

SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGUNAKAN VSD BERBASIS HMI PLC OMRON CP1E N40

Yonki Alexander Volta^{1*)}, Andri Suyadi¹, Anton Firmansyah¹ dan Imam Fadly²

¹Program Studi Teknik Rekayasa Instalasi Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

²Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

*Penulis korespondensi, E-mail: yonki.volta@gmail.com

Abstrak

Motor induksi tiga fasa merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi industri karena konstruksinya yang sederhana, daya tahan tinggi, dan biaya pemeliharaan yang rendah. Namun, pengendalian kecepatan motor ini masih menjadi tantangan, terutama pada kondisi beban variabel yang membutuhkan efisiensi dan fleksibilitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis *Variable Speed Drive* (VSD) yang dikendalikan oleh PLC Omron CP1E N40, dengan dukungan antarmuka *Human-Machine Interface* (HMI) sebagai media pemantauan dan pengaturan. Sistem dirancang untuk beroperasi dalam dua mode, yaitu manual dan otomatis, yang dikendalikan melalui komunikasi serial RS-485. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kecepatan motor dengan presisi, dengan rata-rata slip sebesar 4,88% pada mode manual dan 2,08% pada mode otomatis. Pengurangan slip ini menghasilkan peningkatan efisiensi energi sebesar $\pm 2,94\%$. Selain itu, kesesuaian antara nilai kecepatan hasil pengaturan dengan tampilan pembacaan pada HMI menunjukkan bahwa sistem bekerja secara stabil dan terintegrasi. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi praktis dan efisien untuk pengendalian kecepatan motor di industri skala kecil hingga menengah.

Kata kunci: motor induksi, Variable Speed Drive, PLC Omron CP1E, HMI, slip, efisiensi energi

Abstract

Three-phase induction motors are essential components in various industrial applications due to their simple construction, high durability, and low maintenance cost. However, speed control under variable load conditions remains a technical challenge, especially in systems that demand high efficiency and flexibility. This study aims to design and implement a speed control system for a three-phase induction motor using a Variable Speed Drive (VSD) controlled by an Omron CP1E N40 PLC, supported by a Human-Machine Interface (HMI) for monitoring and operation. The system operates in two modes—manual and automatic—configured via RS-485 serial communication between the PLC and HMI. Experimental results show that the system maintains motor speed with high precision, achieving average slip values of 4.88% in manual mode and 2.08% in automatic mode. This reduction in slip contributes to an energy efficiency improvement of approximately $\pm 2.94\%$. Moreover, the consistency between the speed setpoints and the HMI display confirms that the system operates in a stable and integrated manner. These findings indicate that the proposed system offers a practical and efficient solution for motor speed control in small- to medium-scale industrial applications.

Keywords: induction motor, Variable Speed Drive, Omron CP1E PLC, Human-Machine Interface, slip, energy efficiency

1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis aktuator listrik yang paling luas digunakan dalam aplikasi industri karena memiliki keandalan tinggi, efisiensi energi yang baik, serta konstruksi yang sederhana dan tahan lama. Menurut i[1]IEEE Standard 112, lebih dari 85% sistem penggerak di industri—termasuk pada aplikasi seperti pompa, conveyor, *blower*, dan kompresor—mengandalkan motor induksi tiga fasa sebagai sumber gerak utama [2].

Seiring berkembangnya teknologi industri menuju era Industri 4.0, dibutuhkan sistem kendali motor yang tidak

hanya efisien dan presisi, tetapi juga mampu terintegrasi dengan sistem otomatisasi secara cerdas[3]. Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian motor induksi adalah bagaimana mengatur kecepatannya secara fleksibel tanpa menimbulkan kerugian daya atau ketidakstabilan sistem. Untuk menjawab tantangan ini, *Variable Speed Drive* (VSD) digunakan sebagai perangkat pengatur frekuensi dan tegangan input motor, sehingga memungkinkan pengaturan kecepatan yang dinamis dan responsif [4]. VSD menjaga rasio tegangan terhadap frekuensi (V/f) tetap konstan untuk mempertahankan kestabilan fluks magnetik, serta mencegah kondisi over-excitation atau under-excitation [5], [6].

