

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Pada perancangan tugas akhir dengan judul *Smart voltage protection* berbasis Arduino Uno, didapatkan beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi dalam penyusunan perancangan mengenai *Smart voltage protection* berbasis Arduino Uno. Penelitian terdahulu bertujuan untuk mengetahui perkembangan perancangan yang sudah dilakukan, dan metode yang digunakan oleh perancangan sebelumnya. Selain itu, penelitian terdahulu juga dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan antara pengembangan yang dilakukan saat ini dengan perancangan atau penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian yang diambil sebagai referensi perancangan tugas akhir ini memiliki keterkaitan dengan sistem monitoring tegangan, proteksi *overvoltage* dan *undervoltage*, serta pemanfaatan mikrokontroler Arduino sebagai pengendali utama.

Penelitian pertama dilakukan oleh Baskoro et al. (2020) dengan judul "Pembuatan Prototype Penstabil Tegangan untuk Mengatasi Gangguan *Over-Under voltage* Berbasis Arduino Uno". Penelitian tersebut bertujuan untuk merancang sebuah prototipe penstabil tegangan yang mampu memberikan perlindungan terhadap gangguan *overvoltage* dan *undervoltage* pada jaringan listrik. Sistem yang dikembangkan menggunakan Arduino Uno sebagai pusat kendali yang diintegrasikan dengan sensor tegangan AC untuk mendeteksi kondisi tegangan serta relay sebagai aktuator yang berfungsi memutus aliran listrik ketika terjadi gangguan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mendeteksi kondisi *overvoltage* maupun *undervoltage* dengan baik serta melakukan pemutusan aliran listrik secara otomatis sehingga dapat melindungi peralatan elektronik dari risiko kerusakan akibat fluktuasi tegangan. Penelitian ini menjadi salah satu referensi penting karena memiliki konsep dasar yang serupa dalam penerapan sistem proteksi tegangan berbasis mikrokontroler.

Penelitian kedua dilakukan oleh Tung dan Khoa (2019) dengan judul "An Arduino-Based System for Monitoring and Protecting *Overvoltage* and *Undervoltage*". Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan proteksi tegangan berbasis Arduino yang mampu melakukan pemantauan kondisi tegangan listrik secara *real-time*. Sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor tegangan yang terhubung ke Arduino untuk membaca perubahan tegangan secara terus-menerus, kemudian melakukan analisis terhadap nilai tegangan yang diperoleh. Apabila sistem mendeteksi kondisi *overvoltage* maupun *undervoltage*, Arduino akan menjalankan mekanisme proteksi secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring tegangan secara kontinu dengan tingkat respons yang baik serta memberikan perlindungan terhadap gangguan tegangan secara efektif. Penelitian ini menjadi acuan karena menunjukkan bahwa penggunaan Arduino sebagai pusat kendali mampu menghasilkan sistem monitoring dan proteksi yang andal.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Gunawan dan Sahar (2023) dengan judul "Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring *Overcurrent* dan *Over/Undervoltage* Terhadap Motor 3 Fasa Berbasis Arduino". Penelitian tersebut berfokus pada perancangan sistem proteksi dan monitoring untuk motor tiga fasa dengan memanfaatkan Arduino sebagai pengendali utama. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor arus dan sensor tegangan untuk mendeteksi kondisi *overcurrent*, *overvoltage*, serta *undervoltage* yang dapat membahayakan motor listrik. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mendeteksi berbagai gangguan secara otomatis dan memberikan tindakan proteksi yang sesuai sehingga meningkatkan keamanan serta keandalan pengoperasian motor tiga fasa. Penelitian ini memberikan referensi mengenai penerapan sistem proteksi berbasis Arduino pada beban listrik yang memiliki karakteristik daya lebih besar.

