

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

(Wahyu Ramadhan et al., 2024) Panel Automatic Transfer Switch (ATS) dan Automatic Mains Failure (AMF) berhasil dikembangkan untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik di sektor industri Indonesia. Ditambah dengan menggunakan PFR membuat panel ini sudah memiliki proteksi saat kehilangan satu fasa. Panel ini dirancang dengan mempertimbangkan spesifikasi teknis yang mencakup pemilihan komponen yang tepat, desain rangkaian yang efisien, serta simulasi dan evaluasi untuk memastikan kinerja optimal. Sistem ini mampu secara otomatis mengalihkan sumber listrik dari PLN ke genset saat terjadi gangguan, serta menyediakan kontrol manual untuk pemeliharaan. Dengan demikian, panel ATS-AMF diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam manajemen sumber energi listrik, meningkatkan keamanan, dan meminimalkan gangguan pasokan listrik.

(Sains et al., 2018) (Sains et al., 2018) Sistem monitoring portabel yang dirancang untuk memantau arus dan tegangan listrik menggunakan Raspberry Pi dan sensor YHDC SCT-013-000. Sistem ini menyediakan antarmuka berbasis web yang memungkinkan konfigurasi dan pemantauan penggunaan listrik secara efisien. Pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik, dengan tingkat kesalahan pengukuran yang rendah. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, termasuk integrasi dengan sistem informasi untuk analisis dan pelaporan penggunaan listrik yang lebih mendetail, yang dapat berkontribusi pada penghematan energi. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengkonfigurasi perangkat, memantau nilai sensor, dan mengakses informasi jaringan. Antarmuka ini mencakup beberapa halaman, termasuk halaman login, sistem, jaringan, dan sensor, serta fungsi untuk reboot, shutdown, dan reset.

(Addawami & Yhuto Wibisono Putra, 2022) Sistem kontrol star-delta pada motor tiga fasa efektif dalam mengurangi arus awal dan meningkatkan efisiensi operasional motor. Dengan menggunakan konfigurasi star untuk memulai motor dan beralih ke konfigurasi delta untuk operasi penuh, sistem ini tidak hanya

melindungi komponen dari kerusakan akibat arus tinggi tetapi juga meningkatkan kinerja motor secara keseluruhan. Penelitian ini menunjukkan pentingnya perancangan sistem kontrol yang baik dalam aplikasi industri untuk mencapai efisiensi dan keandalan yang lebih tinggi.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Kekurangan	Kelebihan
1	(Wahyu Ramadhan et al., 2024b)	Analisis Rancangan Panel <i>Automatic Transfer Switch and Automatic Main Failure</i>	1. Investasi awal untuk perancangan dan pembuatan panel ATS-AMF mungkin lebih tinggi dibandingkan dengan sistem manual, meskipun dapat menghemat biaya operasional dalam jangka panjang 2. Meskipun sistem otomatis mengurangi kebutuhan akan operator, ketergantungan pada teknologi dapat menjadi masalah jika terjadi kerusakan pada sistem otomatis. 3. Desain box panel harus disesuaikan dengan ukuran komponen, yang dapat menjadi tantangan dalam ruang yang terbatas.	1. Panel dirancang untuk mengontrol genset secara otomatis, yang mengurangi ketergantungan pada operator manusia dan meminimalkan risiko human error dalam perpindahan sumber energi listrik . 2. Panel dilengkapi dengan opsi kendali manual, yang memungkinkan operator untuk melakukan perawatan dan pengujian dengan lebih mudah. 3. Panel dilengkapi dengan berbagai pengaman, seperti pengaman arus lebih dan hubung singkat, yang meningkatkan keselamatan operasional.
2	(Sains et al., 2018)	Perancanganan Hardware Sistem Monitoring Portabel Unutk Monitoring Arus Dan Tegangan Listrik Menggunakan Raspberry Pi	1. Terdapat masalah sensitivitas pada sensor arus, terutama dalam pembacaan arus yang sangat kecil, yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran. 2. Sistem ini bergantung pada koneksi jaringan wireless untuk berfungsi, yang dapat menjadi kendala jika jaringan tidak stabil atau tidak tersedia.	1. Menggunakan Raspberry Pi sebagai otak dari sistem memungkinkan fleksibilitas dan kemampuan pemrograman yang tinggi, serta dukungan komunitas yang luas. 2. Sistem ini dilengkapi dengan antarmuka konfigurasi berbasis web yang memudahkan pengguna untuk mengakses dan mengontrol perangkat dari jarak jauh.

