

# Rancang Bangun *Automatic Transfer Switch* Satu Phasa pada PLTS Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT

Slamet Riyanto<sup>1</sup>, Dian Rusdiyanto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

\*dian.rusdiyanto@mercubuana.ac.id

**Abstrak** - Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berpotensi menjadi solusi alternatif untuk kebutuhan listrik di masa depan. Namun, pemanfaatannya masih kurang optimal karena keluaran daya yang tidak stabil dan bergantung pada kondisi cuaca. Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis mikrokontroler Atmega8-16PU yang memungkinkan peralihan otomatis antara PLTS dan jaringan listrik PLN. Sistem ini dirancang dalam dua mode: inverter sebagai sumber utama dan PLN sebagai sumber utama. Teknologi Internet of Things (IoT) diterapkan dalam ATS untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh menggunakan NodeMCU ESP8266 serta aplikasi Blynk pada jaringan lokal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada mode inverter, beban beralih ke PLN saat tegangan baterai turun di bawah 11 V dan kembali ke inverter saat tegangan mencapai 13,5 V. Sementara itu, pada mode PLN, peralihan beban ke inverter terjadi saat PLN mengalami pemadaman, dengan waktu rata-rata 7,44 detik. Sistem ATS berbasis IoT ini dapat meningkatkan keandalan catu daya dengan memastikan perpindahan daya yang otomatis dan efisien. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada optimalisasi pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi alternatif.

**Kata Kunci** — *Automatic Transfer Switch, Inverter, Internet of Things, Mikrokontroler Atmega8, PLN.*

DOI: 10.22441/jte.2024.v15i3.006

## I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan bebas polusi, sehingga berpotensi menjadi solusi energi listrik di masa depan [1]. Saat ini, PLTS telah banyak diterapkan di berbagai rumah tangga sebagai sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik harian. Panel surya sebagai komponen utama PLTS umumnya dipasang di atap rumah atau area terbuka yang mendapat paparan sinar matahari langsung [2]. Namun, pemanfaatan energi dari panel surya masih belum optimal karena daya listrik yang dihasilkan sulit diprediksi dalam periode waktu tertentu dan sangat bergantung pada kondisi cuaca [3].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, sistem hibridisasi PLTS dengan jaringan listrik PLN dapat menjadi solusi yang efektif. Sistem ini memungkinkan suplai listrik tetap berjalan ketika panel surya tidak dapat menghasilkan daya yang cukup, misalnya pada kondisi cuaca mendung atau malam hari.

Sebaliknya, saat PLN mengalami gangguan atau pemadaman listrik, beban dapat dialihkan ke PLTS [4] [5].

Agar proses perpindahan sumber daya listrik dapat berjalan secara otomatis dan efisien, diperlukan Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis mikrokontroler. Sistem ini berfungsi untuk mendeteksi kondisi suplai daya dan secara otomatis melakukan perpindahan sumber listrik sesuai kebutuhan [6]. Dalam penelitian ini, teknologi Internet of Things (IoT) diterapkan sebagai antarmuka untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui jaringan lokal menggunakan aplikasi Blynk [7].

Penelitian sebelumnya yang membahas mengenai ATS dilakukan oleh [6] yang menggunakan mikrokontroler Atmega328 pada pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan turbin angin sebagai *grid* utama sedangkan PLN dan Genset digunakan sebagai cadangan. Penelitian [8] menggunakan ATS untuk peralihan beban catu daya satu ke catu daya cadangan dengan celah minimum transfer catu daya, yang dilakukan secara otomatis menggunakan microchip dan mosfet yang bertujuan untuk mengurangi fluktuatif pada saat peralihan beban. Selain itu, penggunaan ATS menggunakan PLC juga dirancang untuk management pengaturan daya pada beban [9] [10].

Penelitian ini fokus pada perancangan dan pengembangan sistem ATS berbasis mikrokontroler Atmega8-16PU untuk mendukung otomatisasi perpindahan daya antara PLTS dan PLN. Sistem ini dirancang dengan dua mode utama, yaitu PLTS sebagai sumber utama dan PLN sebagai sumber utama, sehingga memungkinkan efisiensi pemanfaatan energi listrik secara optimal. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pemanfaatan energi terbarukan dapat ditingkatkan serta ketergantungan terhadap jaringan listrik PLN dapat dikurangi.

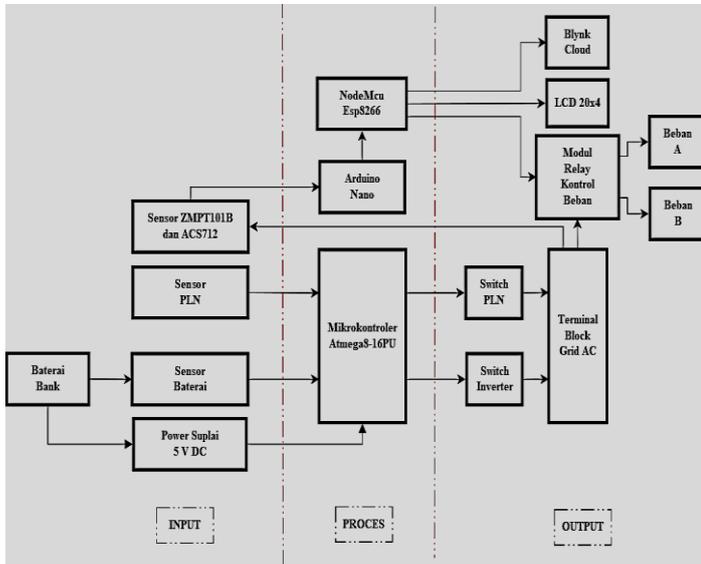
## II. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan tahapan perancangan alat dan sistem yang dilakukan. Sistem yang dirancang merupakan sistem kontrol Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis mikrokontroler Atmega8-16PU, yang diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan konfigurasi hybrid atau off-grid serta terhubung dengan catu daya dari jaringan PLN. Sistem kontrol ATS ini dilengkapi dengan fitur Internet of Things (IoT) melalui aplikasi Blynk, yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap alat, berupa pengukuran besaran listrik seperti arus dan tegangan, guna

mengetahui karakteristik kinerja sistem serta memvalidasi fungsionalitas alat yang telah dirancang.

