

**ANALISIS SISTEM *CONTROL* KECEPATAN PADA
MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN
RANGKAIAN DOL+ VFD DAN STAR DELTA
DI PT.DOMAS AGROINTI PRIMA.**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**Vikri Vazila
1907220011**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Vikri Vazila

NPM : 1907220011

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **ANALISIS SISTEM *CONTROL* KECEPATAN
MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN
MENGUNAKAN RANGKAIAN DOL+ VFD DAN
STAR DELTA DI PT.DOMAS AGROINTI PRIMA.**

Bidang Ilmu : Tegangan Tinggi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Mengetahu dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T.,M.T

Dosen Penguji I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T.

Dosen Penguji II



Elvy Sahnur Nst, S.T.,M.pd

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Vikri Vazila
Tempat/Tanggal Lahir : Desa pakam, 17 Juni 2001
Npm : 1907220011
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya,bahwa laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul :

ANALISIS SISTEM *CONTROL* KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN RANGKAIAN DOL+ VFD,DAN STAR DELTA DI PT.DOMAS AGROINTI PRIMA

Bukan Merupakan Plagiarisme,Pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain,yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara Orisinil dan Ontentik.

Bila Kemudian Hari diduga Kuat ada ketidak sesuaian, antara Fakta dan kenyataan ini, Saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi,dengan Sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan Kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan,11 Oktober 2024

Saya yang menyatakan,



Vikri Vazila

ABSTRAK

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharaannya. Rangkaian daya untuk motor induksi 3 fasa, 380V, 50Hz, 3HP dengan metode bintang segitiga merupakan rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan daya pada motor listrik. Permasalahan yang ada pada motor induksi ialah pada saat start motor, arus starting motor dapat mencapai lima kali sampai tujuh kali dari arus nominalnya. Fenomena melonjaknya arus awal ketika start motor induksi bisa mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada pasokan tegangan. Salah satu cara untuk mengurangi arus mula pada saat starting motor induksi 3 fase dengan cara mengurangi tegangan suplai memakai saklar Bintang-Segitiga. Tujuan penelitian ini Untuk menganalisis cara mengurangi lonjakan arus pada motor menggunakan *direct on line* dan Untuk menganalisis bagaimana sistem kerja pada rangkaian motor *star delta* sehingga arus yang terjadi tidak melonjak tinggi saat starter di PT. Domas Agointi Prima. Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif. Teori yang digunakan adalah teori motor induksi dan motor induksi 3 fasa. nilai arus pada masing – masing fasa R, S dan T tidak mengalami lonjakan arus starting disebabkan karena menggunakan rangkaian starter unit VFD, kecepatan motor dapat diatur dengan cara mengatur frekuensi pada starter unit VFD sehingga tidak mengalami lonjakan arus start pada motor induksi 3 fasa. Dan pada rangkaian star delta di tambah relay omron H3CR-A8 untuk timer agar perpindahan dari star ke delta mulus dan mendapat suplai tegangan yang sesuai.

Kata Kunci : Motor Induksi, Rangkaian Dol, Star Delta, Motor Induksi 3 Fasa

ABSTRACT

Induction motors are the most widely used motors today, because they have a simple construction, are relatively cheap, lighter and have high efficiency and are easy to maintain. The power circuit for a 3-phase, 380V, 50Hz, 3HP induction motor with the star-triangle method is a circuit used to distribute power to an electric motor. The problem with induction motors is that when starting the motor, the starting current of the motor can reach five to seven times its nominal current. The phenomenon of the initial current spike when starting the induction motor can cause a voltage drop in the voltage supply. One way to reduce the initial current when starting a 3-phase induction motor is to reduce the supply voltage using a Star-Triangle switch. The purpose of this study is to analyze how to reduce the current spike in the motor using direct on line and to analyze how the system works in the star delta motor circuit so that the current that occurs does not spike high when starting at PT. Domas Agrouinti Prima. The research method uses a quantitative method. The theory used is the theory of induction motors and 3-phase induction motors. the current value on each phase R, S and T does not experience a starting current spike because it uses a VFD starter unit circuit, the motor speed can be adjusted by adjusting the frequency on the VFD starter unit so that it does not experience a starting current spike on the 3-phase induction motor. And in the star delta circuit, an omron H3CR-A8 relay is added for the timer so that the transition from star to delta is smooth and gets the appropriate voltage supply.

Key words: Induction motor, DOL circuit, star delta, 3 phase induction motor

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Sistem Control Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Rangkaian Dol, Star Delta Di Pt.Domias Agroiinti Prima” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Ayahanda tercinta Ngadino, Ibunda tercinta Nur asmah dan serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moral maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Ibu Elvy Sahnur Nst, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Ibu Rimbawati, S.T., M.T. selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

9. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A1 Pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
10. Seluruh Staff Tata Usaha di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapakan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin.

Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 27 Maret 2023



VIKRI VAZILA

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Motor Induksi.....	7
2.2.2 Klasifikasi Motor Induksi	9
2.2.3 Karakteristik Motor Induksi.....	10
2.2.4 Konstruksi motor induksi 3 fasa	11
2.2.5 Prinsip kerja motor induksi	14
2.2.6 Efisiensi pada Motor Induksi	15
2.2.7 Maintenance Pada Motor induksi	17
2.2.8 Torsi Motor	18
2.3 Karakteristik Arus Starting pada Motor Induksi.....	18
2.4 Starting Motor Induksi	19
2.4.1 Rangkaian Daya	26
2.4.2 Panel Distribusi	27
2.4.3 Kontaktor	29
2.4.4 <i>Thermal Overload Relay</i> (TOR)	30
2.4.5 Alat Ukur Listrik.....	31

2.5	<i>Variabel Frekuensi Drive (VFD)</i>	34
2.5.1	Prinsip Kerja VFD (<i>Variable Frequency Drive</i>).....	34
2.5.2	Spesifikasi VFD (<i>Variable Frekuensi Drive</i>)	35
2.5.3	Kelebihan dan kekurangan Vfd.....	36
2.5.4	Aplikasi Industri yang Menggunakan Inverter VSD, VFD	39
2.5.5	Pertimbangan dalam Memilih <i>Inverter</i> VFD	40
2.5.6	Jenis VFD berdasarkan daya Motor	41
2.5.7	Variable Speed Drive (VSD)	42
2.5.8	<i>Timer</i> Omron H3CR-A8	43
2.5.9	Inverter	43
2.5.10	Pengendalian Tegangan Inverter.....	44
2.5.11	Struktur Inverter	44
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1	Tempat dan waktu	46
3.2	Peralatan Penelitian	46
3.3	Data Penelitian	46
3.4	Jalannya Penelitian.....	46
BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1	Hasil Simulasi	Error! Bookmark not defined.
4.2	Analisis Kontrol Rangkaian DOL.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Analisis Kontrol Rangkaian Star-Delta.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.	Perhitungan Daya, Tegangan dan Arus Rangkaian Star-Delta	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.	Perhitungan Rugi dan Efisiensi Motor	Error! Bookmark not defined.
4.3.3.	Pembahasan.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 5	PENUTUP	Error! Bookmark not defined.
5.1.	Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2.	Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi Motor Sederhana.....	11
Gambar 2. 2 Rotor Belitan	13
Gambar 2. 3 Rotor Sangkar.....	14
Gambar 2. 4 Karakteristik Arus Start Pada Motor induksi	19
Gambar 2. 5 Rangkaian Kontrol DOL	21
Gambar 2. 6 Rangkaian Daya DOL	22
Gambar 2. 7 Rangkaian Kontrol Star Delta	24
Gambar 2. 8 Rangkaian Kontrol Daya Motor Star Delta.....	25
Gambar 2. 9 Panel Indikator	28
Gambar 2. 10 Mini Cirkuit Braker (MCB)	29
Gambar 2. 11 Kontaktor.....	30
Gambar 2. 12 Thermal Overload Relay (TOR)	31
Gambar 2. 13 Multimeter	32
Gambar 2. 14 Tespen	32
Gambar 2. 15 Tang Ampere.....	33
Gambar 2. 16 Rotor Sangkar.....	75
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	48
Gambar 4. 1 Singgel Line Diagram Starter DOL Dan VFD(Variabel Frekuensi Drive)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 Rangkaian Kontrol DOL	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3 Rangkaian Daya DOL	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4 Rangkaian DOL Menggunakan VFD.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Name Plate Motor 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Arus Motor Rangkaian DOL.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Tegangan Rangkaian DOL ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 8 Rangkaian Kontrol Star Delta	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 9 Rangkaian Daya Star Delta	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 10 Name Plate Motor 2	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi vfd yang digunakan.....	35
Table 4. 1 Spesifikasi Motor Uji DOL.....	Error! Bookmark not defined.
Table 4. 2 Data Motor Rangkaian DOL.....	Error! Bookmark not defined.
Table 4. 3 Data Motor Rangkaian DOL Menggunakan VFD	Error! Bookmark not defined.
Table 4. 4 Spesifikasi Motor Uji Star Delta.....	Error! Bookmark not defined.
Table 4. 5 Pengujian Tegangan dan Arus Rangkaian Star-Delta	Error! Bookmark not defined.
Table 4. 6 Daya Motor Hubung Star-Delta.....	Error! Bookmark not defined.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharaannya dibandingkan dengan motor DC. Namun dalam hal pengaturan kecepatan dan torsi motor induksi bukanlah suatu permasalahan yang mudah untuk dilakukan, dengan berkembangnya teknologi sistem kontrol salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan Inverter satu fasa dan frekuensi 50 Hz untuk digunakan mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa. Pengaturan frekuensi tegangan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan inverter. Inverter mengkonversikan sumber tegangan AC 3 fasa maupun sumber tegangan AC 1 fasa yang memiliki frekwensi 50 Hz konstan menjadi sumber tegangan AC 3 fasa yang frekuensinya dapat diatur antara 0 – 50 Hz (Evalina, Azis, and Zulfikar 2018).

Rangkaian daya untuk motor induksi 3 fasa, 380V, 50Hz, 3HP dengan metode bintang segitiga merupakan rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan daya pada motor listrik. Permasalahannya adalah untuk mengendalikan motor induksi diperlukannya rangkaian daya, dimana starting awal motor memberikan dampak arus yang besar. Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat melakukan starting pada motor 3 fasa dengan metoda bintang(Y) – segitiga (Δ), Sebagai evaluasi dibuatnya suatu rangkaian daya metoda bintang segitiga, dimana hubung bintang digunakan untuk mengurangi arus starting yang besar, serta hubung segitiga digunakan untuk menstabilkan arus motor menjadi arus nominal sesuai nameplate motor. Hasil akhir menunjukkan bahwa untuk membuat panel distribusi terlebih dahulu yang dilakukan yaitu membuat perencanaan yang meliputi, perhitungan beban yang terpasang, pemilihan MCB sesuai dengan beban, pemilihan luas penampang sesuai dengan beban dan jenis kabel. Dimana dinyatakan dari sumber jala-jala 3 fasa, 380V yang dialirkan ke dalam rangkain daya untuk kendali motor 3 fasa, 380V, 3 HP, 50Hz metoda bintangsegitiga, diketahui bahwa beban yang terpasang 3 HP, arus pada hubung bintangnya 7,36 A, arus segitiga ataupun arus

pada beban 4,26A , MCB yang dipakai memiliki kapasitas 17,04A, serta luas penampangnya 4,8 mm² dengan jenis kabel NYM (Andreansyah 2019).

Permasalahan yang ada pada motor induksi ialah pada saat start motor, arus starting motor dapat mencapai lima kali sampai tujuh kali dari arus nominalnya. Fenomena melonjaknya arus awal ketika start motor induksi bisa mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada pasokan tegangan. penyebab adanya arus starting tinggi pada motor karena motor listrik membutuhkan torsi awal yang besar agar dapat melawan inersianya dan inersia bebannya dari keadaan diam. Tujuan dari penelitian ini diantaranya untuk mengetahui nilai arus starting pada motor induksi 3 fasa ketika menggunakan metode DOL (*Direct On Line*) rangkaian *star delta*, *variable frequency drive*, mengetahui rangkaian yang lebih aman untuk digunakan pada motor induksi agar dampak arus starting nya tidak buruk (Arifin Muhammad 2021).

Salah satu cara untuk mengurangi arus mula pada saat starting motor induksi 3 fase adalah dengan cara mengurangi tegangan suplay yaitu, memakai saklar Bintang-Segitiga (*star-delta starter*). Dalam hal ini tegangan yang diberikan hanya 58% dari nominal dan mengakibatkan momen puntir starting turun menjadi 83% dari nominal, maka percepatannya menjadi kecil dan putaran normal dicapai lebih lama. Sehingga momen starting yang hanya 33% dari seharusnya. Secara teoritis arus starting menjadi turun, yaitu : 2 kali arus nominal. Tetapi perlu dikemukakan di sini bahwa arus starting teoretis di atas hanya dapat terlaksana bila dipergunakan star-delta starter tipe "*closed-transition*", yaitu pada saat perpindahan dari bintang (*star*) ke segitiga (*delta*) tidak terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor, tapi diselang dengan tahanan. Pada starter tipe "*open-transition*" akan terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor pada saat perpindahan dari bintang ke segitiga. Jadi dapat dikatakan bahwa, starter bintang-segitiga tipe "*open-transition*" tidak akan mengurangi arus starting langsung. Maka dapat dikatakan bahwa starter bintang-segitiga tipe "*opentransition*" tidak direkomendasikan untuk starting motor induksi 3 fase.(Induksi and Fasa 2016)

Berkaitan dengan hal tersebut maka penelitian ini akan membahas "Analisis Sistem Kontrol Pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Rangkaian DOL, STAR DELTA di PT.Domias Agointi Prima".

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana cara mengurangi lonjakan arus pada motor menggunakan *direct on line* (DOL)?
- 2) Bagaimana sistem kerja pada rangkaian motor star delta sehingga arus yang terjadi tidak melonjak tinggi saat starter?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

- 1) Untuk menganalisis cara mengurangi lonjakan arus pada motor menggunakan *direct on line* (DOL).
- 2) Untuk menganalisis bagaimana sistem kerja pada rangkaian motor star delta sehingga arus yang terjadi tidak melonjak tinggi saat starter di PT. Domas Agroiinti Prima.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Mengingat luasnya permasalahan, dalam laporan ini penulis merasa perlu membatasi masalah yang akan di bahas. Mengingat kemampuan, pengalaman serta keterbatasan waktu dan tempat.

Maka ada hal-hal tertentu yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagaiberikut:

- 1) Analisis perbandingan motor induksi 3 fasa dengan sistem pengontrolan kecepatan menggunakan rangkaian Dol + Vfd pengembangan dari penelitian sebelumnya.
- 2) Data diambil dari PT. Domas Agroiinti Prima.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang di peroleh ialah :

1. Dapat dimanfaatkan sebagai referensi analisis untuk penelitian selanjutnya.
2. Menambah referensi pada bidang elektro, khususnya pada bidang motor induksi 3 fasa

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pada penelitian sebelumnya terkait pengurangan lonjakan starting pada motor 3 phase dengan cara menurunkan frekuensi. ditemukan bahwa frekuensi tegangan yang diatur rendah dan stabil untuk meminimalkan terjadinya lonjakan arus pada motor 3 fasa. menggunakan sistem star delta untuk mengurangi lonjakan starting listrik pada motor 3 fasa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa nilai arus listrik sebesar 0,59 A, nilai tegangan hubung bintang sebesar 219,65 V, dan nilai arus hubung singkat 1,01 A. (Hardine, Dian Budhi Santoso, and Ridwan Satrio Hadikusuma 2022).

Selanjutnya penelitian untuk mengetahui sistem kerja pada star delta pada motor induksi tiga fasa. menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Penelitian ini melakukan pengaturan kecepatan putaran motor induksi dari minimum hingga maksimum. (Addawami and Wibisono Putra 2022).

Penelitian tentang pembuatan sistem kendali hubungan bintang (Y)-segitiga motor induksi tiga fasa secara manual menggunakan metode pengumpulan data melalui survei, wawancara dan metode studi pustaka. Hasil penelitian menunjukkan rangkaian kontrol pengasutan dan proteksi bintang (Y)-segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa berbasis PLC dapat bekerja dengan baik. Arus pengasutan motor listrik menggunakan metode pengasutan bintang (Y)-segitiga (Δ) adalah 2.89 ampere. Hal ini menunjukkan bahwa pengasutan motor induksi dapat mengurangi tingginya arus pengasutan saat motor induksi mulai beroperasi. (Siburian, Jumari, and Simangunsong 2020)

Pada penelitian ini motor induksi tiga fasa mempunyai keunggulan dan juga mempunyai kekurangan, salah satu kekurangannya adalah arus starting besar yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu saluran. Pada motor induksi diperlukan suatu metode starting, yang bertujuan untuk mengurangi arus starting yang besar. Metode starting yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *starting direct on line* (DOL), star-delta, dan autotransformer, yang salah satunya dapat dioperasikan secara otomatis

dengan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC). Dari hasil penelitian diperoleh nilai arus starting motor induksi tiga fasa 10 Horse Power (HP) dengan metode starting *direct on line* (DOL) hubungan star sebesar 50,531 Amper, metode starting star-delta sebesar 29,301 Amper, metode *starting autotransformer* hubungan star 50% sebesar 12,792 Amper, 65% sebesar 21,618 Amper, 80% sebesar 32,747 Amper, dan diperoleh nilai torsi *starting direct on line* (DOL) hubungan star sebesar 49,479 N.m, *starting star-delta* sebesar 16,637 N.m, *starting autotransformer* hubungan star 50% sebesar 12,684 N.m, 65% sebesar 21,436 N.m dan 80% sebesar 32,471 N.m.(Nuari, Atmam, and Zondra 2018)

Pada penelitian berikut menemukan solusi untuk mengurangi arus awal starting motor induksi 3 fasa dengan cara mengurangi tegangan suplay dengan memakai saklar Bintang-Segitiga (*Star-Delta*). Tegangan yang diberikan hanya 58% dari nominal dan mengakibatkan momen puntir starting turun menjadi 83% dari nominal, maka percepatannya menjadi kecil dan putaran normal dicapai lebih lama. Sehingga momen starting yang hanya 33% dari seharusnya. Secara teoritis arus starting menjadi turun, yaitu: 2 kali arus nominal. Perlu diketahui bahwa arus starting di atas hanya dapat terlaksana bila digunakan *star-delta* starter tipe "*closed-transition*", yaitu pada saat perpindahan dari bintang (*star*) ke segitiga (*delta*) tidak terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor, tapi diselang dengan tahanan. Pada *starter* tipe "*open-transition*" akan terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor pada saat perpindahan dari bintang ke segitiga. Jadi dapat dikatakan bahwa, starter bintang-segitiga tipe "*open-transition*" tidak akan mengurangi arus starting langsung. Maka dapat dikatakan bahwa starter bintang-segitiga tipe "*open transition*" tidak direkomendasikan untuk starting motor induksi 3 fasa di perusahaan.(Induksi and Fasa 2016)

Tujuan penelitian berikut untuk mengetahui kesetabilan lonjakan awal putaran motor induksi tiga fasa dalam proses *starting*, perbedaan arus daya dan kecepatan motor. Penelitian ini menggunakan pendekatan pendekatan kuantitatif. Teknik penelitian dengan metode penelitian deskriptif dan penelitian korelasi. Metode pengumpulan data dengan observasi pada rangkaian star delta rangkaian manual dan PLC pada motor listrik 3 fasa. Hasil penelitian ini adalah rangkaian pengendali bintang segitiga dengan sistem manual, didapat beberapa selisih pada

arus yaitu 7.86 A pada proses bintang dan 4.07 A pada proses segitiga, serta daya yaitu 4395.82 Watt pada proses bintang dan 2272.41 Watt pada proses segitiga, perbedaan penggunaan rangkaian antara sistem PLC dan sistem manual pada rangkaian pengendali bintang segitiga terdapat perbedaan kecepatan pada motor 3 fasa yaitu sebesar 6 Rpm, dan tidak terjadi overshoot pada semua rangkaian saat penelitian PLC lebih stabil lonjakan arus awalnya yaitu 0.74 A jika dibandingkan dengan rangkaian pengendali bintang segitiga (H.Sutrisno 2011).

