pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v22i4.xxxxx

RANCANG BANGUN TRAINER PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS PLC SCHNEIDER TM221 DAN VSD ALTIVAR ATV320

Ismu Baikhaqi Murbiyanta[1)] Priyo Sasmoko[2)]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
E-mail : psasmoko@gmail.com

ABSTRACT

The development of industrial automation systems requires electric motor control that is efficient, reliable, and easy to operate. One of the methods used to regulate the speed of an induction motor is by utilizing a Variable Speed Drive (VSD) controlled by a Programmable Logic Controller (PLC). This study aims to design and develop a three-phase induction motor speed control system based on a Schneider Modicon TM221CE16R PLC, Human-Machine Interface (HMI), and Schneider ATV320U15M3C VSD using a three-stage multi-step method. The system was designed with three operating frequency levels, namely 15 Hz, 35 Hz, and 50 Hz. Motor speed measurements were carried out using a tachometer as a reference for the RPM value. At frequencies of 15 Hz, 35 Hz, and 50 Hz, the motor speeds obtained were approximately 450 rpm, 1044 rpm, and 1490 rpm, respectively. These results indicate that the motor speed is directly proportional to the VSD output frequency and closely matches the theoretical values, with minor deviations caused by induction motor slip. Furthermore, the HMI successfully functioned as an effective operation and monitoring interface, demonstrated stable performance, satisfactory accuracy, and ease of operation, making it suitable for educational purposes and industrial automation control applications.

Keywords: *Variable Speed Drive (VSD), Programmable Logic Controller (PLC), Human-Machine Interface (HMI), multi-step control.*

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi industri saat ini menuntut sistem penggerak listrik yang tidak hanya andal, tetapi juga mampu beroperasi secara efisien dan adaptif terhadap perubahan kebutuhan proses. Salah satu komponen penting dalam sistem penggerak modern adalah *Variable Speed Drive* (VSD), yang berfungsi sebagai perangkat pengendali kecepatan motor listrik dengan mengatur frekuensi dan tegangan suplai. Penerapan VSD telah menjadi standar pada berbagai sektor industri karena mampu meningkatkan efisiensi energi, memperbaiki performa sistem, serta memberikan fleksibilitas dalam pengendalian kecepatan motor sesuai kebutuhan operasional[1][2].

Penggunaan VSD memberikan keuntungan signifikan dibandingkan metode pengoperasian motor secara langsung. Dengan kemampuan pengaturan kecepatan yang variatif, VSD memungkinkan motor bekerja pada kondisi optimal sesuai beban yang digerakkan, sehingga konsumsi energi dapat ditekan. Pada aplikasi industri tertentu, penggunaan VSD terbukti mampu menghasilkan penghematan energi yang cukup besar, terutama pada sistem dengan karakteristik beban yang berubah-ubah, seperti pompa dan kipas, dengan potensi penghematan mencapai 20% hingga 40%[3][4]. Selain itu, VSD juga berperan dalam mengurangi arus start yang tinggi, menekan stres mekanik, serta meningkatkan umur pakai motor dan peralatan pendukungnya.

Dalam implementasinya, VSD banyak diaplikasikan untuk mengendalikan motor induksi tiga fasa yang merupakan jenis motor listrik paling umum digunakan di industri. Motor induksi tiga fasa dipilih karena memiliki konstruksi yang sederhana, keandalan tinggi, biaya pemeliharaan yang relatif rendah, serta efisiensi operasi yang baik[5]. Karakteristik tersebut menjadikan motor induksi tiga fasa sangat cocok untuk dikombinasikan dengan VSD guna menghasilkan sistem penggerak yang efisien dan fleksibel. Melalui pengaturan frekuensi oleh VSD, kecepatan putar motor induksi dapat dikendalikan secara efektif tanpa mengurangi keandalan sistem secara keseluruhan.

Seiring meningkatnya kompleksitas proses industri, kebutuhan akan sistem kontrol yang

terintegrasi juga semakin besar. Pengendalian VSD secara manual dinilai kurang efektif untuk aplikasi industri modern yang memerlukan ketelitian, konsistensi, dan kemudahan pengoperasian. Oleh karena itu, *Programmable Logic Controller* (PLC) banyak digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem otomasi industri. PLC memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas pemrograman, respon yang cepat, serta kemampuan integrasi dengan berbagai perangkat industri, termasuk VSD dan antarmuka pengguna[6][7].

Pada penelitian ini, PLC Schneider tipe TM221CE16R digunakan sebagai pengendali sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa yang dikombinasikan dengan VSD Schneider tipe ATV320U15M3C. Sistem ini dilengkapi dengan *Human–Machine Interface* (HMI) sebagai antarmuka antara pengguna dan sistem kontrol, sehingga proses pengoperasian, pemilihan tahapan kecepatan, serta pemantauan kondisi kerja motor dapat dilakukan secara lebih mudah dan terstruktur. Penggunaan HMI juga bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi potensi kesalahan pengoperasian[8][9]. Pengaturan kecepatan motor dirancang menggunakan metode *multi-step* 3 tahap, di mana kecepatan motor ditentukan berdasarkan beberapa level frekuensi yang diinginkan sesuai kebutuhan proses. Metode ini dipilih karena memiliki struktur kontrol yang sederhana, stabil, serta mudah diimplementasikan pada sistem industri. Adapun tiga tahap frekuensi yang dipilih berada pada nilai 15 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz untuk kondisi operasi maksimal.

