

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan penelusuran literatur yang telah dilakukan. Bab ini juga membahas pencapaian terdahulu dan tinjauan teoritis yang relevan dengan topik penelitian.

2.1 Pencapaian Terdahulu

Penelitian terdahulu dimanfaatkan sebagai acuan utama untuk memperkuat landasan teoretis dan argumen dalam penelitian ini. Tinjauan ini bertujuan untuk memastikan signifikansi kontribusi penelitian serta menghindari tumpang tindih dengan studi sejenis. Tabel 2.1 berikut menyajikan ringkasan publikasi ilmiah yang relevan.

Tabel 2.1. *Pencapaian Terdahulu*

Pencapaian Ke-1	
Nama Penulis	Aliffudin, M., Sulistiyowati, I., & Falah, A. H. (2024)
Judul	Sistem Monitoring Energy Mobil Listrik Terintegrasi IoT: Studi Kasus IMEI TEAM UMSIDA
Hasil	Studi ini berfokus pada pengembangan sistem pemantauan konsumsi daya kendaraan listrik secara real-time berbasis mikrokontroler ESP8266 dan platform IoT. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem yang dibangun mampu mengukur tegangan dengan error di bawah 0,1% dan arus dengan error di bawah 0,2%.
Pencapaian Ke-2	
Nama Penulis	Harjono, D. (2023)
Judul	Sistem Monitoring Baterai Lithium Polymer (Lipo) Secara Nirkabel Pada Mobil Listrik PonECar
Hasil	Studi ini berfokus pada perancangan sistem pemantauan kondisi baterai mobil listrik yang terintegrasi dengan aplikasi Android melalui konektivitas Bluetooth. Hasil validasi menunjukkan sistem berfungsi andal dengan error pengukuran yang rendah, yaitu 0,91% untuk temperatur, 0,24% untuk tegangan, dan 1,92% untuk arus. Selain itu, koneksi Bluetooth terbukti efektif hingga jarak 16 meter.
Pencapaian Ke-3	
Nama Penulis	Bachri, A., Laksono, A. B., Susilo, P. H., Hartantyo, S. D., & Rohman, M. A. (2025)
Judul	Sistem Monitoring Daya Sel Surya pada Mobil Listrik Surya Unisla Berbasis IoT

Hasil	Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring daya berbasis IoT untuk lima panel surya (total 500Wp) pada mobil listrik Unisla. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor tegangan, dan sensor arus ACS712 untuk mengirim data secara real-time ke Firebase. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sensor yang baik, dengan rata-rata error untuk sensor tegangan sebesar 0,301% dan untuk sensor arus sebesar 0,01%. Sistem berhasil memantau daya dengan puncak daya terukur mencapai 505,65 Watt, tegangan tertinggi 73,12 Volt, dan arus tertinggi 7,11 Ampere.
-------	--

Pencapaian Ke-4

Nama Penulis	Yahya, Sadali, M., Mahpuz. (2019)
Judul	Tingkat Ketepatan Hasil Perhitungan Integrasi Numerik Menggunakan Bahasa Pemrograman C# Pada Metode Reimann dan Trapezium
Hasil	Penelitian ini menganalisis akurasi berbagai metode integrasi numerik dalam perhitungan konsumsi energi listrik. Hasil menunjukkan bahwa metode integrasi numerik sederhana, seperti Rectangular Rule, memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode perhitungan daya rata-rata sederhana.

Pencapaian Ke-5

Nama Penulis	Wibowo, T. B., & Martawati, M. E. (2024)
Judul	Pengembangan Sistem Alat Monitoring Energi Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Internet of Things (IoT)
Hasil	Sebuah sistem monitoring energi baterai kendaraan listrik berbasis IoT dengan antarmuka web telah dikembangkan dalam penelitian ini. Pengujian komparatif menggunakan uji-T terhadap alat ukur standar menunjukkan bahwa sistem ini akurat, terbukti dari nilai P-Value 0,15 yang secara statistik tidak signifikan ($p > 0,05$).