Permasalahan pada penelitian ini adalah pengendalian motor induksi diperlukan rangkaian daya, dimana starting awal motor memberi dampak arus yang cukup besar. Tujuan penelitian ini adalah agar mendapatkan starting pada motor 3 fasa dengan metode bintang(Y) – segitiga (Δ), Sebagai evaluasi dibuat suatu rangkaian daya metode bintang segitiga, dimana hubung bintang digunakan untuk mengurangi arus starting yang besar, serta hubung segitiga digunakan untuk menstabilkan arus motor menjadi arus nominal sesuai nameplate motor. Hasil akhir menunjukkan bahwa membuat panel distribusi terlebih dahulu yang dilakukan yaitu membuat perencanaan yang meliputi, perhitungan beban yang terpasang, pemilihan MCB sesuai dengan beban, pemilihan luas penampang sesuai dengan beban dan jenis kabel. Dimana dinyatakan dari sumber jala-jala 3 fasa, 380V yang dialirkan ke dalam rangkain daya untuk kendali motor 3 fasa, 380V, 3 HP, 50Hz metode bintang segitiga, diketahui bahwa beban yang terpasang 3 HP, arus pada hubung bintangnya 7,36 A, arus segitiga ataupun arus pada beban 4,26A , MCB yang dipakai memiliki kapasitas 17,04A, serta luas penampangnya 4,8 mm² dengan jenis kabel NYM.(Andreansyah 2019).

Permasalahan penggunaan motor induksi tiga fasa dengan sistem direct on-line memiliki arus starting yang lebih tinggi dan kecepatan putar konstan, tentu sangat tidak efektif dalam melakukan proses produksi. Salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi tiga fasa adalah dengan menggunakan Variable Frequency Drive (VFD). Sinkronisasi antara motor induksi dengan VFD dapat dilakukan dengan mengatur setting parameter VFD sesuai dengan nameplate motor tersebut. Dari data pengukuran yang dilakukan kecepatan putar motor induksi berbanding lurus dengan pemakaian energi listrik. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putar motor induksi yang tidak selalu maksimum

dapat menghemat pemakaian energi listrik yang berkelanjutan. Pemakaian energi listrik motor induksi tiga fasa ketika running dengan kecepatan putar pada set point 10% akan lebih hemat 9 kali dibandingkan dengan kecepatan putar pada set point 100% atau putaran maksimum.(Fakhri, Deavy, and Putri 2022).

Pada penelitian ini motor induksi dapat berputar secara konstan maupun berputar dengan kecepatan yang berubah-ubah. Untuk merubah kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan melakukan perubahan besaran arus, tegangan, atau frekuensi. Pada penelitian ini, akan dirancang sebuah Variable Frequency Drive Inverter (VFD Inverter) satu fasa dengan besaran frekuensi yang dapat diubah untuk mengatur kecepatan putaran motor induksi satu fasa 50 Watt. Frekuensi bisa berubah-ubah dengan mengatur nilai PWM dari sebuah mikrokontroler Atmega 328P. Metode tersebut dipilih karena pengaturan frekuensi dengan PWM memiliki rentang (range) yang lebar. Dari hasil pengujian inverter tersebut diperoleh rata-rata arus keluaran sebesar 0,15 A, rata-rata tegangan sebesar 139,46 VAC, dan rata-rata daya sebesar 22,68 Watt. Kecepatan putaran maksimal motor induksi yang diperoleh ketika frekuensi inverter sebesar 50 Hz adalah 2740 RPM. Besarnya kecepatan putaran motor induksi satu fasa tergantung dari nilai frekuensi yang diberikan. Gelombang yang dihasilkan VFD inverter ini termasuk gelombang kotak.(Yuono 2020).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Motor Induksi

Motor induksi adalah salah satu kekuatan pendorong yang paling sering digunakan dalam aplikasi industrial. Pada dasarnya, motor induksi bisa digunakan sebagai generator dengan menambahkan kapasitor pada generator output. Kapasitor yang terpasang pada output generator akan memasok daya reaktif yang akan meningkatkan tegangan output pada generator. Selain fungsinya adalah sebagai pendorong, motor induksi juga bisa digunakan sebagai generator, baik kapasitas daya generator besar maupun kecil. Pembangunan motor induksi umumnya sama dengan generator induksi, saat slip dibuat negatif, atau dengan kata lain kecepatan rotasi rotor (NR) dibuat lebih besar dari kecepatan sinkron (NS) maka mesin akan berfungsi sebagai generator dan tegangan output akan dikembalikan ke voltase

yang mengalir. Oleh karena itu, motor induksi bisa dioperasikan sebagai generator induksi. (Rimbawati et al. 2017)

Motor listrik merupakan mesin listrik yang memiliki peran penting dalam penggunaannya, yaitu sebagai penggerak mesin-mesin yang difungsikan menggantikan kerja manusia, seperti motor induksi 3 fasa. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan dan dapat ditemukan dalam setiap aplikasi industri seperti pompa, belt conveyour, dan lainlain. Motor induksi tiga fasa saat ini mempunyai peranan penting dalam memenuhi kebutuhan tersebut, dikarenakan motor induksi tiga fasa ini lebih efisien dibanding motor-motor listrik lainnya. Telah banyak industri-industri yang menggunakan motor induksi tiga fasa karena motor induksi memiliki beberapa keuntungan yaitu konstruksi yang sederhana, harganya relatif lebih murah, dan perawatan motor lebih mudah dibanding motor-motor lainnya. Hal inilah yang menjadikan motor induksi menjadi motor yang diminati oleh perusahaan industri. Dalam pengaplikasiannya, motor listrik memerlukan rangkaian starting dan pada penelitian ini kami menggunakan starting DOL dan menghitung daya yang di keluarkan pada oleh motor listrik tersebut.

Di dalam pengoperasian motor induksi 3 fasa biasanya selalu dilengkapi dengan suatu panel listrik yang di dalamnya terdapat rangkaian daya. Rangkaian daya sendiri berfungsi untuk menyediakan atau menyalurkan daya pada motor listrik. Dalam penelitian ini rangkaian daya yang akan digunakan adalah rangkaian daya hubung bintang - segitiga. Dimana cara kerjanya yaitu saat start awal motor hubungan bintang dan selanjutnya motor hubung segitiga. Permasalahannya adalah untuk mengendalikan motor induksi diperlukannya rangkaian daya, dimana starting awal motor tersebut memberikan dampak arus yang besar, maka akan membutuhkan daya yang sangat tinggi serta menyebabkan motor mudah rusak, karena memberikan tenaga daya yang maksimal dan biaya terlalu mahal dengan adanya lonjakan arus daya. Dalam menurunkan arus starting banyak metode yang digunakan, salah satunya adalah metode bintang-segitiga. Sebagai evaluasi dibuatnya suatu rangkaian daya metoda bintang segitiga, untuk mengukur arus rangkaian pengendali hubung langsung disebut juga *Direct On Line* (DOL) dengan metoda bintang – segitiga. Hubungan bintang difungsikan untuk mengurangi

lonjakan arus listrik yang besar ketika motor mulai dihidupkan, karena motor listrik membutuhkan torsi awal yang besar agar dapat melawan inersia dan inersia bebannya dengan keadaan diam, dimana untuk mengurangi torsi awal menggunakan hubung bintang. Hubungan segitiga difungsikan untuk menstabilkan arus motor menjadi arus nominal.

Motor induksi banyak digunakan dikalangan industri, ini berkaitan dengan beberapa keuntungan dan kerugian.

Keuntungan :

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe (*squierrel cage*)).
2. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
3. Efisiensi tinggi pada kondisi normal, tidak di butuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang diakibatkannya dapat di kurangi.
4. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.

Kerugian:

1. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi.
2. Tidak seperti motor DC atau Shunt, motor induksi 3 fasa keepatannya akan menurun seiring dengan tambahan beban.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

2.2.2 Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi diklasifikasikn menjadi dua kelompok:

a) Motor induksi 1 fasa

Motor induksi 1-fasa dimana motor ini mempunyai 2 (dua) buah kumparan motor yang disebut dengan kumparan bantu dan kumparan utama dimana kedua kumparan ini mempunyai luas penampang yang berbeda. Karena motor ini mempunyai kumparan dengan luas penampang yang berbeda, maka kerapatan arus yang melewati kumparan motor ini juga tidak sama pada kondisi beban yang bervariasi.

Motor induksi 1-fasa bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator yang seolah-olah berputar yang sampai ke rotornya. Motor ini umumnya banyak

digunakan oleh masyarakat untuk keperluan rumah tangga seperti pompa, kipas angin, dan mesin cuci. Motor ini biasanya menggunakan 2 buah kumparannya saat start dan ada yang menggunakan 1 buah kumparan saja saat jalan. Khusus pada motor '*capasitor start capasitor run induction motor*', maka motor ini menggunakan kedua kumparannya saat start dan saat jalan sehingga motor ini bekerja seperti motor induksi 2 fasa. Motor jenis ini menggunakan 2 buah kapasitor yang dipasang pada salah satu kumparannya sehingga motor menghasilkan torsi yang besar saat start dan jalan.

b) Motor induksi 3 fasa

Motor induksi tiga fasa mempunyai konstruksinya hampir sama dengan motor listrik tipe yang lainnya . Motor induksi ini mempunyai dua bagian utama, yaitu rotor sebagai bagian yang berputar dan stator yang merupakan bagian yang diam. Motor induksi merupakan salah satu motor arus bolak balik. Arus yang timbul dalam motor ini bukan berasal langsung dari arus sumber, tetapi akibat dari adanya perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus rotor. Dengan sebab inilah, motor tersebut disebut sebagai motor induksi. Motor induksi merupakan perangkat mesin listrik yang menggunakan prinsip elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak pada berbagai mesin, misalnya untuk menggerakkan roda *impeller* pada pompa, kompresor, crane, generator dan lainya.

Motor induksi akan bekerja dengan baik dan dapat berumur panjang jika arus yang melewati kumparan tidak melewati batas yang telah ditetapkan pabrik pembuatnya (arus nominal motor). Bila arus yang melewati kumparan motor ini telah melampaui arus nominal motor, maka motor akan berumur pendek, dimana makin besar arus motor, maka makin pendek umur motor. Pemanfaatan energi pada motor juga akan lebih optimal jika efisiensi motor saat beroperasi sangat tinggi.

2.2.3 Karakteristik Motor Induksi

Tidak semua tenaga listrik yang diserap motor induksi berubah menjadi tenaga mekanik yang berguna, tetapi sebagian hilang dalam bentuk tenaga panas.

Tenaga mekanik ($W_{mekanik}$) sama dengan tenaga listrik ($W_{listrik}$) dikurang tenaga panas (W_k), rendamen (η) sebagai fungsi dari tenaga mekanik dan tenaga listrik.

$$\eta = \frac{W_{mekanik}}{W_{listrik}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana:

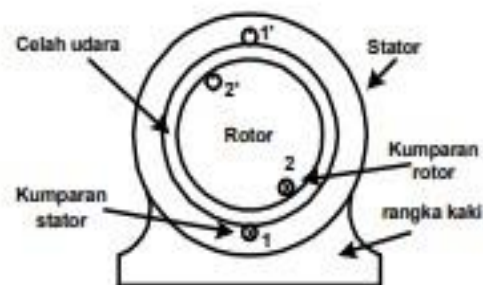
$\eta = \text{effisiensi}$

$W_{mekanik} = \text{daya mekanik (watt)}$

$W_{listrik} = \text{daya listrik (watt)}$

2.2.4 Konstruksi motor induksi 3 fasa

Dilihat dari bentuknya, motor induksi mempunyai konstruksi yang kuat dan karakteristik kerja yang baik, sehingga motor induksi menjadikan motor ac yang paling banyak digunakan. Motor induksi terdiri dari dua bagian, yaitu stator dan rotor.



Gambar 2. 1 Konstruksi Motor Sederhana

A. Stator (kumparan)

Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Terbuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan.

Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silinder. Alur alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (prespan), setiap elemen inti dibentuk dari lempengan besi. Lempengan besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti.

Konstruksi stator sendiri pada dasarnya terdiri dari bagian – bagian sebagai berikut :

1. Rumah stator (*body/frame/rangka / badan stator*)

Fungsi utama dari *body* atau *frame* adalah sebagai tempat mengalirnya flux magnet yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan feromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian yang lainnya. Biasanya pada motor terdapat name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

2. Inti stator

Inti *stator* motor induksi terbuat dari lapisan lapisan laminasi pelat baja yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Belitan motor dibuat terpisah 1200 listrik. Belitan fasa bisa tersambung secara *delta* (Δ) atau bintang (*Y*).

Inti *stator* ini mempunyai alur yang berfungsi sebagai tempat meletakkan belitan (kumparan) *stator*.

3. Belitan (kumparan) stator

Terbuat dari bahan tembaga yang berfungsi sebagai pembangkit efek magnet, sehingga dapat menimbulkan medan magnet untuk menghasilkan medan elektromagnetik.

4. Sikat dan pemegang sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Selain itu, sikat berperan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak dari komutator. Biasanya sikat terbuat dari bahan arang.

5. Komutator

Komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik yang bersama-sama dengan sikat arang membuat suatu kerja sama yang disebut komutasi/kerjasama. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan.

Rangka *stator* motor induksi ini didesain dengan baik dengan beberapa tujuan, yaitu :

- 1) Menutupi inti dari kumparnya.
- 2) Melindungi bagian – bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).
- 3) Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan.
- 4) Berguna sebagai sarana rumah (celah) ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

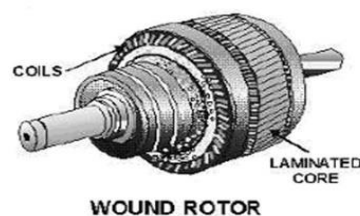
B. Rotor

Bentuk rotor motor induksi terbagi menjadi dua kelompok:

1) Rotor Belitan (*Wound Rotor*)

Stator motor induksi rotor lilit sama seperti pada motor induksi rotor sangkar. Adapun rotor lilit terdiri dari inti dari pelat baja yang berlapis dan beralur. Di dalam alur diletakkan lilitan tiga fasa yang disambungkan dengan tiga buah cincin geser yang terbuat dari kuningan dan terletak pada ujung rotor pada poros yang sama. Pada cincin terdapat sikat yang terbuat dari carbon dan dihubungkan dengan tiga buah tahanan variabel di luar motor dan terhubung bintang. Tahanan variabel tersebut dapat diatur nilainya dari luar motor, yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan dan pengasutan.

Jenis Rotor Belitan



Gambar 2. 2 Rotor Belitan

1. Rotor Sangkar (*Squirrel Cage Rotor*)

Motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar mempunyai stator yang terdiri dari inti berlapis dari pelat baja beralur dan didukung oleh rangka stator yang terbuat dari besi tiang. *Stator* tersebut mempunyai lilitan stator tiga fasa yang terletak dalam alur *stator* dan dapat terhubung dalam hubungan bintang tau segitiga. Rotor sangkar terdiri dari inti berlapis dengan konduktor yang terpasang secara paralel dengan pords dan terhubung singkat pada ujungnya serta terletak mengelilingi permukaan inti.



Gambar 2. 3 Rotor Sangkar

2.2.5 Prinsip kerja motor induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (*Emf*) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya *Lorentz* yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum *Lentz*, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara

stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dan apabila sumber tegangan tiga fasa dihubungkan ke terminal stator maka pada kumparan tegangan (stator) akan timbul arus yang menghasilkan fluksi. Fluksi pada stator biasanya konstan, kecepatan medan putar stator dapat di tulis dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$ns = 120 \frac{f}{p} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan : ns = Kecepatan medan putar stator

F = Frekuensi

P = Jumlah kutub

Tegangan induksi yang ditimbulkan akibat medan putar yang memotong konduktor pada rotor sebesar:

$$E2s = 4,44 \times f2 \times N2 \times \Phi m \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan : $E2s$ = Tegangan induksi pada saat rotor berputar.

$N2$ = Jumlah lilitan rotor

$f2$ = Frekuensi rotor.

Φm = Fluks magnet yang dibangkitkan

Perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (ns) dengan kecepatan putar rotor (nr) disebut *slip* (s) dengans $= \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$

Keterangan :

s = slip (%)

ns = kecepatan medan putar stator (rpm)

nr = kecepatan medan putar rotor (rpm)

2.2.6 Efisiensi pada Motor Induksi

Efisiensi sebuah mesin adalah suatu ukuran seberapa baik mesin dapat mengubah energi masukan listrik ke energi keluaran mekanik. Efisiensi berhubungan langsung dengan rugi-rugi motor induksi terlepas dari desain mesin itu sendiri.

Dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan dan biasanya dinyatakan dalam persen juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi - rugi, yang dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan : η = kecepatan putar rotor (%)

Pada beban-beban dengan nilai yang kecil, rugi-rugi tetap lebih besar dibandingkan dengan keluaran, untuk itu efisiensi yang dihasilkan rendah. Sebagaimana beban bertambah, efisiensi juga bertambah dan menjadi maksimum ketika rugi inti dan rugi variabel adalah sama. Efisiensi maksimum terjadi sekitar 80 – 95 % dari rating output mesin, dimana nilai yang lebih tinggi terdapat pada motor-motor yang besar. Jika beban yang diberikan melebihi beban yang menghasilkan efisiensi maksimum, maka rugi-rugi beban bertambah lebih cepat daripada output, konsekuensinya efisiensi berkurang.

Efisiensi motor induksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- 1) Usia: Motor baru lebih efisien
- 2) Kapasitas: Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- 3) Kecepatan: Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- 4) Jenis motor: Sebagai contoh, motor sangkar tupai biasanya lebih efisien daripada motor belitan (cincin geser).
- 5) Suhu: Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total lebih efisien daripada motor tanpa pendingin.
- 6) Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.

Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi motor induksi diantaranya:

- 1) Tegangan yang tidak stabil pada motor (*V-Unbalance*) akan menurunkan kinerja dan usia motor 3 fasa dari umur teknis.
- 2) Tegangan yang tidak stabil pada terminal stator motor menyebabkan fasa ketidakstabilan arus (*I-Unbalance*).
- 3) Ketidakstabilan arus menyebabkan ketidakstabilan torsi, yang mengakibatkan terjadinya getaran dan stres mesin, meningkatkan energi *Lossis* dan motor

menjadi lebih panas, yang pada akhirnya menyebabkan usia insulasi gulungan motor menjadi pendek.

- 4) Motor akan menjadi lebih panas ketika beroperasi pada pasokan daya dengan tegangan yang tidak stabil.

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk, yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan dengan nilai dasar. Fluktuasi dalam tegangan dan frekuensi yang lebih besar daripada nilai yang diterima memiliki dampak yang merugikan pada kinerja motor. Ketidakseimbangan tegangan bahkan dapat lebih merugikan terhadap kinerja motor dan terjadi apabila tegangan tiga fasa dari motor tiga fasa tidak sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan untuk setiap fase dari tiga fase. Dapat juga diakibatkan dari penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda pada sistem distribusinya.

2.2.7 Maintenance Pada Motor induksi

Maintenance di lakukan untuk menjaga kinerja motor selalu stabil tanpa adanya trouble. Perawatan Motor Induksi 3 Phasa merupakan salah satu hal yang paling penting untuk meningkatkan realibility/keandalan proses produksi dalam suatu industri, di mana motor listrik induksi 3 phasa merupakan salah satu equipment atau peralatan yang banyak digunakan untuk menunjang berbagai proses tersebut. Biasanya motor listrik digunakan sebagai pemutar pompa, bowler, atau juga compressor. (Sitorus, Armansyah, and Harahap 2022)

a) Tujuan *maintenance* (pemeliharaan)

Maintenance/perawatan memiliki tujuan utama supaya suatu mesin dapat bekerja dengan efektif, diantaranya yaitu:

- 1) Memaksimalkan waktu operasi atau kapasitas produksinya
- 2) Mengoptimalkan kemampuan produksi
- 3) Meminimalkan biaya per unitnya
- 4) Meminimalkan resiko hilangnya kapasitas produktif
- 5) Meminimalkan terjadinya kecelakaan terhadap karyawan

b) Jenis-jenis *Maintenance*

1. Preventive Maintenance (Pemeliharaan Pencegahan)

Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan – kerusakan yang tidak terduga

dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Dengan demikian semua fasilitas produksi yang diberikan *preventive maintenance* akan terjamin kelancarannya dan selalu diusahakan dalam kondisi atau keadaan yang siap dipergunakan untuk setiap operasi atau proses produksi pada setiap saat. Sehingga dapatlah dimungkinkan pembuatan suatu rencana dan jadwal pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat dan rencana produksi yang lebih tepat.

2. *Corrective Maintenance* (Pemeliharaan Perbaikan)

Corrective maintenance adalah suatu kegiatan *maintenance* yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau kelalaian pada mesin/peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

3. *Predictive maintenance*

Predictive maintenance adalah tindakan – tindakan *maintenance* yang dilakukan pada tanggal yang ditetapkan berdasarkan prediksi hasil analisa dan evaluasi data operasi yang diambil untuk melakukan *predictive maintenance* itu dapat berupa getaran, temperatur, *vibrasi*, *flow rate* dan lain–lainnya. Perencanaan *predictive maintenance* dapat dilakukan berdasarkan data dari operator di lapangan yang diajukan melalui *work order* ke departemen *maintenance* untuk dilakukan tindakan yang tepat sehingga tidak akan merugikan perusahaan.

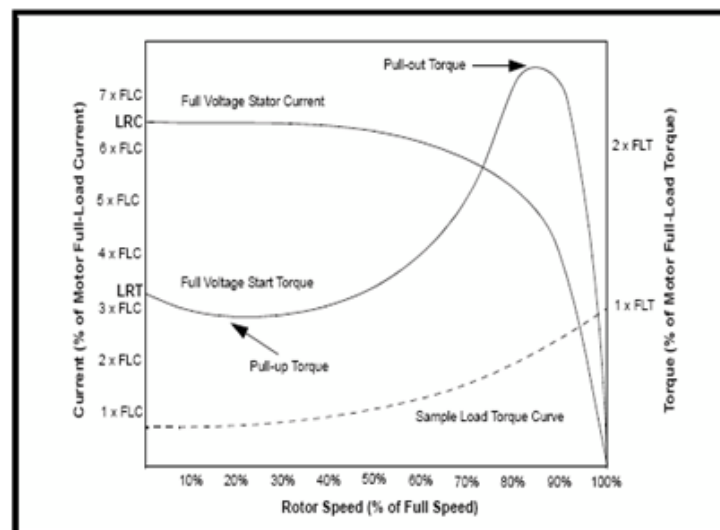
2.2.8 Torsi Motor

2.3 Karakteristik Arus Starting pada Motor Induksi

Saat motor induksi dijalankan maka akan membutuhkan arus mula yang besar, hal ini dikarenakan frekuensi dan reaktansi yang tinggi dalam kondisi start yaitu dengan slip seratus persen. Jadi dalam rangkaian rotor yang sangat reaktif, arus rotor tertinggal terhadap ggl rotor dengan sudut yang besar. Hal ini berarti bahwa aliran arus maksimum terjadi dalam konduktor rotor pada suatu waktu setelah kerapatan fluksi maksimum stator melewati konduktor tersebut. Sehingga kondisi ini menghasilkan arus mula yang besar dengan factor daya yang rendah dan menghasilkan torsi mula yang rendah.

Jika rotor melakukan percepatan, frekuensi rotor menjadi berkurang dikarenakan nilai slip yang berkurang, hal ini berarti nilai reaktansi rotornya berkurang sehingga menyebabkan nilai torsi naik ke harga maksimumnya. Jika motor mempercepat lebih lanjut, torsi akan turun sesuai dengan harga yang diperlukan untuk memutar beban dengan kecepatan konstan.

Karakteristik besarnya arus mula pada sebuah motor induksi bias di jelaskan dengan melihat gambar 2.1 di bawah ini



Gambar 2. 4 Karakteristik Arus Start Pada Motor induksi

Dari gambar di atas dapat di jelaskan bahwa saat kondisi start motor listrik memerlukan arus yang besar, hal ini berlangsung untuk beberapa lama. Kemudian arus yang dibutuhkan akan turun pada kondisi locked rotor. Nilai arus yang dibutuhkan akan tetap saat kondisi beban normal. Dari karakteristik arus mula ini kita bisa menentukan karakteristik dan setting relay proteksi yang di butuhkan untuk melindungi peralatan ini.

2.4 Starting Motor Induksi

Pada motor induksi yang diam apabila tegangan normal diberikan ke stator maka akan ditarik arus yang besar oleh belitan primernya. Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga

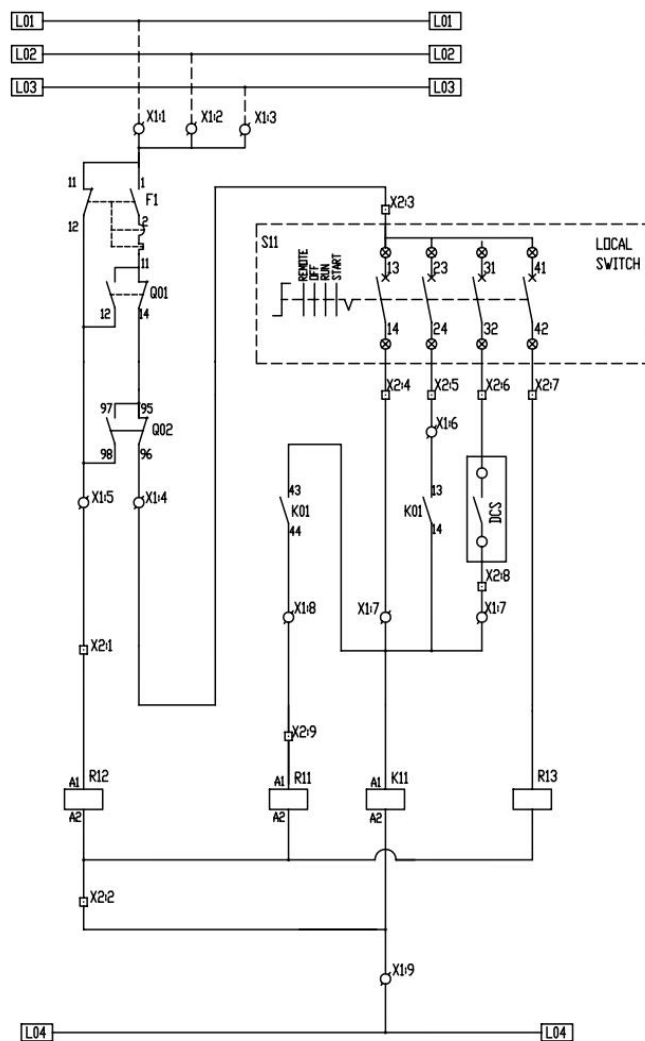
akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus starting juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan daya diatas 30 atau 50 hp tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung.(Dwi Riyadi H. 2011)

1. DOL (*Direct On Line*)

Direct online starting (DOL) merupakan metode starting yang umum digunakan pada motor listrik. Starting langsung DOL merupakan cara paling sederhana, dimana stator langsung dihubungkan langsung dengan sumber tegangan, artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat starting. Penggunaan metode ini sering dilakukan untuk motor-motor AC yang mempunyai kapasitas daya yang kecil.

Prinsip kerja Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Listrik yang diubah adalah listrik 3 phasa. apabila belitan yang ada pada stator di beri tegangan maka pada stator akan menghasilkan arus yang kemudian menghasilkan medan magnet yang berputar.(Satria and Andre 2022)

Rangkaian DOL atau Rangkaian *Direct Online* adalah sebuah rangkaian motor listrik yang terdiri dari satu buah kontaktor, motor listrik 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 On Line ini sangat sederhana dan mudah dipahami.



Gambar 2. 5 Rangkaian Kontrol DOL

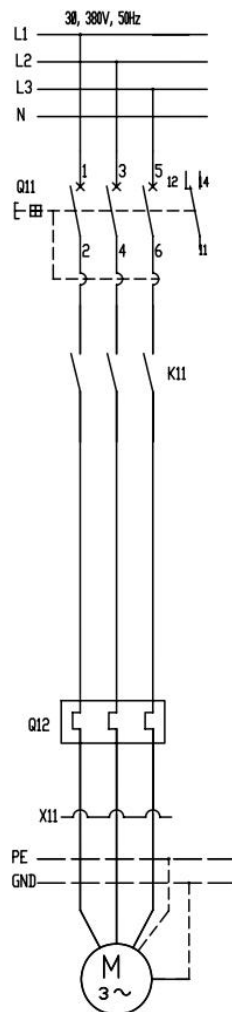
Cara Kerja dari rangkaian ini adalah :

Dapat dilihat diagram kontrol pada rangkaian DOL ini terdiri dari MCB, thermal overload, kontaktor, lokal switch, lampu tanda (merah, kuning, orange), dan relay. Apabila MCB di onkan maka lampu merah akan hidup, ketika lokal switch posisi run maka arus masih dalam keadaan standby di kontak NO K13, apabila lokal switch di posisikan ke posisi start maka kontaktor on posisi local switch akan kembali ke posisi run arus akan melalui pengunci kontak NO13,14 apabila terjadi beban lebih maka overload akan memutuskan rangkaian kontrol dan indikasi lampu orange akan hidup.

Sistem kerja rangkaian starting dol pada motor mendapatkan supply 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 suplay sumber dimaksimalkan dan apabila rotor telah berputar arus yang di alirkan Kembali ke awal mengikuti kebutuhan motor.

Kenapa pada motor yang di uji ini hanya naik 3 kali lipat karena motor tersebut tidak memiliki beban sehingga motor tersebut hanya naik 3 kali lipat sedangkan keterangan dari beberapa sumber memiliki kelipatan 4 sampai 7 kali lipat karena motor yang telah di uji tersebut memiliki beban sehingga kenaikan tenaga pada sumber naik 4 sampai 7 kali lipat.



Gambar 2. 6 Rangkaian Daya DOL

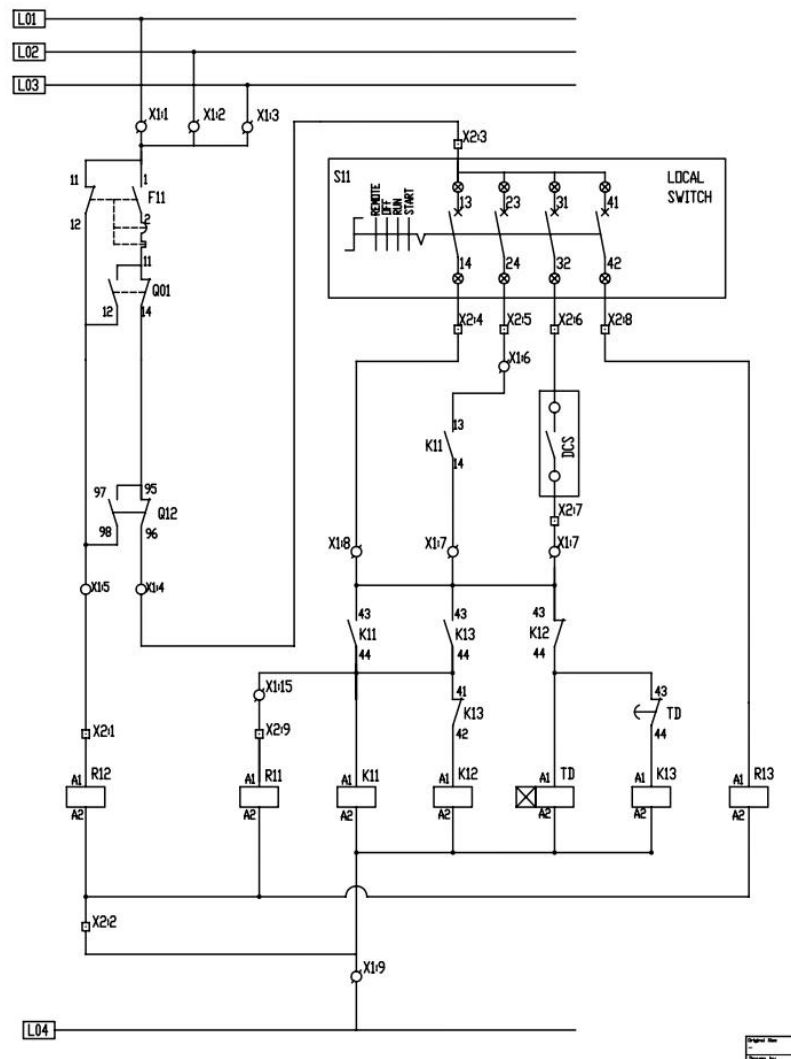
Pada gambar 4.2 dapat dilihat rangkaian daya untuk motor induksi 3 phasa. Dimana phasa yang masuk adalah phasa R,S dan Phasa T. Melalui MCCB, kontaktor, TOR, motor induksi 3 phasa.

2. *Star-Delta (Y-Δ)*

Star delta adalah sebuah sistem starting motor yang paling banyak digunakan untuk starting motor induksi tiga fasa. Metode *star delta* adalah metode pengasutan dengan mengurangi tegangan yang masuk ke kumparan motor. Sebuah motor induksi yang dapat digunakan dalam hubungan star delta mempunyai enam buah terminal dan tidak dapat digunakan secara bersamaan.

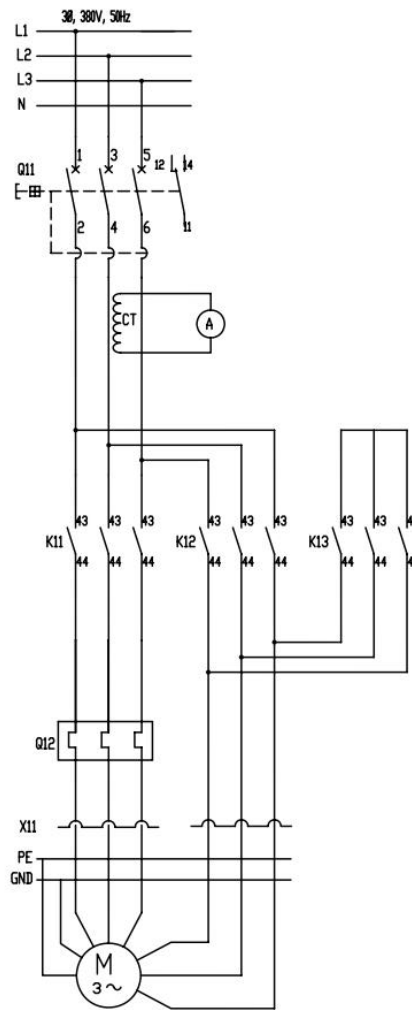
Motor Induksi dapat dikatakan dalam artian sebuah motor arus bolak balik (ac). Arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan Stator dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120/p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum *lantz*, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar rotor. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. (Siburian et al. 2020)

Dilihat dari diagram kontrol pada rangkaian Star Delta ini terdiri dari MCB, thermal overload, 3 kontaktor, lokal switch, timer, lampu tanda (merah, kuning, orange), dan relay. Apabila MCB di onkan maka lampu merah akan hidup, ketika lokal switch posisi run maka arus masih dalam keadaan stanbay di kontak NO k13, apabila lokal switch di posisikan ke posisi start maka kontaktor k11 dan kontaktor k13 akan on bersamaan dengan timer membentuk rangkaian Star setelah beberapa detik sesuai dengan waktu yang diatur pada timer, kontaktor k13 akan off di gantikan dengan kontaktor k11 dan k12 on membentuk rangkaian Delta. Untuk mengetahui rangkaian kontrolnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 7 Rangkaian Kontrol Star Delta

Sedangkan untuk rangkaian Daya Star Delta dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 8 Rangkaian Kontrol Daya Motor Star Delta

Untuk mengoperasikan dan menjalankan trainer pengendali motor tiga fasahubungan star delta secara otomatis adalah dengan menghubungkan antar port dari R (sumber) ke MCB lalu hubungkan keluaran MCB ke port tombol OFF. Kemudian keluaran tombol OFF dihubungkan ke port tombol ON (A) keluaran port A dihubungkan ke port NO 1, keluaran port NO 1 dihubungkan ke port B, keluaran port dihubungkan ke port A1 (MC 1) keluaran Port A2 langsung dihubungkan ke NOL.