Dengan perancangan sistem pengatur kecepatan berbasis PLC dan VSD menggunakan metode *multi-step* 3 tahap, diharapkan sistem yang dihasilkan mampu memberikan solusi pengendalian motor induksi tiga fasa yang efisien, andal, dan sesuai dengan kebutuhan industri. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini mengangkat judul **"RANCANG BANGUN TRAINER PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS PLC SCHNEIDER TM221 DAN VSD ALTIVAR ATV320".**

1.2 TUJUAN TUGAS AKHIR

Rancangan Tugas Akhir ini disusun dengan memiliki tujuan yaitu:

a. Memanfaatkan ilmu pendidikan kepada kebutuhan industri, khususnya pada bidang kelistrikan
b. Meningkatkan kemampuan dan intelektualitas mahasiswa terhadap pemanfaatan tenaga listrik
c. Merancang dan merealisasikan sistem pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis PLC Schneider TM221CE16R dengan VSD ATV320U15M3C.
d. Mengimplementasikan metode pengaturan kecepatan *multi-step* 3 tahap untuk mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa sesuai dengan kebutuhan proses.
e. Merancang dan mengintegrasikan HMI sebagai antarmuka antara pengguna dan sistem kontrol untuk memudahkan pengoperasian dan pemantauan motor.
f. Menguji dan menganalisis kinerja sistem pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa yang telah dirancang.
g. Memenuhi persyaratan mata kuliah Tugas Akhir sebesar 4 SKS untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini pembahasan masalah meliputi:

a. *Programmable Logic Controller* (PLC) Schneider Modicon M221 Relay *Ethernet* TM221CE16R sebagai sistem kontrol alat
b. *Inverter Variable Speed Drive* (VSD) Schneider ATV320U15M3C 1.5kW 200 *to* 240V 3 Fasa sebagai *inverter* 1 fasa AC menjadi 3 fasa AC
c. *EcoStruxure™ Machine Expert (SoMachine)* sebagai perangkat lunak dalam pembuatan *ladder diagram*
d. *Vijeo Jitech* dan *Vijeo Designer* sebagai *Human-Machine Interface* (HMI)
e. Protokol *Modbus* sebagai komunikasi awal dalam konfigurasi PLC untuk pengaturan *IP Address*
f. *TCP/IP version 4* sebagai komunikasi *upload program* PLC berbasis *wireless* (Wi-Fi)
g. *TPLink* sebagai perangkat jaringan (*network device*) dalam melakukan *setting router Wi-Fi*
h. *Tachometer* sebagai pendeteksi besaran putaran rotor pada motor listrik
i. Motor listrik 3 fasa 1 (*Horse Power*) HP sebagai alat yang digunakan dalam implementasi pembuatan tugas akhir

2. DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penyusun melakukan telaah terhadap referensi yang memiliki keterkaitan terhadap Tugas Akhir yang dibuat yaitu berjudul "Kendali Kecepatan Motor Induksi Menggunakan *Variable Speed Drive* Berbasis SOFT PLC" oleh Rizaldy dkk. Dalam penulisan tersebut dilakukan pengendalian kecepatan motor listrik 1 phasa dan 3 phasa yang diterapkan pada penggunaan conveyor dengan menggunakan soft PLC dan dihasilkan bahwa hampir 100% tingkat keberhasilan telah didapatkan dalam melakukan

pengendalian start-stop motor DC pada miniatur conveyor[10].

Selanjutnya pada jurnal berjudul "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) oleh Rangkuti dkk. Dengan menggunakan VSD ATV12H075M2 yang telah disesuaikan dengan *nameplate* pada motor yang digunakan serta dengan PLC TM221CE16R menghasilkan bahwa penerapan pada motor induksi 3 fasa didapatkan hasil ketika tidak terkopel dengan beban dan berada pada frekuensi 50 Hz menghasilkan 2802 rpm dan pada frekuensi 30 Hz menghasilkan 1681 rpm sedangkan ketika terkopel dengan beban didapatkan 1434 rpm pada frekuensi 25,6 Hz[11].

Selanjutnya, pada jurnal berjudul "Sistem Monitoring Kendali Motor Induksi 3 Fasa Dengan *Variable Speed Drive* Berbasis PLC dan SCADA" oleh Yusnan Badruzzaman dengan *inverter altivar 61 type ATV61HU22N4* dan PLC Twido TWDLMDA20DTK. Dengan menggunakan *software* TWIDOSUITE V2.30 dan SCADA VIJEO CITECT v.7.2 yang berfungsi dalam melakukan kontrolling dan monitoring. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa motor induksi tiga fasa dapat diatur kecepatannya dengan alat *Variable Speed Driver* (*Inverter*) dengan rentang yang sangat luas sebesar 0 – 50 Hz, sistem komunikasi dengan protokol Modbus antara PLC dengan Inverter menggunakan kabel RJ 45[12].

Bentuk pengembangan ide yang penyusun lakukan sebagai Tugas Akhir dengan melakukan pengembangan terhadap referensi tersebut untuk memberikan peningkatan bahan literatur pengatur kecepatan motor dengan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) Schneider Modicon M221 Relay *Ethernet* TM221CE16R serta *Inverter Variable Speed Drive* (VSD) Schneider ATV320U15M3C 1.5kW 200 *to* 240V 3 Fasa dan *Visual Studio* sebagai peningkatan pada tampilan *Human-Machine Interface* (HMI). Dalam hal ini motor listrik yang digunakan dengan kapasitas 1 HP (*Horse Power*) yang setara dengan 0,75kW.

Berdasarkan tinjauan tersebut penyusun melakukan Tugas Akhir berjudul "RANCANG BANGUN TRAINER PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS PLC SCHNEIDER TM221 DAN VSD ALTIVAR ATV320".

2.2 *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* (PLC) SCHNEIDER MODICON M221 RELAY *ETHERNET* TM221CE16R



GAMBAR 2 - 1 PLC Modicon TM221CE16R[13]

Programmable Logic Controller (PLC) yang banyak digunakan pada sistem otomasi industri karena memiliki ukuran yang ringkas, mudah dioperasikan, dan mampu menjalankan fungsi kontrol secara andal. PLC ini dilengkapi dengan 16 input/output (I/O) digital dan 2 input analog yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator, sehingga dapat diterapkan pada berbagai kebutuhan sistem kendali industri.

