
RANCANG BANGUN SISTEM *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* BERBASIS IOT DENGAN *MONITORING* PARAMETER KELISTRIKAN PADA PLTS *HYBRID*

Ahmad Ghani Satria Nugraha^{a,1,*}, Dr. Ir. Hartoyo, S.Pd., M.Pd., M.T.^{a,2}

^a Departement of Electrical and Electronic Engineering, Vocational Faculty, UNY

¹ ahmadghani.2022@student.uny.ac.id; ² Hartoyo@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 8 May 2026

Revised 15 May 2026

Accepted 27 May 2026

Keywords

Automatic Transfer Switch; IoT;
PLTS; Sistem *Monitoring* Sistem
Kendali ATS; ESP32; *ThingsBoard*.

ABSTRACT

This research aims to design, build, and evaluate an Internet of Things (IoT)-based Automatic Transfer Switch (ATS) system with electrical parameter *monitoring* on a *Hybrid* Solar Power Plant. The method used is Research and Development (R&D) utilizing an ESP32 microcontroller, PZEM-004T sensor, DC voltage sensor, DHT11, LDR, relay, and the *ThingsBoard* platform for *real-time monitoring* and control. The test results indicate that all system components function according to the design. *Monitoring* accuracy has an error percentage below 1% for AC voltage, power, DC voltage, temperature, and light intensity measurements, whereas current measurement has an error of 5.26% due to the use of a 100 A CT on a low load. The ATS system is capable of automatically switching from the solar power plant to the utility grid when battery voltage is below 10 V with an average response time of 5.6 seconds, and returning to the solar power plant when battery voltage exceeds 10 V with an average response time of 5.4 seconds. The research results indicate that the IoT-based ATS system is capable of enhancing the reliability of electricity supply as well as supporting the *monitoring* and control of *Hybrid* PV Power Plants effectively, efficiently, and in *real-time*.

Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan mengevaluasi sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan *monitoring* parameter kelistrikan pada PLTS *Hybrid*. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, DHT11, LDR, relai, serta platform *ThingsBoard* untuk *monitoring* dan pengendalian secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan seluruh komponen sistem berfungsi sesuai perancangan. Akurasi *monitoring* memiliki persentase kesalahan di bawah 1% untuk pengukuran tegangan AC, daya, tegangan DC, suhu, dan intensitas cahaya, sedangkan pengukuran arus memiliki kesalahan sebesar

5,26% akibat penggunaan CT 100 A pada beban rendah. Sistem ATS mampu melakukan perpindahan otomatis dari PLTS ke PLN saat tegangan baterai di bawah 10 V dengan rata-rata waktu respons 5,6 detik, serta kembali ke PLTS saat tegangan baterai di atas 10 V dengan rata-rata waktu respons 5,4 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ATS berbasis IoT mampu meningkatkan keandalan suplai listrik serta mendukung *monitoring* dan pengendalian PLTS *Hybrid* secara efektif, efisien, dan *real-time*.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license.



1. Pendahuluan

Pengembangan energi terbarukan merupakan salah satu upaya strategis untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus mengalami peningkatan serta mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi surya. Hal ini didukung oleh rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar sekitar 4,8 kWh/m²/hari, sehingga Indonesia memiliki potensi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang diperkirakan mencapai 112.000 GWp. Namun demikian, pemanfaatan energi surya masih relatif rendah dibandingkan dengan potensi yang tersedia [1][2]. Salah satu implementasi yang banyak dikembangkan adalah sistem PLTS *Hybrid* yang mengombinasikan PLTS dengan jaringan PLN untuk meningkatkan kontinuitas pasokan energi listrik [3][4][5]. Meskipun demikian, sistem PLTS *Hybrid* masih menghadapi berbagai permasalahan, seperti fluktuasi daya akibat perubahan intensitas radiasi matahari serta gangguan pada jaringan PLN yang dapat menyebabkan ketidakstabilan suplai listrik dan mengganggu operasi beban. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan *Automatic Transfer Switch* (ATS) yang mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga [4][6].

Pesatnya perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang dalam meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik melalui kemampuan pemantauan dan pengendalian secara *real-time* maupun jarak jauh [7]. Oleh karena itu, beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem *monitoring* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis IoT sebagai upaya meningkatkan efektivitas pengelolaan sistem. Sistem ATS otomatis, serta sistem manajemen energi pada PLTS *Hybrid*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan IoT mampu meningkatkan efektivitas pemantauan dan mempermudah pengelolaan sistem kelistrikan [8]. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus terhadap fungsi *monitoring* atau fungsi perpindahan sumber listrik secara terpisah. Selain itu, sistem ATS yang telah dikembangkan umumnya hanya berfungsi sebagai pengalih sumber listrik tanpa dilengkapi pemantauan parameter kelistrikan secara komprehensif, seperti tegangan, arus, daya, tegangan baterai, suhu panel, dan intensitas cahaya matahari, serta belum menyediakan fasilitas pengendalian melalui *platform IoT* secara terpadu [8][9]. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam pengembangan sistem ATS berbasis IoT yang mampu mengintegrasikan fungsi perpindahan sumber listrik otomatis, *monitoring* parameter kelistrikan secara *real-time*, dan kendali jarak jauh dalam satu sistem.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan membangun *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis IoT dengan *monitoring* parameter kelistrikan pada sistem PLTS *Hybrid* menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor parameter kelistrikan dan lingkungan, serta platform *ThingsBoard* sebagai media *monitoring* dan pengendalian. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi fungsi perpindahan sumber listrik otomatis berdasarkan tegangan baterai dengan sistem *monitoring* parameter kelistrikan (tegangan AC, arus, daya, tegangan baterai), suhu panel, dan intensitas cahaya matahari secara *real-time* melalui satu platform IoT yang mampu