**A. Diagram Blok**

Diagram blok sistem kerja ditunjukkan pada gambar 1 yang merupakan dasar perancangan ATS menggunakan mikrokontroler berbasis IoT.



Gambar 1. Diagram Blok

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem kontrol Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis mikrokontroler Atmega8-16PU pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hybrid atau off-grid, dengan fitur Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk. Komponen utama pada sistem ini terdiri dari tiga blok utama yaitu, input, proses, dan output.

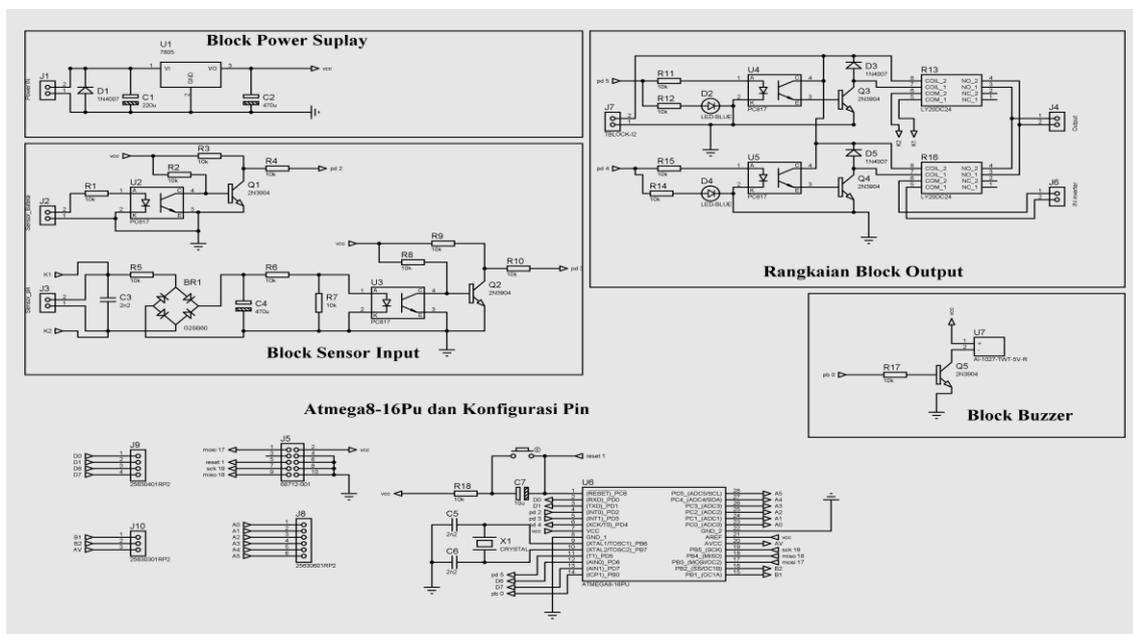
Pada bagian input, terdapat baterai berfungsi sebagai cadangan energi atau power utama dari sistem kontrol ATS. Selain itu, juga dilengkapi sensor baterai untuk mengukur tegangan baterai. Power Supply 5V DC berfungsi memberikan daya ke mikrokontroler dan sensor. Sensor PLN berfungsi mendeteksi ketersediaan tegangan dari jaringan listrik PLN. Sedangkan sensor ZMPT101B untuk mengukur tegangan AC dan ACS712 mengukur arus listrik AC.

Pada fungsi proses menjelaskan mengenai pengolahan data dan sistem control. Mikrokontroler Atmega8-16PU bertindak sebagai pusat pengolah data dari sensor baterai, sensor PLN, dan sensor arus/tegangan. Selain itu, alat ini juga berfungsi mengontrol pemilihan sumber daya listrik melalui switch PLN dan switch inverter. Perangkat Arduino Nano sendiri berfungsi menghubungkan sensor ke mikrokontroler dan NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai modul komunikasi IoT, mengirim data ke Blynk Cloud dan mengontrol dari jarak jauh.

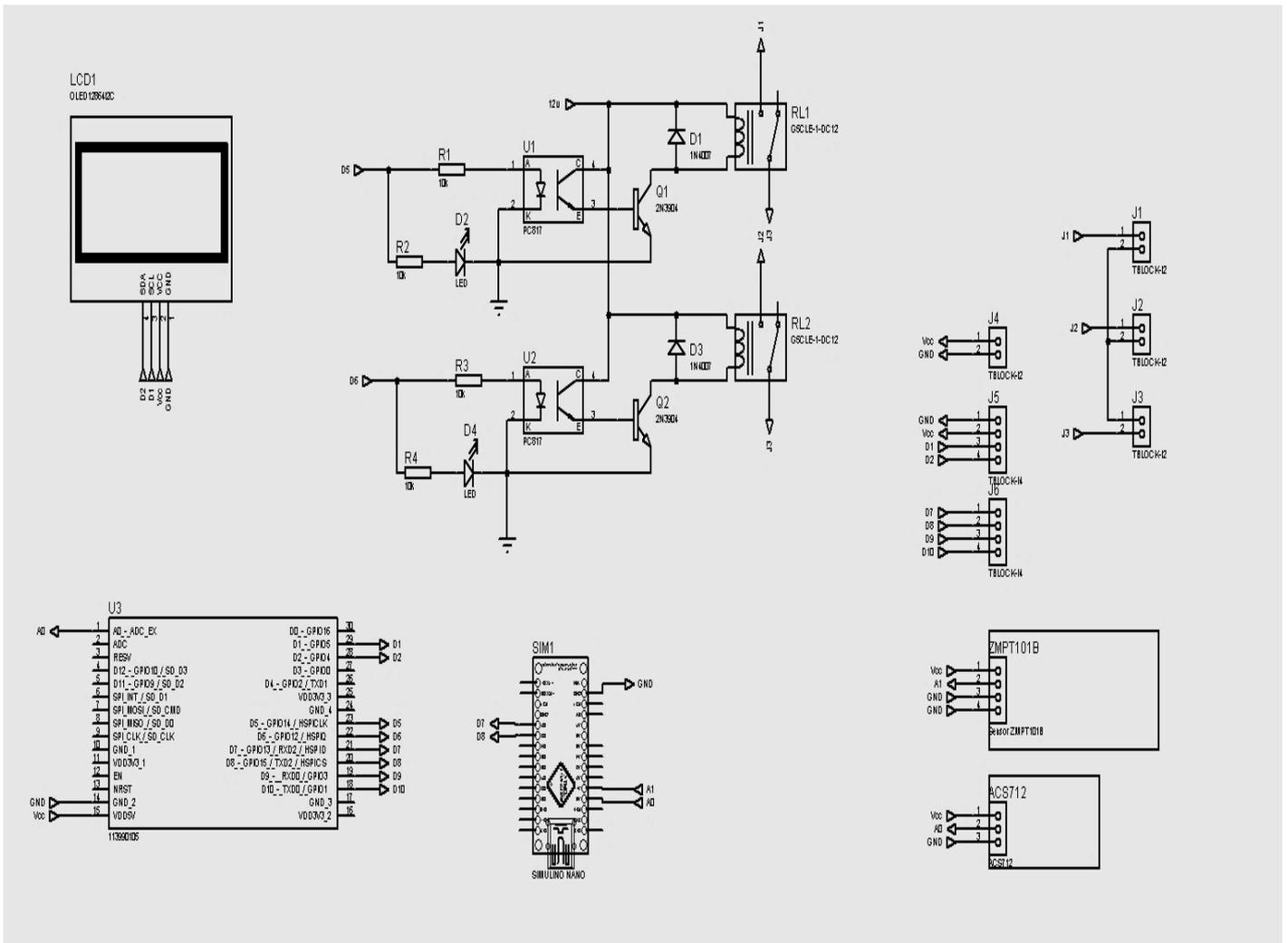
Pada bagian output atau keluaran, terdapat Switch PLN dan Switch Inverter yang berfungsi mengatur jalur listrik, memilih antara PLN atau inverter sebagai sumber daya aktif. Selain itu terdapat modul relay kontrol beban untuk mengontrol fungsi beban aktif (beban A dan beban B). Di sisi lain terdapat Blynk Cloud yang merupakan platform IoT untuk menampilkan dan mengontrol sistem dari aplikasi smartphone.

