

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada tugas akhir ini membahas tentang penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang digunakan sebagai acuan dan penambahan referensi dalam pengembangan metode yang ingin dirancang dalam tugas akhir yang akan dibuat.

Penelitian terkait dengan sistem proteksi motor induksi tiga fasa sebelumnya dilakukan oleh Chandra Purlanto Juwono, Joko, Bambang Suprianto, dan Endryansyah dengan judul “ Simulasi Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap Gangguan Menggunakan Programmable Logic Kontroler (PLC) OMRON CPH ”^[15]. Pada penelitian ini penulis menggunakan komponen proteksi motor listrik yaitu *Phase Failure Relay*(PFR) sebagai pengaman *Overvoltage* dan *Undervoltage*, *Overcurrent* relay sebagai pengaman arus berlebih, dan menggunakan *temperature Controller* (TC) dimana jika suhu kerja motor mencapai 100°C maka motor akan stop. Simulasi gangguan dilakukan menggunakan software CX – Designer dimana *Undervoltage* dengan rentang tegangan 341 V sampai 370 V, dan *Overvoltage* dengan rentang 381 V sampai 400 V. Untuk *overcurrent* jika arus melebihi 4 A maka motor akan berhenti.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Sophia Latifah Aulia, Toto Tohir, dan Kartono yaitu Simulasi Aplikasi PLC Sebagai Sistem Proteksi Arus Dan Temperatur Lebih Pada Motor Induksi Tiga Fasa^[16]. Pada penelitian ini membahas mengenai penyebab kerusakan motor induksi tiga fasa dimana salah satu penyebab kerusakannya yaitu kelebihan beban ketika bekerja sehingga mengakibatkan arus starting yang masuk melebihi arus beban penuh yang tertera pada spesifikasi motor tersebut. Sehingga ketika motor mengalami arus lebih mengakibatkan panas dan dalam jangka waktu tertentu motor mengalami kerusakan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut penulis menemukan solusi yaitu dengan menggunakan komponen proteksi yaitu OCR (*Overcurrent Relay*) yang berfungsi untuk melindungi motor dari gangguan arus beban lebih, dan menggunakan TC (*Temperature Controller*) sebagai regulator temperature dimana ketika motor mengalami suhu berlebih maka TC ini akan memutuskan rangkaian listrik sehingga motor berhenti bekerja.

Penelitian terkait dengan sistem proteksi motor induksi tiga fasa juga dilakukan oleh Utami Pingkan Anggraini, dan Didik Aribowodengan judul “Motor Protection Circuit Breaker (MPCB) Sebagai Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Phase Pada Mesin Wide Belt Sander SR-RP 1300 PT. Sejin Lestari Furniture”^[17]. Mesin Wide Belt Sander SR-RP 1300 merupakan mesin yang berfungsi untuk mengampas bilah kayu yang terdiri dari lima buah motor induksi tiga fasa. Mesin ini sering mengalami gangguan berupa kelebihan bebankerja mengakibatkan kerusakan pada salah satu motornya akibat dari arus yang masuk melebihi spesifikasi yang tertera pada motor induksi tersebut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut penulis membuat sistem pengaman motor induksi berupa sebuah panel yang diletakan berdekatan dengan Mesin Wide Belt Sander SR-RP 1300. Pada panel tersebut terdapat komponen proteksi yaitu MPCB (*Motor Protection Circuit Breaker*) yang berfungsi untuk memutus rangkaian yang menuju kemotor ketika terjadi beban berlebih, ditandai dengan arus yang mengalir melebihi arus yang telah diseting pada MPCB maka akan langsung trip.

Pada penelitian dengan judul “Prototipe Proteksi Motor 3 Fasa Menggunakan Rele PFR NJYB315” yang dilakukan oleh Syaprudin, Yonda Nugraha, dan Aripin Triyanto^[18]. Komponen utama sistem proteksi untuk motor induksi 3 fasa berupa rele pada komponen yang bernama *Phase Failure Relay*. Tujuan pada penelitian ini adalah membuat *trainer* yang terdiri dari MCB 3 Fasa, Kontaktor, Push Button, Rele PFR dan beban berupa motor induksi. Cara kerja sistem ini adalah ketika sumber tegangan mengalami gangguan *Undervoltage*, *Overvoltage*, dan antar fasa tertukar maupun salah satu fasa hilang tidak terdapat sumber tegangan maka rele PFR ini akan memutus rangkaian yang menuju kemotor induksi 3 fasa sehingga motor tidak sampai mengalami kerusakan yang tidak diinginkan.

Selanjutnya penelitian mengenai sistem proteksi motor induksi tiga fasa juga dilakukan oleh Darmawansyah, M. Khairul Amri Rosa, dan Ika Novia Anggraini dengan judul “Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Berbagai Gangguan Menggunakan Mikro *Controller*”^[19]. Pada penelitian ini membuat sistem proteksi terhadap gangguan *Overvoltage*, *overheat*, *unbalance voltage*, dan *overcurrent*. Komponen yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebuah mikro *Controller* Arduino mega, *magnetic contactor*, sensor arus, sensor tegangan, sensor suhu, dan relay chanel. Uji coba sistem proteksi dengan

menghubungkan alat dengan motor induksi tiga fasa sebagai bebanya. Selanjutnya pada tiap jenis gangguan dilakukan set point tegangan, arus, dan suhu. Sehingga saat tegangan, arus, dan suhu kerja motor induksi melebihi set point maka *Magnetic Contactor* akan memutus rangkaian yang menuju kemotor. Sehingga motor tidak mengalami kerusakan karena Ketika terjadi gangguan rangkaian kemotor langsung terputus.