diakses menggunakan komputer maupun telepon pintar. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan prototipe ATS berbasis IoT yang mampu meningkatkan keandalan sistem PLTS *Hybrid* melalui perpindahan sumber listrik otomatis, menyediakan *monitoring* parameter kelistrikan secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi, serta mendukung pengendalian dan pemantauan jarak jauh sehingga dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem kelistrikan cerdas berbasis energi terbarukan.

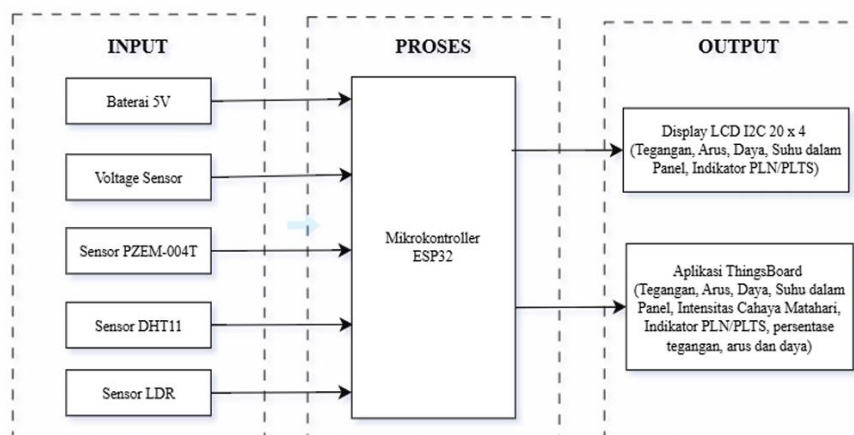
2. Metode

2.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem yang diusulkan mengintegrasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid*, *Automatic Transfer Switch* (ATS), dan teknologi *Internet of Things* (IoT) guna mewujudkan perpindahan sumber listrik secara otomatis sekaligus memungkinkan pemantauan parameter kelistrikan secara *real-time* [9][10]. Sistem tersebut terdiri atas panel surya sebagai sumber energi utama, *Solar Charge Controller* (SCC) yang berfungsi mengendalikan proses pengisian baterai, baterai VRLA 12 V sebagai media penyimpanan energi listrik, inverter yang mengonversi tegangan DC menjadi AC, serta jaringan PLN sebagai sumber listrik cadangan yang akan digunakan ketika energi yang dihasilkan PLTS tidak mencukupi kebutuhan beban [11].

Pengendalian sistem dilakukan oleh ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sekaligus modul komunikasi IoT. ESP32 menerima data dari sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, dan daya AC, sensor tegangan DC untuk memantau kondisi baterai, sensor DHT11 untuk mengukur suhu di dalam panel, serta sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya matahari. Seluruh data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 20×4 sebagai *monitoring* lokal dan dikirim melalui jaringan *Wi-Fi* ke *platform ThingsBoard* sehingga dapat dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh menggunakan komputer maupun telepon pintar[12].

Proses perpindahan sumber listrik dalam sistem dikendalikan berdasarkan kondisi tegangan baterai sebagai parameter utama. Ketika tegangan baterai turun hingga berada di bawah nilai ambang (*threshold*) yang telah ditentukan, mikrokontroler ESP32 akan memberikan perintah kepada *relay* pada *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk mengalihkan sumber suplai listrik dari PLTS ke jaringan PLN. Sebaliknya, apabila tegangan baterai kembali meningkat dan melebihi nilai ambang tersebut, sistem secara otomatis akan mengembalikan sumber suplai listrik dari PLN ke PLTS. Arsitektur sistem yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1.

