



**Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa
Menggunakan *Variable Speed Drive* berbasis
Programmable Logic Controller pada Konveyor
*Wire Harness***

Tugas Akhir

**Oleh:
M. Insannul Kamil (4212001045)**

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2024**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive berbasis Programmable Logic Controller pada Konveyor Wire Harness" adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 19 Juli 2024



M. Insannul Kamil
NIM: 4212001045

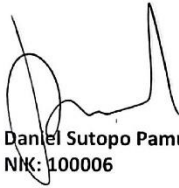
Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
M. Insannul Kamil (4212001045)

Tanggal Sidang: 16 - 07 - 2024

Disetujui oleh :



1. Daniel Sutopo Pamungkas, S.T., M.T., Ph.D
NIK: 100006



1. Diono, S.Tr.T., M.Sc
NIK: 120243



2. Fadli Firdaus
NIK: 122271



2. Adhian Jefiza, S.Pd., M.T
NIK: 119220

Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Variable Speed Drive* berbasis *Programmable Logic Controller* pada Konveyor *Wire Harness*

Abstrak

Motor induksi tiga fasa merupakan penggerak yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dimana sumber energi yang digunakan berupa listrik tiga fasa. Motor jenis ini merupakan jenis motor yang sering digunakan pada berbagai macam proses industri dikarenakan tingkat efisiensi yang cukup tinggi dan perawatannya yang relatif mudah. Salah satu penggunaan motor tiga fasa yaitu sebagai penggerak konveyor. Ada berbagai macam sistem kontrol yang dapat digunakan untuk mengontrol motor dan konveyor, salah satunya yaitu menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD). *Variable Speed Drive* (VSD) ini berfungsi sebagai pengatur kecepatan pada motor tiga fasa. Untuk itu, sistem ini memerlukan komponen *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai pengendali *Variable Speed Drive* (VSD). Kecepatan yang diinput berupa frekuensi yang akan diarahkan ke motor, kemudian dikonversi menjadi rpm menggunakan protokol yang disebut *Modbus Protocol*. Dikarenakan dalam sistem ini terdapat *steady state error*, sehingga diperlukan perhitungan frekuensi yang tepat untuk mendapatkan rpm yang sesuai. Ada beberapa tahap yang akan dilewati oleh penulis, dimulai dari studi literatur kemudian dilanjutkan dengan mempersiapkan alat dan bahan dalam proses perancangan elektrikal dan program pada alat. Selanjutnya merangkai alat menjadi kesatuan sistem yang utuh sehingga dapat digunakan untuk melalui tahap berikutnya. Setelah alat sudah selesai menjadi sistem yang saling terhubung, maka penulis melakukan pengujian dengan mengambil beberapa data kecepatan motor. Jika alat telah berjalan dengan baik, akhirnya akan dibuat analisa dan kesimpulan dari keseluruhan sistem yang sudah dibuat. Penulis menggunakan metode *Trial and Error* yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan motor yang paling sesuai. Dengan pengambilan data dari frekuensi 10 Hz sampai dengan 60 Hz, penulis dapat menyimpulkan bahwa alat dapat bekerja dengan cukup baik walaupun dari hasil pengujian terdapat *steady state error* yang relatif kecil dengan rentang 0,6% sampai 1,5%.

Kata kunci : Motor induksi tiga fasa, *Variable Speed Drive* (VSD), *Programmable Logic Controller* (PLC), *Steady State Error*, *Trial and Error*.

Three Phase Induction Motor Speed Controller Using Variable Speed Drive based on Programmable Logic Controller on Wire Harness Conveyor

Abstract

A three-phase induction motor is a driver that converts electrical energy into mechanical energy where the energy source used is three-phase electricity. This type of motor is a type of motor that is often used in various industrial processes due to its fairly high level of efficiency and relatively easy maintenance. One use of a three-phase motor is as a conveyor driver. There are various types of control systems that can be used to control motors and conveyors, one of which is using a Variable Speed Drive (VSD). This Variable Speed Drive (VSD) functions as a speed regulator for three-phase motors. For this reason, this system requires a Programmable Logic Controller (PLC) component as a Variable Speed Drive (VSD) controller. The input speed is a frequency that will be directed to the motor, then converted to rpm using a protocol called the Modbus Protocol. Because in this system there is a steady state error, so a precise frequency calculation is needed to get the appropriate rpm. There are several stages that the author will go through, starting from a literature study then continuing with preparing tools and materials in the electrical design process and programming the tools. Next, assemble the tools into a complete system so that it can be used to go through the next stage. After the tool was completed as an interconnected system, the author carried out tests by taking some motor speed data. If the tool is running well, finally an analysis and conclusion will be made of the entire system that has been created. The author uses the Trial and Error method to get the most suitable motor speed. By taking data from a frequency of 10 Hz to 60 Hz, the author can conclude that the tool can work quite well even though from the test results there is a relatively small steady state error with a range of 0.6% to 1.5%.

Keywords: Three phase induction motor, Variable Speed Drive (VSD), Programmable Logic Controller (PLC), Steady State Error, Trial and Error.

Kata Pengantar

Puji syukur atas nikmat yang diberikan Allah SWT dan salam sejahtera, sehingga penulis dapat menyusun tugas akhir ini. Tugas akhir ini disusun guna melengkapi persyaratan mengikuti mata kuliah tugas akhir di program studi D4 Teknik Mektronika Politeknik Negeri Batam dan dengan tujuan sebagai salah satu syarat kelulusan. Penyusunan tugas akhir ini tentu tak lepas dari arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pihak-pihak yang terkait tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Tuhan Yang Maha Esa, sebab atas berkat dan rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberi dukungan dalam bentuk materil maupun moral.
3. Bapak Uuf Brajawidagda, ST.,MT.,Ph.D selaku direktur Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Dr. Budi Sugandi, S.T.,M.Sc. selaku kepala jurusan elektro.
5. Bapak Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng. selaku kepala program studi Teknik Mekatronika.
6. Bapak Diono, S.Tr.T.,M.Sc. selaku pembimbing I penulis yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dari awal hingga penulis menyelesaikannya.
7. Bapak Adlian Jefiza, S.Pd.,M.T. selaku pembimbing II penulis yang juga sudah membimbing dan mengarahkan demi kelancaran proses pembuatan tugas akhir ini.
8. Bapak Daniel Sutopo Pamungkas, S.T.,M.T.,Ph.D dan Bapak Fadli Firdaus yang telah memberi saran dan masukan guna memperbaiki kesalahan-kesalahan penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
9. Bapak M. Naufal Airlangga Diputra, S.Pd.,M.P.H selaku pengampu pada mata kuliah tugas akhir.
10. Wahyu Julianto dan Herdi Gunanta Sirait sebagai tim dalam proyek ini yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan tugas akhir penulis.
11. Maygista Dwi Shofiyanti Yusuf yang telah menemani dan memberikan dukungan kepada saya agar mampu menyusun tugas akhir ini sampai selesai.
12. Seluruh teman-teman dari kelas Mekatronika B Pagi Angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan namanya satu-persatu.

13. Seluruh dosen-dosen Teknik Elektro terkhususnya prodi Teknik Mekatronika yang telah memberikan penulis ilmu yang berguna dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
14. Dan seluruh pihak-pihak terkait yang membantu saya secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat memberikan penulis motivasi untuk menyusun karya ilmiah lain yang akan datang. Demikian kata pengantar ini, penulis berharap semoga buku tugas akhir ini dapat bermanfaat dan banyak membantu pembaca dan pihak-pihak lain yang ingin menggunakannya sebagai referensi.

Batam, 19 Juli 2024

M. Insannul Kamil

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan Masalah	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1. Motor Induksi Tiga Fasa	3
2.1.1. Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa	3
2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa	5
2.2. Variable Speed Drive	7
2.2.1. <i>Rectifier</i>	8
2.2.2. DC Link	9
2.2.3. Inverter	9
2.3. Programmable Logic Controller	10
2.4. <i>Modbus Protocol</i>	11
2.5. <i>Trial and Error</i>	12
Bab 3. Metodologi Penelitian	13
3.1. Perancangan	13
3.1.1. Perancangan Elektrikal <i>Wiring</i>	13

3.1.2. Pengaturan Parameter <i>Variable Speed Drive</i> (VSD)	15
3.1.3. Perancangan Ladder Diagram.....	15
3.2. Alat dan Bahan	15
3.3. Pengujian.....	16
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	18
4.1. Data Hasil Penelitian	18
4.2. Pembahasan	19
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	22
5.1. Kesimpulan	22
5.2. Saran	23
Daftar Pustaka	24
Biodata	25
Lampiran 1. Penampakan alat yang telah dibuat	26
Lampiran 2. Program ladder diagram.....	28
Lampiran 3. Foto atau bukti hasil pengujian alat	32

Daftar Gambar

Gambar 1. Motor induksi tiga fasa.....	3
Gambar 2. Konstruksi motor induksi tiga fasa.....	3
Gambar 3. Stator.....	4
Gambar 4. Rotor sangkar tupai.....	4
Gambar 5. Rotor Belitan.....	5
Gambar 6. Arah medan magnetik pada kabel.....	5
Gambar 7. Blok diagram <i>variable speed drive</i>	7
Gambar 8. <i>Rectifier</i>	8
Gambar 9. <i>Half-Wave Rectifier</i>	8
Gambar 10. <i>Full-Wave Rectifier</i>	9
Gambar 11. Prinsip Kerja PLC.....	10
Gambar 12. PLC Mitsubishi FX5U-32MR.....	10
Gambar 13. Komunikasi Modbus.....	11
Gambar 14. Diagram alir.....	13
Gambar 15. Desain elektrikal <i>wiring</i>	14
Gambar 16. Rangkaian koneksi Modbus menggunakan kabel LAN.....	14
Gambar 17. Tabel Parameter yang akan digunakan pada VSD Mitsubishi FR-D700 series.....	15
Gambar 18. Diagram alir tahap pengujian alat.....	17
Gambar 19. Tampilan dalam panel.....	26
Gambar 20. Tampilan luar panel.....	26
Gambar 21. Kontrol reset PLC.....	27
Gambar 22. Perintah <i>Read/Write</i>	27
Gambar 23. Perintah <i>setting</i> frekuensi.....	28
Gambar 24. Kontrol VFD/VSD.....	28
Gambar 25. Kontrol <i>push button</i>	28
Gambar 26. Lampu indikator.....	29
Gambar 27. Respon data.....	30
Gambar 28. Pengujian pada frekuensi 15 Hz.....	31
Gambar 29. Pengujian pada frekuensi 15,20 Hz.....	31
Gambar 30. Pengujian pada frekuensi 20 Hz.....	32
Gambar 31. Pengujian pada frekuensi 20,23 Hz.....	32
Gambar 32. Pengujian pada frekuensi 25 Hz.....	33
Gambar 33. Pengujian pada frekuensi 25,26 Hz.....	33
Gambar 34. Pengujian pada frekuensi 30 Hz.....	34
Gambar 35. Pengujian pada frekuensi 30,13 Hz.....	34
Gambar 36. Pengujian pada frekuensi 30,40 Hz.....	34
Gambar 37. Pengujian pada frekuensi 35 Hz.....	35
Gambar 38. Pengujian pada frekuensi 35,43 Hz.....	35