Kemudian port 2 timer dihubungkan ke NO 1, port 7 timer dihubungkan langsung ke NOL. Kemudian keluaran port NO 1 dihubungkan ke port 8 timer. Lalu keluaran port 8 timer dihubungkan ke port 6 timer lalu keluaran port 6 timer

dihubungkan ke port NC3. Kemudian keluaran port NC3 dihubungkan ke port A1 (MC 2), keluaran port A2 dihubungkan langsung ke NOL. Kemudian keluaran port 8 timer dihubungkan juga ke port 5 timer lalu keluaran port 5 timer dihubungkan ke NC 2. Kemudian keluaran port NC 2 dihubungkan ke port A1 (MC3), keluaran port A2 dihubungkan langsung ke NOL. Untuk pengaturan motornya dengan cara port sumber PLN (R, S, T) dihubungkan ke port motor 1 (U1, V1, W1) dan keluaran port sumber PLN dihubungkan ke port motor 2 (Z, X, Y).

a) **Teori Dan Metode Rangkaian Star Delta**

Bagaimana teori atau metode koneksi star delta ini bisa menurunkan besarnya arus starting motor ? sebelumnya tentu kita tahu besarnya tegangan dan arus itu berbanding terbalik. Semakin besar tegangan maka arus akan semakin kecil begitu sebaliknya semakin kecil tegangan maka arus akan semakin besar. Bagaimana itu terjadi, untuk menjawab itu kita harus tahu dulu, hubungan antara daya (P), tegangan (V), dan arus (I).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \emptyset \text{ --- --- } I = \frac{P}{V \cdot \cos \emptyset} \text{(2.6)}$$

Dimana,

P = Daya (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos \emptyset = Faktor daya

2.4.1 Rangkaian Daya

dapat didefinisikan sebagai rangkaian yang merupakan jalur tegangan utama motor bisa 220V, 380V, 660V, bahkan 6.6 kV, dan sebagainya. Aliran arus ke motor ditentukan oleh kondisi anak kontak dari kontaktor utama. gambaran rangkaian beban dan kotak-kontak utama kontaktor serta contact breaker dan komponen pengaman yang dihubungkan ke arus beban. Dan rangkaian utama sendiri bekerja sesuai dengan bantuan rangkaian kontrol. Dalam perangkaian rangkaian utama harus kuat dengan penghantar yang sesuai dengan PUIL 2000 sehingga dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. rangkaian daya dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi rangkaian, yang akan menghasilkan tanggapan rangkaian yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu rangkaian fisis, yang biasa

disebut dengan kendali (*plant*).Masukan dan keluaran merupakan variable atau besaran fisis.Keluaran merupakan hal yang dihasilkan oleh kendali, artinya yang dikendalikan; sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendali, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama.

2.4.2 Panel Distribusi

Panel distribusi listrik adalah panel listrik yang digunakan untuk mendistribusikan dan mengendalikan tenaga listrik. Selain itu, panel distribusi listrik juga digunakan untuk melindungi sirkuit dan peralatan listrik yang digunakan dari gangguan yang terjadi pada tenaga listrik, karena jika terjadi gangguan maka alat proteksi listrik pada panel akan langsung memutus aliran listrik, sehingga apabila terjadi gangguan pada listrik tidak menimbulkan gangguan kerusakan pada peralatan listrik.(KAMIRUN 2022). Panel distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai sistem pendistribusian tenaga listrik yang dihasilkan oleh sumber PLN dan atau diesel generator set. Panel distribusi terdiri dari berbagai peralatan listrik yang difabrikasi / diinstalasi menjadi rangkaian kontrol dan proteksi terhadap sumber tegangan dan beban, dengan komponen / peralatan listrik sebagai berikut :

a) Indikator dan Metering

Pada panel dibutuhkan peralatan / instrument yang dipasang untuk melakukan monitoring kelistrikan yang ada. Suatu panel distribusi listrik umumnya dipasang metering yang standart yaitu : Ampere meter, Voltmeter, Kw meter, Frekuensi meter, Cos phi meter, dan untuk panel generator set yang bekerja paralel digunakan *Zero volt meter*, *Double volt meter*, dan *synkronoskop*, dan juga dilengkapi dengan indikator lampu (*pilot lamp*).



Gambar 2. 9 Panel Indikator

b) *Mini Circuit Breaker (MCB)*

Panel distribusi membutuhkan peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengaman terhadap terjadinya gangguan yang disebabkan oleh hubung singkat (*short circuit*) dan pembebanan yang melebihi kapasitas arus yang terjadi secara cepat (*overloading*), keandalan dari suatu *breaker* ditentukan dari kecepatan memutus jika terjadi gangguan dan kemampuan untuk menahan arus hubung singkat secara cepat. Dalam panel distribusi tegangan rendah terdiri dari bermacam – macam *breaker* sesuai dengan kapasitasnya yaitu antara lain : *miniature circuit breaker (MCB)*, *moulded circuit breaker (MCCB)*, *no fuse breaker (NFB)*, *NT fuse*, *air blast circuit breaker (ACB)*. yang mempunyai berbagai kutub dari satu sampai empat kutub. Dalam memilih kutub *circuit breaker*, hal – hal yang harus dipertimbangkan adalah :

- 1) Karakteristik sistem dimana *circuit breaker* tersebut dipasang.
- 2) Kebutuhan akan kontinuitas pelayanan sumber daya listrik.
- 3) Aturan dan standar proteksi yang berlaku. Aturan instalasi listrik yang berlaku seperti PUIL, BKI harus diikuti. Standar yang diacu baik local atau internasional seperti SPLN, IEC 60947-2 harus diperhatikan. Penanaman tipe

MCB beragam, tergantung pada pabrik pembuat, data pemakaian yang perlu adalah karakteristik tiap MCB untuk disesuaikan dengan kebutuhan sistem.



Gambar 2. 10 Mini Cirkuit Braker (MCB)

2.4.3 Kontaktor

Kontaktor adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian listrik. Kontaktor terdiri dari 3 bagian pokok, yaitu : kontak utama, kontak bantu, dan koil magnetic. Prinsip kerja kontaktor berdasarkan induksi elektromagnetik dimana koil magnetic kontaktor tersebut di supply sumber tegangan listrik AC/ DC, pada kumparan tembaga tersebut terjadi induksi elektromagnetik sehingga dapat menarik bahan ferro magnetic yang ada di dekatnya (prinsip magnet buatan). Kapasitas penghubung dan pemutus suatu kontaktor dapat dilihat dari data teknik dari suatu kontaktor itu sendiri, jadi jika suatu kontaktor menghubungkan arus listrik yang melebihi kemampuan hantar arusnya (KHA) maka kontaktor tersebut akan leleh dan mengakibatkan hubungan singkat. Sistem pengontrolan motor listrik semi otomatis yang menggunakan alat kontrol kontaktor magnet memerlukan alat bantu lain agar fungsi pengontrolan berjalan dengan baik seperti: tombol tekan, thermal overload relay dan alat bantu lainnya. Kontaktor magnet banyak digunakan untuk mengontrol motor listrik 1 fasa dan 3 fasa, anantara lain untuk mengontrol motor dua arah putaran, strating bintang segitiga, beberapa unit motor bekerja dan berhenti berurutan dan lain-lain. Macam – macam kontaktor magnet :

- 1) Kontaktor magnet arus searah (DC)

2) Kontaktor magnet arus bolak balik (AC).



Gambar 2. 11 Kontaktor

2.4.4 Thermal Overload Relay (TOR)

Overload adalah komponen pengamanan khusus motor listrik yang berfungsi untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih. *Overload Motor Protection*, yang dimaksud motor ini adalah *electric* motor yang oleh orang awam disebut dinamo. Dan disini dikhususkan yang terjadi pada motor AC 3 phase. Fungsi dari motor ini adalah sebagai penggerak atau untuk mengkonversi energi listrik menjadi mekanik/ gerak seperti lift, conveyor, blower, crusher dll. Secara umum sistem kerja alat tersebut dapat dibagi menjadi dua yaitu dengan thermal dan elektronik.

Tiga hal penting untuk memilih *Overload* :

- Kemampuan hantar arus (KHA)
- Tegangan kerja nominal
- Nilai nominal arus beban lebih (seting arus beban lebih).



Gambar 2. 12 Thermal Overload Relay (TOR)

2.4.5 Alat Ukur Listrik

Besaran-besaran listrik dapat diketahui dengan menggunakan alat ukur yang bisa diperoleh di pasaran dengan berbagai tipe maupun merek. Berikut beberapa jenis alat ukur yang digunakan untuk mengukur dan menguji komponen-komponen listrik.

1. Multimeter

Multimeter adalah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur tegangan listrik, (voltage), arus listrik (ampere), dan hambatan listrik (ohm) dalam satu unit. Multimeter sering disebut juga dengan istilah multitester atau AVOMeter singkatan dari Ampere, Volt, Ohm Meter. Seiring perkembangan zaman kini sebuah multimeter atau multitester tidak hanya dapat mengukur ampere, voltage, dan ohm, tetapi dapat juga kapasitansi, frekuensi, dan induksi dalam satu unit.



Gambar 2. 13 Multimeter

2. Tespen

Tespen atau *test pen* adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui atau mengecek apakah sebuah penghantar memiliki tegangan listrik atau tidak. Penghantar listrik yang dimaksud di sini dapat berupa kabel listrik, kawat listrik, maupun *stop* kontak listrik.

Tespen hanya dapat digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya aliran listrik di suatu penghantar listrik dengan sebuah indikator lampu. Misalnya, jika terdapat listrik di kabel listrik, maka lampu indikator akan menyala. Sebaliknya, jika tidak ada aliran listrik, lampu indikator tidak akan menyala.



Gambar 2. 14 Tespen

3. Tang Ampere atau Clamp Meter

Tang ampere atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *clamp meter* adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel konduktor yang dialiri arus listrik, dengan menggunakan dua rahang penjepit (*clamp*).

Pada umumnya, *clamp meter* yang terdapat di pasaran memiliki fungsi sebagai multimeter juga. Jadi, selain terdapat dua rahang penjepit, *clamp meter* juga memiliki dua probe yang dapat digunakan untuk mengukur resistansi, tegangan AC (*alternating current*), dan tegangan DC (*direct current*).



Gambar 2. 15 Tang Ampere

2.5 Variabel Frekuensi Drive (VFD)

juga dikenal sebagai *Adjustable Frequency Drive* atau *Inverter Drive*, yang merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur kecepatan dan torsi motor listrik. VFD juga berfungsi dengan mengubah frekuensi dan tegangan input yang diberikan ke motor, sehingga mengatur kecepatan operasionalnya. Keuntungan penggunaan VFD tersebut dapat mengatur kecepatan motor sesuai kebutuhan, pengoperasian memulai atau berhenti dengan perlahan sehingga mengurangi tegangan dan arus awal yang tinggi, kontrol torsi sesuai kebutuhan, efisiensi energi dan memperpanjang umur motor (Dewi et al., 2023). VFD merupakan pengontrol kecepatan motor yang mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor induksi. Penyesuaian nilai frekuensi dan tegangan bertujuan untuk mendapatkan kecepatan dan torsi motor yang dibutuhkan (Prasta Mahrifatika and Ilham Akbar Darmawan 2022)

2.5.1 Prinsip Kerja VFD (*Variable Frequency Drive*)

Prinsip kerja dari VFD (*Variable Frequency Drive*) menurut (Johar et al., 2021) itu sederhana, yaitu sebagai berikut: a) tegangan yang masuk dari jala-jala 50 Hz dialirkan ke sebuah *board Rectifier*/penyearah DC, b) tegangan DC yang dihasilkan kemudian dikonversikan kembali menjadi sumber AC melalui blok *Inverter*, yang terdiri dari semikonduktor aktif seperti MOSFET. Dengan menggunakan frekuensi pensakelaran, untuk mencacah tegangan DC dan dimodulasi sehingga keluar frekuensi sesuai yang diinginkan. Dan c) keluaran Blok *Inverter* kemudian digunakan sebagai sumber tegangan motor induksi dengan frekuensi yang dapat diatur.

Variable speed drive atau variable frekuensi drive adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (AC) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor. Pada perangkat tersebut terdapat *rectifier*, *inverter* dan *microcontroller*. Selain itu, penggunaan motor induksi saat ini masih banyak menggunakan cara konvensional yaitu menggunakan sistem starting secara langsung (*direct-on-line*) atau langsung dihubungkan pada sumber listrik. Penggunaan cara ini akan menimbulkan arus start yang tinggi pada motor induksi sehingga dapat juga menyebabkan pemborosan energi Listrik. Pengendalian kecepatan putar motor induksi tiga fasa mempengaruhi nilai frekuensi

sehingga akan terpengaruh juga terhadap nilai tegangan yang dipasok ke motor. Tegangan yang dipengaruhi oleh frekuensi menyebabkan penghematan pada pemakaian energi listrik. Penghematan energi listrik yang berkelanjutan sangat menguntungkan di bidang industri manufaktur, dikarenakan banyaknya peralatan-peralatan motor induksi yang digunakan. Penggunaan VFD pada motor induksi dapat mempengaruhi banyak hal, terutama pada penghematan energi listrik. Penelitian ini membahas masalah pengaruh kecepatan putar motor induksi tiga fasa menggunakan VFD.

Kontaktor merupakan komponen dari PHB (papan hubung bagi) yaitu sejenis saklar yang bekerja secara magnetik dimana kontak akan bekerja apabila kumparan diberi tegangan kontaktor magnetik sebagai alat yang digerakkan secara magnetis untuk menyambung dan membuka rangkaian daya listrik tanpa merusak beban-beban seperti lampu, pemanas, transformator, kapasitor dan motor listrik (Sudaryana, 2015). Menurut (Gunawan & Wahyono, 2017) Kontaktor yaitu peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi magnetik. Pada kontaktor terdapat sebuah belitan yang mana bila dialiri arus listrik akan timbul medan magnet pada inti besinya, yang akan membuat kontakannya tertarik oleh gaya magnet yang timbul tadi

2.5.2 Spesifikasi VFD (*Variable Frekuensi Drive*)

Spesifikasi Vfd yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan disini Vfd yang digunakan di Perusahaan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Spesifikasi Vfd yang di gunakan.

Kisaran produk	Altivar 61
Jenis produk atau komponen	Variable speed drive
Aplikasi spesifik produk	Mesin pompa dan ventilasi
Nama komponen	ATV61
Daya motor kW	22 KW, 3 phases at 380...480 V
Tenaga motor hp	30 Hp, 3 phases at 380...480 V
Tegangan suplai terukur	380...480 V - 15...10 %
Jumlah fase jaringan	3 phases

Line current	42 A for 480 V 3 phases 22 kW / 30 hp 50 A for 380 V 3 phases 22 kW / / 30 hp
EMC filter	Level 3 EMC filter
Assembly style	With heat sink
Apparent power	32.9 KVA at 380 V 3 phases 22 kW / 30 hp
Prospective line Isc	22 KA for 3 phases
Maximum transient current	57.6 A for 60 s, 3 phase
Nominal switching frequency	12 kHz
Switching frequency	1...16 kHz adjustable 12...16 kHz with derating factor
Asynchronous motor control profile	Voltage/Frequency ratio, 5 points Voltage/Frequency ratio, 2 points Flux vector control without sensor, standard Voltage/Frequency ratio - Energy Saving, quadratic U/f
Synchronous motor control profile	Vector control without sensor, standard

2.5.3 Kelebihan dan kekurangan Vfd

VFD (*Variable Frequency Drive*) memberikan sejumlah keuntungan yang signifikan dalam aplikasi industri. Berikut adalah beberapa keuntungan utama dari penggunaan Inverter VFD dalam aplikasi industri:

1. Efisiensi Energi

VFD membantu mengurangi konsumsi energi. Dengan memvariasikan kecepatan dan frekuensi mesin, perusahaan dapat mengoptimalkan penggunaan energi mereka, sehingga mengurangi biaya operasional.

2. Peningkatan Kontrol

Penggunaan VFD memungkinkan kontrol yang lebih baik atas kecepatan dan torsi mesin. Ini memungkinkan penyesuaian yang lebih baik untuk memenuhi

kebutuhan spesifik dari operasi, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kualitas produk dan efisiensi produksi.

3. Pemeliharaan dan Umur Pakai

Dengan kontrol yang lebih baik atas mesin, stres mekanik pada peralatan dapat diminimalkan. Ini dapat berkontribusi pada umur pakai mesin yang lebih lama dan biaya pemeliharaan yang lebih rendah.

4. Perlindungan Mesin

VFD memberikan perlindungan terhadap mesin dari berbagai jenis stres, seperti tekanan listrik atau stres termal, yang dapat merusak mesin dan mengurangi umur pakai mereka.

5. Fleksibilitas Operasi

Dengan kemampuan untuk memvariasikan kecepatan dan frekuensi mesin, VFD menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dalam operasi. Ini memungkinkan penyesuaian cepat untuk perubahan dalam kebutuhan produksi atau operasional.

6. Pengurangan Biaya Perawatan

Dengan mengoptimalkan operasi motor dan peralatan, *Inverter* VFD dapat mengurangi beban kerja pada peralatan dan mengurangi keausan yang berlebihan. Hal ini menghasilkan pengurangan biaya perawatan dan pemeliharaan yang diperlukan untuk menjaga peralatan berfungsi dengan baik.

Menerapkan teknologi seperti *inverter* VFD dalam aplikasi industri dapat memberikan manfaat yang signifikan. Dengan memahami fungsi dan manfaatnya, industri dapat membuat keputusan yang lebih baik tentang bagaimana dan di mana menerapkannya. Dengan demikian, mereka dapat memanfaatkan teknologi ini untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas produk mereka.

Kekurangan Penggunaan Variable Speed Drive

1. Harga Pemasangan yang Cukup Mahal

Pertama, memasang VFD artinya Anda perlu mengeluarkan biaya tambahan. Mesin VFD-nya sendiri cukup mahal, mulai dari 1,5 juta Rupiah hingga di atas 3 juta Rupiah, tergantung ukuran dan kualitas mesin yang diinginkan.

Selain itu, menyambungkan *Variable Frekuensi Drive* ke motor membutuhkan kabel khusus. Sehingga perlu biaya *double* untuk instalasi alat ini.

2. Menyebabkan Overheating untuk Pemakaian Jangka Panjang

Mengapa VFD bisa menyebabkan *overheating*? Bukannya alat ini harusnya membuat motor jadi lebih awet?

Jadi prinsipnya, setiap motor dibekali dengan kipas *cooling* masing-masing. Kipas *cooling* ini juga membutuhkan aliran listrik AC. Artinya jika motor digunakan dengan kecepatan rendah, dan suplai AC yang mengalir ke motor juga rendah, maka putaran kipas juga jadi lebih pelan.

Jika digunakan seperti ini dalam jangka panjang, motor bisa mengalami *overheating* karena kipas *cooling* tidak bekerja dengan efektif.

Kalau memang Anda lebih banyak menggunakan motor dengan tenaga rendah, kami sarankan gunakan *blower* tambahan sebagai pendingin eksternal.

3. Merusak Winding dan Bearing Motor jika Tidak Teliti

Selanjutnya, bagian *winding* dan *bearing* motor juga bisa rusak jika tidak teliti baik dari segi pemasangan VFD maupun selama operasi tiap hari.

Winding dan *bearing* sendiri merupakan 2 elemen yang sangat vital dalam mesin bermotor. Keduanya berfungsi agar rotor bisa berputar dengan kecepatan tinggi dan meminimalisir *friction* atau gesekan yang membuat motor jadi aus.