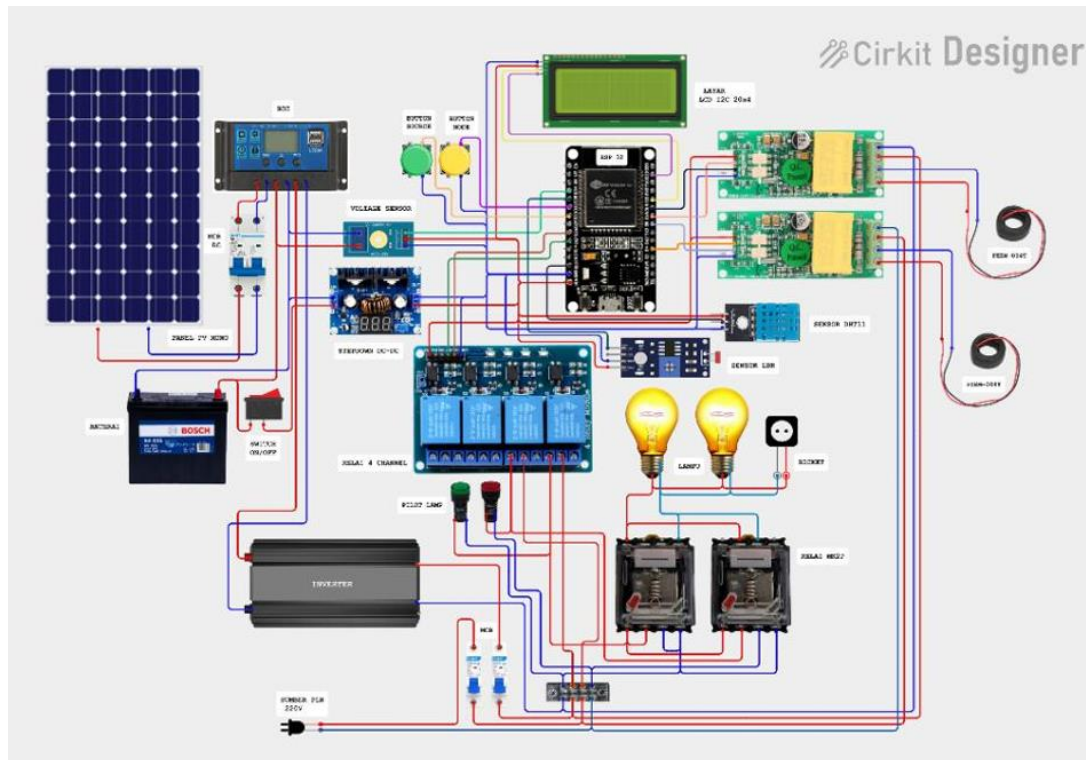


Gambar 1. Diagram blok arsitektur sistem ATS berbasis IoT pada PLTS *Hybrid*

2.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid* guna mendukung kinerja *Automatic Transfer Switch* (ATS) serta sistem *monitoring* berbasis IoT [13]. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat kendali yang bertanggung jawab untuk

mengolah data dari sensor, mengendalikan prose perpindahan sumber listrik melalui *relay* ATS, serta mengirimkan data hasil pemantauan ke *platform ThingsBoard* menggunakan koneksi Wi-Fi. Penggunaan ESP32 dipilih karena telah dilengkapi dengan modul *Wi-Fi* bawaan dan menyediakan pin *Input/Output* (I/O) dalam jumlah yang cukup, sehingga mampu mendukung integrasi berbagai sensor dan aktuator yang digunakan pada sistem.



Gambar 2. Diagram skematik rangkaian perangkat keras sistem

Pengukuran parameter kelistrikan AC dilakukan menggunakan sensor PZEM-004T yang dapat membaca nilai tegangan, arus, dan daya pada sisi keluaran inverter menuju beban. Kondisi baterai dipantau menggunakan sensor tegangan DC (*Voltage Sensor*) yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan perpindahan sumber listrik antara PLTS dan jaringan PLN[14]. Selain itu, sensor DHT11 digunakan untuk memonitoring suhu di dalam panel sebagai indikator kondisi lingkungan kerja perangkat, sedangkan sensor LDR digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari sebagai informasi pendukung terhadap performa pembangkitan PLTS.

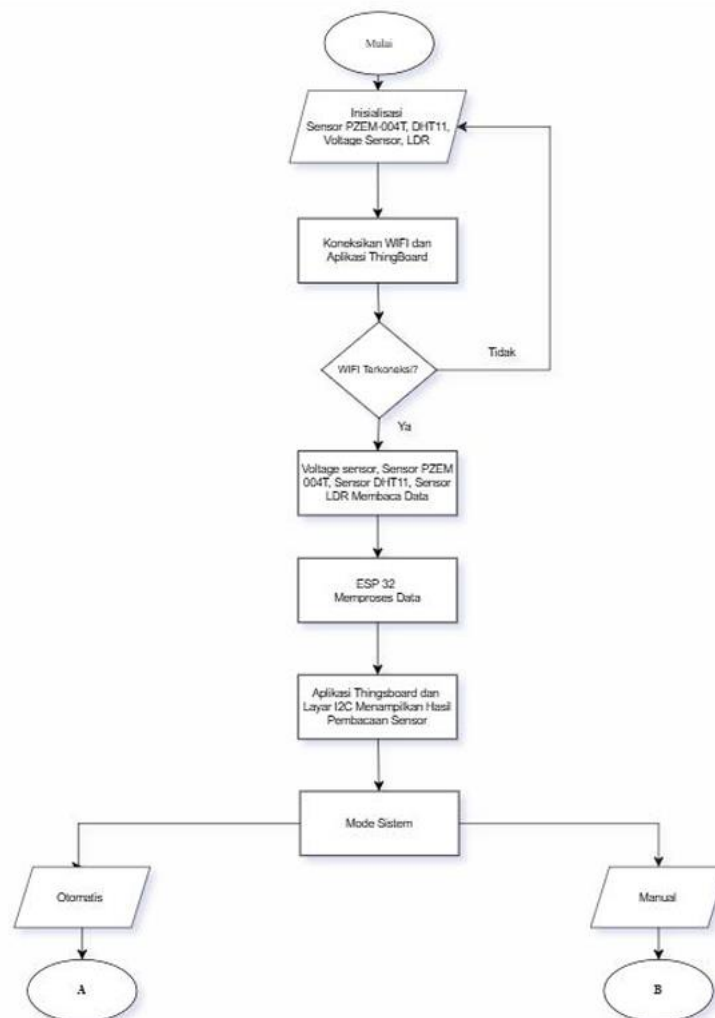
Proses perpindahan sumber listrik dikendalikan menggunakan relay AC yang berfungsi sebagai aktuator ATS. *Relay* bekerja berdasarkan perintah dari ESP32 untuk menghubungkan beban ke sumber PLTS atau PLN sesuai dengan kondisi tegangan baterai. Informasi parameter sistem ditampilkan secara lokal melalui LCD 20×4 dan secara bersamaan dikirim ke *platform ThingsBoard* untuk mendukung *monitoring* dan pengendalian jarak jauh secara *real-time*. Integrasi seluruh komponen perangkat keras menghasilkan sistem ATS berbasis IoT yang mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis sekaligus menyediakan pemantauan parameter kelistrikan secara terpusat.

