

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 *Monitoring Daya Listrik di Sekolah*

Monitoring daya listrik di lingkungan sekolah merupakan proses pengawasan, pengukuran, dan pencatatan penggunaan energi listrik secara *real-time* untuk mengetahui besar daya yang digunakan oleh berbagai perangkat listrik yang ada di sekolah [7]. Pada institusi pendidikan seperti SMPN 3, listrik digunakan untuk menjalankan perangkat penting seperti komputer, proyektor, kipas angin, AC, CCTV, lampu kelas, serta peralatan laboratorium. Tanpa adanya sistem monitoring, sekolah sering kesulitan mengidentifikasi sumber pemborosan energi maupun potensi gangguan listrik yang dapat menghambat kegiatan belajar mengajar.

Menurut [8], sistem monitoring listrik mampu menampilkan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif, daya semu, faktor daya, serta energi kumulatif (kWh). Informasi ini sangat penting karena dapat membantu pihak sekolah dalam menganalisis konsumsi listrik dari waktu ke waktu, baik pada ruangan tertentu maupun keseluruhan lingkungan sekolah.

Pada sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), sensor listrik seperti PZEM-004T mengirimkan data secara otomatis ke mikrokontroler (misalnya ESP32), yang kemudian meneruskan data tersebut ke server atau aplikasi monitoring melalui koneksi Wi-Fi. Dengan mekanisme ini, pihak sekolah dapat memantau konsumsi listrik secara jarak jauh menggunakan smartphone, laptop, atau perangkat digital lainnya.

Penerapan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT pada sekolah seperti SMPN 3 memberikan beberapa keuntungan, di antaranya:

1. Efisiensi Energi – Pihak sekolah dapat dengan mudah mengidentifikasi perangkat atau ruangan yang menggunakan energi berlebihan, sehingga dapat dilakukan penjadwalan penggunaan atau penggantian perangkat menjadi lebih hemat energi.
2. Keamanan Listrik – Sistem dapat mendeteksi lonjakan daya atau beban berlebih yang berpotensi menyebabkan korsleting atau kebakaran.
3. Kontrol dan Otomatisasi – Sistem dapat memicu tindakan otomatis, seperti memutus aliran listrik melalui relay ketika daya melebihi batas tertentu untuk mencegah kerusakan perangkat.
4. Analisis Data Historis – Data historis yang tersimpan dapat membantu sekolah merencanakan anggaran listrik, mengidentifikasi tren konsumsi energi, serta menentukan langkah efisiensi energi yang lebih tepat.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan monitoring energi berbasis IoT dapat menurunkan konsumsi listrik hingga 15–25% melalui transparansi informasi yang diberikan secara *real-time* kepada pengguna [1]. Oleh karena itu, implementasi sistem monitoring daya listrik sangat relevan bagi sekolah dalam meningkatkan efisiensi biaya operasional serta menjaga keamanan fasilitas pendidikan.

## 2.2 *Internet of Things (IoT)*

*Internet of Things (IoT)* adalah konsep di mana berbagai perangkat fisik yang terhubung ke jaringan internet dapat saling berinteraksi dan bertukar data secara otomatis [9]. Seiring perkembangan teknologi, IoT semakin banyak diadopsi di berbagai bidang, seperti transportasi, kesehatan, bisnis, dan rumah tangga, termasuk dalam sistem *monitoring* energi listrik.





**Gambar 2. 2 *Whatsapp***

Integrasi antara sistem *monitoring* dan *Whatsapp* dapat dilakukan menggunakan *Whatsapp API*, *Whatsapp Gateway*, atau layanan pihak ketiga seperti Twilio, Wablas, dan CallMeBot. Mekanisme ini memungkinkan mikrokontroler ESP32 untuk mengirimkan pesan teks otomatis yang berisi data hasil *monitoring*, seperti tegangan, arus, daya, dan status sistem.

Menurut Saputra dan [11], penggunaan *Whatsapp* sebagai media notifikasi memiliki tingkat efektivitas tinggi karena hampir semua pengguna *smartphone* di Indonesia aktif menggunakan aplikasi ini setiap hari. Dengan demikian, sistem notifikasi berbasis *Whatsapp* meningkatkan respons cepat pengguna terhadap peringatan kondisi listrik.

Keuntungan menggunakan *Whatsapp* dibandingkan notifikasi lain seperti SMS atau email:

1. *Real-time* dan bebas biaya pulsa.
2. Mendukung format pesan lengkap (teks, gambar, dan link).
3. Aksesibilitas tinggi, mudah dipantau melalui ponsel.
4. Integrasi cepat dengan sistem berbasis *IoT* dan *API web*.