Masalahnya, tidak semua jenis motor kompatibel dengan energi maksimal yang bisa dihasilkan ketika menggunakan VFD.

Winding motor yang tidak kompatibel dengan VFD bisa rusak dan terbakar akibat kelebihan muatan energi.

Tapi kebanyakan motor yang diproduksi 2 atau 3 tahun lalu sudah kompatibel dengan VFD.

4. Membutuhkan Operator dan Teknisi Tambahan untuk Pemasangan dan Perawatan

Melihat masalah yang bisa terjadi akibat penggunaan Variable Frequency Drive jika tidak teliti, lebih baik Anda mencari teknisi atau operator khusus yang memang paham dalam bidang VFD.

Cara ini memang memaksa Anda untuk mengeluarkan biaya tambahan lagi. Tapi hasilnya, mesin jadi lebih awet dan biaya bulanan untuk bayar listrik jadi lebih ringan.

2.5.4 Aplikasi Industri yang Menggunakan Inverter VSD, VFD

Aplikasi industri yang menggunakan VFD (*Variable Frequency Drive*) sangat beragam. Berikut ini beberapa contoh aplikasi industri yang umum menggunakan *Inverter* VFD:

1. Pompa air

Inverter VFD digunakan dalam aplikasi pompa air untuk mengatur kecepatan motor pompa sesuai dengan permintaan. Ini membantu mengoptimalkan penggunaan energi dengan mengurangi kecepatan saat beban ringan, serta menjaga tekanan yang stabil dalam sistem.

2. Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*)

Inverter VFD digunakan dalam sistem HVAC untuk mengendalikan kecepatan motor kipas dan kompresor. Ini memungkinkan pengaturan yang presisi dalam mengatur suhu, aliran udara, dan tekanan dalam sistem, sambil mengurangi konsumsi energi.

3. Konveyor

Inverter VFD digunakan dalam sistem konveyor untuk mengatur kecepatan motor penggerak konveyor. Ini memungkinkan pengaturan yang fleksibel dan akurat terhadap kecepatan konveyor, yang penting untuk mengoptimalkan aliran produksi, penghematan energi, serta mengurangi tekanan dan kerusakan pada sistem.

4. Penggerak mesin dan motor listrik industri

Inverter VFD digunakan dalam berbagai aplikasi penggerak mesin dan motor listrik industri, seperti mesin-mesin produksi, kompresor udara, pompa proses, dan peralatan lainnya. Dengan menggunakan *Inverter* VFD, kecepatan motor dapat diatur dengan presisi, yang membantu mengoptimalkan efisiensi operasi dan penggunaan energi.

5. Lift dan eskalator

Inverter VFD digunakan dalam sistem penggerak lift dan eskalator untuk mengatur kecepatan motor. Ini memungkinkan akselerasi dan deselerasi yang lebih halus, meningkatkan kenyamanan penumpang dan mengurangi tekanan pada peralatan mekanis.

6. Pemanas dan pendingin

Inverter VFD digunakan dalam sistem pemanas dan pendingin untuk mengatur kecepatan motor blower atau kompresor. Hal ini membantu mengoptimalkan pengaturan suhu, menjaga stabilitas suhu, serta mengurangi kebisingan dan konsumsi energi.

7. Penggilingan dan pemotongan material

Inverter VFD digunakan dalam aplikasi penggilingan dan pemotongan material, seperti mesin penggiling, pemotong log, atau pemotong plasma. Dengan mengatur kecepatan motor secara variabel, *Inverter* VFD membantu mengoptimalkan efisiensi proses dan kualitas hasil pemotongan atau penggilingan. Perlu dicatat bahwa aplikasi *Inverter* VFD tidak terbatas pada contoh-contoh di atas, dan dapat digunakan dalam berbagai industri lainnya untuk mengoptimalkan penggunaan energi, meningkatkan efisiensi, dan mengendalikan motor secara presisi.

2.5.5 Pertimbangan dalam Memilih *Inverter* VFD

Ada beberapa pertimbangan penting yang perlu diperhatikan dalam memilih VFD (*Variable Frequency Drive*) yang tepat untuk aplikasi industri. Berikut adalah beberapa pertimbangan utama:

1. Kapasitas Daya

Pertimbangkan kapasitas daya yang diperlukan untuk sistem motor yang akan dikendalikan oleh *Inverter* VFD. Pastikan untuk memilih *Inverter* VFD dengan kapasitas daya yang sesuai agar dapat menangani beban motor dengan efektif.

2. Karakteristik Beban

Perhatikan karakteristik beban motor yang akan dikendalikan. Beban motor bisa bersifat konstan (*constant torque*) atau berubah seiring waktu (*variable torque*). Pilihlah *Inverter* VFD yang sesuai dengan karakteristik beban tersebut untuk memastikan performa optimal dan kontrol yang presisi.

3. Kualitas dan Keandalan

Pastikan untuk memilih *Inverter* VFD dari produsen yang terpercaya dan memiliki reputasi yang baik dalam menyediakan produk berkualitas tinggi dan handal. Pertimbangkan pula dukungan teknis yang disediakan oleh produsen,

termasuk pelayanan purna jual, pemeliharaan, dan suku cadang yang mudah diperoleh.

4. Kompatibilitas dengan Sistem yang Ada

Pastikan *Inverter VFD* yang dipilih kompatibel dengan sistem yang sudah ada di tempat Anda. Periksa apakah *Inverter VFD* dapat berintegrasi dengan sistem kontrol yang ada dan mendukung protokol komunikasi yang diperlukan.

5. Lingkungan Kerja

Pertimbangkan kondisi lingkungan di mana *Inverter VFD* akan dioperasikan. Pastikan *Inverter VFD* memiliki perlindungan yang memadai terhadap kelembaban, debu, suhu ekstrem, dan kondisi lingkungan lainnya yang mungkin mempengaruhi kinerja perangkat.

6. Fitur dan Fungsi Tambahan

Periksa fitur dan fungsi tambahan yang ditawarkan oleh *Inverter VFD*. Beberapa fitur yang berguna termasuk perlindungan terhadap lonjakan tegangan atau arus, fungsi pembatasan torsi, fitur rem regeneratif, dan kemampuan pengendalian jarak jauh melalui komunikasi jaringan.

7. Efisiensi Energi

Perhatikan tingkat efisiensi energi yang ditawarkan oleh *Inverter VFD*. Pilihlah perangkat yang memiliki efisiensi tinggi untuk membantu mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional.

8. Biaya dan ROI (*Return on Investment*)

Tinjau biaya perangkat *Inverter VFD* dan bandingkan dengan manfaat yang akan diperoleh. Pertimbangkan potensi penghematan energi, peningkatan efisiensi, dan pengurangan biaya perawatan yang mungkin diperoleh dari penggunaan *Inverter VFD*.

Dalam memilih *Inverter VFD* yang tepat, penting untuk berkonsultasi dengan ahli atau spesialis teknis yang berpengalaman untuk memastikan pemilihan yang sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan aplikasi industri Anda.

2.5.6 Jenis VFD berdasarkan daya Motor

Berikut ini Jenis VFD berdasarkan daya motor dan yang sering di pakai di Perusahaan.

1. variable speed drive ATV310 - 0.37 kW - 0.5 hp - 380...460 V - 3 phase
2. variable speed drive ATV310 - 0.75 kW - 1 hp - 380...460 V - 3 phase
3. variable speed drive ATV310 - 1.5 kW - 2 hp - 380...460 V - 3 phase
4. variable speed drive ATV310 - 2.2 kW - 3 hp - 380...460 V - 3 phase
5. variable speed drive ATV310 - 3 kW - 4 hp - 380...460 V - 3 phase
6. variable speed drive ATV310 - 4 kW - 5.5 hp - 380...460 V - 3 phase
7. variable speed drive ATV310 - 5.5 kW - 7.5 hp - 380...460 V - 3 phase
8. variable speed drive ATV310 - 7.5 kW - 10 hp - 380...460 V - 3 phase
9. variable speed drive ATV310 - 11 kW - 15 hp - 380...460 V - 3 phase
10. variable speed drive ATV310, 15 kW, 20 hp, 380...460 V, 3 phase, without filter
11. variable speed drive ATV310, 18.5 kW, 25 hp, 380...460 V, 3 phase, without filter
12. variable speed drive ATV310, 22 kW, 30 hp, 380...460 V, 3 phase, without filter

2.5.7 Variable Speed Drive (VSD)

Variabel speed drive atau *variabel frekuensi drive* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (AC) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor. *Variabel frekuensi drive* semakin populer karena kemampuannya untuk mengontrol kecepatan motor induksi. VSD mengontrol kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi dari grid untuk nilai disesuaikan pada sisi mesin sehingga memungkinkan motor listrik dengan cepat dan mudah menyesuaikan kecepatan dengan nilai yang diinginkan.

Dua fungsi utama dari variabel frekuensi drive adalah untuk melakukan konversi listrik dari satu frekuensi ke yang lain, dan untuk mengontrol frekuensi keluaran. Aplikasi VSD digunakan dari mulai peralatan kecil sampai peralatan besar, yaitu pengaturan pabrik tambang, kompresor dan sistem ventilasi untuk bangunan besar. Selain itu VSD juga digunakan pada pompa, konveyor dan alat pengendali mesin. Penggunaan variabel frekuensi drive pada motor dapat menghemat energi sehingga mengurangi biaya listrik.

VSD (*Variable Speed Drive*) yang berguna sebagai pengatur kecepatan motor induksi [4]. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi tersebut di antaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi yang dikenal dengan kendali V/f konstan. Kendali V/f konstan adalah

salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya. Sehingga dengan cara kendali ini, torsi yang dihasilkan dapat dijaga konstan sepanjang daerah pengaturan kecepatan. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal sebagai inverter

2.5.8 Timer Omron H3CR-A8

Timer perhitungan mundur dengan di setting 5 detik maka kontak timer omron H3CRA8 pada kondisi NC berubah menjadi NO dan menutup kontak relay menyebabkan aliran arus menuju magnetik kontaktor (K2) terputus sehingga rangkaian terhubung delta. Relay juga ditambahkan sebagai komponen pendukung.

Timer Omron H3CR-A8 memiliki 8 pin dan terbagi menjadi 2 bagian. Pin 2 dan 7 sebagai Power Supply, Pin 1 dan 8 sebagai common, Pin 3 dan 6 sebagai *Normally Open* (NO), Pin 4 dan 5 sebagai *Normally Close* (NC). *Supply voltage* 100 to 240 VAC(50/60 Hz) & 100 to 125 VDC.

2.5.9 Inverter

Inverter listrik adalah konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan masukan, tegangan keluaran, dan frekuensi tergantung pada desain yang dirancang. Dalam dunia kelistrikan inverter memang sangat populer digunakan dalam berbagai keperluan. Inverter adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah dengan frekuensi dan tingkat tegangan yang dapat diatur. Inverter dapat secara luas diklasifikasikan ke dalam dua tipe, yaitu inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Setiap tipe inverter ini dapat menggunakan piranti terkendali turn-on dan turn-off (seperti BJTT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) atau thyristor komutasi paksa tergantung pada aplikasinya.

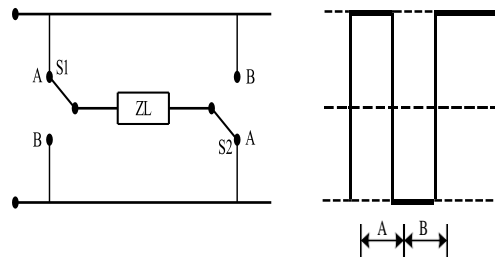
Sering juga disebut rangkaian konverter yang berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan switching. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa SCR, transistor, dan mosfet yang beroperasi sebagai saklar dan pengubah. Aplikasi dari inverter dapat dijumpai pada *power supply*, *un-interruptible power supply* (UPS), industrial (*induction motor*) drives, *active filter*, HVDC dan lain-lain.

2.5.10 Pengendalian Tegangan Inverter

Dalam aplikasi yang sering digunakan didunia industri sering digunakan untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Terdapat beberapa teknik untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Pada umumnya teknik yang sering dipakai adalah sistem PWM (*Pulse Width Modulation*), sistem kontrol yang berbeda-beda ini menghasilkan karakteristik motor yang berbeda pula seperti (getaran, suara, riak, arus motor, respon torsi). Pada PWM beberapa pulsa hidup mati dihasilkan dalam satu siklus dan lamanya juga beragam unuk mengubah-ubah tegangan output. Jumlah pulsa hidup mati yang dihasilkan dalam satu detik disebut frekuensi pembawa. Pada sistem PWM ini getaran motor dan kebisingan motor dari komponen frekuensi sebanding dengan frekuensi pembawa yang dihasilkan, Frekuensi pembawa dari sebuah inverter bersuara akustik lebih rendah, jadi pada inverter dengan nilai frekuensi pembawa yang besar dapat menghaluskan suara bising dari motor listrik. Akan tetapi hal tersebut dapat membuat arus bocor yang terjadi antara motor dan inverter menjadi lebih besar, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya arus lebih. Untuk kondisi seperti ini pemilihan penghantar kebocoran arus kebumi / pentanahan harus dilakukan dengan benar.

2.5.11 Struktur Inverter

Struktur inverter memperlihatkan bahwa inverter dengan transistor yang menghasilkan daya arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi dari sumber komersial yaitu (50 Hz atau 60 Hz). Bagian pertama sirkuit konverter (yang mengubah sumber AC komersial menjadi sumber DC dan menghilangkan riak (*ripple*) pada output DC. Bagian kedua sirkuit inverter yang mengubah arus DC menjadi arus AC tiga fasa dengan frekuensi beragam (dapat disetel), kedua sirkuit ini disebut sirkuit utama. Bagian ketiga adalah sebuah sirkuit kontrol yang berfungsi sebagai pengontrol sirkuit utama. Gabungan keseluruhan dari sirkuit-sirkuit inilah yang disebut sebagai inverter.



Gambar 2.16 Struktur inverter sederhana

Bila kedudukan S1 dan S2 pada A, beban ZL mendapatkan tegangan positif, sedangkan tegangan negatif diperoleh ketika S1 dan S2 pada kedudukan B. Dengan demikian pemindahan saklar (S1 dan S2) secara bergantian akan menghasilkan tegangan bolak-balik yang berbentuk persegi yang besarnya ditentukan oleh sumber, dan frekuensinya ditentukan oleh kecepatan pemindahan saklar. Berdasarkan konfigurasinya inverter dapat di bedakan menjadi 2 jenis yaitu inverter satu fasa jembatan setengah dan inverter satu fasa jembatan penuh. Sedangkan berdasarkan jumlah phasanya, inverter dapat dibedakan atas 2 jenis juga yaitu inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Berdasarkan pengaturan tegangan dan frekuensinya, inverter terbagi atas dua jenis antara lain :

- a) *Inverter Constant Voltage Constant Frequency (CVCF)* yaitu inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang konstan.
- b) *Inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah. Umumnya inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah digunakan pada pemakaian khusus seperti pemakaian pada motor listrik 3 fasa dengan menggunakan sumber tegangan AC. Kerugian cara ini adalah bahwa sistem hanya dapat digunakan pada pemakaian khusus saja, sedangkan keuntungannya adalah kemampuan untuk menggerakkan sistem (beban) dengan sumber-sumber yang berubah-ubah seperti misalnya photovoltaic atau solarcell.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan berdasarkan data dari PT. Domas Agroiinti Prima. Adapun waktu penelitian dilakukan antara bulan Juni sampai Agustus 2023.

3.2 Peralatan Penelitian

Berikut peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Motor Induksi 3 Fasa
2. Monitor kontrol motor
3. Laptop digunakan untuk mengolah data dan menyimpan file.
4. Handphone alat ini digunakan sebagai alat dokumentasi, perhitungan.
5. Multi Tester dan Tang Ampere alat ini digunakan untuk mengukur besaran arus, tegangan dan hambatan.
6. Tacho Meter alat ini digunakan untuk mengukur putaran motor (Rpm).

3.3 Data Penelitian

Berikut data penelitian yang telah dikumpulkan pada penelitian di PT. Domas Agroiinti Prima pada plan Pati Acid data tahun 2023 yaitu:

1. Spesifikasi motor induksi di Plan Pati Acid.
2. Data curren motor induksi setiap start awal.
3. Data Jumlah motor yang ada di plan pati acid
4. Data Putaran Motor (Rpm).

3.4 Metode Penelitian

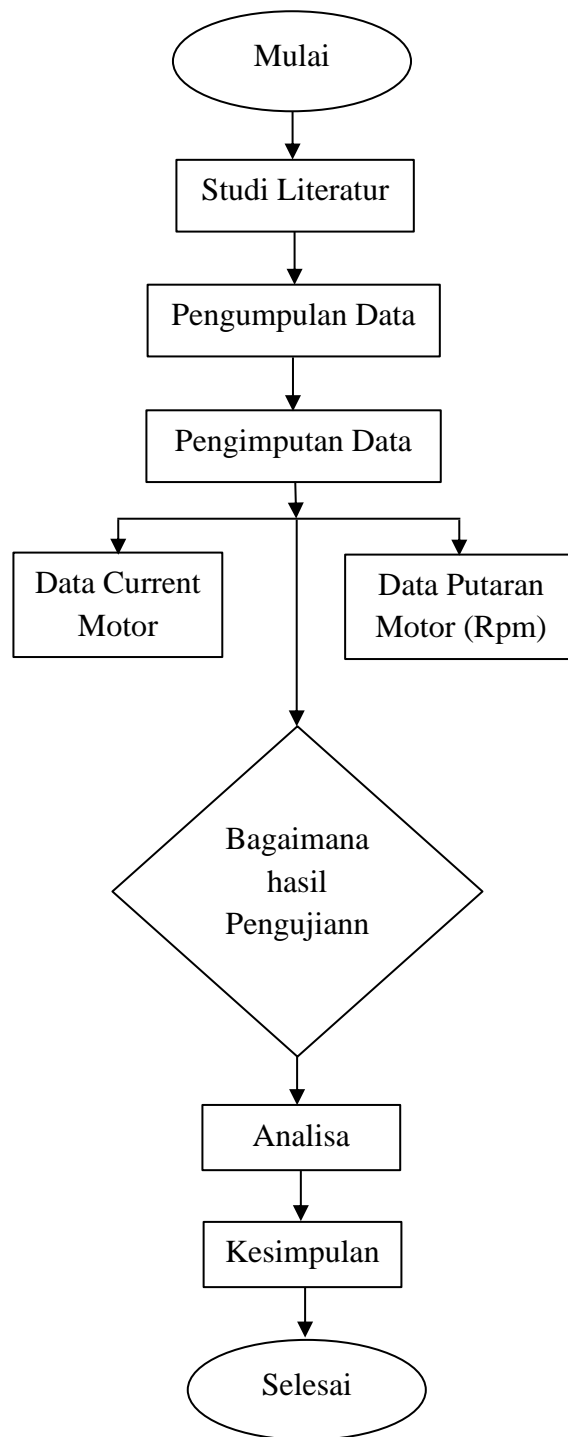
Adapun metode penelitian menggunakan kuantitatif yang dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Pengambilan data : Proses pengambilan data dilakukan pada Motor yang digunakan di Plant Pati Acid. Dimana data diminta pada teknisi Elektrical untuk tahap analisis
2. Data diambil pada Unit Motor di Plant Pati Acid PT. DOMAS AGROINTI PRIMA sebagai sample.

