

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Pengembangan

Pengembangan dapat dipahami sebagai usaha untuk meningkatkan kemampuan seseorang baik dalam hal teknis, teori, konsep, maupun moral sesuai dengan kebutuhan yang ada. Proses ini dilakukan melalui pembelajaran yang dirancang secara terencana dan sistematis, sehingga langkah-langkah yang perlu dilakukan dapat ditentukan secara jelas. Pengembangan bertujuan untuk menghasilkan peningkatan kualitas kompetensi serta efektivitas dalam menyelesaikan permasalahan yang muncul (Ritonga et al., 2022).

Berdasarkan teori tersebut, penelitian ini bermaksud mengembangkan sebuah *prototype* sebagai tahapan awal dalam menciptakan alat yang lebih canggih dan inovatif. Pengembangan *prototype* ini dilakukan untuk mengidentifikasi aspek-aspek yang perlu disempurnakan dan memungkinkan peneliti memperoleh gambaran awal mengenai fungsi dan kinerja alat, sehingga hasil akhir yang dihasilkan menjadi lebih optimal, efektif, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

2. Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan seperangkat peralatan listrik yang berfungsi untuk mengamankan sistem tenaga listrik, seperti

transformator, generator, saluran transmisi, serta peralatan listrik lainnya. Sistem ini bekerja dengan cara mengidentifikasi adanya gangguan atau kondisi tidak wajar dan kemudian memisahkan bagian jaringan yang mengalami gangguan tersebut. Kegagalan sistem proteksi dapat menyebabkan kerusakan serius pada sistem tenaga listrik (Dharmawan et al., 2020).

Sistem proteksi dapat dijelaskan sebagai mekanisme yang berfungsi untuk mendeteksi gangguan atau kondisi abnormal, melakukan pemutusan atau isolasi terhadap bagian jaringan yang terdampak, serta memberikan sinyal peringatan guna mencegah kerusakan yang lebih luas (Hasibuan et al., 2025). Untuk mendukung peningkatan tersebut, pengembangan *prototype* menjadi langkah penting dalam merancang sistem proteksi yang lebih adaptif dan responsif. Melalui pembuatan *prototype*, peneliti dapat menguji kinerja awal, menilai efektivitas fungsi proteksi, serta memastikan bahwa desain sistem seperti proteksi *overcurrent* dan *overvoltage* dapat bekerja secara optimal sebelum diterapkan pada skala yang lebih besar. Dengan demikian, pengembangan *prototype* berperan sebagai fondasi dalam menciptakan perangkat proteksi yang lebih canggih dan sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik modern.

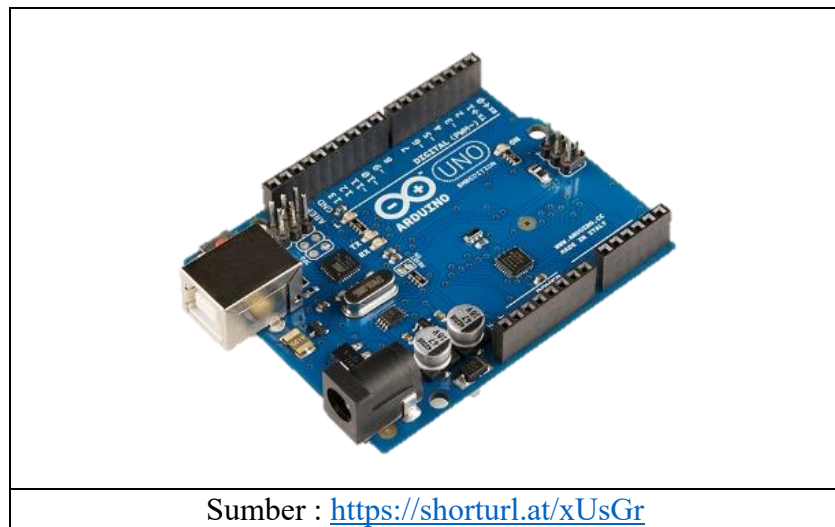
Dalam sistem proteksi ini memiliki beberapa komponen yang akan digunakan untuk kebutuhan membuat *prototype*. Adapun