No.	Peneliti	Judul	Kekurangan	Kelebihan
3	(Addawami & Putra, 2022)	Sistem Kerja Rangkaian Kontrol <i>Star Delta</i> Pada Motor 3 Fasa	1. Motor induksi cenderung memiliki faktor daya yang rendah pada beban ringan, yang dapat mengurangi efisiensi keseluruhan sistem. 2. Motor induksi memiliki keterbatasan dalam pengaturan kecepatan, yang dapat menjadi masalah dalam aplikasi yang memerlukan kontrol kecepatan yang presisi.	1. Motor induksi, terutama yang menggunakan sistem <i>star-delta</i>, dapat mengurangi arus start yang tinggi, sehingga lebih efisien dalam penggunaan energi saat memulai. 2. Sistem kontrol <i>star-delta</i> relatif sederhana dan lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem kontrol lainnya, seperti VFD. (<i>Variable Frequency Drive</i>). 3. Dengan menggunakan sistem <i>star-delta</i>, arus start motor dapat dikurangi hingga sepertiga dari arus nominal, yang membantu mengurangi beban pada jaringan listrik.
4	Suratman et al. (2021)	Sistem Pemantauan dan Kendali Panel ATS Melalui Jaringan Internet Berbasis Antarmuka Android	1. Penggunaan mikrokontroler dan aplikasi smartphone dapat menjadi masalah jika terjadi kerusakan perangkat atau gangguan pada jaringan, yang dapat mengganggu fungsi sistem . 2. Investasi awal untuk perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak mungkin lebih tinggi dibandingkan dengan sistem manual yang lebih sederhana.	1. Sistem ATS dapat beroperasi secara otomatis, yang mengurangi intervensi manusia dan meningkatkan keandalan pasokan listrik. 2. Rangkaian sistem pengunci yang digunakan dalam ATS membantu mencegah terjadinya short circuit saat pengalihan sumber listrik, sehingga meningkatkan keamanan sistem.

No.	Peneliti	Judul	Kekurangan	Kelebihan
			3. Ketergantungan pada sensor (seperti MCB) untuk mendeteksi kondisi sumber listrik dapat menjadi titik kegagalan jika sensor tidak berfungsi dengan baik.	3. Dengan penggunaan mikrokontroler seperti ESP8266, sistem dapat dimonitor melalui aplikasi smartphone, memberikan kemudahan dalam pemantauan kondisi sumber listrik. 4. Sistem dapat beroperasi dalam dua mode, yaitu otomatis dan manual, memberikan fleksibilitas dalam pengoperasian sesuai kebutuhan.
5	(Cyntia Wideasari, Rizky Fachriansyah, 2023)	Rancang Bangun Automatic Transfer witch (ATS) Hybrid Daya PLN Dan PLTS Pada Sistem Hidroponik	1. Jika komponen TDR tidak digunakan atau mengalami kerusakan, perpindahan antara PLN dan PLTS dapat terjadi terlalu cepat, yang berpotensi merusak komponen sistem ATS. 2. Daya yang dihasilkan oleh panel surya berkurang secara signifikan dalam kondisi cuaca mendung, yang dapat mempengaruhi kinerja sistem. 3. Dalam kondisi cuaca terik, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh adalah 4 jam 40 menit, yang mungkin dianggap lama dalam situasi.	1. Dengan adanya komponen Time Delay Relay (TDR), sistem dapat mengatur delay perpindahan antara PLN dan PLTS, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada komponen akibat perpindahan yang terlalu cepat. 2. Sistem ini memungkinkan penggunaan energi terbarukan dari panel surya (PLTS) sebagai sumber cadangan, yang dapat mengurangi ketergantungan pada listrik PLN dan mendukung keberlanjutan. 3. Sistem ATS menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dalam pengujian perpindahan sumber listrik antara PLN dan PLTS, yang menunjukkan bahwa sistem ini dapat diandalkan dalam menjaga kontinuitas.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kontaktor

Kontaktor dapat disebut sebagai relay komponen kelistrikan yang dapat digunakan untuk menyambung atau memutuskan arus bolak-balik (AC). Kontaktor memanfaatkan sistem kerja elektromagnet, ketika *coil* diberi arus listrik maka akan menimbulkan medan magnet yang menyebabkan kontak NO (*Normally Open*) tertutup dan NC (*Normally Close*) terbuka, saat *coil* tidak diberi arus, maka medan magnet akan hilang dan terdapat spring sehingga secara otomatis kembali pada posisi kontak awal, kontak NO terbuka dan kontak NC tertutup (Sinaupedia, 2020). Pada penelitian ini kontaktor digunakan sebagai *starting* DOL elektromotor penggerak kompresor. Terdapat bagian-bagian kontaktor sebagai berikut: Kontak Utama Terdiri dari tiga kontak NO atau kontak beban 3 phase (L1, L2 dan L3) yang diberi angka 1 sampai 6 yang saling berpasangan Kontak Bantu Kontak tambahan selain kontak utama, terdiri dari kontak NO dan kontak NC. Dapat digunakan sebagai kontrol arus listrik pada beban lain yang diberikan angka 13 sampai 22. Kumputan tembaga (*Coil*) Kumputan tembaga yang memiliki sifat elektromagnetik ketika dialiri arus, sehingga dapat mengubah kontak menjadi *close* atau *open*, diberi simbol A1 dan A2 (Syafri et al., 2022).



