



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Desain Pemantauan Energi Surya *Real Time* Berbasis Arduino Cloud

Suwitno^{a*}, Bijujent Hutabarat^b, Nurhalim Dani Ali^c, Iswadi Hasyim Rosma^d, Romy^e, Anisa Yulvi Azni^f

^{a,b,c,d} Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

^e Fakultas Teknik, Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

^f Fakultas Keperawatan Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 09 Mei 2025

Revisi Akhir: 27 Juni 2025

Diterbitkan Online: 29 Juni 2025

KATA KUNCI

ACS712 Sensor,
Voltage Sensor,
Zero Crossing Detector,
Phase Difference,
Arduino,
Cloud Storage

*KORESPONDENSI

Telepon: 08126850826

E-mail: Suwitno@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Saat ini, panel surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan dalam beberapa tahun terakhir. Panel surya berfungsi untuk mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik, yang menghasilkan arus searah (DC). Namun, panel surya memiliki sejumlah keterbatasan, sehingga pemantauan kinerja sistem fotovoltaiik (PV) secara efektif menjadi aspek penting dalam pemanfaatan energi matahari. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan perancangan sistem pemantauan panel surya yang efektif. Sistem ini mencakup pengukuran tegangan DC dan AC pada panel surya serta konverter, arus DC dan AC pada inverter, faktor daya ($\cos \theta$), frekuensi, dan intensitas energi matahari. Dalam tulisan ini, sistem pemantauan yang dirancang melibatkan penggunaan rangkaian pembagi tegangan, sensor arus ACS712, rangkaian detektor titik nol, rangkaian pembeda fasa, ESP8266, Arduino, LCD 20x4, dan penyimpanan berbasis *cloud*. Energi total yang tercatat dari panel surya selama 12 jam pengamatan adalah sebesar 42,68 Wh. Setiap pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat kesalahan rata-rata yang lebih kecil atau sama dengan 3,2%, dengan kecepatan pemrosesan data yang memerlukan waktu sekitar 4 hingga 5 detik untuk menghasilkan satu data pemantauan. Penyimpanan berbasis *cloud* sangat membantu dalam menyimpan data dalam jumlah besar dan memungkinkan pemantauan jarak jauh secara *real-time*.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber daya terbarukan untuk menghasilkan listrik semakin meningkat dengan panel surya menjadi salah satu pilihan yang paling populer digunakan dari hari ke hari [1]. Panel surya atau yang sering disebut modul surya merupakan komponen utama dalam sistem PLTS, panel surya ini berfungsi untuk mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotolistrik, energi yang dihasilkan adalah arus searah (DC) [2]. Pembangkitan energi surya memiliki potensi yang sangat besar untuk mengatasi masalah kelangkaan energi yang disebabkan oleh menipisnya sumber energi konvensional seperti batubara, gas, dll [3]. Namun, ada beberapa kelemahan yang dimiliki panel surya ini, yang memiliki masalah umum, antara lain sistem terlalu panas, retak, rusak dan juga titik panas pada panel surya, ditambah lagi

panel surya harus dipantau, jika dilakukan secara manual akan merepotkan, apalagi jika pemantauan jarang dilakukan [4].

Monitoring ini dilakukan untuk melihat, memantau jalannya sistem, saat perangkat sedang berjalan, dan menilai pencapaian tujuan, serta melihat faktor pendukung dan penghambat pelaksanaan program [5]. Hasil peninjauan lapangan menunjukkan banyak kerusakan pada modul photovoltaic akibat kurangnya perawatan, yang berdampak pada menurunnya performa PLTS. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan sistem monitoring berbasis web dengan modul WiFi dan mikrokontroler yang merekam data dari sensor panel surya ke dalam database. Sistem ini memungkinkan pemantauan jarak jauh yang lebih efektif, memudahkan analisis performa dan perawatan melalui konektivitas internet [6]. Untuk menyimpan data monitoring, penggunaan *cloud storage* mempunyai kelebihan yaitu penggunaan storage yang

scalable yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna, penambahan kapasitas storage yang cepat, perbaikan sistem yang lebih mudah dan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan penggantian sumber daya perangkat keras di banyak tempat [7].

Cloud storage merupakan media penyimpanan data yang memanfaatkan teknologi awan atau internet (online) sehingga kita hanya memerlukan gadget dan koneksi internet untuk dapat mengoperasikannya [8].

Pada perancangan ini dibutuhkan komponen yang dapat membantu dalam melakukan monitoring energi fotovoltaik. Pengukuran tegangan, arus, daya, beda fasa dan frekuensi sangatlah penting. Penggunaan sensor arus ACS712 merupakan salah satu alat yang tepat untuk mengukur arus listrik baik dalam bentuk AC maupun DC. Cara kerja sensor ini yaitu arus yang terbaca mengalir melalui kawat tembaga yang ada di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh *Integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan yang proporsional [9]. Sensor tegangan merupakan sensor yang digunakan untuk menghitung dan memonitor besarnya tegangan pada suatu objek [10].

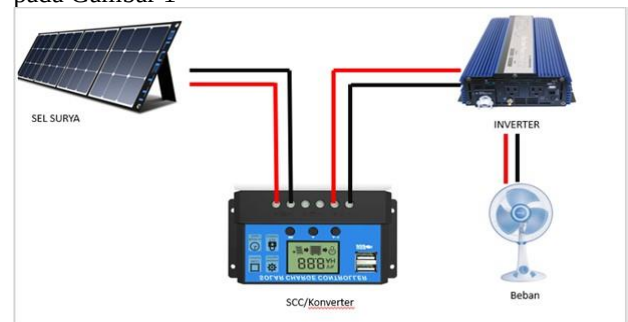
Frekuensi adalah jumlah kali suatu peristiwa terjadi selama periode waktu tertentu. Untuk menghitung frekuensi, seseorang menetapkan interval waktu, menghitung jumlah kejadian peristiwa yang terjadi, dan membaginya dengan interval waktu [11]. Detektor *zero cross* adalah rangkaian yang dapat digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus AC 220 volt ketika melewati titik tegangan nol. Perpotongan titik nol yang dapat dideteksi adalah transisi dari polaritas positif ke polaritas negatif dan sebaliknya [12]. Data merupakan komponen esensial dalam proses analisis dan prediksi, serta menjadi dasar dalam pembentukan informasi yang akurat. Berbagai platform, baik berbasis daring (cloud) maupun luring (offline), telah dikembangkan untuk mendukung proses akuisisi, penyimpanan, dan visualisasi data, termasuk sistem yang mengintegrasikan teknologi IoT dan server. Di antara berbagai perangkat pencatat data (data logger), Arduino menjadi salah satu pilihan populer karena biaya implementasi yang rendah, fleksibilitas pemrograman, serta ketersediaan modul tambahan yang luas. Untuk mengimplementasikan fungsi pencatatan data ke kartu SD, mikrokontroler Arduino harus memiliki dukungan terhadap antarmuka SPI (Serial Peripheral Interface) serta kapasitas memori yang cukup untuk menangani buffer data dan instruksi program secara efisien [13].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah alat monitoring energi fotovoltaik yang mampu menampilkan kondisi sistem fotovoltaik dengan baik. Dimana nantinya alat ini dapat digunakan sebagai salah satu alat dalam melakukan penelitian tentang efektivitas sistem energi fotovoltaik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Photovoltaic