VSD generasi terbaru telah dilengkapi dengan fitur-fitur lanjutan, seperti kendali torsi, proteksi motor, serta kemampuan komunikasi dengan perangkat otomasi seperti *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *Human-Machine Interface* (HMI) [7], [8]. Integrasi ini menghasilkan sistem kendali yang cerdas dan terpusat, memungkinkan operator untuk memantau dan mengatur parameter motor secara real-time melalui antarmuka visual yang intuitif. Di lingkungan industri kecil dan menengah, khususnya di Indonesia, PLC Omron CP1E N40 menjadi salah satu pilihan populer karena mendukung komunikasi serial (RS-232/RS-485), pemrograman ladder diagram, serta kompatibilitas dengan HMI seri NB dari Omron [8].

Penerapan sistem berbasis VSD yang dikendalikan oleh PLC dan HMI memberikan banyak manfaat, antara lain peningkatan presisi kendali, efisiensi energi, kemudahan operasional, serta keselamatan kerja yang lebih baik melalui minimnya interaksi langsung operator dengan motor [9], [10]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa sistem VSD-PLC-HMI dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 15–25% pada aplikasi dengan beban variabel seperti pompa dan blower [11].

Meski demikian, beberapa penelitian terdahulu masih memiliki keterbatasan. [12] menggunakan PLC Omron CP1E untuk kontrol proporsional, namun belum mengintegrasikan sistem secara penuh dengan HMI. Penelitian oleh [4] menggabungkan PLC dan VSD dengan sistem SCADA, tetapi fokus utamanya pada pemantauan, bukan analisis performa kecepatan motor. Penelitian lain oleh [8] memanfaatkan simulasi PLC dan HMI dalam sistem pergudangan otomatis, namun tidak membahas kendali kecepatan motor induksi secara langsung. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan penelitian yang tidak hanya merancang integrasi sistem, tetapi juga mengujinya secara eksperimental..

Keterbaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa yang menggabungkan dua mode operasi—manual dan otomatis—secara simultan, dengan integrasi penuh antara VSD, PLC Omron CP1E N40, dan HMI melalui komunikasi RS-485. Sistem ini mampu mengatur kecepatan motor secara presisi dengan rata-rata selisih slip sebesar 2,8% antara kedua mode, serta memungkinkan pemantauan parameter secara real-time. Selain itu, pendekatan ini menawarkan solusi modular dan dapat direplikasi untuk aplikasi industri berskala kecil hingga menengah.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi gap tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis VSD yang dikendalikan oleh PLC dan HMI. Fokus utama penelitian meliputi integrasi sistem kendali, analisis performa kecepatan terhadap variasi sinyal masukan, serta evaluasi efektivitas

pemantauan dan kemudahan pengoperasian melalui antarmuka HMI. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan sistem yang efisien, responsif, dan mudah dioperasikan untuk mendukung kebutuhan industri modern.

2. Metode

2.1. Tahapan Penelitian

Tahap penelitian yang dilakukan diuraikan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Tahapan ini merupakan langkah awal di mana peneliti menelusuri dan mengkaji berbagai referensi dari penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan topik yang akan diteliti. Tujuannya adalah untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai teori-teori yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian.

2. Perancangan awal

Pada tahap ini, peneliti menyusun rancangan awal yang mencakup desain perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Kedua komponen ini kemudian dikombinasikan sebagai dasar sebelum masuk ke proses implementasi. Prototipe sistem dikembangkan berdasarkan hasil desain yang telah disusun sebelumnya.

3. Pengujian alat

Pengujian dilakukan sebagai tahap akhir dalam proses perancangan dan pembangunan prototipe. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi keterpaduan antara *hardware* dan *software*, serta mengamati respons sistem terhadap instruksi yang diprogram [13].