komponen – komponen yang akan digunakan dalam sistem proteksi sebagai berikut :

a. Arduino Uno

Arduino merupakan *mikrokontroler* berbasis *open-source* yang dapat diprogram dengan relatif mudah serta memungkinkan pembaruan data secara berkelanjutan. Platform Arduino pertama kali diperkenalkan pada tahun 2005 dan dikembangkan untuk memudahkan kalangan profesional maupun pelajar dalam merancang perangkat yang mampu berinteraksi dengan lingkungan sekitar melalui penggunaan sensor. Arduino tersedia dalam berbagai tipe, namun pada penelitian ini digunakan Arduino tipe Uno (Ismailov, 2022).

Adapun *hardware* Arduino dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut :

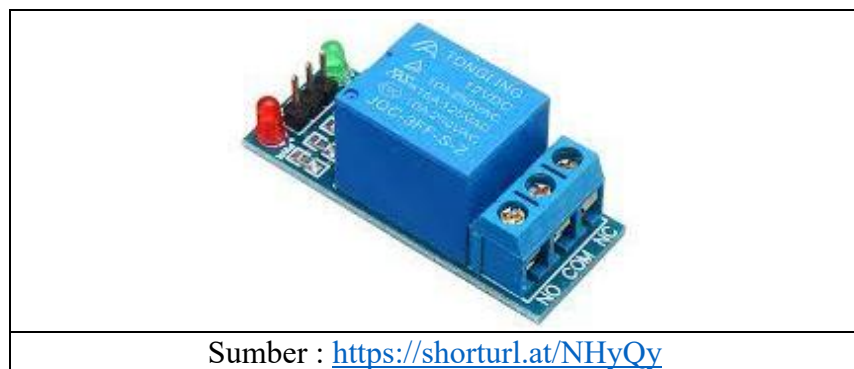


Sumber : <https://shorturl.at/xUsGr>

Gambar 2.1 Arduino Uno

b. Modul *relay*

Modul *relay* merupakan sebuah papan rangkaian elektronika yang tersusun atas satu atau lebih *relay*, yang berfungsi sebagai saklar elektronik dan dapat dikendalikan oleh sebuah *mikrokontroler*. Untuk mengontrol *relay* memanfaatkan pin digital pada sistem *mikrokontroler*, sehingga memungkinkan sistem kendali bekerja secara otomatis sesuai dengan program yang telah dirancang. Dengan adanya modul *relay*, sistem kendali dapat di implementasikan secara aman tanpa merusak komponen utama. Dalam penerapannya, *relay* memiliki dua prinsip kondisi kerja, yaitu *normally open* dan *normally close*, yang menunjukkan keadaan awal kontak *relay* saat tidak dialiri arus listrik (Rahardjo, 2022). Adapun hardware *relay module* 5v dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut :



Sumber : <https://shorturl.at/NHyQy>

Gambar 2.2 *Relay Module 5V*

c. *Buzzer*

Buzzer adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk mengonversi sinyal listrik menjadi getaran suara.

Prinsip kerjanya didasarkan pada aliran arus listrik yang masuk ke dalam komponen, kemudian diubah menjadi energi bunyi yang dapat didengar oleh manusia. Berdasarkan karakteristik kerjanya, *buzzer* terdapat dua jenis, yaitu *passive buzzer* dan *active buzzer*. *Passive buzzer* adalah jenis *buzzer* yang tidak menghasilkan suara secara mandiri, sehingga memerlukan sinyal atau rangkaian tambahan untuk dapat menghasilkan bunyi, serupa dengan prinsip kerja speaker. Sebaliknya, *active buzzer* merupakan *buzzer* yang telah memiliki osilator internal, sehingga mampu menghasilkan suara secara otomatis ketika dialiri arus listrik tanpa memerlukan rangkaian tambahan (Hermawan, 2020).

