

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu energi baru terbarukan (EBT) yang dapat digunakan sebagai penyedia listrik alternatif yang mudah diimplementasikan untuk skala rumah tinggal adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS adalah sebuah sistem yang dimanfaatkan untuk konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* adalah fenomena fisika yang terjadi pada permukaan sel surya (*solar cell*) saat menerima cahaya matahari kemudian diubah menjadi energi listrik [1]. Indonesia berlokasi di daerah ekuator, sehingga memiliki potensi untuk memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi listrik dengan intensitas harian radiasi matahari di Indonesia mencapai 4,8 kW/m² per hari [2].

Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tidak dapat dipantau secara langsung melalui *internet*, melainkan hanya melalui sistem yang terdapat di sekitar PLTS itu sendiri. Meskipun PLTS telah dilengkapi dengan sistem pemantauan yang dapat menampilkan data tegangan dan arus yang dihasilkan, masih terdapat kekurangan, yaitu ketiadaan sistem kendali dan pemantauan kinerja panel surya tidak dapat dilakukan dari jarak jauh atau tidak memanfaatkan *internet* sebagai saluran pengiriman data [3]. Penggunaan PLTS sangat bergantung pada ketersediaan sinar matahari serta cuaca seperti keadaan mendung ataupun hujan dapat menjadi suatu kelemahan penggunaan PLTS. Oleh karena itu, tetap dibutuhkan sumber listrik lain untuk menopang kebutuhan listrik rumah yang dilengkapi dengan suatu alat untuk peralihan sumber listrik yang digunakan.

Saat ini, penggunaan energi listrik yang didistribusikan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) pada setiap bangunan atau tempat tinggal diatur oleh suatu alat yang disebut kWh meter (*kilo Watt hour meter*). Indonesia telah memasang 79 juta kWh meter unit milik PLN di seluruh Indonesia [4]. Keterbatasan dalam pemantauan *real-time* dan dalam banyak kasus, kWh meter konvensional memerlukan pembacaan manual oleh petugas lapangan sehingga harus bekerja melakukan pengecekan satu per satu di setiap rumah dan mencatat pengeluaran

listrik yang digunakan. Pengukuran energi listrik memiliki peran krusial dalam menentukan pendapatan perusahaan listrik. Ketidakakuratan data pengukuran energi listrik merupakan salah satu keluhan yang sering disampaikan oleh pelanggan kepada perusahaan listrik [5]. Deputi Bidang Koordinasi Kedaulatan Maritim dan Energi Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, Purbaya Yudhi Sadewa mengemukakan bahwa pihaknya menerima 410 keluhan dari warga sehubungan dengan kenaikan tagihan listrik selama bulan Mei dan Juni 2020, ketika PSBB diberlakukan akibat pandemi Covid-19. Hampir 10 persen dari keluhan tersebut melibatkan masalah ketidaksesuaian dalam pencatatan data meter pelanggan [6]. Permasalahan-permasalahan tersebut dapat diatasi dengan melakukan penelitian, yaitu mengganti perangkat kWh meter konvensional dengan kWh meter yang tidak memerlukan operator untuk pencatatan manual. Penggunaan daya listrik rumah dan setiap unit PLTS dapat diperiksa dari jarak jauh menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT).

Penelitian ini akan dibuat *smart electric meter* yang terintegrasi dengan PLTS secara *off-grid* yang dapat beralih sumber listrik dari PLN menjadi PLTS dan sebaliknya menggunakan *automatic transfer switching* (ATS) berbasis IoT dengan menggunakan parameter kapasitas dari baterai. *Smart electric meter* dapat menunjukkan penggunaan daya listrik, harga yang dikeluarkan secara *real-time*, serta *timer* otomatisasi untuk menghidupkan atau mematikan beban listrik sehingga memudahkan pengguna dalam memantau konsumsi listrik dan dapat dikontrol melalui *internet*. Cara ini dapat memantau dan mengoptimalkan konsumsi energi, menghindari pemborosan daya, memastikan bahwa sumber daya listrik tersedia untuk digunakan, serta memudahkan dalam mengatasi masalah kerusakan PLTS.

