan pada sel surya rusak menghasilkan tegangan 3,685V, sedangkan pada sel surya normal menghasilkan tegangan 3,534V. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran medan elektrostatis pada sel surya antara lain intensitas sinar matahari yang mengenai sel surya dalam satu baris, serta benda-benda yang menutupi panel surya atau sensor selama proses pendeteksian. Hasil temuan penelitian ini mencakup penyusunan detektor cacat pada sel fotovoltaik menggunakan sensor potensial permukaan.

REFERENSI

- [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, "Photovoltaiccell 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] Kementerian 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 Polikristal 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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/ICMCCES1767.2020.00118](https://doi.org/10.1109/ICMCCES1767.2020.00118).
- [17] X. Zhang, T. Hou, Y. Hao, H. Shanguan, 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](https://doi.org/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. Kusyudi, "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](https://doi.org/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](https://doi.org/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 PHOTOVOLTAICSIMULATOR 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1109/PVSC.2017.8366426).
- [38] R. Alfanz, 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>