## 2.4 SMP N 3 Rantau Utara

SMP Negeri 3 Rantau Utara merupakan salah satu sekolah menengah pertama negeri yang berlokasi di Jalan Padang Matinggi, Rantauuprat, Kecamatan Rantau Utara, Kabupaten Labuhanbatu, Provinsi Sumatera Utara. Berdasarkan data identitas sekolah yang tersedia, SMP Negeri 3 Rantau Utara didirikan pada tahun 1985 dan pertama kali memperoleh akreditasi pada tahun 2018 dengan peringkat B dan hingga saat ini masih aktif menyelenggarakan kegiatan pendidikan formal tingkat menengah pertama.



**Gambar 2. 3 Struktur Organisasi**

Seiring dengan perkembangan dunia pendidikan, SMP Negeri 3 Rantau Utara terus mengalami peningkatan baik dari sisi sarana dan prasarana maupun sistem pengelolaan sekolah. Sekolah ini berstatus negeri, berada di wilayah perkotaan, serta memiliki bangunan sekolah milik sendiri. Kegiatan belajar

mengajar dilaksanakan pada waktu pagi hari, dengan dukungan fasilitas ruang kelas, ruang guru, dan sarana pendukung lainnya. Upaya peningkatan mutu tersebut berdampak pada peningkatan akreditasi sekolah yang pada tahun 2023 mencapai peringkat A.

## 2.5 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan suatu *Integrated Circuit* (IC) yang di dalamnya terdiri dari CPU, ROM, RAM, serta perangkat *input* dan *output* yang berfungsi sebagai komputer berukuran kecil untuk keperluan instrumentasi dan kendali peralatan elektronik secara otomatis [12]. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) adalah ESP32, yaitu perangkat *System on Chip* (SoC) yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* dan merupakan pengembangan dari ESP8266 dengan kemampuan yang lebih tinggi [13]. ESP32 memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi langsung di dalam *chip*, sehingga memungkinkan komunikasi data secara nirkabel dengan efisien dan berbiaya rendah, serta sangat sesuai untuk aplikasi *monitoring* dan pengendalian jarak jauh.



**Gambar 2. 4 Mikrokontroler ESP32**

ESP32 dilengkapi dengan prosesor *dual-core 32-bit Xtensa LX6* yang berjalan hingga 240 MHz, serta memori *RAM* sebesar 520 KB dan *flash memory* hingga 16 MB tergantung varian modul. Mikrokontroler ini juga menyediakan berbagai antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, I2C, PWM, ADC, dan DAC, yang memudahkan integrasi dengan berbagai sensor dan perangkat eksternal [14].

Dalam konteks penelitian ini, ESP32 berperan sebagai unit pemroses utama (*main controller*) yang mengumpulkan data dari sensor daya listrik seperti PZEM-004T, mengolah hasil pengukuran, dan mengirimkan data ke *server* atau *API Whatsapp* untuk menghasilkan notifikasi otomatis kepada pengguna. Selain itu, ESP32 juga mampu melakukan koneksi langsung ke *internet* melalui jaringan *Wi-Fi* tanpa menggunakan perangkat tambahan.

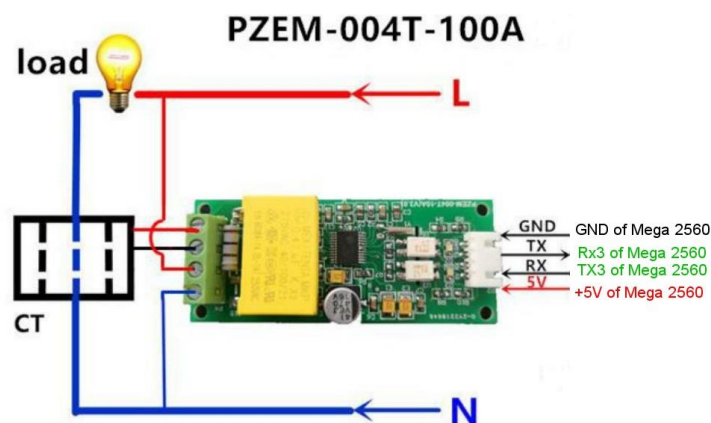
Kelebihan utama ESP32 dibandingkan mikrokontroler konvensional seperti Arduino Uno atau ESP8266 antara lain:

1. Konektivitas Lengkap: mendukung *Wi-Fi (802.11 b/g/n)* dan *Bluetooth (Classic + BLE)*.
2. Kinerja Tinggi: prosesor *dual-core* dengan *clock speed* hingga 240 MHz.
3. Konsumsi Daya Rendah: dilengkapi mode *deep sleep* untuk menghemat energi.
4. Kompatibilitas Luas: dapat diprogram menggunakan Arduino IDE, *PlatformIO*, atau *MicroPython*.
5. Harga Terjangkau: membuatnya populer di kalangan peneliti dan pengembang IoT.

