

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem distribusi listrik memiliki peran vital dalam menyalurkan daya dari gardu induk ke pelanggan. Di jantung sistem ini terdapat transformator distribusi 20 kV yang bertugas menurunkan tegangan tinggi menjadi rendah agar bisa digunakan oleh konsumen [1]. Keandalan dan efisiensi seluruh sistem distribusi sangat bergantung pada bagaimana transformator ini beroperasi.

Namun, seringkali terjadi masalah ketidakseimbangan beban, di mana distribusi beban listrik pada setiap fasa tidak merata. Kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan kerugian daya (*losses*) dan pembebanan transformator yang tidak ideal [2]. Arus yang tidak seimbang akibat ketidakmerataan beban ini juga bisa memicu kenaikan suhu pada salah satu fasa transformator, berisiko merusak isolasi dan memperpendek usia pakai peralatan.

Sejumlah studi dan standar industri memberikan acuan mengenai batas ideal deviasi. Salah satunya adalah dalam IEEE Std 446-1995 (IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems), yang menekankan pentingnya pembebanan seimbang pada sistem distribusi untuk menghindari arus netral yang berlebih, kenaikan suhu, dan gangguan kualitas daya [4].

Lebih lanjut, penelitian oleh S. Nojeng dkk. (2023) mengembangkan sistem deteksi dini ketidakseimbangan beban berbasis Arduino dan mengacu

pada batas aman ketidakseimbangan di bawah 10% sebagai ambang toleransi yang dapat diterima untuk menjaga keandalan sistem distribusi tegangan rendah [3]. Penelitian serupa juga banyak menjadikan deviasi $\leq 10\%$ sebagai parameter ideal karena dianggap mampu meminimalkan rugi-rugi dan memperpanjang umur transformator.

Dengan demikian, ambang deviasi sebesar $\leq 10\%$ dipakai secara luas baik dalam praktik maupun penelitian sebagai batas aman agar transformator dapat beroperasi secara optimal dan efisien.

Mengingat dampak buruknya, deteksi dini ketidakseimbangan beban menjadi sangat krusial untuk menjaga stabilitas dan efisiensi sistem listrik. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memantau dan mengatasi masalah ini. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pengembangan sistem yang mampu mendeteksi ketidakseimbangan beban tiga fasa secara dini, seringkali menggunakan mikrokontroler seperti Arduino, yang dapat diimplementasikan pada panel hubung tegangan rendah [3]. Sistem-sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi beban secara *real-time*, sehingga langkah perbaikan bisa segera diambil untuk mencegah kerugian lebih lanjut dan memastikan pasokan listrik tetap optimal.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Transformator

Transformator distribusi PLN adalah perangkat penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Fungsinya adalah untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik dari tingkat yang lebih tinggi ke tingkat yang

lebih rendah (atau sebaliknya) untuk memastikan listrik sampai ke konsumen dengan tegangan yang sesuai [5].

A. Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [6]. Ketika arus listrik mengalir melalui kawat penghantar (kumparan primer), akan terbentuk medan magnet di sekitar kawat tersebut. Medan magnet ini akan menginduksi tegangan pada kumparan sekunder yang terletak di dekatnya. Besarnya tegangan yang diinduksi pada kumparan sekunder bergantung pada rasio jumlah lilitan antara kumparan primer dan sekunde [7].

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung rasio tegangan dan rasio jumlah lilitan adalah:

$$V_1/V_2=N_1/N_2$$

Dimana:

V_1 = Tegangan pada kumparan primer

V_2 = Tegangan pada kumparan sekunder

N_1 = Jumlah lilitan pada kumparan primer

N_2 = Jumlah lilitan pada kumparan sekunder

Jika rasio N_1 lebih besar dari N_2 , maka transformator akan menurunkan tegangan (*step-down transformer*), dan jika sebaliknya, akan meningkatkan tegangan (*step-up transformer*) [7] .

B. Komponen Utama Transformator

1. Kumparan Primer dan Sekunder: Terbuat dari kawat tembaga atau aluminium yang dililitkan pada inti transformator. Kumparan primer menerima daya dari sumber listrik, sedangkan kumparan sekunder memberikan daya ke beban [6].
2. Inti Besi: Biasanya terbuat dari lapisan besi silikon yang memiliki konduktivitas magnetik tinggi untuk mengalirkan medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik di kumparan primer ke kumparan sekunder [6].
3. Isolasi: Berfungsi untuk mencegah hubungan langsung antara kumparan dan bagian lainnya, serta mengurangi kehilangan energi akibat percikan listrik [6].
4. Casing atau Penutup : Melindungi komponen internal transformator dan menjaga kestabilan serta keselamatan operasional [6].

C. Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang ditemukan oleh Michael Faraday [6]. Di dalam transformator terdapat dua kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, yang terhubung oleh inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet [6].

1. Arus Listrik Masuk ke Kumparan Primer:

Ketika arus listrik bolak-balik (AC) mengalir melalui kumparan

primer, ia menghasilkan medan magnet yang berubah-ubah [6].

2. Medan Magnet Menyebabkan Induksi pada Kumparan Sekunder:

Medan magnet yang berubah-ubah ini akan menginduksi arus listrik pada kumparan sekunder, yang terletak di dekatnya. Gaya elektromagnetik menyebabkan arus bolak-balik pada kumparan sekunder, meskipun kedua kumparan tidak saling terhubung secara langsung [6].

3. Penurunan atau Kenaikan Tegangan:

Tegangan pada kumparan sekunder dapat lebih besar atau lebih kecil dibandingkan dengan tegangan pada kumparan primer, tergantung pada rasio jumlah lilitan kawat pada masing-masing kumparan. Jika jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih banyak, tegangan akan naik (*step-up transformer*). Sebaliknya, jika kumparan sekunder memiliki lilitan lebih sedikit, tegangan akan turun (*step-down transformer*) [6].

4. Efisiensi:

Transformator didesain untuk bekerja dengan efisiensi yang tinggi, tetapi tidak dapat mengubah energi listrik menjadi bentuk energi lainnya. Sumber daya yang hilang dalam proses transformasi biasanya berupa panas akibat gesekan atau resistansi kawat [6].

D. Prinsip Kerja Transformator Distribusi PLN

1. Pembangkit Listrik ke Jaringan Distribusi:

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik biasanya memiliki tegangan sangat tinggi, agar dapat mengalirkan energi dengan efisien dan mengurangi kerugian energi sepanjang jalur transmisi [5].

2. Pengurangan Tegangan di *Substation*:

Ketika listrik sampai di *substation* atau gardu induk, transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah (20 kV atau 6,6 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V) yang digunakan oleh konsumen agar sesuai dengan kebutuhan konsumen [4].

3. Distribusi ke Konsumen:

Setelah melalui transformator, energi listrik disalurkan ke konsumen melalui jaringan distribusi PLN. Di titik ini, konsumen bisa menggunakannya untuk kebutuhan rumah tangga atau industri [5].

E. Jenis Transformator Distribusi PLN:

1. Transformator Step-Down:

Jenis ini digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi dari jaringan transmisi menjadi tegangan rendah yang sesuai untuk penggunaan konsumen [4].

2. Transformator Step-Up:

Sebaliknya, jenis ini digunakan untuk menaikkan tegangan listrik, misalnya dalam proses distribusi energi listrik dari pembangkit ke saluran transmisi [6].

3. Rasio Lilitan (*Turn Ratio*):

Rasio lilitan antara kumparan primer dan sekunder menentukan seberapa besar perubahan tegangan yang terjadi. Misalnya, rasio 10:1 berarti tegangan pada kumparan sekunder adalah sepuluh kali lebih besar atau lebih kecil dari kumparan primer, tergantung pada jenis transformator [6].

4. Regulasi Tegangan:

Salah satu fungsi transformator distribusi adalah untuk menjaga agar tegangan yang diterima konsumen tetap stabil meskipun ada *fluktuasi* beban [4].

F. Prinsip Pemeliharaan dan Pengoperasian

1. Pemeriksaan Rutin: Pemeliharaan transformator meliputi pemeriksaan komponen, pengujian isolasi, serta pembersihan dari debu dan kotoran [4].
2. Pemantauan *Beban*: Beban yang diterima transformator harus diawasi agar tidak melebihi kapasitas maksimum, karena dapat menyebabkan kerusakan pada transformator [4].
3. Keseimbangan Tegangan: Agar distribusi energi lebih efisien, keseimbangan tegangan antara kumparan primer dan sekunder

harus selalu dijaga [6].