1.2. Kajian Riset Terdahulu

Bagian ini memuat penelitian-penelitian atau kajian riset terdahulu oleh peneliti-peneliti maupun pihak lainnya. Selain itu, bagian ini juga memuat sebuah pernyataan yang menegaskan keunikan dan keaslian penelitian yang akan dilaksanakan serta menggambarkan perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang menjadi referensi dalam penulisan tugas akhir ini. Referensi penelitian pada

tahap ini telah disajikan secara ringkas sebagai langkah untuk memperkuat alasan di balik pelaksanaan penelitian ini yang tertuang pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Tabel referensi.

NO	NAMA PENELITI	TAHUN	JUDUL
1.	Sulhan Saharo, dkk	2022	<i>Power Monitoring System of Home-scale Internet of Things (IoT)</i>
2.	Teguh Adkhar dan Hasti Afianti	2023	<i>Monitoring System of Parallel Loads Electricity Consumption Based on IoT</i>
3.	Andhika Rizkita Putera, dkk	2022	<i>Design and Build Automatic Transfer Switch (ATS) Based Internet of Things on Microgrid System</i>
4.	Andika Wisnu Adam Kristanto, dkk	2022	<i>Pemodelan Automatic Transfer Switch (ATS) Pada System Smartgrid Pembangkit Photovoltaic dan PLN Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Monitoring Penggunaan Daya Listrik</i>
5.	Sirojul Hadi, dkk	2022	<i>Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis Internet of Things</i>

Berbagai pihak dan lembaga sebelumnya telah menjalankan penelitian mengenai sistem *monitoring* daya listrik rumah dengan pendekatan, tujuan, dan hasil yang berbeda-beda. Berdasarkan Tabel 1.1, masing-masing penelitian terdahulu berhubungan dengan kebutuhan penelitian yang dilakukan saat ini.

Penelitian pertama dilakukan oleh Sulhan Saharo, dkk [7] pada tahun 2022 membahas tentang sistem *monitoring* daya skala rumah berbasis IoT. Sistem ini menggunakan Thingier.IO sebagai penyimpan data *online* melalui *cloud* yang tersedia di *browser web* Thingier.IO dan menggunakan aplikasi Telegram untuk memberikan hasil *monitoring* daya listrik *real-time* ke pengguna. Sistem ini

menggunakan sensor ACS712 untuk mengukur arus listrik, sensor ZMPT101B untuk mengukur tegangan listrik, kemudian menggunakan AVOMeter sebagai nilai acuan perbandingan. Hasilnya sensor ZMPT101B mempunyai akurasi pengukuran tegangan yang cukup tinggi, dengan nilai akurasi 99,845%. Pemberitahuan melalui Bot Telegram terjadi *delay* rata-rata hingga 4,2 detik. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler yang terhubung dengan WiFi.

Penelitian kedua dilakukan oleh Teguh Adkhar dan Hasti Afianti [8] pada tahun 2023. Penelitian ini membahas tentang perancangan *monitoring* konsumsi daya menggunakan telegram dan LCD. Pemantauan konsumsi energi listrik dilakukan agar tidak terjadi konsumsi berlebih serta pengamanan perangkat elektronik yang digunakan. *Relay* akan secara otomatis memutus sumber listrik di setiap ruangan ketika listrik kelebihan beban dan kondisi ini dilaporkan melalui jaringan *internet* dengan aplikasi Telegram. Pengukuran pada penelitian ini menggunakan multimeter *digital* dan sensor PZEM-004T. Pengujian perbandingan PZEM-004T dan multimeter menghasilkan nilai eror tegangan sebesar 0,048-1,347% dan nilai eror arus sebesar 0-35,484%. Penelitian ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler yang terhubung dengan WiFi.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Andhika Rizkita Putera [9] pada tahun 2022. Pada penelitian ini, sistem ATS dikembangkan dengan menggunakan listrik metode peralihan kelistrikan dengan 300 ms, 600 ms, dan 1000 ms, dan menggunakan IoT untuk mengoptimalkan sistem *override* manual ATS dengan *monitoring* tegangan, arus, dan daya. Sistem ini menggunakan PZEM 004T sebagai sensor tegangan dan arus. Penelitian ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler IoT dan *platform* Blynk sebagai *platform* IoT. Hasil pengujian menunjukkan akurasi *switching* 300 ms sebesar 98,40% dan 98,18% dengan tegangan rata-rata 19.65V dan 41.22V saat *switching*, 600ms akurasi *switching* sebesar 98,14% dan 99,25% dengan tegangan rata-rata sebesar 17.77V dan 18.18V saat beralih, dan peralihan 1000ms menghasilkan 99,40% dan 99,41% dengan tegangan rata-rata 17,52V dan 21,05V.