Teknologi fotovoltaik (PV) merupakan salah satu teknologi yang paling dominan dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, meskipun konsep dasar mengenai fenomena efek fotolistrik telah dikenal sejak dua abad yang lalu melalui eksperimen sel elektrolitik berbahan fotosensitif yang dilakukan oleh Alexander Edmond Becquerel pada tahun 1839 [14]. Untuk mengonversi energi listrik yang dihasilkan oleh teknologi fotovoltaik, sistem ini memerlukan beberapa komponen tambahan agar energi listrik tersebut dapat disalurkan ke beban. Komponen-komponen tersebut meliputi sel surya, konverter, dan inverter, dengan susunan yang dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Susunan aliran sistem PV hingga sampai ke beban

Gambar 1 mengilustrasikan alur sistem, di mana output dari sel surya terlebih dahulu dikoneksikan ke konverter DC-DC untuk pengaturan tegangan, kemudian diteruskan ke inverter yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), sebelum akhirnya dialirkan ke beban.

2.1.1. Sel Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit energi listrik yang bekerja dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber utama energinya. Energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi diubah menjadi energi listrik melalui proses konversi yang dilakukan oleh perangkat khusus yang disebut sel surya. PLTS termasuk ke dalam kategori pembangkit energi terbarukan, yaitu jenis energi yang bersumber dari alam dan dapat diperbarui secara alami dalam jangka waktu yang relatif singkat. Selain itu, teknologi ini juga dikenal ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon atau polusi lain yang merusak atmosfer bumi, sehingga sangat relevan dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil [14].

Komponen utama dalam sistem PLTS adalah sel surya atau sel fotovoltaik. Istilah *fotovoltaik* berasal dari bahasa Inggris "photovoltaic", yang merupakan gabungan dari kata "photo" yang berarti cahaya, dan "volt" yang merupakan satuan tegangan listrik. Sel surya dirancang untuk menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik secara langsung melalui efek fotovoltaik [14].

Sel surya merupakan lapisan tipis yang disusun dari material semikonduktor, terutama silikon (Si) murni, serta dikombinasikan dengan jenis semikonduktor lainnya yang dirancang secara khusus. Prinsip kerja dari sel surya ini didasarkan pada efek fotovoltaiik, di mana ketika material semikonduktor menerima energi dari foton cahaya matahari, energi tersebut akan menyebabkan elektron-elektron dalam ikatan atom semikonduktor tereksitasi. Akibatnya, elektron-elektron tersebut menjadi bebas dan dapat bergerak, menghasilkan arus listrik. Proses ini menghasilkan tegangan listrik dalam bentuk arus searah (DC) yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik [2].

2.1.2. Konverter

DC-DC converter, yang juga sering disebut sebagai DC chopper, adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) yang bersifat konstan menjadi tegangan keluaran yang nilainya dapat diatur atau divariasikan sesuai kebutuhan. Konverter ini memiliki berbagai jenis topologi yang disesuaikan dengan tujuan penggunaannya, antara lain:

1. Buck Converter – Merupakan jenis konverter yang menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah dibandingkan dengan tegangan masukannya. Topologi ini digunakan ketika beban hanya memerlukan tegangan yang lebih kecil dari sumber utama.
2. Boost Converter – Kebalikan dari buck converter, topologi ini dirancang untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan input. Umumnya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan peningkatan tegangan.
3. Buck-Boost Converter – Topologi ini lebih fleksibel karena dapat menghasilkan tegangan keluaran yang bisa lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan input, tergantung pada pengaturan rangkaiannya. Konverter jenis ini berguna ketika sistem memerlukan tegangan yang bervariasi dari sumber tetap [15].

2.1.3. Inverter

Inverter merupakan perangkat konversi daya yang berfungsi mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan besaran tegangan dan frekuensi yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Apabila tegangan DC dapat dikendalikan, maka inverter dengan rasio tegangan DC terhadap AC yang tetap dapat digunakan. Namun, jika tegangan DC input bersifat tetap dan tidak dapat diatur, maka pengaturan tegangan output AC dari inverter dapat dilakukan melalui teknik modulasi lebar pulsa (PWM) [16].

2.1.4. Sensor ACS712

Sensor ACS712 merupakan jenis sensor arus yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur besar arus listrik yang mengalir melalui terminal blok. Sensor ini mampu mengukur arus dalam dua arah, baik arus positif maupun negatif, dengan rentang pengukuran mulai dari -30 ampere hingga 30 ampere. "Sensor arus ACS712 memiliki kapasitas pengukuran hingga 5 ampere dengan

karakteristik sensitivitas sebesar 100 mV/A, yang menunjukkan perubahan tegangan output sebesar 100 milivolt untuk setiap ampere arus yang terukur [17]. Gambar 3 berikut memperlihatkan bentuk fisik dari sensor ACS712.

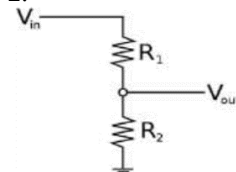


Gambar 3. Sensor ACS712 [17]

Sensor ACS712 memiliki akurasi tinggi dalam pembacaan arus karena dilengkapi dengan rangkaian *Hall Effect* linear ber-*offset* rendah dan jalur tembaga internal. Prinsip kerjanya didasarkan pada medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui jalur tembaga, yang kemudian dideteksi oleh IC *Hall* terintegrasi dan dikonversi menjadi tegangan proporsional. Akurasi pengukuran ditingkatkan melalui penempatan komponen internal seperti konduktor dan *transduser Hall* dalam jarak yang sangat dekat.

