

Pengendali dan Monitoring Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa Berbasis PLC dan Expansion dengan HMI

Denny Hendra Prastiko*, Agus Supardi

Jurusan Teknik Elektro/Fakultas Teknik – Universitas Muhammadiyah Surakarta
Surakarta, Indonesia

*dennyhendra153@gmail.com

Abstract— The electric motor that is widely used in industry is the induction motor. Induction motors are distinguished based on the PLN power source, namely 1 phase and 3 phase. The 3-phase induction motor is a motor that is widely used, but it has a drawback, one of which is the difficulty of adjusting the speed of a 3-phase induction motor. This deficiency can be overcome by using an inverter control system or Variable Frequency Drive (VFD), Human Machine Interface (HMI), Programmable Logic Controller (PLC) which is added with an expansion PLC. The HMI function is to input the 0-50 Hz frequency, then it will be processed by the expansion PLC and produce a 0-10 VDC scale that can be accepted by the VFD. The input value of the VFD will be converted to a frequency value of 0-50 Hz to drive the motor. Based on the results of the research, the motor speed value read by the infrared sensor and tachometer increased when the frequency value was increased, but from the rpm value there was a difference in the readings and then compared the two data and got an average error of 6.9%. The value of the voltage is directly proportional to the increase in the frequency of the 3-phase induction motor.

Abstrak— Motor listrik yang banyak digunakan dalam industri adalah jenis motor induksi. Motor induksi dibedakan berdasarkan sumber listrik PLN yaitu 1 fasa, dan 3 fasa. Motor induksi 3 fasa merupakan motor yang banyak digunakan, namun memiliki kekurangan salah satunya yaitu sulitnya untuk mengatur kecepatan dari motor induksi 3 fasa. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan sistem pengendali inverter atau *Variable Frequency Drive* (VFD), *Human Machine Interface* (HMI), *Programmable Logic Controller* (PLC) yang ditambahkan dengan expansion PLC. HMI berfungsi untuk melakukan input frekuensi 0-50 Hz, kemudian akan diproses oleh expansion PLC dan menghasilkan skala 0-10 VDC yang dapat diterima oleh VFD. Masukan nilai dari VFD akan dikonversikan menjadi nilai frekuensi 0-50 Hz untuk menggerakkan motor. Berdasarkan hasil penelitian nilai kecepatan motor yang dibaca oleh sensor infrared dan tachometer mengalami kenaikan saat nilai frekuensi dinaikkan, namun dari nilai rpm tersebut terdapat selisih hasil pembacaan kemudian dibandingkan antara kedua data tersebut dan mendapatkan rata-rata error 6,9%. Nilai tegangan berbanding lurus dengan kenaikan frekuensi motor induksi 3 fasa.

Kata Kunci— Sistem kendali dan monitoring; motor induksi 3 fasa; *Variable Frequency Drive* (VFD); *Programmable Logic Controller* (PLC); *Human Machine Interface* (HMI)

I. PENDAHULUAN

MOTOR induksi merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC) yang sering digunakan pada era kemajuan industri baik industri besar maupun kecil. Motor induksi mempunyai beberapa kelebihan seperti konstruksi motor yang lebih sederhana, harga lebih murah, lebih efisien, dan pemeliharaan motor yang mudah dilakukan, namun motor induksi juga memiliki kekurangan. Menurut [1–3] motor induksi memiliki ke-

kurangan yaitu pada pengendalian kecepatan yang tidak mudah untuk dilakukan, karena diperlukan teknologi yang tepat untuk mengatur kecepatan motor induksi.

Melihat perkembangan teknologi pengendalian saat ini, motor induksi dapat dikendalikan dengan beberapa metode seperti mengubah jumlah kutub motor, mengatur tegangan sumber, mengatur nilai frekuensi [4–6].

Menurut [7–9] pengendalian motor induksi dapat dilakukan dengan bantuan alat *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk mengatur kecepatan motor induksi menggunakan nilai frekuensi yang dihubungkan ke motor induksi, sedangkan menurut [10–12] VFD merupakan cara untuk mengendalikan motor induksi dalam

Naskah diterima 13 Juli 2022, diterima setelah revisi 11 Agustus 2022, terbit online 2 September 2022. Emitor merupakan jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi Sinta 4 dengan alamat Gedung H Lantai 2 UMS, Jalan Ahmad Yani Tromol Pos 1 Surakarta Indonesia 57165.

aspek kecepatan dengan memvariasikan frekuensi input daya ke motor. Pengaturan kecepatan dengan VFD dapat membuat motor induksi memiliki tingkat kecepatan yang dapat diatur sesuai dengan kondisi, sehingga konsumsi energi dari motor induksi lebih hemat.

Penggunaan VFD pada penelitian digunakan untuk melakukan kendali kecepatan, namun dalam sistem tersebut diperlukan peralatan kontrol untuk mengendalikan sistem. Alat yang digunakan untuk mengendalikan sistem pada penelitian ini menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC), menurut [13] PLC merupakan sistem elektronik yang bekerja seperti relai yaitu untuk menghubungkan dan memutuskan input dan output berdasarkan alamat memori yang diprogram dan disimpan melalui instruksi I/O dalam bentuk data digital maupun analog.