Selain itu, PLC Modicon TM221CE16R telah dilengkapi fitur komunikasi Ethernet yang mendukung proses pemrograman, pemantauan, dan pertukaran data secara cepat dan efisien. PLC ini diprogram menggunakan perangkat lunak SoMachine Basic yang menyediakan fungsi konfigurasi perangkat, pembuatan *ladder diagram*, serta pengujian sistem kendali secara terstruktur. Dengan fitur-fitur tersebut, PLC Modicon TM221CE16R menjadi salah satu solusi yang fleksibel dan sesuai untuk implementasi sistem otomasi modern[13]

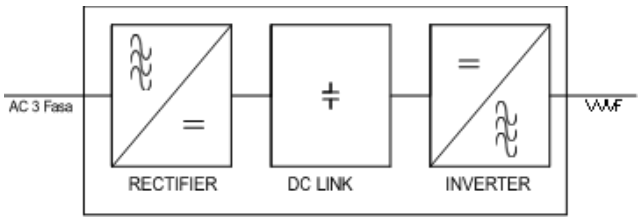
2.3 *INVERTER VARIABLE SPEED DRIVE* (VSD) SCHNEIDER ATV320U15M3C 1.5KW 200 *TO* 240V 3 FASA

Variable Speed Drive (VSD) merupakan perangkat elektronika daya yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor arus bolak-balik (AC) dengan mengatur frekuensi dan tegangan suplai ke motor[14][15]. Penggunaan VSD pada sistem industri memberikan fleksibilitas pengaturan kecepatan, meningkatkan efisiensi energi, serta mengurangi arus awal dan stres mekanik pada motor. Oleh karena itu, VSD banyak diterapkan pada aplikasi industri seperti pompa, kipas, blower, konveyor, dan sistem penggerak lainnya yang membutuhkan pengaturan kecepatan variabel[16].

Prinsip kerja VSD dimulai dengan mengubah tegangan AC dari jaringan menjadi tegangan DC melalui rangkaian penyearah (rectifier), kemudian tegangan DC diratakan pada DC link menggunakan kapasitor atau induktor, dan selanjutnya diubah kembali menjadi tegangan AC tiga fasa oleh rangkaian inverter dengan frekuensi yang dapat diatur. Tegangan

keluaran VSD dikenal sebagai Variable Voltage Variable Frequency (VVVF), sehingga kecepatan putar motor dapat dikendalikan sesuai kebutuhan beban.

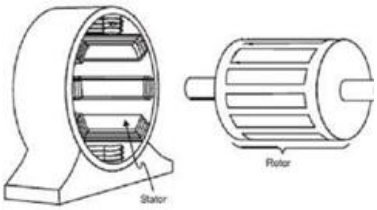
Pengoperasian VSD umumnya menggunakan metode kendali Volt per Hertz (V/F) konstan, yaitu menjaga rasio antara tegangan dan frekuensi tetap konstan untuk mempertahankan fluks magnetik motor pada nilai nominal. Metode ini memungkinkan motor menghasilkan torsi yang stabil dan mencegah terjadinya saturasi magnetik, sehingga motor dapat beroperasi secara efisien pada berbagai tingkat kecepatan[16].



GAMBAR 2 - 2 Blok Diagram Variabel Speed Drive 3[16]

2.4 MOTOR INDUKSI 3 FASA

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri. Motor induksi tiga fasa bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu arus pada rotor dihasilkan oleh induksi medan magnet stator tanpa memerlukan sumber listrik langsung pada rotor. Motor ini banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang sederhana, kuat, mudah dalam perawatan, serta memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi. Selain itu, motor induksi tiga fasa mampu menghasilkan torsi yang besar sehingga banyak diaplikasikan pada pompa, kipas, konveyor, kompresor, dan berbagai peralatan industri lainnya. Bentuk motor induksi tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 2-3[16].



GAMBAR 2 - 3 Motor Induksi 3 Fasa[16]

Motor induksi 3-fasa biasanya mempunyai kumparan 3-fase identik yang terpisah satu sama lainya sebesar 120 derjat listrik. Motor ini biasanya beroperasi dengan menggunakan sistem 3-fasa. Secara konstruksi, bentuk kumparan motor ini dapat dimodelkan. Kumparan motor induksi 3-fasa dapat dihubungkan dalam sistem pengoperasiannya sebagai hubungan bintang dan hubungan delta[17].

Besarnya kecepatan medan putar stator dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Ns = \frac{120 \cdot f}{P} \qquad (2.1)$$

dimana,

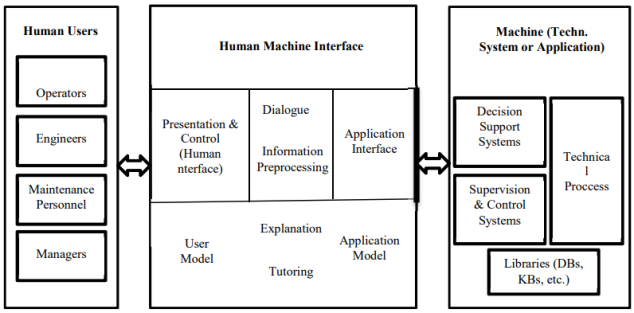
ns = kecepatan sinkron/ medan putar (rpm)

f = frekuensi sumber daya (Hz)

P = jumlah kutub motor induksi

2.5 *Human-Machine Interface* (HMI)

Human Machine Interface (HMI) merupakan antarmuka yang berfungsi sebagai media komunikasi antara manusia dan mesin. HMI digunakan untuk menampilkan, memantau, dan mengolah informasi dari sistem kendali sehingga memudahkan operator dalam melakukan pengoperasian dan pemantauan kondisi mesin. Selain sebagai penampil data, HMI juga memungkinkan pengguna memberikan perintah kepada sistem, sehingga tercipta interaksi dua arah antara operator dan mesin secara responsif dan efisien[18][19]. Pengguna dalam sistem (HMI) meliputi operator, teknisi, personel pemeliharaan, dan manajer yang membutuhkan informasi sesuai dengan peran dan tanggung jawabnya. Dalam konteks ini, istilah mesin tidak hanya merujuk pada perangkat fisik, tetapi juga mencakup sistem teknis dan aplikasi *real-time*, seperti sistem otomasi dan perangkat lunak pengendali. HMI berfungsi sebagai media yang menghubungkan pengguna dengan sistem kendali, seperti *Programmable Logic Controller* (PLC), untuk mendukung proses pemantauan, pengendalian, dan pengambilan keputusan secara efektif[20][19]. Fungsi utama HMI ditunjukkan pada Gambar 2-4.