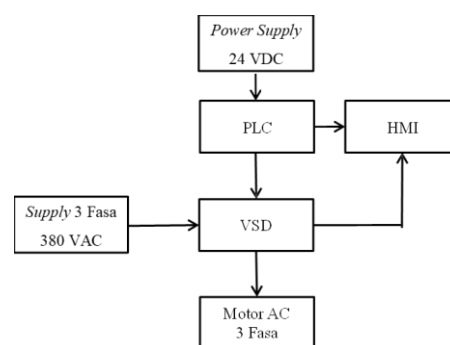
4. Analisa data

Tahapan ini melibatkan proses pengumpulan dan pengolahan data yang diperoleh dari performa sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan VSD berbasis HMI PLC Omron.

5. Kesimpulan

Kesimpulan berisi rangkuman hasil penelitian yang diperoleh dari analisis data pada saat dilakukan pengujian terhadap sistem kendali.

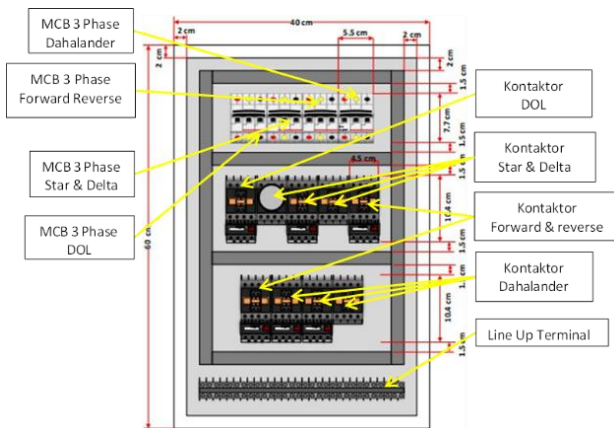
2.2. Perancangan Sistem Kendali



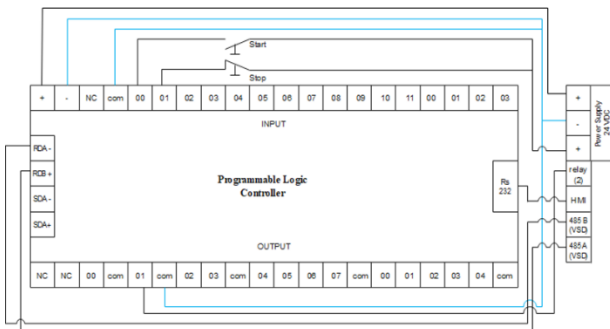
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Perancangan dimulai dengan membuat diagram blok sistem yang bertujuan untuk menggambarkan sistem kontrol dan pemantauan kecepatan motor AC 3 fasa secara software dimana sistem kontrol dan pemantauan motor AC 3 fasa ini terdiri dari PLC, HMI, dan VSD.

Selanjutnya dibuat rancangan untuk panel kontrol serta wiring diagram untuk Daya, PL, HMI dan VSD.



Gambar 2. Desain Panel Kontrol



Gambar 3. Wiring Diagram PLC

Pada sistem kendali ini menggunakan VSD sebagai pengontrol kecepatan pada motor secara manual menggunakan potensiometer, dimana potensiometer tersebut mengatur besaran frekuensi yang akan digunakan untuk mengatur kecepatan motor. Sistem ini bekerja dengan dua cara yaitu manual dan otomatis, pada cara manual motor dikendalikan langsung pada VSD dengan menggunakan potensiometer analog sedangkan cara otomatis menggunakan Interface dari HMI yang sudah diprogram dan disesuaikan alamatnya, kemudian interface memberi perintah kepada PLC yang kemudian membaca dan memproses perintah tersebut. Setelah diproses oleh PLC perintah tersebut dikirim ke VSD yang akan mengatur kecepatan motor tersebut. Tabel 1 menunjukkan alat dan bahan yang digunakan dalam pembuat sistem kendali motor 3 fasa ini.