Dengan membaca penelitian yang sudah pernah dibuat dan latar belakang masalah yang ada, maka penulis membuat sebuah “Rancang Bangun Panel Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Dari Gangguan Kelistrikan Menggunakan PLC.” Kelebihan alat ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah menggunakan dua buah mikroController yaitu (Progamable Logic Controller) PLC sebagai pengendali motor induksi tiga fasa dan menggunakan Arduino Mega sebagai penampil jenis gangguan kelistrikan yang sedang terjadi pada layer LCD. Pada alat ini juga dilengkapi dengan inverter sebagai pengatur frekuensi dan tegangan yang bekerja pada motor induksi tiga fasa. Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu terdapat tambahan fitur proteksi berupa proteksi *Lost Phase* pada alat yang akan dirancang kali ini. Dengan harapan semakin banyak fitur proteksi sehingga menghasilkan sistem proteksi yang layak digunakan baik pada dunia industri maupun pada saat praktikum motor listrik.

Tabel 2.1 Perbandingan Tinjauan Pustaka

Sumber	Controller	Sistem
Chandra Purlanto Juwono, Joko, Bambang Suprianto, dan Endryansyah, 2022	(PLC) OMRON CPIH	Pada penelitian ini penulis menggunakan komponen proteksi motor listrik yaitu <i>Phase Failure Relay</i> (PFR) sebagai pengaman <i>Overvoltage</i> dan <i>Undervoltage</i> , <i>Overcurrent</i> relay sebagai pengaman arus berlebih, dan menggunakan <i>temperature Controller</i> (TC) dimana jika suhu kerja motor mencapai 100°C maka motor akan stop.

<p>oleh Sophia Latifah Aulia, Toto Tohir, dan Kartono W, 2021</p>	<p>PLC Omron</p>	<p>Untuk mengatasi permasalahan <i>overcurrent</i> dan <i>over heat</i> penulis menemukan solusi dengan menggunakan komponen proteksi yaitu OCR (<i>Overcurrent Relay</i>) untuk melindungi motor dari gangguan arus beban lebih, dan menggunakan TC (<i>Temperature Controller</i>) sebagai regulator temperature dimana ketika motor mengalami suhu berlebih maka TC akan memutus aliran listrik yang menuju ke motor.</p>
<p>Utami Pingkan Anggraini, dan Didik Aribowo, 2022</p>	<p>MPCB</p>	<p>Untuk mengatasi permasalahan kelebihan beban yang mengakibatkan arus yang mengalir melebihi spesifikasi yang dimiliki motor induksi tersebut maka penulis membuat sistem pengamanan motor induksi berupa sebuah panel yang diletakkan berdekatan dengan Mesin Wide Belt Sander SR-RP 1300. Pada panel tersebut terdapat komponen proteksi yaitu MPCB (<i>Motor Protection Circuit Breaker</i>) yang berfungsi untuk memutus rangkaian yang menuju ke motor ketika terjadi beban berlebih, ditandai dengan arus yang mengalir melebihi arus yang telah diseting pada MPCB maka akan langsung trip.</p>

<p>Syaprudin, Yonda Nugraha, dan Aripin Triyanto, 2023</p>	<p>PFR</p>	<p>Cara kerja sistem ini adalah ketika sumber tegangan mengalami gangguan <i>Undervoltage</i>, <i>Overvoltage</i>, dan antar fasa tertukar maupun salah satu fasa hilang tidak terdapat sumber tegangan maka rele PFR ini akan memutus rangkaian yang menuju kemotor induksi 3 fasa sehingga motor tidak sampai mengalami kerusakan yang tidak diinginkan.</p>
<p>Darmawansyah, M.Khairul Amri Rosa, dan Ika Novia Anggraini, 2020</p>	<p>Arduino Mega</p>	<p>Pada penelitian ini penulis membuat sistem proteksi terhadap gangguan <i>Overvoltage</i>, <i>overheat</i>, <i>unbalance voltage</i>, dan <i>overcurrent</i>. Komponen yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebuah mikro <i>Controller</i> Arduino mega, <i>magnetic contactor</i>, sensor arus, sensor tegangan, sensor suhu, dan relay chanel. Uji coba sistem proteksi dengan menghubungkan alat dengan motor induksi tiga fasa sebagai bebanya lalu melakukan seting set point tegangan, arus, dan temperature yang bekerja sesuai dengan gangguan yang akan diuji sehingga Ketika motor mengalami keadaan melebihi set point yang diseting maka <i>Magnetic Contactor</i> akan memutus rangkaian sehingga motor berhenti beroperasi.</p>

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Tegangan

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial atau beda tegangan antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik^[20]. Ini adalah ukuran energi listrik per satuan muatan yang melewati titik tersebut. Satuan tegangan dalam sistem internasional adalah volt (V) dan dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$V = I \times R \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

R = Hambaran Listrik (Ohm)