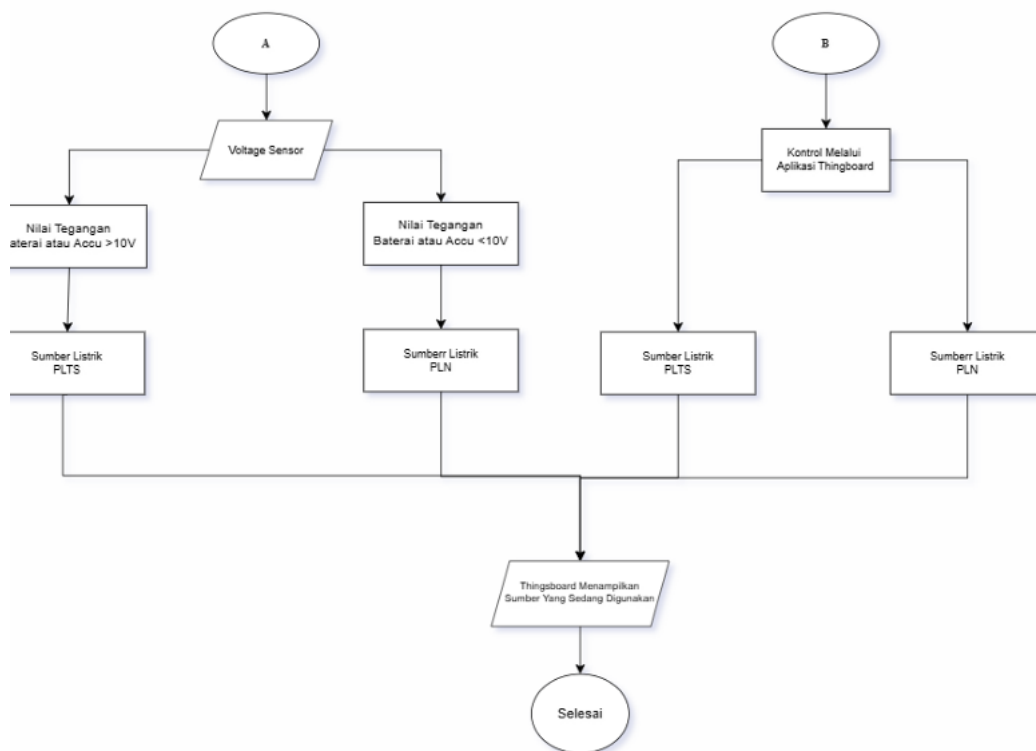
2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini dirancang untuk mendukung proses pembacaan data sensor, pengendalian *Automatic Transfer Switch* (ATS), serta pemantauan kondisi sistem secara *real-time* melalui platform *ThingsBoard*. Program dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan memanfaatkan ESP32 sebagai pusat kendali yang mengoordinasikan proses akuisisi data, pengendalian aktuator, dan transmisi data hasil *monitoring* melalui koneksi *Wi-Fi* [15][16]. Setelah sistem dinyalakan, ESP32 melakukan inisialisasi seluruh perangkat, meliputi sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, DHT11, LDR, modul *relay*, LCD, serta koneksi *Wi-Fi* menuju server *ThingsBoard*.

Setelah proses inisialisasi berhasil, ESP32 membaca data dari seluruh sensor yang meliputi tegangan, arus, daya AC, tegangan baterai, suhu panel, dan intensitas cahaya matahari. Data hasil pembacaan ditampilkan pada layar LCD 20×4 sebagai *monitoring* lokal dan dikirim secara berkala ke *platform ThingsBoard* sehingga dapat dipantau melalui komputer maupun telepon pintar.

Selanjutnya, ESP32 membandingkan nilai tegangan baterai dengan nilai ambang yang telah ditentukan untuk mengendalikan proses perpindahan sumber listrik. Apabila tegangan baterai berada di bawah 10 V, *relay* ATS akan mengalihkan suplai daya dari PLTS ke jaringan PLN. Sebaliknya, ketika tegangan baterai kembali melebihi 10 V, *relay* akan menghubungkan kembali beban ke sumber PLTS. Seluruh proses tersebut berjalan secara berulang (*loop*) sehingga sistem mampu melakukan *monitoring* dan pengendalian ATS secara otomatis dan berkelanjutan. Alur kerja perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 3.