Adapun *hardware buzzer* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



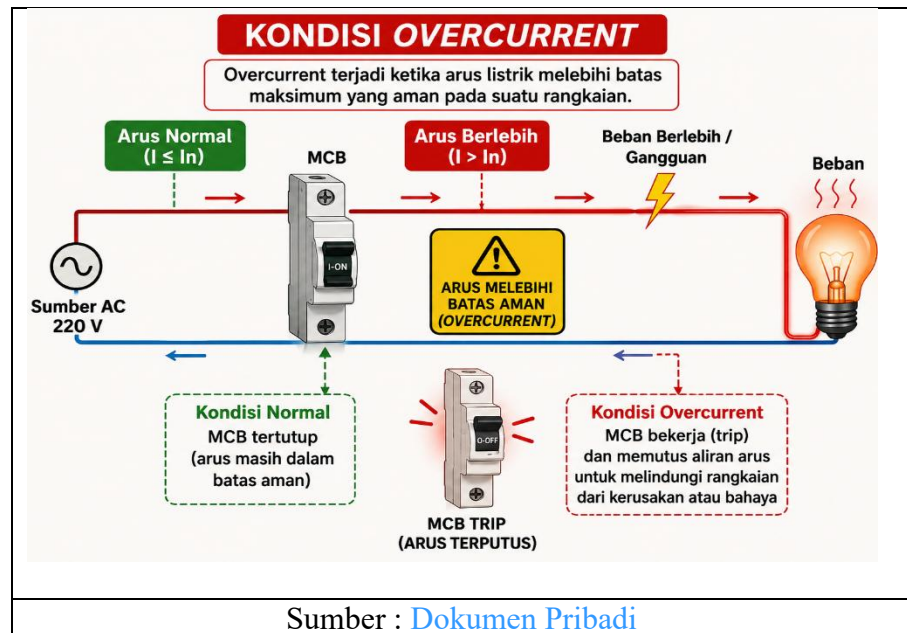
Sumber : <https://shorturl.at/KRq8V>

Gambar 2.3 *Buzzer*

3. *Overcurrent*

Overcurrent atau yang lebih dikenal dengan arus lebih, merupakan kondisi ketika arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian melebihi kapasitas nominal yang telah ditentukan untuk

penghantar dan peralatan listrik terkait. Kondisi ini biasanya terjadi akibat kelebihan beban (*overload*) maupun gangguan hubung singkat (*short circuit*). Arus yang melebihi kapasitas dapat menimbulkan panas berlebih, merusak isolasi kabel dan peralatan, bahkan berpotensi menyebabkan kebakaran jika tidak mendapatkan respons cepat (Lodha et al., 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan *prototype* yang mampu mendeteksi serta memonitor kondisi *overcurrent* secara efektif, sehingga risiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat diminimalkan.



Gambar 2.4 Kondisi *Overcurrent*

Berdasarkan gambar di atas, *overcurrent* terjadi ketika arus listrik melebihi batas aman ($I > I_n$) akibat beban berlebih atau gangguan. Pada kondisi ini, *Miniature Circuit Breaker* (MCB) akan bekerja secara otomatis untuk memutus aliran listrik guna melindungi rangkaian dari kerusakan.

Pada sistem proteksi *overcurrent* dan *overvoltage* ini menggunakan sebuah sensor untuk mengukur arus listrik yaitu sensor PZEM-004T. PZEM-004T merupakan modul elektronika yang digunakan untuk melakukan pengukuran berbagai parameter kelistrikan, meliputi tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, serta faktor daya (*power factor*). Kelengkapan fungsi pengukuran tersebut menjadikan modul PZEM-004T sangat cocok dimanfaatkan untuk segi proyek maupun kegiatan eksperimen, khususnya sebagai alat pemantauan dan pengukuran daya listrik pada jaringan listrik, baik di lingkungan rumah tangga maupun bangunan gedung. Modul ini diproduksi oleh perusahaan Peacefair dan tersedia dalam beberapa varian kapasitas arus, yaitu model 10 A dan 100 A (Ibrahim & Yulianti, 2022).