2.1.5. Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan adalah sebuah konfigurasi elektronik yang terdiri dari dua atau lebih resistor yang disusun secara seri, kemudian dihubungkan ke sumber tegangan searah (DC) sebagai tegangan input (V_{in}). Tegangan output (V_{out}) dari rangkaian ini diperoleh dari titik sambungan di antara dua resistor, dengan salah satu ujungnya terhubung ke ground. Fungsi utama rangkaian ini adalah untuk menurunkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah, sesuai kebutuhan. Tegangan keluaran ini kemudian dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti memberi sinyal referensi, menyesuaikan level tegangan untuk sensor, atau sebagai bagian dari rangkaian pengukur dan kendali [18]. Adapun rangkaian pembagi tegangan disajikan gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Pembagi Tegangan [18]

Berdasarkan Gambar 2, prinsip kerja rangkaian pembagi tegangan dapat dijelaskan melalui sebuah persamaan, di mana tegangan keluaran (V_{out}) merupakan hasil dari arus listrik (I) yang mengalir melalui dua resistor, yaitu R_1 dan R_2 . Tegangan sumber (V_{in}) sendiri merupakan penjumlahan dari tegangan yang jatuh pada masing-masing resistor, termasuk tegangan keluaran (V_{out}). Oleh karena itu, persamaan pembagi tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{in}} \quad (1)$$

Dimana :

V_{out} = tegangan output (V)

V_{in} = tegangan input (V)

R_1 = hambatan 1 (Ohm)

R_2 = Hambatan 2 (Ohm)

2.1.6. Daya

Daya listrik merupakan laju aliran energi listrik per satuan waktu, yang secara umum dinyatakan dalam satuan joule per detik atau watt. Simbol yang digunakan untuk menyatakan daya adalah huruf P, di mana satu watt didefinisikan sebagai energi sebesar satu joule yang dihantarkan setiap detik [19].

Pada rangkaian arus searah (DC), daya listrik dapat dihitung dengan mengalikan tegangan dengan arus yang mengalir dalam rangkaian. Hubungan ini dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (2)$$

dimana;

P = daya (W)

V = tegangan (V)

I = Arus (A)

Pada rangkaian arus bolak-balik (AC), daya listrik diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu daya semu, daya aktif, dan daya reaktif. Daya semu merupakan total daya yang disuplai oleh sumber pembangkit, dan dinyatakan dalam satuan volt-ampere (VA). Daya aktif adalah daya yang benar-benar digunakan oleh beban untuk melakukan kerja, dengan satuan watt (W). Sementara itu, daya reaktif adalah daya yang tidak digunakan secara langsung oleh beban, namun tetap mengalir dalam sistem, dan satuannya adalah volt-ampere reaktif (VAR). Perhitungan daya aktif dalam sistem arus bolak-balik dapat dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$P = V \times I \times \cos\theta \quad (3)$$

Dimana;

P = daya (W)

V = tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos\theta$ = faktor daya

2.1.7. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbesar yang tersedia di alam dan memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara optimal. Untuk mendayagunakan energi ini, dikembangkan suatu perangkat khusus yang disebut **panel surya**, yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatan energi matahari. Panel-panel surya tersebut kemudian disusun secara sistematis menjadi suatu instalasi yang dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Secara umum, PLTS adalah sistem yang terdiri dari berbagai komponen yang bekerja secara terintegrasi untuk menangkap radiasi sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC) [20]. Teknologi fotovoltaik dalam sistem ini

memiliki dampak lingkungan yang sangat rendah dibandingkan pembangkit berbahan bakar fosil, sehingga menjadikannya salah satu solusi yang populer di bidang energi terbarukan [21]. Nilai energi listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_{\text{total}} = \sum_{t=1}^n (P(t) \times \Delta t) \quad (4)$$

dimana;

$P(t)$ = daya (W)

Δt = perubahan waktu (H)

2.1.8. Faktor Daya

Faktor daya (Power Factor/PF) merupakan rasio antara daya nyata (P), yang dinyatakan dalam satuan Watt, dengan daya semu (S), yang diukur dalam satuan Volt-Ampere (VA). Dalam representasi diagram daya, faktor daya ditunjukkan sebagai nilai cosinus dari sudut fase antara vektor daya aktif dan daya semu. Nilai PF ini mencerminkan seberapa efisien energi listrik digunakan dalam suatu sistem, di mana semakin mendekati nilai 1, maka semakin efisien pemanfaatan energinya [22]. Faktor daya dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$PF = \frac{VI \cos\theta}{VI} = \cos\theta \quad (5)$$

2.1.9. Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah peristiwa yang terjadi berulang kali dalam suatu periode waktu tertentu. Untuk menghitung frekuensi, jumlah kejadian dibagi dengan waktu yang ditentukan [11]. Frekuensi diukur dalam satuan Hertz (Hz), yang diambil dari nama ilmuwan fisika Jerman, Heinrich Rudolf Hertz. Rumus frekuensi dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{T} \quad (6)$$

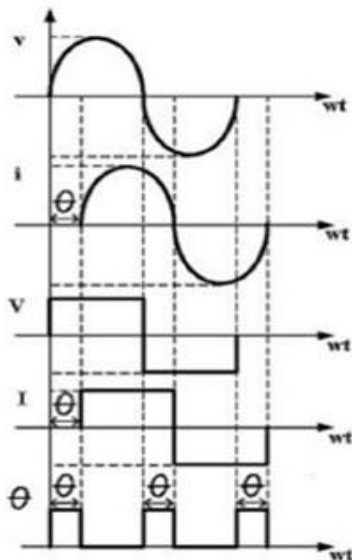
Keterangan

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode gelombang (s)

2.1.10. Zero Crossing Detector

Zero Crossing Detector berfungsi untuk mengidentifikasi perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan yang menuju beban. Deteksi sudut fasa dilakukan dengan memanfaatkan komparator dan gerbang logika XOR. Komparator berperan dalam mendeteksi saat arus dan tegangan melewati titik nol. Sementara itu, gerbang logika XOR digunakan untuk menentukan selisih sudut fasa. Nilai selisih sudut fasa diperoleh dengan mengukur selang waktu antara sinyal naik dan turun yang dihasilkan oleh keluaran gerbang XOR [12].