2.2.2 Daya Listrik

Daya *listrik* adalah jumlah energi listrik yang dikonsumsi atau dihasilkan oleh suatu perangkat atau sistem dalam satuan waktu tertentu^[21]. Daya listrik diukur dalam satuan watt (W) dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

P = Daya Listrik (Watt)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

2.2.3 Arus Listrik

Arus listrik merupakan aliran dari muatan listrik dari suatu titik ke titik yang lain^[22]. Arus listrik terjadi karena adanya media penghantar antara dua titik yang mempunyai beda potensial. Semakin besar beda potensial dua titik tersebut maka semakin besar pula arus listrik yang mengalir. Dari aliran arus listrik inilah diperoleh tenaga listrik yang disebut dengan daya. Satuan kuat listrik dinyatakan dalam Ampere atau disingkat dengan huruf A besar.

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

R = Hambaran Listrik (Ohm)

2.2.4 Fasa

Fasa listrik adalah salah satu jenis kabel aliran listrik bertegangan^[23]. Kabel fasa memiliki ciri khas ketika diukur menggunakan testpen, maka kumparan tersebut akan menyala. Berdasarkan Peraturan umum Instalasi Listrik 2011, kabel fasa berwarna hitam untuk L1, coklat untuk L2, dan abu-abu untuk L3. L1, L2, dan L3 adalah 3 fasa yang disediakan PLN untuk keperluan Industri 3 fasa, sedangkan untuk keperluan rumah 1 fasa, PLN akan mengambil salah satu fasa tersebut untuk menuju ke KWH meter. Listrik 1 phase adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan 2 kawat penghantar yang kesatu sebagai kawat phase (L) dan yang kedua sebagai kawat neutral (N). Umumnya listrik 1 phase bertegangan 220-240 volt yang digunakan banyak orang. Listrik 3 phase adalah jaringan listrik yang menggunakan tiga kawat Phase (R,S,T) dan satu kawat neutral (N) atau sering dibilang kawat ground. Menurut istilah, listrik 3 phase terdiri dari 3 kabel bertegangan listrik dan 1 kabel neutral. Umumnya listrik 3 phase bertegangan 380 volt yang banyak digunakan Industri atau pabrik.

2.2.5 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa adalah jenis motor listrik yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri^[24]. Motor ini menggunakan tiga kumparan stator yang terpisah secara fisik yang diberi daya oleh tiga fasa arus listrik bolak-balik yang terpisah. Motor induksi tiga fasa digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti kompresor, pompa air, penggerak konveyor, penggerak mesin penggiling, dan banyak lagi. Keandalan, efisiensi, dan daya tahan motor ini menjadikannya pilihan yang populer dalam industri. Motor induksi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa 0.4 KW

Motor induksi yang digunakan pada penelitian ini yaitu motor induksi tiga fasa. Spesifikasi motor induksi tiga fasayang digunakan ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

Daya (KW)	Daya Kuda (HP)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Kutup (Pole)
0.37	0.5	220 / 380	50	4

2.2.6 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah jenis sakelar listrik yang digunakan untuk melindungi sirkuit listrik dari kerusakan akibat arus lebih atau hubung singkat^[25]. MCB sangat umum digunakan dalam instalasi listrik rumah tangga, komersial, dan industri. Berikut adalah beberapa karakteristik penting dari MCB:

1. Fungsi perlindungan: MCB dirancang untuk mendeteksi arus lebih atau hubung singkat dalam sirkuit listrik. Ketika terjadi kelebihan arus atau hubung singkat, MCB akan memutuskan aliran listrik secara otomatis untuk melindungi sirkuit dan peralatan dari kerusakan lebih lanjut.
2. Kapasitas pemutusan: MCB memiliki kapasitas pemutusan yang ditentukan, yaitu kemampuannya untuk memutuskan arus listrik yang melebihi batas yang ditentukan. Kapasitas ini biasanya dinyatakan dalam ampere (A) dan tergantung pada ukuran dan tipe MCB. Misalnya, MCB dengan kapasitas pemutusan 10A dapat menangani arus hingga 10 ampere sebelum memutuskan aliran listrik.
3. Karakteristik pemutusan: MCB dapat memiliki karakteristik pemutusan yang berbeda, yaitu karakteristik arus lebih dan karakteristik hubung singkat. Karakteristik arus lebih dirancang untuk melindungi sirkuit dari arus yang berlebihan dalam waktu yang lama, sedangkan karakteristik hubung singkat berfungsi melindungi sirkuit dari arus yang sangat tinggi dalam waktu yang singkat akibat hubung singkat.
4. Penyetingan arus nominal: MCB dilengkapi dengan penyetelan arus nominal yang memungkinkan pengaturan batas arus yang diinginkan. Hal ini memungkinkan MCB untuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik sirkuit yang dilindunginya.

5. Rekek (trip) manual: MCB sering dilengkapi dengan fungsi rekek manual yang memungkinkan pengguna untuk memutuskan aliran listrik secara manual. Fungsi ini berguna saat perlu mematikan daya secara cepat dalam situasi darurat.