GAMBAR 2 - 4 Fungsi Utama HMI[20]

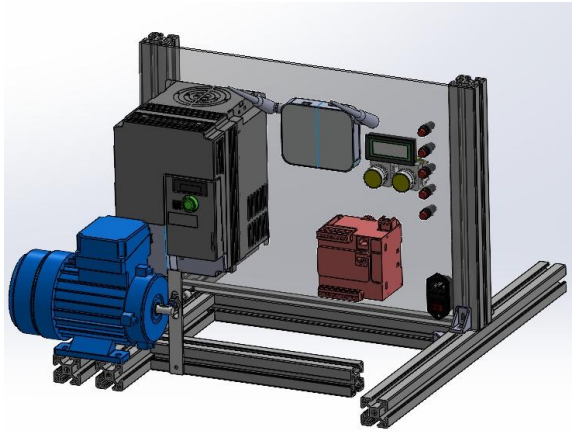
2.6 Rangkaian *Multi-Step* 3 Tahap

Rangkaian *multi-step* 3 tahap merupakan metode pengaturan kecepatan motor induksi dengan menyediakan tiga tingkat kecepatan operasi yang berbeda sesuai kebutuhan proses. Pengaturan ini umumnya dilakukan menggunakan Variable Frequency Drive (VFD) yang dikendalikan oleh Programmable Logic Controller (PLC), sehingga frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor dapat diubah secara bertahap. Metode multi-step 3 tahap memberikan fleksibilitas dalam pengoperasian, meningkatkan efisiensi energi, serta mengurangi lonjakan arus dan stres mekanis akibat perubahan kecepatan secara tiba-tiba, sehingga cocok diterapkan pada sistem otomasi industri yang memerlukan beberapa tingkat kecepatan kerja[21][22].

3. PERANCANGAN ALAT

3.1 PERANCANGAN PERANGKAT KERAS (*HARDWARE*)

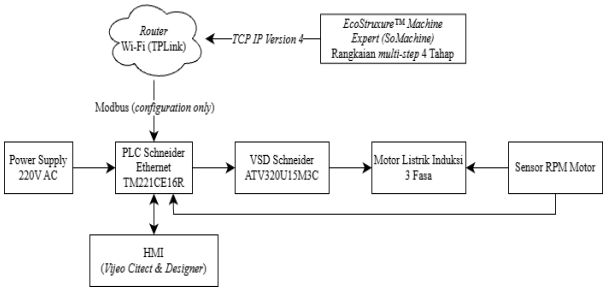
1. Desain 3D Alat



GAMBAR 3 - 1 Rancangan 3D Tampak Atas

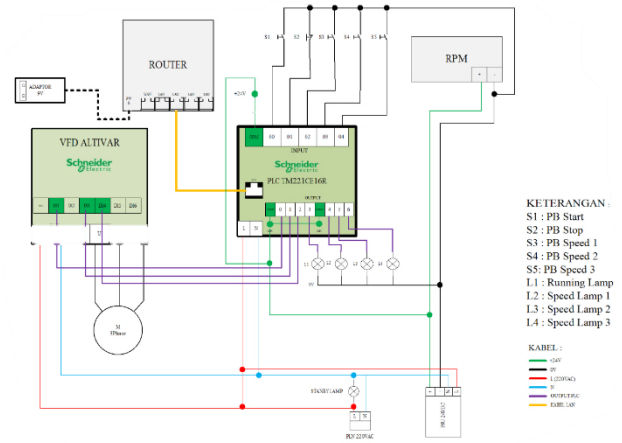
Gambar menunjukkan desain 3D alat yang dirancang sebagai gambaran tata letak komponen sebelum proses perakitan. Sistem terdiri dari motor induksi, *Variable Frequency Drive* (VFD), *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), serta tombol tekan dan indikator yang dipasang pada rangka papan. Penataan komponen dirancang untuk memudahkan proses pengkabelan, pengoperasian, dan pemeliharaan sehingga seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik sesuai rancangan sistem