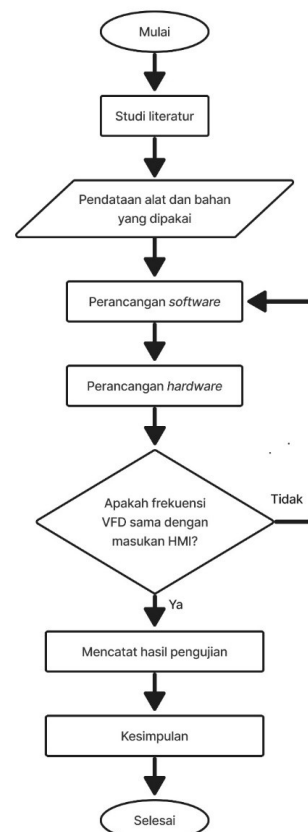
Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat sistem pengendalian motor induksi yang memudahkan operator dalam operasinya, diperlukan perangkat yang dapat berkomunikasi secara antarmuka (*interface*) melalui sentuhan yaitu menggunakan *Human Machine Interface* (HMI). Menurut [14–16] HMI adalah fasilitas untuk melakukan kendali berdasarkan sistem yang dibuat dalam sebuah layar, HMI juga dapat dikombinasikan dengan beberapa perangkat seperti PLC menggunakan *port* yang sesuai. Menurut [17, 18] juga menyatakan HMI adalah sebuah perangkat yang memvisualisasikan sebuah sistem yang dibuat dalam sebuah layar yang dapat bekerja secara *real time*, HMI memiliki cara kerja yaitu membaca data yang dikirim melalui media kontrol. Penelitian ini akan menerapkan sistem pengendalian PLC melalui visualisasi HMI yang diprogram berdasarkan software masing-masing. PLC dan HMI dihubungkan menggunakan kabel rs232 sesuai pada port COM. HMI dapat melakukan kontrol on dan off pada PLC yang terkoneksi dengan VFD. HMI dapat melakukan input frekuensi untuk menentukan nilai yang akan diberikan ke PLC kemudian dikirim ke VFD untuk menjalankan motor sesuai frekuensi yang diberikan, selain untuk mengendalikan frekuensi HMI juga dapat memonitor nilai kecepatan putar saat motor induksi berputar. Menurut [19, 20] untuk mendeteksi kecepatan putar diperlukan sensor yang sesuai untuk membaca nilai kecepatan putar, pada pemilihan sensor perlu diklasifikasikan pada perantara pembacaan sensor, jika sensor memerlukan informasi seperti perbedaan warna maka sensor harus diletakkan pada rotor bagian luar.

Berdasarkan perancangan tersebut, penulis ingin membuat sistem pengendali sekaligus monitoring kecepatan putar motor induksi 3 fasa untuk mempermudah operator dalam mengendalikannya. Kombinasi sistem

PLC, HMI, dan VFD dapat mengendalikan motor dengan baik.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk melakukan penelitian pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa adalah melakukan studi literatur dengan mencari jurnal yang berkaitan dengan judul. Mencari alat dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan penelitian, selanjutnya melakukan perancangan terhadap perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*).



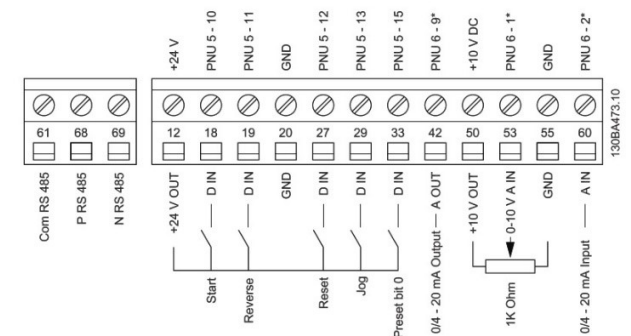
Gambar 1: Diagram alir penelitian

Perancangan perangkat lunak (*software*) dimulai dari membuat *ladder* diagram untuk menjalankan *Programmable Logic Controller* (PLC) menggunakan *software* CX-Programmer dengan menyesuaikan jenis PLC yang digunakan, *ladder* diagram digunakan untuk melakukan kontrol *Variable Frequency Drive* (VFD). Pengendalian VFD dengan memberikan output analog dari PLC dengan batas 0-10 VDC menuju input analog VFD, dilanjutkan dengan membuat desain untuk

Tabel 1: Data spesifikasi dari *variable frequency drive* (VFD)

Merk	DANFOSS
Tipe	FC-051
Tegangan Input	380-480 V
Arus Input	8,5/7,3 A
Frekuensi Input	50/60 Hz
Tegangan Output	380-480 V
Arus Output	5,3/4,8 A
Frekuensi Output	0-400 Hz
	2,2 kW
Daya	3,0 HP

Human Machine Interface (HMI) menggunakan software NB-Designer dengan menyesuaikan alamat yang digunakan dengan alamat pada *ladder* diagram yang sebelumnya sudah dibuat agar berjalan sesuai yang diinginkan. Tahap berikutnya adalah pembuatan program bahasa C pada software Arduino IDE untuk melakukan pengolahan data yang dibaca oleh sensor infrared menjadi nilai *rotate per minute* (rpm).



Gambar 2: Pin kontrol VFD

Perancangan perangkat keras (hardware) dilakukan dengan menghubungkan alat dan bahan yang sudah dikumpulkan yaitu PLC, HMI, VFD, sensor, Arduino, dan motor induksi 3 fasa. HMI berfungsi untuk input frekuensi kemudian data frekuensi diolah oleh ladder diagram PLC agar dapat diterima oleh VFD, pengiriman data dari HMI ke PLC menggunakan kabel rs232 pada port COM. Output analog PLC yang sudah diprogram untuk mengeluarkan nilai 0-10 VDC dihubungkan dengan input analog pada VFD 0-10 VDC untuk melakukan pengendalian 0-50 Hz. Output VFD dihubungkan dengan motor induksi 3 fasa yang terdapat sensor infrared untuk membaca nilai rpm. Data yang dibaca akan dikirim ke Arduino yang terhubung dengan PLC menggunakan kabel USB-Printer untuk

Tabel 2: Data spesifikasi motor induksi 3 fasa

Merk	FUJITA
Tipe	Y2-8024
Tegangan	380 V
Arus	2,03 A
Frekuensi	50 Hz
Hubung	STAR (Y)

mengirim data rpm ke PLC kemudian akan ditampilkan pada HMI.