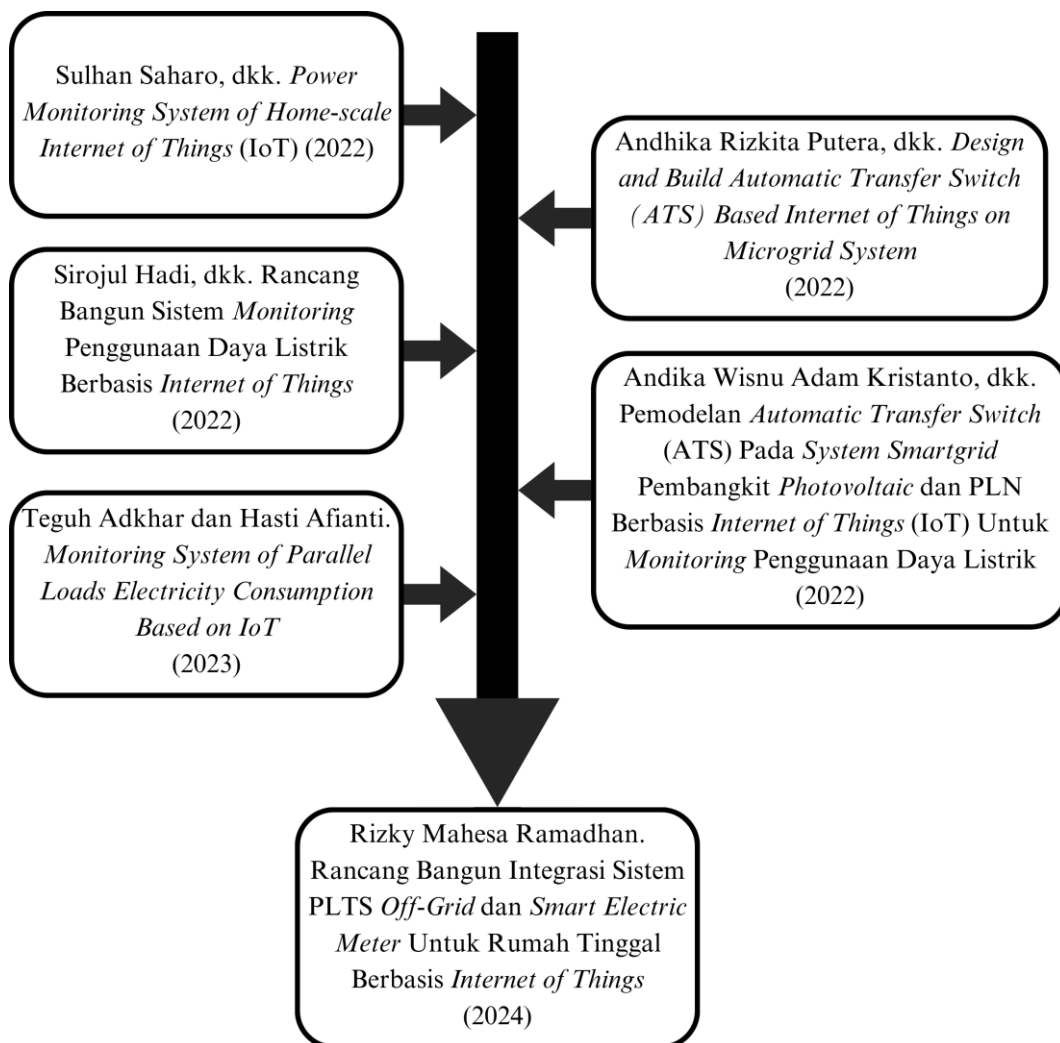
Penelitian keempat dilakukan oleh Andika Wisnu Adam Kristanto, dkk [10] pada tahun 2022 dibuat Pemodelan *Automatic Transfer Switch* (ATS) Pada *System*