**B. Perancangan Schematic**

Perancangan schematic diagram bertujuan untuk memudahkan penyusunan komponen saat pembuatan modul kontrol Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis IoT dengan mikrokontroler Atmega8-16PU. Gambar 2 menunjukkan schematic diagram sistem kontrol ATS, sedangkan Gambar 3 menggambarkan schematic sistem kontrol untuk kendali beban.



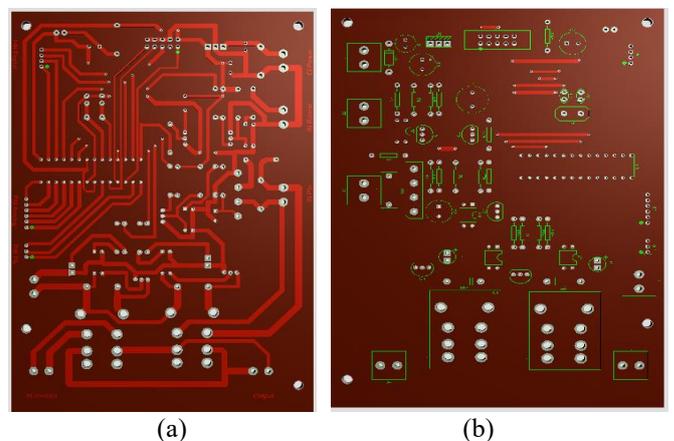
Gambar 2. Sistem Kontrol ATS



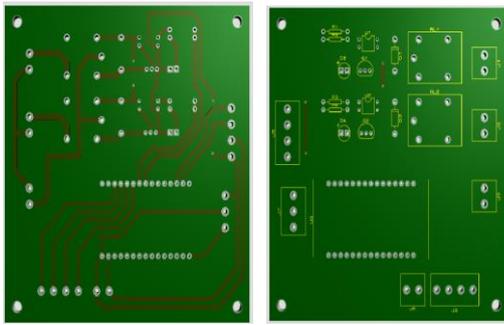
Gambar 3. Sistem Kontrol Kendali dan Pemantauan

### C. Desain Modul

Desain Printed Circuit Board (PCB) yang merupakan implementasi dari perancangan schematic dirancang menggunakan sistem single-layer board. Tujuannya adalah untuk menyederhanakan instalasi kabel, mempermudah proses realisasi perangkat, serta memudahkan perbaikan apabila terjadi troubleshooting pada modul. Gambar 4 menunjukkan desain PCB untuk modul kontrol ATS berbasis mikrokontroler ATmega8, sedangkan Gambar 5 menampilkan desain PCB untuk sistem pemantauan dan pengendalian beban.



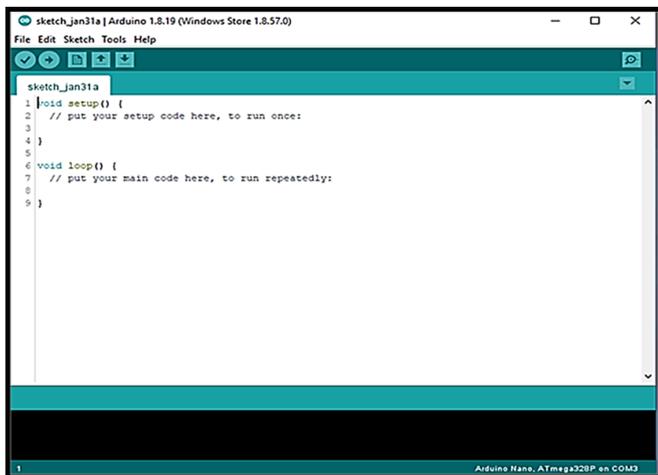
Gambar 4. Desain PCB ATS (a) tampilan belakang (b) tampilan depan.