2. Blok Diagram



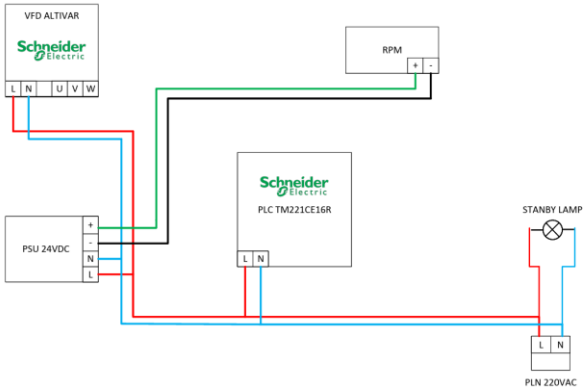
GAMBAR 3 – 2 Block Diagram Alat

3. *Wiring Diagram*

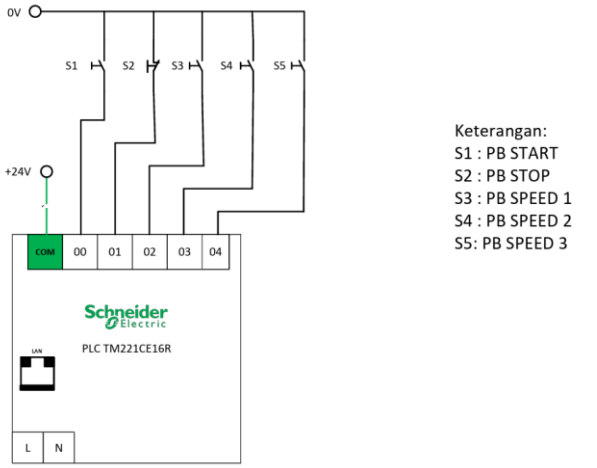


GAMBAR 3 - 3 *Wiring Diagram*

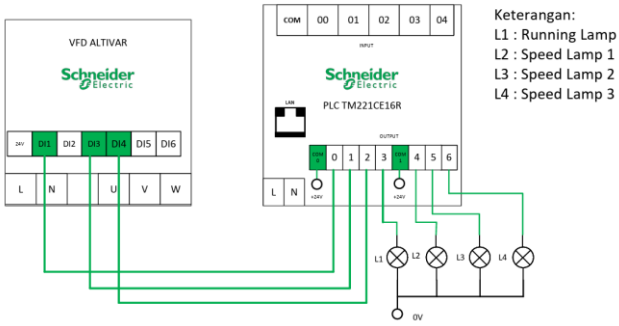
Wiring diagram menunjukkan hubungan kelistrikan antar komponen pada sistem pengendalian motor induksi tiga fasa. Gambar 3-3 memperlihatkan sistem catu daya 220 VAC dan 24 VDC, di mana tegangan 220 VAC digunakan untuk menyuplai VSD, motor, dan adaptor, sedangkan adaptor mengubah tegangan menjadi 24 VDC untuk PLC, sensor RPM, dan rangkaian kontrol. PLC menerima masukan dari tombol operasi dan menghasilkan sinyal kendali ke VSD serta lampu indikator, sehingga sistem pengendalian dan pemantauan motor dapat bekerja secara terintegrasi. Selanjutnya, untuk *wiring diagram* pada masing-masing komponen ditampilkan pada Gambar 3 – 4 hingga Gambar 3 – 8. Pada gambar tersebut terdiri dari rangkaian *overview power* 220V AC dan 24V DC, *Input* dan *Output* pada konfigurasi PLC, rangkaian koneksi sistem VSD dengan motor induksi 3 fasa, kemudian koneksi alat PLC dengan jaringan internet menggunakan *router* via TCP/IP. Keseluruhan sistem ini yang akan digunakan pada proses pembuatan alat.



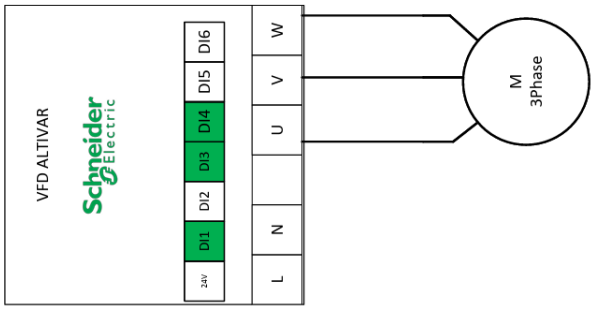
GAMBAR 3 – 4 ***Overview Power 220VAC dan 24 VDC***