Adapun *hardware* sensor PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut :

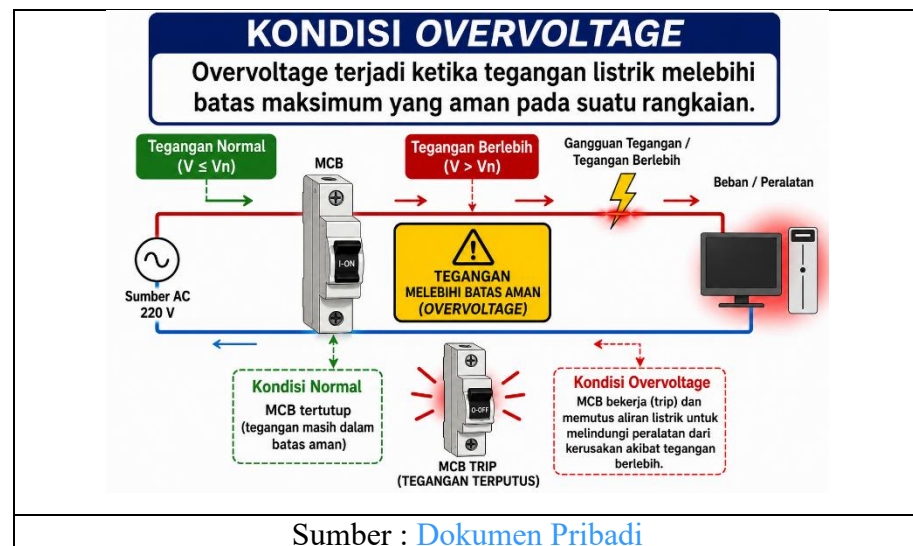


Gambar 2.5 Sensor PZEM-004T

4. *Overvoltage*

Overvoltage merupakan kondisi ketika tegangan listrik pada suatu rangkaian atau bagian rangkaian melebihi batas aman atau nilai

yang telah ditetapkan sesuai spesifikasi peralatan. Keadaan ini dapat terjadi secara sementara maupun berlangsung terus-menerus jika sistem mengalami kenaikan tegangan yang tidak terkendali. *Overvoltage* berpotensi menimbulkan kerusakan pada peralatan listrik, memperpendek umur isolasi, dan meningkatkan risiko kegagalan operasional (Lodha et al., 2024). Berdasarkan teori tersebut, pemantauan dan penanganan terhadap kondisi *overvoltage* menjadi penting dalam menjaga keamanan dan keandalan sistem tenaga listrik.



Sumber : [Dokumen Pribadi](#)
Gambar 2.6 Kondisi *Overvoltage*

Berdasarkan Gambar di atas, *overvoltage* terjadi jika tegangan listrik melebihi batas aman yang ditentukan. Kondisi ini dapat merusak peralatan listrik, sehingga sistem proteksi akan bekerja untuk memutuskan aliran listrik guna mencegah kerusakan. Untuk mengukur tegangan pada aliran listrik, menggunakan sensor yang sama seperti mengukur arus listrik pada *overcurrent* yaitu menggunakan sensor PZEM-004T. PZEM-004T merupakan modul elektronika yang digunakan untuk

melakukan pengukuran berbagai parameter kelistrikan, meliputi tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, serta faktor daya (*power factor*). Kelengkapan fungsi pengukuran tersebut menjadikan modul PZEM-004T sangat cocok dimanfaatkan dalam proyek maupun kegiatan eksperimen, khususnya sebagai alat pemantauan dan pengukuran daya listrik pada jaringan listrik, baik di lingkungan rumah tangga maupun bangunan gedung. Modul ini diproduksi oleh perusahaan Peacefair dan tersedia dalam beberapa varian kapasitas arus, yaitu model 10 ampere dan 100 ampere (Ibrahim & Yulianti, 2022).