Gambar 5. Desain PCB (a) tampilan belakang (b) tampilan depan

#### D. Perancangan Program

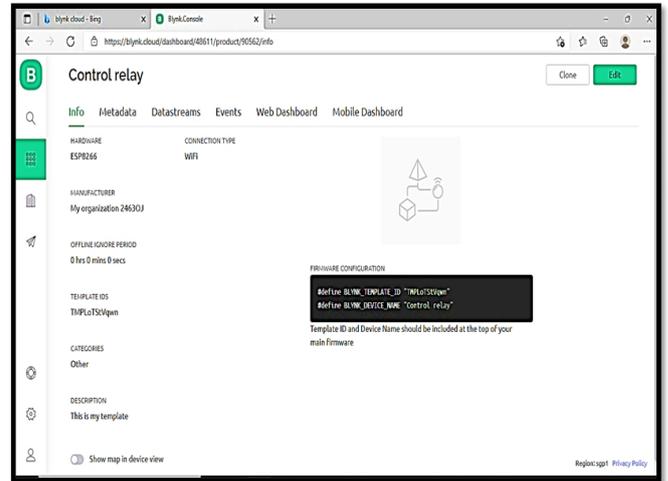
Pada bagian ini dijelaskan langkah-langkah perancangan program yang menjadi dasar sistem otomatisasi pada sistem kontrol Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis IoT menggunakan mikrokontroler. Pemrograman dirancang secara spesifik untuk menyesuaikan kebutuhan fungsi dan karakteristik alat. Perancangan program dilakukan menggunakan Arduino IDE dan platform Blynk Cloud berbasis web.



Gambar 6. Arduino IDE

Langkah-langkah pemrograman menggunakan software Arduino IDE dilakukan untuk memasukkan kode program ke dalam mikrokontroler Atmega8-16PU sebagai inti sistem otomatisasi pada modul ATS. Pertama, jalankan Arduino IDE dengan mengklik dua kali ikon aplikasi. Setelah itu, buat sketch pemrograman sesuai kebutuhan sistem ATS yang dirancang. Sketch ini berisi logika kendali dan komunikasi antara mikrokontroler dengan komponen lain seperti sensor, relay, dan modul komunikasi. Selanjutnya, lakukan verifikasi struktur program dengan menekan tombol Verify atau Compile untuk memastikan tidak ada kesalahan sintaks. Jika proses kompilasi berjalan tanpa error, maka program dapat di-upload langsung ke mikrokontroler untuk dijalankan.

Blynk merupakan bagian dari platform Internet of Things (IoT) yang bersifat open source, sehingga mudah diimplementasikan sebagai antarmuka sistem dan mendukung pengendalian perangkat secara jarak jauh melalui jaringan lokal maupun internet. Blynk memungkinkan pengguna untuk memantau status sistem dan mengontrol beban hanya melalui aplikasi pada smartphone atau antarmuka berbasis web. Pada Gambar 7 ditampilkan tampilan template Blynk yang digunakan pada proyek ini, yang dirancang untuk menampilkan data sensor dan kontrol relay secara real-time.



Gambar 7. Blynk Cloud

Pada perancangan template Blynk Cloud, dijelaskan tahapan-tahapan yang bertujuan untuk menghubungkan sistem alat ATS berbasis mikrokontroler Atmega8 dengan aplikasi Blynk Cloud melalui jaringan lokal. Platform Blynk digunakan sebagai antarmuka (interface) untuk memantau dan mengendalikan sistem secara real-time. Proses ini merupakan bagian penting dari integrasi Internet of Things (IoT), yang memungkinkan pengguna untuk mengakses dan mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui perangkat seluler atau web.

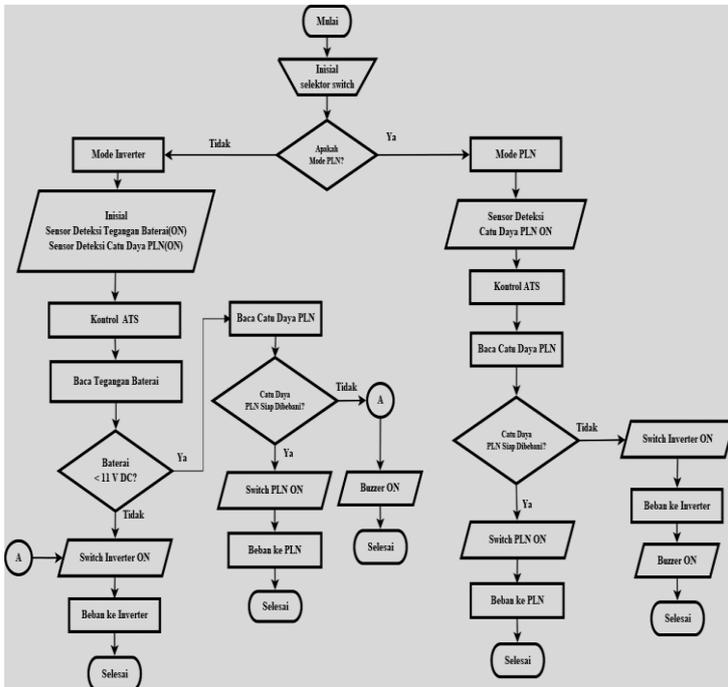
Langkah-langkah perancangan Blynk Cloud melalui web adalah sebagai berikut:

- Buka browser dan ketik "Blynk Cloud", lalu login menggunakan email dan password yang terdaftar.
- Pada halaman utama, pilih New Template, kemudian isi nama proyek, pilih jenis perangkat (device) yang digunakan, serta sistem komunikasi yang sesuai. Setelah itu, klik Done.
- Pada halaman template, masuk ke menu Datastreams, lalu pilih New Datastream dan atur Virtual Pin yang akan digunakan sesuai kebutuhan sistem.
- Selanjutnya, pilih New Dashboard untuk menambahkan dan mengatur widget sesuai fungsi alat.
- Setelah seluruh pengaturan selesai, klik Save.
- Salin Template ID dan Device Name dari Blynk Cloud, lalu tempelkan ke dalam sketch program Blynk Edgent di Arduino IDE.

- Lakukan verifikasi struktur program dengan menekan tombol Verify atau Compile. Jika tidak ditemukan error, program siap di-upload ke mikrokontroler Atmega8 untuk dijalankan.

*E. Flowchart Sistem*

Flowchart sistem menggambarkan alur kerja dari alat ATS, mulai dari proses awal hingga akhir. Alur ini disusun berdasarkan logika program yang telah diimplementasikan pada sistem ATS dan ditunjukkan secara visual pada Gambar 8.