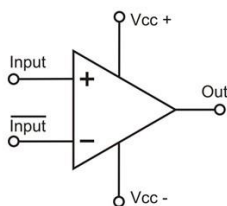


Gambar 4. Input dan Output pada Metode Zero Crossing Detector [12]

Pada Gambar 4, terlihat bahwa rangkaian ini mengubah sinyal masukan AC menjadi sinyal berbentuk kotak. Rangkaian ini memerlukan komponen komparator dan gerbang logika XOR. Komparator berfungsi untuk mendeteksi saat tegangan dan arus melewati titik nol. Sementara itu, gerbang XOR digunakan untuk mengukur perbedaan sudut fasa. Perbedaan sudut fasa dihitung berdasarkan selang waktu antara tegangan naik dan turun pada output gerbang XOR [12].

2.1.11. Komparator

Komparator adalah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk membandingkan dua tegangan input dan memberikan output berdasarkan tegangan yang lebih tinggi. Dengan memanfaatkan penguatan tinggi dari Op-Amp, komparator menghasilkan output nol jika tegangan input (-) lebih besar dari input (+), dan output VCC jika tegangan input (-) lebih kecil dari input (+) [23][24].



Gambar 5. Komparator [23]

Gambar 5, fungsi utama sebagai komparator adalah untuk membandingkan dua tegangan input (V_+ dan V_-) dan menghasilkan output sesuai dengan perbandingan tegangan tersebut. Prinsip kerja komparator adalah sebagai berikut:

$$V_{in(+)} > V_{in(-)} \text{ ,maka } V_o = V_{CC}$$

$$V_{in(+)} < V_{in(-)} \text{ ,maka } V_o = 0$$

2.2. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan mikrokontroler yang dapat digunakan sebagai salah satu perangkat yang berguna untuk mengendalikan berbagai sistem atau piranti [25].

Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560, yang dilengkapi dengan IC mikrokontroler. Papan ini memiliki 54 pin I/O, dengan 15 pin untuk keluaran PWM, 16 pin untuk input analog, dan 4 pin untuk UART. Mikrokontroler ini juga dilengkapi dengan kristal 16 MHz dan dapat disuplai daya melalui kabel USB, jack DC dengan adaptor 7–12 V, atau konektor lainnya. Gambar 6 menunjukkan bentuk dari Arduino Mega 2560.



Gambar 6. Arduino Mega 2560 [25]

Pada Arduino, terdapat dua jenis pembacaan, yaitu sinyal analog dan sinyal digital. Untuk sinyal analog, Arduino membaca nilai yang bervariasi dari sensor yang mengirimkan sinyal. Nilai tersebut diubah menjadi nilai ADC dalam rentang 0 hingga 1023, sesuai dengan tegangan maksimum 5V DC yang dimiliki Arduino, sehingga 1023 pada ADC setara dengan 5V. Berdasarkan hal ini, rumus untuk membaca nilai tegangan yang masuk ke Arduino adalah sebagai berikut [26]:

$$\text{Nilai ADC terbaca} = \text{AnalogRead}(\text{pinAnalog})$$

$$\text{Tegangan sensor} = (\text{Nilai ADC sensor} \times 5) / 1023 \quad (7)$$

Fungsi AnalogRead dalam rumus di atas digunakan untuk membaca nilai ADC. Sementara itu, pembacaan sinyal digital pada Arduino hanya memiliki dua nilai, yaitu 1 dan 0, atau ON/OFF, yang umumnya digunakan untuk mengontrol perangkat seperti lampu atau saklar.

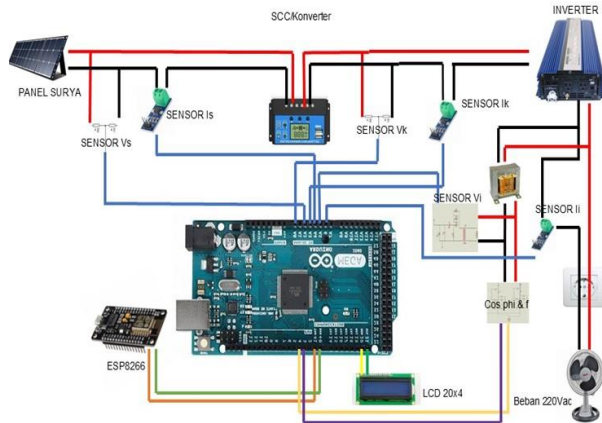
3. METODOLOGI

Komponen yang digunakan pada perancangan monitoring ini disusun pada objek yang dimonitoring dimana sensor arus dc ACS712 dan sensor tegangan dc dipasang pada panel surya dan konverter. Dengan menggunakan kedua sensor tersebut didapatkan nilai arus, tegangan dan daya. Sedangkan untuk inverter sendiri dipasang rangkaian sensor tegangan ac, sensor arus ac ACS712, rangkaian beda fasa sebagai pembaca nilai $\cos \phi$ dan rangkaian *zero crossing detector* sebagai pembaca nilai frekuensi. Rangkaian sensor yang dipasang pada inverter mendapatkan nilai arus ac, tegangan ac, $\cos \phi$, frekuensi dan daya.

Kemudian hasil nilai yang terbaca dari masing-masing sensor diolah pada Arduino dan ditampilkan pada LCD. Untuk menyimpannya ke *cloud storage*, ESP8266 bekerja menangkap hasil data dari arduino dan mengirimkannya ke *cloud storage*. ESP8266 mengirimkan data tersebut ke *thingspeak* sebagai tampilan monitoring energi fotovoltaik

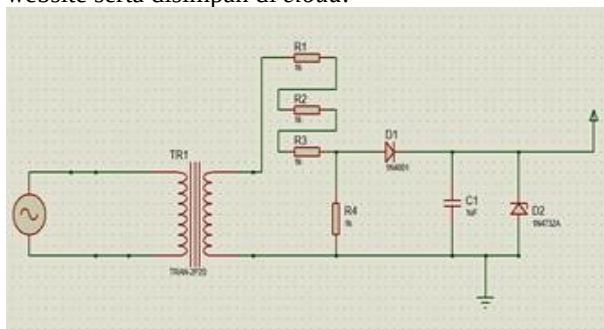
real time berbasis web dan mengirimkan hasilnya ke google drive sebagai cloud storage.