Pengujian hardware dan software dilakukan dengan input nilai frekuensi pada HMI lalu ditekan tombol start, ketika memasukkan nilai 50 Hz maka ladder diagram akan mengolah data agar nilai yang ditampilkan pada VFD sama dengan HMI. Motor akan berputar sesuai dengan frekuensi input, saat motor berputar data kecepatan putar (rpm) dapat diambil melalui tachometer.

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

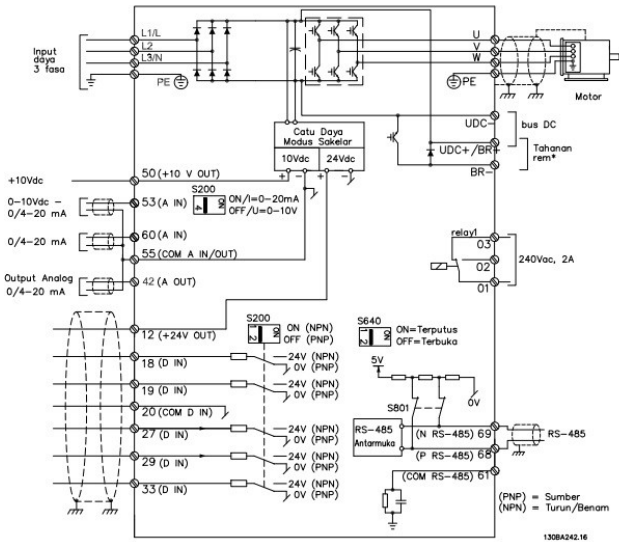
Bagian ini merupakan hasil dan pembahasan perancangan sistem kendali motor induksi 3 fasa berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), dan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan sistem monitoring kecepatan putar.

i. Data spesifikasi Alat dan Bahan

VFD yang digunakan dalam penelitian adalah merk Danfoss dengan tipe FC-051 seperti tertera dalam Tabel 1. Pengaturan VFD dilakukan terlebih dahulu dengan menyesuaikan spesifikasi motor induksi 3 fasa dan dimasukkan pada parameter VFD Tabel 2. VFD diatur pada keadaan menerima tegangan luar berupa 0-10 VDC (pin 53 dan 55) yang dihubungkan dengan output analog PLC yang bernilai variabel 0-10 VDC untuk mengatur frekuensi yang diberikan ke motor induksi 3 fasa dari 0-50 Hz. VFD kemudian dihubungkan dengan PLC, pada alamat 100.02 PLC dihubungkan ke pin 18 VFD, sedangkan untuk COM PLC dihubungkan ke pin 12 VFD untuk melakukan start dan stop motor induksi 3 fasa.

ii. Pemrograman Ladder Diagram PLC

Pembuatan ladder diagram untuk PLC menggunakan software CX-Programmer, sebelum membuat ladder diagram tipe PLC dan CPU yang diatur pada software

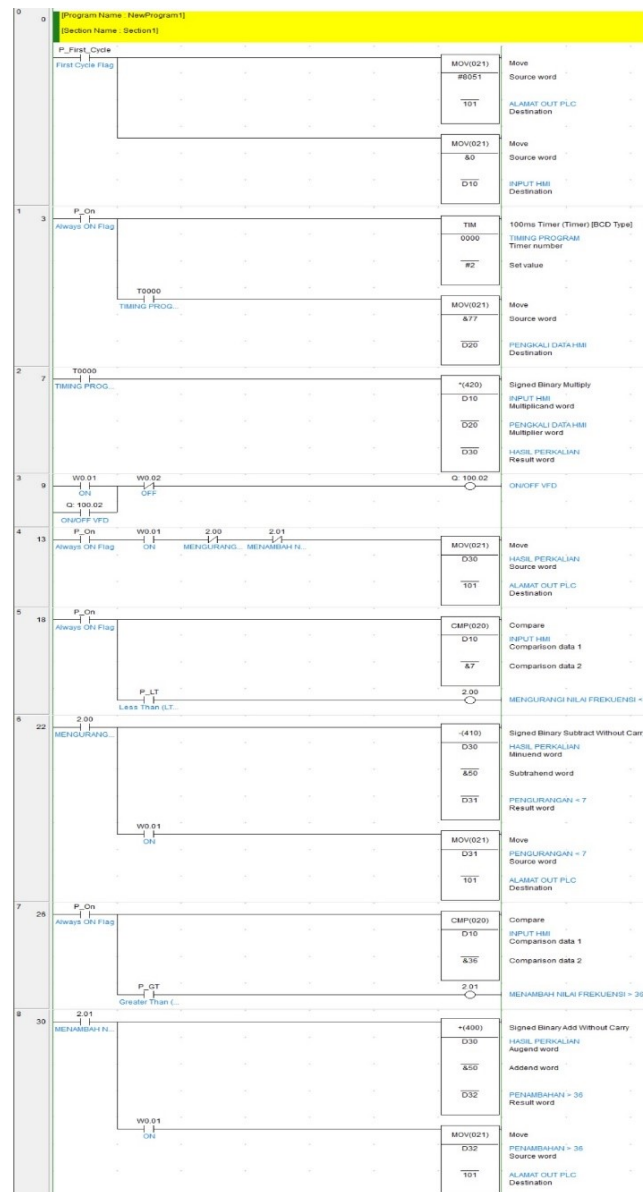


Gambar 3: Diagram pengkabelan VFD Danfoss FC-051

harus sesuai dengan hardware yang digunakan, dikarenakan jika PLC yang digunakan berbeda, maka ladder diagram tidak bisa diunggah ke PLC. Input dan output yang digunakan pada ladder diagram akan dijadikan referensi alamat dalam pembuatan HMI dan wiring rangkaian. Berikut adalah ladder diagram dari rancangan dari software CX-Programmer.