Smartgrid Pembangkit *Photovoltaic* dan PLN Berbasis *Internet of Things* (IoT) Untuk *Monitoring* Penggunaan Daya Listrik. Penelitian ini merancang suatu model *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau penggunaan daya listrik. Desain ini memanfaatkan mikrokontroler DOIT ESP32 DEV KIT untuk menerima data dari sensor tegangan DC yang digunakan sebagai pengendali otomatis sumber tegangan dan sensor PZEM-004t untuk *monitoring* penggunaan daya listrik. Penggunaan *relay* AC MK2P digunakan untuk beralih sumber tegangan. Dalam penelitian ini, digunakan *platform* Blynk sebagai *platform* IoT. Setelah merancang penelitian ini, hasil rata-rata eror yang dihasilkan oleh sensor diukur menggunakan multimeter dan dihitung dengan rumus MAPE. Rata-rata eror dari sensor tegangan DC selama 6 hari pengujian adalah 0,499%, 0,465%, 0,687%, 1,202%, 0,551%, dan 0,536%. Dengan rata-rata eror yang sangat rendah, dapat disimpulkan bahwa perangkat yang menggunakan sensor ini bekerja dengan sangat baik.

Penelitian kelima dilakukan oleh Sirojul Hadi, dkk [11] pada tahun 2022 membuat Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Penggunaan Daya Listrik Berbasis *Internet of Things*. Pada penelitian ini, pemantauan konsumsi energi listrik dirancang dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pusat pengendali dan untuk menghubungkannya ke jaringan *internet*. Pengukuran konsumsi daya listrik dilakukan dengan memanfaatkan sensor ACS-712, yang berperan dalam membaca arus listrik yang mengalir ke beban. Pemantauan konsumsi daya listrik dilakukan di dua ruangan yang berbeda dalam penelitian ini, yakni ruangan A dan ruangan B. Penelitian ini menggunakan *platform* Blynk untuk menampilkan dan merekam data sehingga mempermudah proses pemantauan dan pencatatan data daya listrik.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan beberapa penelitian terdahulu, yaitu integrasi antara sistem PLTS *off-grid* dengan *smart electric meter*. Dalam sistem PLTS, terdapat penggunaan ATS menggunakan sensor tegangan untuk mengambil keputusan peralihan sumber daya listrik PLTS dan PLN berdasarkan parameter tegangan yang terukur dari kapasitas baterai serta dapat dikendalikan manual berbasis IoT. Sistem *smart electric meter* disertai dengan sistem *monitoring*

konsumsi daya listrik dengan estimasi harga yang dikeluarkan secara *real-time*, dapat mengendalikan beban listrik dengan sistem penjadwalan atau *timer*, serta dapat dikendalikan manual dengan IoT untuk menghindari pemborosan daya listrik. Sistem ini menggunakan IoT MQTT Panel sebagai *platform* IoT dan MQTT sebagai protokol komunikasi IoT. Sistem ini dilengkapi *mini circuit breaker* (MCB) sebagai proteksi jika terjadi beban berlebih (*overload*) dan *short circuit*. Gambar 1.1 merupakan kajian riset terdahulu yang menjadi referensi penelitian atau sebagai studi literatur.



Gambar 1. 1 Kajian riset terdahulu.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, ada beberapa masalah yang perlu dirumuskan seperti berikut:

1. Bagaimana rancang bangun integrasi sistem PLTS *off-grid* dengan *smart electric meter*?
2. Bagaimana kinerja sistem PLTS *off-grid* yang terintegrasi dengan *smart electric meter*?

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem integrasi antara PLTS dengan *smart electric meter*.
2. Menganalisis kinerja sistem integrasi antara PLTS dengan *smart electric meter*.

1.4.2. Manfaat

Penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin dicapai yaitu:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dengan dijadikannya referensi dalam pengembangan ilmu energi baru terbarukan (EBT), sistem kendali, dan IoT.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang ingin mengimplementasikan dan mengembangkan sistem PLTS di rumah tinggal.