MCB adalah komponen penting dalam sistem perlindungan sirkuit listrik. Mereka membantu mencegah kerusakan yang disebabkan oleh arus lebih atau hubung singkat, melindungi peralatan dan pengguna dari risiko kebakaran atau cedera listrik. MCB 1 fasa yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 MCB 1 Fasa

Spesifikasi MCB 1 fasa yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi MCB 1 Fasa

Ampere	Volt	Watt
2	220	440

2.2.7 MPCB (*Motor Protection Circuit Breaker*)

Motor Protection Circuit Breaker (MPCB) adalah jenis sakelar pelindung yang khusus dirancang untuk melindungi motor listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kondisi yang tidak normal, seperti arus lebih, kelebihan beban, kelebihan panas, atau gangguan lainnya^[26]. Berikut adalah beberapa karakteristik penting dari MPCB:

1. Fungsi perlindungan: MPCB memiliki fungsi utama melindungi motor dari kerusakan akibat kondisi yang tidak normal. Ini termasuk melindungi motor dari arus lebih, kelebihan beban yang berkepanjangan, gangguan jangka pendek, kelebihan panas, dan gangguan lain yang dapat merusak motor.

2. Pengukuran arus: MPCB dilengkapi dengan sensor arus yang dapat mendeteksi arus yang mengalir melalui motor. Sensor ini memungkinkan MPCB untuk mengawasi dan membatasi arus yang mengalir melalui motor, serta memberikan perlindungan jika arus melebihi batas yang ditentukan.
3. Pengaturan perlindungan: MPCB biasanya dilengkapi dengan pengaturan untuk mengatur batas perlindungan yang diinginkan. Ini dapat berupa pengaturan arus lebih, pengaturan waktu penundaan, atau pengaturan suhu yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan perlindungan sesuai dengan kebutuhan spesifik motor.
4. Fungsi pemutusan otomatis: Ketika MPCB mendeteksi kondisi yang tidak normal, seperti arus lebih atau kelebihan panas, sakelar otomatis akan memutuskan daya ke motor secara otomatis. Ini membantu mencegah kerusakan lebih lanjut pada motor dan melindungi peralatan yang terhubung ke motor.
5. Indikator status: MPCB sering dilengkapi dengan indikator status yang menunjukkan apakah sakelar dalam kondisi terhubung atau terputus. Ini memudahkan pemantauan dan pemeliharaan motor.

MPCB digunakan secara luas dalam aplikasi industri dan komersial di mana motor listrik digunakan. Mereka memberikan perlindungan yang penting terhadap kerusakan motor yang dapat disebabkan oleh kondisi yang tidak normal. Dengan pengaturan dan fitur perlindungan yang fleksibel, MPCB membantu menjaga kinerja dan umur panjang motor serta mengurangi risiko kegagalan dan downtime yang tidak diinginkan. MPCB yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Motor Protection Circuit Breaker*

Spesifikasi MPCB yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi MPCB

Spesifikasi	Keterangan
MPCB Schneider Telemecanique	GV2-RS 06
Motor Power	0.37 kW at 400/415 V AC 50/60 Hz 0.55 kW at 400/415 V AC 50/60 Hz 0.37 kW at 500 V AC 50/60 Hz 0.55 kW at 500 V AC 50/60 Hz 0.75 kW at 500 V AC 50/60 Hz 0.75 kW at 690 V AC 50/60 Hz 1.1 kW at 690 V AC 50/60 Hz
Thermal protection adjustment range	1 ... 1,6 Ampere
Rated Operational Voltage	690 V AC 50/60 Hz
Rated Insulation Voltage	690 V AC 50/60 Hz
Mechanical Durability	100.000 Cycles
Electrical Durability	100.000 Cycles for AC-3 at 415 V AC

2.2.8 PFR (*Phase Failure Relay*)

Phase Failure Relay(PFR) adalah jenis relay yang digunakan untuk mendeteksi kegagalan satu atau lebih fase pada sistem tenaga listrik tiga fasa^[27]. PFR berfungsi untuk memberikan perlindungan terhadap kerusakan yang dapat terjadi pada peralatan dan motor listrik akibat ketidakseimbangan atau kehilangan satu atau lebih fase. Berikut adalah beberapa karakteristik penting dari *Phase Failure Relay*(PFR):

1. Deteksi kegagalan fase: PFR dirancang untuk mendeteksi kehilangan atau ketidakseimbangan fase pada sistem tenaga listrik tiga fasa. Ketika salah satu atau lebih fase hilang atau tidak seimbang, PFR akan mengaktifkan perlindungan dan mengambil tindakan yang sesuai.
2. Pengaturan sensitivitas: PFR dapat disesuaikan dengan sensitivitas yang diinginkan. Ini memungkinkan pengguna untuk mengatur ambang batas ketidakseimbangan atau kehilangan fase yang akan dianggap sebagai kegagalan.

3. Proteksi motor: PFR sering digunakan untuk melindungi motor listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kehilangan fase atau ketidakseimbangan. Dalam kasus deteksi kegagalan fase, PFR akan memutuskan daya ke motor, mencegahnya dari kerusakan lebih lanjut.
4. Reset otomatis: Setelah deteksi kegagalan fase, PFR biasanya memiliki fitur reset otomatis setelah fase yang hilang atau tidak seimbang terkembalikan ke kondisi normal. Ini memungkinkan PFR untuk kembali ke operasi normal secara otomatis setelah keadaan yang tidak normal telah diselesaikan.
5. Indikasi status: Beberapa PFR dilengkapi dengan indikator status yang menunjukkan apakah fase sedang dalam kondisi normal atau tidak normal. Ini memudahkan pemantauan dan pemeliharaan sistem.