Penelitian keempat dilakukan oleh Susilo et al. (2026) dengan judul "*Design of Arduino-Based Overvoltage Type Time-lag Relay*". Penelitian ini merancang sistem relay berbasis Arduino yang dilengkapi dengan mekanisme penundaan waktu (*time-lag*) sebelum beban kembali dihubungkan ke sumber listrik setelah gangguan tegangan berakhir. Arduino digunakan sebagai pusat pengendali yang mengatur proses pemutusan dan penyambungan kembali relay berdasarkan

parameter waktu yang telah diprogram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemutusan serta penyambungan kembali beban secara otomatis dengan waktu tunda tertentu sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan akibat lonjakan tegangan sesaat setelah listrik kembali normal. Konsep *time-lag* relay pada penelitian ini menjadi referensi yang relevan dalam pengembangan fitur *delay reconnect* pada sistem *Smart voltage protection* yang dirancang.

Berdasarkan hasil analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Arduino sebagai pusat pengendali telah terbukti mampu mendukung sistem monitoring dan proteksi tegangan secara efektif. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki perbedaan dibandingkan penelitian sebelumnya, yaitu dengan mengintegrasikan fungsi monitoring tegangan secara *real-time* menggunakan LCD, alarm peringatan menggunakan buzzer, pemutusan otomatis menggunakan relay, serta mekanisme *delay reconnect* sebelum aliran listrik dihubungkan kembali setelah kondisi tegangan kembali normal. Dengan pengembangan tersebut, sistem yang dirancang diharapkan mampu memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap peralatan elektronik dari gangguan *overvoltage* maupun *undervoltage*.

Tabel 2.1 Metode dan Hasil Penelitian Terdahulu

| Penulis                                                                          | Judul                                                                                                                 | Metode Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                   | Hasil                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baskoro, F., Bahtiar, M., Haryudo, S. I., Agung, A. I., & Hermawan, A. C. (2020) | Pembuatan <i>Prototype</i> Penstabil Tegangan untuk Mengatasi Gangguan <i>Over-Under voltage</i> Berbasis Arduino Uno | Penelitian dilakukan dengan merancang prototipe penstabil tegangan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, sensor tegangan AC untuk membaca nilai tegangan, dan relay sebagai aktuator pemutus beban. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan pada sistem. | Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi <i>over voltage</i> dan <i>under voltage</i> serta memutus aliran listrik secara otomatis sehingga dapat melindungi beban dari kerusakan akibat fluktuasi tegangan. |
| Tung, D. D., & Khoa, N. M. (2019)                                                | <i>An Arduino-Based System for Monitoring and Protecting</i>                                                          | Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan mikrokontroler                                                                                                                                                                                                                             | Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat memonitor                                                                                                                                                                              |

| Penulis                         | Judul                                                                                                                                  | Metode Penelitian                                                                                                                                                                                                                                    | Hasil                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | <i>Overvoltage and Undervoltage</i>                                                                                                    | Arduino sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor tegangan untuk melakukan pemantauan dan proteksi secara <i>real-time</i> .                                                                                                                | tegangan secara <i>real-time</i> dan memberikan perlindungan otomatis terhadap kondisi <i>over voltage</i> dan <i>under voltage</i> dengan tingkat respons yang baik.                                                    |
| Gunawan, A., & Sahar, M. (2023) | Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring <i>Over current</i> dan <i>Over/Under voltage</i> Terhadap Motor 3 Fasa Berbasis Arduino | Penelitian dilakukan dengan merancang sistem proteksi berbasis Arduino yang terintegrasi dengan sensor arus dan sensor tegangan untuk mendeteksi gangguan <i>over current</i> , <i>over voltage</i> , dan <i>under voltage</i> pada motor tiga fasa. | Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi gangguan secara otomatis dan memberikan perlindungan terhadap motor tiga fasa sehingga meningkatkan keamanan dan keandalan operasi motor.                     |
| Susilo, (2026)                  | <i>Design of Arduino-Based Overvoltage Type Time-lag Relay</i>                                                                         | Penelitian dilakukan dengan merancang relay berbasis Arduino yang dilengkapi fungsi penundaan waktu ( <i>time-lag</i> ) untuk mencegah penyambungan beban secara langsung setelah gangguan tegangan berakhir.                                        | Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan pemutusan dan penyambungan kembali secara otomatis dengan waktu tunda tertentu sehingga meningkatkan keamanan peralatan listrik dari lonjakan tegangan sesaat. |