Pencapaian Ke-6

Nama Penulis	El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Halim, A. A. E. B. A. el. (2024)
Judul	A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller
Hasil	Penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan energi pintar menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem nirkabel ini dapat mengukur dan memantau konsumsi energi secara real-time, yang menunjukkan potensi penerapan teknologi IoT dalam manajemen energi.

Pencapaian Ke-7

Nama Penulis	Budi, A. S., Bachri, A., Susilo, P. H., Hartantyo, S. D., & Irawan, M. R. (2024)
Judul	Rancang Bangun Gps Tracker Dan Monitoring Kondisi Baterai Pada Mobil Listrik Surya Unisla Berbasis Mikrokontroler Esp32
Hasil	Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk merancang sistem pelacak lokasi (GPS) dan monitor kondisi baterai untuk mobil listrik Surya Unisla. Sistem mengirimkan data ke Firebase untuk ditampilkan pada aplikasi seluler yang dibuat dengan Kodular dan menyimpan riwayat pembacaan sensor ke SD Card. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error pembacaan tegangan baterai sebesar 1,56% di awal rute dan 2,34% di akhir rute. Untuk GPS, rata-rata error pembacaan latitude adalah 0,003% dan longitude adalah 0,0004% di awal dan akhir rute.

Pencapaian Ke-8

Nama Penulis	Saleem, M. U., Usman, M. R., & Shakir, M. (2021)
Judul	Design, Implementation, and Deployment of an IoT Based Smart Energy Management System
Hasil	Dengan menggunakan sistem manajemen energi pintar yang berbasis Internet of Things (IoT), penelitian ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol konsumsi energi mereka dari jarak jauh. Sistem yang dihasilkan terbukti efektif dalam melakukan manajemen dari sisi permintaan (<i>demand-side management</i>) di dalam jaringan listrik pintar (<i>smart grid</i>)

Pencapaian Ke-9

Nama Penulis	Ilahi, T., Izhar, T., Ali, M., Noor, U., Siddique, M., Khan, E. M., Yousaf, R., Ali, A., & Khan, B. (2024)
Judul	Comprehensive Design Analysis of Economical E-Bike Charger with IoT-Empowered System for Real-Time Parameter Monitoring
Hasil	Penelitian ini menyajikan analisis desain komprehensif dari pengisi daya e-bike yang ekonomis dan dilengkapi dengan sistem berbasis IoT. Sistem ini memungkinkan pemantauan parameter secara real-time, yang relevan untuk aplikasi kendaraan listrik seperti <i>e-bike</i> .

Pencapaian Ke-10

Nama Penulis	Putra, I. K. A., Kumara, I. N. S., & Agung, I. G. A. P. R. (2023)
Judul	Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Kecepatan Mobil Listrik Agnijaya Weimana
Hasil	Penelitian ini berhasil merancang sistem monitoring untuk mobil listrik Agnijaya Weimana yang dapat memantau tegangan, arus, dan kecepatan. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro Mini berfungsi sebagai pengolah data dan kartu SD berfungsi sebagai media penyimpanan dalam sistem ini. Hasil analisis menunjukkan persentase penyimpangan pengukuran yang rendah: 0,85% untuk tegangan baterai, 0,23% untuk arus baterai, dan 0,32% untuk kecepatan. Selain itu, pengujian konsumsi daya menunjukkan bahwa pengemudi dengan bobot lebih berat (65 kg) mengonsumsi daya rata-rata (790,979 W) yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengemudi yang lebih ringan.

2.2 Tinjauan Teoritis

2.2.1 Energy Meter

Energy meter adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik dalam suatu sistem. Perangkat ini berfungsi untuk memantau ukuran energi secara *real-time*, seperti tegangan (V), arus (A), kapasitas baterai (Ah), konsumsi energi (Wh), dan waktu (h). Pada sistem kendaraan listrik, terutama *e-cargo bike*, energy meter diperlukan untuk memantau pemakaian daya secara *real-time* guna memastikan efisiensi baterai dan mengoptimalkan penggunaan energi. Namun, Sebagian besar *energy meter* komersial saat ini belum ada yang memiliki spesifikasi tertentu seperti 50-100V / 0-30A.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk merancang modul *energy meter* yang lebih sesuai dengan kebutuhan *e-cargo bike*, dengan rentang pengukuran yang lebih besar dan metode perhitungan yang lebih akurat.