3. Setelah data didapatkan maka langkah selanjutnya adalah pengujian data ke motor untuk melakukan analisis kecepatan motor dan lonjakan arus pada saat awal start motor.
4. Selanjutnya menganalisis untuk mencari Solusi terbaik agar masalah terpecahkan.

3.5 Jalannya Penelitian

Adapun proses berlangsungnya penelitian ini akan digambarkan dalam bentuk alur diagram *flowchart* berikut ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Penjelasan Flowcrat

- Penelitian dimulai dengan mencari studi literatur yang berupa jurnal untuk menjadi referensi bagi Penulis.
- Selanjutnya Penulis melakukan studi lapangan di PT. Domas Agroimti Prima dan didapatkan sebuah motor induksi 3 fasa.
- Penulis mengambil data selama 2 hari didampingi oleh operator setempat.
- Data yang diambil berupa data yang terdapat pada name plate motor di plan Pati Acid
- Kemudian dilakukan pengujian motor dengan VFD sebagai pengatur kecepatannya, yaitu pengujian saat putaran minimum, putaran medium dan putaran maksimum. Sebagai perbandingan juga menggunakan rangkaian kontrol *Star Delta* dan *Dol*
- Data kecepatan putaran (RPM) yang didapat dari pengujian di lapangan dibandingkan dengan data kecepatan putaran (RPM) dari hasil perhitungan. Apabila didapat hasil data di lapangan tidak sama atau tidak mendekati dengan data hasil perhitungan, maka pengujian diulang kembali. Namun apabila data yang didapatkan sama atau hampir mendekati, langkah selanjutnya adalah analisa.
- Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisa hingga mendapatkan hasil yang diinginkan.
- Dilanjutkan dengan penyusunan laporan Tugas Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Addawami, Faiz, and Ananda Yhuto Wibisono Putra. 2022. "Sistem Kerja Rangkaian Kontrol Star Delta Pada Motor 3 Fasa." *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika* 1(4):56–65. doi: 10.55606/jtmei.v1i4.793.
- Andreansyah, Ridho. 2019. "Perencanaan Dan Pembuatan Rangkaian Daya Starting Motor 3 Fasa ,380 Volt ,50 Hz, 3 Hp Dengan Metoda Bintang (Y) – Segitiga (Δ)." *Cyclotron* 2(1). doi: 10.30651/cl.v2i1.2510.
- Arifin Muhammad, Umar. 2021. "Analisis Perbandingan Arus Starting Motor Induksi 3 Fasa Rangkaian Star Delta Dengan Variable Frequency Drive." *Universitas Muhammadiyah Surakarta* 20(7):189–95.
- Dwi Riyadi H. 2011. "Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa." *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip* 5(1):1–5.
- Evalina, Noorly, Abdul H. Azis, and Zulfikar. 2018. "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller." *Journal of Electrical Technology* 3(2):73–80.
- Fakhri, A. B. F., Y. A. Deavy, and M. Putri. 2022. "Analisis Pengaruh Kendali Putar Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Vfd Siemens." *Prosiding Konferensi Nasional ...* 674–83.
- H.Sutrisno. 2011. "Analisis Pengaruh Penggunaan Sistem Star Delta Dengan Rangkaian Manual Dan Plc Pada Motor Listrik 3 Phasa." *Simki-Techsain* 01(03):1–14.
- Hardine, Linkha, Dian Budhi Santoso, and Ridwan Satrio Hadikusuma. 2022. "Analysis of the Influence of Star Delta System in Reduce Electric Starting Surge in 3 Phase Motors." *Electrician* 16(2):208–14. doi: 10.23960/elc.v16n2.2288.
- Induksi, Motor, and Tiga Fasa. 2016. "MASALAH OPEN TRANSITION PADA SAKLAR BINTANG- SEGITIGA SEBAGAI STARTING MOTOR INDUKSI 3 PASE." 12(2):116–19.
- KAMIRUN, M. 2022. "Laporan Kerja Praktek Pt. Wilmar Nabati Indonesia Dumai-Pelintung." 18–19.
- Nuari, Sandhy, Atmam, and Elvira Zondra. 2018. "Analisis Starting Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)." *SainETIn*

2(2):60–67. doi: 10.31849/sainetin.v2i2.2019.

- Prasta Mahrifatika, and Ilham Akbar Darmawan. 2022. “Perbandingan Konsumsi Energi Motor Induksi 3 Fasa Antara Kontaktor Dan Variable Speed Drive (Inverter) Pada Mesin Circular Loom Di PT. Murni Mapan Mandiri.” *Jurnal Sains Dan Teknologi* 1(2):35–46. doi: 10.58169/saintek.v1i2.75.
- Rimbawati, R., Abdul Azis Hutasuhut, Faisal Irsan Pasaribu, C. Cholish, and M. Muharnif. 2017. “Design of Motor Induction 3-Phase from Waste Industry to Generator for Microhydro at Isolated Village.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 237(1). doi: 10.1088/1757-899X/237/1/012021.
- Satria, M. A., and A. D. Andre. 2022. “Analisa Sistem Starting Dol (Direct on Line) Pada Motor Listrik Pt. Semen Baturaja.” *Jurnal ...* 395–402.
- Siburian, Jhonson, Jumari, and Aldi Simangunsong. 2020. “Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Star Delta Pada Pt . Toba Pulp Lestari Tbk.” *Teknologi Energi Dua* 9(2):84–85.
- Sitorus, H. F., A. Armansyah, and R. Harahap. 2022. “Pemeliharaan Motor Induksi 3 Fasa Tegangan 380 V Pada GT 2.1 Di PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkitan Belawan.” *JET (Journal of Electrical ...* 1099:119–23.
- Yuono, D. I. 2020. “Rancang Bangun Sistem Pengatur Kecepatan Motor AC Satu Fasa Berbasis Inverter Menggunakan Metode Variable Frequency Drive.”

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Vikri Vazila
Alamat : Dusun I Desa Pakam Kec.Medang Deras
Kab.Batu Bara
Npm : 1907220011
Tempat/Tanggal Lahir : Desa Pakam, 17 Juni 2001
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
No Telepon/ Watsapp : 082160368985
Email : vikriv74@gmail.com
Tinggi/Berat Badan : 178 cm/70 kg
Kewarganegaraan : Indonesia

ORANG TUA

Nama Ayah : Ngadino
Agama : Islam
Nama Ibu : Nur Asmah
Agama : Islam
Alamat : Dusun I Desa Pakam kec.Medang Deras
Kab.Batu Bara

RIWAYAT PENDIDIKAN

2007-2013 : SD Negeri 015868 Lalang
2013-2016 : MTs Al-Ihya Tanjung Gading
2016-2019 : SMK Negeri 1 Air Putih
2019-2024 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara (UMSU)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)


FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : VIKRI VAZILA
NPM : 1907220011
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Sistem Control Pada Motor Induksi Fasa Dengan Menggunakan Rangkaian Dol, Star Delta Di PT.Domias Agroiinti Prima"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	27/03 2023	Konsultasi judul	Paraf
2	09/05 2023	ACC BAB 1	Paraf
3	15/05 2023	ACC BAB 2	Paraf
4	27/05 2023	ACC BAB 3	Paraf
5	02/06 2023	Konsultasi BAB 2 dan 3 untuk Semprom	Paraf
		ACC Semprom 6/6 2023	

Mengetahui,
Pembimbing I


Rimbawati S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : VIKRI VAZILA
NPM : 1907220011
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Asalisis Sistem *Control* Motor Induksi 3 Fasa
Dengan Menggunakan Rangkaian DOL Dan Star Delta
Di PT.Domias Agroiinti Prima"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	27/01/24	BAB 4	Prof.
2	15/02/24	ISI BAB 4	Prof.
3	30/02/24	BAB 5	Prof.
4	2/03/24	ISI BAB 5	Prof.
5	20/04/24	ABSTRAK	Prof.
6	14/05/24	UCC Seminar Hasi 14/05 2024	Prof. →

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : VIKRI VAZILA
NPM : 1907220011
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Asalisis Sistem *Control* Motor Induksi 3 Fasa
Dengan Menggunakan Rangkaian DOL+VFD Dan
Star Delta Di PT.Domias Agroiinti Prima"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1		Revisi BAB 4	Prof.
2		Tambah teori	Prof.
3		Revisi kesimpulan	Prof.
4		Revisi Daftar pustaka	Prof.
5		Ulu sidang 13/8 2024	Prof.
6			

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> ✉ fatek@umsu.ac.id [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 187/II.3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 17 Februari 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : VIKRI VAZILA
Npm : 1907220011
Program Studi : TEKNIK Elektro
Semester : V11 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PERBANDINGAN SITEM PENGONTROLAN PADA MOTOR
INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN RANGKAIAN DOL , STAR DELTA
PADA PT DOMAS AGROINTI PRIMA .

Pembimbing : RIMBAWATI ST. MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 23 Rajab 1444 H
17 Februari 2023 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202



ANALISIS SISTEM CONTROL KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN RANGKAIANDOL+ VFD DAN STAR DELTA DI PT.DOMAS AGROINTI PRIMA.

Vikri Vazila¹, Rimbawati,S.T.,M.T²

¹Vikri Vazila/Alumni Program Studi Teknik Elektro, Universitas MUHAMMADIYAH
SUMATRA UTARA

²Rimbawati,S.T.,M.T Program Studi Teknik Elektro, Universitas MUHAMMADIYAH
SUMATRA UTARA
e-mail: vikriv74@gmail.com

ABSTRACT

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharaannya. Rangkaian daya untuk motor induksi 3 fasa, 380V, 50Hz, 3HP dengan metode bintang segitiga merupakan rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan daya pada motor listrik. Permasalahan yang ada pada motor induksi ialah pada saat start motor, arus starting motor dapat mencapai lima kali sampai tujuh kali dari arus nominalnya. Fenomena melonjaknya arus awal ketika start motor induksi bisa mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada pasokan tegangan. Salah satu cara untuk mengurangi arus mula pada saat starting motor induksi 3 fase dengan cara mengurangi tegangan suplay memakai saklar Bintang-Segitiga. Tujuan penelitian ini Untuk menganalisis cara mengurangi lonjakan arus pada motor menggunakan direct on line dan Untuk menganalisis bagaimana sistem kerja pada rangkaian motor star delta sehingga arus yang terjadi tidak melonjak tinggi saat starter di PT. Domas Agroiinti Prima. Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif. Teori yang digunakan adalah teori motor induksi dan motor induksi 3 fasa. nilai arus pada masing – masing fasa R,S dan T tidak mengalami lonjakan arus starting disebabkan karna menggunakan rangkaian starter unit VFD, kecepatan motor dapat diatur dengan cara mengatur frekuensi pada starter unit VFD sehingga tidak mengalami lonjakan arus start pada motor induksi 3 fasa. Dan pada rangkaian star delta di tambah relay omron H3CR-A8 untuk timer agar perpindahan dari star ke delta mulus dan mendapat suplai tegangan yang sesuai.

Kata Kunci: Motor Induksi, Rangkaian Dol, Star Delta, Motor Induksi 3 Fasa

ABSTRACT

Induction motors are the most widely used motors today, because they have a simple construction, are relatively cheap, lighter and have high efficiency and are easy to maintain. The power circuit for a 3-phase, 380V, 50Hz, 3HP induction motor with the star-triangle method is a circuit used to distribute power to an electric motor. The problem with induction motors is that when starting the motor, the starting current of the motor can reach five to seven times its nominal current. The phenomenon of the initial current spike when starting the induction motor can cause a voltage drop in the voltage supply. One way to reduce the initial current when starting a 3-phase induction motor is to reduce the supply voltage using a Star-Triangle switch. The purpose of this study is to analyze how to reduce the current spike in the motor using direct on line and to analyze how the system works in the star delta motor circuit so that the current that occurs does not spike high when starting at PT. Domas Agroi Prima. The research method uses a quantitative method. The theory used is the theory of induction motors and 3-phase induction motors. the current value on each phase R, S and T does not experience a starting current spike because it uses a VFD starter unit circuit, the motor speed can be adjusted by adjusting the frequency on the VFD starter unit so that it does not experience a starting current spike on the 3-phase induction motor. And in the star delta circuit, an omron H3CR-A8 relay is added for the timer so that the transition from star to delta is smooth and gets the appropriate voltage supply.

Keywords: *Motor Induksi, Rangkaian Dol, Star Delta, Motor Induksi 3 Fasa*

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharaannya dibandingkan dengan motor DC. Namun dalam hal pengaturan kecepatan dan torsi motor induksi bukanlah suatu permasalahan yang mudah untuk dilakukan, dengan berkembangnya teknologi sistem kontrol salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan Inverter satu fasa dan frekuensi 50 Hz untuk digunakan mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa. Pengaturan frekuensi

tegangan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan inverter. Inverter mengkonversikan sumber tegangan AC 3 fasa maupun sumber tegangan AC 1 fasa yang memiliki frekwensi 50 Hz konstan menjadi sumber tegangan AC 3 fasa yang frekuensinya dapat diatur antara 0 – 50

Permasalahan yang ada pada motor induksi ialah pada saat start motor, arus starting motor dapat mencapai lima kali sampai tujuh kali dari arus nominalnya. Penomena melonjaknya arus awal ketika start motor induksi bisa mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada pasokan tegangan. penyebab adanya arus starting tinggi pada motor karena motor listrik membutuhkan torsi awal yang besar agar dapat melawan

inersianya dan inersia bebannya dari keadaan diam. Tujuan dari penelitian ini diantaranya untuk mengetahui nilai arus starting pada motor induksi 3 fasa ketika menggunakan metode DOL (*Direct On Line*) rangkaian *star delta*, *variable frequency drive*, mengetahui rangkaian yang lebih aman untuk digunakan pada motor induksi agar dampak arus starting nya tidak buruk.

Salah satu cara untuk mengurangi arus mula pada saat starting motor induksi 3 fase adalah dengan cara mengurangi tegangan suplay yaitu, memakai saklar Bintang-Segitiga (*star-delta starter*). Dalam hal ini tegangan yang diberikan hanya 58% dari nominal dan mengakibatkan momen puntir starting turun menjadi 83% dari nominal, maka percepatannya menjadi kecil dan putaran normal dicapai lebih lama. Sehingga momen starting yang hanya 33% dari seharusnya. Secara teoritis arus starting menjadi turun, yaitu : 2 kali arus nominal. Tetapi perlu dikemukakan di sini bahwa arus starting teoretis di atas hanya dapat terlaksana bila dipergunakan *star-delta starter* tipe "*closed-transition*", yaitu pada saat perpindahan dari bintang (*star*) ke segitiga (*delta*) tidak terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor, tapi diselang dengan tahanan. Pada starter tipe "*open-transition*" akan terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor pada saat perpindahan dari bintang ke segitiga. Jadi dapat dikatakan bahwa, starter bintang-segitiga tipe "*open-transition*" tidak akan mengurangi arus starting langsung. Maka dapat dikatakan bahwa starter bintang-segitiga tipe "*opentransition*" tidak direkomendasikan untuk starting motor induksi 3 fase

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 3) Bagaimana cara mengurangi lonjakan arus pada motor menggunakan *direct on line* (DOL)?
- 4) Bagaimana sistem kerja pada rangkaian motor *star delta* sehingga arus yang terjadi tidak melonjak tinggi saat starter?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

- 3) Untuk menganalisis cara mengurangi lonjakan arus pada motor menggunakan *direct on line* (DOL).
- 4) Untuk menganalisis bagaimana sistem kerja pada rangkaian motor *star delta* sehingga arus yang terjadi tidak melonjak tinggi saat starter di PT. Domas Agroiint Prima.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

Motor induksi adalah salah satu kekuatan pendorong yang paling sering digunakan dalam aplikasi industrial. Pada dasarnya, motor induksi bisa digunakan sebagai generator dengan menambahkan kapasitor pada generator output. Kapasitor yang terpasang pada output generator akan memasok daya reaktif yang akan meningkatkan tegangan output pada generator. Selain fungsinya adalah sebagai pendorong, motor induksi juga bisa digunakan sebagai generator, baik kapasitas daya generator besar maupun kecil. Pembangunan motor induksi umumnya sama dengan generator induksi, saat slip dibuat negatif, atau dengan kata lain kecepatan rotasi rotor (NR) dibuat lebih besar dari kecepatan sinkron (NS) maka mesin akan berfungsi sebagai generator dan tegangan output akan dikembalikan ke voltase

yang mengalir. Oleh karena itu, motor induksi bisa dioperasikan sebagai generator induksi.

2.2 Prinsip Kerja Motor Indksi

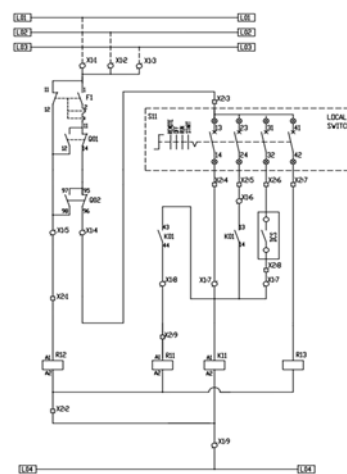
Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (*Emf*) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya *Lorentz* yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

2.3 DOL (*Direct Only Line*)

Direct online starting (DOL) merupakan metode starting yang umum digunakan pada motor listrik. Starting langsung DOL merupakan cara paling sederhana, dimana stator langsung dihubungkan langsung dengan sumber tegangan, artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat starting. Penggunaan metode ini sering dilakukan untuk motor-motor AC yang mempunyai kapasitas daya yang kecil.

Prinsip kerja Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Listrik yang diubah adalah listrik 3 fasa. apabila belitan yang ada pada stator di beri tegangan maka pada stator akan menghasilkan arus yang kemudian menghasilkan medan magnet yang berputar.(Satria and Andre 2022)

Rangkaian DOL atau Rangkaian *Direct Online* adalah sebuah rangkaian motor listrik yang terdiri dari satu buah kontaktor, motor listrik 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 On Line* ini sangat sederhana dan mudah dipahami.



Gambar 2. 16 Rangkaian Kontrol DOL

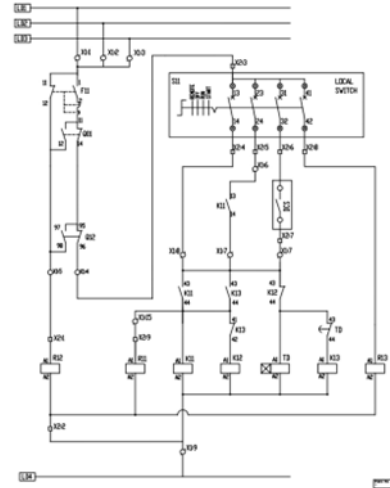
2.4 Star Delta ($Y-\Delta$)

Star delta adalah sebuah sistem starting motor yang paling banyak digunakan untuk starting motor induksi tiga fasa. Metode *star delta* adalah metode pengasutan dengan mengurangi tegangan yang masuk ke kumparan motor. Sebuah motor induksi yang dapat digunakan dalam hubungan star delta mempunyai enam buah terminal dan tidak dapat digunakan secara bersamaan.