G. Keuntungan dan Tantangan dalam Penggunaan Transformator

1. Keuntungan:

- a. Efisiensi Energi: Transformator membantu mengurangi kerugian energi dalam distribusi listrik dengan mengubah tegangan sesuai kebutuhan [7].
- b. Keamanan: Menurunkan tegangan dari level yang sangat tinggi ke tingkat yang lebih aman untuk digunakan di rumah atau bisnis [7].

2. Tantangan:

- a. Kehilangan Energi: Meskipun efisien, transformator masih mengalami sedikit kehilangan energi, terutama dalam bentuk panas pada kumparan [7].
- b. Pemeliharaan: Pemeliharaan transformator harus dilakukan secara rutin agar tetap bekerja dengan optimal dan menghindari kerusakan besar yang dapat mempengaruhi distribusi listrik [4].



Gambar 2. 1 Trafo distribusi PLN 1 Phase



Gambar 2. 2 Trafo distribusi PLN 3 Phase

2.2.2 ESP32 WROOM

ESP32 WROOM adalah salah satu modul mikrokontroler yang sangat populer untuk aplikasi berbasis IoT (Internet of Things) [13]. Modul ini dikembangkan oleh Espressif Systems dan memiliki berbagai fitur canggih seperti konektivitas WiFi dan Bluetooth, serta memiliki kemampuan pemrosesan data yang sangat baik untuk proyek-proyek IoT [14]. Modul ini menggunakan chip ESP32 yang merupakan pengembangan dari chip ESP8266 dengan peningkatan kinerja, jumlah pin input/output yang lebih banyak, dan dukungan untuk dua jalur komunikasi nirkabel secara bersamaan, yaitu WiFi dan Bluetooth [13].

A. Prinsip Kerja ESP32 WROOM

ESP32 WROOM bekerja dengan prinsip dasar mikrokontroler yang dapat diprogram untuk melakukan berbagai tugas, mulai dari pengolahan data hingga komunikasi data melalui jaringan *nirkabel* [13].

Berikut adalah prinsip kerja ESP32 WROOM:

1. Mikrokontroler:
 - a. ESP32 memiliki dua inti prosesor (*dual-core*) yang memungkinkan untuk pemrosesan data secara paralel, meningkatkan kecepatan dan efisiensi [13].
 - b. Masing-masing inti dapat bekerja secara independen atau diatur untuk bekerja bersama, sesuai dengan kebutuhan aplikasi [13].
2. Konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth*:
 - a. ESP32 dilengkapi dengan WiFi 802.11 b/g/n dan Bluetooth (baik Classic maupun BLE - *Bluetooth Low Energy*), memungkinkan perangkat untuk terhubung dengan jaringan internet dan perangkat lain dalam jarak dekat [15]. Ini membuatnya sangat ideal untuk aplikasi IoT, di mana perangkat perlu terhubung ke internet atau ke perangkat lain dalam jaringan lokal [13].
 - b. Protokol komunikasi yang didukung memungkinkan ESP32 untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengumpulan data sensor hingga pengendalian perangkat secara *real-time* [13][16].
3. Input/Output (I/O) dan Komunikasi Serial:
 - a. ESP32 memiliki sejumlah pin I/O yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor, aktuator, dan perangkat

lainnya [14].

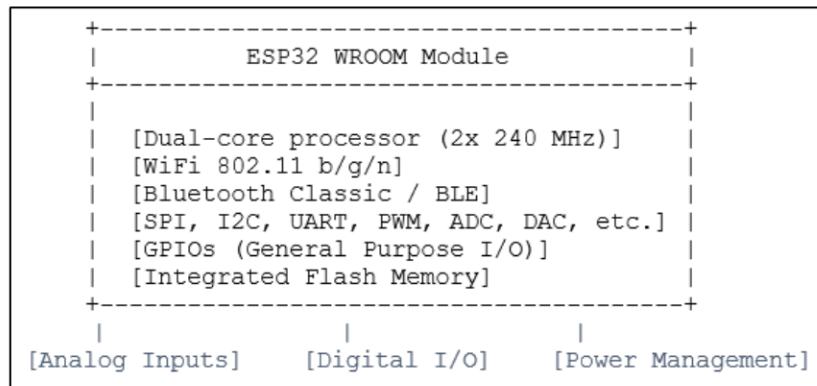
- b. Pin ini dapat digunakan untuk komunikasi digital, analog, atau pengaturan sinyal *PWM (Pulse Width Modulation)* [13] .
- c. Selain itu, ESP32 mendukung berbagai protokol komunikasi serial, seperti SPI, I2C, UART, dan lainnya, yang memungkinkan integrasi yang mudah dengan perangkat eksternal seperti sensor atau modul lainnya [13].

4. Manajemen Daya:

- a. ESP32 dilengkapi dengan berbagai mode manajemen daya untuk menghemat energi, yang sangat penting dalam aplikasi IoT berbasis baterai [17]. Mode-mode ini memungkinkan modul untuk bekerja dengan efisiensi daya yang tinggi, seperti mode *deep sleep* di mana konsumsi daya sangat rendah saat tidak aktif [17].

5. Pemrograman dan Pengembangan:

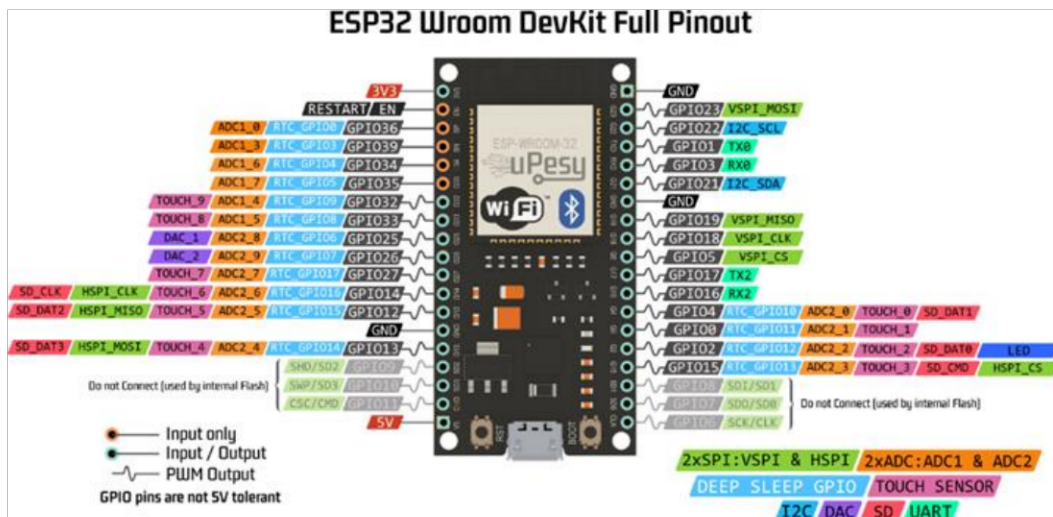
- a. ESP32 dapat diprogram menggunakan berbagai *platform* pengembangan seperti Arduino IDE, *PlatformIO*, atau Espressif *IDF (IoT Development Framework)* [18].
- b. Dengan dukungan *library* yang luas dan komunitas yang aktif, pengguna dapat dengan mudah memanfaatkan kemampuan ESP32 untuk berbagai proyek, termasuk pengembangan aplikasi berbasis *cloud*, perangkat pintar, dan sistem otomatisasi [19].



Gambar 2. 3 Spesifikasi dari ESP32 WROOM



Gambar 2. 4 ESP 32 WROOM



Gambar 2. 5 Pinout ESP 32 WROOM

Modul ini biasanya memiliki ukuran kecil dengan pinout yang memungkinkan untuk integrasi mudah dalam berbagai aplikasi elektronik dan IoT [13].

B. Fitur Utama ESP32 WROOM:

1. *Dual-core* 32-bit CPU:

Dengan dua prosesor yang bisa berjalan secara paralel, meningkatkan kinerja aplikasi [13].

2. Konektivitas *WiFi*:

Mendukung standar WiFi 802.11 b/g/n, memungkinkan komunikasi *nirkabel* yang cepat [13].

