

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang relevan

Untuk menunjang penelitian ini, diperlukan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik rancang bangun panel Star-Delta dan pengendalian motor induksi tiga fasa. Penelitian-penelitian tersebut digunakan sebagai referensi serta pedoman dasar dalam pengembangan sistem yang dirancang. Ringkasan penelitian yang relevan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Yang Relevan

No	Judul, Penulis, dan Tahun	Metode / Model	Potensi dalam Penelitian
1	Pengembangan Sistem Pengaturan Suplai Beban (ATS) pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Berbasis Mikrokontroler – Sugeng Purwanto, Sofitri Rahayu, Hasna Satya Dini	Pengembangan sistem ATS berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP8266	Menjadi referensi pengembangan sistem kontrol otomatis pada panel Star-Delta skala prototipe
2	Studi Perbandingan Arus Start Motor Induksi Sistem Pengasutan DOL dan Star-Delta Menggunakan Automation Studio – Ahmad Dani, Dino Erivianto (2023) [17]	Metode simulasi menggunakan Automation Studio untuk membandingkan arus start motor	Menunjukkan efektivitas metode Star-Delta dalam menurunkan arus start dan menjadi dasar teoritis untuk pengujian pada panel fisik
3	Aplikasi Pengendalian Star-Delta untuk Mengatur Kecepatan pada Mesin Juicer – Dea	Metode eksperimen berbasis mikrokontroler Atmega	Potensi integrasi kontrol otomatis pada pengoperasian panel starter motor

	Violita, Devarinda, Trisna Wati		
4	Penerapan Cara Kerja Rangkaian Panel Star–Delta di CV. Lidarpa Elektrik – M. Alfin	Studi implementatif lapangan	Menjadi referensi praktis dalam perancangan dan pengkabelan panel Star–Delta
5	Implementasi PLC OMRON CP1E pada Sistem Kendali Motor Induksi Star–Delta – Firdaus Yudha Hartawan, Mia Galina	Metode eksperimen dan desain ladder diagram PLC	Potensi pengembangan panel agar dapat diaplikasikan pada industri skala kecil
6	Rancang Bangun Kontrol Rangkaian Star–Delta Motor 3 Fasa di Laboratorium Teknik Elektro – Bayu Agustian, Jhoni Hidayat, Ayu Fitriani	Metode rancang bangun eksperimental	Penyempurnaan desain panel modular dan sistem pengujian laboratorium
7	Studi Beban Operasional Mesin Press dengan Konfigurasi Star–Delta di Industri Kelapa Sawit – Charlie William, Joni Fat, Hugeng	Metode pengamatan dan analisis pengukuran arus dan tegangan	Menjadi dasar pengujian performansi panel hasil rancang bangun terhadap beban nyata
8	Sistem Kerja Rangkaian Kontrol Star–Delta pada Motor 3 Fasa – Faiz Addawami, Ananda Yhuto Wibisono Putra	Metode eksperimen deskriptif	Referensi perbaikan sistem kontrol dengan pengaturan waktu transisi otomatis

9	Analisis Perbandingan Arus Starting Motor Induksi 3 Fasa Rangkaian Star–Delta dengan VFD – Muhammad Arifin, Umar	Metode eksperimen dan analisis komparatif	Menjadi rujukan perbandingan metode starting untuk peningkatan efisiensi
10	Analisis Pengaruh Sistem Star–Delta Manual dan PLC pada Motor Listrik 3 Fasa – Hesti Istiqlaliyah	Pendekatan kuantitatif dan korelasional	Potensi pengembangan panel dengan mode manual dan otomatis
11	A Textbook of Electrical Technology, Vol. 2: AC and DC Machines – B. L. Theraja & A. K. Theraja (Edisi ke-23) [16]	Buku teks teori mesin listrik	Menjadi landasan teori utama mengenai motor induksi tiga fasa dan prinsip penurunan arus Star–Delta

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Star– Delta terbukti secara teoritis dan eksperimental mampu menurunkan arus start motor induksi tiga fasa. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada simulasi atau studi kasus tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun panel Star–Delta secara fisik, dilengkapi dengan sistem kontrol, proteksi, serta pengujian arus secara langsung untuk memperoleh hasil yang lebih aplikatif.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan sistem pengasutan motor induksi tiga fasa menggunakan metode starter bintang–segitiga (Star–Delta). Metode ini diterapkan untuk mengurangi arus start yang tinggi pada saat motor pertama kali dioperasikan.

Sistem dirancang agar motor dapat beroperasi secara aman, efisien, dan sesuai dengan karakteristik kerja motor induksi. Aspek keselamatan dan keandalan menjadi pertimbangan utama dalam perancangan panel.