Adapun *hardware* sensor PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut :



Sumber : <https://shorturl.at/RKHrL>

Gambar 2.7 Sensor PZEM-004T

5. *Human Machine Interface (HMI)*

Human Machine Interface (HMI) merupakan sebuah sistem yang menghubungkan pengguna dengan teknologi atau sistem. Melalui *Human Machine Interface (HMI)*, pengguna dapat melakukan kontrol

serta memantau kondisi mesin, baik secara manual maupun melalui tampilan visual berbasis komputer yang menyajikan informasi secara *real-time* (Haryanto & Hidayat, 2016). Melalui *Human Machine Interface* (HMI), pengguna dapat melakukan kontrol serta memantau kondisi mesin atau sistem secara langsung, sehingga memudahkan identifikasi gangguan atau kondisi abnormal pada sistem. Dalam konteks pengembangan *prototype* sistem proteksi, *Human Machine Interface* (HMI) berperan penting untuk menampilkan informasi terkait kondisi *overcurrent* dan *overvoltage* secara *real-time*, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dan pengambilan tindakan dengan lebih cepat dan tepat.

Sebagai perangkat utama lainnya dalam sistem ini, *Liquid Crystal Display* (LCD) *Thin Film Transistor* (TFT) 2.4 inch diintegrasikan dengan *mikrokontroler* Arduino Uno dan dimanfaatkan sebagai media tampilan pada alat *Image Viewer*. *Liquid Crystal Display* (LCD) *Thin Film Transistor* (TFT) berfungsi untuk menampilkan gambar atau foto yang diproses oleh sistem, sehingga pengguna dapat melihat hasil visual secara langsung. Penggunaan *Liquid Crystal Display* (LCD) *Thin Film Transistor* (TFT) dapat memberikan kemudahan dalam penyajian informasi visual, meningkatkan interaktivitas, serta mendukung kinerja sistem secara keseluruhan (Hilman, 2021).

Hardware dari *Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT) 2.4 inch on shield* dengan arduino uno dapat dilihat dari gambar berikut :



Sumber : <https://shorturl.at/gl2GG>

Gambar 2.8 *Human Machine Interface (HMI)* yang berbasis *Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT) 2.4 inch on shield* dengan arduino uno.

Pengertian di atas membantu peneliti untuk menarik kesimpulan bahwa sistem proteksi *overcurrent* dan *overvoltage* tidak hanya berfungsi untuk mendeteksi arus dan tegangan berlebih, tetapi juga memerlukan *interface* yang mampu menyediakan informasi secara jelas dan mudah dipahami. Oleh karena itu, pengembangan *interface Human Machine Interface (HMI)* berbasis *Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT)* dilakukan untuk menampilkan kondisi arus dan tegangan secara *real-time* serta memberikan informasi status proteksi secara visual. Dengan adanya *Machine Interface (HMI)* berbasis *Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT)*, pengguna dapat melakukan monitoring dan pengaturan batas proteksi secara lebih

interaktif dan fleksibel, sehingga potensi bahaya akibat arus dan tegangan berlebih dapat dicegah secara lebih cepat dan efektif.

6. ***Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT) 2.4 inch***

Thin Film Transistor (TFT) yaitu salah satu jenis layar *Liquid Crystal Display (LCD)* yang umum digunakan pada perangkat elektronik seperti smartphone dibandingkan dengan tipe layar *Liquid Crystal Display (LCD)* lainnya. *Thin Film Transistor (TFT)* juga dapat didefinisikan sebagai teknologi *Liquid Crystal Display (LCD)* berbentuk datar, pada setiap piksel dikendalikan oleh satu hingga empat transistor. Teknologi ini memungkinkan pengaturan piksel secara individual yang mampu menghasilkan tampilan gambar dengan kualitas yang lebih baik dan kaya warna, serta pada beberapa jenisnya dilengkapi dengan permukaan yang sensitif terhadap sentuhan (Lukman Aditya1, 2020). Adapun *hardware Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT) 2.4* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut :



Sumber : <https://shorturl.at/P87kn>

Gambar 2.9 *Liquid Crystal Display (LCD) Thin Film Transistor (TFT) 2.4 inch.*

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Tabel 2.1 Penelitian yang relevan