Gambar 39. Pengujian pada frekuensi 40 Hz	36
Gambar 40. Pengujian pada frekuensi 40,46 Hz.....	36
Gambar 41. Pengujian pada frekuensi 45 Hz	37
Gambar 42. Pengujian pada frekuensi 45,40 Hz.....	37
Gambar 43. Pengujian pada frekuensi 50 Hz	38
Gambar 44. Pengujian pada frekuensi 50,43 Hz.....	38
Gambar 45. Pengujian pada frekuensi 55 Hz	39
Gambar 46. Pengujian pada frekuensi 55,53 Hz.....	39
Gambar 47. Pengujian pada frekuensi 60 Hz	40
Gambar 48. Pengujian pada frekuensi 60,08 Hz.....	40
Gambar 49. Pengujian pada frekuensi 60,40 Hz.....	40

Daftar Tabel

Tabel 1. Alat dan bahan yang diperlukan	16
Tabel 2. Hasil Pengujian Kecepatan Motor.....	18
Tabel 3. Hasil Pengujian Kecepatan Motor pada frekuensi 30 Hz	20
Tabel 4. Hasil Pengujian Kecepatan Motor pada frekuensi 60 Hz	21

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini, industri berkembang sangat pesat. Banyak sekali kegiatan produksi yang mengandalkan motor listrik, salah satunya yaitu menggunakan motor induksi tiga fasa. Dapat dikatakan bahwa jenis motor ini adalah jenis motor yang paling sering digunakan pada industri, terutama dalam menggerakkan konveyor. Tidak heran, hal ini dikarenakan motor induksi tiga fasa merupakan motor dengan struktur yang sederhana, penggunaan yang mudah, efisiensi yang tinggi dan biaya perawatan yang relatif murah [1].

Akan tetapi, motor induksi tiga fasa ini memiliki kelemahan yaitu sulitnya mengontrol kecepatan dikarenakan motor jenis ini berputar secara konstan. Sedangkan untuk keperluan produksi di berbagai industri memerlukan motor yang dapat dikendalikan kecepatannya. Salah satu cara pengendalian motor induksi tiga fasa yaitu dengan cara mengatur frekuensi motor. Untuk mengatur frekuensi pada motor induksi tiga fasa tersebut dapat menggunakan komponen yang dinamakan *Variable Speed Drive (VSD)*.

Untuk mengontrol *Variable Speed Drive (VSD)* salah satunya dapat menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*. Dalam hal ini, *Programmable Logic Controller (PLC)* menggunakan sistem perintah *Ladder diagram* dan dipadukan dengan *Modbus Protocol*. Sistem ini bertujuan agar kecepatan motor dapat dikontrol serta dimonitoring secara langsung dari perangkat komputer dan dapat terhubung dengan *Interface*.

Berdasarkan hal tersebut, penulis membuat suatu sistem kendali motor induksi tiga fasa menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)* yang dikendalikan oleh *Programmable Logic Controller (PLC)* agar dapat dimonitoring secara langsung dengan *interface* yang tersedia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, rumusan masalah penulis antara lain:

- a) Bagaimanakah membuat sistem kendali motor induksi tiga fasa menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)* berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)*?
- b) Bagaimana merancang *Ladder diagram* pada *Programmable Logic Controller (PLC)* untuk mengendalikan kecepatan motor menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)*?
- c) Bagaimana mengatur *setpoint* yang berupa frekuensi untuk mendapatkan kecepatan motor yang diinginkan pada sistem pengendali kecepatan motor

tiga fasa menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC).

1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis yaitu:

- a) Membuat sistem kendali motor induksi tiga fasa menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) dan *Programmable Logic Controller* (PLC).
- b) Merancang *Ladder* diagram pada *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk mengendalikan kecepatan motor menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD).
- c) Memperoleh kecepatan motor yang sesuai dengan penyetoran frekuensi pada *Variable Speed Drive* (VSD)

1.4. Manfaat

Manfaat yang dapat dihasilkan dari penelitian ini antara lain:

- a) Menghasilkan sistem kendali motor induksi tiga fasa yang terintegrasi dengan PLC.
- b) Mengetahui cara mengontrol sistem kendali motor induksi tiga fasa menggunakan *Ladder* diagram pada *Programmable Logic Controller*.
- c) Mendapatkan kecepatan motor yang sesuai dengan menggunakan metode *Trial and Error*.

1.5. Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya masalah yang diteliti, penulis membatasi atau memfokuskan masalah dari penelitian ini, antara lain:

- a) Membahas pengaturan kecepatan motor AC tiga fasa.
- b) Menggunakan *variable speed drive Mitsubishi FR-D700 Series*.
- c) Menggunakan PLC jenis *Mitsubishi FX5U-32MR/ES*.
- d) Menggunakan komunikasi *Modbus RTU* dengan serial *RS-485*.
- e) Memprogram PLC menggunakan *Ladder* diagram pada aplikasi *GX-Works 3*.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor listrik adalah suatu komponen yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak. Motor listrik memiliki berbagai macam jenis, salah satunya yaitu motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa merupakan motor yang bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa pada sumber untuk menghasilkan gaya putar pada rotornya. Dengan begitu stator akan menghasilkan medan magnet yang terus berputar secara sinkron selama sumber pasokan listrik stabil [2].

Dalam hal kegunaannya, motor tiga fasa sangat ideal digunakan untuk berbagai aktivitas terutama pada industri. Motor ini dapat menjadi sumber penggerak utama dalam bidang otomasi guna meningkatkan kualitas produk, efisiensi biaya, dan mengurangi waktu produksi [3].

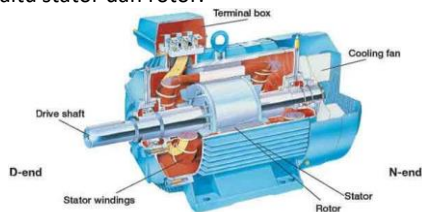


Gambar 1. Motor induksi tiga fasa

Sumber : <https://indonesian.alibaba.com/>

2.1.1. Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Pada umumnya, konstruksi motor induksi tiga fasa memiliki kesamaan dengan motor listrik lainnya. Perbedaan yang mendasar dapat dilihat dari jumlah sumber yang digunakan, dimana motor ini memiliki tiga sumber masukan yang bertegangan sama. Terdapat pula dua komponen utama dalam motor induksi tiga fasa, yaitu stator dan rotor.

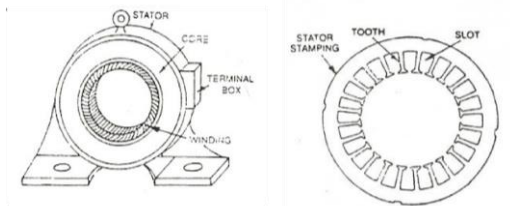


Gambar 2. Konstruksi motor induksi tiga fasa

Sumber : <https://www.plcdroid.com/>

a. Stator

Stator pada motor induksi merupakan komponen statis yang terdiri dari rangka motor, inti stator, dan kumparan. Inti stator berupa lempengan-lempengan besi tipis yang terdapat alur-alur sebagai tempat lilitan tembaga yang biasa disebut kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari tiga lilitan berbeda yang masing-masing memiliki perbedaan derajat sebesar 120° dan dialiri arus tiga fasa sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar. Kemudian Rangka motor berfungsi menutupi bagian inti dan kumparan serta melindungi bagian motor yang bergerak dari gangguan objek ataupun gangguan lainnya [4].



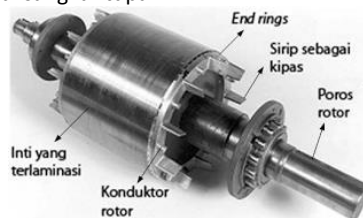
Gambar 3. Stator

Sumber : <https://www.plcdroid.com/>

b. Rotor

Rotor terbuat dari laminasi tipis dari bahan yang sama dengan stator [5]. Rotor merupakan bagian bersifat dinamis dikarenakan bagian inilah yang bergerak pada motor sehingga poros motor dapat berputar. Pergerakan rotor dipengaruhi oleh seberapa cepat putaran medan magnet yang dihasilkan oleh stator. Akan tetapi, kecepatan putaran medan magnet akan selalu lebih besar dibandingkan putaran rotor. Perbedaan kecepatan putaran ini disebut dengan slip.

Terdapat dua jenis rotor yang ada pada motor induksi, yaitu rotor sangkar tupai dan rotor belitan. Rotor sangkar tupai merupakan rotor yang terdiri dari potongan-potongan tembaga atau aluminium yang disusun serta dikunci dengan cincin besi atau tembaga di ujungnya. Kemudian batang-batang konduktor dimasukkan ke dalam susunan tembaga tersebut sehingga menjadi satu poros rotor yang menyerupai sangkar tupai.