3. Konektivitas *Bluetooth*:

Menyediakan Bluetooth Classic dan BLE, ideal untuk berbagai perangkat IoT [16].

4. I/O yang lengkap:

Dukungan untuk berbagai mode komunikasi (I2C, SPI, UART), serta kemampuan untuk mengakses pin analog dan digital [13].

5. Efisiensi Energi:

Dilengkapi dengan mode hemat energi untuk aplikasi yang membutuhkan konsumsi daya rendah [17].

6. Kapasitas Memori:

Memiliki memori Flash dan RAM yang memadai untuk menyimpan aplikasi dan data sementara [13].

C. Aplikasi ESP32 WROOM:

1. Sistem Otomatisasi Rumah (*Home Automation*):

Mengontrol perangkat rumah seperti lampu, kunci pintu, dan *thermostat* melalui koneksi WiFi atau Bluetooth [19].

2. Sensor IoT:

Menggunakan ESP32 untuk mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkan data tersebut melalui internet atau jaringan lokal [13],[14].

3. Perangkat *Wearable*:

Membangun perangkat *wearable* berbasis Bluetooth untuk memonitor kesehatan atau aktivitas fisik [16].

4. Sistem Pemantauan Jarak Jauh:

Mengirimkan data sensor ke *cloud* atau aplikasi untuk pemantauan secara *real-time* [18].

2.2.3 Kalibrasi

Kalibrasi adalah proses menyesuaikan dan menetapkan hubungan numerik antara pembacaan alat ukur dengan nilai acuan standar. Tujuannya adalah memastikan pengukuran yang akurat dan konsisten, serta mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan sistematis yang terjadi pada alat. Proses ini juga mencakup evaluasi presisi dan akurasi instrumen dalam berbagai kondisi operasional [9].

Dalam penelitian ini, dilakukan proses kalibrasi terhadap beberapa sensor, seperti sensor arus PZEM-004T dan sensor tegangan

ZMPT101B. Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur pembanding yang memiliki akurasi lebih tinggi, yaitu clamp meter digital merek Kyoritsu tipe KEW 2007R. Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh sensor sesuai dengan nilai standar yang sah, sehingga informasi yang diperoleh mampu merepresentasikan kondisi aktual di lapangan secara tepat.



Gambar 2. 6 Digital Clamp Meter Kyoritsu KEW 2007R

Untuk mendukung proses kalibrasi dan analisis kesalahan pengukuran, digunakan beberapa rumus sebagai berikut:

A. Rumus Kesalahan Absolut (Absolute Error)

Digunakan untuk mengetahui selisih nilai sensor terhadap alat referensi:

$$\text{Error Absolut} = |\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Referensi}|$$

B. Rumus Kesalahan Relatif / Persentase Error (Relative Error)

Menunjukkan besar kesalahan relatif terhadap nilai referensi dalam bentuk persentase:

$$\text{Error Relatif} = \left(\frac{|\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Referensi}|}{\text{Nilai Referensi}} \right) \times 100\%$$

C. Rumus Deviasi Arus Tiga Fasa dan Deviasi Maksimum

Deviasi digunakan untuk mengevaluasi ketidakseimbangan arus antar fasa (R, S, T).

1. Rata-rata arus :

$$I_{avg} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

2. Deviasi masing – masing fasa :

$$\begin{aligned} \text{Deviasi}_R &= \left(\frac{|I_R - I_{avg}|}{I_{avg}} \right) \times 100\% \\ \text{Deviasi}_S &= \left(\frac{|I_S - I_{avg}|}{I_{avg}} \right) \times 100\% \\ \text{Deviasi}_T &= \left(\frac{|I_T - I_{avg}|}{I_{avg}} \right) \times 100\% \end{aligned}$$

3. Deviasi maksimum :

$$\text{Max Deviasi} = \max(\text{Deviasi}_R, \text{Deviasi}_S, \text{Deviasi}_T)$$

Deviasi maksimum digunakan sebagai indikator utama ketidakseimbangan arus. Jika nilai Max Deviasi melebihi ambang batas tertentu (umumnya 10%), maka sistem dianggap tidak seimbang dan perlu perhatian lebih lanjut [3].

2.2.4 Sensor Arus PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah modul sensor arus dan daya yang digunakan untuk memantau parameter listrik seperti arus, tegangan, daya aktif, daya semu, faktor daya, dan energi yang digunakan dalam sebuah rangkaian listrik [10]. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi

pemantauan energi untuk sistem kelistrikan berbasis mikrokontroler [11].

A. Cara Kerja Sensor PZEM-004T:

PZEM-004T bekerja dengan menggunakan teknik pengukuran berbasis transformator arus (*current transformer* atau CT) dan pembagi tegangan untuk mengukur besaran listrik dalam sistem AC [12].

1. Pengukuran Arus dan Tegangan:

- a. Arus: Sensor ini mengukur arus melalui sebuah jalur dengan menggunakan transformator arus (CT) internal yang memantau aliran arus pada saluran listrik. Sensor ini mampu mengukur arus dalam rentang yang cukup besar, mulai dari beberapa miliampere hingga arus yang lebih tinggi [11].
- b. Tegangan: PZEM-004T juga mengukur tegangan pada saluran AC menggunakan pembagi tegangan yang terhubung pada input sensor untuk memastikan tegangan yang diterima sesuai dengan standar.

2. Pengukuran Daya:

- a. PZEM-004T menghitung daya aktif (*real power*), daya semu (*apparent power*), dan faktor daya (*power factor*) berdasarkan hasil pengukuran arus dan tegangan yang diterima. Daya aktif dihitung dengan mengalikan tegangan dan arus, serta faktor daya yang mencerminkan efisiensi

penggunaan energi dalam suatu sistem [11].

3. Kalkulasi Energi:

- a. Sensor ini juga dapat mengukur total energi yang digunakan dalam periode waktu tertentu, dan hasil pengukuran ini dapat disimpan atau dipantau secara *real-time* menggunakan mikrokontroler yang mengendalikan sensor [10].

4. Komunikasi Data:

- a. PZEM-004T berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protokol UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*). Data yang diukur (seperti arus, tegangan, daya, dan energi) dikirimkan dalam format digital melalui koneksi UART ke mikrokontroler (seperti Arduino atau ESP32), yang kemudian memproses data tersebut [11].
- b. Mikrokontroler dapat mengirimkan data ini ke *platform* lain seperti Blynk, LCD, atau PC untuk pemantauan lebih lanjut [10].

5. Tegangan Referensi dan Isolasi:

- a. PZEM-004T dilengkapi dengan isolasi optik dan komponen lainnya yang memastikan bahwa sensor ini aman digunakan pada jaringan listrik dengan tegangan tinggi, menghindari kerusakan pada sistem pengukuran dan mikrokontroler [11].

6. Konsumsi Daya:

- a. PZEM-004T bekerja dengan konsumsi daya yang relatif

rendah, sehingga sangat efisien untuk aplikasi pemantauan energi dalam jangka panjang tanpa memberatkan sistem [11].

7. Keunggulan PZEM-004T:

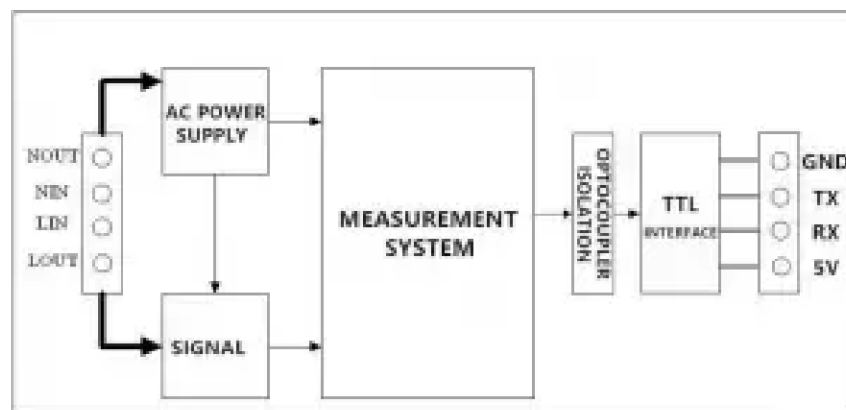
- a. Mudah digunakan: Sensor ini mudah dipasang dan diprogram menggunakan mikrokontroler populer seperti Arduino atau ESP32 [11].
- b. Rentang pengukuran yang luas: Mampu mengukur arus, tegangan, dan daya dalam berbagai rentang, yang sangat berguna untuk aplikasi rumah tangga atau industri [11].
- c. Akurasi tinggi: Memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur parameter listrik [11].
- d. Kompatibilitas dengan mikrokontroler: Dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan UART, memungkinkan integrasi mudah dengan sistem berbasis IoT [10].