Ladder diagram pada Gambar 4 adalah rancangan penelitian pada software CX-Programmer. Baris pertama terdapat 2 perintah move, pada move pertama digunakan untuk melakukan inisialisasi bahwa alamat 101 pada expansion CP1W-MAD11 akan mengeluarkan tegangan variabel 0-10 VDC, dan move kedua digunakan untuk input frekuensi pada HMI dengan nilai saat pertama dijalankan yaitu 0 kemudian disimpan pada register D10. Baris kedua diberikan timer yang berfungsi agar ladder diagram/sistem tidak langsung bekerja (memiliki jeda sesaat), kemudian terdapat move untuk desimal 77 yang dipindah ke register D20 yang nantinya nilai desimal 77 akan digunakan sebagai pengali (multiply) nilai frekuensi register D10. Baris ketiga terdapat pengali (multiply) dimana nilai input frekuensi pada register D10 akan dikalikan dengan nilai 77 pada register D20, kemudian hasilnya akan dikeluarkan pada register D30. Baris keempat terdapat 2 input yaitu kontak bantu start (W0.01) dan stop (W0.02), dan 1 output yang memiliki sistem pengunci (interlock) yang digunakan untuk melakukan start dan stop yang terhubung dengan pin 12 dan 18 VFD, pin tersebut akan digunakan untuk memberikan perintah ke VFD untuk menyalakan dan mematikan motor induksi 3 fasa. Baris kelima yaitu pemindahan hasil perkalian dari register D30 ke alamat expansion 101 yang keluarannya berupa tegangan vari-

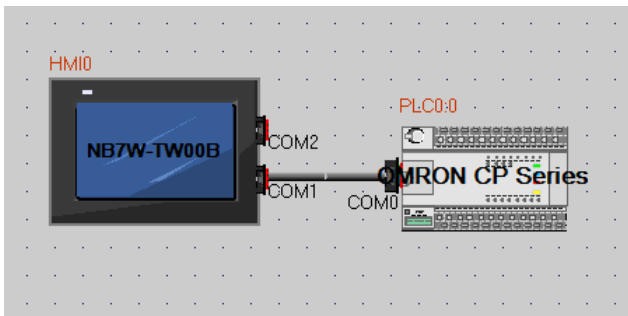
abel dari 0-10 VDC, dan dihubungkan pada pin 53 dan 55 pada VFD, nilai tegangan tersebut akan dikonversi menjadi frekuensi yang diberikan ke motor induksi 3 fasa. Baris keenam dan ketujuh merupakan ladder diagram untuk perbaikan error frekuensi yang sebelumnya nilai frekuensi masih belum sesuai khususnya untuk nilai 0-6 Hz, dan pada tahap ini nilai frekuensi tersebut akan diperbaiki agar sesuai dengan nilai yang seharusnya. Baris kedelapan dan kesembilan merupakan perbaikan juga sama seperti sebelumnya, hanya saja pada tahap ini perbaikan untuk nilai frekuensi 37-50 Hz.



Gambar 4: Diagram ladder PLC CP1L dan ekspansi CP1W-MAD11 yang terhubung dengan VFD

iii. *Pembuatan Desain HMI*

Pembuatan desain layar HMI tipe NB7W-TW00B menggunakan software NB-Designer. Pembuatan dimulai dari memilih tipe HMI dan PLC yang digunakan pada rangkaian, setelah dilakukan pemilihan tipe yang sesuai dilanjutkan dengan menghubungkan antara port COM PLC dengan port COM 1 pada HMI menggunakan komunikasi serial port kabel rs232.



Gambar 5: Koneksi HMI dan PLC pada software NF-Designer

Pembuatan berikutnya setelah HMI dan PLC saling terkoneksi adalah pembuatan antarmuka (interface) dari layar HMI. Pembuatan dimulai dari membuat tampilan 2 tombol yaitu untuk start dan stop sistem kerja, output keadaan motor, input frekuensi, dan monitoring kecepatan motor induksi 3 fasa. Alamat yang digunakan pada HMI harus sama dengan yang digunakan pada PLC agar sistem kerja dapat sesuai.



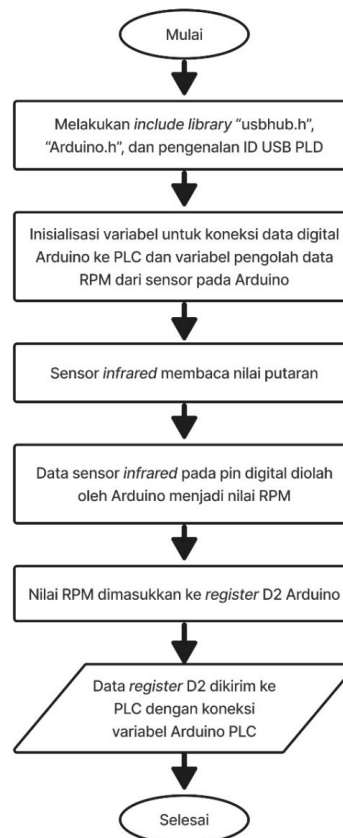
Gambar 6: Desain antarmuka layar HMI

iv. *Pemrograman Bahasa C pada Arduino IDE*

Pemrograman bahasa C menggunakan software Arduino IDE, yang selanjutnya akan diunggah ke komponen Arduino. Arduino pada penelitian ini berfungsi untuk menerima dan mengolah data yang dikirim dari sensor infrared yang terletak pada motor induksi 3 fasa menjadi nilai rpm. Data rpm yang sudah diolah oleh Arduino