No	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1.	(Nugroho Aries Faisal, 2025).	Implementasi Arduino Uno dalam <i>Prototype</i> Proteksi <i>Overcurrent</i> dan <i>Overvoltage</i> dengan monitoring LCD.	Menghasilkan sebuah <i>prototype</i> sistem proteksi dengan monitoring lcd 2x16 berbasis Arduino Uno. Alat ini dikategorikan layak dengan menguji validasi para ahli dan respon masyarakat, dalam validasi alat 5 para ahli jumlah keseluruhan didapat presentase 85,3% dan validasi 5 respon Masyarakat didapat presentase 88%.	Penelitian ini menggunakan LCD TFT 2.4 inch sebagai HMI untuk monitoring yang fleksibel dan dapat mengatur batas proteksi sesuai dengan kebutuhan pengguna.
2.	(Gunawan & Sahar, 2024).	Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Overcurrent dan Over/Undervoltage terhadap Motor 3 fasa Berbasis Arduino.	Menghasilkan sistem proteksi untuk motor 3 fasa dengan keakuratan alat dalam membaca tegangan dengan baik yaitu rata - rata 98.73%. Dan keakuratan dalam membaca arus dengan rata - rata 91.4%, alat ini disimpulkan bekerja dengan baik dan mencapai tujuan dari perancangan.	Pada penelitian ini bertujuan pada sistem listrik 1 fasa dan penambahan lcd ftf sebagai hmi dan menggunakan sensor PZEM-04T untuk mengukur arus dan tegangan.
3.	(Azmy & Gunawan, 2021).	Sistem Proteksi Main Panel Distribution dengan <i>Over Voltage Relay</i> dan <i>Over Current Relay</i> . Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem proteksi berbasis <i>mikrokontroler</i> Arduino Uno dengan menambahkan hmi yang lebih interaktif.	Menghasilkan sistem yang mampu melakukan proses perekaman data yang disimpan dalam modul <i>sd card</i> dari <i>mikrokontroler</i> Arduino Mega. Dengan cara kerja alat sesuai settingan arus pada <i>over current relay</i> apabila melebihi nilai akan secara otomatis mengaktifkan sistem <i>relay</i> untuk memutus arus.	Penelitian ini berfokus pada pengembangan HMI berbasis LCD TFT 2.4 inch dan terintegrasi sensor PZEM-004T untuk membaca arus dan tegangan dikontrol menggunakan Arduino Uno.