8. Aplikasi PZEM-004T:

- a. Pemantauan energi listrik di rumah atau gedung [10].
- b. Sistem manajemen daya di instalasi industri atau komersial [11].
- c. Alat bantu untuk memantau kondisi trafo distribusi listrik [10].



Gambar 2. 7 Sensor Arus PZEM 004T



Gambar 2. 8 Internal Circuit Diagram Sensor Arus PZEM 004T

2.2.5 Solid State Relay (SSR)

Solid State Relay (SSR) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengendalikan aliran arus listrik tanpa bagian bergerak, menggantikan relay mekanik konvensional [20]. SSR bekerja dengan menggunakan semikonduktor (biasanya *triac*, *diac*, atau *thyristor*) untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik [21]. Kelebihan SSR dibandingkan relay mekanik adalah lebih tahan lama, tidak ada keausan mekanik, dan mampu beroperasi dengan kecepatan lebih tinggi [22].

A. Prinsip Kerja SSR:

1. Sinyal Masuk (Input Signal):

Ketika sebuah sinyal input (misalnya sinyal dari mikrokontroler atau perangkat kontrol lainnya) diberikan ke SSR, sinyal ini akan mengaktifkan komponen semikonduktor di dalam SSR. Input ini biasanya berupa tegangan rendah (DC atau AC) [21].

2. Mengaktifkan Komponen Semikonduktor:

SSR menggunakan semikonduktor seperti *Triac* atau *Thyristor* untuk mengendalikan aliran listrik. Ketika sinyal input diterima, semikonduktor ini akan aktif, memungkinkan arus listrik mengalir melalui SSR dan menghubungkan sirkuit listrik [21].

3. Kontrol Listrik pada Sisi Output:

SR akan menghubungkan atau memutuskan sirkuit listrik pada sisi output tergantung pada kondisi sinyal input. Ketika SSR diaktifkan, sirkuit output akan tertutup (on), dan ketika tidak diaktifkan, sirkuit output akan terbuka (off) [21].

4. Isolasi *Galvanik*:

SSR memiliki fitur isolasi *galvanik* yang memisahkan sisi input dan output menggunakan komponen optoelektronik. Hal ini memungkinkan SSR untuk mengontrol peralatan dengan tegangan tinggi atau arus besar tanpa risiko kebocoran arus listrik ke sisi kontrol [21].

B. Keuntungan SSR:

1. Tanpa Komponen Bergerak:

Tidak ada bagian mekanik yang aus, membuatnya lebih tahan lama dan lebih cepat [20].

2. Kecepatan Operasi Tinggi:

SSR dapat beroperasi dalam milidetik, jauh lebih cepat dibandingkan relay mekanik [20].

3. Mudah Dikendalikan oleh Mikrokontroler:

Dapat dioperasikan dengan kontrol digital [21].

C. Spesifikasi atau *Datasheet* SSR:

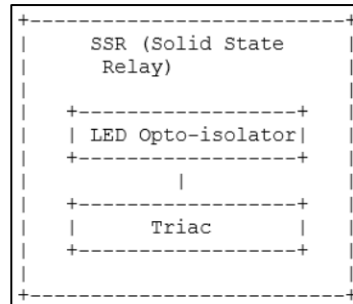
Spesifikasi dari Solid State Relay tipe SSR-25DA (umum digunakan di banyak aplikasi) [23]:

1. Tegangan Input (DC): 3V ~ 32V DC
2. Tegangan Output (AC): 24V ~ 380V AC
3. Arus Output: Maksimum 25A (di tegangan AC 240V)
4. Kecepatan On/Off: <10ms
5. Isolasi *Galvanik*: Ya (*Optoisolator*)
6. Tegangan Jatuh pada Output (V_d): <1.5V pada arus penuh
7. Suhu Kerja: -30°C hingga 80°C
8. Kapasitas Pengontrol: Beban resistif

Catatan:

Pada SSR tipe ini, input berupa sinyal DC yang mengendalikan *opto-isolator*. Komponen ini akan mengaktifkan *Triac* yang berada pada

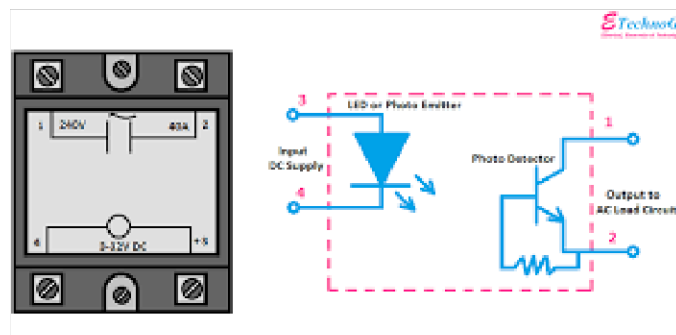
sisi output, sehingga mengalirkan arus AC [21].



Gambar 2. 9 Gambaran umum Solid State Relay



Gambar 2. 10 Solid State Relay (SSR)



Gambar 2. 11 Internal Circuit Diagram SSR

2.2.6 Sensor Tegangan AC ZMPT101B

ZMPT101B adalah sensor tegangan AC yang digunakan untuk mengukur tegangan AC pada berbagai aplikasi. Modul ini mengonversi tegangan AC yang lebih tinggi menjadi sinyal analog yang lebih aman untuk dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino. Sensor ini banyak digunakan dalam berbagai proyek yang memerlukan pengukuran

tegangan AC, seperti sistem pemantauan daya listrik [24],[25].

A. Prinsip Kerja ZMPT101B:

Sensor ZMPT101B bekerja berdasarkan prinsip penginderaan tegangan menggunakan transformator. Berikut adalah langkah-langkah prinsip kerjanya:

1. Transformator Pengukur:

ZMPT101B dilengkapi dengan sebuah transformator kecil yang digunakan untuk menurunkan tegangan AC yang tinggi menjadi nilai yang lebih rendah dan aman untuk diukur. Transformator ini mengubah tegangan tinggi AC (misalnya 220V AC) menjadi tegangan rendah yang lebih sesuai untuk pemrosesan oleh sensor [24].

2. Pengolahan Tegangan oleh Rangkaian Sekunder:

Setelah tegangan AC diturunkan oleh transformator, sinyal tersebut diteruskan ke rangkaian penyearah dan penguat. Rangkaian ini mengubah sinyal AC menjadi sinyal DC yang proporsional dengan tegangan AC yang diukur [24].

3. Penyesuaian Tegangan AC:

ZMPT101B kemudian mengoutputkan sinyal analog (DC) yang berbanding lurus dengan tegangan AC yang diukur. Biasanya output sinyal ini digunakan untuk pengukuran atau kontrol melalui mikrokontroler [24].

4. Isolasi *Galvanik*:

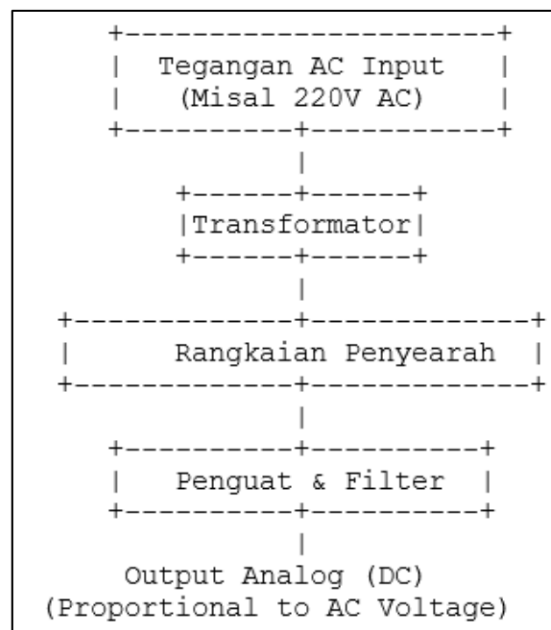
ZMPT101B menggunakan isolasi *galvanik* untuk memisahkan antara sisi tegangan tinggi (AC) dan sisi kontrol rendah (DC), sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan pada perangkat pengontrol atau mikrokontroler [26].