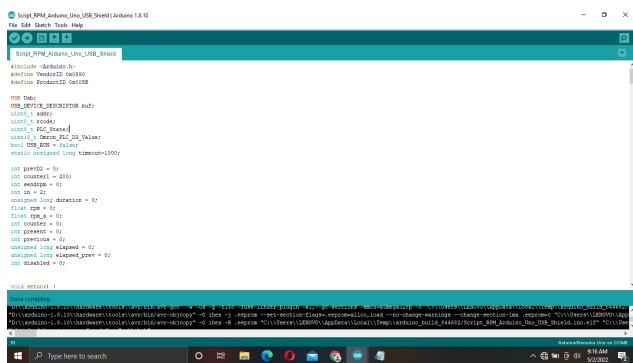
akan dikirim melalui Arduino USB Shield menggunakan kabel USB-Printer ke PLC sehingga data rpm dapat ditampilkan pada layar antarmuka (interface) HMI. Langkah-langkah pembuatan program bahasa C untuk Arduino dapat dilihat pada diagram alir Gambar 7.

Program yang dibuat pada software Arduino IDE dimulai dengan melakukan include library `usbhub.h` dan `Arduino.h` digunakan untuk menghubungkan antara Arduino dan PLC menggunakan kabel USB dengan melakukan pengenalan ID dari Arduino dan PLC. Program selanjutnya yaitu melakukan inialisasi variabel yang digunakan untuk persiapan pengolahan data rpm dan register untuk melakukan penyimpanan dan pengiriman data dari Arduino ke PLC. Variabel untuk data rpm akan diberikan data yang dibaca oleh sensor infrared kemudian diolah sehingga mendapatkan nilai rpm. Data rpm yang sudah diolah kemudian akan disimpan pada memory register D2 pada Arduino, kemudian data yang disimpan akan dikirim ke PLC menggunakan kabel USB-Printer yang terhubung dengan Arduino USB Shield dan PLC. Data rpm akan ditampilkan pada HMI

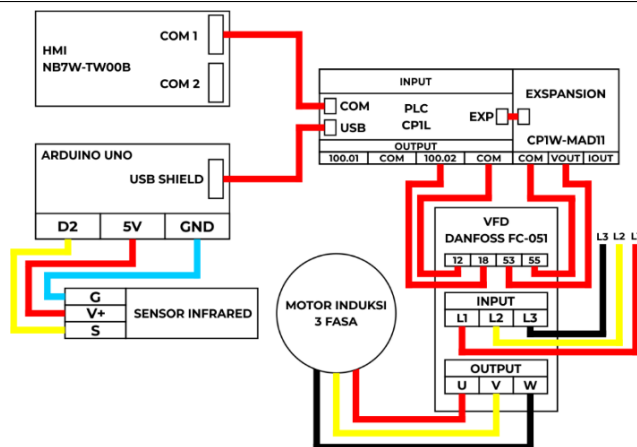


Gambar 7: Diagram alir program Arduino

menggunakan memory register yang sama yaitu D2.



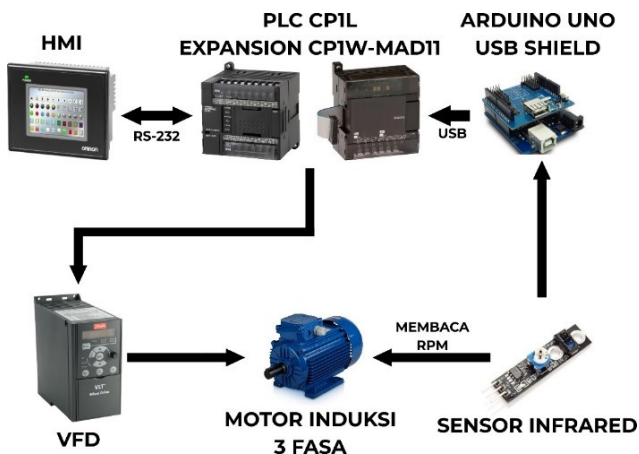
Gambar 8: Program bahasa C Arduino



Gambar 10: Diagram wiring alat

v. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* adalah tahap untuk melakukan *wiring* secara langsung pada alat penelitian yang digunakan, namun sebelum melakukan wiring pada hardware perlu dibuat desain koneksi antar alat yang digunakan terlebih dahulu agar memudahkan saat melakukan wiring pada alat. HMI dihubungkan dengan PLC menggunakan kabel rs232 pada COM yang sudah ditentukan pada saat membuat desain HMI pada software NB-Designer, kemudian PLC dihubungkan dengan VFD dan Arduino USB Shield dengan menggunakan kabel USB-Printer. VFD dihubungkan ke motor induksi 3 fasa, dan pada motor terdapat sensor infrared yang terhubung dengan Arduino USB Shield. Koneksi antar alat pada Gambar 9 diaplikasikan ke *hardware* dengan menggunakan spesifikasi kabel yang sesuai kemudian dihubungkan ke catu daya, hasil *wiring* diagram dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 9: Koneksi antar alat