Gambar 4. Rotor sangkar tupai

Sumber : <http://smart-chameleon.blogspot.com/>

Berbeda dengan rotor sangkar tupai, rotor belitan merupakan jenis rotor yang terbuat dari beberapa laminasi besi yang memiliki alur-alur sebagai tempat untuk melilitkan tembaga atau kumparan. Rotor ini memiliki jumlah belitan kumparan tiga fasa dan kutup yang sama dengan statornya [6]. Belitan tersebut dihubungkan secara *star* pada *slipring* yang terdapat pada poros motor.

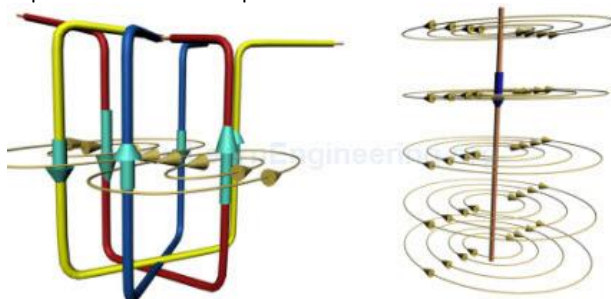


Gambar 5. Rotor Belitan

Sumber : <http://hmte.ft.unand.ac.id/>

2.1.2. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa bekerja berdasarkan prinsip induksi dari stator ke rotor. Motor ini menggunakan medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh tiga belitan stator yang berjarak 120 derajat. Arus tiga fasa yang mengalir pada belitan stator menghasilkan medan magnet yang berputar, yang kemudian menginduksi arus pada rotor. Menurut hukum Faraday, ketika arus mengalir melalui kawat, medan magnet terbentuk di sekitar kawat. Arah medan magnet yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada suatu kawat dapat ditentukan dengan menggunakan kaidah tangan kanan, dimana arah medan magnet didasarkan pada arah aliran arus pada kawat tersebut.



Gambar 6. Arah medan magnetik pada kabel

Sumber : <https://www.insinyoer.com/>

Medan magnet putar yang dihasilkan pada motor tiga fasa dipengaruhi oleh frekuensi tegangan dan jumlah kutub stator [7]. Frekuensi tegangan yang diterapkan pada motor tiga fase menentukan kecepatan rotasi medan magnet stator. Semakin tinggi frekuensi tegangan, semakin besar putaran medan magnet stator, yang kemudian membuat kecepatan motor semakin cepat. Sebaliknya, semakin rendah frekuensi tegangan, semakin kecil medan magnet putar stator dan semakin lambat pula kecepatan motor.

Secara sederhana prinsip kerja dari motor induksi tiga fasa dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Apabila tegangan tiga fasa dihubungkan ke stator, maka akan terbentuk medan putar dengan kecepatan sinkron (synchronous speed) yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$N_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- N_s = kecepatan medan putar (rpm)
- f = frekuensi sumber tegangan (Hz)
- p = jumlah kutub pada motor

2. Dengan terbentuknya medan magnetik pada stator, maka akan memotong batang-batang konduktor rotor. Akibatnya, pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl) sebesar:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- E_{2s} = tegangan induksi pada rotor (Volt)
- f_2 = frekuensi rotor (Hz)
- N_2 = jumlah lilitan kumparan rotor
- Φ_m = fluks maksimum yang dihasilkan stator (Wb)

3. Pada motor induksi tiga fasa, kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, sehingga tegangan induksi (E_{2s}) yang dihasilkan oleh medan putar stator akan menghasilkan arus (I) pada kumparan rotor.
4. Adanya arus tersebut dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
5. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor sudah cukup besar untuk menggerakkan beban, maka rotor akan berputar searah dengan arah putar stator.
6. Agar terjadi tegangan induksi pada motor, diperlukan perbedaan kecepatan antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan medan putar rotor (N_r).
7. Kecepatan medan putar stator (N_s) harus lebih besar dibandingkan dengan kecepatan putar rotor (N_r).

8. Perbedaan kecepatan antara kecepatan medan putar stator dan rotor disebut slip (s) yang dinyatakan dengan rumus:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

9. Jika $N_r = N_s$, maka motor tidak akan berputar dikarenakan tidak adanya kopel yang dihasilkan rotor untuk menggerakkan motor. Kopel akan dihasilkan jika $N_r < N_s$.

10. Berdasarkan rumus 2.3, maka kecepatan putar rotor dapat diketahui dengan rumus:

$$S = \frac{N_s}{N_s} - \frac{N_r}{N_s}$$

$$S = 1 - \frac{N_r}{N_s}$$

$$N_r = (1 - S) N_s \dots\dots\dots(4)$$

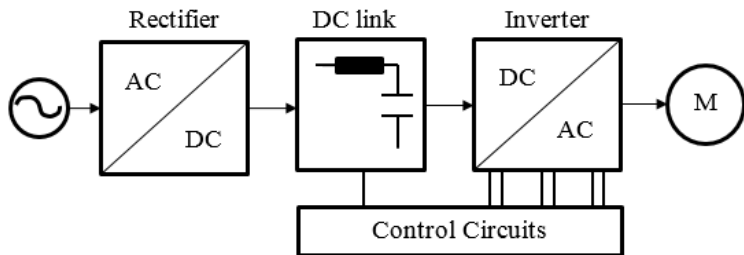
Dimana:

N_r = Kecepatan putar rotor

S = Slip

2.2. Variable Speed Drive

Variable Speed Drive adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi (AC) dengan mengatur nilai frekuensi yang diterima oleh motor. Prinsip kerja dari alat ini yaitu mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC yang kemudian diubah lagi menjadi AC dengan frekuensi yang telah diatur sehingga motor induksi dapat dikendalikan sesuai kecepatan yang diinginkan [8].



Gambar 7. Blok diagram *variable speed drive*

Sumber: <https://www.researchgate.net/>

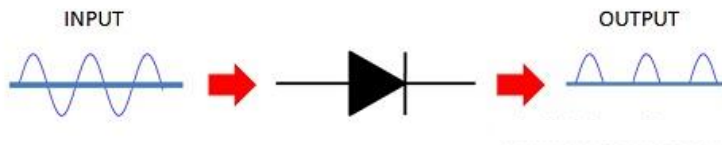
Berdasarkan Gambar 2.7, *Variable Speed Drive* (VSD) terdiri dari tiga bagian utama, yaitu *Rectifier*, *DC link*, dan *Inverter*. Tegangan AC 115/220 volt dan frekuensi 50 Hz dialirkan ke dalam board *Rectifier*. Dalam board *Rectifier* ini tegangan AC diubah menjadi tegangan DC. Tegangan DC tersebut kembali dialirkan ke dalam *DC link*. *DC link* memiliki peran sebagai tempat penyimpanan dan meratakan tegangan DC dengan menggunakan kapasitor agar tegangan

menjadi konstan. Setelah tegangan DC menjadi stabil, selanjutnya tegangan tersebut akan dialirkan ke Inverter untuk diubah kembali menjadi tegangan AC dan frekuensi yang dapat diatur. Pengaturan frekuensi pada Inverter dimaksudkan untuk mengatur kecepatan motor. Semakin tinggi frekuensi, maka akan semakin tinggi pula putaran yang dihasilkan oleh motor AC tiga fasa.

2.2.1. Rectifier

Rectifier (Penyearah Gelombang) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Ini biasa digunakan dalam sistem Rangkaian Catu Daya atau *Power Supply* untuk mengubah sumber tegangan AC menjadi tegangan DC yang dapat digunakan untuk memberi daya pada berbagai perangkat elektronik.

Fungsi utama *rectifier* adalah membiarkan arus mengalir hanya dalam satu arah, secara efektif mengubah bentuk gelombang AC menjadi bentuk gelombang DC. Hal ini dikarenakan *rectifier* menggunakan dioda, yang merupakan komponen listrik yang hanya memungkinkan arus melewatinya dalam satu arah.



Gambar 8. Rectifier

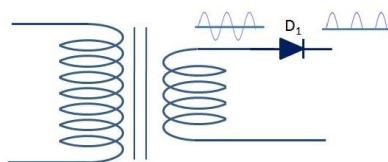
Sumber: <https://teknikelektronika.com/>

Terdapat dua jenis rectifier, yaitu *Half-Wave Rectifier* dan *Full-Wave Rectifier*.

1. *Half-Wave Rectifier*

Half-Wave Rectifier atau penyearah setengah gelombang menggunakan dioda tunggal untuk mengubah AC ke DC. *Rectifier* ini mengalirkan arus selama setengah siklus positif dari bentuk gelombang AC dan menghalangi arus selama setengah siklus negatif. Akibatnya, output dari penyearah setengah gelombang adalah bentuk gelombang DC yang berdenyut (*Pulsed DC*) dengan hanya setengah dari bentuk gelombang input.

Penyearah Setengah Gelombang (Half Wave Rectifier)

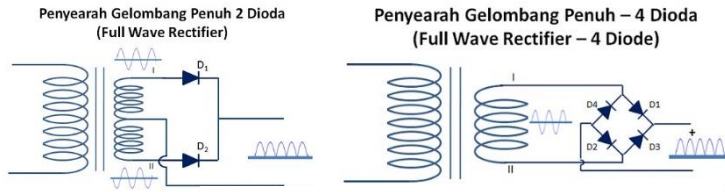


Gambar 9. Half-Wave Rectifier

Sumber: <https://teknikelektronika.com/>

2. Full-Wave Rectifier

Full-Wave Rectifier atau penyearah gelombang penuh menggunakan dua atau empat dioda yang diatur dalam konfigurasi jembatan. Dalam penyearah ini, dioda bergantian dalam menghantarkan arus, ketika tegangan AC positif, dua dioda menghantarkan arus ke beban, sedangkan ketika tegangan AC negatif, dua dioda lainnya menghantarkan arus dengan arah yang berkebalikan. Hal ini memungkinkan arus searah (DC) yang dihasilkan lebih konstan atau stabil.