5. *Kalibrasi*:

ZMPT101B memiliki kemampuan untuk dikalibrasi agar menghasilkan output yang akurat sesuai dengan tegangan yang diukur [24].

B. *Line Diagram* ZMPT101B:

Pada diagram berikut, dapat terlihat bagaimana ZMPT101B mengukur tegangan AC dengan menggunakan transformator dan rangkaian penguat :



Gambar 2. 12 Diagram ZMPT101B

C. Spesifikasi atau *Datasheet* ZMPT101B:

Berikut adalah spesifikasi umum dari sensor tegangan AC ZMPT101B [26]:

1. Tegangan Masukan (AC): 0V ~ 250V AC
2. Tegangan Output (DC): 0V ~ 5V DC (Proporsional dengan Tegangan AC)
3. Akurasi: $\pm 1\%$ untuk rentang pengukuran standar
4. Frekuensi: 50Hz ~ 60Hz (untuk sistem listrik AC umum)
5. Dimensi: 5.2cm x 3.2cm x 1.2cm
6. Output: 0-5V (tersedia untuk dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino)
7. Isolasi *Galvanik*: Ya (memisahkan sisi AC dan DC)
8. Arus Beban Maksimal: 10mA (pada output)
9. Suhu Operasional: -40°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$



Gambar 2. 13 Sensor Tegangan AC ZMPT101B

2.2.7 Modul LoRa RA-02

Modul LoRa RA-02 adalah modul komunikasi *nirkabel* yang berbasis teknologi LoRa (*Long Range*) yang memungkinkan pengiriman data dengan jarak jauh menggunakan frekuensi radio sub-GHz. Modul ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi jarak jauh dan hemat daya, seperti di bidang pertanian, pemantauan lingkungan, dan pengendalian perangkat jarak jauh [27].

A. Prinsip Kerja Modul LoRa RA-02:

1. Frekuensi Radio:

Modul LoRa RA-02 bekerja pada frekuensi radio sub-GHz, seperti 433 MHz, 868 MHz, atau 915 MHz, yang memungkinkan transmisi data dalam jarak jauh dengan daya yang rendah [28]. Frekuensi ini berbeda dari jaringan WiFi atau Bluetooth, yang biasanya beroperasi pada frekuensi lebih tinggi dan dengan jangkauan yang lebih pendek [27].

2. Modulasi LoRa:

LoRa (*Long Range*) menggunakan teknik modulasi yang disebut *Chirp Spread Spectrum* (CSS) untuk mentransmisikan data. Teknik ini memungkinkan transmisi data dengan jangkauan yang lebih jauh dan toleransi terhadap *interferensi* dan gangguan sinyal [29].

3. Komunikasi Sederhana:

LoRa menggunakan komunikasi *half-duplex*, artinya perangkat

hanya dapat mengirim atau menerima data pada satu waktu. Meskipun demikian, LoRa RA-02 dapat digunakan untuk membangun jaringan komunikasi dua arah antar perangkat, dengan transmisi data yang efisien dan hemat energi [27].

4. Kemampuan Jarak Jauh:

Dengan teknologi LoRa, modul RA-02 mampu mengirimkan data hingga jarak lebih dari 15 km di area terbuka (tergantung pada kondisi lingkungan dan daya transmisi yang digunakan). Hal ini menjadikan LoRa ideal untuk aplikasi jarak jauh seperti pemantauan cuaca, pengendalian perangkat remote, dan sistem deteksi [28].

5. Konsumsi Daya Rendah:

Modul LoRa RA-02 dirancang untuk bekerja dengan konsumsi daya yang rendah, memungkinkan pengoperasian selama bertahun-tahun menggunakan baterai kecil, yang sangat cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan ketahanan baterai [28].

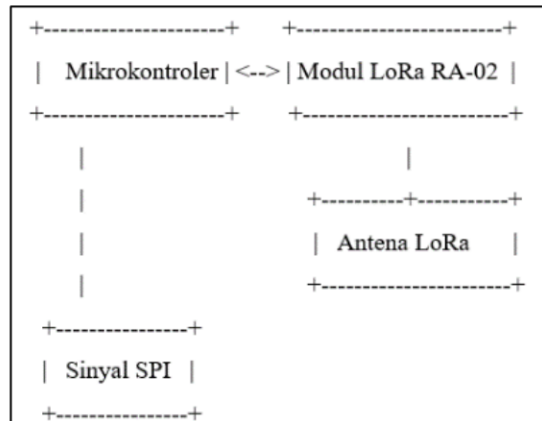
6. Protokol Pengiriman Data:

Modul ini mendukung komunikasi dengan berbagai protokol, dan dapat dikendalikan menggunakan antarmuka SPI (*Serial Peripheral Interface*) yang memungkinkan komunikasi dengan mikrokontroler seperti Arduino atau Raspberry Pi [27].

B. *Line Diagram* Modul LoRa RA-02:

Di bawah ini adalah diagram blok umum dari modul LoRa RA-

02 yang menghubungkan mikrokontroler dengan modul LoRa untuk komunikasi data:



Gambar 2. 14 Diagram LoRa 02

C. Spesifikasi atau *Datasheet* Modul LoRa RA-02:

Berikut adalah spesifikasi teknis dari modul LoRa RA-02 : [28]

1. Frekuensi Operasi:

- a. 433 MHz (Model umum di Asia)
- b. 868 MHz (Model umum di Eropa)
- c. 915 MHz (Model umum di Amerika Utara)

2. Tegangan Operasi:

- a. 1.8V ~ 3.7V DC (tergantung pada model dan daya transmisi)

3. Konsumsi Daya:

- a. *Transmit*: 120mA (pada daya transmisi penuh)
- b. *Receive*: 12mA
- c. *Sleep Mode*: <1μA (hemat daya)

4. Jarak Jangkauan:

- a. Hingga 15 km di area terbuka (tergantung pada daya

transmisi dan kondisi lingkungan)

5. Modulasi:

- a. *Chirp Spread Spectrum* (CSS) untuk komunikasi jarak jauh

6. Antarmuka:

- a. SPI untuk komunikasi dengan mikrokontroler
- b. Antena eksternal untuk sinyal radio

7. Kecepatan Data:

- a. 0.3 kbps hingga 27 kbps (tergantung pada pengaturan LoRa)

8. Temperatur Operasi:

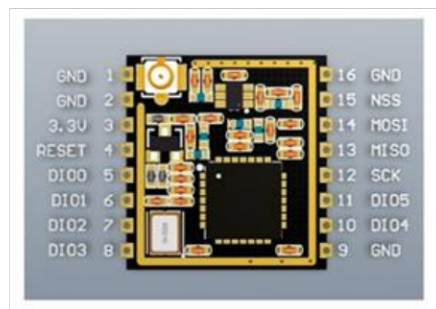
- a. -40°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$ (rentang suhu yang luas)

9. Ukuran Modul:

- a. 25mm x 16mm (modul kecil dan kompak)



Gambar 2. 15 Modul LoRa RA-02



Gambar 2. 16 Pinout LoRa RA-02

2.2.8 LCD I2C 4x20

LCD I2C 4x20 adalah jenis layar LCD yang memiliki antarmuka I2C, memungkinkan pengendalian layar dengan hanya dua pin data (*SDA* dan *SCL*) pada komunikasi I2C, yang sangat mempermudah penggunaan di proyek elektronik. Layar ini memiliki ukuran 4 baris dan 20 kolom, sering digunakan dalam berbagai aplikasi mikrokontroler untuk menampilkan informasi dalam format teks [30].

A. Prinsip Kerja LCD I2C 4x20:

1. LCD 4x20:

- a. 4 baris dan 20 kolom berarti layar dapat menampilkan 4 baris teks, masing-masing dengan 20 karakter [31].
- b. Layar ini menggunakan teknologi *Liquid Crystal Display* (LCD), di mana setiap *pixel* terdiri dari dua lapisan kristal cair yang memblokir atau meneruskan cahaya ketika diberi tegangan.