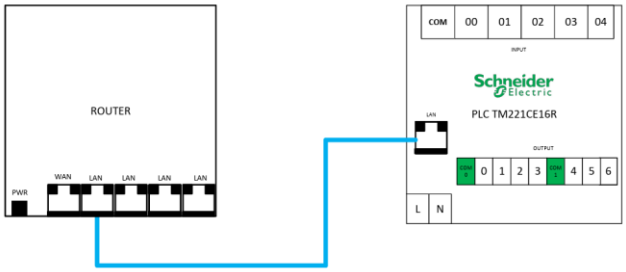
GAMBAR 3 – 5 ***Input Sistem PLC***



GAMBAR 3 – 6 ***Output Sistem PLC***

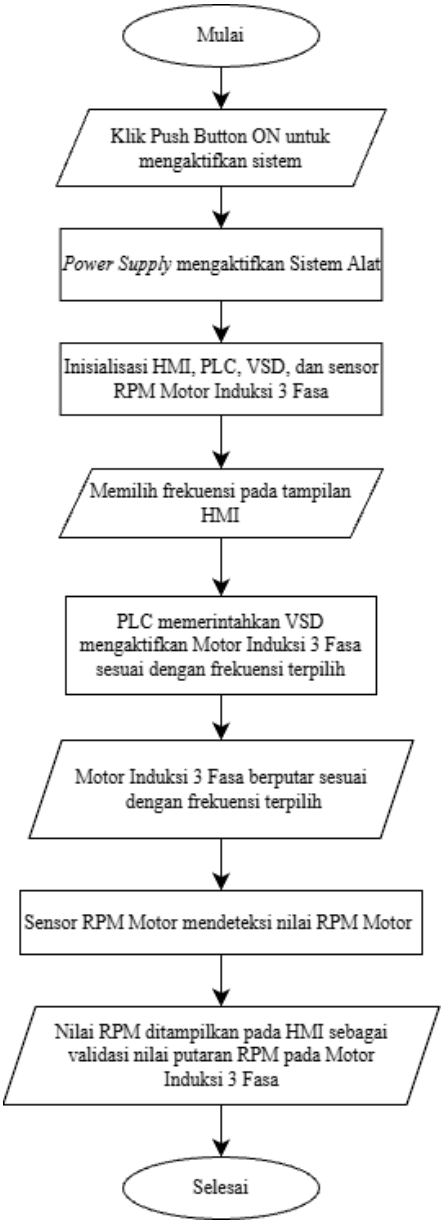


GAMBAR 3 – 7 ***Koneksi VSD dan Motor 3 Fasa***



GAMBAR 3 – 8 ***Koneksi PLC dan Router Via TCP/IP***

3.2 PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK (*SOFTWARE*)



GAMBAR 3 - 9 ***Flowchart*** **Alat**

Pada pembuatan alat tugas akhir memiliki cara kerja sistem (*flowchart) yang* ditampilkan pada Gambar 3 – 9 dengan menampilkan *flowchart*, alur kerja sistem pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan PLC, VSD, HMI, dan sensor RPM dengan rangkaian *multi-step* 3 tahap dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Proses diawali dengan kondisi mulai, dimana pengguna menekan *push button* ON mengaktifkan sistem. Setelah tombol ditekan, *power supply* akan memberikan suplai tegangan sehingga seluruh perangkat pada sistem dapat beroperasi.
2. Selanjutnya, sistem melakukan tahap inisialisasi terhadap komponen utama, yaitu HMI, PLC Schneider, VSD Schneider, serta sensor RPM motor induksi tiga fasa. Inisialisasi ini bertujuan untuk memastikan seluruh perangkat berada dalam kondisi siap sebelum motor dijalankan.
3. Setelah sistem aktif, pengguna dapat melakukan pemilihan nilai frekuensi yang tersedia pada tampilan HMI sesuai dengan mode *multi-step* yang telah dirancang. Frekuensi yang dipilih kemudian dikirimkan sebagai perintah kontrol kepada PLC.
4. PLC berperan sebagai pengendali utama yang memproses input dari HMI dan selanjutnya memberikan instruksi kepada VSD untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa pada frekuensi yang telah dipilih. VSD kemudian mengatur keluaran tegangan dan frekuensi sehingga motor dapat berputar sesuai *setpoint* yang ditentukan.
5. Motor induksi tiga fasa akan beroperasi dengan kecepatan yang sebanding dengan frekuensi keluaran VSD. Selama motor berputar, sensor RPM akan mendeteksi nilai putaran motor secara aktual.
6. Nilai RPM yang terukur kemudian ditampilkan pada HMI sebagai informasi kepada operator sekaligus sebagai validasi bahwa motor telah bekerja sesuai dengan frekuensi yang dipilih. Setelah seluruh proses berjalan sesuai perintah, sistem mencapai tahap selesai.

4. PEMBUATAN ALAT

Pada pembuatan alat dilakukan dengan memulai pembuatan desain pada papan, mencetak papan sesuai desain penempatan, pemasangan komponen, pengkabelan dan pengujian. Hasil rangkaian alat ditampilkan pada Gambar 4 – 1 .

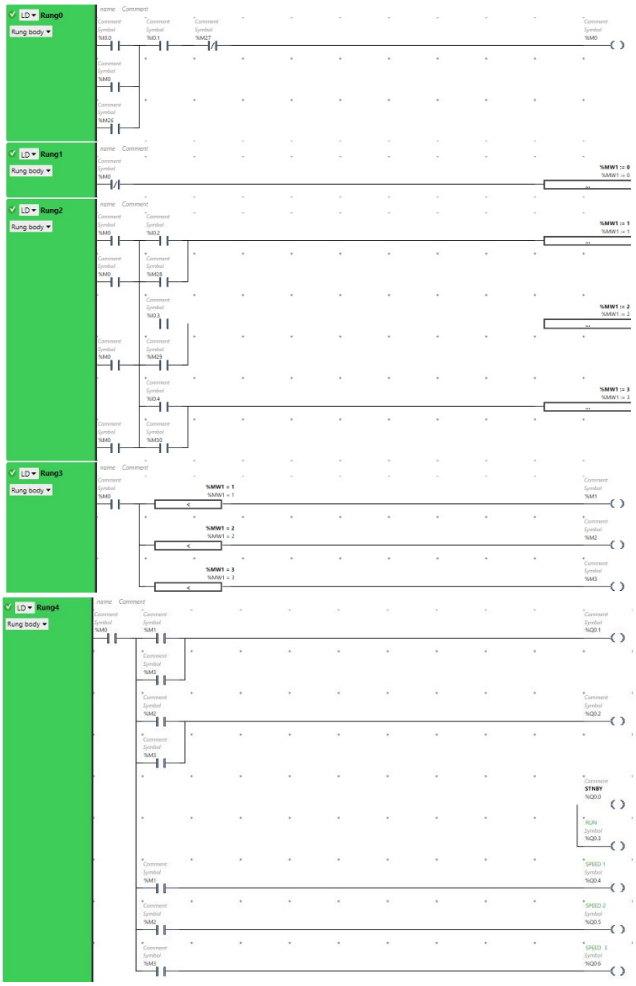


GAMBAR 4 - 1 Hasil Perakitan Alat



GAMBAR 4 - 2 Hasil Tampilan Alat

Setelah seluruh rangkaian sudah dibuat sesuai dengan rancangan, dilanjutkan dengan membuat *ladder diagram* yang akan digunakan pada sistem PLC untuk dapat bekerja sesuai tujuan. Adapun *ladder diagram* ditunjukkan pada Gambar 4-3.



GAMBAR 4 - 3 *Ladder Diagram* Alat

Program pengendali pada PLC TM221 divalidasi dan diunggah melalui antarmuka komunikasi LAN TCP/IP. Logika program disusun dalam beberapa *rung* yang saling terintegrasi untuk mengendalikan sistem. *Rung 0* berfungsi sebagai logika *start* dan *self-holding* untuk mempertahankan kondisi *running*, sedangkan *Rung 1* digunakan sebagai logika *reset* atau *stop* untuk menghentikan sistem. *Rung 2* berisi logika pemilihan tiga tingkat kecepatan (*Speed 1, Speed 2,* dan *Speed 3*) yang dilengkapi dengan metode *electrical interlocking* agar hanya satu kecepatan yang dapat aktif pada satu waktu. Selanjutnya, *Rung 3* membentuk logika *multi-step speed* yang menghasilkan sinyal kendali menuju VSD, dan *Rung 4* digunakan untuk mengaktifkan lampu indikator sebagai penanda kondisi operasi dan kecepatan motor yang sedang digunakan. Implementasi program dalam bentuk *ladder diagram* ditunjukkan pada Gambar 4 – 3.

5. PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 PENGUJIAN KECEPATAN MOTOR

Pengujian sensor RPM dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca kecepatan putar motor induksi tiga fasa yang dikendalikan oleh Variable Speed Drive (VSD). Nilai RPM yang terukur ditampilkan pada seven segment display dan dibandingkan dengan frekuensi keluaran VSD yang diberikan pada setiap kondisi pengoperasian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor RPM dapat mendeteksi perubahan kecepatan putaran motor sesuai dengan perubahan frekuensi yang diberikan oleh VSD. Hasil pengambilan data ditampilkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5 – 1 Pengujian Alat terhadap Kecepatan Putaran Motor

Pengambilan data ke-1		
Speed	**Frekuensi**	**Kecepatan Sinkron**
1	15 Hz	450 rpm
2	35 Hz	1044 rpm
3	50 Hz	1490 rpm
Pengambilan data ke-2		
Speed	**Frekuensi**	**Kecepatan Sinkron**
1	15 Hz	450 rpm
2	35 Hz	1044 rpm
3	50 Hz	1490 rpm
Pengambilan data ke-3		
Speed	**Frekuensi**	**Kecepatan Sinkron**
1	15 Hz	450 rpm
2	35 Hz	1044 rpm
3	50 Hz	1490 rpm

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 5.2, ditunjukkan bahwa hasil pembacaan putaran motor pada setiap pengambilan data memiliki nilai yang relatif konstan dan sesuai dengan frekuensi keluaran yang diberikan oleh VSD. Pada pengaturan Speed 1 dengan frekuensi 15 Hz, sensor RPM membaca kecepatan putar sebesar 450 rpm. Pada Speed 2 dengan frekuensi 35 Hz, diperoleh kecepatan putar sebesar 1044 rpm, sedangkan pada Speed 3 dengan frekuensi 50 Hz, kecepatan putar yang terbaca adalah 1490 rpm. Pada frekuensi 35 Hz, selisih kecepatan sebesar 6 rpm atau sekitar 0,57%, sedangkan pada frekuensi 50 Hz selisih yang terjadi sebesar 10 rpm atau sekitar 0,67%. Nilai slip tersebut masih berada dalam batas normal pengoperasian

motor induksi tiga fasa. Perhitungan *slip* dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Slip(\%) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

dengan:

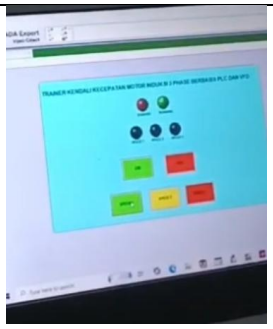
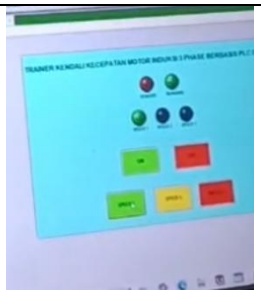
N_s= kecepatan sinkron motor (rpm)

N_r= kecepatan aktual rotor hasil pengukuran (rpm)

5.2 PENGUJIAN TAMPILAN ALAT

Dalam melakukan alat uji, diharapkan untuk Pengujian tampilan penggunaan alat dilakukan untuk menguji kinerja setiap indikator, tombol, dan tampilan berfungsi dengan baik sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan. Pengujian ini meliputi pengamatan terhadap status sistem, pemilihan kecepatan motor, serta tampilan informasi yang ditunjukkan alat.

Tabel 5 – 2 Pengujian Tampilan Alat

Kondisi *Standby*	
	
Kondisi Running (PLC Ready)	
	
Kondisi *Speed* 1 (15 Hz)	
	
Kondisi *Speed 2* (35 Hz)	
	
Kondisi *Speed 3* (50 Hz)	
	

Berdasarkan hasil pengkuran dan pengujian kecepatan putaran motor induksi 3 fasa, dengan koneksi HMI dan :LCD pada alat, didapatkan bahwa hasil alat tugas akhir dapat bekerja seesuai dengan tujuan yang direncanakan.

6. PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian alat pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis PLC TM221CE16R dengan antarmuka HMI dan VSD ATV320U15M3C menggunakan rangkaian multi-step 3 tahap, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan PLC Schneider TM221CE16R sebagai pengendali utama, VSD Schneider ATV320U15M3C sebagai pengatur frekuensi motor, sensor RPM sebagai pembaca kecepatan putar motor, serta HMI sebagai media kontrol dan monitoring sistem. Seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan.
2. Metode pengaturan kecepatan multi-step 3 tahap berhasil diimplementasikan pada sistem dengan tiga tingkat frekuensi, yaitu 15 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz. PLC mampu memberikan

perintah kepada VSD untuk mengubah frekuensi keluaran sesuai tahap kecepatan yang dipilih sehingga motor dapat beroperasi pada beberapa tingkat kecepatan sesuai kebutuhan proses.

3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan putar motor berbanding lurus dengan frekuensi keluaran VSD. Pada frekuensi 15 Hz diperoleh kecepatan sekitar 450 rpm, pada frekuensi 35 Hz diperoleh kecepatan sekitar 1044 rpm, dan pada frekuensi 50 Hz diperoleh kecepatan sekitar 1490 rpm. Pada frekuensi 35 Hz, selisih kecepatan sebesar 6 rpm atau sekitar 0,57%, sedangkan pada frekuensi 50 Hz selisih yang terjadi sebesar 10 rpm atau sekitar 0,67%. Nilai slip tersebut masih berada dalam batas normal pengoperasian motor induksi tiga fasa.
4. Sensor RPM mampu mendeteksi perubahan kecepatan putar motor dengan baik dan menampilkan hasil pengukuran secara real-time pada display maupun HMI sehingga memudahkan proses pemantauan kinerja sistem.
5. HMI berhasil berfungsi sebagai antarmuka antara operator dan sistem untuk melakukan pengoperasian, pemilihan tingkat kecepatan, serta monitoring kondisi kerja motor. Dengan adanya HMI, proses pengendalian sistem menjadi lebih mudah, efektif, dan informatif bagi pengguna.
6. Secara keseluruhan, alat yang dirancang telah mampu memenuhi tujuan penelitian sebagai sistem pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis PLC dan VSD yang bekerja secara stabil, mudah dioperasikan, serta sesuai untuk digunakan sebagai media pembelajaran dan implementasi sistem otomasi industri.