Secara umum, sistem terdiri dari sumber tegangan tiga fasa, motor induksi tiga fasa, rangkaian daya, rangkaian kontrol, serta perangkat pengaman dan alat ukur. Rangkaian daya digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari sumber ke motor.

Rangkaian kontrol berperan dalam mengatur proses starting dan perpindahan hubungan dari star ke delta secara otomatis. Proses perpindahan ini diatur menggunakan timer yang bekerja berdasarkan waktu tunda tertentu.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan interlock mekanik dan elektrik untuk mencegah kontaktor star dan delta aktif secara bersamaan. Pengaman tambahan berupa thermal overload relay digunakan untuk melindungi motor dari kondisi beban lebih.

2.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 2. 1 Motor Induksi Sumber :
<http://id.sunvimmotor.com>

Motor listrik berfungsi sebagai alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gerakan putar. Secara umum, motor listrik terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator, yang merupakan bagian tetap, dan rotor, yaitu bagian yang berputar. Pada motor arus bolak-balik (AC), kumparan rotor tidak memperoleh pasokan energi listrik secara langsung, melainkan melalui proses induksi elektromagnetik, serupa dengan prinsip kerja pada transformator. Oleh karena itu, motor AC lebih dikenal dengan sebutan motor induksi karena energi yang diterima rotor dihasilkan melalui proses induksi dari stator.[10]

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan di sektor industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, biaya perawatan yang relatif rendah, serta keandalan yang tinggi. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu timbulnya arus listrik pada rotor akibat adanya perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh stator. Secara konstruksi, motor induksi tiga fasa terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian diam yang tersusun dari inti besi berlaminasi dan lilitan tiga fasa yang diberi sumber tegangan AC. Ketika lilitan stator dialiri arus tiga fasa, akan terbentuk medan magnet putar (rotating magnetic field). Medan magnet ini berputar dengan kecepatan sinkron yang bergantung pada frekuensi sumber dan jumlah kutub motor.

Rotor merupakan bagian yang berputar dan umumnya berbentuk rotor sangkar (squirrel cage). Medan magnet putar dari stator akan memotong konduktor rotor sehingga menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. Akibat adanya GGL ini, arus mengalir pada rotor dan membentuk medan magnet rotor. Interaksi antara medan magnet stator dan rotor menghasilkan gaya elektromagnetik yang menyebabkan rotor berputar. Kecepatan rotor selalu lebih kecil dari kecepatan sinkron. Selisih antara kecepatan medan magnet stator dan kecepatan rotor disebut slip. Slip sangat berpengaruh terhadap besar arus rotor dan torsi yang dihasilkan. Pada saat start, slip bernilai maksimum ($s \approx 1$), sehingga arus yang mengalir pada motor juga sangat besar.

2.2.3 Arus Start Motor Induksi

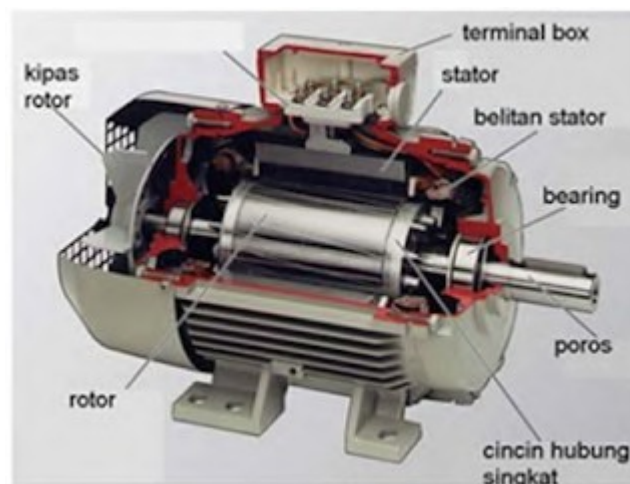
Arus start motor induksi merupakan arus yang mengalir pada saat motor pertama kali dihubungkan dengan sumber tegangan. Besarnya arus start dipengaruhi oleh impedansi motor yang relatif kecil pada kondisi diam. Secara teori, arus start motor induksi dapat mencapai 5 sampai 8 kali arus nominal.

1. Arus start yang besar dapat menimbulkan beberapa dampak negatif, antara lain:
2. Penurunan tegangan (voltage drop) pada jaringan listrik.
3. Pemanasan berlebih pada lilitan stator dan rotor.
4. Memperpendek umur isolasi motor.
5. Gangguan pada peralatan listrik lain yang terhubung pada sistem yang sama.