Gambar 8. Flowchart Sistem

Pada perancangan alat ATS dalam penelitian ini, sistem dirancang dengan dua mode konfigurasi. Sumber catu daya utama (master) dapat berasal dari inverter maupun saluran listrik PLN, yang dipilih menggunakan selector switch. Saat sistem ATS mulai diaktifkan, perangkat akan melakukan inisialisasi untuk menentukan posisi selector switch, apakah berada pada mode inverter atau PLN. Jika selector switch berada pada posisi inverter, maka inverter berperan sebagai sumber daya utama; sebaliknya, jika berada pada posisi PLN, maka catu daya utama berasal dari jaringan listrik PLN.

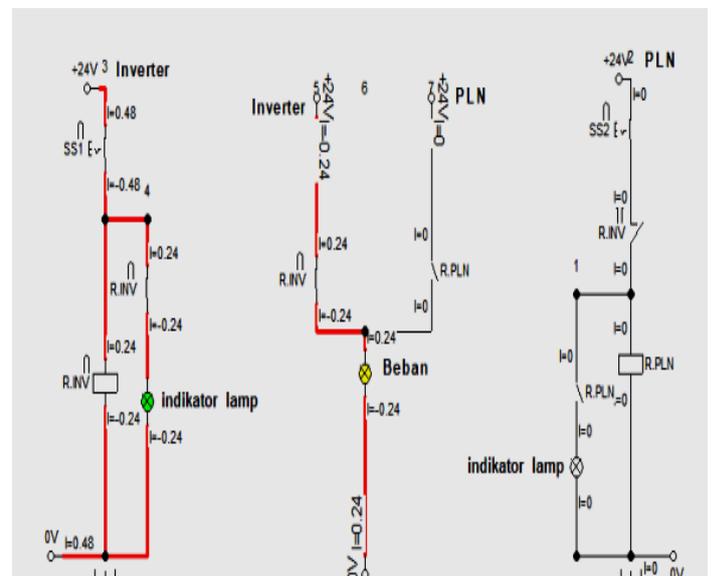
Konfigurasi sistem kerja ATS tersebut ditunjukkan pada Gambar 8 (Flowchart Sistem), yang menggambarkan alur logika pemilihan sumber daya utama. Dalam kondisi di mana inverter ditetapkan sebagai master catu daya, sistem akan secara otomatis membaca dan menggunakan daya dari inverter sebagai sumber utama hingga terjadi perubahan status atau gangguan yang memicu perpindahan ke sumber cadangan.

Sistem dimulai dengan pembacaan sensor untuk mendeteksi tegangan pada baterai, apakah nilainya kurang dari atau sama dengan 11 V. Jika tegangan baterai tidak kurang dari batas tersebut, maka kontrol ATS akan mengaktifkan switch inverter

agar beban dialihkan ke sumber daya dari inverter. Namun, jika tegangan baterai kurang dari atau sama dengan 11 V, maka sistem akan melakukan inisialisasi pembacaan terhadap catu daya dari PLN. Selanjutnya, sistem akan memeriksa apakah catu daya PLN siap untuk dibebani. Jika ya, maka switch PLN akan diaktifkan dan beban akan dialihkan ke catu daya PLN. Sebaliknya, jika tidak, maka switch inverter akan tetap menyala dan beban tetap disuplai dari inverter hingga tegangan baterai benar-benar habis (0 V). Dalam kondisi tersebut, buzzer akan menyala sebagai indikator peringatan dan akan tetap aktif hingga catu daya PLN siap dibebani, setelah itu buzzer akan mati secara otomatis.

Setelah terjadi peralihan beban ke catu daya PLN, mikrokontroler Atmega8 akan melakukan inisialisasi ulang untuk membaca status tegangan baterai. Sistem akan memeriksa apakah tegangan baterai telah mencapai 13,5 V. Jika ya, maka kontrol ATS akan melakukan peralihan beban kembali dari PLN ke inverter. Namun, jika tegangan baterai belum mencapai nilai tersebut, maka beban akan tetap disuplai dari catu daya PLN hingga kondisi baterai memungkinkan untuk kembali menjadi sumber utama.

Dalam kondisi ketika PLN menjadi master catu daya utama pada sistem ATS, mikrokontroler Atmega8 akan melakukan inisialisasi untuk memastikan kesiapan catu daya PLN. Jika PLN siap dibebani, maka switch PLN akan diaktifkan (ON) dan beban akan dialihkan ke catu daya PLN. Namun, jika PLN tidak siap, maka switch PLN akan dimatikan (OFF), dan sistem akan mengaktifkan switch inverter, sehingga beban dialihkan kembali ke inverter. Dalam kondisi ini, buzzer akan menyala sebagai indikator peringatan hingga catu daya PLN kembali siap digunakan, kemudian buzzer akan otomatis mati dan beban akan dialihkan kembali ke catu daya PLN.



Gambar 9. Diagram Daya

F. Diagram daya

Diagram daya (single line) digunakan untuk menunjukkan kinerja kontak kontrol relay yang saling terinterlock antar sumber catu daya, dan bekerja secara otomatis pada sistem ATS yang dirancang. Pada Gambar 9 ditunjukkan kondisi di mana catu daya inverter dalam keadaan ON.

III. HASIL DAN ANALISA

Bagian ini membahas hasil pengujian terhadap alat ATS berbasis mikrokontroler dan IoT yang telah dirancang dan dibuat.

A. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan respons sistem ATS terhadap perubahan kondisi sumber catu daya. Adapun pengujian ini mencakup:

- Sensor pendeteksi tegangan baterai
- Sensor pendeteksi tegangan pada catu daya PLN.
- Sensor tegangan ZMPT101B
- Sensor arus ACS712 30A

Pengujian sensor pendeteksi tegangan baterai dalam penelitian ini menggunakan sensor LVD XH-M609 Auto Cut Off. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan kinerja kontrol ATS sebagai dasar input sistem peralihan catu daya. Pada Gambar 10(a) ditunjukkan pengaturan sensor dengan ambang batas tegangan baterai  $\leq 11$  V. Dalam kondisi ini, relay sensor akan OFF saat proses pengisian baterai berlangsung, dan kontrol ATS akan memberikan respon kondisi 0, yang menandakan peralihan catu daya dari inverter ke PLN. Sementara itu, pada Gambar 10(b), ketika tegangan baterai mencapai nilai penuh sebesar 13,5 V, relay sensor akan ON, dan kontrol ATS akan memberikan respon kondisi 1, yang menandakan peralihan catu daya dari PLN kembali ke inverter.