2.2.2 Sistem Tertanam

Sistem komputer yang dirancang untuk melakukan tugas tertentu pada perangkat tertentu disebut sistem tertanam. Sistem tertanam dalam *energy meter* bertugas untuk membaca data dari sensor, mengolahnya, dan menampilkan hasil pengukuran (Mulkono et al., 2018).

Perancangan *energy meter* untuk *e-cargo bike* umumnya menggunakan mikrokontroler *Arduino Nano*, yang berperan sebagai unit pemrosesan utama. Perangkat ini mengelola pembacaan data dari sensor dan melakukan perhitungan energi berdasarkan parameter yang diukur. Selain itu, sistem ini menggunakan layar *OLED* untuk menampilkan informasi konsumsi daya kepada pengguna.

2.2.3 Integrasi Numerik

Dalam sistem *energy meter*, konsumsi daya dihitung berdasarkan integrasi numerik dari data tegangan dan arus yang diperoleh (Yahya et al., 2019). Metode ini digunakan untuk menghitung total daya yang dikonsumsi dalam suatu interval waktu tertentu dengan cara mengakumulasi hasil perkalian tegangan dan arus dalam setiap interval waktu.

Integrasi numerik memiliki peran penting dalam sistem pengukuran energi listrik, terutama dalam sistem tertanam yang memerlukan perhitungan yang efisien dan dapat dijalankan dalam sumber daya terbatas. Dalam *energy meter* ini, metode integrasi numerik yang digunakan harus mampu memberikan hasil dengan akurasi tinggi, terutama dalam kondisi beban dinamis, di mana tegangan dan arus dapat berubah dengan cepat (Yahya et al., 2019).

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi tingkat akurasi perhitungan energi dalam integrasi numerik adalah jumlah segmen pembagian waktu (Δt). Berdasarkan penelitian sebelumnya, tingkat akurasi metode integrasi numerik dapat

mencapai lebih dari 99% apabila jumlah segmen yang digunakan dalam perhitungan cukup banyak. Namun, semakin banyak segmen yang digunakan, semakin tinggi juga kebutuhan komputasi yang diperlukan (Yahya et al., 2019). Oleh karena itu, dalam sistem tertanam seperti *energy meter* untuk *e-cargo bike*, perlu dilakukan optimasi jumlah segmen agar diperoleh keseimbangan antara akurasi dan efisiensi pemrosesan data. Dalam konteks *energy meter*, perhitungan energi listrik dilakukan menggunakan persamaan dasar:

Rumus dasar perhitungan konsumsi daya adalah:

$$P = V \times I$$

Dan konsumsi energi dihitung sebagai berikut:

$$E = \sum P \times \Delta t$$

di mana:

- P adalah daya (*Watt*),
- V adalah tegangan (*Volt*),
- I adalah arus (*Ampere*),
- Δt adalah interval waktu dalam satuan detik,
- E adalah energi total yang dikonsumsi dalam periode waktu tertentu.

2.2.4 Arduino Nano



Gambar 2.1. Arduino Nano

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, *arduino nano* adalah papan pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source* dan berukuran kecil. Mikrokontroler ini didasarkan pada *ATmega328* dan digunakan untuk berbagai

proyek sistem tertanam. Dalam pengembangan modul *energy meter*, *arduino nano* berfungsi sebagai unit pemrosesan utama yang membaca data dari sensor arus dan tegangan serta melakukan perhitungan konsumsi energi.