Gambar 10. Full-Wave Rectifier

Sumber: <https://teknikelektronika.com/>

2.2.2. DC Link

DC Link pada inverter adalah bagian penting yang berperan sebagai penghubung antara sumber tegangan searah (DC) dengan inverter yang menghasilkan arus bolak-balik (AC). Fungsi utama dari DC Link adalah sebagai penyedia tegangan DC yang stabil untuk inverter [9]. Tegangan DC yang stabil ini diperlukan agar inverter dapat menghasilkan arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi dan amplitudo yang diinginkan. DC Link juga membantu menjaga kelancaran aliran listrik dan mengatur ketersediaan energi yang stabil untuk inverter.

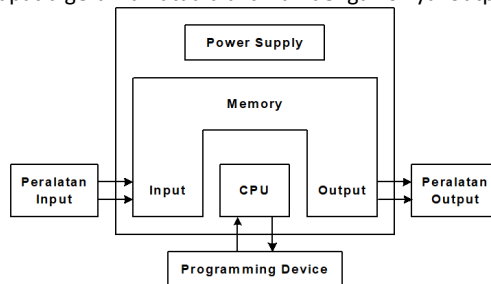
2.2.3. Inverter

Dalam *Variable Frequency Drive* (VFD), inverter adalah komponen utama dalam mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur. Inverter mengambil daya DC dari DC Link kemudian mengubahnya menjadi arus AC yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor. Inverter memberikan sinyal kontrol ke motor, seperti perintah mulai, berhenti, dan kontrol kecepatan [10]. Ini memungkinkan akselerasi halus, deselerasi, dan perubahan kecepatan dinamis motor.

Selain itu, inverter memiliki berbagai fitur pelindung untuk melindungi motor. Hal ini bertujuan memantau parameter seperti arus, tegangan, dan suhu untuk mendeteksi kesalahan atau kondisi abnormal. Jika terjadi masalah, inverter dapat melakukan tindakan seperti menghentikan motor atau alarm untuk mencegah kerusakan motor.

2.3. Programmable Logic Controller

PLC atau *Programmable Logic Controller* adalah sebuah komponen elektronika yang diprogram untuk mengontrol suatu proses atau operasi mesin. Prinsip kerja dari PLC ialah menganalisa sinyal input kemudian mengatur (memprogram) keadaan output sesuai dengan keinginan pemakai [11]. Input pada PLC dapat berupa sensor, *push button*, ataupun *limit switch*. Sedangkan outputnya dapat berupa lampu indikator, aktuator, maupun relay dan peralatan lainnya yang dapat digerakkan atau diaktifkan dengan sinyal output PLC.



Gambar 11. Prinsip Kerja PLC

Sumber: <https://plc.mipa.ugm.ac.id/>

Sistem kontrol pada PLC sangat diperlukan untuk kebutuhan otomasi dalam suatu industri. Perangkat ini memiliki berbagai keunggulan dari sistem kontrol lain. PLC dapat dikendalikan dengan program logika sebagai perintah untuk menjalankan suatu sistem. Ada berbagai macam program yang dapat digunakan seperti *Ladder Diagram*, *Instruction List*, *Structured Text*, *Function Block Diagram*, dan lainnya. Program tersebut juga dapat dengan mudahnya diubah ataupun dimodifikasi sesuai kebutuhan, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya dalam pelaksanaannya.



Gambar 12. PLC Mitsubishi FX5U-32MR

Sumber: <https://emea.mitsubishielectric.com/>

Ada dua jenis input/output pada PLC, yaitu digital dan analog. Digital input adalah masukan sinyal yang hanya terdiri dari dua kondisi yaitu 1 atau 0. Kondisi

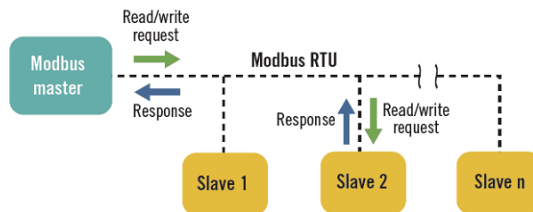
tersebut dapat disebut juga dengan On atau Off. Begitu pula dengan digital output yang hanya dapat menerima sinyal dalam dua kondisi seperti On atau Off, Run atau Stop, Open atau Close, dan lain-lain. Sedangkan pada analog input dan analog output PLC dapat menerima sinyal masukan dari banyak kondisi yang berasal dari peralatan analog. Kondisi input analog ini digambarkan dengan nilai atau angka seperti 0 Volt – 10 Volt, 4 mA – 12 mA, dan seterusnya.

Sistem pada PLC ini juga mendukung berbagai macam protokol komunikasi untuk menunjang ataupun mempermudah suatu industri membuat suatu sistem yang lebih kompleks. Hal tersebut sangat memungkinkan pengguna untuk mengontrol lebih dari satu instrumen atau mesin dalam suatu sistem yang terhubung satu sama lain. Protokol komunikasi pada PLC dapat berupa EtherNet/IP, Modbus, Profibus, dan lain sebagainya.

2.4. Modbus Protocol

Modbus protocol adalah protokol komunikasi serial yang dipublikasikan oleh Modicon pada tahun 1979 untuk diaplikasikan pada programmable logic controller (PLC) [12]. Modbus merupakan *open protocol* atau dapat disebut juga protokol terbuka, sehingga pengguna dapat memasukkannya ke dalam perangkat atau sistem mereka secara gratis tanpa harus membayar biaya lisensi. Ini telah menjadi protokol komunikasi standar industri dan sekarang merupakan metode yang paling umum tersedia untuk menghubungkan perangkat elektronik industri. Modbus biasanya digunakan untuk mengirim sinyal dari perangkat instrumentasi dan kontrol ke pengontrol utama atau sistem pemrosesan data (misalnya, sistem yang mengukur suhu dan kelembaban) dan hasilnya ke komputer.

Berdasarkan media transfernya, Modbus dikategorikan ke dalam Modbus serial (RS232/485) dan Modbus Ethernet (TCP/IP). Jika dirujuk dari bentuk datanya, Modbus dibagi ke dalam Modbus RTU (serial) dan Modbus ASCII. Pada Modbus serial digunakan istilah Master/Slave sedangkan Modbus Ethernet biasanya memakai terminologi Server/Client.



Gambar 13. Komunikasi Modbus

Sumber: <https://www.machinemetrics.com/>

Perangkat Modbus berkomunikasi menggunakan teknik *master-slave*, dimana hanya satu perangkat (*master*) yang dapat melakukan perintah atau

permintaan yang disebut "queries". Perangkat lain (*slave*) merespon dengan mengirimkan data yang diminta untuk master, atau melakukan aksi sesuai dengan yang diminta dalam query. Master dapat melakukan perintah hanya kepada satu perangkat (*slave*) tertentu ataupun secara bersamaan dalam artian semua perangkat (*slave*). Slave dapat merespon perintah dari master dalam bentuk data (misalnya, data kecepatan motor induksi atau data kelembaban udara) ataupun pesan error yang terjadi pada sistem.

2.5. Trial and Error

Trial and error merupakan pemecahan masalah yang melibatkan berbagai metode, teknik, atau solusi untuk menemukan hasil yang paling efektif atau efisien [13]. Metode ini merupakan metode paling dasar dalam mencari pemecahan masalah yang ditandai dengan upaya berulang dan pembelajaran dari hasil upaya tersebut.

Berikut langkah-langkah cara kerja dari metode *trial and error*:

1. Banyak upaya: Dalam metode ini, diperlukan banyaknya upaya atau usaha dalam mengambil suatu data. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan lebih banyak solusi atau kemungkinan yang benar.
2. Uji dan Evaluasi: Setiap data yang telah diambil, diperlukan uji dan evaluasi dari data tersebut. Dengan begitu akan diketahui tingkat keakuratan data pada hasil uji tersebut.
3. Belajar dari Kesalahan: Metode *trial and error* sangat bergantung pada pembelajaran dari kesalahan. Jika suatu solusi gagal atau menghasilkan hasil yang tidak diinginkan, solusi tersebut dibuang, dan dapat beralih ke opsi berikutnya.
4. Proses Iteratif: Melakukan beberapa siklus yang berulang untuk mencoba berbagai solusi, belajar dari hasilnya, dan menyempurnakan hasil akhirnya.
5. Mencapai Solusi Terbaik: Dengan melakukan tahapan-tahapan tersebut, maka akan didapatkan hasil yang terbaik sesuai dengan target yang diinginkan.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan

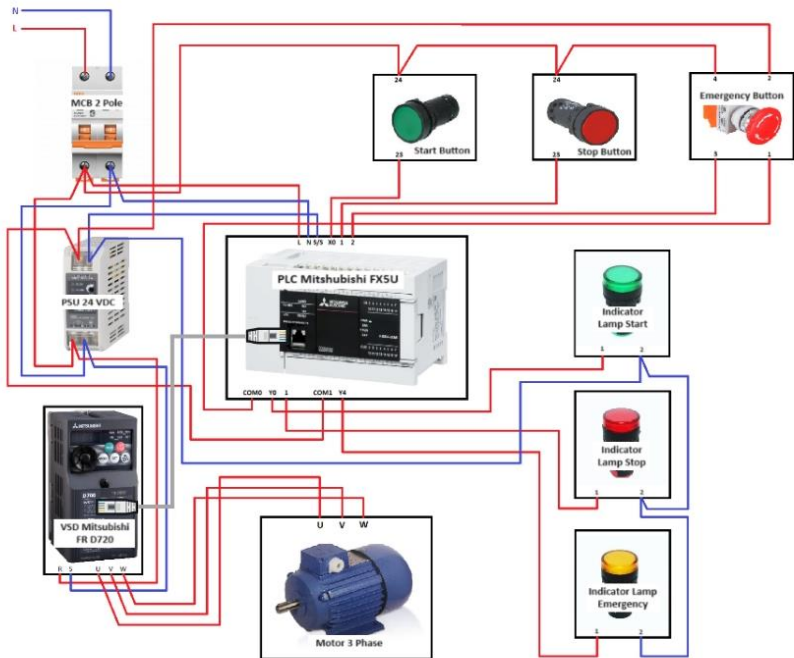
Perancangan alat pada Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive berbasis Programmable Logic Controller pada Konveyor Wire Harness memiliki beberapa tahapan seperti pada diagram alir di bawah ini.