Tulisan ini juga menggunakan proteus sebagai simulasi rangkaian, yang digunakan untuk mengurangi kesalahan dalam pembuatan alat monitoring energi fotovoltaiik. Adapun skema alat pemantauan fotovoltaiik disajikan pada gambar 7



Gambar 7. Skema Alat Pemantauan Fotovoltaiik

Berdasarkan Gambar 7, Arduino berfungsi sebagai pengontrol dalam sistem pemantauan listrik DC, listrik AC, serta kondisi lingkungan. Listrik DC berasal dari panel surya dan Solar Charge Controller (SCC), sedangkan listrik AC berasal dari inverter. Untuk memantau tegangan DC, digunakan sensor arus dan sensor tegangan. Sementara itu, pemantauan tegangan AC melibatkan penggunaan transformator step down, sensor tegangan, sensor arus ACS712, serta rangkaian zero crossing detector. Pemantauan kondisi lingkungan dilakukan dengan menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, serta sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya. Hasil pemantauan ditampilkan melalui LCD I2C 20x4, dan juga dikirimkan melalui modul ESP8266 agar dapat diakses melalui website serta disimpan di cloud.



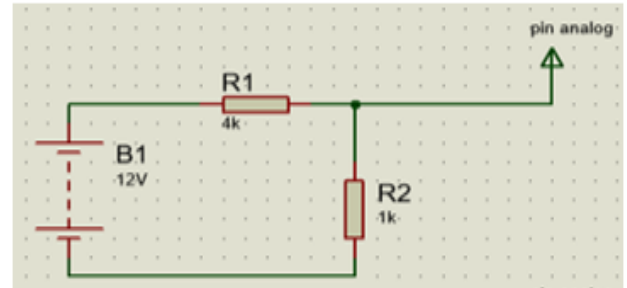
Gambar 8. Rangkaian sensor tegangan AC

```
Program untuk membaca nilai tegangan ac dengan pin A4;
int adc_AC;
float V_ac;
void setup(){
  pinMode (A4, INPUT);
  Serial.begin(9600);}
Void loop(){
  int adc_AC = analogRead (A4);
  float Vadc = (adc_AC * 5) / 1023;
```

$$\text{float VAC} = \text{Vadc} * \frac{R2+R1}{R2} * \frac{220}{12};$$

}

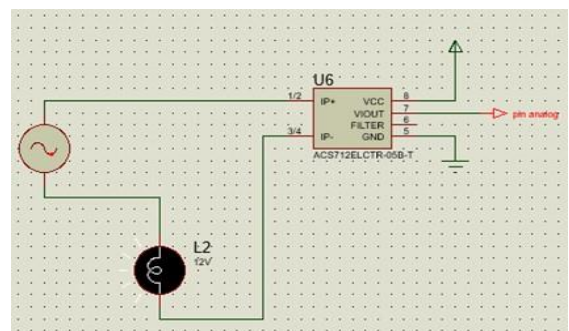
Sensor tegangan dc adalah dengan tanpa menggunakan dioda, hal ini karena tegangan sudah dalam bentuk dc, sehingga arduino sudah bisa membaca inputnya. Namun tegangan ini perlu diturunkan dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan jika tegangannya masih lebih dari 5V seperti disajikan Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian sensor tegangan DC

Program untuk mendapatkan nilai tegangan pada sensor tegangan dc dengan pin A0, dengan R1 = 4KΩ dan R2 = 1KΩ melalui pin A0;

```
float V_solar = A0; // tegangan input dari solar cell
float R1 = 4000.0; // nilai R1
float R2 = 1000.0; // Nilai R2
void setup(){
  Serial.begin(9600);}
Void loop(){
  float adc_s = analogRead(V_solar);
  float Vadc_s = (5 * adc_s) / 1023.0; // menghitung ADC
  float volt_solar = (Vadc_s * (R1 + R2)) / R2;} //
Perhitungan besar tegangan yang terbaca
Perancangan sensor arus ACS712 untuk arus ac sama
dengan arus dc, hanya sumber arusnya saja yang berbeda.
untuk pengaplikasian sensor ACS712 dapat dilihat pada
gambar 10.
```

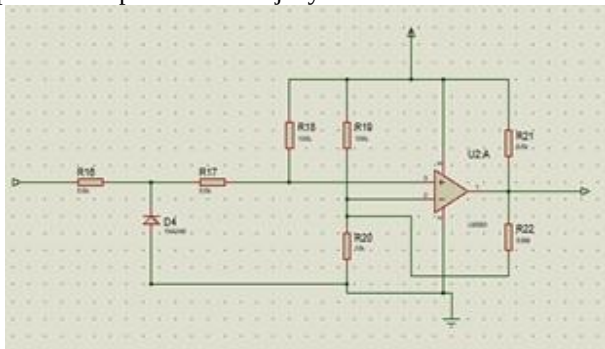


Gambar 10. Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 memiliki modul pemrograman tersendiri yang dirancang khusus untuk mendeteksi dan mengukur arus listrik. Berikut ini merupakan implementasi program untuk pembacaan nilai arus menggunakan sensor ACS712 melalui pin A5 ;

```
//Arus INVERTER
const int adc_inv = A5;
int sensi_inv = 185; // 185 = 5A, 100 = 20A, 66 = 30A
int analog_value_inv= 0;
int ofstvol_inv = 2500; // tegangan offset
double a_vol_inv = 0;
double curr_val_inv = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
Void loop(){
//Arus AC
  unsigned int temp = 0;
  float maxpoint = 0;
  int i = 0;
  for (i = 0; i < 500; i++)
  {
    if (temp = analogRead (adc_inv), temp > maxpoint)
    {
      maxpoint = temp;}}
  analog_value_inv = maxpoint;
  a_vol_inv = (analog_value_inv / 1023.0) * 5000;
  curr_val_inv = ((a_vol_inv - ofstvol_inv) / sensi_inv);
  curr_val_inv = (curr_val_inv) / (sqrt(2));
```

Pengukuran frekuensi dengan ZCD menggunakan program berbasis perhitungan perioda, mirip dengan prinsip osiloskop. Nilai frekuensi diperoleh dari hasil invers perioda. Implementasi kerjanya sesuai Gambar 11.