Gambar 3. Flowchart algoritma sistem ATS berbasis IoT.

2.4 Algoritma *Automatic Transfer Switch*

Algoritma *Automatic Transfer Switch* (ATS) dirancang untuk melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis berdasarkan kondisi tegangan baterai pada sistem PLTS Hybrid[17]. ESP32 secara periodik membaca nilai tegangan baterai melalui sensor tegangan DC sebagai parameter utama dalam menentukan sumber daya yang akan digunakan. Nilai tegangan tersebut dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) yang telah ditetapkan, yaitu 10 V.

Apabila tegangan baterai berada di bawah 10 V, ESP32 mengaktifkan *relay* ATS untuk memutus suplai dari PLTS dan mengalihkan beban ke jaringan PLN sebagai sumber daya cadangan. Sebaliknya, ketika tegangan baterai kembali melebihi 10 V, *relay* akan menghubungkan kembali beban ke sistem PLTS sehingga penggunaan energi surya dapat dioptimalkan[9]. Selain mode otomatis, sistem juga menyediakan mode manual melalui *dashboard ThingsBoard*, sehingga pengguna dapat memilih sumber listrik (PLTS atau PLN) serta mengubah mode operasi (*Auto/Manual*) secara jarak jauh melalui komputer maupun telepon pintar. Mekanisme ini meningkatkan fleksibilitas pengoperasian sekaligus menjaga kontinuitas pasokan listrik pada sistem PLTS Hybrid[18].

Logika pengoperasian ATS dapat dinyatakan secara sederhana sebagai berikut:

$$\text{Source} = \begin{cases} \text{PLN}, & V_{bat} < 10 \text{ V} \\ \text{PLTS}, & V_{bat} \geq 10 \text{ V} \end{cases}$$

2.5 Implementasi *Monitoring IoT*

Implementasi sistem *monitoring* berbasis IoT dilakukan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama dan *ThingsBoard* sebagai *platform monitoring* serta pengendalian jarak jauh. ESP32 secara periodik membaca data dari sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, DHT11, dan LDR, kemudian mengolah data tersebut sebelum dikirim ke *server ThingsBoard* melalui jaringan *Wi-Fi* menggunakan MQTT.

Dashboard ThingsBoard menampilkan informasi parameter kelistrikan dan kondisi lingkungan

secara *real-time*, meliputi tegangan AC, arus, daya, tegangan baterai, suhu panel, serta intensitas cahaya matahari[19]. Selain berfungsi sebagai media *monitoring*, dashboard juga menyediakan antarmuka untuk mengubah mode operasi (*Auto/Manual*) dan memilih sumber listrik (PLTS/PLN) secara jarak jauh. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi sistem dan melakukan pengendalian tanpa harus berada di lokasi instalasi.

Implementasi *monitoring* IoT memungkinkan proses akuisisi data berlangsung secara kontinu sehingga memudahkan pengawasan kondisi PLTS *Hybrid* dan meningkatkan efisiensi operasional sistem. Tampilan *dashboard monitoring* pada *platform ThingsBoard* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Dashboard *monitoring* sistem ATS berbasis IoT menggunakan *ThingsBoard*.

2.6 Prosedur Pengujian

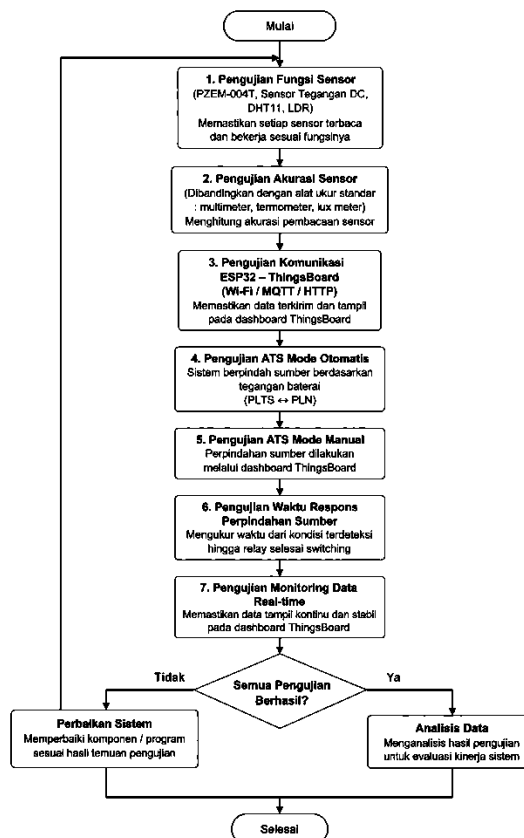
Pengujian sistem berfungsi untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras, perangkat lunak, serta fungsi *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis IoT bekerja sesuai dengan rancangan[18]. Tahapan pengujian meliputi pengujian fungsional setiap sensor, akurasi pembacaan parameter kelistrikan, komunikasi data antara ESP32 dan *platform ThingsBoard*, kinerja perpindahan sumber listrik secara otomatis maupun manual, waktu *respons* perpindahan sumber, serta kestabilan *monitoring* secara *real-time*[20].