Table 1. Alat dan Bahan yang digunakan

Alat dan Bahan	Spesifikasi
Mesin Motor AC 3 Fasa	(Y / Δ) 220/380 2,7 A
PLC Omron	CP1E N40
Variable Speed Drive	Sinovo 3 Phase - 3 Phase
MCB 1 Fasa	4 A
MCB 3 Fasa	10 A
Kontaktor	220 V
Thermal Overload Relay	2,6 A
Relay	MK2P 24 VDC
Pilot Lamp	Schneider
Push Button	Schneider
Selector Button	1-0-1
Emergency Button	No - Nc

2.3. Pembuatan dan Pengujian Prototipe

Setelah proses rancangan, alat yang sudah siap dioperasikan kemudian akan dilakukan uji layak atau *running test* agar alat rancang bangun ini layak untuk pengambilan data. Dilakukan kembali pengecekan dan pengencangan scrub pada alat-alat yang ada didalam panel serta memastikan kembali ladder PLC sesuai dengan rangkaian yang akan digunakan. Setelah semua dilakukan pengecekan, maka diketahui bahwa alat telah selesai uji dan sudah bisa dioperasikan, serta sudah bisa melakukan pengambilan data yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan sistem manual dan otomatis.



Gambar 4. Prototipe Sistem Kendali Motor 3 Fasa

Berikut adalah prosedur pengujian kontrol kecepatan motor secara manual menggunakan potensiometer pada keypad VSD.

1. Setting Function Code pada keypad VSD pada parameter F01.00>1 (Keypad Parameter Setting) kemudian tekan Enter.
2. Sebelum rangkaian kontrol dinyalakan pastikan potensiometer pada posisi paling rendah yaitu 0 Frekuensi kemudian tekan RUN pada keypad VSD
3. Kemudian start rangkaian DOL dengan menekan push button on DOL.
4. Kemudian naikan potensiometer VSD secara bertahap per 5 frekuensi sampai nilai frekuensi maksimal yaitu 50 Hz.
5. Selanjutnya catat data-data per 5 frekuensi, data-data yang diambil antara lain Tegangan, Arus, Daya, dan RPM motor.

Berikut prosedur pengujian kontrol kecepatan motor secara otomatis menggunakan Interface HMI.

1. Setting Function Code pada keypad VSD pada parameter F01.00>6 (Multi-step freq running setting) kemudian tekan enter.
2. Sebelum rangkaian kontrol dinyalakan pastikan nilai Frekuensi pada display HMI pada nilai paling rendah yaitu 00.00, parameter frekuensi pada HMI menggunakan bilangan desimal. Kemudian tekan RUN pada keypad VSD.
3. Kemudian start rangkaian DOL dengan menekan interface push button pada HMI.
4. Kemudian naikan nilai parameter interface per 5 frekuensi.
5. Selanjutnya catat data-data per 5 frekuensi, data-data yang diambil antara lain Tegangan, Arus, Daya, dan RPM motor.

Untuk memastikan keakuratan data pengukuran, dilakukan proses validasi awal terhadap seluruh instrumen yang digunakan. Pengukuran kecepatan putar motor dilakukan melalui panel monitoring bawaan VSD yang telah dikalibrasi oleh pabrikan, dan diverifikasi secara acak menggunakan tachometer digital eksternal sebagai pembanding. Hasil pembacaan dari kedua instrumen menunjukkan konsistensi yang baik dan berada dalam batas toleransi pengukuran standar alat ukur digital di lingkungan industri.