## 2.2 Landasan Teori

Pada bagian ini dijelaskan teori-teori yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian. Landasan teori digunakan sebagai acuan untuk memahami konsep, prinsip kerja, serta teknologi yang berkaitan dengan sistem yang dikembangkan. Teori-teori tersebut diperoleh dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal ilmiah,

maupun penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Dengan adanya landasan teori, proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem dapat dilakukan secara sistematis serta memiliki dasar ilmiah yang kuat.

Landasan teori pada penelitian ini mencakup pembahasan mengenai mikrokontroler Arduino Uno, sensor tegangan AC ZMPT101B, relay, LCD 16×2 I2C, buzzer, power supply, serta konsep *overvoltage* dan *undervoltage* yang menjadi dasar dalam perancangan *Smart voltage protection*. Selain itu, dipaparkan pula teori pendukung lainnya yang berkaitan dengan sistem monitoring dan proteksi tegangan listrik sebagai referensi dalam pengembangan alat yang dirancang.

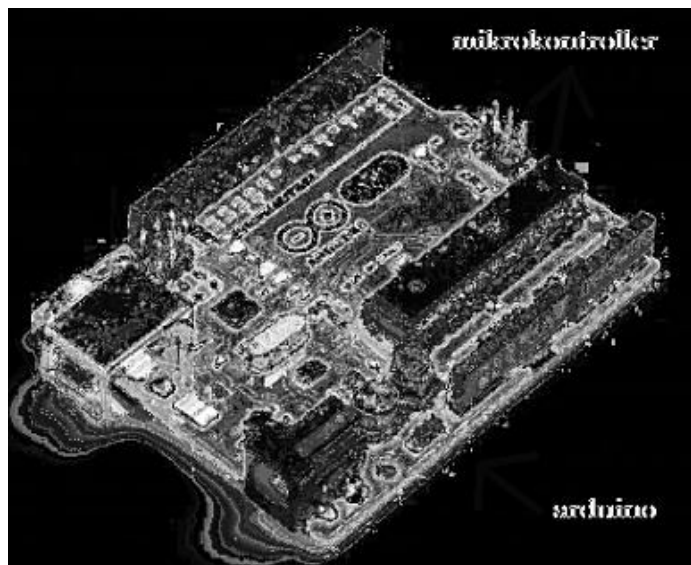
### 2.2.1 Mikrokontroler Arduino

Arduino merupakan platform elektronik berbasis open-source yang menggabungkan perangkat keras berupa papan mikrokontroler dengan perangkat lunak berupa *Integrated Development Environment* (IDE). Platform ini dikembangkan untuk mempermudah proses perancangan dan pengembangan sistem elektronik, sehingga dapat digunakan oleh berbagai kalangan, mulai dari pelajar, mahasiswa, peneliti, hingga praktisi di bidang teknologi. Arduino memungkinkan pengguna untuk menghubungkan mikrokontroler dengan berbagai perangkat eksternal, seperti sensor, aktuator, modul komunikasi, serta perangkat input dan output lainnya, sehingga mampu membangun sistem yang dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan kebutuhan.

Arduino IDE menyediakan lingkungan pemrograman yang sederhana dan mudah dipahami dengan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang telah disederhanakan melalui berbagai *library* bawaan. Hal tersebut membuat proses penulisan, pengujian, dan pengunggahan program ke papan mikrokontroler menjadi lebih cepat, mudah, dan efisien. Selain itu, Arduino memiliki komunitas pengguna yang sangat luas sehingga tersedia banyak dokumentasi, referensi, serta contoh program yang dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam proses pengembangan sistem.