Pengujian sensor dilakukan terhadap sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, sensor DHT11, dan sensor LDR dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar, yaitu multimeter untuk parameter tegangan dan arus, termometer untuk suhu, serta lux meter untuk intensitas cahaya. Hasil pengukuran kemudian digunakan untuk menghitung tingkat akurasi masing-masing sensor.

Pengujian komunikasi IoT dilakukan dengan mengamati keberhasilan ESP32 dalam mengirimkan data sensor ke *platform ThingsBoard* melalui jaringan Wi-Fi. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap fungsi *Automatic Transfer Switch* dengan dua skenario, yaitu mode otomatis dan mode manual. Pada mode otomatis, sistem diuji berdasarkan perubahan

tegangan baterai untuk memastikan *relay* dapat berpindah secara otomatis antara sumber PLTS dan PLN sesuai nilai ambang yang telah ditentukan. Pada mode manual, perpindahan sumber listrik dilakukan melalui *dashboard ThingsBoard* untuk memverifikasi fungsi kendali jarak jauh.

Selain itu, dilakukan pengujian waktu *respons* perpindahan sumber listrik dengan mengukur selang waktu sejak kondisi perpindahan terdeteksi hingga relay ATS selesai melakukan *switching*. Kestabilan sistem *monitoring* juga dievaluasi dengan mengamati kontinuitas pengiriman data sensor ke *dashboard ThingsBoard* selama sistem beroperasi. Tahapan prosedur pengujian sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart prosedur pengujian sistem ATS berbasis IoT.

3. Hasil

Hasil pengujian sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis IoT pada PLTS *Hybrid*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui keberhasilan integrasi sistem perangkat keras dan perangkat lunak, Sistem dilakukan dengan menguji akurasi *monitoring*, keandalan komunikasi IoT, dan kinerja perpindahan sumber listrik yang dikendalikan oleh sistem.

3.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan melakukan integrasi panel surya, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai VRLA, *inverter*, *relay* ATS, ESP32, sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, sensor DHT11, sensor LDR, LCD, serta *platform ThingsBoard* menjadi satu sistem PLTS *Hybrid*. ESP32 Berfungsi sebagai pusat kendali yang memproses data sensor, mengendalikan relay ATS, serta mengirimkan data pemantauan ke dashboard *ThingsBoard* melalui koneksi Wi-Fi untuk mendukung *monitoring* sistem secara *real-time*.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen berhasil terintegrasi sesuai dengan rancangan pada Bab III. *Dashboard ThingsBoard* mampu menampilkan parameter kelistrikan secara *real-time*, sedangkan LCD menampilkan informasi lokal mengenai kondisi sistem.

3.2 Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian diberlakukan untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Pengujian meliputi ESP32, relay ATS, sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, sensor DHT11, sensor LDR, LCD, dan komunikasi dengan *ThingsBoard*.

Tabel 1. Hasil pengujian fungsional sistem

Komponen	Fungsi	Hasil
ESP32	Pengendali sistem	Berfungsi
Relay ATS	Perpindahan sumber listrik	Berfungsi
Sensor PZEM-004T	<i>Monitoring</i> tegangan, arus, daya AC	Berfungsi
Sensor Tegangan DC	<i>Monitoring</i> baterai	Berfungsi
Sensor DHT11	<i>Monitoring</i> suhu panel	Berfungsi
Sensor LDR	<i>Monitoring</i> intensitas cahaya	Berfungsi
LCD 20×4	<i>Monitoring</i> lokal	Berfungsi
<i>ThingsBoard</i>	<i>Monitoring</i> dan kendali IoT	Berfungsi

Berdasarkan Tabel 2, seluruh komponen berhasil bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. ESP32 mampu mengendalikan relay ATS, membaca seluruh sensor, dan mengirimkan data ke *ThingsBoard* secara *real-time*. Selain itu, *dashboard ThingsBoard* dapat menerima data *monitoring* serta mengirimkan perintah kendali pada mode manual.

3.3 Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar. Parameter yang diuji meliputi tegangan AC, arus, daya, tegangan baterai, suhu panel, dan intensitas cahaya.

Tabel 2. Ringkasan hasil pengujian akurasi sensor

Parameter	Rata-rata Error (%)
Tegangan AC	< 1
Arus AC	5,26
Daya AC	< 1
Tegangan DC	< 1
Suhu	< 1
Intensitas cahaya	< 1

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang tinggi pada pengukuran tegangan dan daya yaitu kurang dari 1%. Pengukuran arus memiliki nilai sebesar 5,26%, yang dipengaruhi oleh penggunaan *Current Transformer* (CT) 100 A untuk pengukuran arus beban yang relatif kecil. Sensor tegangan DC, DHT11, dan LDR juga menunjukkan tingkat kesalahan di bawah 1%, sehingga layak digunakan sebagai sistem *monitoring* pada PLTS Hybrid.