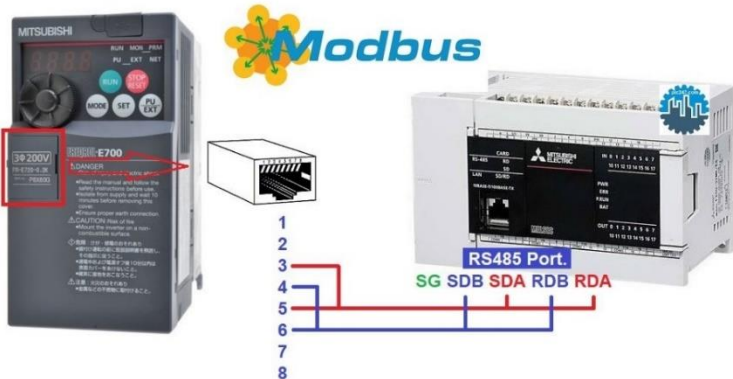
Gambar 14. Diagram alir

3.1.1. Perancangan Elektrikal *Wiring*

Perancangan desain *wiring* elektrikal bertujuan untuk mempermudah pada saat instalasi komponen *hardware*. Hal ini juga berguna untuk memeriksa apakah rangkaian tersebut sudah benar dan aman untuk diaplikasikan.



Gambar 15. Desain elektrikal *wiring*



Gambar 16. Rangkaian koneksi Modbus menggunakan kabel LAN

Sumber: <https://plc247.com/>

3.1.2. Pengaturan Parameter *Variable Speed Drive* (VSD)

Pada sistem ini, ada beberapa parameter yang harus di setting pada VSD. hal ini bertujuan agar VSD berfungsi dengan baik dan dapat berkomunikasi dengan PLC yang terhubung melalui kabel serial RS-485.

Function	Parameter	Name	Setting Range	Minimum Setting Increments	Initial Value	Refer to Page	Customer Setting
Basic functions	● 0	Torque boost	0 to 30%	0.1%	6/4/3/2% +1	75	Default
	● 1	Maximum frequency	0 to 120Hz	0.01Hz	120Hz	84	60 Hz
	● 2	Minimum frequency	0 to 120Hz	0.01Hz	0Hz	84	Default
	● 3	Base frequency	0 to 400Hz	0.01Hz	60Hz	86	Default
	● 4	Multi-speed setting (high speed)	0 to 400Hz	0.01Hz	60Hz	90	Default
	● 5	Multi-speed setting (middle speed)	0 to 400Hz	0.01Hz	30Hz	90	Default
	● 6	Multi-speed setting (low speed)	0 to 400Hz	0.01Hz	10Hz	90	Default
	● 7	Acceleration time	0 to 3600s	0.1s	5/10/15s *2	97	5 s
	● 8	Deceleration time	0 to 3600s	0.1s	5/10/15s *2	97	0 s
PU connector communication	● 9	Electronic thermal O/L relay	0 to 500A	0.01A	Rated inverter current	101	Default
	117	PU communication station number	0 to 31 (0 to 247)	1	0	182, 199	1
	118	PU communication speed	48, 96, 192, 384	1	192	182, 199	96
	119	PU communication stop bit length	0, 1, 10, 11	1	1	182	0
	120	PU communication parity check	0, 1, 2	1	2	182, 199	2
	121	Number of PU communication retries	0 to 10, 9999	1	1	183, 199	9999
	122	PU communication check time interval	0, 0.1 to 999.8s, 9999	0.1s	0	183, 199	9999
	123	PU communication waiting time setting	0 to 150ms, 9999	1ms	9999	182	9999
	124	PU communication CR/LF selection	0, 1, 2	1	1	182	1
	340	Communication startup mode selection	0, 1, 10	1	0	174	1
	549	Protocol selection	0, 1	1	0	199	1
● 79	Operation mode selection	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7	1	0	166, 174	2	

Gambar 17. Tabel Parameter yang akan digunakan pada VSD Mitsubishi FR-D700 series

Sumber: <http://dl.mitsubishielectric.com/>

3.1.3. Perancangan Ladder Diagram

Programmable Logic Controller (PLC) memerlukan program untuk menjalankan tugas yang diperintahkan pengguna. Dalam hal ini, pada sistem yang ingin dibuat akan menggunakan bahasa pemrograman Ladder Diagram yang mana menurut penulis bahasa pemrograman ini merupakan bahasa pemrograman yang paling sederhana dibandingkan dengan bahasa pemrograman PLC yang lain. Program ladder diagram yang telah dibuat untuk menjalankan sistem ini dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.2. Alat dan Bahan

Pengerjaan sistem “Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive berbasis Programmable Logic Controller pada Konveyor Wire Harness” memerlukan alat beserta bahan dan juga lokasi untuk

melaksanakan pembuatan alat dan penelitian. Adapun komponen dan lokasi yang diperlukan sebagai berikut.

1. Lokasi

Lokasi pengerjaan alat dan penelitian dari sistem “Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive berbasis Programmable Logic Controller pada Konveyor Wire Harness” ini berada di dua tempat, yaitu rumah penulis dan kampus.

2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan seperti pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Alat dan bahan yang diperlukan

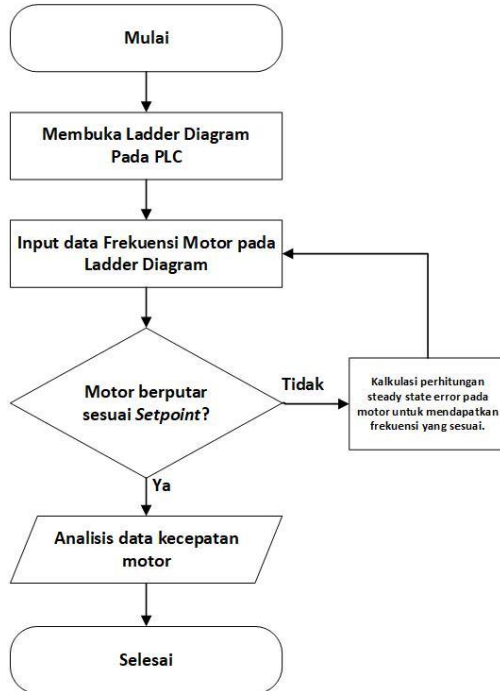
No.	Alat dan Bahan	Jumlah	Keterangan
1	Motor AC tiga fasa	1	Kampus
2	PLC <i>Mitsubishi FX5U-32MR/ES</i>	1	MF
3	VSD <i>Mitsubishi FR-D720S 0.75K</i>	1	MF
4	PSU <i>Autonics SPB-060-24</i>	1	MF
5	MCB Satu Fasa 2 Pole	1	MF
6	Kabel Kontrol 0.5 mm	3	MF
7	Kabel Daya 1.5 mm	3	MF
8	Kabel LAN	2	MF
9	Panel Box	1	MF
10	<i>Push Button</i>	2	MF
11	<i>Emergency Button</i>	1	MF
12	Lampu Indikator	3	MF
13	Tachometer	1	Kampus
14	Laptop/PC	1	Pribadi

3. Komponen pendukung lainnya

Komponen pendukung lainnya berupa *software* yang digunakan dalam proses pembuatan dan penelitian sistem ini, yaitu *GX Works3*.

3.3. Pengujian

Berdasarkan perancangan alat yang akan dibuat, sistematis pengujian alat tersebut dapat dilihat dari diagram alir di bawah ini.



Gambar 18. Diagram alir tahap pengujian alat

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Berdasarkan dari pengujian yang telah penulis lakukan, maka didapatkan perolehan data kecepatan motor tiga fasa dari sistem yang telah dibuat. Data kecepatan atau RPM motor induksi tiga fasa tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kecepatan Motor

No	Setting Frekuensi	Kecepatan berdasarkan perhitungan (RPM)	Kecepatan Aktual Motor (RPM)	Rise Time	Selisih (RPM)	Steady state error
1	10 Hz	300	295,3	5 s	4,7	1,5 %
2	10,16 Hz	304,7	300	5 s	4,2	1,38 %
3	15 Hz	450	444	5 s	6	1,33 %
4	15,13 Hz	453,9	448,2	5 s	5,7	1,25 %
5	15,20 Hz	456	450	5 s	6	1,31 %
6	20 Hz	600	593	5 s	7	1,18 %
7	20,18 Hz	605,4	598,5	5 s	6,9	1,14 %
8	20,23 Hz	607	600	5 s	7	1,15 %
9	25 Hz	750	742,0	5 s	8	1,06 %
10	25,11 Hz	753,3	745,6	5 s	7,7	1,02 %
11	25,26 Hz	758	750	5 s	8	1,05 %
12	30 Hz	900	888	5 s	12	1,33 %
13	30,13 Hz	903,9	891,5	5 s	12,4	1,37 %
14	30,40 Hz	912	900	5 s	12	1,31 %
15	35 Hz	1050	1037	5 s	13	1,23 %
16	35,12 Hz	1054	1041	5 s	13	1,23 %
17	35,43 Hz	1063	1050	5 s	13	1,22 %
18	40 Hz	1200	1186	5 s	14	1,16 %

19	40,12 Hz	1204	1193	5 s	11	0,91 %
20	40,46 Hz	1214	1200	5 s	14	1,16 %
21	45 Hz	1350	1338	5 s	12	0,88 %
22	45,09 Hz	1353	1341	5 s	12	0,88 %
23	45,40 Hz	1362	1350	5 s	12	0,88 %
24	50 Hz	1500	1487	5 s	13	0,86 %
25	50,09 Hz	1503	1491	5 s	12	0,79 %
26	50,43 Hz	1513	1500	5 s	13	0,86 %
27	55 Hz	1650	1634	5 s	16	0,96 %
28	55,10 Hz	1653	1637	5 s	16	0,97 %
29	55,53 Hz	1666	1650	5 s	16	0,96 %
30	60 Hz	1800	1788	5 s	12	0,67 %
31	60,08 Hz	1802	1790	5 s	12	0,66 %
32	60,40 Hz	1812	1800	5 s	12	0,66%

4.2. Pembahasan

Tahap awal dalam pengujian ini ialah merancang sistem sebagaimana yang sudah dijelaskan pada bab 3. Perancangan ini dimulai dari merangkai komponen-komponen yang selanjutnya menguji apakah rangkaian tersebut dapat berjalan dengan baik. Pembuatan ladder diagram dilakukan setelah rangkaian telah berjalan dengan baik. Ladder diagram pada sistem ini dapat kita lihat pada Lampiran 2. Setelah itu, pengaturan parameter pada VSD atau VFD dilakukan agar VSD tersebut dapat terkoneksi dengan PLC sehingga menjadi kesatuan sistem pengontrolan motor induksi tiga fasa.