Oleh karena itu, diperlukan metode pengasutan yang mampu mengurangi arus start motor tanpa mengganggu kinerja motor secara keseluruhan.

2.2.4 Komponen dasar Motor Induksi

Berikut adalah komponen yang terdapat pada Motor Induksi diantaranya ialah



Gambar 2. 2 Komponen Motor Sumber : <https://blog.unnes.ac.id>

Setiap jenis motor maupun generator listrik memiliki dua komponen utama, yaitu rotor dan stator. Rotor berfungsi sebagai bagian yang berputar, sedangkan stator merupakan bagian yang tetap atau tidak bergerak. Secara umum, dalam hal konstruksi mesin listrik,

mesin induksi merupakan jenis mesin yang paling sederhana dan efisien. Desainnya yang sederhana inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan berbagai jenis mesin listrik lainnya.[13]

2.2.5 Metode Starting Motor Induksi Tiga Fasa

Starting motor induksi tiga fasa adalah proses awal pengoperasian motor dari kondisi diam hingga mencapai kecepatan kerja yang stabil. Pada kondisi start, impedansi rotor masih rendah sehingga arus start yang mengalir pada motor bisa mencapai 5 hingga 7 kali arus nominal. Arus start yang besar ini dapat menyebabkan penurunan tegangan pada jaringan listrik dan berpotensi merusak peralatan listrik lainnya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan berbagai metode starting motor induksi tiga fasa, antara lain:

1. Direct On Line (DOL)

Metode Direct On Line (DOL) merupakan metode starting paling sederhana, di mana motor dihubungkan langsung ke sumber tegangan penuh tanpa menggunakan pengurang tegangan. Dengan metode ini, motor akan menerima tegangan nominal sejak awal proses starting. Dari sisi arus start, metode DOL menghasilkan arus start yang sangat besar, umumnya berkisar antara 5 hingga 7 kali arus nominal motor. Arus start yang tinggi ini dapat menyebabkan penurunan tegangan sesaat (voltage drop) pada jaringan listrik, terutama jika kapasitas sumber terbatas.

Dari sisi biaya, metode DOL memiliki biaya paling rendah karena hanya membutuhkan komponen dasar seperti kontaktor dan pengaman. Selain itu, rangkaiannya sederhana sehingga biaya perawatan juga relatif murah.

Tingkat kompleksitas metode DOL tergolong rendah. Proses pemasangan, pengoperasian, dan perawatannya mudah dilakukan. Namun, kesederhanaan ini dibayar dengan tingginya arus start dan hentakan mekanis pada motor.

Dalam hal aplikasi, metode DOL umumnya digunakan pada motor berdaya kecil hingga menengah, di mana arus start yang tinggi masih dapat ditoleransi oleh sistem listrik dan beban mekanis.

2. Star-Delta Starter

Metode Star-Delta merupakan metode starting yang bertujuan untuk mengurangi arus start motor dengan cara mengubah hubungan belitan motor. Pada saat starting, motor dihubungkan dalam konfigurasi star, kemudian setelah motor mencapai kecepatan tertentu, hubungan diubah menjadi delta. Dari sisi arus start, metode Star-Delta mampu menurunkan arus start hingga sekitar sepertiga dibandingkan metode DOL. Hal ini menjadikan metode ini lebih ramah terhadap sistem listrik dan mengurangi hentakan mekanis pada motor

Dari segi biaya, metode Star-Delta memiliki biaya yang lebih tinggi dibandingkan DOL karena membutuhkan komponen tambahan seperti beberapa kontaktor dan timer. Namun, biaya ini masih tergolong menengah dan jauh lebih murah dibandingkan sistem berbasis elektronik seperti VFD.

Tingkat kompleksitas metode Star-Delta berada pada tingkat menengah. Rangkaian kontrol lebih kompleks dibandingkan DOL karena memerlukan sistem interlock dan pengaturan waktu perpindahan dari star ke delta. Meskipun demikian, metode ini masih relatif mudah diterapkan pada panel konvensional.

Metode Star-Delta banyak digunakan pada aplikasi motor berdaya menengah dengan beban yang tidak terlalu berat saat start, seperti pompa, kipas, dan kompresor ringan.

3. Autotransformer Starter

Metode autotrafo menggunakan transformator dengan tap tertentu untuk menurunkan tegangan yang diberikan ke motor saat starting. Setelah motor mencapai kecepatan tertentu, tegangan penuh diberikan dengan melewati autotrafo. Dalam hal arus start, metode autotrafo mampu mengatur besar arus start sesuai dengan tap tegangan yang digunakan. Arus start dapat dikurangi secara lebih fleksibel dibandingkan metode Star-Delta.