Dengan kemampuannya tersebut, ESP32 menjadi pilihan yang ideal untuk proyek *monitoring* daya listrik di sekolah karena efisien, stabil, dan mudah diintegrasikan dengan sistem notifikasi berbasis jaringan.

## 2.6 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T merupakan modul pengukur listrik (*power measurement module*) yang digunakan untuk membaca parameter kelistrikan seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), energi (Wh/kWh), serta faktor daya ( $\cos \phi$ ) [15]. Modul ini sering digunakan pada sistem *smart energy monitoring* berbasis mikrokontroler karena akurasinya tinggi dan kemudahan integrasinya.



**Gambar 2. 5 Sensor PZEM-004T**

Secara teknis, PZEM-004T bekerja dengan cara membaca nilai arus dan tegangan dari rangkaian listrik melalui sensor *internal*, kemudian menghitung besaran daya dan energi berdasarkan hasil pengukuran tersebut. Data yang diperoleh dikirimkan secara serial melalui komunikasi *UART* (TX-RX) menuju mikrokontroler seperti ESP32 untuk diproses lebih lanjut. PZEM-004T memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Akurasi tinggi, dengan deviasi pengukuran  $< 1\%$ .
2. Dapat mengukur daya hingga 100A (dengan *transformator arus eksternal*).
3. Dilengkapi EEPROM *internal* untuk menyimpan total energi yang telah terukur.
4. Komunikasi sederhana dan stabil menggunakan protokol serial.
5. Cocok untuk sistem *monitoring real-time* berbasis IoT.

Dalam sistem *monitoring* daya listrik di sekolah, PZEM-004T berfungsi sebagai komponen utama untuk membaca kondisi kelistrikan di sekolah tangga secara *real-time*. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk memberikan peringatan otomatis melalui *Whatsapp* apabila terjadi lonjakan daya atau beban berlebih.

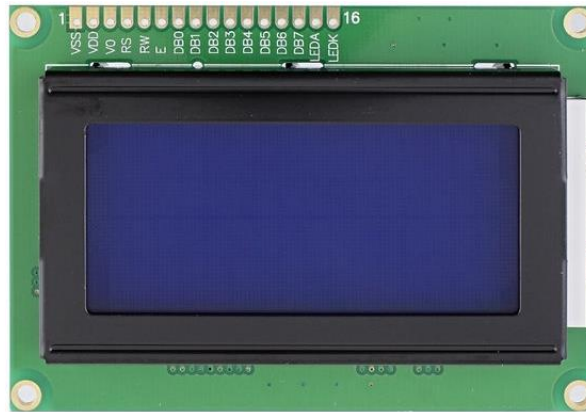
Selain itu, penggunaan PZEM-004T membantu pengguna memahami pola konsumsi energi listrik harian dan dapat menjadi acuan dalam melakukan penghematan energi.

## 2.7 *Liquid Crystal Display (LCD) 20x4*

*Liquid Crystal Display (LCD) 20x4* merupakan salah satu jenis layar tampilan yang digunakan untuk menampilkan data berupa teks secara langsung dari sistem mikrokontroler. LCD ini memiliki 20 kolom dan 4 baris, sehingga mampu menampilkan hingga 80 karakter dalam satu waktu. Kapasitas tampilan yang lebih besar menjadikan LCD 20x4 ideal untuk aplikasi monitoring yang membutuhkan penyajian informasi yang lebih lengkap [16].

LCD termasuk perangkat tampilan berbasis karakter yang menampilkan data dalam bentuk karakter ASCII. Modul LCD bekerja dengan memanfaatkan

lapisan kristal cair yang diapit oleh dua lapisan bahan pemolarisasi, sehingga dapat menampilkan karakter sesuai dengan data yang dikirimkan oleh mikrokontroler. Di dalam modul LCD



**Gambar 2. 6 LCD 20x4**

Dalam sistem *monitoring* daya listrik di sekolah berbasis IoT, LCD 20x4 digunakan untuk menampilkan informasi penting seperti tegangan, arus, daya aktif, serta energi listrik yang digunakan secara *real-time*. Dengan adanya tampilan LCD, pengguna dapat memantau hasil pengukuran langsung dari alat tanpa perlu membuka aplikasi web atau *dashboard*.