Frekuensi ini dapat diatur melalui ladder diagram yang telah dibuat ataupun langsung melalui VSD. Pada pengujian kali ini, penulis mengatur frekuensi VSD melalui ladder diagram untuk mengetahui apakah sistem ini dapat terkoneksi dengan baik. Sehingga sistem yang telah penulis buat dapat dikembangkan lebih jauh melalui koneksi dengan aplikasi yang telah dibuat melalui bahasa program C# pada aplikasi Microsoft Visual Studio.

Frekuensi ini dapat diatur pada bagian *Frequency Setting Command* yang selanjutnya tinggal menginputkan frekuensi yang ingin dimasukkan pada parameter D20. Sebagai catatan, frekuensi yang ingin diinput harus dikalikan dengan 100 terlebih dahulu, dikarenakan program ini tidak dapat membaca

karakter lain selain angka. Contoh; Apabila kita hendak menginputkan frekuensi sebesar 15 Hz, maka angka yang harus diinput harus dikalikan 100 menjadi 1500.

Pada pengujian kali ini, penulis mengambil 2 sampel dari data yang telah diperoleh pada Tabel 2. Penulis menandai data pada tabel tersebut dengan garis merah agar dapat lebih mudah dalam membandingkannya dengan pembahasan kali ini.

Apabila penulis menginput frekuensi sebesar 30 Hz pada VSD yang terhubung pada motor induksi yang memiliki 4 kutub, maka sesuai perhitungan akan diperoleh kecepatan motor sebesar 900 rpm. Akan tetapi pada sistem ini kecepatan tidak selalu sesuai atau bahkan tidak pernah sesuai dengan perhitungan dengan rumus yang ada dikarenakan terdapatnya *steady state error* pada kecepatan motor tersebut.

Maka sesuai dengan Tabel 2. perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_s &= \frac{120f}{p} \\
 &= \frac{120 \cdot 30}{4} \\
 &= \frac{3600}{4} = 900 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Dimana:

- Ns = kecepatan medan putar (rpm)
- f = frekuensi sumber tegangan (Hz)
- p = jumlah kutub pada motor

Akan tetapi berdasarkan hasil pengujian, kecepatan motor stabil pada 888 rpm atau dengan kata lain terdapat *steady state error* dengan selisih sebesar 12 rpm dari kecepatan berdasarkan perhitungan rumus yang dapat dilihat pada Tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kecepatan Motor pada frekuensi 30 Hz

Setting Frekuensi	Kecepatan berdasarkan perhitungan (RPM)	Kecepatan Aktual Motor (RPM)	Rise Time	Selisih (RPM)	Steady state error
30 Hz	900	888	5 s	12	1,33 %
30,13 Hz	903,9	891,5	5 s	12,4	1,37 %
30,40 Hz	912	900	5 s	12	1,31 %

Dengan demikian, jika suatu konveyor membutuhkan kecepatan motor sebesar 900 rpm untuk memproduksi suatu produk *wire harness*, maka perhitungannya dapat dilihat seperti dibawah ini.

Target RPM = 900 rpm

Selisih/*Steady state error* = 12 rpm

Target RPM + Selisih = 912 rpm

Maka,

$$N_s = \frac{120f}{p}$$

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

$$= \frac{912 \cdot 4}{120}$$

$$= 30,40 \text{ Hz}$$

Jadi, jika konveyor memerlukan kecepatan sebesar 900 rpm untuk memproduksi suatu produk wire harness, maka frekuensi yang harus diinputkan pada VSD yaitu sebesar 30,40 Hz. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya *steady state error* pada motor induksi.

Apabila frekuensi yang diinputkan sebesar 30 Hz, VSD akan mengirimkan frekuensi tersebut ke motor melalui bagian stator. Ketika stator memiliki kecepatan sebesar 900 rpm, kecepatan rotor tidak mungkin sama dengan kecepatan stator. Hal ini dikarenakan adanya jarak atau ruang antara stator dan rotor yang menyebabkan kecepatan rotor akan selalu lebih lambat dibandingkan kecepatan stator.

Contoh lainnya, apabila frekuensi yang diinput pada VSD sebesar 60 Hz, maka seharusnya kecepatan yang didapatkan sebesar 1800 rpm. Akan tetapi, pada saat pengujian terdapat *steady state error* sebesar 0,83% atau sekitar 12 rpm. Jika konveyor memerlukan kecepatan sebesar 1800 rpm untuk memproduksi suatu produk *wire harness*, maka frekuensi yang harus diinputkan sebagai berikut.

$$N_s = \frac{120f}{p}$$

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

$$= \frac{1812 \cdot 4}{120}$$

$$= 60,40 \text{ Hz}$$

Frekuensi yang harus diinput pada VSD yaitu sebesar 60,40 Hz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4. di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kecepatan Motor pada frekuensi 60 Hz

Setting Frekuensi	Kecepatan berdasarkan perhitungan (RPM)	Kecepatan Aktual Motor (RPM)	Rise Time	Selisih (RPM)	<i>Steady state error</i>
60 Hz	1800	1788	5 s	12	0,67 %

60,08 Hz	1802	1790	5 s	12	0,66 %
60,40 Hz	1812	1800	5 s	12	0,66 %

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembuatan dan pengujian pada tugas akhir Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Variable Speed Drive* berbasis *Programmable Logic Controller* pada Konveyor *Wire Harness*, terdapat beberapa poin kesimpulan yang penulis simpulkan. Pertama, dalam perancangan pembuatan sistem kendali motor induksi tiga fasa menggunakan VSD berbasis PLC ini memerlukan komponen-komponen pendukung selain PLC dan VSD itu sendiri. Komponen tersebut berupa PSU 24 VDC, MCB 2 Pole, Push button, Lampu indikator, serta memerlukan *software* untuk merancang ladder diagram pada PLC Mitsubishi yang disebut *GX-Works3*.

Kedua, dalam perancangan ladder diagram diperlukan program yang dapat terkoneksi atau tersinkronisasi dengan VSD melalui komunikasi *ModBus Protocol*. Dalam hal ini, penulis menggunakan *serial port* atau bisa disebut RS485 yang terdapat pada PLC dan VSD agar kedua komponen dapat saling terhubung satu sama lain. Pada program yang telah dibuat harus terdapat perintah *Read and Write* agar sistem dapat mengirimkan data ke motor dan dan mampu membaca data yang dihasilkan dari motor induksi melalui pogram *ladder diagram*.

Ketiga, pengaturan *setpoint* yang berupa frekuensi dapat dilakukan melalui *ladder diagram* yang telah dibuat. Dengan begitu sistem ini dapat dengan mudah tersinkronisasi dengan sistem lain ataupun aplikasi khusus. Jika terjadi kendala dalam pengaturan setpoint secara *software*, sistem ini juga dapat mengendalikan motor secara *hardware* dengan menginputkan nilai frekuensi pada VSD secara langsung.

Secara keseluruhan, alat ini bekerja untuk mengatur kecepatan motor tiga fasa dengan memasukkan nilai frekuensi pada VSD yang kemudian diproses untuk dikalkulasikan sebagai kecepatan motor atau rpm. Sayangnya pada sistem ini terdapat *steady state error* yang mengakibatkan kecepatan motor tidak sesuai dengan frekuensi yang diinputkan pada VSD. Sistem ini juga mengandalkan konektivitas antar perangkat yang mana PLC sebagai pengendali utama yang akan mengalirkan atau mentransfer data frekuensi ke VSD dengan sumber satu fasa lalu kemudian VSD akan mengirim data tersebut kepada motor tiga fasa. Salah satu keuntungan dari sistem ini yaitu sistem ini dapat mengendalikan motor tiga fasa dengan menggunakan sumber listrik satu fasa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan sistem ini menggunakan VSD yang mana salah satu fungsinya yaitu dapat menjalankan motor tiga fasa dengan sumber arus satu fasa.

5.2. Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis menyadari ada banyaknya kekurangan dan kelemahan pada sistem yang telah dibuat. Dengan adanya kekurangan tersebut, penulis menyarankan beberapa hal yang dapat dilakukan pada penelitian yang akan datang sehingga dapat tercipta sistem yang lebih baik. Adapun saran dari penulis sebagai berikut:

1. Membuat kalkulasi data dari rpm ke frekuensi, sehingga pengguna dapat menginputkan kecepatan motor dalam bentuk rpm secara langsung tanpa harus menghitung frekuensi yang tepat.
2. Menambahkan limit switch pada sistem ini untuk mengendalikan dan mengurangi kecepatan secara otomatis pada saat konveyor berada di area putaran.