PFR digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan perlindungan terhadap kegagalan fase pada sistem tenaga listrik tiga fasa. Contoh penggunaan PFR termasuk motor listrik tiga fasa, pompa, kompresor, dan peralatan industri lainnya. Dengan mendeteksi dan mengambil tindakan cepat terhadap kehilangan fase atau ketidakseimbangan, PFR membantu melindungi peralatan dan mencegah kerusakan yang lebih serius. PFR yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Phase Failure Relay

Spesifikasi PFR yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi PFR

Spesifikasi	Keterangan
<i>Overvoltage</i>	380 – 460 VAC (1 – 5 Sec)
<i>Undervoltage</i>	300 – 380 VAC (0.5 – 2 Sec)
Rated Voltage	380 VAC
Time Delay Range	3 Sec
Contact	1 Switch
<i>Lost Phase</i>	< 0.1 Sec
Phase Sequence	< 0.1 Sec

2.2.9 *Magnetic Contactor*

Magnetic Contactor adalah suatu perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengontrol aliran daya listrik ke beban yang lebih besar, seperti motor listrik^[28]. Kontaktor magnetik memiliki dua komponen utama, yaitu coil elektromagnetik dan kontak pemutus daya. Berikut adalah beberapa karakteristik penting dari *Magnetic Contactor*:

1. Coil elektromagnetik: *Magnetic Contactor* memiliki coil elektromagnetik yang digunakan untuk mengendalikan operasi sakelar. Ketika tegangan diberikan ke coil, elektromagnet terbentuk dan menarik bagian mekanis sakelar untuk membuka atau menutup kontak-kontaknya.
2. Kontak pemutus daya: *Magnetic Contactor* memiliki kontak-kontak yang dirancang untuk menangani arus listrik yang lebih besar. Kontak-kontak ini dapat membuka atau menutup jalur daya menuju beban. Biasanya, kontaktor memiliki beberapa set kontak, seperti kontak utama (main contacts) dan kontak bantu (auxiliary contacts), untuk mengontrol fungsi dan perlindungan tambahan.
3. Kapasitas daya: *Magnetic Contactor* dirancang untuk menangani daya yang lebih besar. Mereka biasanya digunakan dalam sistem tenaga tiga fasa dan mampu menangani arus yang tinggi, tergantung pada kapasitas dan ukuran kontaktor yang dipilih.
4. Fungsi pengamanan: *Magnetic Contactor* sering dilengkapi dengan fungsi perlindungan, seperti *overload* dan kurang tegangan. Mereka dapat dilengkapi dengan relay termal atau elektronik yang

mendeteksi arus lebih atau gangguan lainnya dan memutuskan aliran daya untuk melindungi beban dan mencegah kerusakan.

5. Kontrol jarak jauh: *Magnetic Contactor* juga dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui penggunaan perangkat kontrol, seperti tombol tekan, sakelar otomatis, atau sistem pengendali logika.

Magnetic Contactor umumnya digunakan dalam sistem kontrol motor dan aplikasi industri di mana aliran daya yang lebih besar diperlukan. Mereka memberikan keandalan dan kemudahan pengendalian untuk mengoperasikan motor listrik dengan aman dan efisien. Kontrol magnetik ini juga memungkinkan penggunaan tombol dan sakelar kontrol tambahan untuk mengaktifkan atau mematikan motor dari lokasi yang berbeda atau melalui otomatisasi sistem. *Magnetic Contactor* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Magnetic Contactor*

Spesifikasi *Magnetic Contactor* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Spesifikasi *Magnetic Contactor*

Tipe	Daya (kW)	Auxiliary Contact	Main Contact	Coil (V AC)
Schneider LC1D09	4	1 NO / NC	3 NO	220

2.2.10 *Variable Transformer*

Variable Transformer, juga dikenal sebagai Variac (merk dagang yang umum), adalah perangkat transformator yang digunakan untuk mengatur tegangan output secara variabel dalam rentang

tertentu^[29]. Variac adalah jenis transformator auto-transformer yang memungkinkan pengguna untuk mengubah tegangan input AC menjadi tegangan output yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Berikut adalah beberapa karakteristik penting dari Variac:

1. Tegangan Output Variabel: Variac memungkinkan pengguna untuk mengatur tegangan output yang diinginkan dalam rentang tertentu. Dengan memutar pengatur pada Variac, tegangan keluaran dapat ditingkatkan atau dikurangi sesuai kebutuhan aplikasi.
2. Desain Auto-transformer: Variac menggunakan desain auto-transformer, yang berarti ada satu gulungan tunggal yang berfungsi sebagai gulungan primer dan sekunder. Hal ini memungkinkan pengaturan tegangan output dengan memvariasikan titik pengambilan tegangan pada gulungan yang sama.
3. Perubahan Tegangan Secara Seri: Variac mengatur tegangan output dengan memvariasikan perbandingan tegangan antara gulungan primer dan gulungan sekunder. Dengan menggeser titik pengambilan tegangan pada gulungan, perbandingan tegangan berubah, sehingga mengubah tegangan output.
4. Aplikasi yang Luas: Variac umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengujian peralatan elektronik, pengujian transformator, pengujian motor, pengaturan lampu penerangan, pengujian dan pengujian regulator tegangan, dan sebagainya. Mereka juga digunakan dalam industri rekaman dan pertunjukan untuk mengendalikan tegangan input ke peralatan audio dan pencahayaan.
5. Pengendalian yang Mudah: Variac dirancang dengan pengatur tegangan yang mudah diputar, memungkinkan pengguna untuk dengan cepat mengatur dan mengontrol tegangan output sesuai kebutuhan.