Gambar 2. 1 Kontaktor

2.2.1 Phase Failure Relay

PFR atau *Phase Failure Relay* adalah rele atau komponen yang biasa digunakan untuk memantau perubahan keadaan tegangan tiga fasa yang beroperasi dalam rangkaian. Berawal dari prinsip dasar, PFR memiliki

prinsip kerja yang mirip dengan proteksi beban dan biasa digunakan untuk melindungi motor listrik dari beban lebih. *Phase Failure Relay* (PFR) adalah perangkat kontrol memantau kondisi tegangan tiga fase yang mengalir melalui sistem kontrol.

Pengontrol keselamatan untuk melindungi pengontrol dari situasi/kondisi tegangan yang salah seperti; Fasa pada instalasi 1, 2, atau semua 3 fase hilang. Diluar urutan fase tegangan kurang tegangan lebih. Jika terjadi situasi abnormal dalam waktu yang ditentukan kontak rele kontrol PFR akan berubah secara otomatis seperti perubahan peralatan kontrol lainnya dan NO akan menjadi NC dan sebaliknya. apabila dalam jangka waktu setting ada perubahan kontak setelah situasi abnormal tersebut dapat disetting. Jika toleransi diatur dalam 30 detik maka waktu menjadi abnormal dan rele mendeteksi perubahan. Perbedaan pada rele proteksi NJYB315 adalah pada saat rangkaian motor terhubung *star-delta* mendeteksi gangguan internal dari fasa R, S dan T(Nugraha & Triyanto, 2023).



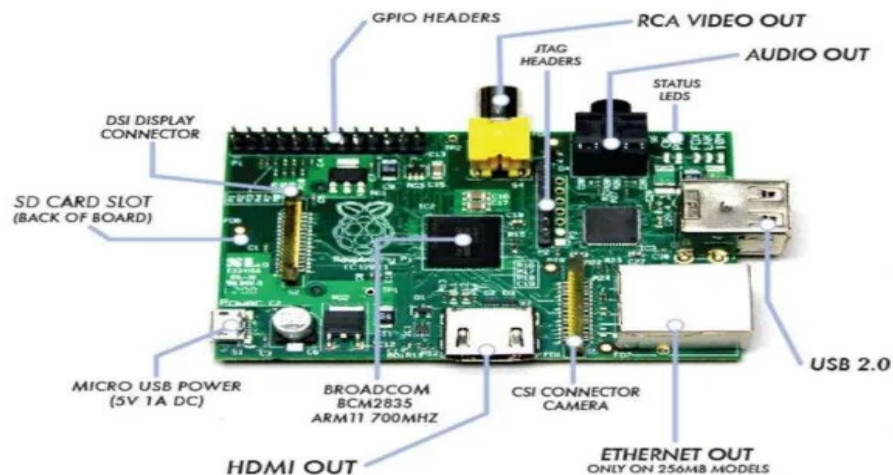
Gambar 2. 2 Phase Failure Relay

2.2.2 Raspberry Pi 3 Model B

Komponen board (papan) Raspberry Pi model B terdiri dari port USB untuk mengkoneksikan berbagai perangkat USB seperti *keyboard*,

mouse, *modem*, dan perangkat lainnya. *Mini USB* port digunakan untuk menghubungkan ke *power adaptor*. Untuk terkoneksi ke jaringan bisa menggunakan port Ethernet/LAN atau pada Raspberry Pi 3 Model B sudah dilengkapi dengan *Wi-Fi built in*. Raspberry Pi juga sudah mendukung *audio/video*. Untuk mengkoneksikan ke monitor/tv dapat menggunakan HDMI atau RCA. Beberapa pin GPIO (*General Purpose Input/Output*) dapat digunakan untuk mengkoneksikan dengan perangkat elektronik lainnya.

Ada juga keunggulan Raspberry Pi dibandingkan Arduino yaitu Raspberry Pi mempunyai prosesor berkecepatan tinggi, RAM yang besar, dan dukungan *multitasking*. Ini membuatnya cocok untuk proyek yang memerlukan pemrosesan data kompleks, seperti pengolahan gambar, machine learning, atau server web. Sedangkan Arduino dan mikrokontroler lain biasanya hanya memiliki prosesor sederhana dan RAM kecil, lebih cocok untuk tugas-tugas ringan seperti kontrol perangkat keras secara langsung. Raspberry Pi juga mampu menjalankan beberapa aplikasi sekaligus, seperti pemrosesan data, server web, atau interface pengguna. Sedangkan Arduino hanya dapat menjalankan satu tugas utama pada satu waktu karena tidak mendukung *multitasking*.