LCD 20x4 yang umum digunakan biasanya dilengkapi dengan modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*), yang memungkinkan komunikasi hanya dengan dua pin, yaitu SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*). Penggunaan antarmuka I2C mempermudah koneksi dengan mikrokontroler seperti ESP32, menghemat pin *input/output*, serta menyederhanakan pengkabelan sistem.

Keunggulan LCD 20x4 antara lain:

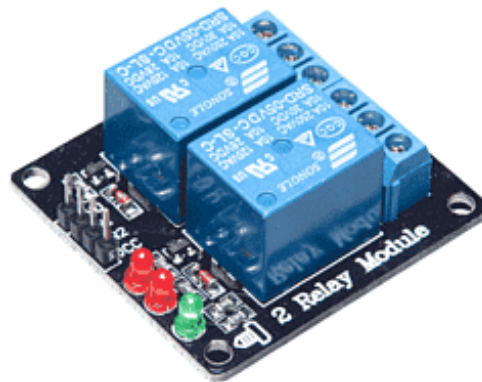
1. Tampilan lebih luas dibanding LCD 16x2, sehingga informasi dapat ditampilkan lebih banyak dan jelas.
2. Dukungan antarmuka I2C, memudahkan integrasi dengan mikrokontroler.

3. Konsumsi daya rendah, cocok untuk sistem portabel.
4. Kontras tinggi dan mudah dibaca di berbagai kondisi cahaya.

Dalam implementasi sistem ini, LCD berfungsi sebagai tampilan utama di perangkat keras, menampilkan data *real-time* dari sensor PZEM-004T yang dikirim melalui ESP32. Hal ini memudahkan pengguna dalam memantau parameter listrik secara langsung tanpa bergantung pada koneksi internet.

## 2.8 Relay

Relay merupakan komponen *elektromekanik* yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik berdasarkan sinyal dari mikrokontroler. Komponen ini bekerja dengan prinsip *elektromagnetik*, ketika arus listrik mengalir ke kumparan (*coil*), medan magnet yang terbentuk akan menarik tuas (kontak), sehingga mengubah posisi saklar dari kondisi *normally open* (NO) menjadi *closed* (NC), atau sebaliknya [17].



**Gambar 2. 7 Relay**

Dalam sistem *monitoring* daya listrik di sekolah, relay digunakan sebagai pengaman otomatis. Apabila sistem mendeteksi daya atau arus melebihi batas yang telah ditentukan, ESP32 akan mengaktifkan relay untuk memutus aliran listrik ke

beban guna mencegah kerusakan perangkat atau bahaya kebakaran akibat kelebihan daya.

Jenis relay yang umum digunakan dalam proyek IoT adalah Relay Module 1-Channel atau 2-Channel 5V, yang kompatibel dengan logika kerja ESP32.

Keunggulan penggunaan relay dalam sistem *monitoring* listrik antara lain:

1. Meningkatkan keamanan sistem dari beban berlebih atau korsleting.
2. Memungkinkan otomatisasi sistem listrik tanpa intervensi manual.
3. Dapat dikontrol secara jarak jauh melalui perintah dari mikrokontroler.
4. Kapasitas arus besar, cocok untuk beban listrik di sekolah tangga.

Dengan integrasi antara relay dan mikrokontroler ESP32, sistem dapat melakukan pengendalian beban secara otomatis berdasarkan kondisi *real-time* dari hasil pengukuran sensor daya.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi dasar penting dalam perancangan sistem *monitoring* daya listrik berbasis IoT dengan notifikasi *Whatsapp*.

**Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu**

No.	Judul Penelitian	Ringkasan & Keunggulan
1	Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring</i> Pemakaian Daya Listrik Secara Realtime Berbasis Iot [18]	Penelitian ini mengembangkan sistem <i>monitoring</i> daya listrik rumah berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP-32, ditampilkan data secara <i>real-time</i> melalui LCD dan aplikasi. Memberikan gambaran alat dan pengukuran yang cukup rinci.
2	<i>Monitoring</i> Pemakaian Daya Listrik Rumah Berbasis IoT [19]	Fokus pada pemakaian sensor PZEM-004T + NodeMCU/ESP8266, <i>real-time monitoring</i> serta estimasi biaya listrik; cocok untuk gambaran aplikasi sistem rumah tangga.