2. I2C (Inter-Integrated Circuit):

- a. LCD I2C menggunakan modul I2C untuk menghubungkan perangkat dengan mikrokontroler atau sistem lainnya [30].
- b. Modul I2C ini mengurangi jumlah pin yang digunakan, karena hanya membutuhkan dua pin data: *SDA* (Serial Data Line) dan *SCL* (Serial Clock Line). Ini memungkinkan komunikasi data antara mikrokontroler dan LCD dengan lebih efisien [30].

3. Modul Pengontrol I2C:

- a. LCD I2C umumnya dilengkapi dengan *chip* pengontrol I2C seperti PCF8574 yang memungkinkan kontrol LCD melalui komunikasi I2C [31].
- b. *Chip* ini mengubah sinyal digital menjadi sinyal yang dapat dibaca oleh LCD. Kontrol ini mencakup pengaturan kontras, kecerahan, dan pengiriman data teks ke layar [31].

4. Tegangan Kerja:

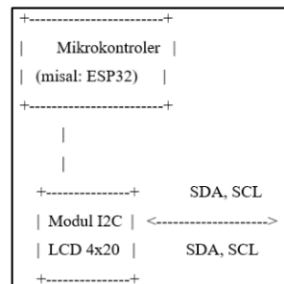
- a. LCD I2C 4x20 biasanya bekerja pada tegangan 5V dan dapat beroperasi dalam rentang suhu antara 0°C hingga 50°C [31].
- b. Beberapa modul juga dapat beroperasi pada tegangan 3.3V, meskipun tidak semua model memiliki kompatibilitas ini.

5. Komunikasi dan Pengendalian:

- a. Data yang ditampilkan pada LCD dikirimkan ke modul melalui protokol I2C menggunakan perintah seperti pengaturan posisi kursor, pengaturan mode tampilan, dan pengiriman karakter ke layar [30].
- b. Protokol ini memungkinkan pengendalian beberapa perangkat dengan hanya menggunakan dua kabel (*SDA* dan *SCL*) yang terhubung ke mikrokontroler [30].

B. Line Diagram LCD I2C 4x20:

Berikut adalah diagram yang menggambarkan bagaimana LCD I2C 4x20 terhubung ke mikrokontroler (seperti Esp 32):

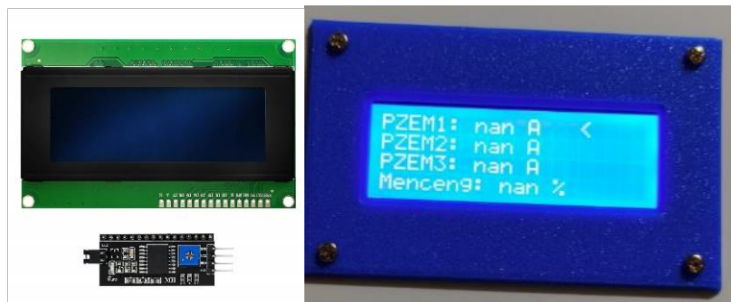


Gambar 2. 17 Diagram LCD I2C 4x20

C. Spesifikasi atau *Datasheet* Modul LCD I2C 4x20:

Berikut adalah spesifikasi teknis dari LCD I2C 4x20: [31]

1. Tipe Layar: 20x4 (20 kolom x 4 baris)
2. Tegangan Operasi: 5V (beberapa model juga mendukung 3.3V)
3. Antarmuka: I2C (2 pin: *SDA* dan *SCL*)
4. Konsumsi Daya: Sekitar 100 mA pada 5V
5. Mode Tampilan: Tampilan karakter alfanumerik
6. Jenis Layar: *TFT* atau LCD biasa (tergantung model)
7. Kecerahan: Bisa diatur (tergantung modul)
8. Ukuran Fisik: 80mm x 36mm x 15mm (tergantung model)
9. *Chip* Pengontrol I2C: PCF8574 atau kompatibel
10. Kecepatan Komunikasi I2C: 100 kHz hingga 400 kHz (tergantung pengaturan).



Gambar 2. 18 LCD I2C 4 X 20

2.2.9 Baterai *Li-Ion* 18650 6800 mAh

Baterai *Li-Ion* 18650 6800 mAh adalah salah satu jenis baterai *lithium-ion* yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi portable, seperti power bank, laptop, sepeda listrik, dan perangkat elektronik lainnya. Baterai ini dikenal karena kapasitas energi yang tinggi, ukuran standar, dan kemampuan pengisian ulang (*rechargeable*) [35].

A. Deskripsi Baterai *Li-Ion* 18650 6800 mAh:

1. Jenis Baterai:

Lithium-Ion (Li-ion)

2. Tipe Baterai:

18650

3. Kapasitas:

6800 mAh (milliampere-hour), yang menentukan kapasitas energi yang bisa disimpan oleh baterai tersebut. Semakin tinggi nilai mAh, semakin banyak energi yang dapat disimpan dan semakin lama perangkat dapat beroperasi.

4. Tegangan Nominal:

3.7V (tegangan rata-rata ketika baterai digunakan)

5. Tegangan Penuh:

4.2V (pada kondisi penuh saat pengisian)

6. Tegangan Minimum:

2.5V hingga 3.0V (tegangan minimum saat baterai harus diisi ulang untuk menghindari kerusakan)

7. Ukuran Baterai:

18mm diameter dan 65mm panjang (ini adalah ukuran standar untuk baterai tipe 18650)

8. Bahan Kimia:

$LiCoO_2$ (*Lithium Cobalt Oxide*) atau jenis kimia lainnya yang digunakan untuk memberikan kapasitas tinggi dan stabilitas dalam pengoperasian [35].

B. Prinsip Kerja Baterai *Li-Ion* 18650:

Baterai *Lithium-Ion* bekerja berdasarkan proses reaksi elektrokimia antara elektroda positif (katalisator) dan elektroda negatif (grafit), di mana ion litium (Li^+) bergerak antara keduanya selama proses pengisian dan pengosongan.

1. Pengisian:

a. Ketika baterai *Li-Ion* diisi, ion *lithium* berpindah dari elektroda positif (*katoda*) menuju elektroda negatif (*anoda*) [35].

b. Selama pengisian, arus listrik mendorong ion litium bergerak ke dalam struktur kristal grafit pada *anoda*, dan elektron bergerak melalui sirkuit luar [35].

2. Pengosongan:

a. Ketika baterai digunakan, ion litium bergerak dari *anoda* (grafit) kembali ke *katoda* (kobalt oksida atau jenis lainnya), menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan untuk

menyalakan perangkat [35].

- b. Elektron bergerak melalui sirkuit luar untuk menyediakan tenaga [35].

3. Efisiensi dan Daya Tahan:

- a. Baterai *Li-Ion* memiliki energi *densitas* yang tinggi, sehingga mampu menyimpan lebih banyak energi dalam ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan baterai jenis lainnya [35].
- b. Baterai ini juga mendukung jumlah siklus pengisian ulang yang tinggi, biasanya hingga 300-500 siklus penuh sebelum kapasitasnya menurun secara signifikan [35].

C. Karakteristik dan Kelebihan Baterai *Li-Ion* 18650 6800 mAh:

1. Kapasitas Tinggi:

Dengan kapasitas 6800 mAh, baterai ini dapat menyediakan daya yang cukup untuk perangkat dengan konsumsi daya moderat selama beberapa jam, tergantung pada aplikasi.

2. Kepadatan Energi:

Li-Ion memiliki kepadatan energi yang tinggi, memungkinkan penyimpanan lebih banyak energi dalam volume yang kecil. Ini membuatnya ideal untuk digunakan dalam perangkat portable [35].

3. Daya Tahan Lama: Dengan pengisian ulang yang tepat dan pemeliharaan yang baik, baterai ini dapat bertahan lebih lama

daripada baterai jenis lainnya seperti NiMH [35].

4. Ringan dan Kompak:

Meskipun memiliki kapasitas yang tinggi, baterai *Li-Ion* 18650 tetap ringan dan kompak, yang menjadikannya pilihan yang ideal untuk berbagai aplikasi portabel [36].

5. Keamanan:

Baterai *Li-Ion* dilengkapi dengan sirkuit pengaman internal untuk melindungi terhadap *overcharge*, *over-discharge*, dan suhu yang terlalu tinggi. Namun, jika terjadi kegagalan, baterai *Li-Ion* dapat meledak atau terbakar, sehingga diperlukan perlindungan lebih lanjut dalam penggunaannya.