Gambar 2. 3 Raspberry Pi 3 Model B

Raspberry Pi memiliki output HDMI, sehingga bisa digunakan untuk menampilkan antarmuka grafis (GUI) pada layar monitor atau TV. Ini memudahkan aplikasi seperti media center atau dashboard. Sedangkan Arduino tidak memiliki kemampuan GUI karena tidak didesain untuk itu. Dan paling

utama, Raspberry Pi mendukung berbagai bahasa pemrograman modern seperti *Python*, Java, C++, dan lainnya. Dengan alat ini, Anda dapat membuat aplikasi yang kompleks. Sedangkan Arduino lebih terbatas pada bahasa C/C++ dan lebih fokus pada pemrograman perangkat keras tingkat rendah (Juliansyah et al., 2021).

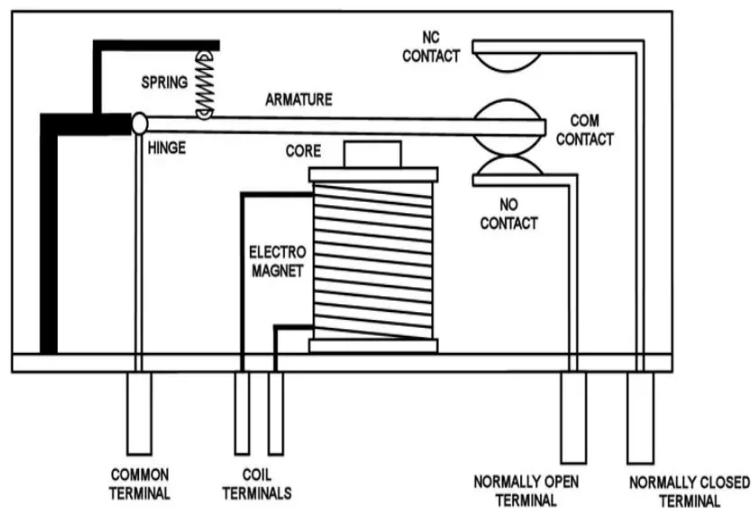
2.2.3 Relay AC

Relay adalah saklar yang dikendalikan oleh arus listrik. Relai memiliki kumparan tegangan rendah yang dililitkan disebuah inti. Terdapat armatur besi yang terpasang pada sebuah tuas pegas, armature akan tertarik ke inti ketika arus mengalir melalui kumparan. Menarik armature ke inti menyebabkan kontak pada jalur yang berubah posisi dari kontak NO (*Normaly Open*) menjadi kontak NC (*Normaly Close*) dan sebaliknya. Relay dapat digunakan untuk mengendalikan motor AC dengan rangkaian kendali DC atau untuk mengendalikan beban lain yang menggunakan sumber tegangan yang berbeda, antara tegangan beban dengan tegangan rangkaian kendali. Penerapan relay yang dapat ditemui adalah relay sebagai kontrol *on/off* pada beban yang berbeda sumber tegangan, relay sebagai selektor, relay sebagai pelaksana rangkaian tunda (*delay*), relay sebagai protector dengan memutus hubungan atau jalur dari power supply ke beban dalam artian pemutus arus pada kondisi tertentu. Sifat-sifat relay sebagai berikut: Impedansi kumparan ditentukan oleh tebal kawat serta banyak lilitan, untuk memperoleh daya hantar yang baik nilai impedansi berkisar 1-50k Ω . Daya yang diperlukan untuk menggerakkan relai adalah tegangan dikalikan arus.



Gambar 2. 4 Relay AC

Jumlah kontak jangkar dapat membuka dan menutup dua atau lebih kontak secara bersamaan, tergantung pada jenis kontak dan relay. Jarak antara kontak menentukan tegangan maksimum yang diijinkan antara kontak. (Turang, 2015) pada penelitian ini, relay yang digunakan adalah relay 5 kaki, 1 kaki untuk common, 2 kaki untuk coil (c1 dan c2), 1 kaki untuk kontak NC (*Normally Close*), dan 1 kaki untuk kontak NO (*Normally Open*). Kapasitas daya yang diperlukan coil sebesar 12Vdc. Pada Gambar 10 dapat diketahui relay pinout dan kondisi relay ketika coil diberikan sumber atau dalam kondisi on dan ketika dalam kondisi *off*. tertutup, karena secara default, kontak ini bisa mengalirkan arus, kecuali saat diberi energi (Syafri et al., 2022).



Gambar 2. 5 Komposisi Relay

2.2.4 Mini Circuit Breaker

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) telah dijelaskan suatu alat elektromekanis yang berfungsi untuk melindungi suatu rangkaian listrik dari sumber listrik yang tinggi. MCB khususnya telah banyak digunakan dalam rangkaian listrik untuk menunjukkan aliran dua arah dari informasi terkini MCB yang melibatkan nilai pengaturan, status kerja, dan nilai MCB saat ini. Memang pada umumnya MCB dapat memutus suatu sumber listrik dengan otomatis apabila suatu daya listrik mengalir pada MCB yang suatu daya telah melebihi suatu sumber tegangan.