Gambar 10. Sensor Tegangan Baterai Auto Cut Off

Pengujian sensor pendeteksi tegangan catu daya PLN dalam penelitian ini menggunakan rangkaian rectifier gelombang penuh dengan dioda bridge 1,5 A. Tegangan AC diturunkan menggunakan rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari resistor R1 (10K) dan R2 (22K), sehingga menghasilkan keluaran sebesar 12 V DC. Selanjutnya, proses switching dilakukan menggunakan optocoupler 817 untuk menghasilkan keluaran 5 V DC. Fungsi utama dari optocoupler ini adalah mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital agar dapat terhubung ke mikrokontroler, sekaligus memberikan proteksi

terhadap mikrokontroler dari lonjakan tegangan pada catu daya AC. Rangkaian sensor ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengujian sensor ZMPT101B dilakukan berdasarkan program yang telah dirancang, dengan tujuan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan tegangan. Hasil pembacaan sensor yang ditampilkan melalui serial monitor pada software Arduino IDE dibandingkan dengan hasil pembacaan menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur standar.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor tegangan ZMPT 101B

Pengujian Ke	Serial monitor (VAC)	Multimeter (VAC)	Persentase error
1	210.73	209.3	0.68
2	210.93	208.9	0.96
3	210.77	208.1	1.3
4	210.18	207.3	1.4
5	209.70	207.3	1.2

Berdasarkan hasil dari Tabel 1, pengujian sensor tegangan ZMPT101B memiliki akurasi kesalahan pembacaan tegangan rata-rata sebesar 1,14%. Berdasarkan hasil dari perhitungan menggunakan persamaan 1 dan 2 sebagai berikut [11]:

$$e_t = \left| \frac{x_t - F}{D_t} \right| \times 100 \% \tag{1}$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^N e_t}{N} \tag{2}$$

Dimana:

- $E_t$  = Nilai Error %
- $X_t$  = Nilai Target
- $F$  = Nilai Perbandingan
- $D_t$  = Nilai Aktual
- $N$  = Banyaknya Data

Pengujian sensor arus ACS712 30A dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan arus terhadap beban listrik. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi beban, yaitu setrika 350 W, pompa air 125 W, serta dua buah solder masing-masing 60 W dan 40 W. Hasil pembacaan arus dari sensor ACS712 yang ditampilkan melalui serial monitor pada Arduino IDE kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan tang ampere digital untuk menentukan karakteristik dan akurasi sensor tersebut.

Tabel 2. Hasil pengujian dari sensor ACS712 30A

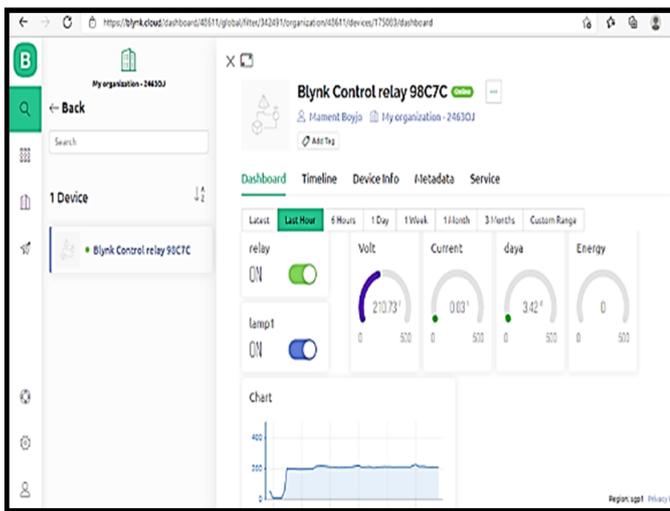
Uji Ke	Unit Alat	Serial monitor (A)	Tang ampere digital (A)	Persentase error (%)
1	Setrika 350w	1.31	1.4	6.9 %
2	Pompa Air 125W	0.41	0.5	21.95 %
3	2 buah solder 60	0.28	0.4	42,86 %

	W dan 40 W			
--	------------	--	--	--

Berdasarkan hasil pengujian sensor ACS712 30A yang ditampilkan pada Tabel 2, serta perhitungan menggunakan Persamaan (2) dan (3), diperoleh rata-rata kesalahan pembacaan arus sebesar 23,9%. Tingginya tingkat kesalahan ini menunjukkan bahwa akurasi sensor ACS712 masih kurang optimal, yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan awal pembacaan antara sensor dan alat ukur pembanding.

**B. Pengujian Blynk**

Pengujian perangkat lunak Blynk dilakukan untuk memastikan bahwa alat dapat terhubung dengan Blynk Cloud melalui jaringan lokal, serta untuk memverifikasi bahwa sistem pemantauan dan pengendalian berfungsi dengan baik sebagai antarmuka (interface), sesuai dengan program yang telah diimplementasikan pada alat ATS. Gambar 11 menunjukkan tampilan antarmuka Blynk Cloud pada versi web [12].

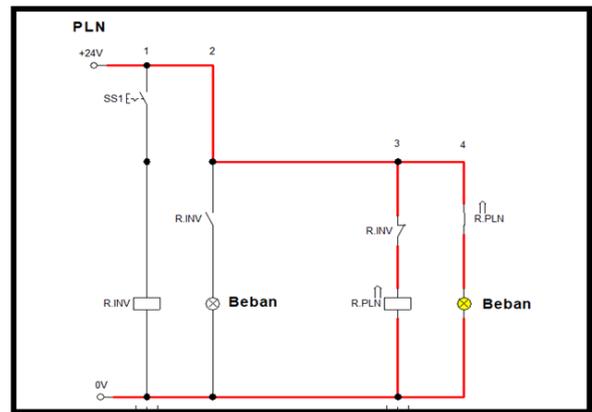


Gambar 11. Blynk Cloud.