Variac sangat berguna dalam situasi di mana perlu mengatur tegangan dengan presisi atau menguji peralatan pada berbagai tingkat tegangan. Mereka memberikan fleksibilitas dalam mengatur dan mengendalikan tegangan output yang dibutuhkan, sehingga sering digunakan dalam lingkungan laboratorium, industri, dan pertunjukan. *Variable transformer* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Variable Transformator

Spesifikasi *Variable Transformator* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi Variable Transformator

Merk	<i>Input Voltage</i> (Volt)	<i>Output Voltage</i> (Volt)	<i>Frequency</i> (HZ)
TDGC2	Single Phase: 220	Single Phase: 0-250	50 / 60
	Three Phase: 380	Three Phase: 0-430	

2.2.11 Relay

Relay adalah perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengendalikan sirkuit listrik lainnya. Ini bekerja dengan prinsip elektromagnetisme, di mana aliran arus melalui kumparan elektromagnetik menghasilkan medan magnet yang mempengaruhi posisi atau kontak sakelar relay^[30]. Secara umum, relay terdiri dari beberapa komponen utama:

1. Kumparan elektromagnetik (coil): Ini adalah bagian yang membentuk medan magnet saat arus mengalir melaluinya. Kumparan biasanya terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang diisolasi.
2. Kontak sakelar (switch contacts): Kontak sakelar relay digerakkan oleh medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan. Kontak sakelar biasanya terdiri dari beberapa pasang kontak yang terhubung secara elektrik saat relay dalam keadaan tertentu. Ada dua jenis kontak sakelar utama: kontak normally open (NO) yang terbuka ketika relay tidak aktif, dan kontak normally closed (NC) yang tertutup ketika relay tidak aktif.

3. Pegas: Pegas digunakan untuk memberikan gaya yang diperlukan untuk mengembalikan kontak sakelar ke posisi awal ketika medan magnet dihilangkan.
4. Kemasan: Relay sering kali dilengkapi dengan kemasan yang melindungi komponen internalnya dan memiliki terminal untuk menghubungkan kabel atau kawat dari sirkuit eksternal.

Selain itu, relay juga dapat memiliki fitur tambahan, seperti penundaan waktu (time delay), kontak bantu (auxiliary contacts), atau indikator status. Relay yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Relay AC dan Relay DC

Spesifikasi relay yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Spesifikasi Relay

Type	Coil Voltage (Volt)	Contact Current Max (Ampere)
EWIG LY2N	220 VAC	10
EWIG MY2N	24 VDC	10

2.2.12 Arduino UNO

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat open-source hardware yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan^[31]. Software Arduino merupakan software open source sehingga dapat di download secara gratis. Software digunakan untuk membuat dan memasukan program ke dalam arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan

bantuan pustaka-pustaka (libraries) Arduino. Untuk jenis mikrokontrol yang digunakan atmega2560. Arduino UNO yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Arduino UNO

Arduino UNO yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Spesifikasi Arduino ATmega 2560

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	Atmega 2560
Tegangan Input	7 - 12 V
Tegangan Input (limit)	
Pin Digital I/ O	54 (Of which 15 rovide PWM output)
Pin Analog Input	16
Arus DC per Pin I/O	20 mA
Arus DC pPin 3.3 V	50 mA
Memori Flash	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	4 KB
LED_BUILTIN	13
USB Host Chip	MAX3421E

2.2.13 PLC (*Programmable Logic Controller*)

Programmable Logic Controller (PLC) adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam otomasi industri untuk mengendalikan dan mengotomatiskan proses produksi atau sistem lainnya^[32]. PLC dirancang untuk menerima masukan digital dan analog dari sensor, memproses informasi, dan menghasilkan keluaran yang mengontrol aksi di peralatan dan mesin. Berikut adalah beberapa fitur dan fungsi umum yang dimiliki oleh PLC:

1. **Input dan Output (I/O):** PLC memiliki berbagai jenis input dan output, seperti input digital (on/off), input analog (nilai variabel), output digital (on/off), dan output analog (nilai variabel). Input menerima sinyal dari sensor dan peralatan lainnya, sedangkan output mengendalikan aktuator dan peralatan lainnya.
2. **Pengolahan Logika:** PLC memiliki pemroses yang kuat yang memungkinkan pemrograman logika untuk mengendalikan perilaku sistem. Pemrograman logika ini dapat mencakup logika bool, fungsi matematika, pemrosesan waktu, dan operasi logika lainnya untuk menghasilkan keluaran yang sesuai berdasarkan status input.
3. **Memori dan Program:** PLC memiliki memori yang dapat menyimpan program pengendalian yang telah diprogram oleh pengguna. Program ini berisi instruksi-instruksi logika yang mengatur perilaku PLC. Memori juga digunakan untuk menyimpan data variabel, konfigurasi, dan log pengoperasian.
4. **Komunikasi:** PLC dapat berkomunikasi dengan perangkat eksternal seperti komputer, panel operator, HMI (Human Machine Interface), dan peralatan lainnya melalui berbagai protokol komunikasi seperti Ethernet, serial, Modbus, Profibus, dan lain-lain. Ini memungkinkan pengawasan, pemrograman, dan pengaturan sistem melalui perangkat lain.
5. **Fungsi Keamanan:** PLC sering dilengkapi dengan fitur keamanan seperti pengawasan kesalahan, tindakan pemulihan, dan tindakan darurat untuk menjaga operasi yang aman dan mencegah kerusakan sistem.
6. **Fleksibilitas dan Scalability:** PLC dapat diperluas dan dikonfigurasi sesuai kebutuhan aplikasi. Mereka mendukung modul ekspansi I/O yang dapat ditambahkan untuk meningkatkan jumlah input dan output yang diperlukan.

PLC digunakan dalam berbagai industri seperti manufaktur, otomasi industri, sistem pengendalian proses, sistem pembangkit listrik, sistem transportasi, dan banyak lagi. Mereka memberikan kemampuan yang tinggi dalam mengendalikan, memantau, dan mengotomatiskan berbagai aspek dalam proses produksi atau sistem, membantu meningkatkan efisiensi, keandalan, dan fleksibilitas operasi. Berikut merupakan foto dari PLC yang digunakan dalam penelitian ini dari sumber dokumen pribadi. PLC yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 PLC Omron CPM2A

Spesifikasi PLC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Spesifikasi PLC

Spesifikasi	Keterangan
Supply Voltage	100 – 240 V AC 50/60 Hz
Operating Voltage Range	85 – 264 V AC
Power Consumption	60 VA Max
Input Output Capacity	20 I/O (80 Max With Expansion)
Programming Language	Ladder Diagram
Support Software	CX – Programmer
Serial Communication	RS – 232C Adapter (Peripheral) RS – 232C Cable (RS – 232C)
Output	Relay

2.2.14 Resistor Beban

Resistor beban adalah sebuah resistor yang digunakan sebagai beban dalam suatu rangkaian listrik^[33]. Resistor ini dirancang untuk mengkonsumsi daya listrik dan merubahnya menjadi energi termal. Resistansi resistor beban dapat bervariasi tergantung pada kebutuhan

sistem. Resistor beban yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe Arcol 100 Ohm 300 Watt. Resistor beban Arcol dengan nilai resistansi 100 ohm dan daya 300 watt adalah komponen yang dirancang untuk menanggapi daya tinggi. Berikut merupakan foto dari resistor beban arcol dari sumber dokumen pribadi. Resistor beban yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 2.10.



Gambar 2.10 Resistor Beban Arcol

Spesifikasi dari resistor beban yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Spesifikasi Resistor Beban

Merk	Voltage Rating (V)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
Arcol HS 100R	220	1.73	300

2.2.15 *Push Button* Iluminasi

Push Button Iluminasi adalah sebuah komponen listrik yang berfungsi sebagai input untuk mengontrol, mengatur, dan mengeksekusi program sesuai dengan logika yang dibuat^[34]. *Push Button* Iluminasi adalah gabungan dari komponen *Push Button* dan juga *pilot lamp* (lampu indikator) yang menjadi satu fisik dengan *Push Button* tersebut. *Push Button* juga merupakan sebuah sakelar yang memiliki fungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik. *Push Button* ditandai dengan warna untuk menandakan berdasarkan fungsinya,

warna hijau digunakan untuk memulai (Start) dan warna merah untuk menghentikan (Stop)

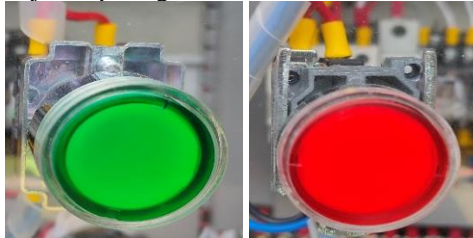
Push Button dibagi menjadi dua jenis untuk membedakan berdasarkan penggunaannya, adapun jenis *Push Button* yang umum digunakan sebagai berikut :

1. *Push Button* tipe *Normally Open* (NO)

Bekerja mengalirkan arus listrik apabila *Push Button* ditekan dan akan memutus arus listrik apabila *Push Button* di lepas atau tidak ditekan. *Push Button* ini umum digunakan untuk tombol start atau memulai eksekusi program dan rangkaian listrik.

2. *Push Button* tipe *Normally Close* (NC)

Bekerja memutus arus listrik apabila *Push Button* ditekan dan akan menghubungkan arus listrik apabila *Push Button* di lepas atau tidak ditekan. *Push Button* ini umum digunakan untuk tombol stop atau menghentikan eksekusi program dan rangkaian listrik. Berikut merupakan foto *Push Button* Iluminasi yang digunakan dari sumber dokumen pribadi. *Push Button* Iluminasi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Push Button* Iluminasi

Spesifikasi *push button* iluminasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.12.