Gambar 2. 6 Mini Circuit Breaker

Namun MCB dapat berfungsi sebagai switcher untuk menghubungkan atau memutuskan sumber listrik dengan cara manual dalam kondisi kelistrikan normal. MCB sebenarnya memiliki fungsi seperti sekering yaitu untuk memutuskan sumber listrik pada suatu rangkaian ketika memiliki hambatan dalam energi tinggi. energi listrik yang tinggi biasanya disebabkan korsleting atau beban lebih. Namun, MCB dapat didorong untuk kembali ON ketika rangkaian listrik sudah dalam kondisi normal. Selain itu, sekering yang telah diputus menjadi energi listrik, dapat digunakan kembali karena sumber hambatan yang sangat tinggi (Fauzi et al., 2023).

2.2.5 Pilot Lamp

Pilot Lamp disini berfungsi untuk menunjukkan jika ada arus atau tegangan yang masuk dengan tanda bahwa pilot lamp tersebut menyala. Pilot lamp sendiri memiliki beberapa warna biasanya untuk tegangan distribusi seperti phase R, S, T menggunakan warna Biru, Kuning, Merah, tergantung sebuah perusahaan jika menganut puil lama biasanya menggunakan Merah, Kuning, Hijau. Tetapi ada juga yang pilot lampnya sama antara phase R, S, T menggunakan hijau yang membedakan adalah lebel dari panel listrik tersebut (Adhimanata & Dhiya, 2024).



Gambar 2. 7 Pilot Lamp

2.2.6 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah sensor yang dapat mengukur Arus, Tegangan, *Power* dan Energi dari listrik AC. Sensor ini mengeluarkan output dengan komunikasi serial. Jika kita ingin menghubungkan dengan Arduino maka komunikasi yang digunakan adalah komunikasi serial. Sensor ini cukup mudah digunakan, karena output nya langsung bisa di baca, baik berupa arus, tegangan, daya, powr maupun energi, tapi sayang nya, sensor ini tidak 10 mampu membaca arus AC dengan ketelitian mili Ampere. Optocoupler memiliki fungsi untuk mengisolasi sinyal DC dan AC untuk memastikan bahwa sirkuit pengukuran aman dan stabil. *Current Transformer* berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur arus yang mengalir melalui kabel listrik. Sedangkan *Shunt Resistor* berperan dalam pengukuran tegangan yang melintas pada sirkuit. Dari pengukuran ini, maka sensor PZEM-004T dapat menghitung daya dan energi yang digunakan oleh perangkat listrik. Kelebihan sensor ini adalah mudah digunakan, hemat biaya, dan memiliki berbagai fitur yang berguna pada sistem monitoring energi listrik. Dengan memahami prinsip kerja sensor PZEM-004T, diharapkan pengguna dapat memanfaatkan sensor ini secara maksimal dan mengoptimalkan penggunaan listrik yang efisien dan efektif (Dharmawan et al., 2022).



Gambar 2. 8 Sensor PZEM-004T

2.2.7 *Current Transformer*

Current Transformer (CT) atau trafo arus adalah instrument listrik yang digunakan untuk pengukuran nilai atau besaran arus pada instalasi listrik dengan mengurangi arus tegangan tinggi ke arus tegangan rendah secara akurat dan teliti untuk keperluan monitoring dan proteksi (Syafri et al., 2022).



Gambar 2. 9 Current Transformer

2.2.8 *Push Button*

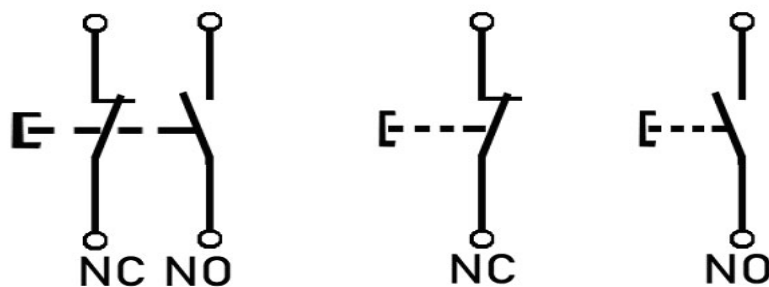
Push button didefinisikan sebagai komponen/*switcher* sederhana yang berfungsi untuk menyambung atau memutuskan sumber listrik dengan menekan tombol *unlock*. Sakelar akan berfungsi sebagai penghubung atau pemutus perangkat sumber listrik ketika push button telah ditekan, dan dicabut maka sakelar akan kembali dalam kondisi normal dalam sistem kerja *unlock*. *Push button* juga memiliki dua jenis yaitu ON dan OFF (1 dan 0). Selain itu, perangkat listrik sebenarnya membutuhkan sumber listrik yang membutuhkan

posisi ON dan OFF. Karena push button menjadi alat utama untuk menyambung dan memutuskan suatu daya listrik.