6. Pengisian Cepat:

Proses pengisian baterai *Li-Ion* lebih cepat dibandingkan dengan banyak baterai jenis lain, membuatnya lebih praktis digunakan dalam perangkat yang sering membutuhkan pengisian ulang.



Gambar 2. 19 Bateri *Li-Ion* 18650 6800 mAh

2.2.10 Modul Mini UPS Step Up 5V (J5019)

Modul Mini UPS Step Up 5V (J5019) adalah modul yang dirancang untuk memberikan daya cadangan (*backup power*) pada sistem

elektronik dengan mengonversi dan menstabilkan tegangan ke 5V, menggunakan baterai sebagai sumber daya cadangan ketika sumber utama terputus. Modul ini biasanya digunakan untuk memberi daya pada perangkat dengan kebutuhan tegangan 5V seperti Arduino, Raspberry Pi, dan berbagai sistem IoT lainnya yang memerlukan daya kontinu.

A. Deskripsi Modul Mini UPS Step Up 5V (J5019):

1. Tegangan Masukan:

Modul ini memiliki rentang tegangan masukan yang bervariasi, namun umumnya adalah 12V DC yang digunakan untuk mengisi dan memberikan daya cadangan.

2. Tegangan Keluar (Output):

Modul ini mengonversi tegangan masuk menjadi 5V DC, yang merupakan standar untuk banyak perangkat elektronik seperti Arduino, Raspberry Pi, dan lainnya.

3. Baterai Cadangan:

Modul ini dilengkapi dengan baterai *Li-ion* atau *Li-Po (Lithium-Polymer)* yang digunakan untuk menyimpan energi dan memberikan daya ketika sumber daya utama terputus. Biasanya digunakan baterai 18650 *Li-ion* dengan kapasitas tertentu.

4. Sistem Pengisian dan Pengisian Ulang Otomatis:

Modul J5019 dapat mengisi baterai cadangan secara otomatis saat sumber daya utama tersedia dan mengalihkan ke baterai cadangan secara otomatis ketika sumber utama tidak ada.

5. Pengaturan Keamanan:

Modul ini juga dilengkapi dengan perlindungan untuk mencegah *overcharging*, *overdischarging*, dan arus lebih, yang meningkatkan umur dan keamanannya.

6. Ukuran Kompak dan Efisiensi Tinggi:

Dengan ukuran yang kecil, modul ini cocok digunakan dalam aplikasi portabel atau sistem yang memerlukan pengendalian daya dengan efisiensi yang tinggi dan ukuran minimal.

B. Prinsip Kerja Modul Mini UPS Step Up 5V (J5019):

1. Pengisian Baterai:

Ketika modul ini dihubungkan ke sumber daya eksternal (seperti adaptor 12V DC), modul akan mengisi baterai cadangan (biasanya *Li-ion* atau *Li-Po*) yang terpasang pada sistem.

2. Pengalihan Daya Otomatis:

Ketika tegangan dari sumber daya utama hilang, modul ini secara otomatis akan mengalihkan daya dari baterai cadangan, memastikan bahwa perangkat tetap menyala tanpa gangguan.

3. Regulasi Tegangan:

Tegangan yang keluar (5V) dijaga agar tetap stabil, meskipun tegangan masukan dari sumber daya utama atau tegangan baterai cadangan mungkin berfluktuasi.

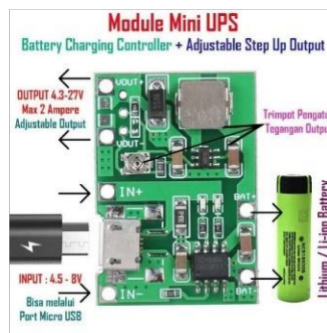
4. Pemberian Daya 5V untuk Perangkat:

Modul ini memberikan daya 5V yang stabil dan aman untuk

perangkat yang terhubung, yang penting untuk perangkat yang sensitif terhadap fluktuasi tegangan.

C. Spesifikasi umum dari Modul Mini UPS Step Up 5V (J5019):

1. Tegangan Masukan: 12V DC
2. Tegangan Keluar: 5V DC
3. Kapasitas Baterai Cadangan: Baterai *Li-ion* 18650 (kapasitas bervariasi, biasanya 2000mAh hingga 5000mAh)
4. Arus Output Maksimum: 2A (untuk pengisian dan daya perangkat)
5. Tegangan Baterai Cadangan: 3.7V (*Li-ion*)
6. Efisiensi Konversi: 85-90%
7. Proteksi:
 - a. Proteksi *overcharge* dan *overdischarge* untuk baterai
 - b. Proteksi arus lebih
8. Ukuran Modul: 50mm x 45mm x 20mm (tergantung model dan jenis komponen)
9. Suhu Operasi: -20°C hingga 60°C
10. *Port* Output: USB Type-A atau terminal kabel untuk 5V DC



Gambar 2. 20 Modul Mini UPS Step Up 5V (J5019)

2.2.11 Modul Step Down LM2596

Modul Step Down LM2596 adalah modul regulator daya DC-DC yang menggunakan IC LM2596, yang berfungsi untuk mengonversi tegangan DC yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah secara efisien. Modul ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi untuk menurunkan tegangan input (biasanya 12V atau 24V) menjadi tegangan output yang lebih rendah (seperti 5V, 9V, 12V) yang dibutuhkan oleh perangkat elektronik lainnya.

A. Deskripsi LM2596 Step Down Converter :

1. Tegangan Input:

Modul LM2596 memiliki rentang tegangan input yang cukup luas, biasanya dari 4V hingga 40V DC. Ini memungkinkan pengguna untuk menggunakan berbagai sumber daya yang lebih tinggi (misalnya, 12V atau 24V) dan mengonversinya menjadi tegangan yang lebih sesuai dengan perangkat mereka.

2. Tegangan Output:

Modul ini menyediakan tegangan output yang dapat disesuaikan menggunakan potensiometer atau preset resistor. Tegangan output yang umum adalah 5V, 9V, 12V, tetapi bisa juga disesuaikan sesuai kebutuhan.

3. Arus Output:

Modul ini dapat menghasilkan arus output hingga 2-3A, tergantung pada tegangan input dan disipasi daya, yang cukup

untuk memberi daya pada berbagai perangkat, seperti mikrokontroler, motor DC kecil, dan komponen elektronik lainnya.

4. Efisiensi Tinggi:

Salah satu keunggulan utama dari modul LM2596 adalah efisiensinya yang tinggi. Regulator ini menggunakan teknologi *switching*, yang memungkinkan konversi daya dengan efisiensi sekitar 80%-90%, berbeda dengan regulator *linear* yang biasanya memiliki efisiensi lebih rendah dan menghasilkan lebih banyak panas.

5. Komponen Utama:

- a. IC LM2596 adalah inti dari modul ini, yang berfungsi sebagai komponen *switching* untuk mengonversi tegangan.
- b. Induktor dan kapasitor digunakan untuk memfilter *noise* dan memastikan tegangan output tetap stabil.
- c. Potensiometer memungkinkan pengguna untuk mengatur tegangan output sesuai dengan kebutuhan.

6. Pengaturan Tegangan Output:

Tegangan output pada modul LM2596 dapat diatur dengan memutar potensiometer pada modul, yang mengubah nilai resistansi dan, akibatnya, tegangan output.

B. Prinsip Kerja Modul Step Down LM2596:

Modul LM2596 bekerja berdasarkan prinsip konversi daya

switching. Pada dasarnya, modul ini mengonversi energi dari sumber input yang lebih tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah melalui proses langkah berikut:

1. Pemotongan Tegangan:

Tegangan input yang lebih tinggi diberikan pada input modul. Kemudian, komponen *switching* (dioda dan transistor) akan mengalirkan sebagian arus dari sumber daya, memotong dan mengurangi tegangan tersebut.

2. Pengaturan Arus dan Tegangan:

Dengan menggunakan induktor dan kapasitor, energi yang disalurkan diproses sedemikian rupa untuk menghasilkan tegangan output yang stabil. Modul ini mengubah energi menjadi bentuk yang efisien melalui proses *switching*.