Dari sisi biaya, metode autotrafo memiliki biaya yang relatif tinggi karena memerlukan transformator khusus yang berukuran besar dan mahal. Selain itu, kebutuhan ruang panel juga lebih besar. Tingkat kompleksitas metode ini cukup tinggi, baik dari sisi rangkaian

maupun pemasangan. Perawatan autotrafo juga memerlukan perhatian khusus karena melibatkan komponen elektromagnetik berdaya besar.

Dalam hal aplikasi, metode autotrafo biasanya digunakan pada motor berdaya besar yang memerlukan pengurangan arus start secara signifikan, namun belum memerlukan kontrol kecepatan yang kompleks.

4. Variable Frequency Drive (VFD)

Variable Frequency Drive (VFD) merupakan metode starting modern yang menggunakan perangkat elektronik daya untuk mengatur frekuensi dan tegangan motor secara bertahap. Dengan VFD, motor dapat di-start dengan frekuensi rendah dan dinaikkan secara perlahan hingga mencapai kondisi operasi normal.

Dari sisi **arus start**, VFD memberikan arus start paling rendah dibandingkan metode lainnya karena proses starting dilakukan secara bertahap dan terkontrol. Hal ini sangat menguntungkan bagi sistem listrik dan umur motor.

Namun, dari segi **biaya**, VFD memiliki biaya paling tinggi karena menggunakan komponen elektronik daya yang kompleks. Selain biaya awal yang tinggi, perawatan dan penggantian komponen juga memerlukan biaya lebih besar. Tingkat **kompleksitas** VFD tergolong tinggi, baik dari sisi instalasi, pengaturan parameter, maupun pemeliharaan. Pengoperasian VFD memerlukan pengetahuan teknis yang lebih mendalam dibandingkan metode konvensional.

Dalam hal **aplikasi**, VFD banyak digunakan pada sistem industri modern yang memerlukan pengaturan kecepatan motor, efisiensi energi, dan kontrol proses yang presisi, seperti conveyor, pompa variabel, dan sistem otomasi industri.

2.2.6 Rangkaian Star-Delta

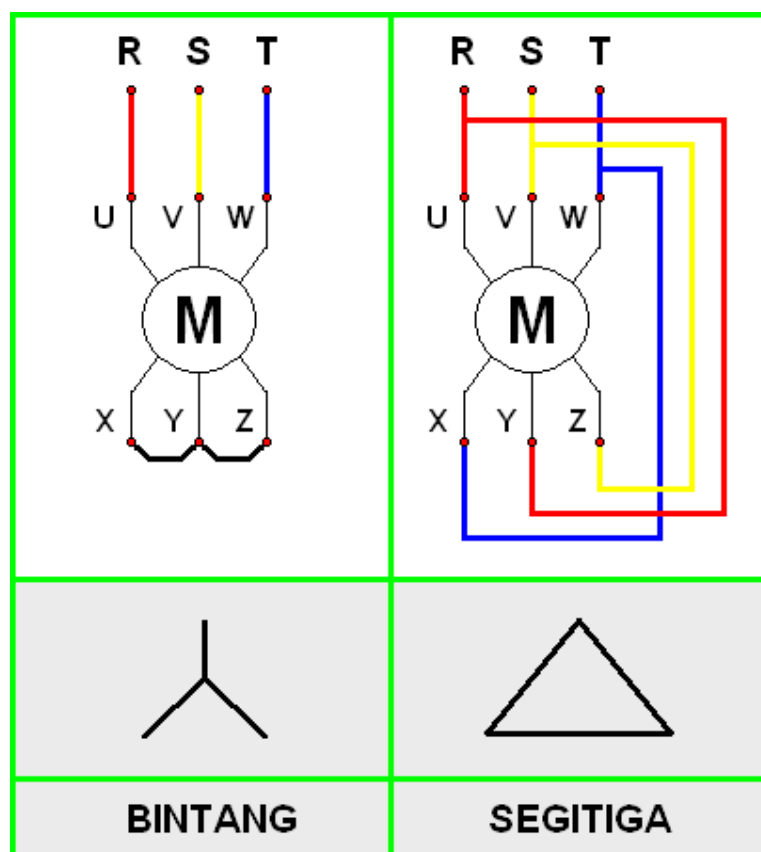
Rangkaian Star-Delta merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam pengendalian starting awal motor listrik, terutama pada motor yang membutuhkan daya besar.[3]

Metode Star-Delta bekerja dengan prinsip **pengurangan tegangan yang diterima oleh lilitan motor pada saat starting**. Pada kondisi awal, motor dihubungkan dalam konfigurasi star (Y). Dalam hubungan ini, setiap lilitan motor hanya menerima tegangan

sebesar $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari tegangan line, sehingga arus yang mengalir pada motor juga berkurang secara signifikan.