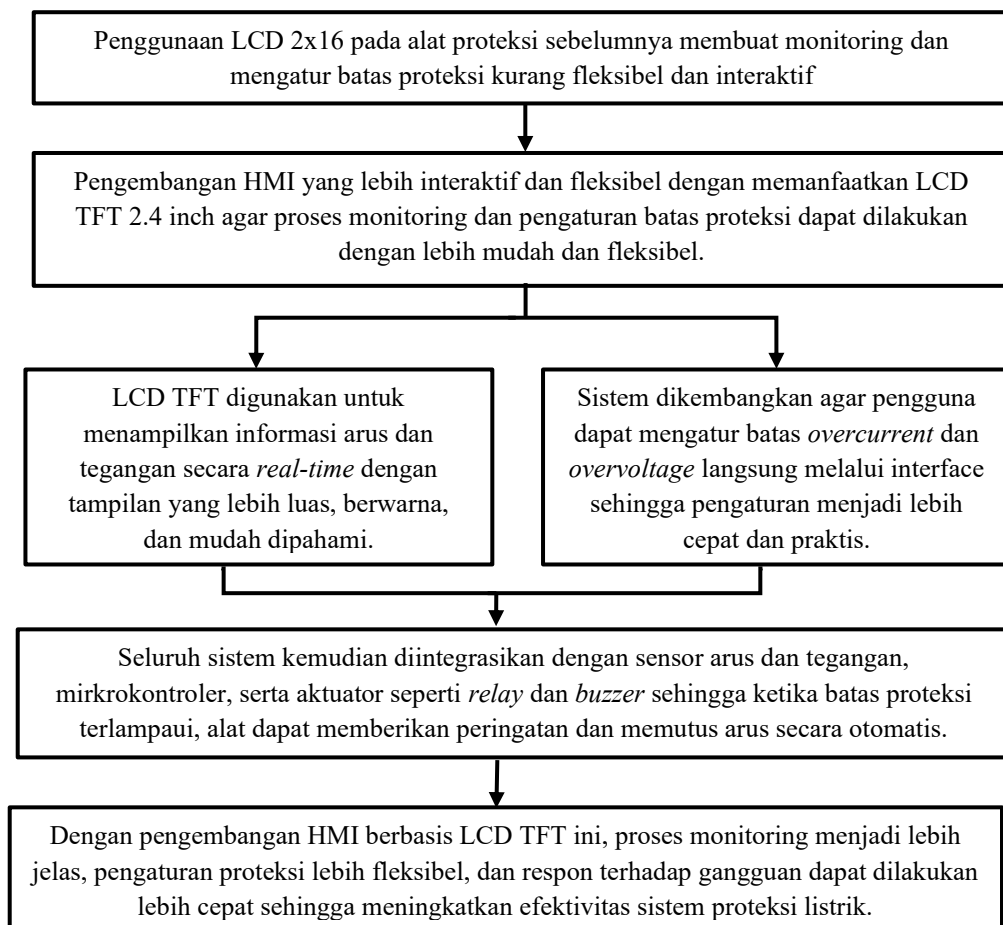
No	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
4.	(Nazhrullah & Aria Kharisma, 2023).	<i>Relay</i> Proteksi Arus Lebih berbasis Mikrokontroller Arduino.	Menghasilkan sebuah sistem yang mampu memutus arus listrik secara otomatis untuk arus DC menggunakan sensor ACS 715 5A dan Arduino Nano dengan persentase <i>error</i> rendah yaitu 0.969%	Pada penelitian ini bertujuan untuk rangkaian AC menggunakan sensor PZEM-004T untuk membaca arus dan tegangan dikontrol menggunakan Arduino Uno.

C. Kerangka Berpikir

Proses atau cara berpikir peneliti untuk mendapatkan dasar ide atau gagasan dalam sebuah penelitian sering disebut kerangka berpikir. Kerangka berpikir ini muncul dari permasalahan yang ada di latar belakang. Peneliti melakukan observasi atau meninjau pada sistem proteksi *overcurrent* dan *overvoltage* yang telah dikembangkan sebelumnya, yang masih menggunakan *interface* sederhana berupa *Liquid Crystal Display* (LCD) 2x16. Keterbatasan tampilan tersebut menyebabkan proses monitoring kondisi arus dan tegangan kurang optimal. Oleh karena itu, peneliti berfokus pada pengembangan sistem proteksi *overcurrent* dan *overvoltage* dengan meningkatkan *interface* menjadi *Human Machine Interface* (HMI) berbasis *Liquid Crystal Display* (LCD) *Thin Film Transistor* (TFT) 2.4 inch. Dengan pengembangan *prototype* ini, data arus dan tegangan dapat ditampilkan secara *real-time*, disertai informasi status proteksi yang mudah dipahami oleh pengguna. *Human Machine Interface* (HMI) berbasis *Liquid Crystal Display* (LCD) *Thin Film Transistor* (TFT)

ini diintegrasikan dengan sensor arus dan tegangan serta *mikrokontroler* sebagai pusat pengolahan data dan pengendali sistem proteksi. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke *mikrokontroler* dan ditampilkan pada *Human Machine Interface* (HMI), sementara pengguna dapat melakukan pengaturan batas proteksi melalui menu yang ada di dalam *Human Machine Interface* (HMI). Apabila nilai arus atau tegangan melebihi batas yang telah ditentukan, sistem akan memberikan peringatan serta menjalankan fungsi proteksi secara otomatis.

Kerangka berpikir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.10 Kerangka Berfikir