Motor Induksi dapat dikatakan dalam artian sebuah motor arus bolak balik (ac). Arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan Stator dihubungkan dengan

sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120/p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum *lenz*, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar rotor. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. (Siburian et al. 2020)

Dilihat dari diagram kontrol pada rangkaian Star Delta ini terdiri dari MCB, thermal overload, 3 kontaktor, lokal switch, timer, lampu tanda (merah, kuning, orange), dan relay. Apabila MCB di onkan maka lampu merah akan hidup, ketika lokal switch posisi run maka arus masih dalam keadaan stanbay di kontak NO k13, apabila lokal switch di posisikan ke posisi start maka kontaktor k1 dan kontaktor k13 akan on bersamaan dengan timer membentuk rangkaian Star setelah beberapa detik sesuai dengan waktu yang diatur pada timer, kontaktor k13 akan off di gantikan dengan kontaktor k1 dan k2 on membentuk rangkaian Delta. Untuk mengetahui rangkaian kontrolnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

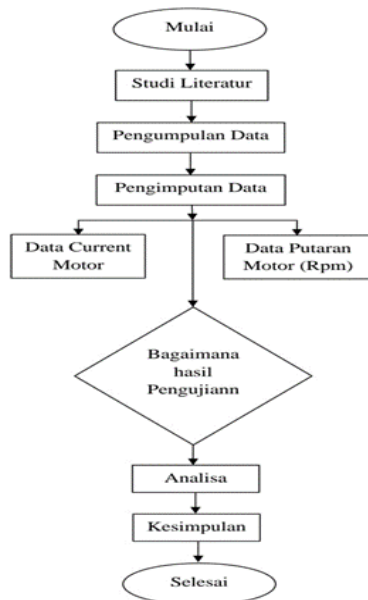


Gambar 2. 17 Rangkaian Kontrol Star Delta

2.5 VFD (*Variabel Frekuensi Drive*)

juga dikenal sebagai *Adjustable Frequency Drive* atau *Inverter Drive*, yang merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur kecepatan dan torsi motor listrik. VFD juga berfungsi dengan mengubah frekuensi dan tegangan input yang diberikan ke motor, sehingga mengatur kecepatan operasionalnya. Keuntungan penggunaan VFD tersebut dapat mengatur kecepatan motor sesuai kebutuhan, pengoperasian memulai atau berhenti dengan perlahan sehingga mengurangi tegangan dan arus awal yang tinggi, kontrol torsi sesuai kebutuhan, efisiensi energi dan memperpanjang umur motor (Dewi et al., 2023). VFD merupakan pengontrol kecepatan motor yang mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor induksi. Penyesuaian nilai frekuensi dan tegangan bertujuan untuk mendapatkan kecepatan dan torsi motor yang dibutuhkan.

BAB 3 METODE PENELITIAN 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Metode Penelitan

Adapun metode penelitian menggunakan kuantitatif yang dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Pengambilan data : Proses pengambilan data dilakukan pada Motor yang digunakan di Plant Pati Acid. Dimana data diminta pada teknisi Elektrical untuk tahap analisis
2. Data diambil pada Unit Motor di Plant Pati Acid PT. DOMAS AGROINTI PRIMA sebagai sample.
3. Setelah data didapatkan maka langkah selanjutnya adalah pengujian data ke motor untuk melakukan analisis kecepatan motor dan lonjakan arus pada saat awal start motor.
4. Selanjutnya menganalisis untuk mencari tau Solusi terbaik agar masalah terpecahkan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 4.1 Analisis Rangkaian DOL

Pada analisis kontrol rangkaian DOL pada motor induksi 3 fasa ini dilakukan percobaan pada motor dengan spesifikasi yang terlampir, adapun data yang akan diambil meliputi data arus yang mengalir pada motor mulai dari awal start hingga berjalan normal (stabil).

Adapun pengambilan data pertama adalah dengan spesifikasi motor sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Name Plate Motor 1

Table 4. 1 Spesifikasi Motor Uji DOL

Motor Type	MS6000
Pole	2
Rated Power	11 kW
Power (P2) Required by pump	11 kW
Frekuensi	50 Hz
Rated Voltage	3 x 380-400-415 V
Starting Current	470-520-540%
Cosphi	0,84

Maka setelah melakukan pengambilan data arus yang mengalir dari awal start hingga berjalan normal adalah sebagai berikut :

Table 4. 2 Data Motor Rangkaian DOL

Waktu (second)	Arus (Ampere)			Tegangan (Volt)			Rpm
	R	S	T	R	S	T	r/min
1 (start)	37,26	38,71	40,93	383	386	393	2.930
2	25,63	27,85	29,18	382	385	391	2.930
3	12,51	13,82	15,97	382	385	390	2.930
4	9,17	9,82	10,76	380	382	389	2.930
5	9,17	9,82	10,76	380	382	389	2.930
6	9,1	9,82	10,76	380	382	389	2.930
7	9,17	9,82	10,76	380	382	389	2.930

Dari tabel 4.2 dapat dilihat pada tahapan arus start, nilai arus pada masing – masing fasa R,S dan T mengalami lonjakan yang sangat tinggi hingga mencapai 5 sampai 7 kali dari arus nominal motor. Namun lonjakan arus yang terjadi hanya beberapa detik saja seperti dilihat dari tabel diatas kemudian arus secara perlahan turun untuk mencapai arus normal.

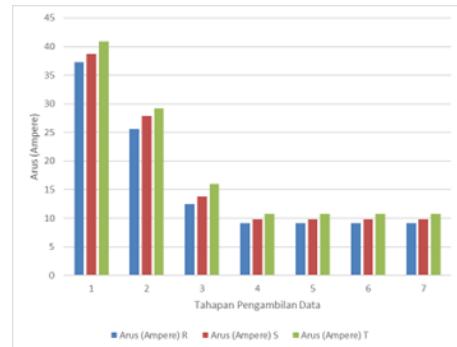
Table 4. 3 Data Motor Rangkaian DOL Menggunakan VFD

No	HZ	%	Arus (Ampere)			Tegangan (Volt)			Rpm
			R	S	T	R	S	T	r/min
1	25	50	4,41	4,39	4,32	383	386	393	1.465
2	35	75	6,87	6,98	6,99	387	388	390	2.197
3	50	100	9,34	9,67	9,87	387	388	392	2.930

Dari tabel 4.3 dapat dilihat pada tabel diatas arus start, nilai arus pada masing – masing fasa R,S dan T tidak mengalami lonjakan arus starting disebabkan karna menggunakan rangkaian starter unit VFD, kecepatan motor dapat diatur dengan cara mengatur frekuensi pada starter unit VFD sehingga tidak mengalami lonjakan arus start pada motor induksi 3 fasa.

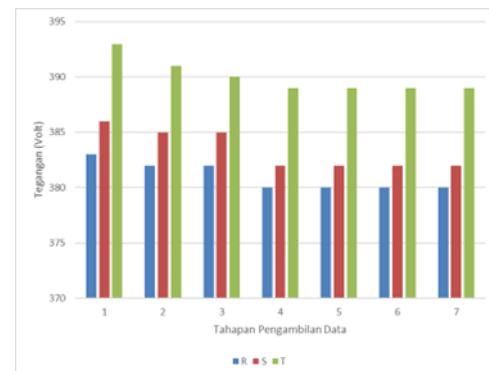
Adapun gambar grafik yang dihasilkan dari pengambilan data

pada tabel 4.1 dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Arus Motor Rangkaian DOL

Pada grafik 4.3 dapat dilihat pada saat tahapan started arus mengalami lonjakan dari normalnya. Dimana arus started tertinggi pada fasa T yaitu 40 ampere. Dan perlahan stabil pada tahap ke-3 sampai dengan tahap ke-7.



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Tegangan Rangkaian DOL

Berbada dengan arus, nilai tegangan yang ditampilkan pada saat motor dalam keadaan aktif relatif stabil. Mulai dari tegangan started sampai pada tahap ke 7 rata – rata nilai tegangan adalah 380 V.

4.2 Analisis Rangkaian Star Delta

Adapun spesifikasi motor yang diuji pada rangkaian star-delta ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 4 Name Plate Motor 2

Table 4. 4 Spesifikasi Motor Uji Star Delta

Motor Type	MS6000
Pole	2
Rated Power	11 kW
Power (P2) Required by pump	11 kW
Frekuensi	50 Hz
Rated Voltage	3 x 380-400-415 V
Starting Current	470-520-540%
Cosphi	0,84

Setelah melakukan pengukuran dan pengambilan data pada saat motor beroperasi pada rangkaian star delta adpaun tabel data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Table 4. 5 Pengujian Tegangan dan Arus Rangkaian Star-Delta

Proses Ynag Di Ukur	Tegangan (V)	Arus (I)	Rpm	Arus starter Pada Awal Star	Arus Starter Pada Star to Delta
Hubung (Y)	R 383 V	17,8 A	2.930	29A	37A
	S 386 V	17,1 A	2.930		
	T 384 V	16,8 A	2.930		
Hubung (A)	R 388 V	19,7 A	2.930		
	S 388 V	19,5 A	2.930		
	T 393 V	19,6 A	2.930		

Adapun daya input yang dihasilkan motor sesuai dengan tabel data tegangan dan arus yang mengalir adalah sebagai berikut :

- a. Perhitungan daya pada hubung star

$$P(R) = V \cdot I \cdot \text{Cos phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$= 383 \cdot 17,8 \cdot 0,8 \cdot 1,73$$

$$= 9435,28 \text{ Watt}$$

$$P(S) = V \cdot I \cdot \text{Cos phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$= 386 \cdot 17 \cdot 0,8 \cdot 1,73$$

$$= 9081,8 \text{ Watt}$$

$$P(T) = V \cdot I \cdot \text{Cos phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$= 384 \cdot 16,8 \cdot 0,8 \cdot 1,73$$

$$= 8928,46 \text{ Watt}$$

- b. Perhitungan daya pada hubung delta

$$P(R) = V \cdot I \cdot \text{Cos phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$= 388 \cdot 19,7 \cdot 0,8 \cdot 1,73$$

$$= 10578,74 \text{ Watt}$$

$$P(S) = V \cdot I \cdot \text{Cos phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$= 388 \cdot 19,5 \cdot 0,8 \cdot 1,73$$

$$= 10471,34 \text{ Watt}$$

$$P(T) = V \cdot I \cdot \text{Cos phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$= 393 \cdot 19,6 \cdot 0,8 \cdot 1,73$$

$$= 10660,67 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan daya pada masing – masing fasa ketika hubung star dan delta dapat dilihat pada tabel berikut :

Table 4. 6 Daya Motor Hubung Star-Delta

Proses Ynag Di Ukur	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Watt)	Rpm
Hubung (Y)	R 383 V	17,8 A	9435,28	2.930
	S 386 V	17,1 A	9081,8	2.930
	T 384 V	16,8 A	8928,46	2.930
Hubung (A)	R 388 V	19,7 A	10578,74	2.930
	S 388 V	19,5 A	10471,34	2.930
	T 393 V	19,6 A	10660,67	2.930

Adapun perhitungan arus perfasa dan arus line hubung star pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

$$I \text{ Line} = I \text{ Fasa}$$

- a. Perhitungan arus fase (R) maka

$$I_f 1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{Cos Phi}}$$

$$= \frac{9435,28}{1,73.383.0,8}$$

$$= 17,79 \text{ A}$$

b. Perhitungan arus fase (S)

maka

$$\text{If 2} = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \cos \Phi}$$

$$= \frac{9081,8}{1,73.386.0,8}$$

$$= 17 \text{ A}$$

c. Perhitungan arus fase (T)
maka

$$\text{If 2} = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \cos \Phi}$$

$$= \frac{8928,46}{1,73.384.0,8}$$

$$= 16,79 \text{ A}$$

Maka arus line pada motor yang diuji pada lokasi penelitian adalah sama dengan arus pada masing masing fase. Maka $IL(R) = 17,8 \text{ A}$, $IL(S) = 17 \text{ A}$ dan $IL(T) = 16,8 \text{ A}$.

Adapun perhitunagn arus perfasa dan arus line hubung delta pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan arus fase (R)
maka

$$\text{If 1} = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \cos \Phi}$$

$$= \frac{10578,74}{1,73.388.0,8}$$

$$= 19,69 \text{ A}$$

b. Perhitungan arus fase (S)
maka

$$\text{If 2} = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \cos \Phi}$$

$$= \frac{10471,34}{1,73.388.0,8}$$

$$= 19,49 \text{ A}$$

c. Perhitungan arus fase (T)
maka

$$\text{If 3} = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \cos \Phi}$$

$$= \frac{10660,67}{1,73.393.0,8}$$

$$= 19,59 \text{ A}$$

Maka perhitungan arus line (IL) panel hubung delta pada motor yang

dilakukan pengujian adalah sebagai berikut :

$$\text{a. } IL(R) = \sqrt{3} \cdot \text{If 1}$$

$$= 1,73 \cdot 19,69$$

$$= 34 \text{ A}$$

$$\text{b. } IL(S) = \sqrt{3} \cdot \text{If 2}$$

$$= 1,73 \cdot 19,49$$

$$= 33,7 \text{ A}$$

$$\text{c. } IL(T) = \sqrt{3} \cdot \text{If 3}$$

$$= 1,73 \cdot 19,59$$

$$= 33,9 \text{ A}$$

Arus star to Delta – Arus starter awal pada motor induksi 3 phasa ini adalah
 $= 37 \text{ A} - 29 \text{ A}$
 $= 8 \text{ A}$

Perhitungan manual arus, daya dan effisiensi dengan time delay relay (TDR) menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Kinerja Hubung Star Motor 3 Phase

1) Perhitungan berdasarkan rumus kecepatan medan putar :

$$ns = \frac{f \cdot 120}{p}$$

$$ns = \frac{50.120}{2}$$

$$ns = 3000 \text{ Rpm}$$

2) Perhitungan Slip :

$$\text{slip} = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\%$$

$$\text{slip} = \frac{3000 - 2930}{3000} \times 100\%$$

$$\text{slip} = 0,02\%$$

3) Perhitungan besar rugi - rugi :

$$P \text{ rugi} = p \times \omega r$$

$$\omega r = \frac{2 \pi nr}{60}$$

$$\omega r = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2930}{60}$$

$$\omega r = 306,67 \text{ rad/s}$$

Maka :

$$P \text{ rugi} = p \times \omega r$$

$$P \text{ rugi} = 2 \times 306,67$$

$$P \text{ rugi} = 613,34 \text{ Watt}$$

4. Berdasarkan rumus besar daya output
- Besar Daya Output Star

$$P_{out} = P_{in} - P_{rugi}$$

$$= 9435,28 - 613,34$$

$$= 8821,66 \text{ Watt}$$
 - Besar Daya Output Delta

$$P_{out} = P_{in} - P_{rugi}$$

$$= 10578,46 - 613,34$$

$$= 9965,12 \text{ Watt}$$
5. Perhitungan Effisiensi motor
- Effisiensi motor hubung star
 maka :

$$n = (P_{out} / P_{in}) \times 100\%$$

$$= (8821,66 / 9435,28) \times 100\%$$

$$= 93\%$$
 - Besar Daya Output Delta

$$n = (P_{out} / P_{in}) \times 100\%$$

$$= (9965,12 / 10578,46) \times 100\%$$

$$= 94\%$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- nilai arus pada masing – masing fasa R,S dan T tidak mengalami lonjakan arus starting disebabkan karna menggunakan rangkaian starter unit VFD, kecepatan motor dapat diatur dengan cara mengatur frekuensi pada starter unit VFD sehingga tidak mengalami lonjakan arus start pada motor induksi 3 fasa.

Memperbesar nilai frekuensi maka nilai tegangan juga mengalami peningkatan dengan kata lain frekuensi berbanding lurus dengan tegangan masukan. Menaikkan nilai frekuensi maka nilai arus tetap, dapat disimpulkan bahwa memperbesar nilai frekuensi masukan maka nilai arus tidak mengalami perubahan. Terdapat perbedaan karakteristik arus pada kumparan motor induksi 3 fasa ketika menggunakan VFD dan menggunakan tang ampere pada kumparan motor. Hasil penelitian menunjukkan Motor induksi yang menggunakan VFD tidak mengalami perubahan arus yang signifikan dibandingkan dengan motor induksi 3 fasa menggunakan

tang ampere lebih tinggi yang dimana lebih banyak menggunakan beban dibandingkan menggunakan VFD.