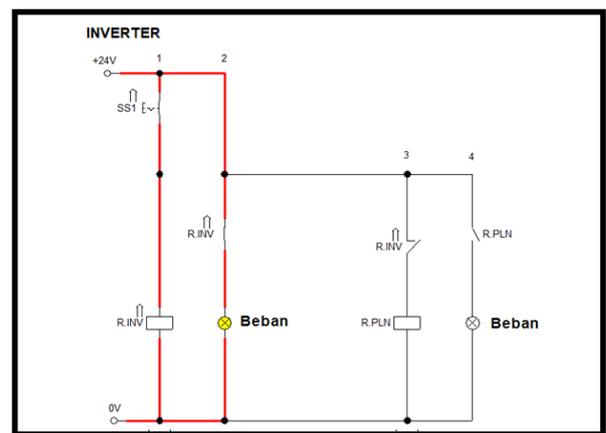
**C. Pengujian Interlock switching sistem.**

Pengujian sistem interlock ATS bertujuan untuk memastikan bahwa mekanisme interlock berfungsi sesuai dengan program yang telah diterapkan pada alat. Pengujian ini difokuskan pada pembacaan sensor tegangan baterai sebagai dasar logika peralihan sumber catu daya.

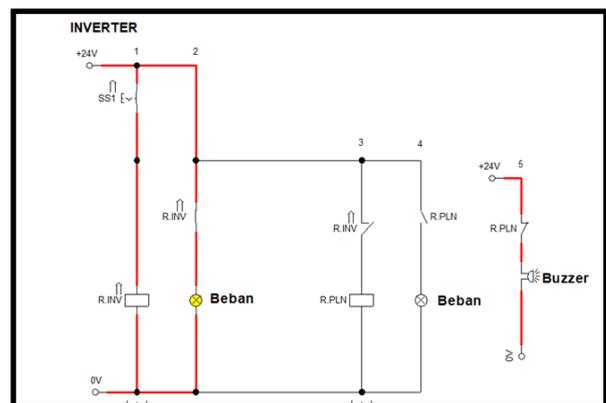
Terdapat tiga kondisi utama yang diuji: (1) Saat tegangan baterai  $\leq 11$  V, sistem ATS melakukan peralihan catu daya dari inverter ke PLN; (2) Saat tegangan baterai mencapai 13,5 V, sistem melakukan peralihan kembali dari PLN ke inverter; dan (3) Saat tegangan baterai  $\leq 11$  V namun catu daya PLN padam, sistem tetap mempertahankan catu daya dari inverter. Gambar 12 menunjukkan diagram daya saat tegangan baterai  $\leq 11$  V, di mana beban dialihkan ke catu daya PLN, sedangkan Gambar 13 menampilkan kondisi ketika tegangan baterai kembali mencapai 13,5 V dan beban kembali disuplai oleh inverter.



Gambar 12. Diagram Daya Kontrol Relay pada Beban pada Saat Tegangan Baterai Bernilai  $\leq 11$  V



Gambar 13. Kondisi Kontrol Relay pada Beban pada Saat Tegangan Baterai Bernilai 13.5 V



Gambar 14. Kondisi Kontrol Relay pada Beban pada Saat Tegangan Baterai  $\leq 11$  V dan PLN Padam.

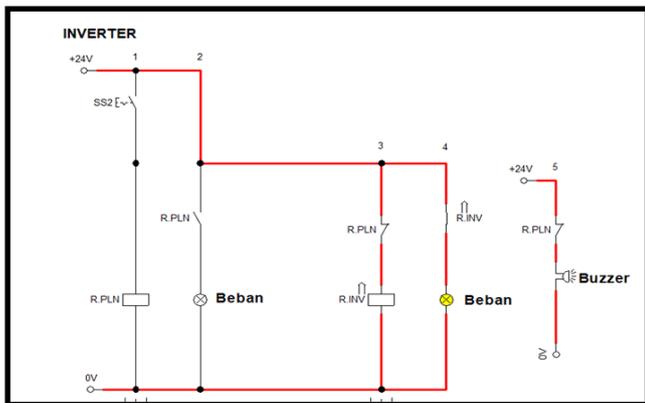
Gambar 14 menunjukkan kinerja kontrol ATS saat tegangan baterai berada pada nilai  $\leq 11$  V dan catu daya PLN dalam kondisi padam. Dalam kondisi ini, beban tetap disuplai oleh inverter, sementara buzzer akan menyala (ON) sebagai indikator bahwa catu daya PLN tidak tersedia.

Tabel 3. Uji *Interlock Mode Inverter*

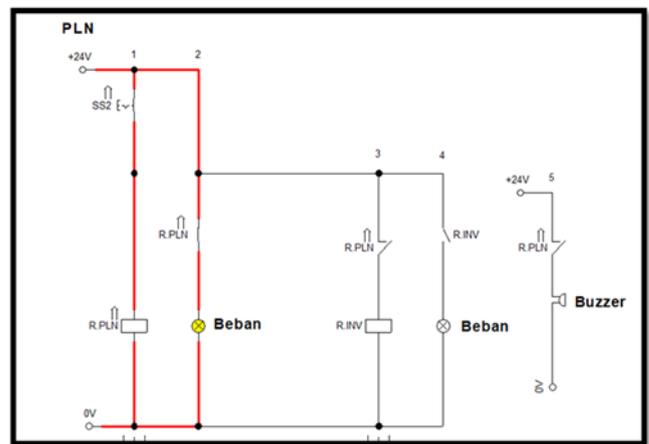
Uji Ke	Baterai (V)	Display Sensor LVD Xh-M609	Catu Daya PLN	Switch ATS untuk Inverter	Switch ATS untuk PLN	Buzzer	Waktu (s)	Ket.
1	12.9 V	12.6 V	Ada	ON	OFF	OFF	0	Normal Suplai Inverter
2	11.4 V	10.9 V	Ada	OFF	ON	OFF	5,95	Peralihan beban ke PLN
3	13.8 V	13.4 V	Ada	ON	OFF	OFF	2,31	Peralihan beban ke Inverter
4	11.4 V	11 V	Tidak Ada	ON	OFF	ON	0	Tidak terjadi peralihan beban

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 3, sistem ATS berjalan dengan baik dengan rata-rata waktu peralihan catu daya sebesar 1,6 detik, sesuai dengan perhitungan menggunakan Persamaan 2. Selain itu, pengaruh beban terhadap proses peralihan catu daya pada mode inverter menunjukkan hasil yang stabil, tanpa adanya fluktuasi beban yang signifikan.