Setelah motor mencapai kecepatan mendekati kecepatan nominal, hubungan lilitan motor diubah menjadi delta (Δ). Pada kondisi ini, motor menerima tegangan penuh sehingga dapat menghasilkan torsi nominal dan bekerja secara normal. Proses perpindahandari hubungan star ke delta dilakukan menggunakan kontaktor dan timer, serta dilengkapi dengan sistem interlock untuk mencegah hubungan star dan delta aktif secara bersamaan.

Pemilihan waktu perpindahan sangat penting. Jika perpindahan dilakukan terlalu cepat, motor belum mencapai kecepatan yang cukup sehingga dapat menyebabkan lonjakan arus. Sebaliknya, jika perpindahan terlalu lambat, motor akan bekerja terlalu lama dengan torsi rendah, yang dapat mengurangi efisiensi sistem.



Gambar 2. 3 Star-Delta Sumber : <https://electric-mechanic.com>

Saat motor pertama kali dinyalakan, arus start yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem listrik, sehingga diperlukan metode yang mampu menurunkan arus tersebut. Pada tahap awal, motor dijalankan dalam konfigurasi star (bintang) untuk mengurangi arus start,

kemudian setelah motor mencapai kecepatan tertentu, rangkaian akan berubah menjadi konfigurasi delta (segitiga) agar motor dapat bekerja secara normal dengan daya penuh. Dengan prinsip kerja ini, rangkaian Star-Delta berfungsi untuk menurunkan arus awal tanpa mengurangi kinerja motor, sehingga metode ini menjadi pilihan utama dalam sistem starting motor listrik tiga fasa.[3]

2.2.7 Hubungan Tegangan dan Arus pada Hubungan Star dan Delta

Hubungan antara tegangan dan arus pada motor induksi tiga fasa sangat dipengaruhi oleh konfigurasi lilitan motor yang digunakan. Perbedaan konfigurasi ini secara langsung memengaruhi besarnya arus start dan torsi motor. Pada hubungan star (Y), tegangan yang diterima oleh masing-masing lilitan motor lebih kecil dibandingkan dengan tegangan line. Hal ini menyebabkan arus yang mengalir pada lilitan motor juga lebih kecil. Karena arus berbanding lurus dengan tegangan, maka hubungan star efektif digunakan untuk menekan arus start motor. Sebaliknya, pada hubungan delta (Δ), setiap lilitan motor menerima tegangan penuh dari sumber. Akibatnya, arus yang mengalir lebih besar dan motor mampu menghasilkan torsi nominal. Oleh karena itu, hubungan delta digunakan pada kondisi operasi normal setelah motor mencapai kecepatan kerja.

Perbedaan karakteristik tegangan dan arus antara hubungan star dan delta inilah yang menjadi dasar penerapan metode Star-Delta sebagai metode starting motor induksi tiga fasa.

2.2.7.1 Konfigurasi Star dan Delta

1. Hubungan Star (Y):

Pada hubungan star, ujung-ujung lilitan saling terhubung membentuk satu titik netral, sehingga setiap lilitan hanya menerima tegangan fase, yang merupakan sebesar $\frac{v_L}{\sqrt{3}}$ dari tegangan Line- to-line

Tegangan fasa

$$v_{Ph}Y = \frac{v_L}{\sqrt{3}}$$

$$v_{Ph}Y = \frac{380}{1,73} = 219,4 \text{ Volt}$$

Karena setiap lilitan menerima tegangan lebih kecil, arus yang mengalir pada motor juga lebih kecil dibandingkan konfigurasi delta. Arus line pada hubungan star sama dengan arus fasa:

2. Hubungan Delta (Δ):

Pada hubungan delta, masing-masing lilitan terhubung dalam bentuk segitiga, sehingga setiap lilitan menerima tegangan penuh line-to-line.

$$\text{Tegangan fasa: } V_{ph,\Delta} = V_L = 380 \text{ Volt}$$

Arus line pada hubungan delta berkaitan dengan arus fasa melalui faktor akar tiga:

$$I_{L,\Delta} = \sqrt{3} \times I_{ph,\Delta}$$

$$I_{L,\Delta} = 1,732 \times I_{ph}$$

Karena hubungan fasa dan line berbeda antara star dan delta, maka arus start yang terjadi juga berbeda. Secara kasar, jika kita bandingkan arus start suatu motor dalam konfigurasi delta dengan konfigurasi star saat start tanpa beban atau pada beban ringan:

$$I_{start,Y} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_{start\Delta} = 0,577 I_{start\Delta}$$