6.2 SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian alat yang telah dilakukan, sistem pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis PLC TM221CE16R, HMI, dan VSD ATV320U15M3C ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan fungsi dan performanya. Pengembangan dapat dilakukan dengan menambahkan metode pengaturan kecepatan yang lebih fleksibel, seperti pengaturan kecepatan secara kontinu sehingga pengguna dapat menentukan nilai kecepatan motor sesuai kebutuhan proses. Selain itu, penambahan fitur proteksi seperti overload, overcurrent, dan emergency stop dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem saat dioperasikan. Dengan adanya pengembangan tersebut, alat yang telah dibuat diharapkan dapat memberikan manfaat, baik sebagai media pembelajaran maupun sebagai referensi pengembangan sistem otomasi industri di masa mendatang.

REFERENSI

[1] and B. R. Rusdi, Gilang Arrachman, “Evaluasi Pengendalian Kecepatan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive ATV61 Terhadap Penghematan Energi Pada PLTGU Tanjung Batu,” *PoliGrid*, vol. 4, no. 2, pp. 68–74, 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i2.31.

[2] A. S. A. Aziz, A. Gulton, and G. Simamora, “Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunkan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta,” *J. Cahaya Mandalika*, vol. 4, no. 3, pp. 1934–1954, 2024, doi: https://doi.org/10.36312/jcm.v4i3.3313.

[3] A. Nadel, S. and Wang, W. and Liu, P. and McKane, “The China Motor Systems Energy Conservation Program: A Major National Initiative to Reduce Motor System Energy Use in China,” China, 2001. [Online]. Available: http://industrial-energy.lbl.gov

[4] R. Saidura, S. Mekhilef, M. B. Alia, Safari, and H. A. Mohammedc, “Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 543–550, 2012, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.020.

[5] I. Rifaldo and M. Yuhendri, “Sistem Monitoring Kecepatan Motor Induksi dengan HMI Berbasis PLC,” *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i2.264.

[6] N. Evalina and A. A. Zulfikar, “Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller,” *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.

[7] S. R. Venupriya, K. P. Thanusree, and P. Saranya, “A Novel Method of Induction Motor Speed Control Using PLC,” *Int. J. Res. Appl. Sci. \& Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 233–237, 2015.

[8] Firman, W. Handajadi, and S. Maulana, “Sistem Pengendalian Motor Induksi 3 Fase Berbasis Programmable Logic Control dan Variable Speed Drive Berpenampil Human Machine Interface,” *J. Elektr.*, vol. 8, no. 2, pp. 37–44, 2021.

[9] D. H. Simanjuntak and Risfendra, “Sistem

Monitoring pada Sorting Machine dengan HMI Berbasis PLC," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 65–70, 2020.

[10] A. Rizaldy, I. Nawawi, and H. T. Setiawan, "KENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE BERBASIS SOFT PLC."

[11] R. A. Rangkuti, A. Atmam, and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *J. Tek.*, vol. 14, no. 1, pp. 121–128, 2020, doi: 10.31849/teknik.v14i1.2295.

[12] Y. Badruzzaman, "Sistem Monitoring Kendali Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Variable Speed Drive Berbasis Plc Dan Scada," *Orbith*, vol. 11, no. 2, pp. 147–152, 2015.

[13] M. A. BURHANUDDIN, "SIMULASI PEMBUATAN MINIATUR LIFT 3 LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR LOAD CELL DAN INFRARED BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) SCHNEIDER TM221CE16R DAN HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)," UNDIP, 2018.

[14] T. Putra and M. Yuhendri, "Implementasi Hysterisis Current Control Pulse Width Modulation (HCCPWM) untuk Inverter 3 Fasa," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 91–97, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.127.

[15] R. Santhosh, M. V Siddharthan, Sailakshmi, and S. Yadav, "Protection and Control of 3 Phase Induction Motors in Industrial Plants with Smart Remote Monitoring and Control on a Centralized System," in *2022 6th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 2022, pp. 317–326.

[16] D. N. HUDA, "PENGUJIAN UNJUK KERJA VARIABEL SPEED DRIVE VF-S9 DENGAN BEBAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 1 HP," Politeknik Negeri Bandung, 2021.

[17] Z. Anthony, "Kajian Pengembangan Lilitan Motor Induksi 1-Fasa Dengan Bentuk Lilitan 4-Fasa (Studi Kasus: Daya Keluaran dan Faktor Daya)," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 2, pp. 95–100, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133713.

[18] G. Johanssen, *Human-Machine Interaction*. United Kingdom: EOLSS Publishers, 2003.

[19] Priswanto, T. Herdantyo, D. T. Nugroho, Y. Ramadhani, and A. Mubyarto, "DESAIN DAN SIMULASI SISTEM HMI (Human Machine Interface) BERBASIS CITECT SCADA PADA KONVEYOR PROSES DI INDUSTRI," *Semin. Nas. Edusainstek*, pp. 253–262, 2018.

[20] G. Johannsen, "Cooperative Human-Interfaces for Plant-wide Control Communication," *Annu. Rev. Control*, vol. 21, no. 1, pp. 159–170, 1996.

[21] G. D. Prenata and A. Prayoga, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Sistem Multispeed pada Konveyor Mesin Crusher," *J. Arus Elektro Indones.*, 2024, doi: 10.19184/jaei.v10i2.49848.

[22] GeeksforGeeks Contributors, "Speed Control of Three Phase Induction Motor," 2025.