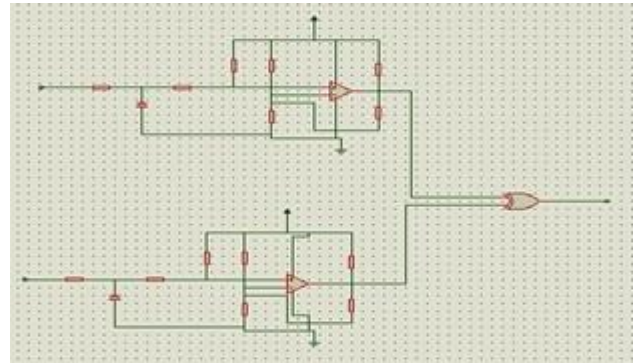
Gambar 11. Rangkaian detektor zero crossing

Program dalam mengukur frekuensi menggunakan rangkaian *zero crossing detector* pada pin 4, sebagai berikut:

```
//Frekuensi
int pin_f = 4;
int high_time;
int low_time;
float time_period;
float frequency;
void setup()
{
  pinMode (pin_f, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
//Frekuensi
  high_time = pulseIn (pin_f, HIGH);
  low_time = pulseIn (pin_f, LOW);
```

```
time_period = high_time + low_time;
time_period = time_period / 1000000;
frequency = 1/ time_period;
}
```

Pembacaan nilai cos phi menggunakan rangkaian ZCD serupa dengan metode pengukuran frekuensi, namun difokuskan pada pengukuran durasi kondisi 'on' untuk menentukan nilai cos phi dan penerapannya ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian beda fasa

Pembacaan nilai cos phi menggunakan rangkaian ZCD hampir sama dengan pembacaan pada frekuensi hanya saja pada bagian hanya mengukur waktu keadaan on saja agar mendapat nilai cos phi. Berikut program mengukur cos phi dengan menggunakan pembaca pin 5;

```
// cos phi (Pf)
int pin_pf =5;
double duration,duration1;
double phi;
double power_factor;
{
  pinMode (pin_pf, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
//pf
  duration = pulseIn(pin_pf, HIGH);
  duration1 = duration/ 1000000;
  phi = (duration1/time_period) * 360;
  power_factor = cos (phi/(180/ π));
}
```

Penrapan program untuk menghitung energi panel surya pada arduino adalah sebagai berikut:

```
// Daya solar
float powerPS_t1 = 0;
float powerPS_t2 = 0;
// Energi
float Energi_total = 0;
float Energi_section = 0;
unsigned long t1, t2; // Variabel untuk menyimpan waktu t1 dan t2
unsigned long D_t; // Variabel untuk menyimpan lama waktu
unsigned long start_time; // Variabel untuk menyimpan waktu mulai

// Durasi waktu yang diinginkan dalam milidetik
const unsigned long run_duration = 43200000; // 12 jam = 43200000 ms
```

```

    const unsigned long stop_duration = 43200000; // 12
jam = 43200000 ms
    unsigned long last_run_time = 0; // Waktu terakhir
program berjalan
    bool is_running = true; // Menyimpan status apakah
program sedang berjalan
    void setup() {
        Serial.begin(9600); // Inisialisasi komunikasi serial
        start_time = millis(); // Mencatat waktu mulai
program
    }

void loop() {
    unsigned long current_time = millis();
    if (is_running) {
        // Jika waktu berjalan telah mencapai 1 menit
        if (current_time - last_run_time >= run_duration) {
            // Program berhenti setelah 1 menit
            is_running = false;
        }

        // Mengukur dan menghitung tegangan, arus, daya,
dan energi seperti sebelumnya
        t1 = millis(); // Waktu awal
        // Daya
        powerPS_t2 = volt_solar * curr_val_solar; //
Menghitung daya pada waktu t2
        // Tunggu selama 1 detik
        delay(1000); // Tunggu selama 1 detik (ini adalah
waktu yang akan dihitung)
        t2 = millis(); // Menyimpan waktu saat t2 tercapai
        D_t = (t2 - t1) / 1000; // Menghitung selisih waktu
dalam detik

        // Energi disetiap section t
        Energi_section = (powerPS_t1 + powerPS_t2) * D_t / 2;
        // Menggunakan rumus trapezoidal untuk energi
        Energi_total += Energi_section; // Menambahkan energi
dari section ke total energi
        // Menyimpan daya t2 untuk perhitungan di iterasi
berikutnya

        powerPS_t1 = powerPS_t2;
        delay(1000); // Memberi jeda selama 1 detik sebelum
memulai perhitungan ulang
    }
    else {
        // Program berhenti selama 12 jam
        if (current_time - last_run_time >= stop_duration) {
            is_running = true; // Mulai kembali setelah 12 jam

            last_run_time = current_time; // Reset waktu terakhir
        }
    }
}

```

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 7 memperlihatkan sistem monitoring listrik DC yang digunakan panel surya sebagai sumber daya DC. SCC digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran

panel surya 24 V. Dimana tegangan dari panel surya sebesar 24 V. Panel surya melayani beban lampu sebesar 24 Ω . Untuk mengukur tegangan dc, setiap sumber dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan dan dihubungkan dengan Arduino. Dan pada setiap beban dihubungkan alat ukur arus ACS712 untuk mendeteksi besarnya arus oleh Arduino. Selanjutnya hasil pembacaan ditampilkan pada LCD 20x4. Berikut data hasil pengukuran monitoring listrik DC pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pemantauan pengukuran listrik DC

Pengukuran	Alat Ukur	Output Arduino	Kesalahan (%)
Vps	12 V	12,01 V	0,08
Ips	0,5 A	0,49 A	2
Pps	6 W	5,85 W	2,5
Vkv	24 V	23,96 V	0,16
Ikv	0,5 A	0,49 A	2
Pkv	12 W	11,66 W	2,8

Pada Tabel 1 terlihat bahwa sensor yang digunakan pada panel surya dan konverter dapat digunakan dengan baik dimana masing-masing sensor memiliki error lebih kecil sama dengan dari 2,8 %.