3.4 Pengujian Automatic Transfer Switch

Pengujian ATS dilakukan pada mode otomatis dan mode manual untuk mengetahui keberhasilan perpindahan sumber listrik antara PLTS dan jaringan PLN.

Tabel 3. Hasil pengujian *Automatic Transfer Switch*

Kondisi Pengujian	Hasil
Tegangan baterai < 10 V	Berpindah ke PLN
Tegangan baterai $\geq$ 10 V	Berpindah ke PLTS
Mode manual PLTS	Berhasil

Mode manual PLN	Berhasil
-----------------	----------

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma ATS mampu bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang. Pada mode otomatis, perpindahan sumber listrik dilakukan berdasarkan nilai tegangan baterai, sedangkan pada mode manual perpindahan sumber dapat dikendalikan melalui *dashboard ThingsBoard* tanpa harus mengoperasikan panel secara langsung.

3.5 Pengujian Waktu Respons

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kecepatan dalam melakukan perpindahan sumber listrik.

Tabel 4. Hasil pengujian waktu respons ATS

Perpindahan	Waktu Respons (detik)
PLTS → PLN	5,6
PLN → PLTS	5,4

Berdasarkan hasil pengujian, sistem memerlukan waktu rata-rata 5,6 detik untuk berpindah dari PLTS menuju PLN dan 5,4 detik untuk kembali menggunakan sumber PLTS. Waktu respons tersebut dipengaruhi oleh proses pembacaan sensor, pengambilan keputusan oleh ESP32, serta waktu aktivasi *relay* ATS. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis dengan waktu respons yang relatif cepat dan stabil.

3.6 Monitoring IoT Menggunakan ThingsBoard

Implementasi *monitoring* IoT dilakukan menggunakan *platform ThingsBoard* sebagai media visualisasi data dan pengendalian sistem secara jarak jauh. Dashboard menampilkan parameter tegangan AC, arus, daya, tegangan baterai, suhu panel, dan intensitas cahaya secara *real-time*. Selain itu, pengguna dapat mengubah mode operasi (*Auto/Manual*) serta memilih sumber listrik (PLTS/PLN) melalui antarmuka *dashboard* Gambar 4. *Dashboard monitoring* sistem ATS berbasis IoT menggunakan *ThingsBoard*.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh data sensor berhasil dikirim dan ditampilkan secara kontinu pada *dashboard ThingsBoard*. *Monitoring* berbasis IoT memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau kondisi sistem tanpa harus berada di lokasi instalasi, sehingga meningkatkan efisiensi proses pengawasan dan pengoperasian PLTS *Hybrid*.

4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ATS berbasis IoT berhasil mengintegrasikan fungsi perpindahan sumber listrik otomatis, *monitoring* parameter kelistrikan, dan kendali jarak jauh dalam satu sistem. Dibandingkan ATS konvensional yang hanya berfungsi sebagai pemindah sumber listrik, sistem yang dikembangkan mampu menyediakan informasi kondisi sistem secara *real-time* melalui *platform ThingsBoard*. Integrasi ESP32 dengan sensor PZEM-004T, sensor tegangan DC, DHT11, dan LDR memungkinkan pengguna memantau kondisi kelistrikan dan lingkungan panel secara lebih komprehensif.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa seluruh parameter memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan nilai galat kurang dari 1%, kecuali pengukuran arus yang memiliki galat sebesar 5,26% akibat penggunaan CT 100 A pada beban rendah. Selain itu, sistem mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis dengan waktu respons rata-rata 5,6 detik saat beralih dari PLTS ke PLN dan 5,4 detik saat kembali ke PLTS. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan keandalan pasokan listrik serta mendukung *monitoring* dan pengendalian PLTS *Hybrid* secara efektif dan efisien.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)

berbasis IoT dengan *monitoring* parameter kelistrikan pada PLTS *Hybrid* telah berhasil direalisasikan dengan baik. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang mampu mengatur perpindahan sumber listrik secara otomatis antara PLTS dan PLN berdasarkan kondisi tegangan baterai serta terintegrasi dengan *platform ThingsBoard* untuk pemantauan dan pengendalian secara *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan seluruh komponen sistem dapat bekerja secara optimal, stabil, dan terintegrasi sesuai fungsinya. Sistem *monitoring* memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai *error* pengukuran tegangan AC, daya, tegangan DC, dan suhu di bawah 1%, sedangkan pengukuran arus memiliki error sebesar 5,26% akibat keterbatasan sensor arus pada beban rendah. Sistem ATS mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis dengan waktu respons rata-rata sekitar 5,4–5,6 detik, baik dari PLTS ke PLN maupun sebaliknya. Selain itu, fitur kendali mode *Auto/Manual* dan pengaturan sumber melalui *ThingsBoard* dapat berjalan dengan baik serta memenuhi aspek keamanan karena hanya satu sumber listrik yang aktif dalam satu waktu. Dengan demikian, sistem yang dirancang mampu meningkatkan keandalan pemanfaatan energi PLTS *Hybrid* melalui mekanisme perpindahan sumber dan *monitoring* berbasis IoT.