Sehingga, secara teori, arus start pada hubungan star akan sekitar 58% dari arus start pada hubungan delta (karena $1/\sqrt{3} \approx 0,577$). Teori ini banyak dikutip dalam literatur starter motor tiga fasa. [17]

Tabel 2.2 Simbol Dan Notasi

No	Simbol / Notasi	Keterangan	Satuan
1	VL	Tegangan saluran (line voltage)	Volt (V)
2	Vph	Tegangan fasa (phase voltage)	Volt (V)
3	IL	Arus saluran (line current)	Ampere (A)
4	Iph	Arus fasa (phase current)	Ampere (A)
5	$\sqrt{3}$	Faktor hubungan Star-Delta	—
6	P	Daya listrik	Watt (W)
7	n	Kecepatan putar motor	RPM
8	s	Slip motor induksi	—

9	$\cos \phi$	Faktor daya	—
10	f	Frekuensi sumber	Hertz (Hz)
11	MCB	Miniature Circuit Breaker	—
12	OL	Thermal Overload Relay	—
No	Simbol / Notasi	Keterangan	Satuan
13	K1	Kontaktor utama	—
14	K2	Kontaktor star (bintang)	—
15	K3	Kontaktor delta (segitiga)	—
16	T	Timer Star–Delta	Detik (s)
17	PB Start	Push Button Start (NO)	—
18	PB Stop	Push Button Stop (NC)	—
19	L1	Lampu indikator power	—
20	L2	Lampu indikator star	—
21	L3	Lampu indikator delta	—
22	L4	Lampu indikator trip / fault	—

2.2.8 Magnetic Contactor

Magnetic Contactor merupakan suatu perangkat listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Di dalam kontaktor terdapat kumparan (coil) yang apabila dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet pada inti besinya. Medan magnet ini menyebabkan kontak bergerak akibat tarikan gaya magnet tersebut. Saat kumparan aktif, kontak bantu NO (Normally Open) akan tertutup, sedangkan kontak bantu NC (Normally Close) akan terbuka.



Gambar 2. 4 Kontaktor
Sumber : <https://www.anakteknik.co.id>

Secara umum, kontaktor memiliki dua jenis kontak, yaitu kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama berfungsi untuk mengalirkan arus pada rangkaian daya, sementara kontak bantu digunakan dalam rangkaian kontrol untuk mengatur sistem kerja kontaktor. Di dalam kontaktor elektromagnetik juga terdapat kumparan utama yang melilit pada inti besi serta kumparan hubung singkat yang berfungsi sebagai peredam getaran ketika kedua inti besi saling menempel. Dengan cara kerja tersebut, magnetic contactor berperan penting dalam sistem kendali motor listrik, terutama dalam proses menghubungkan dan memutus arus listrik secara otomatis dan aman.[14]

2.2.8 Miniature Circuit Breaker (MCB)



Gambar 2.6 Miniature Circuit Breaker MCB

<https://sinarmandirisejahtera.co.id>

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan perangkat proteksi listrik yang berfungsi untuk melindungi rangkaian listrik dari gangguan arus lebih (overcurrent) dan hubung singkat (short circuit). MCB bekerja secara otomatis dengan memutus aliran listrik apabila arus yang mengalir melebihi kapasitas nominal yang telah ditentukan. Prinsip kerja MCB didasarkan pada mekanisme termal dan magnetik, di mana elemen termal merespons arus lebih dalam waktu tertentu, sedangkan elemen magnetik merespons gangguan hubung singkat secara cepat.

Pada panel starter motor induksi tiga fasa metode Star-Delta, MCB dipasang pada sisi input sumber tegangan sebagai pengaman utama rangkaian daya dan rangkaian kontrol. Keberadaan MCB sangat penting untuk mencegah kerusakan komponen panel seperti kontaktor, overload relay, dan motor induksi akibat gangguan listrik. Selain itu, MCB juga berfungsi sebagai alat pemutus manual saat dilakukan perawatan atau pengujian panel. Dengan demikian, penggunaan MCB meningkatkan tingkat keselamatan sistem serta

keandalan pengoperasian panel Star–Delta. Berbeda dengan thermal overload relay yang melindungi motor dari beban lebih, MCB lebih difokuskan pada perlindungan rangkaian listrik dari gangguan hubung singkat dan arus lebih secara cepat.”