Gambar 5. *Setting manual pada VSD*



Gambar 6. *Setting* otomatis pada HMI

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Uji Koneksi Sistem

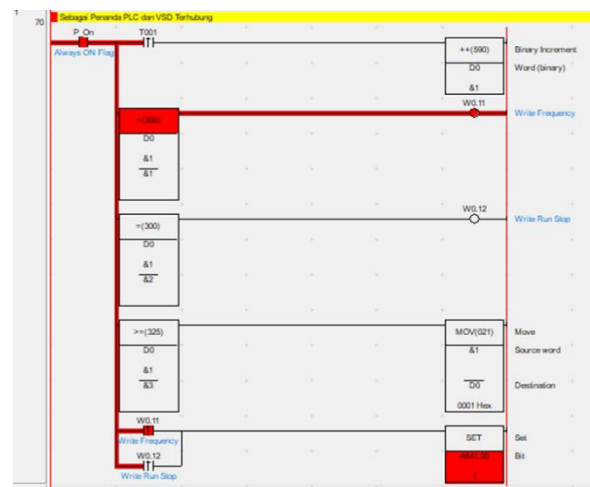
Setelah seluruh komponen pada prototipe terhubung, dilakukan uji koneksi untuk memastikan bahwa motor induksi, VSD, PLC, dan HMI telah saling terintegrasi dalam satu sistem kendali[5]. Pengujian diawali dengan implementasi Ladder Diagram kontrol *Direct On Line* (DOL) pada PLC, yang dikendalikan melalui HMI.



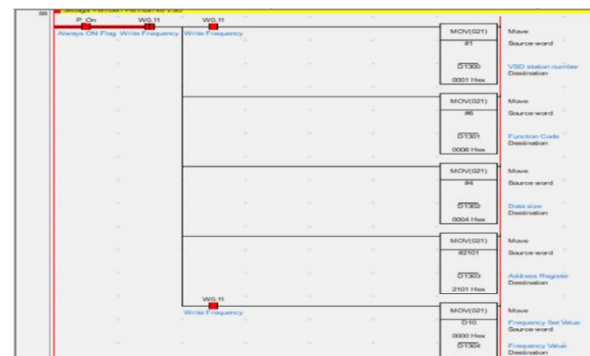
Gambar 7. Ladder Diagram Kontrol DOL melalui HMI

Pada gambar 7, alamat W0.00 digunakan untuk tombol start, sedangkan W0.01 digunakan untuk tombol stop yang dioperasikan dari antarmuka HMI.

Langkah selanjutnya adalah memverifikasi koneksi antara PLC dan HMI menggunakan indikator pulsa RS-485.



Gambar 8. Indikator penghubung PLC dan HMI

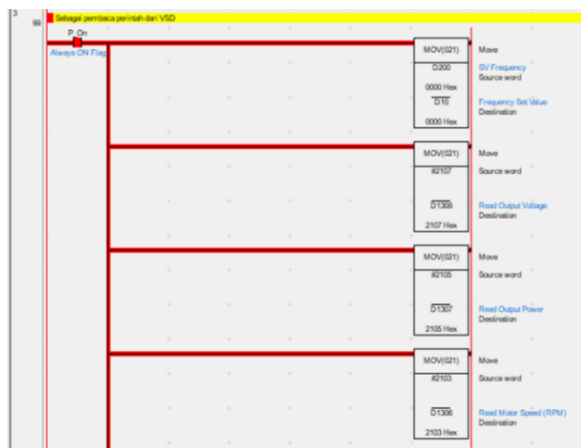


Gambar 9. Ladder pemberi dan penerima perintah VSD

Pada gambar 8 Alamat W0.12 digunakan sebagai penanda konektivitas antar perangkat; ketika indikator komunikasi berkedip cepat, hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antar PLC dan VSD berlangsung normal.

Setelah dipastikan PLC dan HMI sudah terhubung, selanjutnya dimulai uji koneksi pada Ladder pemberi dan penerima perintah dari VSD yang nantinya akan diproses di PLC.