Gambar 11: Wiring hardware dalam keadaan menyala

vi. Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja dari alat ini yaitu dengan melakukan koneksi antar alat terlebih dahulu baik secara sistem software maupun hardware. Hardware yang sudah terkoneksi dapat dijalankan dengan input nilai frekuensi dengan batas 0-50 Hz pada alamat D10 dilayar HMI, namun sebelum hal tersebut ladder diagram akan melakukan perintah terhadap *expansion* PLC CP1W-MAD11 untuk melakukan keluaran berupa tegangan variabel dari 0-10 VDC menggunakan perintah *move* dengan source word 8051 ke alamat 101.00 agar keluaran dari *expansion* alamat 101.00 berupa tegangan variabel 0-10 VDC yang dapat diterima oleh VFD. Nilai frekuensi akan diolah oleh *ladder* diagram menggunakan perintah perkalian (*multiply*). Hasil perkalian akan dikonversi menjadi tegangan variabel 0-10 VDC yang dikeluarkan oleh *expansion* PLC, dikarenakan pada input 0-6 dan 37-50 tidak sesuai dengan nilai yang tertampil pada VFD maka diberikan perbaikan error yaitu menggunakan pengkondisian (*compare*) saat nilai berada pada

Tabel 3: Data hasil pengujian alat dengan f frekuensi HMI (Hz), V_{HMI} kecepatan HMI (rpm), V kecepatan tachometer (rpm), dan V tegangan dalam volt

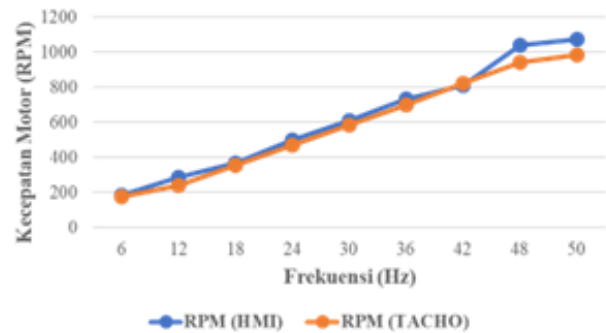
f	V_{HMI}	V_T	V	Arus (A)		
				R	S	T
6	186	174,2	32,6	0,7	0,78	0,79
12	286	240,7	61,6	0,9	0,92	0,87
18	366	355,8	126,5	1,01	1,04	0,98
24	501	467,8	254,8	1,3	1,05	1,06
30	609	584,6	211	1,08	1,01	1,05
36	732	698,6	259,8	1,06	1,06	1,04
42	810	820,4	284	1,05	1,08	1,07
48	1038	943,5	311	1,05	1,07	1,09
50	1075	984	324	1,5	1,09	1,08

batas tersebut maka akan diperbaiki sehingga nilai input dengan nilai yang tertampil pada VFD sama. Tegangan variabel 0-10 VDC yang masuk ke input VFD yaitu pada pin 53 dan 55 akan dikonversi menjadi nilai frekuensi 0-50 Hz. Tombol start (alamat W0.01) dan stop (alamat W0.02) terhubung dengan output PLC 100.02 untuk memberikan perintah start dan stop pada VFD sehingga motor dapat nyala atau mati. Motor yang sudah berputar akan dibaca nilainya oleh sensor infrared, kemudian nilai tersebut akan diolah oleh Arduino agar menjadi rpm dan disimpan pada alamat `Omr.on.PLC.D2`. Nilai rpm akan dikirim ke PLC dari Arduino saat `script Send rpm` dijalankan, kemudian nilai rpm akan tertampil pada layar HMI dengan alamat D2.

vii. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan menyalakan motor induksi 3 fasa dan diberikan frekuensi yang berbeda-beda seperti pada Tabel 3. Parameter yang diamati yaitu kecepatan yang dibaca oleh sensor infrared pada HMI, kecepatan yang dibaca oleh tachometer, tegangan, dan arus.

Gambar 12 merupakan hubungan perubahan frekuensi dan kecepatan pada motor induksi 3 fasa. Pengujian dilakukan dalam beberapa nilai, saat frekuensi 6 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 186 rpm dan pada tachometer 174,2 rpm, saat frekuensi 12 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 286 rpm dan pada tachometer 240,7 rpm, saat frekuensi 18 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 366 rpm dan pada tachometer 355,8 rpm, saat frekuensi 24 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 501 rpm dan pada tachometer 467,8 rpm, saat frekuensi 30



Gambar 12: Hubungan frekuensi terhadap kecepatan motor

Hz didapatkan kecepatan pada HMI 609 rpm dan pada tachometer 584,6 rpm, saat frekuensi 36 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 732 rpm dan pada tachometer 698,6 rpm, saat frekuensi 42 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 810 rpm dan pada tachometer 820,4 rpm, saat frekuensi 48 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 1038 rpm dan pada tachometer 943,5 rpm, saat frekuensi 50 Hz didapatkan kecepatan pada HMI 1075 rpm dan pada tachometer 984 rpm. Berdasarkan data pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai kecepatan motor akan meningkat saat nilai frekuensi dinaikkan, pada pengujian dimulai dari nilai frekuensi 6 Hz dinaikkan sampai 50 Hz, kemudian kecepatan pada HMI maupun tachometer akan mengalami kenaikan nilai saat frekuensi dinaikkan. Nilai pengujian di atas kemudian dibandingkan dengan formula kecepatan putar motor pada Persamaan 1.