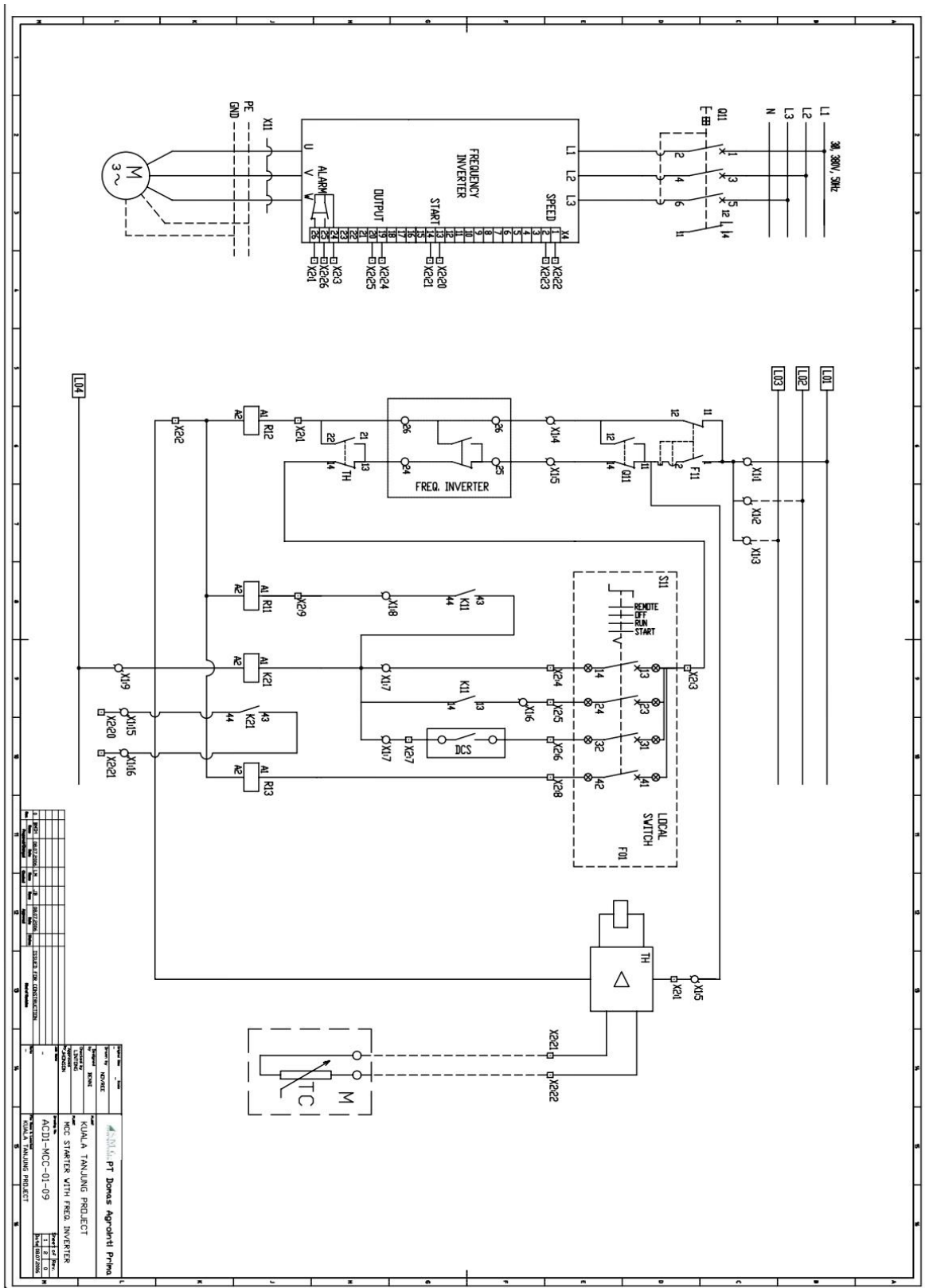
- Pada lokasi penelitian motor menggunakan time delay relay atau timer, timer yang dipakai dengan tipe relay omron H3CR-A8 difungsikan untuk perpindahan dari rangkaian star ke delta dengan di setting waktu 5 detik, perputaran motor pada hubung star tidak maksimal dikarenakan pada hubung star tidak mendapat tegangan penuh 660 Volt tetapi hanya mendapat tegangan 380 Volt maka rangkaian berpindah ke hubungan delta secara otomatis. Wiring diagram rangkaian terhubung delta pada gambar Timer perhitungan mundur dengan di setting 5 detik maka kontak timer omron H3CRA8 pada kondisi NC berubah menjadi NO dan menutup kontak relay menyebabkan aliran arus menuju magnetik kontaktor (K2) terputus sehingga rangkaian terhubung delta. Kinerja pompa dengan penggerak motor 3 fasa pada di plant pati acid mendapat tegangan supply 380 Volt yaitu tegangan kerja pada hubung delta, maka pada hubungan delta perputaran

motor menjadi maksimal sesuai dengan tegangan kerja.

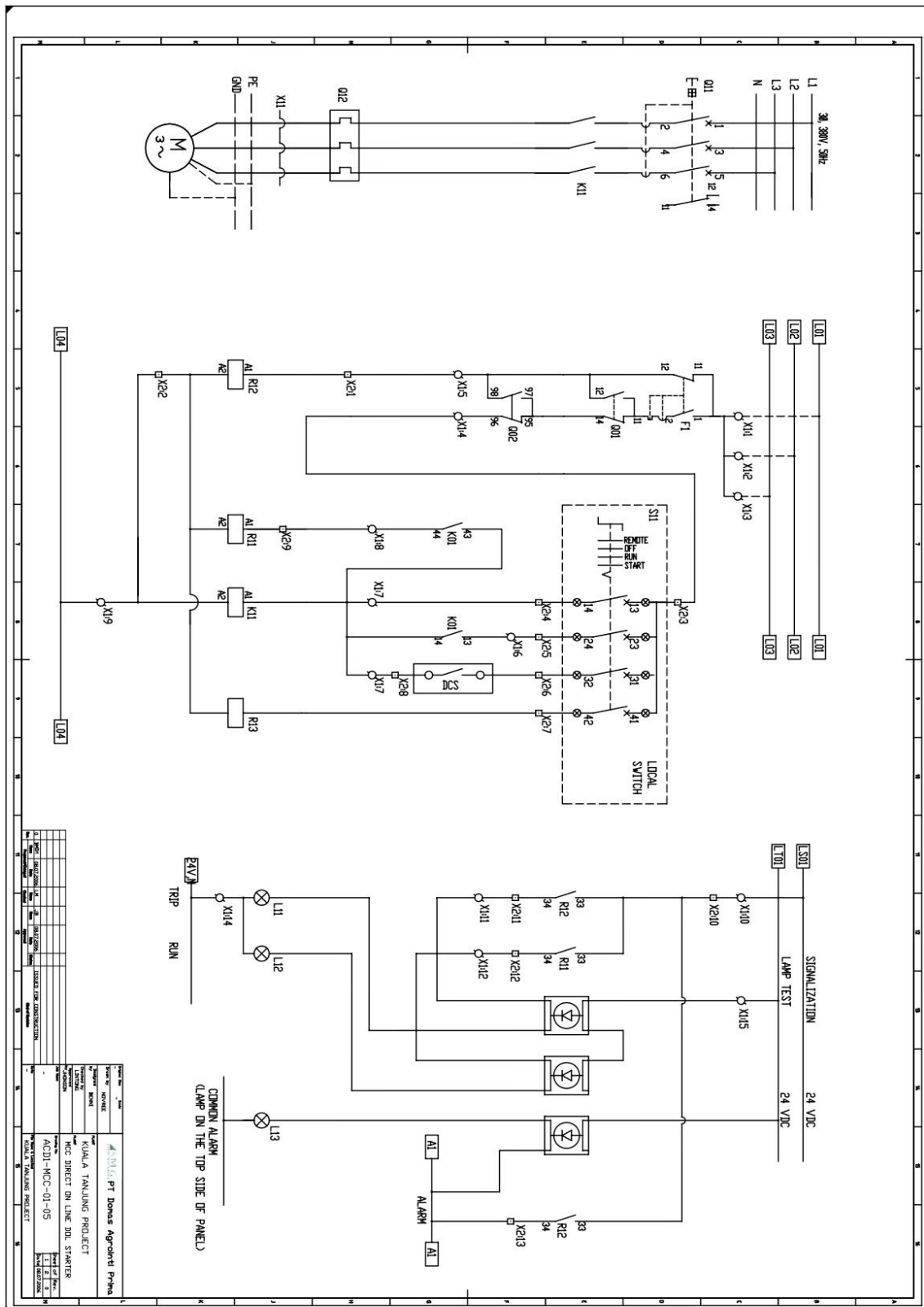
DAFTAR PUSTAKA

- Addawami, Faiz, and Ananda Yhuto Wibisono Putra. 2022. "Sistem Kerja Rangkaian Kontrol Star Delta Pada Motor 3 Fasa." *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika* 1(4):56–65. doi: 10.55606/jtmei.v1i4.793.
- Andreansyah, Ridho. 2019. "Perencanaan Dan Pembuatan Rangkaian Daya Starting Motor 3 Fasa ,380 Volt ,50 Hz, 3 Hp Dengan Metoda Bintang (Y) – Segitiga (Δ)." *Cyclotron* 2(1). doi: 10.30651/cl.v2i1.2510.
- Arifin Muhammad, Umar. 2021. "Analisis Perbandingan Arus Starting Motor Induksi 3 Fasa Rangkaian Star Delta Dengan Variable Frequency Drive." *Universitas Muhammadiyah Surakarta* 20(7):189–95.
- Dwi Riyadi H. 2011. "Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa." *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip* 5(1):1–5.
- Evalina, Noorly, Abdul H. Azis, and Zulfikar. 2018. "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller." *Journal of Electrical Technology* 3(2):73–80.
- Fakhri, A. B. F., Y. A. Deavy, and M. Putri. 2022. "Analisis Pengaruh Kendali Putar Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Vfd Siemens." *Prosiding Konferensi Nasional ...* 674–83.
- H.Sutrisno. 2011. "Analisis Pengaruh Penggunaan Sistem Star Delta Dengan Rangkaian Manual Dan Plc Pada Motor Listrik 3 Fasa." *Simki-Techsain* 01(03):1–14.
- Hardine, Linkha, Dian Budhi Santoso, and Ridwan Satrio Hadikusuma. 2022. "Analysis of the Influence of Star Delta System in Reduce Electric Starting Surge in 3 Phase Motors." *Electrician* 16(2):208–14. doi: 10.23960/elc.v16n2.2288.
- Induksi, Motor, and Tiga Fasa. 2016. "MASALAH OPEN TRANSITION PADA SAKLAR BINTANG-SEGITIGA SEBAGAI STARTING MOTOR INDUKSI 3 PASE." 12(2):116–19.
- KAMIRUN, M. 2022. "Laporan Kerja Praktek Pt. Wilmar Nabati Indonesia Dumai-Pelintung." 18–19.
- Nuari, Sandhy, Atmam, and Elvira Zondra. 2018. "Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)." *SainETIn* 2(2):60–67. doi: 10.31849/sainetin.v2i2.2019.
- Prasta Mahrifatika, and Ilham Akbar Darmawan. 2022. "Perbandingan Konsumsi Energi Motor Induksi 3 Fasa Antara Kontaktor Dan Variable Speed Drive (Inverter) Pada Mesin Circular Loom Di PT. Murni Mapan Mandiri." *Jurnal Sains Dan Teknologi* 1(2):35–46. doi: 10.58169/saintek.v1i2.75.
- Rimbawati, R., Abdul Azis Hutasuhut, Faisal Irsan Pasaribu, C. Cholish, and M. Muharnif. 2017. "Design of Motor Induction 3-Phase from

- Waste Industry to Generator for Microhydro at Isolated Village.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 237(1). doi: 10.1088/1757-899X/237/1/012021.
- Satria, M. A., and A. D. Andre. 2022. “Analisa Sistem Starting Dol (Direct on Line) Pada Motor Listrik Pt. Semen Baturaja.” *Jurnal ...* 395–402.
- Siburian, Jhonson, Jumari, and Aldi Simangunsong. 2020. “Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Star Delta Pada Pt . Toba Pulp Lestari Tbk.” *Teknologi Energi Dua* 9(2):84–85.
- Sitorus, H. F., A. Armansyah, and R. Harahap. 2022. “Pemeliharaan Motor Induksi 3 Fasa Tegangan 380 V Pada GT 2.1 Di PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkitan Belawan.” *JET (Journal of Electrical ...* 1099:119–23.
- Yuono, D. I. 2020. “Rancang Bangun Sistem Pengatur Kecepatan Motor AC Satu Fasa Berbasis Inverter Menggunakan Metode Variable Frequency Drive.”



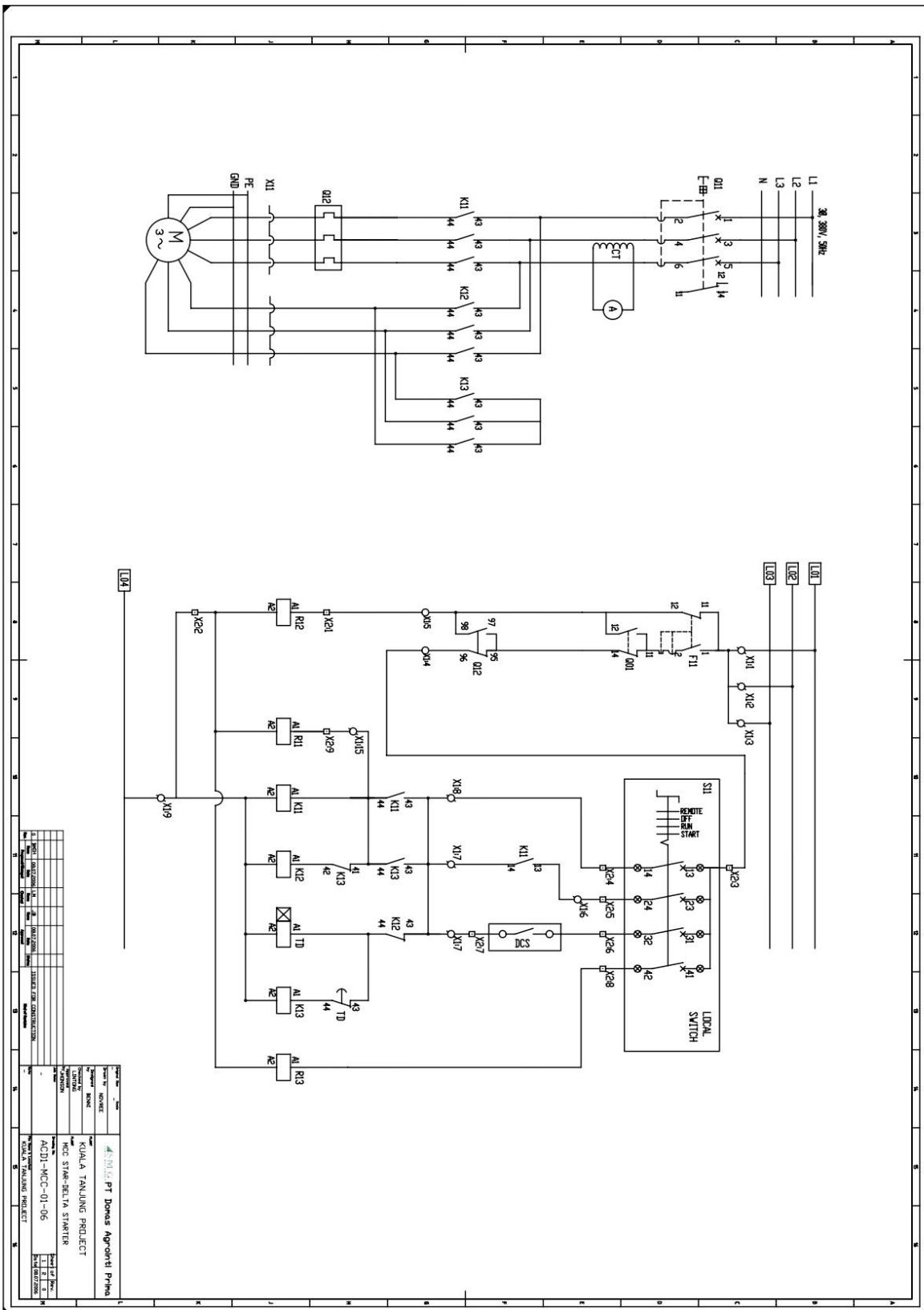
Lampiran 1 Rangkaian DOL Dengan Inverter



NO	REVISION	DATE	BY	CHK	APPROVAL
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

PROJECT	PT. Domes Agriprati Prima
CLIENT	KUALA TANJUNG PROJECT
LOCATION	KCC BUREAU ON LINE DOL STARTER
NO. DRAWING	ACD11-KCC-01-05
DATE	11/08/2020
SCALE	1:1
DESIGNER	KUALA TANJUNG PROJECT

Lampiran 2 Rangkaian DOL



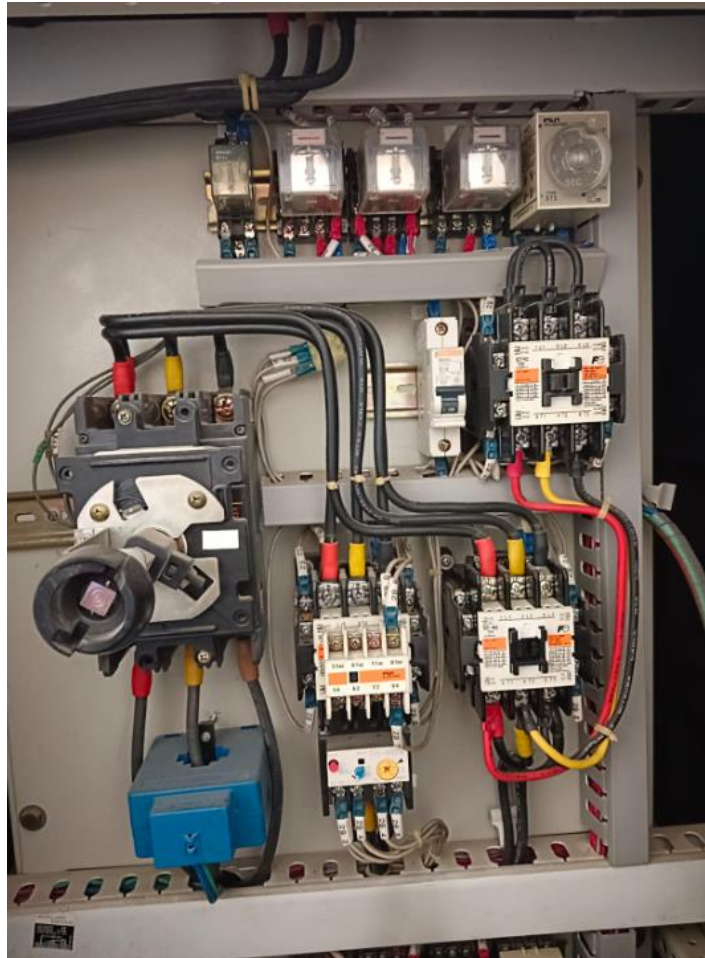
Lampiran 3 Rangkaian Star Delta



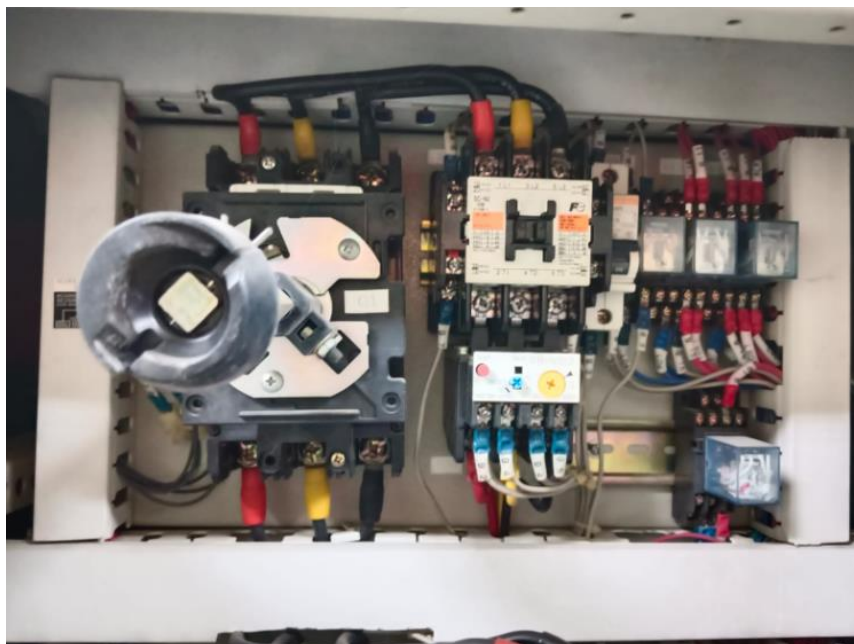
Lampiran 4 Motor Pada Lokasi Penelitian



Lampiran 5 Motor Tampak Samping



Lampiran 6 Rangkaian Star Delta pada Panel



Lampiran 7 Rangkaian DOL Pada Panel



Lampiran 8 Panel Kontrol



Lampiran 9 Ruang Kontrol