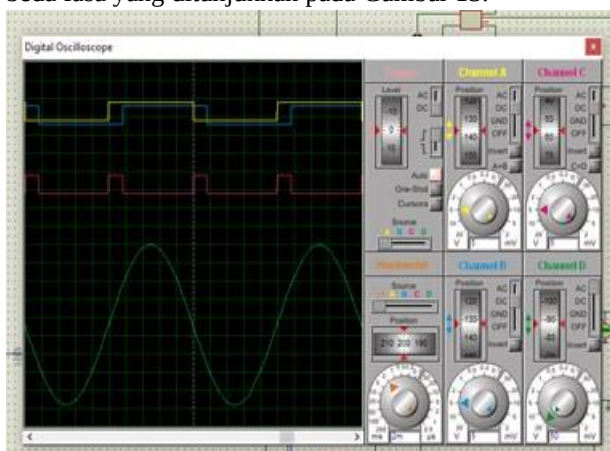
Sedangkan monitoring tegangan ac di tempatkan pada output inverter diberikan beban lampu sebesar 440 Ω yang dihubungkan dengan ACS712 untuk mendeteksi besarnya arus. Untuk mendeteksi tegangan tersebut dibutuhkan trafo *step down* untuk menurunkan tegangan menjadi 12 V, kemudian dihubungkan dengan sensor tegangan. Tegangan 12 V tersebut juga dihubungkan dengan rangkaian *Zero Crossing Detector* untuk mendeteksi frekuensi dan faktor daya. Setiap output dari sensor akan dihubungkan dengan pin arduino yang selanjutnya ditampilkan hasil pembacaan pada LCD 20x4. Rangkaian indikator akan aktif jika mendeteksi adanya nilai parameter yang tidak diinginkan.

Tabel 2. Data pemantauan pengukuran listrik AC

Pengukuran	Alat Ukur	Output Arduino	Kesalahan (%)
Vin	220 V	221,63 V	0,73
Iin	0,5 A	0,51 A	2
F	50 Hz	50,30 Hz	0,6
Pf	0,866	0,87	0,4
Pin	95,26 W	98,33	3,2

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa sensor yang bekerja pada inverter dapat digunakan dapat bekerja dengan baik dalam memantau pergerakan nilai objek yang dipantau, dimana masing-masing sensor hanya memiliki error lebih kecil sama dengan dari 3,2 %.

Rangkaian *zero crossing detector* berfungsi untuk mengetahui titik nol arus dan tegangan beban yang digunakan untuk acuan sinyal pemicu dari triac. Rangkaian *zero crossing detector* dapat dilihat pada Gambar 11 yang menggunakan komparator untuk mengubah gelombang sinus menjadi gelombang persegi. Karena *zero crossing detector* ini digunakan untuk mengetahui beda fasa arus dan tegangan, maka digunakan dua buah *zero crossing detector* yaitu *zero crossing voltage detector* dan *zero crossing current detector*. Selanjutnya kedua rangkaian *zero crossing detector* tersebut dihubungkan dengan gerbang logika XOR untuk mengubah nilai logika pertemuan kedua gelombang yaitu arus dan tegangan sehingga didapatkan nilai beda fasa. Rangkaian gerbang logika XOR dapat dilihat pada Gambar 12. Berikut ini adalah gambar hasil simulasi *zero crossing detector* dan beda fasa yang ditunjukkan pada Gambar 13.

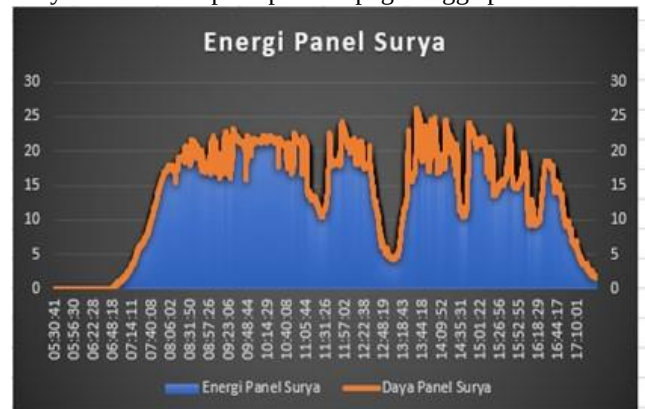


Gambar 13. Hasil pengukuran Detektor Zero Crossing dan Detektor Fasa

Grafik pada Gambar 13, garis kuning merupakan keluaran rangkaian detektor *zero crossing tegangan*, garis biru merupakan keluaran rangkaian detektor *zero crossing arus*, terlihat pada Gambar 13 terdapat *leading* di antara kedua gelombang yang berarti arus telah mendahului tegangan sebesar 30° . Dan garis merah merupakan keluaran gerbang XOR yang telah mengubah kedua gelombang detektor *zero crossing* yang bertemu menjadi gelombang beda fasa. Untuk menyimpan data pemantauan, pada tulisan ini menggunakan *Google Sheets*, yang dapat menyimpan ribuan titik data yang dihasilkan dari pemantauan panel surya. Tampilan penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 14.

Gambar 14. Tampilan penyimpanan *cloud* sebagai tim yang membayar penyimpanan data dari hasil pemantauan PV.

Dari hasil pengujian, energi yang dihasilkan dalam satu hari disajikan pada grafik Gambar 15, dimana energi paling banyak dihasilkan pada pukul 8 pagi hingga pukul 4 sore.



Gambar 15. Grafik energi panel surya dalam satu hari

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, alat untuk monitoring sistem panel surya terdiri dari sensor tegangan DC, sensor tegangan AC, sensor arus ACS712, rangkaian *zero-crossing detector*, rangkaian *phase difference*, Arduino, dan ESP8266. Sensor yang bekerja pada masing-masing objek berfungsi dengan baik dengan nilai error kurang dari sama dengan 3,2 %. Kemudian dengan bantuan ESP8266, data hasil monitoring sistem panel surya dapat tersimpan dengan baik di *cloud storage* dan ditampilkan dengan benar di *Google Sheets*. Energi yang terekam pada hasil monitoring panel surya paling tinggi pada pukul 8 pagi hingga pukul 4 sore.

1. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Riau yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Effendi, "Analisis Penggunaan Energi Surya Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif," *JUTIN J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 4, pp. 1298–1302, 2023.
- [2] S. S. P. Gunoto, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 WPerancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 WP," *Sigma Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 96–106, 2020.
- [3] A. N. A. Muslim, Khotimah, "Analisis Kritis Terhadap Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Tipe Photovoltaic (PV) Sebagai Energi Alternatif Masa Depan," *RANGTEKNIK J.*, vol. 6, no. 3, pp. 251–255, 2020.
- [4] T. S. Hadi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Panel Surya Solarworld 150 WP Polycrystalline Berbasis Internet Of Things," Universitas Islam Indonesia (UII), 2023.
- [5] E. S. L. O. Sari, M. F. E. Saputra, "Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 205–211, 2024.
- [6] A. L. W. Rohmanita Duanaputri, Irwan Heryanto, Muhammad Firas Sajidan, Muhammad Fahmi Hakim, "Sistem Monitoring Online dan Analisis Performansi PLTS Panel Surya Monocrystalline 100 Wp Berbasis Web," *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2023.
- [7] D. Saprudin, "Pemanfaatan Cloud Storage Sebagai Media Kolaborasi Siswa Pada SMK 3 Tangerang Selatan," *J. Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 6, pp. 1448–1454, 2023.
- [8] M. M. Yusup Indra Wijaya, Herry Adi Candra, Fakhriani Eka Wati, "Pelatihan Pemanfaatan Cloud Storage Bagi Murid SMK Negeri 1 Banjarmasin," *J. Pengabd. Masy. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 4, pp. 07–13, 2022.
- [9] S. R. G. Prasetya, R. I. Putri, "Monitoring dan Datalogger Untuk Daya Keluaran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin," *Jasen. J. Appl. Smart Electr. Netw. Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2024.
- [10] Z. S. Dinda Amalia Azahra, Panji Waskita, I Made Andik Setiawan, "Stasiun Pengisian Mobil Listrik Berbasis Panel Surya," in *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan (SNITT)*, 2022, pp. 274–280.
- [11] K. R. and I. Yasri, "Perancangan Dan Aanalisa Kinerja Sistem Pendeteksi Frekuensi Berbasis Mikrokontroler Untuk Rentang Frekuensi 50 MHz," *Jom FTEKNIK*, vol. 8, pp. 1–10, 2021.
- [12] F. Aldhy Rizhaldy S.G, Andriani Parastiwi, "Perbaikan Nilai Faktor Daya Menggunakan ZeroCrossing Detector Untuk Switching Kapasitor Bank Pada Usaha Bengkel Las," *J. Elkolind*, vol. 8, no. 4, pp. 22–29, 2021.
- [13] Y. S. Y. D. B Sashi Kanth, Sita Sai Prasanna Lakshmi Mudiki, Kalla Mounika, Uppala Gayatri, "Arduino Based Secure Digital (SD) Data Logger," *Shodhsamhita J. Fundam. Comp. Res.*, vol. 7, no. 4, pp. 104–109, 2020.
- [14] K. N. Waimbo, "Pemodelan Modul Fotovoltaik Sederhana menggunakan MATLAB/SIMULINK," *J. Fis. Papua*, vol. 1, no. 3, pp. 1–7, 2024.
- [15] D. S. Achmad Mudawari, Ali Mashar, Ahmad Deni Mulyadi, Arief Sumaryanto, "Konverter DC-DC Penurun Tegangan Dua Fasa," vol. 11, no. 2, pp. 19–24, 2021.
- [16] Y. Mohammad Fauzi, Mohammad Luqman, "Rancang Bangun Modul Control SPWM Berbasis Arduino Uno," *J. Elkolind*, vol. 8, no. 1, pp. 92–98, 2021.
- [17] A. A. Adinda Nur Hartanti, Jamila Istiqomah, Yuli Christyono, "Perancangan Sistem Pengereman Regeneratif Pada Sepeda Listrik Dengan Menggunakan DC-DC Boost Converter, Transient," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 37–45, 2025.
- [18] G. A. N. Syifaul Fuada, Maulida Yasmin, Meiliya Cahya Yustina, Annisa Amalia, Devi Anassafila Pratiwi, Amalia Annisa, Najwa Zahratul Kubro, Diar Dwi Sutia, Sahat Parulian, Muhammad Gani Baihaqi Darussalam, Ridha Febriliana, Yessi Tiyastanti, Rahadian Ilham Aji Ruk, "Analisis Rangkaian Pembagi Tegangan dan Perbandingan Hasil Simulasinya Menggunakan Simulator Offline," *J. Ilm.*

Pendidik. Tek. Elektro, vol. 6, no. 1, pp. 28–46, 2022.

- [19] L. N. Muhammad Reza Faleva, Dian Budhi Santoso, “Sistem Monitoring Energi Listrik Pada Kompor Penghasil Listrik Dengan Teknologi Internet Of Things (KOLISS-IOT),” *J. Elektro Telekomun. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 857–865, 2020.
- [20] H. N. Ojak Abdul Rozak, Rohmat Tri Mulyadi, “Analysis The Effect of Solar Radiation On The Efficiency of PV Plant 50 KWP Rooftop Unpam Viktor,” *J. Renew. Energy Mech.*, vol. 6, no. 2, pp. 63–76, 2023,
- [21] A. R. Khusnul Yakin, “Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Tipe Rooftop On Grid – System Pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau,” *Jom FTEKNIK*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [22] Z. P. Dimas Teguh Wibowo, Yusniati, Ramayulis Nasution, “Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Masjid Agung Serdang Bedagai,” *J. Electr. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–6, 2023.
- [23] V. F. Gita Alisrobia, Hani Nur Asri, Makna A’raaf Kautsar, Muhammad Satrio Dwi Utomo, Muntaha Hasanah, “Analisis Rangkaian Komparator dengan Variasi IC Op-Amp yang Tersedia pada Circuit Wizard,” *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, 2022.
- [24] G. A. Indah Fatika Sari, Nurlela Sari, Oyan Novitasari, Rsi Amara, Alifya Nabila Subaedi, “Gerbang Logika Kombinasional dan Komparator,” *Pros. Semin. Nas. Pendidik. Fis. Untirta*, vol. 3, no. 1, pp. 425–432, 2020.
- [25] O. A. P. Revan Apriadi, Emil Naf’an, “Rancang Bangun Smart System Pelayanan Servis Kendaraan Bermotor Berbasis Arduino Mega 2560,” *Arcitech J. Comput. Sci. Artif. Intell.*, vol. 3, no. 1, pp. 32–42, 2023.
- [26] I. S. Sefrizal Eka Putra, Sapto Nisworo, “Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus, Daya, Faktor Daya, dan Frekuensi Pada Listrik Ac Satu Fasa Berbasis Internet of Things,” *THETA OMEGA J. Electr. Eng. Comput. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, 2022,