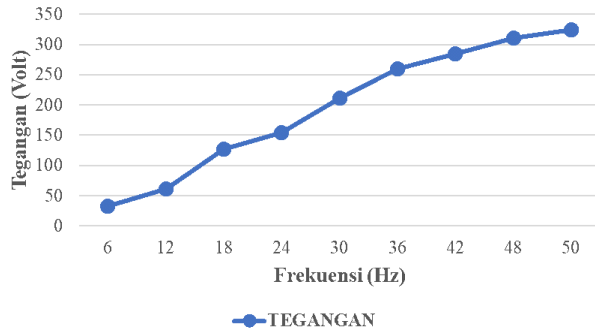
$$N_s = \frac{120 \times f}{p}, \tag{1}$$

dengan N_s adalah kecepatan putar (rpm), f yaitu frekuensi (Hz), p merupakan notasi dari jumlah kutub. Sehingga bila diketahui frekuensi adalah 30 dengan 4 kutub, maka kecepatan putar motor adalah $120 \times 30 / 4 = 900$ rpm.

Perhitungan di atas dihitung dengan nilai frekuensi 30 Hz dan memiliki jumlah kutub 4. Hasil perhitungan rumus kemudian dibandingkan dengan nilai kecepatan putar pada HMI yaitu 609 rpm. Hasil dari rumus perhitungan dan HMI memiliki perbedaan nilai, hal ini karena tegangan yang dikeluarkan VFD tidak mencapai nilai maksimal sehingga nilai rpm yang dibaca sensor berbeda dengan hasil rumus.

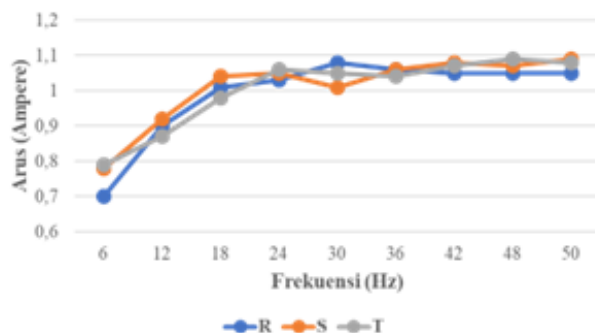
Berdasarkan data dan perhitungan persamaan di atas dapat disimpulkan, kecepatan yang diamati oleh sensor infrared (HMI) dan tachometer terdapat selisih hasil yang dibaca, namun pada kedua grafik nilainya meningkat saat frekuensi dinaikkan. Pengukuran dari kedua parameter tersebut kemudian dibandingkan un-

tuk mengetahui tingkat keakuratan dari alat penelitian, dan didapatkan nilai rata-rata error yaitu sebesar 6,9%, dari perhitungan rumus memiliki selisih nilai dikarenakan VFD yang tidak bisa memberikan nilai tegangan maksimal.



Gambar 13: Hubungan frkuensi terhadap tegangan

Gambar 13 merupakan hubungan perubahan frekuensi dan tegangan pada motor induksi 3 fasa. Pengujian dilakukan dalam beberapa nilai, saat frekuensi 6 Hz didapatkan tegangan 32,6 V, saat frekuensi 12 Hz didapatkan tegangan 61,6 V, saat frekuensi 18 Hz didapatkan tegangan 126,5 V, saat frekuensi 24 Hz didapatkan tegangan 154,8 V, saat frekuensi 30 Hz didapatkan tegangan 211 V, saat frekuensi 36 Hz didapatkan tegangan 259,8 V, saat frekuensi 42 Hz didapatkan tegangan 284 V, saat frekuensi 48 Hz didapatkan tegangan 311 V, saat frekuensi 50 Hz didapatkan tegangan 324 V. Berdasarkan data pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan akan meningkat saat nilai frekuensi dinaikkan, pada pengujian dimulai dari nilai frekuensi 6 Hz dinaikkan sampai 50 Hz, kemudian tegangan akan mengalami kenaikan nilai saat frekuensi dinaikkan.



Gambar 14: Hubungan frekuensi terhadap arus tiap fasa

Gambar 14 merupakan hubungan perubahan frekuensi dan arus tiap fasa pada motor induksi 3 fasa. Pengujian dilakukan dalam beberapa nilai, saat frekuensi 6 Hz didapatkan arus fasa R 0,7 A, fasa S 0,78 A, fasa T 0,79 A, saat frekuensi 12 Hz didapatkan arus fasa