Keunggulan dari *arduino nano* adalah ukurannya yang minimalis, konsumsi daya yang rendah, dan kompatibilitas dengan berbagai sensor. Dengan jumlah 14 pin digital *I/O* dan 8 pin analog, *arduino nano* memungkinkan koneksi dengan berbagai komponen elektronik untuk mendukung pengolahan data dan tampilan *output*.

2.2.5 Step Down



Gambar 2.2. Step Down

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, step down adalah modul penurunan tegangan yang digunakan untuk mengatur tegangan input agar sesuai dengan kebutuhan sistem. Dengan menggunakan *step down*, tegangan dari baterai *e-cargo bike* dapat diturunkan menjadi 8V, yang sesuai dengan kebutuhan *arduino* beserta sensor lainnya. Modul ini cocok untuk sensor dan *Arduino Nano* lainnya. Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan langkah ini untuk mencegah tegangan tinggi ke komponen lainnya (Rahman et al., 2024).

2.2.6 Terminal Block



Gambar 2.3. Terminal Block

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, *terminal block* adalah konektor listrik modular yang digunakan untuk menghubungkan kabel dari berbagai perangkat dalam *energy meter*. Komponen ini berfungsi untuk mempermudah koneksi kabel secara aman dan rapi, terutama dalam sistem kendaraan listrik seperti *e-cargo bike*.

Terminal block yang digunakan dalam proyek ini memiliki mekanisme penjepit sekrup yang memungkinkan koneksi lebih stabil dibandingkan konektor biasa. Selain itu, penggunaan *terminal block* memudahkan dalam penggantian komponen tanpa perlu melakukan penyolderan ulang, sehingga sistem lebih fleksibel dan mudah dirawat.

2.2.7 OLED



Gambar 2.4. OLED

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, *OLED (Organic Light-Emitting Diode)* adalah layer tampilan berbasis teknologi dioda organik yang dapat menyala sendiri tanpa memerlukan backlight. Dalam *energy meter* ini, *OLED* digunakan untuk menampilkan informasi energi secara *real-time*, seperti:

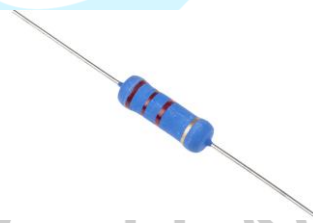
- Tegangan baterai (V),
- Arus listrik yang digunakan (A),
- Kapasitas baterai yang tersisa (Ah),
- Total energi yang dikonsumsi (Wh).

Keunggulan utama *OLED* dibandingkan *LCD* konvensional adalah konsumsi daya yang lebih rendah, kontras lebih tinggi, dan visibilitas yang lebih baik meskipun di bawah sinar matahari langsung. Teknologi ini sangat cocok untuk sistem tertanam yang membutuhkan tampilan ringkas dan hemat energi.

2.2.8 Resistor 33k dan Resistor 2k2



Gambar 2.5. Resistor 33k



Gambar 2.6. Resistor 2k2

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan 2.6, rangkaian pembagi tegangan adalah rangkaian elektronik sederhana yang digunakan untuk mendeteksi perubahan tegangan pada baterai *e-cargo bike* menggunakan metode pembagi tegangan. Rangkaian ini terdiri dari dua buah resistor yang disusun secara seri, yaitu

resistor 33k dan 2k2, yang bisa menurunkan tegangan dari baterai sebelum dapat diterima oleh mikrokontroler (Aliffudin et al., 2024).

2.2.9 Sensor Arus



Gambar 2.7. Sensor Arus

- Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, sensor arus adalah sensor yang menggunakan efek *Hall* untuk mengukur arus listrik secara *non-kontak*, sehingga lebih aman dan efisien dalam sistem *energy meter*. Ketika arus listrik menghasilkan medan magnet, sensor ini mengubahnya menjadi tegangan analog yang proporsional dengan arus yang mengalir. Dalam proyek ini, digunakan ACS712 agar dapat membaca arus dari baterai *e-cargo bike* dengan cukup akurat. Output dari sensor dikirimkan ke *arduino nano* untuk diproses dan dihitung (Zulfadli & Arnita, 2021).