2.2.9 Thermal Overload Relay (OL)



Gambar 2.7 Thermal Overload Relay

Thermal Overload Relay merupakan perangkat pengaman yang digunakan untuk melindungi motor induksi dari kondisi beban lebih (overload). Overload relay bekerja berdasarkan prinsip pemanasan elemen bimetal akibat arus yang mengalir melalui motor. Apabila arus motor melebihi arus nominal dalam jangka waktu tertentu, elemen bimetal akan melengkung dan memutus kontak rangkaian kontrol, sehingga motor berhenti beroperasi.

Dalam sistem Star–Delta, overload relay dipasang secara seri dengan rangkaian daya motor dan dihubungkan ke rangkaian kontrol melalui kontak bantu. Overload relay tidak bereaksi terhadap arus start sesaat, tetapi dirancang untuk melindungi motor dari arus berlebih yang berlangsung terus-menerus, misalnya akibat beban mekanik yang terlalu

berat atau kegagalan perpindahan hubungan star ke delta. Dengan adanya overload relay, motor induksi terlindungi dari pemanasan berlebih yang dapat merusak isolasi lilitan dan memperpendek umur motor.

“Pada penelitian ini, overload relay disetel berdasarkan arus nominal motor, sehingga tidak bekerja saat arus start sesaat, tetapi akan aktif apabila terjadi arus lebih yang berlangsung kontinu seperti yang dianalisis pada BAB IV.”

2.2.10 Timer



Gambar 2.8 Timer

Timer merupakan komponen kontrol yang berfungsi sebagai pengatur waktu dalam proses perpindahan hubungan motor dari star ke delta. Timer bekerja dengan memberikan waktu tunda (delay time) sejak motor mulai dioperasikan dalam hubungan star hingga sistem berpindah ke hubungan delta. Pengaturan waktu ini sangat penting karena berkaitan langsung dengan kestabilan arus dan torsi motor saat starting.

Pada saat motor pertama kali dihidupkan, timer akan aktif bersamaan dengan kontaktor star. Setelah waktu tunda yang telah ditentukan tercapai, timer akan memutus kontaktor star dan mengaktifkan kontaktor delta. Pemilihan waktu yang terlalu singkat dapat menyebabkan motor belum mencapai kecepatan yang cukup sehingga menimbulkan

lonjakan arus saat perpindahan. Sebaliknya, waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan motor bekerja terlalu lama pada torsi rendah. Oleh karena itu, pengaturan timer harus disesuaikan dengan karakteristik motor dan kondisi beban agar sistem dapat bekerja secara optimal dan aman.

Pada penelitian ini, waktu perpindahan hubungan star ke delta diatur selama 7 detik, berdasarkan hasil pengamatan arus start motor agar perpindahan berlangsung stabil tanpa lonjakan arus yang signifikan.”

2.2.11 Push Button



Gambar 2.9 Push Button

Push button merupakan saklar tekan yang digunakan sebagai alat kendali manual dalam sistem kontrol panel Star–Delta. Push button umumnya terdiri dari tombol start (Normally Open/NO) dan tombol stop (Normally Close/NC). Tombol start berfungsi untuk mengaktifkan rangkaian kontrol sehingga motor mulai beroperasi, sedangkan tombol stop berfungsi untuk memutus rangkaian kontrol dan menghentikan motor secara manual.

Dalam pengoperasian panel, push button memberikan kemudahan bagi operator untuk mengendalikan motor secara langsung. Selain itu, push button juga berperan sebagai bagian dari sistem keselamatan, karena operator dapat segera menghentikan motor apabila

terjadi kondisi abnormal. Dengan adanya push button, sistem panel menjadi lebih fleksibel, mudah dioperasikan, dan aman digunakan dalam lingkungan industri maupun laboratorium. “Dalam rangkaian kontrol, push button start dikombinasikan dengan kontak bantu kontaktor untuk membentuk rangkaian pengunci (self-holding) sehingga motor tetap beroperasi meskipun tombol start dilepas.”

2.2.12 Lampu Indikator



Gambar 2.10 Lampu Indikator

Lampu indikator merupakan komponen visual yang berfungsi sebagai penunjuk kondisi operasi panel. Lampu indikator memberikan informasi kepada operator mengenai status kerja sistem secara langsung dan mudah dipahami. Pada panel Star-Delta, lampu indikator umumnya terdiri dari lampu power (menandakan panel mendapat suplai tegangan), lampu star (menunjukkan motor beroperasi dalam hubungan star), lampu delta (menunjukkan motor beroperasi dalam hubungan delta), serta lampu trip atau fault (menunjukkan adanya gangguan atau proteksi yang bekerja).