1.5. Batasan Masalah

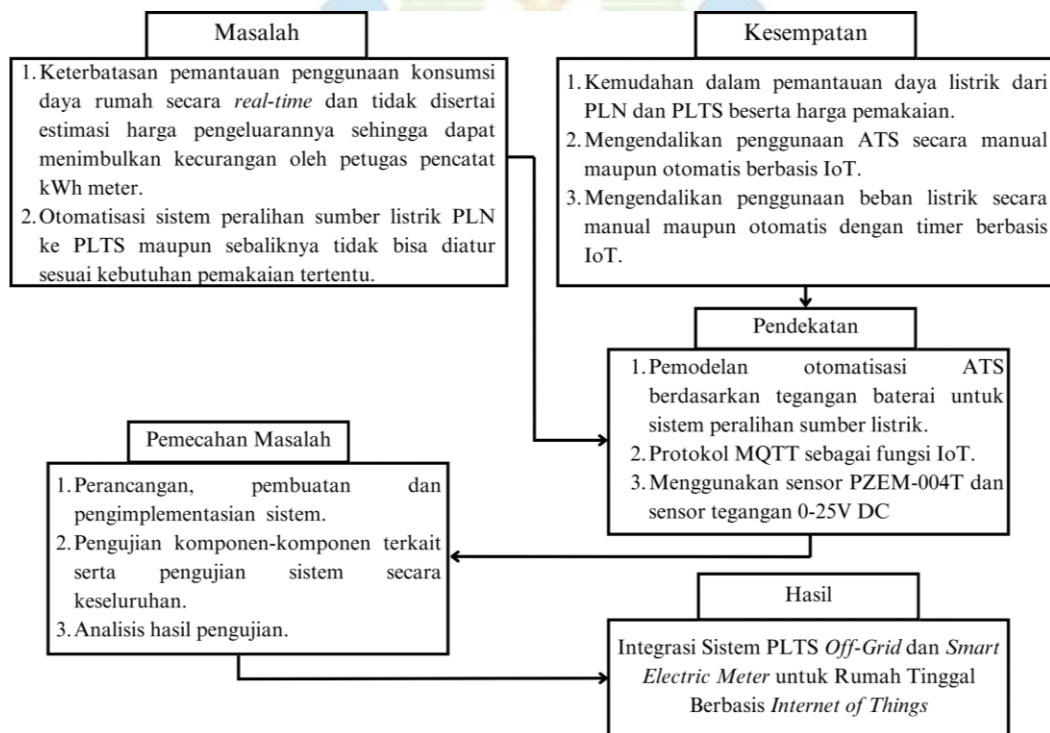
Penelitian ini memiliki masalah dengan cakupan yang sangat luas, oleh karena itu sangat penting untuk menetapkan batasan masalah yang lebih spesifik dan terfokus dalam penelitian ini. Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini tidak membahas rancang bangun PLTS secara detail.

2. Berfokus pada kinerja sistem ATS dan sistem *smart electric meter* yang diintegrasikan.
3. Menggunakan bahasa C pada Arduino IDE untuk bahasa pemrograman.
4. Menggunakan MQTT sebagai protokol komunikasi berbasis IoT.
5. Menggunakan IoT MQTT Panel sebagai *platform* IoT di *smartphone*.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir adalah suatu rangkaian ide yang menyajikan pandangan sistematis mengenai bagaimana suatu permasalahan penelitian akan dipecahkan melalui pendekatan yang diperlukan untuk rancang bangun integrasi sistem PLTS dan *smart electric meter* untuk rumah tinggal berbasis *internet of things*. Untuk mengatasi masalah tersebut, kerangka berpikir penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini memiliki total enam bab yang menguraikan dan menjabarkan permasalahan yang dibahas. Berikut adalah sistematika penulisan tugas akhir:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, kajian riset terdahulu, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, kerangka berpikir dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan tentang hal-hal pokok sebelum melakukan penelitian. Menyangkut dengan penelitian, perlu adanya penguasaan teori yang berhubungan dan menunjang dalam penelitian mengenai integrasi sistem PLTS *off-grid* dan *smart electric meter* untuk rumah tinggal berbasis IoT.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian rancang bangun integrasi sistem PLTS *off-grid* dan *smart electric meter* untuk rumah tinggal berbasis IoT.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini memaparkan tahap perancangan sistem mulai dari perancangan *design* sistem, skematik sistem, kebutuhan *hardware* dan *software* hingga tahap implementasi. Hasil rancangan diimplementasikan hingga menjadi sistem yang terintegrasi dengan *platform* IoT.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi pengujian sensor PZEM-004T, pengujian sensor tegangan baterai, pengujian respons *relay* pada ATS dan terminal beban listrik, pengujian pengukuran harga konsumsi listrik, dan pengujian sistem *monitoring*. Hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui kinerja dan mengevaluasi data-data pengujian untuk ditarik kesimpulan.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi penutup berupa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian di masa mendatang sebagai inovasi yang dapat berguna bagi pihak-pihak lain juga.