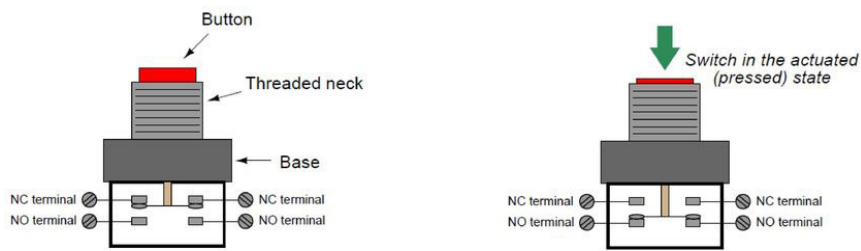


Gambar 2. 10 Push Button

Setiap warna pada push button memiliki fungsinya tersendiri, misalnya push button warna merah untuk *Stop*, hijau untuk perintah *Start* dan kuning untuk perintah *Reset*. Push button adalah komponen penting bagi mesin industri, terutama dalam menyalakan dan mematikan mesin. Tak peduli mesin apa yang digunakan, tombol selalu menjadi tombol utama dalam operasional mesin. Koneksi tombol dengan operator sangat vital dalam memastikan bahwa mesin dapat berfungsi dengan baik (Fauzi et al., 2023).



Gambar 2. 11 Simbol Push Button



Gambar 2. 12 Cara Kerja Push Button

2.2.9 Timer Delay Relay

TDR (*Timer Delay Relay*) sering disebut juga relay *timer* atau relay penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi, terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. Fungsi *timer* AC 220V ini adalah sebagai pengatur Waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. *Timer* ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati dari kontaktor, dimana kontaktor inilah yang nantinya menghubungkan beban dari power genset dan beban dari PLN. Kumparan pada timer akan bekerja selama mendapat sumber arus. Apabila telah mencapai batas waktu yang diinginkan maka secara otomatis *timer* akan mengunci dan membuat kontak NO menjadi NC dan NC menjadi NO (Susanto, 2013).



Gambar 2. 13 Timer Relay

2.2.10 LCD

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau menyalurkan cahaya dari back-lit. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf,

angka ataupun grafik. LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dalam bentuk tampilan tujuh segmen dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan sandwich memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horizontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan (Dharmawan et al., 2022)



Gambar 2. 14 LCD

2.2.11 Fuse

Fuse/Sekring juga biasa dikenal dengan pengaman lebur atau fuse yang berfungsi sebagai pengaman peralatan instalasi listrik dari gangguan arus lebih. Pengaman ini memiliki karakteristik pemutusan lebih cepat dibandingkan dengan MCB. Pengaman ini hanya dapat dipakai satu kali dan tidak dapat dioperasikan kembali (Huda, 2022).



Gambar 2. 15 Fuse

2.2.12 MCCB

MCCB atau *Moulded Case Circuit Breaker* merupakan salah satu komponen elektrik yang berguna sebagai pengaman dan pemutus arus ketika terjadi arus pendek (*korsleting*) atau kelebihan beban (*overload*) yang dapat menyebabkan kerusakan pada instalasi listrik dan kebakaran karena percikan bunga api. Spesifikasi MCCB biasanya menggunakan 3 phase, karena hanya digunakan sebagai pengaman listrik dengan daya yang besar. Prinsip kerja MCCB adalah sebagai pemutus arus listrik pada saat terjadi kelebihan beban (*overload*) ataupun saat terjadi hubung singkat pada rangkaian (*shourt circuit*). Cara kerja MCCB terdapat tiga mekanisme dalam memutus arus listrik, yang pertama adalah mekanisme thermal dan yang kedua adalah mekanisme magnetik. Untuk mekanisme thermal (*temperature*), MCCB memiliki bidang kontak bimetal yang dapat melakukan ekspansi dan kontraksi dalam menanggapi perubahan temperatur suhu. Pada saat kondisi operasi normal, kontak bimetal memungkinkan arus listrik mengalir melewati MCCB. Tetapi, pada saat arus listrik melebihi set point yang ditentukan, maka kontak bimetal akan mulai memanaskan dan ekspansi sehingga otomatis menekan tuas operating MCCB yang menyebabkan arus listrik terputus. Yang kedua adalah mekanisme magnetik dimana pada saat kelebihan arus listrik (*overcurrent*) yang cukup tinggi menyebabkan medan magnet koil selenoid akan menarik tuas operating MCCB sehingga arus listrik dapat terputus (Sutrisno et al., 2023).



Gambar 2. 16 MCCB

2.2.14 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi adalah suatu mesin Listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandingan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Stator terbuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar bebas dan letaknya dibagian dalam. Rotor terbuat dari besi laminasi yang mempunyai slot dengan batang aluminium/tembaga yang terhubung singkat pada ujungnya. Motor Induksi merupakan salah satu mesin asinkronus (*synchronous motor*) karena mesin ini beroperasi pada kecepatan dibawah kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami lagging dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet.

Motor AC 3 Fasa bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada rotornya. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL Induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkain yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) didalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r) (Nugroho et al., 2021).