Fleksibilitas yang dimiliki Arduino memungkinkan platform ini diterapkan pada berbagai bidang, seperti sistem otomasi industri, *Internet of Things* (IoT), robotika, sistem monitoring lingkungan, *smart home*, hingga perangkat kendali

berbasis sensor. Kemampuan Arduino dalam membaca data dari berbagai jenis sensor dan mengendalikan aktuator secara *real-time* menjadikannya salah satu platform yang banyak digunakan dalam pengembangan prototipe maupun implementasi sistem kendali otomatis. Oleh karena itu, Arduino menjadi pilihan yang tepat dalam penelitian dan pengembangan perangkat elektronik karena menawarkan kemudahan implementasi, biaya yang relatif terjangkau, serta kompatibilitas yang tinggi dengan berbagai modul pendukung (Badziaghin et al., 2012)..



Gambar 2.1 Mikrokontroler Arduino

Sumber : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTPG->

Dalam sistem pengaman tegangan listrik portable, Arduino berperan sebagai pusat pengendali utama yang mengatur seluruh proses kerja sistem. Mikrokontroler ini bertugas menerima data hasil pembacaan dari sensor tegangan AC, kemudian mengolah data tersebut sesuai dengan program yang telah ditanamkan. Proses pengolahan meliputi pembacaan nilai tegangan, perhitungan hasil pengukuran, serta membandingkan nilai tegangan yang terdeteksi dengan batas aman yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, Arduino akan menentukan kondisi tegangan apakah berada dalam keadaan normal, mengalami *overvoltage*, atau mengalami *undervoltage* (Suryono et al., 2018).

Setelah proses pengolahan selesai, Arduino akan mengirimkan perintah keluaran kepada komponen-komponen yang terhubung dalam sistem. Apabila

tegangan berada pada rentang normal, Arduino akan mempertahankan kondisi relay tetap aktif sehingga aliran listrik dapat mengalir menuju beban. Sebaliknya, apabila terdeteksi tegangan yang melebihi atau berada di bawah batas aman, Arduino akan memberikan perintah kepada relay untuk memutus aliran listrik secara otomatis sebagai bentuk proteksi terhadap perangkat elektronik yang terhubung. Selain itu, Arduino juga mengaktifkan buzzer sebagai alarm peringatan dan menampilkan informasi mengenai nilai tegangan serta status kondisi sistem pada modul LCD secara *real-time*.

Kemampuan Arduino dalam melakukan pembacaan data sensor, pemrosesan informasi, serta pengendalian berbagai perangkat keluaran secara cepat menjadikannya sangat sesuai untuk diterapkan pada sistem monitoring dan proteksi tegangan listrik. Dengan demikian, seluruh proses pemantauan, pengambilan keputusan, hingga pengendalian beban dapat dilakukan secara otomatis, akurat, dan efisien tanpa memerlukan intervensi pengguna secara langsung (Suryono et al., 2018).

### **2.2.2 Sensor Tegangan AC (*Alternating Current*)**

Sensor tegangan AC merupakan perangkat elektronika yang berfungsi untuk mendeteksi, mengukur, dan mentransformasikan besaran tegangan listrik arus bolak-balik menjadi sinyal analog yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Sensor ini berperan penting dalam sistem monitoring kelistrikan karena memungkinkan mikrokontroler memperoleh informasi mengenai kondisi tegangan secara *real-time* tanpa harus terhubung langsung dengan sumber tegangan berdaya tinggi. Dengan demikian, proses pemantauan dapat dilakukan secara lebih aman dan akurat.

Modul sensor tegangan AC yang umum digunakan bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan atau memanfaatkan transformator step-down berukuran kecil untuk menurunkan level tegangan listrik PLN yang semula mencapai ratusan *volt* menjadi level tegangan rendah yang aman bagi rangkaian elektronika digital. Setelah melalui proses penurunan tegangan, sinyal analog yang dihasilkan akan dibaca oleh *Analog-to-Digital Converter* (ADC) pada mikrokontroler untuk kemudian diolah menjadi nilai tegangan yang dapat ditampilkan maupun digunakan

sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem kendali (Boylestad & Nashelsky, 2013).