3	<i>Platform</i> Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT [20]	Penelitian yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan metrik penggunaan energi listrik, menyoroti aspek <i>platform sistem monitoring</i> berbasis IoT — cocok untuk bagian teori dan perangkat lunak.
4	Sistem Kontrol dan <i>Monitoring</i> Beban Listrik di Pondok Pesantren Al-Husna Pontianak Berbasis IoT [21]	Aplikasi nyata di lingkungan pondok pesantren, menggunakan ESP32, sensor PZEM-004T, dan LCD 20×4 untuk <i>monitoring</i> + kontrol beban. Memberikan konteks implementasi langsung di Indonesia.

Dari hasil penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi IoT dan integrasi dengan layanan pesan instan seperti *Whatsapp* terbukti meningkatkan efisiensi *monitoring*, mempercepat respons pengguna, serta memberikan pengalaman penggunaan sistem yang lebih interaktif dan praktis.


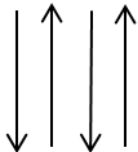



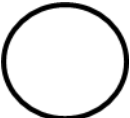
### 2.10 *Flowchart Sistem*

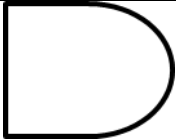




*Flowchart* atau bagan alir adalah teknik analisis bergambar yang digunakan untuk menggambarkan langkah-langkah, urutan prosedur, serta aliran data atau dokumen dalam suatu sistem informasi secara jelas, ringkas, dan logis. *flowchart* merupakan penggambaran secara grafis dari langkah-langkah dan urutan prosedur suatu program yang mempermudah proses pemahaman, analisis, serta evaluasi terhadap sistem yang sedang atau akan dikembangkan. Dengan demikian, *flowchart* berfungsi sebagai alat bantu untuk memperlihatkan hubungan antarproses dalam sistem serta mendukung kegiatan perancangan dan pengendalian sistem informasi [22].

*Flowchart* dirancang untuk menggambarkan alur proses sistem secara menyeluruh dari setiap komponen yang terlibat [23]. Dalam penelitian ini, *flowchart* digunakan untuk menjelaskan hubungan antarproses dalam sistem

monitoring daya listrik berbasis IoT, mulai dari proses pembacaan data sensor, pengiriman data ke server, hingga pengiriman notifikasi *Whatsapp* kepada pengguna. Dengan adanya flowchart, perancangan sistem diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai alur kerja sistem serta menjadi acuan utama dalam proses implementasi dan pengujian.

**Tabel 2. 2 Tabel Flowchart**

NO	SIMBOL	FUNGSI
1		<b>Terminal:</b> Digunakan sebagai titik awal dan akhir dari sebuah program.
2		<b>Simbol Arah Alur (Flow Direction):</b> Digunakan untuk menghubungkan simbol satu dengan yang lain serta menunjukkan arah jalannya proses.
3		<b>Input-Output:</b> Menyatakan proses menerima masukan data atau menampilkan keluaran dari suatu kegiatan.
4		<b>Keputusan (Decision):</b> Menandakan adanya kondisi tertentu yang memerlukan pilihan atau cabang dari beberapa kemungkinan.
5		<b>Proses yang Telah Ditentukan (Predefined Process):</b> Simbol yang menggambarkan proses yang sudah didefinisikan sebelumnya, biasanya berkaitan dengan penyimpanan atau pemrosesan data.
6		<b>Penghubung (Connector):</b> Digunakan untuk menyambungkan proses yang berpindah halaman atau bagian.

7		<p><b>Tunda (Delay):</b> Menunjukkan adanya jeda waktu atau proses menunggu, seperti menanti dokumen disortir atau diproses.</p>
8		<p><b>Dokumen Ganda (Multiple Documents):</b> Menyatakan lebih dari satu dokumen yang terlibat dalam satu proses, dan dilambangkan dalam satu simbol.</p>
9		<p><b>Dokumen (Document):</b> Simbol ini digunakan untuk menggambarkan data berbentuk informasi tertulis atau tercetak.</p>
10		<p><b>Proses Tertentu (Predefined Process):</b> Menandakan bahwa langkah-langkah atau proses yang dilakukan sudah ditentukan dalam bentuk prosedur.</p>
11		<p><b>Operasi Manual (Manual Operation):</b> Melambangkan proses atau kegiatan yang dilakukan secara manual, tanpa bantuan alat otomatis.</p>
12		<p><b>Proses (Process):</b> Menunjukkan adanya aktivitas komputasi atau pengolahan data yang dilakukan oleh sistem/program.</p>