Tabel 2.12 Spesifikasi *Push Button* iluminasi

Tipe	Contact	Warna	Tegangan Led	Ukuran
XB2 – BW3361	1 NO	Hijau	220 VAC	22 mm
XB – BW3462	1 NC	Merah	220 VAC	22 mm

2.2.16 Emergency Stop

Emergency Stop adalah komponen listrik yang difungsikan sebagai penghubung dan pemutus yang sama seperti Push Button^[35]. *Emergency Stop* umumnya digunakan sebagai pemutus yang ada pada jalur rangkaian listrik dan menjadi tombol prioritas jika terjadinya gangguan pada suatu rangkaian listrik. *Emergency Stop* akan menghentikan dan mereset sebuah sistem apabila tombol *Emergency Stop* ditekan. Berikut merupakan foto *Emergency Stop* yang digunakan dari sumber dokumen pribadi. *Emergency Stop* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Emergency Stop*

Spesifikasi *Emergency Stop* yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.13 Spesifikasi *Emergency Stop*

Tipe	Tegangan	Auxiliary Contact	Model	Ukuran
EA38-11ZS	220 VAC	1 NO / 1 NC	Push Lock Twist to Release	22 milimeter

2.2.17 Buzzer

Buzzer adalah komponen kelistrikan atau komponen elektronika yang memiliki output berupa bunyi atau suara^[36]. Buzzer bekerja dengan mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Prinsip utama buzzer hampir sama seperti *Loud Speaker* yang terdiri dari sebuah kumparan yang berada di *diafragma*. Kumparan tersebut apabila di aliri oleh arus listrik akan menjadi elektromagnet dan kumparan akan tertarik keluar atau kedalam tergantung pada polaritas dan dari arah arus magnetnya. Buzzer digunakan pada rangkaian listrik yang difungsikan sebagai sinyal atau indikator berupa keluaran suara untuk memberitahu kepada manusia saat sedang terjadi masalah atau alarm pada sebuah sistem.

Berikut merupakan foto Buzzer yang digunakan dari sumber dokumen pribadi. Buzzer yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Buzzer

Spesifikasi Buzzer yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2.14.

Tabel 2.14 Spesifikasi Buzzer

Tipe	Tegangan	Led dan Bunyi	Ukuran
AD16-22SM	220 VAC	Berkedip	22 milimeter

2.2.18 *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu teknologi layer digital yang dapat menghasilkan citra pada sebuah permukaan yang rata (flat) dengan memberi sinar pada kristal cair dan filter berwarna, yang mempunyai struktur molekul polar, diapit antara dua elektroda yang transparan^[37]. LCD juga merupakan sebuah alat yang mempunyai fungsi untuk menampilkan suatu ukuran besaran maupun angka, sehingga dapat dilihat melalui tampilan layar kristalnya. Berikut merupakan foto LCD yang digunakan dari sumber dokumen pribadi. LCD yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 LCD

Spesifikasi dari *Liquid Crystal Display* (LCD) yang digunakan yaitu tertera pada tabel 2.15.

Tabel 2.15 Spesifikasi LCD

Spesifikasi	Keterangan
V _{ss}	Ground
V _{cc}	+5 Volt
V _{ee}	Pengaturan Kontras
RS	RS = 0 untuk memilih register command RS= 1 untuk memilih register data
R/W	R/W = 0 untuk melakukan write R/W = 1 untuk melakukan read
E	Enable
DB 0 sampai DB 7	Data bus 8-bit

2.2.19 Volt dan Ampere Meter

Volt ampere meter dapat digunakan sebagai meteran untuk mengukur tegangan dan arus pada rangkaian listrik. Volt ampere meter dapat digunakan untuk pengukuran tegangan dan arus bolak balik. Volt ampere meter dipasang secara hubungan paralel pada titik pengukuran yang akan di ukur untuk mengetahui nilai dari tegangan tersebut serta tersedia kabel untuk menghubungkan trafo arus untuk mengetahui nilai arus yang akan dibaca oleh ampere meter. Volt meter dan ampere tersedia dalam bentuk digital yang menggunakan LCD sebagai tampilannya dan ada yang analog yang di tandai dengan jarum penunjuk nilai pada komponen volt meter dan ampere meter. Berikut merupakan foto Volt dan Ampere Meter yang digunakan dari sumber dokumen pribadi.



Gambar 2.15 Volt dan Ampere Meter

Berikut adalah spesifikasi dari volt ampere meter yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada tabel 2.16.

Tabel 2.16 Spesifikasi Volt dan Ampere Meter

Tipe	Tegangan	Arus	Ukuran
E16-22VA	50 s/d 500 Volt AC	0 s/d 100 Ampere	22 milimeter

2.2.20 Kabel NYAF 1 X 25 mm

Kabel NYAF adalah salah satu jenis kabel listrik yang umum digunakan dalam pekerjaan panel maker. Kabel ini memiliki karakteristik khusus yaitu desain yang fleksibel, memungkinkannya untuk aplikasikan pada medan diberbagai sudut dan tikungan dalam proses *Wiring* yang kompleks. Kabel NYAF yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Kabel NYAF 1 X 0.75 mm

Spesifikasi dari kabel yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan berdasarkan SNI 0225:2011/Amd 1:2013 pada tabel 2.17.

Tabel 2.17 Spesifikasi Kabel NYAF 1 X 0.75 mm

Luas Penampang (mm ²)	KHA (A)
0.75	7
1.5	15