Pada prinsip kerja motor induksi tiga fasa yaitu apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan medan (stator), timbullah medan putar dengan kecepatan. Untuk rumus menghitung kecepatan sinkron, jika diketahui frekuensi dan jumlah kutub pada motor induksi ditunjukkan pada persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$N_s = \frac{120 \times F}{p} \quad (2.1)$$

Dimana:

N_s = Kecepatan sinkron motor (RPM)

F = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah kutub motor (pole)



Gambar 2. 17 Motor Induksi 3 Fasa 380/660 V

Pada motor induksi tiga fasa ini untuk rumus dayanya ditunjukkan pada persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \quad (2.2)$$

Dimana:

P = Daya motor induksi (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (I)

$\cos\phi$ = Faktor Daya

Adapun rumus untuk menghitung arus pada motor induksi tiga fasa ini ditunjukkan pada persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi} \quad (2.3)$$

Tabel 2. 2 Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

Daya	4 kW/5.5 HP
Tegangan	380/660V
Arus	8.6/5.0 A
Kecepatan	1440 RPM
Cos phi (ϕ)	0.83

2.2.15 Pengasutan Starting Motor Delta

Power supply adalah komponen yang sangat berperan penting dalam dunia kelistrikan, karena banyak digunakan sebagai sumber tegangan bagi alat yang membutuhkan. Power supply didesain dengan berbagai macam jenis sesuai dengan kapasitas penggunaannya. Power supply juga didesain dengan berbagai macam spesifikasi mulai dari prinsip kerja utamanya sebagai pengubah tegangan AC ke DC, juga terdapat beberapa power supply yang dirakit dengan kelebihan masing-masing seperti terdapat proteksi apabila terjadi salah sambung. Selain itu, beberapa diantaranya juga dilengkapi dengan beberapa level terminal output yang berbeda kapasitas tegangannya, seperti output 5VDC, 12VDC, 24 VDC dan yang lainnya. Power supply dirancang khusus untuk menyuplai alat yang sumber tegangannya adalah DC (Sutrisno et al., 2023).



Gambar 2. 18 Power Supply

2.2.16 Thermal Overload Relay

Thermal Overload Relay (TOR) Merupakan salah satu peralatan proteksi yang bekerja berdasarkan pengaruh suhu panas (temperatur) dimana arus yang

mengalir akan dikonversi menjadi panas untuk mempengaruhi bimetal. Bimetal inilah yang kemudian akan menggerakkan tuas untuk menghentikan aliran arus ketika terjadi *Over Current*.

Thermal Overload Relay (TOR) adalah sebuah alat elektronik untuk mengamankan beban lebih (*Overload*) berdasarkan suhu (*Thermal*) yang mempunyai relay untuk memutuskan sebuah rangkaian kontrol seperti *direct online* dan *Star Delta*. Fungsi dari *overload* relay adalah untuk proteksi motor listrik dari beban lebih. Seperti halnya sekering (*Fuse*) pengaman beban lebih ada yang bekerja cepat dan ada yang lambat. Sebab waktu motor start arus dapat mencapai 6 kali nominal, sehingga apabila digunakan pengaman yang bekerja cepat, maka pengamannya akan putus setiap motor dijalankan (Saputra, 2024).



Gambar 2. 19 Thermal Overload Relay

2.2.17 Pengasutan Starting Why Delta

Untuk menjalankan motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar yang dayanya lebih besar dari 4 kw dengan tegangan nominal 220V/380V, motor listrik tersebut tidak boleh secara langsung dihubungkan dengan jaringan tegangan. Hal ini akan menyebabkan arus starting motor relatif besar, bahkan dapat mencapai 4 s/d 7 kali arus nominal motor. Agar arus starting ini dapat diperkecil, maka pada motor dapat dilakukan pengasutan sesuai dengan besarnya daya motor.

Metode *starting star - delta* banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi rototr sangkar yang mempunyai daya diatas 5 kW (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain saklar rotar *star - delta*, saklar khusus *star - delta* atau dapat juga menggunakan

beberapa kontaktor magnet beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian *starter star - delta*.

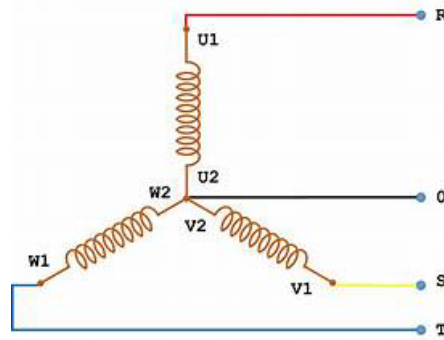
Untuk menjalankan motor listrik induksi tiga fasa rotor sangkar *starting star - delta* harus diperhatikan besar daya nominal motor, dan tegangan nominal satu fasa kumparan stator harus sama besarnya dengan tegangan line jaringan. Kumparan stator motor saat starting dalam keadaan hubungan *star*, sehingga tegangan pada kumparan perfasa sekitar 58% dari tegangan nominal. Hal ini dapat memperkecil arus yang mengalir pada motor. Maka dari itu, pada tugas akhir kali ini menggunakan metode ini yaitu *starting star - delta* yang dapat mengurangi arus *starting* pada saat motor induksi 3 fasa dioperasikan (Studi et al., 2018).