R 0,9 A, fasa S 0,92 A, fasa T 0,87 A, saat frekuensi 18 Hz didapatkan arus fasa R 1,01 A, fasa S 1,04 A, fasa T 0,98 A, saat frekuensi 24 Hz didapatkan arus fasa R 1,03 A, fasa S 1,05 A, fasa T 1,06 A, saat frekuensi 30 Hz didapatkan arus fasa R 1,08 A, fasa S 1,01 A, fasa T 1,05 A, saat frekuensi 36 Hz didapatkan arus fasa R 1,06 A, fasa S 1,06 A, fasa T 1,04 A, saat frekuensi 42 Hz didapatkan arus fasa R 1,05 A, fasa S 1,08 A, fasa T 1,07 A, saat frekuensi 48 Hz didapatkan arus fasa R 1,05 A, fasa S 1,07 A, fasa T 1,09 A, saat frekuensi 50 Hz didapatkan arus fasa R 1,05 A, fasa S 1,09 A, fasa T 1,08 A. Berdasarkan data pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai arus mengalami kenaikan pada saat frekuensi 6-18 Hz, kemudian saat frekuensi pada 24-50 Hz nilai arus menjadi lebih stabil pada rentang nilai 1,01-1,09.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian sistem kendali motor induksi 3 fasa dapat diambil kesimpulan : Nilai kecepatan putar yang dibaca oleh sensor infrared dan tachometer mengalami kenaikan ketika nilai frekuensi dinaikkan dari 6-50 Hz. Nilai kecepatan putar dari data penelitian dibandingkan dengan persamaan kecepatan putar memiliki selisih hasil yang didapat, hal ini dikarenakan tegangan yang dihasilkan VFD tidak mencapai maksimal sehingga nilai yang dibaca sensor tidak sesuai. Berdasarkan hasil penelitian, alat yang dirancang memiliki perbedaan nilai kecepatan putar antara HMI dan tachometer, dari kedua parameter tersebut kemudian dimasukkan dalam rumus rata-rata error untuk mencari keakuratan dari alat penelitian, dan didapatkan nilai rata-rata error sebesar 6,9%. Nilai tegangan mengalami kenaikan saat frekuensi dinaikkan dari 6-50 Hz. Nilai tegangan berbanding lurus dengan kenaikan frekuensi, tegangan juga berbanding lurus dengan kecepatan putar. Nilai arus pada frekuensi 6-18 Hz mengalami kenaikan yang semula 0,7-0,8 A menjadi 0,98-1,04 A, dan saat frekuensi 24-50 Hz nilai arus menjadi lebih stabil pada nilai 1,01-1,09 A.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Evalina, A. Azis, dan Z. Zulfikar, "Pengaturan kecepatan putaran motor induksi 3 fasa menggunakan programmable logic controller," *JET (Journal of Electrical Technology)*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [2] E. S. Nasution dan A. Hasibuan, "Pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan merubah frekuensi menggunakan inverter altivar 12p," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 2, no. 1, 2018.

- [3] A. Supriyadi, "Metode starting motor induksi 3 fasa rotor sangkar tupai (squirrel-cage rotor 3 phase induction motor)," *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, vol. 5, no. 2, 2015.
- [4] A. Nakiya, M. A. Makwana, dan R. G. Ramesh, "An overview of a continuous monitoring and control system for 3-phase induction motor based on programmable logic controller and scada technology," *Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET)*, vol. 4, no. 4, 2013.
- [5] A. Sutriyono *et al.*, "Rancang bangun pengendali motor 1 fasa dengan metode zero crossing detector berbasis arduino," Ph.D. dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [6] R. Hutabalian, A. Hamzah *et al.*, "Desain dan analisa inverter tiga fasa dengan metode svpwm sebagai penggerak motor induksi tiga fasa pada aplikasi sepeda listrik," Ph.D. dissertation, Riau University, 2016.
- [7] A. Tanjung *et al.*, "Analisis penggunaan energi listrik motor induksi tiga fasa menggunakan variable speed drive (vsd)," *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.
- [8] I. Effendi *et al.*, "Penerapan variable frequency drive pada motor fuel screw feeder untuk bahan bakar pada sistem boiler di pt. lontar papyrus pulp & paper industry," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 2, no. 1, 2014.
- [9] S. Surianto, "Pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan frequency converter lenze 8400 berbasis plc siemens simatic s7-300," Ph.D. dissertation, Universitas Hasanuddin, 2020.
- [10] A. Kale, N. R. Kamdi, P. Kale, dan A. A. Yeotikar, "A review paper on variable frequency drive," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 1281–1284, 2017.
- [11] D. Suhendra, A. Surapati, dan Y. Rodiah, "Perancangan alat pengontrolan frekuensi dalam pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontrol pid," Ph.D. dissertation, Universitas Bengkulu, 2014.
- [12] H. H. Fakhruddin, H. Toar, E. Purwanto, H. Oktavianto, G. Basuki, R. A. N. Apriyanto, dan A. A. Muntashir, "Strategi implementasi adaptive neuro fuzzy inference system (anfis) pada kendali motor induksi 3 fase metode vektor-tidak langsung," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 4, p. 786, 2021.
- [13] M. G. Hudedmani, R. Umayal, S. K. Kabberalli, dan R. Hittalmani, "Programmable logic controller (plc) in automation," *Advanced Journal of Graduate Research*, vol. 2, no. 1, pp. 37–45, 2017.
- [14] D. Desai, A. N. Kustagi, dan R. Banakar, "Smart infotainment system: A human machine interface based approach."
- [15] D. Monika, "Miniature penentuan kesediaan parkir otomatis 3 lantai berbasis plc dan hmi," *ELECTRICES*, vol. 3, no. 1, pp. 21–27, 2021.
- [16] E. Kurniawan *et al.*, "Aplikasi sistem kontrol pendingin udara di gedung fte universitas telkom menggunakan scada berbasis plc," *eProceedings of Engineering*, vol. 2, no. 1, 2015.
- [17] H. Haryanto dan S. Hidayat, "Perancangan hmi (human machine interface) untuk pengendalian kecepatan motor dc," *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 58–65, 2016.
- [18] G. Wibisono, K. Priyanto *et al.*, "Kontrol dan monitor sistem otomasi automatic water treatment system berbasis plc menggunakan hmi weintek mt807 lip," *Teknika*, vol. 6, no. 4, pp. 149–156, 2020.
- [19] C. D. Tran, P. Palacky, M. Kuchar, P. Brandstetter, dan B. H. Dinh, "Current and speed sensor fault diagnosis method applied to induction motor drive," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 38 660–38 672, 2021.
- [20] Y. El Anwar, N. Soedjarwanto, dan A. S. Repelianto, "Prototype penggerak pintu pagar otomatis berbasis arduino uno atmega 328p dengan sensor sidik jari," *Electrician*, vol. 9, no. 1, pp. 30–41, 2015.