Dalam penerapannya, sensor tegangan AC banyak digunakan pada sistem monitoring konsumsi energi listrik, sistem proteksi peralatan elektronik, *smart home*, *Internet of Things* (IoT), serta berbagai aplikasi otomasi industri. Penggunaan sensor ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tegangan listrik secara terus-menerus sehingga dapat mendeteksi adanya penurunan tegangan, kenaikan tegangan, maupun gangguan pada jaringan listrik. Oleh karena itu, sensor tegangan AC menjadi salah satu komponen penting dalam pengembangan sistem monitoring dan pengendalian kelistrikan berbasis mikrokontroler karena mampu meningkatkan keamanan, efisiensi, dan keandalan sistem secara keseluruhan.



Gambar 2.2 Sensor Tegangan AC (Alternating Current)

Sumber : [https://www.tokopedia.com/find/sensor-tegangan-ac?utm\\_source](https://www.tokopedia.com/find/sensor-tegangan-ac?utm_source)

Keandalan sistem proteksi sangat bergantung pada akurasi pembacaan dari sensor ini. Sensor akan terus memantau fluktuasi nilai tegangan secara *real-time* dan mengirimkan data tersebut ke Arduino. Komponen ini memiliki tiga fungsi utama dalam pemantauan parameter kelistrikan:

- Deteksi Tegangan Normal: Memastikan nilai tegangan berada pada kisaran stabil standar domestik Indonesia ( $\pm 220 \text{ Volt}$ ) sehingga aliran listrik aman dialirkan ke beban.

- Deteksi Tegangan Lebih (*Over voltage*): Mengidentifikasi lonjakan tegangan di atas batas toleransi maksimum yang berpotensi memicu panas berlebih (*overheating*) pada perangkat elektronik.
- Deteksi Tegangan Rendah (*Under voltage*): Mengidentifikasi penurunan tegangan di bawah batas toleransi minimum yang dapat memaksa motor listrik atau kompresor bekerja lebih keras dan merusak komponen internal.

### 2.2.3 Relay

Relay merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai sakelar yang dioperasikan secara elektronik menggunakan arus listrik. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, yaitu dengan memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan kawat yang dialiri arus listrik untuk menggerakkan kontak sakelar. Ketika kumparan memperoleh arus, medan magnet yang terbentuk akan menarik kontak sehingga posisi sakelar berubah, baik dari kondisi terbuka (*Normally Open/NO*) menjadi tertutup maupun sebaliknya pada kontak *Normally Closed* (NC). Sebaliknya, ketika arus pada kumparan dihentikan, kontak akan kembali ke posisi semula akibat gaya pegas yang terdapat di dalam relay.

Relay memiliki peran penting sebagai penghubung sekaligus pemisah (isolasi elektrik) antara sirkuit kendali bertegangan rendah dengan sirkuit beban bertegangan tinggi. Pada sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino, relay memungkinkan sinyal keluaran dengan tegangan rendah digunakan untuk mengendalikan perangkat listrik yang bekerja pada tegangan AC, seperti lampu, kipas angin, pompa air, maupun peralatan elektronik lainnya yang menggunakan sumber listrik PLN. Dengan adanya isolasi elektrik tersebut, mikrokontroler terlindungi dari tegangan tinggi sehingga risiko kerusakan komponen dapat diminimalkan (Theraja & Theraja, 2005).

Dalam penerapannya, relay banyak digunakan pada sistem otomasi rumah (*smart home*), sistem kontrol industri, sistem keamanan, serta berbagai perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT). Relay memungkinkan proses pengendalian beban listrik dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi tertentu, misalnya berdasarkan pembacaan sensor, jadwal yang telah ditentukan, maupun perintah

yang dikirimkan melalui jaringan internet. Oleh karena itu, relay menjadi salah satu komponen yang sangat penting dalam pengembangan sistem kendali otomatis karena mampu menghubungkan perangkat digital dengan peralatan listrik berdaya besar secara aman, efisien, dan andal.