Daftar Pustaka

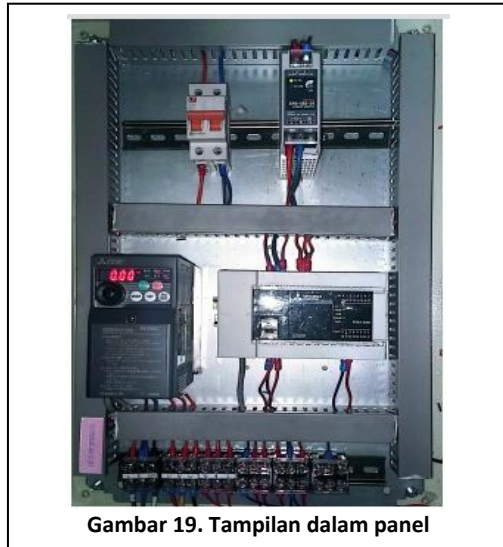
- [1] Jhonson Siburian¹, Jumari², Aldi Simangunsong³, "STUDI SISTEM STAR MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN METODE STAR DELTA PADA PT.TOBA PULP LESTARI TBK", *JURNAL TEKNOLOGI ENERGI UDA*, vol. 9, pp. 81-87, September 2020.
- [2] Noorly Evalina¹, Abdul Azis H², Zulfikar³, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan *Programmable logic controller*", *Journal of Electrical Technology*, vol. 3, pp. 73-80, Juni 2018.
- [3] S. Sadi, "Jurnal Teknik Industri, Vol. 14, No. 2, Desember 2012, 137," vol. 14, no. 2, 2012.
- [4] I Nyoman Bagia¹, I Made Parsa², "MOTOR LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK (AC)," dalam MOTOR-MOTOR LISTRIK, Edisi ke-1. Bandung, 2018, pp. 28-38.
- [5] I PRASETYA. "Motor Induksi." Internet: <http://eprints.polsri.ac.id/4563/3/FILE%20III>, 2017 [Jun. 15, 2023].
- [6] R. Praduta. "Penggunaan *Variable Speed Drive (VSD)* Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan Mengubah Frekuensi." A.Md. Tugas Akhir, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia, 2016.
- [7] Yusri Ambabunga, "PENINGKATAN EFFISIENSI KERJA MOTOR INDUKSI 3 PHASA (PENGUJIAN KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA), Vol. 5, No. 1, April 2020, 885," vol. 5, no. 1, 2020.
- [8] Noorly Evalina¹, Abdul Azis H², Zulfikar³, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan *Programmable logic controller*, Vol. 3, No. 2, Juni 2018," vol. 3, no. 2, 2018.
- [9] Israr Ahmad, Working Principle of Variable Frequency Drive (VFD). Indus Institute of Higher Education, Pakistan Forum 1432-0487:4, October 2021.
- [10] Muhammad Iqbal Aldiansyah. "APLIKASI INVERTER PADA SISTEM PENGENDALI dan PEMONITOR KECEPATAN MOTOR." A.Md. Tesis, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia, 2021.
- [11] Yuwono Indro Hatmojo, PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC). Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia, 2015.
- [12] Septian Dwi Chandra. "DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROTOKOL MODBUS UNTUK SISTEM ANTRIAN TERINTEGRASI PADA PELAYANAN SURAT IZIN MENGEMUDI (SIM) DI KEPOLISIAN RESORT." S.T., Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 2016.
- [13] Ismail Nurdin¹, Sri Hartati², "Pengetahuan dan Ilmu," dalam METODOLOGI PENELITIAN SOSIAL, Edisi ke-1. Surabaya, 2019, pp. 1-12.

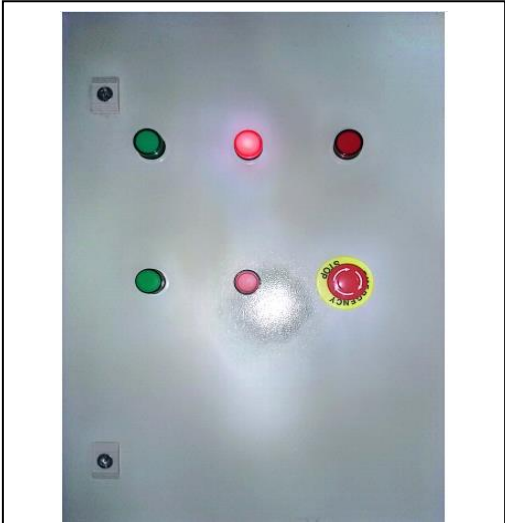
Biodata



Nama : M. Insannul Kamil
TTL : Palembang, 27 Juni 2001
Agama : Islam
Alamat : Batu Merah RT 003 RW 001 No. 24,
Batu Ampar, Kota Batam
Email : insannulkamil14@gmail.com
Riwayat Pendidikan :
SMA/SMK : SMAN 14 Batam
SMP : SMPN 4 Batam

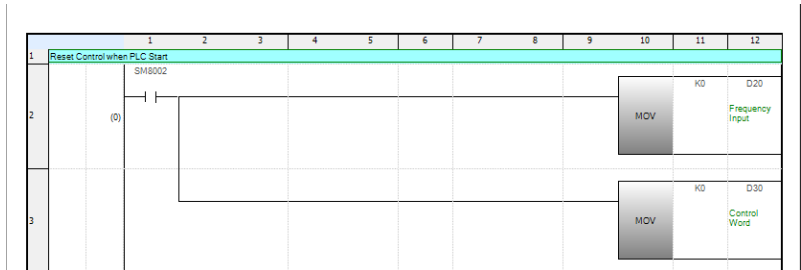
Lampiran 1. Penampakan alat yang telah dibuat