Pengujian interlock sistem ATS pada mode PLN dilakukan untuk memastikan bahwa sistem interlock berfungsi dengan baik saat PLN menjadi master, sesuai dengan pemrograman yang telah diterapkan. Pengujian ini difokuskan pada kondisi ketersediaan atau ketidaksediaan catu daya dari PLN, sebagai dasar untuk melakukan peralihan ke inverter. Gambar 15 menunjukkan diagram daya sistem kontrol relay ATS saat catu daya PLN padam dan beban dialihkan ke inverter, sedangkan Gambar 16 memperlihatkan kondisi saat catu daya PLN kembali tersedia.



Gambar 15. Diagram Daya Kontrol *Relay* pada Saat PLN Padam.



Gambar 16. Diagram Daya Kontrol *Relay* pada Saat Catu Daya PLN Kembali Ada.

Tabel 6. Pengujian *Interlock Mode PLN*

Pengujian Ke	Catu Daya PLN	Switch ATS Catu Daya PLN	Switch ATS Catu Daya Inverter	Buzzer	Waktu (s)	Ket.
1	Ada	ON	OFF	OFF	-	Suplai PLN
2	Tidak Ada	OFF	ON	ON	10,63	Suplai Inverter
3	Ada	ON	OFF	OFF	9,05	Suplai PLN

Hasil pengujian sistem interlock pada mode PLN menunjukkan bahwa sistem ATS berjalan dan berfungsi dengan baik. Rata-rata waktu peralihan beban tercatat sebesar 6,5 detik, berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 2. Namun, terdapat fluktuasi waktu peralihan akibat pengaruh beban,

terutama saat perpindahan catu daya dari PLN ke inverter, yang memerlukan waktu hingga 7,44 detik.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem Automatic Transfer Switch (ATS) satu phasa berbasis mikrokontroler Atmega8-16PU dan terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) melalui platform Blynk Cloud. Sistem ini mampu melakukan perpindahan otomatis antara sumber daya PLTS dan PLN berdasarkan kondisi tegangan baterai dan ketersediaan catu daya, serta dapat dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik, dengan rata-rata waktu peralihan catu daya sebesar 1,6 detik pada mode inverter dan 6,5 detik pada mode PLN, serta mampu memberikan notifikasi ketika terjadi pemadaman atau peralihan daya. Dengan demikian, sistem ATS ini dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan pemanfaatan energi terbarukan, serta memberikan solusi otomatisasi yang efektif untuk manajemen suplai listrik dalam konfigurasi hybrid.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. S. Choi, J. D. Jeong, J. Han, W. K. Park, and I. W. Lee, "Implementation of IoT based PV monitoring system with message queuing telemetry transfer protocol and smart utility network," *Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Converg. ICT Converg. Technol. Lead. Fourth Ind. Revolution, ICTC 2017*, vol. 2017-Decem, no. 20172410100040, pp. 1077–1079, 2017, doi: 10.1109/ICTC.2017.8190859.
- [2] M. E. S. Effendy, R. Kusumanto, and Carlos RS, "Automatic Control System for Hybrid Electrical Energy Supply Based on Internet of Things," *Int. J. Res. Vocat. Stud.*, vol. 1, no. 2, pp. 34–44, 2021, doi: 10.53893/ijrvocas.v1i2.47.
- [3] D. K. Aagri and A. Bisht, "Export and Import of Renewable energy by Hybrid MicroGrid via IoT," *Proc. - 2018 3rd Int. Conf. Internet Things Smart Innov. Usages, IoT-SIU 2018*, no. February, 2018, doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519873.
- [4] A. B. Rehiara and Y. Rumengan, "Arduino-based PLTS and PLN Hybrid Controller Design," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 1, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i1.806.
- [5] N. A. Darmanto and B. W. A. Mahardika, "Design and Development of Automatic Transfer Switch System, Energy Saving Emergency Panel," *7th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2020 - Proc.*, pp. 300–303, 2020, doi: 10.1109/ICITACEE50144.2020.9239160.
- [6] Budiman, A. Taqwa, and R. D. Kusumanto, "IoT Technology Monitoring, Controlling and Data Logging for ATS on Grid Connected Solar-Wind Hybrid System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1167, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1167/1/012021.
- [7] H. R. Iskandar, S. Sambasri, D. I. Saputra, N. Heryana, A. Purwadi, and Marsudiono, "IoT Application for On-line Monitoring of 1 kWp Photovoltaic System Based on NodeMCU ESP8266 and Android Application," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, no. October, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011154.
- [8] M. Q. Azeem, Habib-Ur-Rehman, S. Ahmed, and A. Khattak, "Design and analysis of switching in automatic transfer switch for load transfer," *ICOSST 2016 - 2016 Int. Conf. Open Source Syst. Technol. Proc.*, pp. 129–134, 2017, doi: 10.1109/ICOSST.2016.7838589.
- [9] M. I. A. Arafa, E. S. S. A. Said, and M. Elwany, "An optimized design criteria of non-outage and power reduction for hybrid solar-grid system (residential homes - Case study)," *2017 19th Int. Middle-East Power Syst. Conf. MEPCON 2017 - Proc.*, vol. 2018-Febru, no. December, pp. 59–62, 2018, doi: 10.1109/MEPCON.2017.8301163.
- [10] L. A. Venancio and A. Y. Chua, "A novel low cost automation of transfer switch control for a hybrid solar power system with simulation," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 9, no. 7, pp. 987–997, 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.7.987-997.
- [11] U. Khasanah, D. C. R. Novitasari, W. D. Utami, and P. K. Intan, "Analisis Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Studi Kasus : Pt. Pln (Persero) Area Pengaturan Distribusi Jawa Timur)," *Math Vis.*, vol. 01, no. 01, pp. 17–24, 2019.
- [12] F. Silaban, E. Wisnu Putra, and L. Silalahi, "Monitoring and Evaluation Electrical Power Control in Solar Power Systems Based on IoT," *CCIT (Creative Communication and Innovative Technology) Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 170 - 183, May 2024.