Pada gambar 9 digunakan sebagai pembaca perintah VSD dan juga sekaligus sebagai pemberi perintah frekuensi yang diinput dari PLC ke VSD. Yang dimana alamat D1300 sebagai VSD Station Number atau alamat untuk menerima perintah VSD, alamat D1301 sebagai Function code sebagai pemberi perintah ke VSD, alamat D1302 sebagai ukuran data atau perintah yang akan ditransfer ke VSD, D1303 sebagai daftar alamat yang akan diberikan ke VSD, dan D1304 sebagai pemberi perintah frekuensi yang akan digunakan ke VSD.



Gambar 10. Ladder pembaca perintah VSD

Data yang sedang bekerja pada VSD kemudian harus dibaca dan diproses pada PLC sehingga koneksi pada ladder pemnava perintah dari VSD juga harus dilakukan pengecekan. Pada gambar 7 ladder diagram tersebut digunakan sebagai pembaca data pada vsd yang sedang bekerja, yang kemudian data tersebut akan diproses oleh PLC alamat D200 digunakan sebagai set value frekuensi VSD, alamat D1306 sebagai pembaca tegangan output VSD, alamat D1307 sebagai pembaca daya output VSD, alamat D1308 sebagai pembaca RPM pada motor listrik.

Input yang dimasukan pada interface HMI adalah nilai frekuensi dalam bentuk desimal. Gambar 11 merupakan ladder diagram yang digunakan untuk mensetting nilai frekuensi sesuai kebutuhan dan alamat D200 juga digunakan sebagai alamat untuk interface pada HMI agar bisa mengontrol frekuensi melalui HMI.



Gambar 11. Ladder Setting Frekuensi VSD

3.2. Hasil Pengukuran

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa kecepatan motor meningkat secara linier terhadap kenaikan frekuensi input. Tabel 1 menyajikan data hasil pengukuran kecepatan putar motor pada masing-masing mode:

Table 1. Hasil pengukuran kecepatan (rpm)

Frekuensi (Hz)	Kecepatan (rpm)		
	ns*	Manual	Otomatis
5	150	142	147
10	300	284	291
15	450	428	455
20	600	571	591
25	750	715	717
30	900	857	899
35	1050	999	1017
40	1200	1143	1187
45	1350	1286	1322
50	1500	1430	1435

Pada data diatas, nilai ns (kecepatan sinkron) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

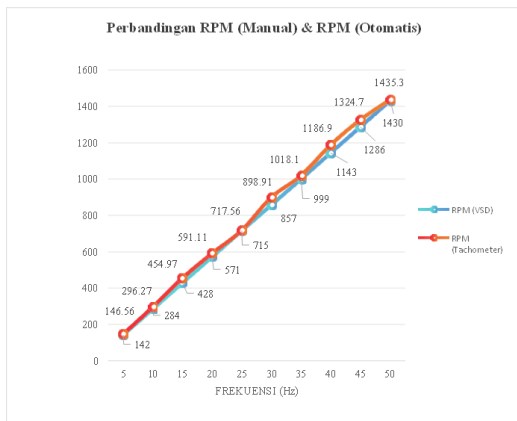
$$ns = 120 \times \frac{F}{P} \quad (1)$$

F : Jumlah kutub motor
P : Frekuensi

$$\begin{aligned} \text{Nilai ns pada 5 Hz} \\ ns &= 120 \times \frac{5}{4} \\ &= 150 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

Pengukuran dilakukan pada mode manual dan otomatis untuk mengetahui tingkat akurasi dari sistem kendali. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai pembacaan seperti gambar berikut.

Gambar 12 menunjukkan hubungan antara frekuensi input (Hz) terhadap kecepatan putaran motor (RPM) yang diukur melalui dua sistem, yaitu manual (VSD) dan otomatis (HMI). Pengujian dilakukan dengan variasi frekuensi dari 5 Hz hingga 50 Hz. Berdasarkan hasil pengamatan, terlihat bahwa nilai RPM meningkat secara linear seiring dengan meningkatnya frekuensi masukan.