Penggunaan lampu indikator sangat membantu dalam proses monitoring dan pengawasan sistem, terutama saat pengujian dan pemeliharaan panel. Dengan melihat lampu indikator, operator dapat mengetahui kondisi motor tanpa harus melakukan pengukuran langsung. Hal ini meningkatkan efisiensi pengoperasian serta mengurangi risiko kesalahan dalam pengendalian motor induksi.

“Lampu indikator juga berperan penting selama proses pengujian, karena memudahkan pengamatan tahapan kerja panel tanpa harus melakukan pengukuran langsung secara terus-menerus.”

2.2.13 Riel Din



Gambar 2.11 Riel Din

<https://www.emat.com.uy/>

Rel DIN adalah batang logam standar yang digunakan sebagaiudukan pemasangan komponen listrik di dalam panel, seperti MCB, kontaktor, relay, timer, terminal block, dan power supply. Kata DIN berasal dari Deutsches Institut für Normung, yaitu lembaga standarisasi Jerman yang menetapkan ukuran dan bentuk rel agar komponen dari berbagai merek tetap kompatibel.

Fungsi Rel DIN

1. Sebagaiudukan komponen panel
2. Memudahkan pemasangan dan pelepasan komponen tanpa harus dibor satu per satu.
3. Menjaga kerapian dan keteraturan panel
4. Semua komponen tersusun sejajar dan rapi sehingga memudahkan perawatan.
5. Mempercepat proses instalasi
6. Teknisi cukup “klik” atau “snap” komponen ke rel.

7. Meningkatkan keselamatan (K3)
8. Komponen terpasang kuat, tidak mudah lepas akibat getaran.

Pada panel starter Star-Delta, rel DIN digunakan untuk memasang: MCB, Relay kontrol, Timer Star-Delta, Terminal block.

Penggunaan rel DIN membuat panel mudah dikembangkan, misalnya jika ingin menambah PLC, relay proteksi, atau indikator tambahan.

2.2.15 Box Panel



Gambar 2.12 Box Panel

<https://www.indiamart.com/>

Box panel merupakan rumah panel listrik yang berfungsi sebagai tempat pemasangan serta pelindung seluruh komponen kelistrikan yang digunakan pada sistem panel starter Star-Delta, seperti MCB, kontaktor, relay, timer, dan terminal. Box panel berperan penting dalam melindungi komponen dari pengaruh lingkungan luar seperti debu, kelembapan, dan benturan, serta mencegah kontak langsung dengan bagian yang bertegangan sehingga dapat meningkatkan keselamatan kerja. Selain itu, penggunaan box

panel juga mendukung kerapian instalasi, memudahkan proses perawatan dan pemeriksaan, serta memastikan sistem panel dapat dioperasikan dengan aman dan sesuai dengan standar keselamatan kelistrikan.

2.2.14 AutoCAD

Media yang umum digunakan untuk menampilkan objek dalam bentuk visual adalah perangkat lunak *AutoCAD*. Software ini memberikan kemudahan dalam proses pembelajaran karena bersifat interaktif dan mudah dipahami. *AutoCAD (Automatic Computer Aided Design)* merupakan program perangkat lunak yang berfungsi layaknya komputer otomatis dalam menggambar teknik. *AutoCAD* dimanfaatkan sebagai sarana pembelajaran untuk mengenalkan konsep proyeksi gambar, bentuk volume objek, serta tahapan pengoperasian software itu sendiri. [15]

2.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Panel Listrik

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada instalasi listrik bertujuan untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja akibat bahaya listrik seperti sengatan listrik, hubung singkat, dan kebakaran. Panel listrik merupakan bagian dari instalasi listrik yang memiliki tingkat risiko tinggi karena mengandung komponen bertegangan dan arus listrik yang besar.

Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), setiap panel listrik harus dilengkapi dengan sistem proteksi, sistem pentanahan, serta pengaman mekanis guna menjamin keselamatan pengguna dan peralatan [PUIL, 2011]. Selain itu, peraturan K3 listrik di tempat kerja mewajibkan penerapan prosedur kerja yang aman dan penggunaan alat pelindung diri dalam pengoperasian serta pemeliharaan panel listrik [Permenaker No. 12 Tahun 2015]. Sistem proteksi pada panel listrik meliputi pengaman arus lebih, pengaman hubung singkat, serta pengaman beban lebih. Penerapan sistem proteksi tersebut bertujuan untuk mencegah kerusakan peralatan dan mengurangi risiko kecelakaan kerja akibat gangguan listrik [PUIL, 2020].