Gambar 2.3 Relay

Sumber : <https://Channel-Relay-Module-DC-5V-10A-Low-High-Trigger->

Dalam *Smart voltage protection System*, relay bertindak sebagai aktuator pemutus dan penyambung aliran daya listrik. Ketika Arduino mendeteksi kondisi *over voltage* atau *under voltage*, Arduino akan memutus arus pada *coil relay* sehingga kontak sakelar berpindah ke posisi terbuka (*Normally Open*), yang secara instan menghentikan aliran listrik menuju peralatan rumah tangga demi mencegah kerusakan komponen (Hughes, 2018).

#### 2.2.4 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan modul elektronik yang digunakan untuk menampilkan karakter, angka, maupun simbol sebagai media interaksi antara sistem dengan pengguna atau Human-Machine Interface (HMI). LCD bekerja dengan memanfaatkan kristal cair (liquid crystal) yang akan berubah susunan molekulnya ketika diberikan tegangan listrik sehingga membentuk karakter atau informasi yang dapat dilihat oleh pengguna. Dibandingkan dengan media tampilan lainnya, LCD memiliki konsumsi daya yang relatif rendah, ukuran yang ringkas, serta mampu menghasilkan tampilan yang jelas sehingga banyak digunakan pada berbagai perangkat elektronik maupun sistem berbasis mikrokontroler.

Modul LCD yang umum digunakan dalam proyek mikrokontroler adalah LCD 16×2 dan LCD 20×4. LCD 16×2 mampu menampilkan dua baris dengan

masing-masing enam belas karakter, sedangkan LCD 20×4 mampu menampilkan empat baris dengan masing-masing dua puluh karakter. Pada umumnya, modul LCD tersebut diintegrasikan dengan modul Inter-Integrated Circuit (I2C) untuk mengurangi penggunaan pin input/output pada papan Arduino. Dengan menggunakan antarmuka I2C, komunikasi antara Arduino dan LCD hanya memerlukan dua jalur komunikasi, yaitu Serial Data (SDA) dan Serial Clock (SCL), sehingga proses perancangan rangkaian menjadi lebih sederhana, penggunaan kabel menjadi lebih sedikit, serta masih menyisakan banyak pin Arduino yang dapat dimanfaatkan untuk menghubungkan komponen lain seperti sensor maupun aktuator (Mano, 2016).

Selain berfungsi sebagai media penampil informasi, LCD juga berperan dalam meningkatkan kemudahan pengguna dalam melakukan pemantauan terhadap kondisi sistem. Informasi yang ditampilkan pada LCD dapat diperbarui secara *real-time* sesuai dengan hasil pemrosesan data yang dilakukan oleh mikrokontroler. Oleh karena itu, LCD banyak diterapkan pada berbagai sistem monitoring, sistem kendali otomatis, *Internet of Things* (IoT), maupun perangkat elektronik lainnya yang memerlukan media tampilan untuk menyampaikan informasi kepada pengguna secara cepat dan mudah dipahami.



Gambar 2.4 *Liquid Crystal Display* (LCD)

Sumber : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/imagesLiquidCrystalDisplay-lcd>

Pada alat proteksi yang dirancang pada penelitian ini, modul LCD berperan sebagai media antarmuka antara sistem dengan pengguna. LCD digunakan untuk

menampilkan informasi mengenai kondisi sistem secara visual dan *real-time* sehingga pengguna dapat memantau kinerja alat tanpa memerlukan perangkat tambahan. Informasi yang ditampilkan pada LCD merupakan hasil pengolahan data oleh Arduino Uno berdasarkan pembacaan sensor tegangan AC. Dengan adanya tampilan tersebut, pengguna dapat mengetahui kondisi tegangan listrik yang sedang dipantau serta status kerja sistem secara langsung.