Gambar 12. Grafik perbandingan kecepatan pada mode manual dan otomatis

Perbandingan antara nilai RPM yang ditampilkan oleh manual dan otomatis menunjukkan kesesuaian yang sangat baik, dengan selisih rata-rata yang kecil dan stabil di hampir semua titik pengukuran. Sebagai contoh, pada frekuensi 25 Hz, kecepatan yang tercatat oleh VSD adalah 717.56 rpm, sedangkan pada HMI tercatat 715 rpm. Selisih ini berada dalam batas toleransi pengukuran sistem kendali industri. Fenomena ini mengindikasikan bahwa sistem kontrol kecepatan berbasis VSD mampu mengatur kecepatan motor secara presisi dan responsif terhadap perubahan frekuensi, yang kemudian berhasil dimonitor secara akurat oleh antarmuka HMI.

Berdasarkan hasil pengukuran kecepatan motor, nilai slip dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \quad (2)$$

S = Slip

ns = kecepatan sinkron (rpm)

nr = kecepatan rotor (rpm)

Setelah menghitung slip berdasarkan hasil pengukuran kecepatan motor pada berbagai nilai frekuensi input, diperoleh data slip baik pada mode manual maupun otomatis. Data ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai performa sistem dalam menjaga kecepatan motor mendekati kecepatan sinkron. Rincian hasil perhitungan slip disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai Slip

Frekuensi	Slip (%)	
	Manual	Otomatis
5	5.33	2.29
10	5.33	2.91
15	4.89	-1.10
20	4.83	1.48
25	4.67	4.46
30	4.78	0.12
35	4.86	3.13
40	4.75	1.09
45	4.74	2.10
50	4.67	4.31
Rata-rata	4.88	2.08

Dari tabel 2, rata-rata slip pada mode manual tercatat sebesar 4,88%, sedangkan pada mode otomatis hanya 2,08%. Penurunan slip sebesar 2,8% ini mencerminkan kinerja sistem kendali otomatis yang lebih stabil dan presisi dalam menjaga kecepatan rotor mendekati kecepatan sinkron. Pengurangan nilai slip pada motor induksi secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi. Menurut [2], rugi-rugi daya pada rotor motor induksi berkaitan erat dengan besarnya slip. Makin tinggi slip, maka makin besar rugi-rugi tembaga. Karena rugi-rugi ini bersifat proporsional terhadap slip, maka pengurangan slip akan secara langsung mengurangi energi yang hilang sebagai panas di rotor dan meningkatkan efisiensi total sistem. Efisiensi motor (η) dapat dihitung dengan:

$$\eta \approx 1 - S \quad (3)$$

Dalam penelitian ini, rata-rata slip pada mode manual sebesar 4,88% dan pada mode otomatis sebesar 2,08%. Dengan menerapkan pendekatan di atas, efisiensi masing-masing mode dapat dihitung sebagai berikut:

Manual:

$$\eta_{\text{manual}} \approx 1 - 0,0488 = 0,9512 \text{ atau } 95,12\%$$

Otomatis:

$$\eta_{\text{otomatis}} \approx 1 - 0,0208 = 0,9792 \text{ atau } 97,92\%$$

Dengan demikian, sistem kendali motor tiga fasa berbasis PLC mampu meningkatkan efisiensi energi sebesar:

$$\Delta\eta = \eta_{\text{otomatis}} - \eta_{\text{manual}} = 2,80\%$$

Peningkatan ini sangat signifikan dalam konteks operasional jangka panjang, terutama pada sistem dengan karakteristik beban variabel seperti pompa dan *blower*, di mana efisiensi menjadi faktor utama dalam penghematan energi listrik.