3. Pengaturan dan Filterisasi:

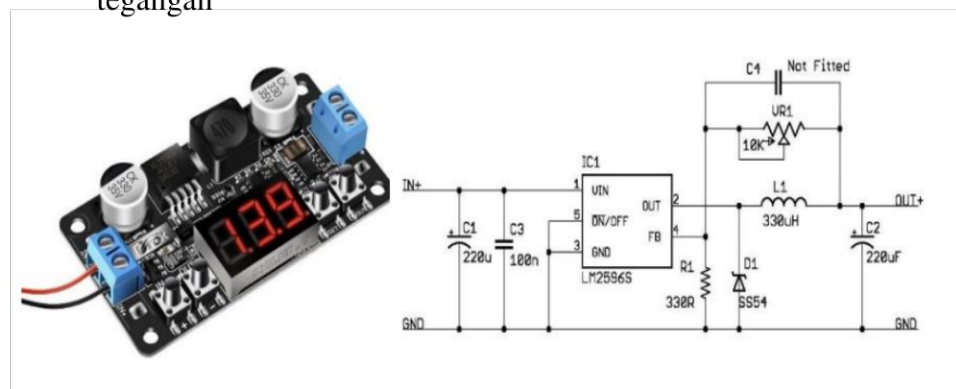
Untuk memastikan tegangan output tetap stabil dan bebas dari *noise*, induktor digunakan untuk menyaring tegangan berdenyut, dan kapasitor membantu menghaluskan sinyal keluar.

C. Spesifikasi atau *Datasheet* Modul *Step Down* LM2596:

Berikut adalah spesifikasi teknis dari Modul *Step Down* LM2596:

1. Tegangan Input: 4V ~ 40V DC (rentang tegangan yang luas)
2. Tegangan Output: 5V, 9V, 12V, atau sesuai pengaturan (dapat disesuaikan)

3. Arus Output Maksimum: 2-3A (tergantung pada input dan *dissipasi* panas)
4. Efisiensi Konversi: 80% - 90% (tergantung input dan output)
5. Frekuensi *Switching*: 150 kHz
6. Tegangan Minimum Output: 1.25V (tergantung pada pengaturan)
7. Ukuran Modul: 43mm x 23mm x 14mm
8. Kondisi Operasional: -40°C hingga 125°C (untuk IC LM2596)
9. Proteksi: *Overload*, *overheat*, dan *overcurrent*
10. Pengaturan Tegangan Output: Potensiometer untuk penyesuaian tegangan



Gambar 2. 21 Modul Step Down LM2596

2.2.12 MCB 1 Phase (*Miniature Circuit Breaker 1 Phase*)

MCB 1 Phase (*Miniature Circuit Breaker*) adalah alat pengaman listrik yang digunakan untuk melindungi sirkuit listrik pada instalasi rumah tangga atau industri dari kerusakan akibat arus lebih atau hubungan pendek [37]. MCB 1 Phase dirancang khusus untuk sirkuit satu fase, yang umumnya digunakan pada instalasi rumah tinggal atau gedung kecil.

A. Deskripsi MCB 1 Phase:

1. Fungsi Utama:

- a. MCB berfungsi untuk melindungi perangkat listrik dan sirkuit dari arus lebih (*overcurrent*) dan hubungan pendek (*short circuit*) [37],[38].
- b. Jika terjadi gangguan pada sirkuit, MCB akan memutuskan aliran listrik secara otomatis untuk mencegah kerusakan pada perangkat atau kebakaran [37].

2. Tegangan dan Arus:

- a. MCB 1 Phase biasanya dirancang untuk digunakan pada sistem tegangan 230V AC dengan kapasitas arus yang bervariasi, misalnya 6A, 10A, 16A, atau 20A.
- b. Pemilihan kapasitas arus sesuai dengan rating beban yang digunakan pada sirkuit tersebut.

3. Komponen Utama:

- a. *Switching Mechanism*: Mekanisme yang berfungsi untuk memutuskan sirkuit saat terjadi gangguan.
- b. *Bimetallic Strip* (untuk arus lebih): Komponen ini berfungsi untuk mengidentifikasi arus lebih. Ketika arus listrik melebihi batas yang telah ditentukan, strip logam *bimetal* ini akan melengkung dan memicu mekanisme pemutusan [37].
- c. Elektromagnet (untuk hubungan pendek): Ketika terjadi hubungan pendek, arus yang sangat tinggi akan mengalir dan

elektromagnet ini akan menarik tuas pemutus untuk memutus aliran listrik dengan cepat [37].

- d. Terminal: Bagian tempat kabel input dan output dihubungkan.

4. Tipe Perlindungan:

- a. Perlindungan Arus Lebih (*Overcurrent Protection*): MCB melindungi dari arus yang melebihi *rating* normal. Ketika arus lebih terjadi, strip *bimetal* akan memicu pemutusan aliran listrik [37].
- b. Perlindungan Hubungan Pendek (*Short Circuit Protection*): MCB juga melindungi dari arus yang sangat besar yang terjadi saat hubungan pendek. Elektromagnet dalam MCB akan mendeteksi lonjakan arus ini dan segera memutuskan aliran listrik [37].

B. Prinsip Kerja MCB 1 Phase:

1. Arus Normal:

Ketika tidak ada gangguan, MCB 1 Phase memungkinkan arus listrik mengalir dengan bebas ke sirkuit.

2. Arus Lebih:

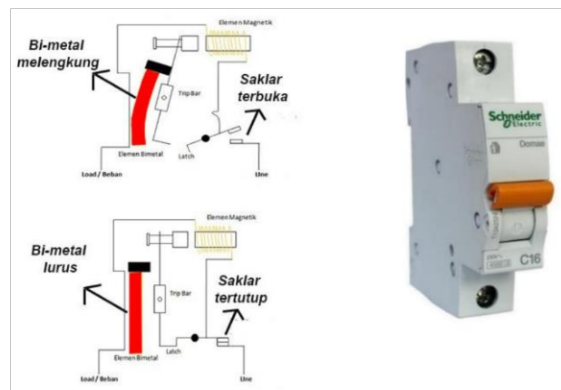
Jika arus melebihi batas yang telah ditentukan (misalnya beban terlalu berat), strip *bimetal* akan mulai melengkung akibat pemanasan. Setelah mencapai titik tertentu, strip ini akan memutuskan sirkuit untuk mencegah kerusakan [37].

3. Hubungan Pendek:

Pada saat terjadi hubungan pendek, arus yang mengalir akan sangat besar dan elektromagnet dalam MCB akan menarik tuas pemutus dengan sangat cepat untuk memutuskan aliran listrik dalam waktu singkat [37].

4. Pemutusan Otomatis:

Setelah terjadi pemutusan, MCB 1 Phase tidak akan mengalirkan listrik sampai saklar *direset* secara manual.



Gambar 2. 22 MCB 1 Phase

2.2.13 Lampu Pilot (Indikator)

Lampu pilot merupakan lampu indikator yang digunakan untuk menunjukkan status operasional suatu perangkat atau sistem kelistrikan. Lampu ini biasa ditemukan pada panel kontrol dan memberi tanda visual apakah sistem dalam keadaan aktif atau tidak. Lampu pilot sangat berguna dalam sistem kelistrikan karena memberikan indikasi yang jelas kepada pengguna mengenai status operasional perangkat, memudahkan pemeliharaan, dan meminimalisir kesalahan dalam mendeteksi masalah.

2.2.14 Indikator Baterai

Indikator baterai adalah alat yang digunakan untuk memonitor dan menunjukkan status pengisian daya pada baterai. Alat ini memberikan informasi apakah baterai dalam kondisi penuh, sedang diisi, atau hampir habis.

Prinsip kerja indikator baterai adalah sebagai berikut :

1. Tegangan Baterai:

Indikator baterai bekerja dengan memantau tegangan yang ada di terminal baterai. Tegangan ini dibandingkan dengan nilai yang sudah ditentukan untuk menunjukkan kondisi baterai.

2. Indikasi Warna:

Biasanya, indikator menggunakan warna untuk menunjukkan status baterai, seperti hijau untuk penuh, kuning untuk setengah penuh, dan merah untuk hampir habis.

Indikator baterai sangat penting dalam sistem kelistrikan yang bergantung pada baterai sebagai sumber daya cadangan, seperti pada sistem UPS (*Uninterruptible Power Supply*) atau perangkat portabel lainnya. Hal ini membantu pengguna untuk menghindari gangguan akibat kehabisan daya dan memastikan baterai dalam kondisi yang baik.



Gambar 2. 23 Indikator baterai