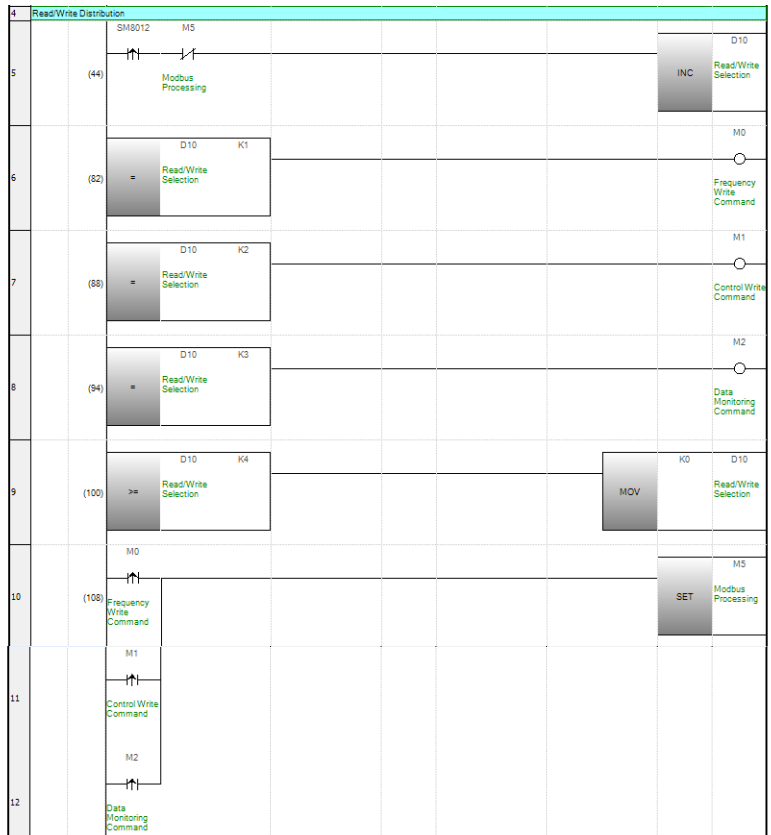


Gambar 20. Tampilan luar panel

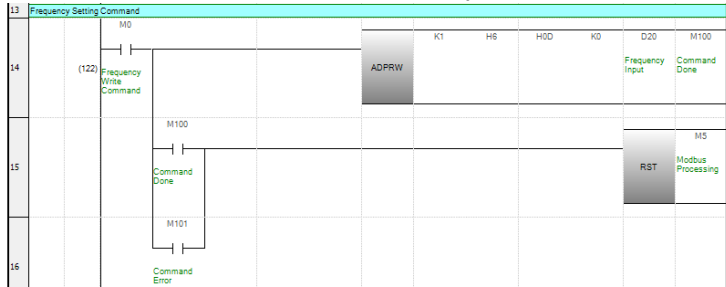
Lampiran 2. Program ladder diagram



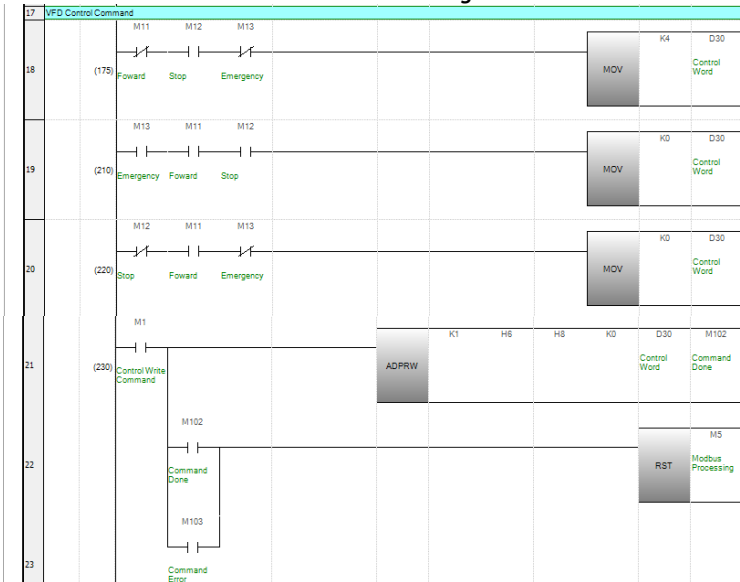
Gambar 21. Kontrol reset PLC



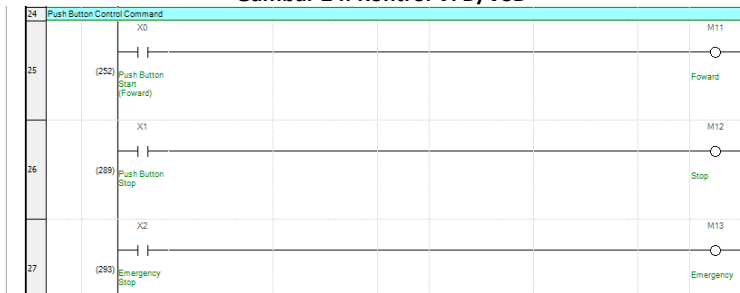
Gambar 22. Perintah Read/Write



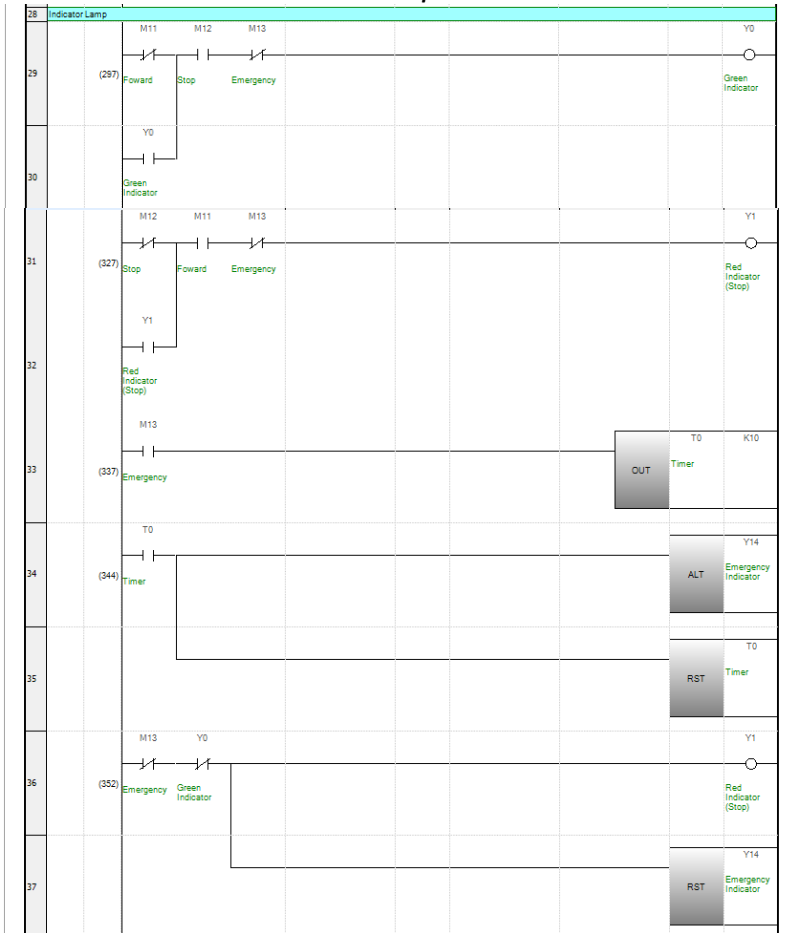
Gambar 23. Perintah setting frekuensi



Gambar 24. Kontrol VFD/VSD



Gambar 25. Kontrol push button



Gambar 26. Lampu indikator

Lampiran 3. Foto atau bukti hasil pengujian alat



Gambar 28. Pengujian pada frekuensi 15 Hz



Gambar 29. Pengujian pada frekuensi 15,20 Hz



Gambar 30. Pengujian pada frekuensi 20 Hz



Gambar 31. Pengujian pada frekuensi 20,23 Hz



Gambar 32. Pengujian pada frekuensi 25 Hz



Gambar 33. Pengujian pada frekuensi 25,26 Hz



Gambar 34. Pengujian pada frekuensi 30 Hz



Gambar 35. Pengujian pada frekuensi 30,13 Hz



Gambar 36. Pengujian pada frekuensi 30,40 Hz



Gambar 37. Pengujian pada frekuensi 35 Hz



Gambar 38. Pengujian pada frekuensi 35,43 Hz



Gambar 39. Pengujian pada frekuensi 40 Hz



Gambar 40. Pengujian pada frekuensi 40,46 Hz



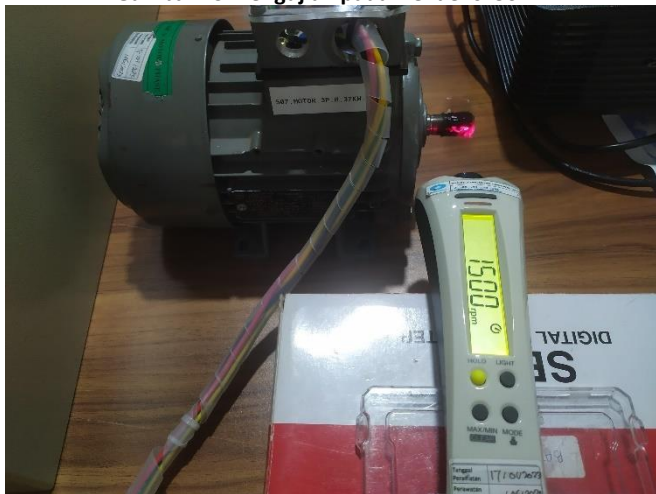
Gambar 41. Pengujian pada frekuensi 45 Hz



Gambar 42. Pengujian pada frekuensi 45,40 Hz



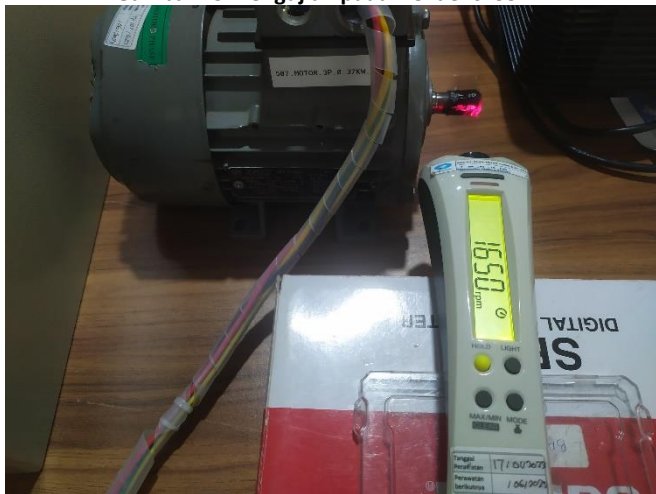
Gambar 43. Pengujian pada frekuensi 50 Hz



Gambar 44. Pengujian pada frekuensi 50,43 Hz



Gambar 45. Pengujian pada frekuensi 55 Hz



Gambar 46. Pengujian pada frekuensi 55,53 Hz



Gambar 47. Pengujian pada frekuensi 60 Hz



Gambar 47. Pengujian pada frekuensi 60,08 Hz



Gambar 47. Pengujian pada frekuensi 60,40 Hz

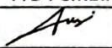
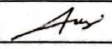

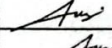
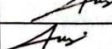
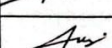
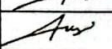
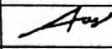
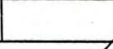
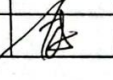
Untuk pengujian dalam bentuk video dapat dilihat pada tautan berikut ini;
https://drive.google.com/drive/folders/1_x5WFkn_IKwr4VYHbMQMtPfdK1k3_fp4?usp=drive_link

Pada tautan tersebut saya menguji hanya pada dua frekuensi yang sudah saya tandai dengan garis merah pada **Tabel 2. Hasil Pengujian Kecepatan Motor.**

Form Bimbingan Seminar Proposal Dan Tugas Akhir


FORMULIR LOGBOOK BIMBINGAN DAN PENGAJUAN SEMINAR PROPOSAL

Nama : M. Insannul Kamil
NIM : 4212001045
Pembimbing I : Diono, S.Tr.T., M.Sc
Pembimbing II* : Adlian Jefiza, S.Pd., M.T
Judul : Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive berbasis Programmable Logic Controller pada Konveyor Wire Harness

No	Hari/Tanggal	Rincian Kegiatan	TTD Pembimbing I & II
1	17 Maret 2023	Revisi bab 1	
2	30 Maret 2023	Revisi bab 1 dan Pembahasan bab 2	
3	3 April 2023	Pembahasan metode yang digunakan	
4	5 Mei 2023	Revisi bab 2	
5	12 Mei 2023	Revisi bab 2	
6	14 Mei 2023	Revisi bab 2 dan bab 3	
7	26 Mei 2023	Revisi bab 3	
8	9 Juni 2023	Revisi bab 3 dan bab 4	
9	16 Juni 2023	Review seluruh proposal	
10	29 Juni 2023	Review seluruh proposal	

Berdasarkan hasil bimbingan yang telah dilaksanakan selama 4 bulan dan telah disetujui oleh dosen pembimbing, maka dengan ini saya mengajukan diri sebagai peserta Seminar Proposal.

Batam,
29 Juni 2023
Peserta



M. Insannul Kamil

NIM: 4212001045

**FORMULIR LOGBOOK BIMBINGAN DAN PENGAJUAN
SIDANG TUGAS AKHIR**


Nama : M. Insannul Kamil
NIM : 4212001045
Pembimbing I : Diono, S.Tr.T., M.Sc
Pembimbing II* : Adlian Jefiza, S.Pd., M.T
Judul : Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive berbasis Programmable Logic Controller pada Konveyor Wire Harness

No	Hari/Tanggal	Rincian Kegiatan	TTD Pembimbing I & II
1	3 Januari 2024	Revisi hasil sidang proposal	A .
2	6 Februari 2024	Bimbingan progress pembuatan Tugas Akhir	A .
3	8 Februari 2024	Bimbingan progress pembuatan Tugas Akhir	A .
4	22 Februari 2024	Bimbingan progress pembuatan Tugas Akhir	A .
5	1 Maret 2024	Bimbingan progress pembuatan Tugas Akhir	A .
6	13 Maret 2024	Bimbingan penyusunan laporan akhir	A .
7	26 Maret 2024	Bimbingan penyusunan laporan akhir bagian Data	A .
8	28 Maret 2024	Bimbingan format laporan akhir	A .
9	29 April 2024	Bimbingan keseluruhan isi Laporan Tugas akhir	A .
10	7 Mei 2024	Bimbingan keseluruhan isi Laporan Tugas akhir	A .

Berdasarkan hasil bimbingan yang telah dilaksanakan selama 5 bulan dan telah disetujui oleh dosen pembimbing, maka dengan ini saya mengajukan diri sebagai peserta Seminar Proposal.

Batam, 8 Mei 2024

Peserta



M. Insannul Kamil

NIM: 4212001045