Referensi

- [1] N. R. A. S., F. I. Prakoso, and E. Supriyadi, "Analisa panel ATS dan AMF genset secara otomatis pada industri," *Sinusoida*, vol. 24, no. 2, pp. 1–8, 2022, doi: 10.37277/s.v24i2.1461.
- [2] H. Abdillah, T. Asrori, M. A. Baihaqi, D. H. T. Prasetyo, and A. Muhammad, "Sistem *monitoring* dan manajemen energi pada pembangkit *Hybrid* PLTS, PLTB, dan PLN berbasis Internet of Things," *JASIEK (Jurnal Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer)*, vol. 5, no. 2, pp. 41–50, 2023, doi: 10.26905/jasiek.v5i2.10920.
- [3] T. Alamsyah, A. Hiendro, and Z. Abidin, "Analisis potensi energi matahari sebagai pembangkit listrik tenaga surya menggunakan panel mono-crystalline dan poly-crystalline di Kota Pontianak dan sekitarnya," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, pp. 1–9, 2025, doi: 10.26418/j3eit.v9i2.48425.
- [4] M. A. M. Alsafy, "Rancang bangun sistem automatic transfer switch (ATS) berbasis Arduino untuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid dengan pendeteksi tegangan baterai," 2025.
- [5] S. Ariyani, D. A. Wicaksono, F. Fitriana, R. Taufik, and G. Germanio, "Studi perencanaan dan *monitoring* system pembangkit listrik tenaga surya di remote area," *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 20, no. 2, pp. 113–124, 2021, doi: 10.31358/techne.v20i2.273.
- [6] M. A. Basil, H. Hernawan, and H. Afrisal, "Perancangan sistem automatic transfer switch pada inverter dengan *monitoring* baterai berbasis mikrokontroler," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 4, pp. 566–571, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i4.566-571.
- [7] N. Chairunnisa, "Perancangan dan analisa automatic transfer switch (ATS) menggunakan programmable logic controller (PLC) Omron CPM1A," *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, vol. 3, no. 3, pp. 1–9, 2018, doi: 10.33772/jfe.v3i2.7894.
- [8] T. Dano, "Rancang bangun sistem *monitoring* PLTS off-grid berbasis IoT," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 2, pp. 71–84, 2023, doi: 10.46574/mted.v4i2.111.
- [9] L. E. Nuryanto, "Perancangan sistem kontrol pembangkit listrik tenaga *Hybrid* (PLN dan PLTS) kapasitas 800 Wp," *Orbith*, vol. 17, no. 3, pp. 196–205, 2021, doi: 10.32497/orbith.v17i3.3443.
- [10] S. Hadi, R. Putra, M. D. Labib, and P. D. Widayaka, "Perbandingan akurasi pengukuran sensor LM35 dan sensor DHT11 untuk *monitoring* suhu berbasis Internet of Things," *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, vol. 6, no. 3, pp. 6–47, 2019, doi: 10.30998/string.v6i3.11534.
- [11] I. P. A. W. W., N. P. A. W. I., I. W. W. A. P., I. K. D., I. G. N. S., and A. A. N. G., "15729-File utama naskah-48381-1-10-20210424," *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.5614/joki.2021.13.1.4.
- [12] Irawati, Sunardi, and A. Nurwanto, "Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem kontrol," *Jurnal Elektro & Informatika Swadharma (JEIS)*, vol. 3, no. 1, pp. 1–30, 2023, doi: 10.56486/jeis.vol3no1.288.
- [13] D. T. Laksono, R. Afrianti, M. W. Fatma, M. Prasafitri, and H. Alchudri, "Rancang bangun sistem pemantauan energi listrik dengan automatic transfer switch," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5492.

-
- [14] M. F. Majid, Isdawimah, and N. N., “Pengujian kinerja sensor PZEM-004 dan PZEM-017 pada sistem PLTS,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, vol. 10, pp. 88–92, 2024.
- [15] R. J. Sianturi, L. Jasa, and I. N. Setiawan, “Rancang bangun prototype automatic transfer switch dengan interlock system untuk peralihan daya antara inverter (PLTS off-grid) dan PLN,” *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 4, no. 4, pp. 1655–1667, 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i4.3695.
- [16] R. M. W. N. Slamet Purwo S., “Rancang bangun alat pintu geser otomatis menggunakan motor DC 24 V,” vol. 9, no. 1, 2021.
- [17] E. Susanto, “Automatic transfer switch (suatu tinjauan),” *Jurnal Teknik Elektro Unnes*, vol. 5, no. 1, pp. 3–6, 2013, doi: 10.15294/jte.v5i1.3549.
- [18] D. Wijayanto, “Rancang bangun *monitoring* arus dan tegangan pada PLTS sistem on grid berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan aplikasi Telegram,” *Jurnal Teknik Elektro*, pp. 447–453, doi: 10.26740/jte.v11n3.p447-453.
- [19] A. Wisnu and A. Kristanto, “Pemodelan automatic transfer switch (ATS) pada system smartgrid pembangkit photovoltaic dan PLN berbasis Internet of Things (IoT) untuk *monitoring* penggunaan daya listrik,” *Jurnal Teknik Elektro*, pp. 351–360, doi: 10.26740/jte.v11n2.p351-360.
- [20] H. Pradana and S. D. Lingga, “Rancang bangun trainer kit sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS),” *Journal of Electrical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 50–53, 2020.