Adapun informasi yang ditampilkan pada modul LCD meliputi sebagai berikut.

- Nilai tegangan aktual dalam satuan *Volt* (V), yang menunjukkan hasil pengukuran tegangan listrik secara *real-time*.
- Status keamanan sistem, seperti "TEGANGAN NORMAL", "*OVER VOLTAGE*", atau "*UNDER VOLTAGE*", yang menunjukkan kondisi tegangan berdasarkan batas aman yang telah ditentukan.
- Status waktu tunggu ketika sistem sedang menjalankan proses delay *reconnect* sebelum menghubungkan kembali aliran listrik ke beban setelah kondisi tegangan kembali normal.

Dengan menampilkan informasi tersebut, LCD tidak hanya berfungsi sebagai media monitoring, tetapi juga membantu pengguna dalam memahami kondisi sistem secara cepat dan akurat. Selain itu, tampilan informasi secara *real-time* memudahkan proses pemantauan, evaluasi, maupun identifikasi apabila terjadi gangguan pada jaringan listrik, sehingga pengguna dapat mengetahui alasan sistem memutuskan atau menghubungkan kembali aliran listrik menuju beban elektronik.

### 2.2.5 Buzzer

Buzzer merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai perangkat keluaran untuk menghasilkan suara sebagai indikator atau alarm. Komponen ini bekerja dengan mengubah sinyal listrik menjadi getaran mekanis yang kemudian menghasilkan gelombang suara yang dapat didengar oleh manusia. Berdasarkan prinsip kerjanya, buzzer dibedakan menjadi dua jenis, yaitu buzzer piezoelektrik (piezo buzzer) yang memanfaatkan efek piezoelektrik dan buzzer elektromagnetik yang bekerja menggunakan kumparan serta medan magnet untuk

menggetarkan diafragma sehingga menghasilkan bunyi dengan frekuensi tertentu (Floyd, 2012).

Dalam sistem berbasis mikrokontroler, buzzer umumnya digunakan sebagai media pemberi notifikasi atau peringatan ketika terjadi suatu kondisi tertentu. Mikrokontroler akan mengirimkan sinyal listrik ke buzzer sehingga komponen tersebut menghasilkan bunyi sesuai dengan program yang telah dirancang. Intensitas maupun pola bunyi dapat diatur, misalnya berupa bunyi pendek, bunyi berulang, atau bunyi kontinu, sehingga memudahkan pengguna dalam mengenali kondisi yang sedang terjadi pada sistem.

Pada penelitian ini, buzzer digunakan sebagai indikator peringatan ketika sistem mendeteksi adanya kondisi tegangan listrik yang berada di luar batas aman, seperti *overvoltage* maupun *undervoltage*. Ketika kondisi tersebut terjadi, Arduino Uno akan mengaktifkan buzzer sehingga menghasilkan suara sebagai tanda bahwa sistem sedang mengalami gangguan tegangan. Sebaliknya, apabila tegangan kembali berada pada rentang normal, buzzer akan berhenti berbunyi. Dengan demikian, penggunaan buzzer tidak hanya berfungsi sebagai media informasi, tetapi juga meningkatkan keamanan sistem karena pengguna dapat segera mengetahui adanya gangguan tanpa harus terus-menerus mengamati tampilan pada LCD.



Gambar 2.5 Buzzer

Sumber : [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:BuzzerA\\_Q&s=10](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:BuzzerA_Q&s=10)

*Buzzer* diintegrasikan ke dalam sistem ini sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*). Berbeda dengan LCD yang membutuhkan pengguna untuk

melihat layar secara langsung, *buzzer* memberikan indikasi berbasis audio (*sound alert*). Ketika sensor mendeteksi fluktuasi tegangan yang berbahaya, Arduino akan mengaktifkan *buzzer* secara berkala atau terus-menerus agar pengguna di sekitar rumah dapat langsung menyadari adanya anomali pada kualitas jala-jala listrik rumah mereka.