2.2.18 Hubungan Bintang – Segitiga (*Star-Delta*)

Pada sistem tenaga listrik 3 Fasa, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fasa yang mempunyai magnitude dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fasa dengan yang lainnya mempunyai beda fasa sebesar 120° , sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar 60° , dan dapat dihubungkan secara Bintang (Y, *wye*) atau segitiga (delta, Δ , D).

Bila fasor-fasor tegangan tersebut berputar dengan kecepatan sudut dan dengan arah berlawanan jarum jam (arah positif), maka nilai maksimum positif dari fase terjadi berturut-turut untuk fase V1, V2 dan V3 sistem 3 Fasa ini dikenal sebagai sistem yang mempunyai urutan fasa a – b – c. Sistem tegangan 3 fasa dibangkitkan oleh generator 3 fasa.

Pada hubungan Bintang (Y, *wye*), ujung-ujung tiap fasa dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik Bintang. Tegangan antara dua terminal dari a – b – c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan Va, Vb, Vc disebut tegangan “fasa” atau Vf.



Gambar 2. 20 Hubungan Wye

Pada kondisi star yang dimana adanya saluran / titik netral maka besaran tegangan fasa dihitung terhadap saluran / titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fasa yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fasa). Maka tegangan pada hubungan bintang (star) ditunjukkan pada persamaan 2.4 dan 2.5 sebagai berikut:

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad (2.4)$$

$$V_L = \sqrt{3} \times V_P \quad (2.5)$$

Dimana:

V_L = Tegangan per line

V_P = Tegangan per fasa

Untuk arus pada kondisi star ini yang mengalir pada semua fasa bernilai sama ditunjukkan pada persamaan 2.6:

$$I_L = I_P \quad (2.6)$$

Dimana:

I_L = Tegangan per line

I_P = Tegangan per fasa

Pada hubungan segitiga (*delta*, Δ , D) ketiga fasa saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga fasa. Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fasa, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama.

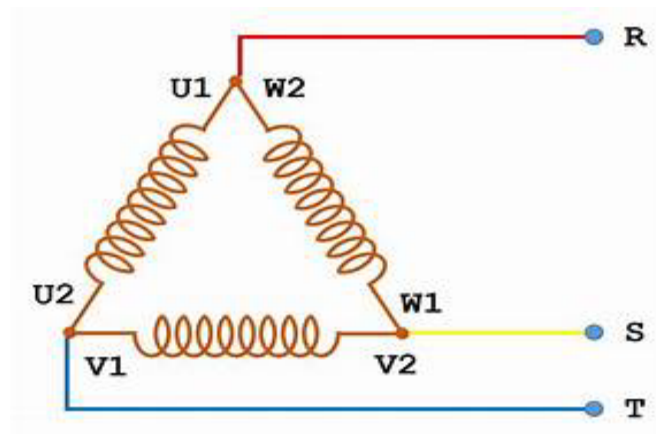
Sedangkan pada kondisi delta tidak ada titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fasa, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, ditunjukkan pada persamaan 2.7:

$$V_L = V_P \quad (2.7)$$

Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum *kirchoff*, yang ditunjukkan pada persamaan 2.8 hingga 2.11:

$$I_P = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

$$I_{L\Delta} = \frac{V_L}{Z} \quad (2.9)$$



Gambar 2. 21 Hubungan Delta

Untuk perbandingan arus antara star dan delta yaitu arus pada star lebih kecil dari *delta* yaitu $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari I_L *delta* (Studi et al., 2018).

2.2.19 Pengasutan *Starting DOL*

Rangkaian DOL atau Rangkaian *Direct Online* adalah sebuah rangkaian motor listrik yang terdiri dari satu buah kontaktor, motor dan satu buah *Thermal Overload Relay* (TOR). Rangkaian jenis ini dinilai paling dasar pada rangkaian motor listrik dan biasanya diajarkan pertama kali pada mata kuliah instalasi tenaga. Terlihat pada gambar diatas bahwa memang rangkaian *Direct OnnLine* ini sangat sederhana dan mudah dipahami.

Sistem kerja rangkaian starting dol pada motor mendapatkan suplai tenaga sebesar 100% dari tegangan sumber 380V, Karena pada tegangan awal motor tidak memiliki beban sehingga motor memberikan tegangan sumber maksimal karena motor harus menggerakkan rotor sehingga suplai sumber dimaksimalkan dan apabila rotor telah berputar arus yang di alirkan kembali ke awal mengikuti kebutuhan motor (Satria et al., 2022).