Adapun variasi kecil pada kecepatan antara mode manual dan otomatis dapat disebabkan oleh beberapa faktor teknis. Salah satunya adalah resolusi pembacaan analog potensiometer pada mode manual yang umumnya lebih terbatas dibanding sistem digital otomatis. Selain itu, latensi komunikasi antar perangkat seperti HMI dan PLC melalui protokol serial dapat menimbulkan keterlambatan kecil dalam respon kontrol. Faktor lain yang mungkin berkontribusi adalah perbedaan skala pengaturan dan presisi parameter frekuensi antara input manual langsung ke VSD dan input melalui antarmuka HMI yang diproses terlebih dahulu oleh PLC. Namun, perbedaan ini masih berada dalam toleransi sistem industri dan tidak memengaruhi keandalan sistem secara signifikan [14].

Hasil ini juga diperkuat oleh temuan studi [15], yang menyatakan bahwa integrasi HMI dalam sistem kontrol berbasis PLC dapat meningkatkan akurasi pemantauan dan mengurangi kesalahan pembacaan parameter kecepatan. Dalam pengujian ini, kesesuaian antara nilai RPM hasil pengaturan melalui VSD dan pembacaan melalui HMI

menunjukkan bahwa sistem kendali telah bekerja secara terintegrasi dan akurat. Dengan kestabilan nilai RPM dan minimnya deviasi antar mode, sistem ini terbukti layak diterapkan pada aplikasi industri yang memerlukan pengendalian kecepatan motor secara presisi dan real-time.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis *Variable Speed Drive* (VSD), yang dikendalikan oleh PLC Omron CP1E N40 dan dimonitor melalui *Human-Machine Interface* (HMI). Sistem ini mampu beroperasi secara presisi dalam dua mode, yaitu manual dan otomatis, dengan rata-rata nilai slip masing-masing sebesar 4,88% dan 2,08%. Penurunan slip sebesar 2,8% berdampak langsung terhadap peningkatan efisiensi energi hingga $\pm 2,94\%$, yang menunjukkan bahwa sistem kendali ini tidak hanya stabil, tetapi juga hemat energi.

Keakuratan antara nilai pengaturan dan pembacaan RPM melalui antarmuka HMI menunjukkan bahwa sistem bekerja secara terintegrasi dan responsif. Dengan desain modular dan fleksibel, sistem ini terbukti layak untuk diterapkan pada aplikasi industri berskala kecil hingga menengah yang membutuhkan kendali kecepatan motor secara efisien dan real-time.

Sebagai pengembangan lanjutan, sistem ini dapat ditingkatkan dengan integrasi *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan jarak jauh, penambahan sistem proteksi otomatis terhadap kesalahan operasi, serta penerapan metode kontrol berbasis *logika fuzzy* atau PID adaptif untuk peningkatan akurasi kendali.

Referensi

- [1]. "IEEE Standard Test Procedure For Polyphase Induction Motors And Generators," *IEEE Std 112-2017 (Revision Of IEEE Std 112-2004)*, Pp. 1–115, 2018, Doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8291810.
- [2]. N. Mohan, T. M. Undeland, And W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, And Design*, 3rd Ed. John Wiley & Sons, 2012.
- [3]. F. Hanifah And M. Yuhendri, "Kontrol Dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis Internet Of Thing," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, Vol. 4, No. 2, Aug. 2023, Doi: 10.24036/jtein.V4i2.456.
- [4]. M. Alghiffari Azzuhri *Et Al.*, "Penerapan PLC Dan VSD Untuk Mengontrol Kecepatan Motor Induksi Dengan Pemantauan SCADA," 2024.
- [5]. A. A., "Kendali Motor Induksi Menggunakan Variable Speed Drive," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, Vol. 8, Pp. 1–6, Jun. 2023, Doi: 10.52447/Jkte.V8i1.6567.
- [6]. G. Suki, "Analisa Perubahan Frekuensi Motor Induksi Tiga Fasa Metode V/F Dengan Pengaturan Variable Speed Drive," Vol. 35, No. 1, Doi: 10.37277/Stch.V35i1.233.
- [7]. M. Yusuf And A. Rohman, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan PLC Omron CP1E Dengan Kontrol Proporsional," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, And Power Engineering)*, Vol. 7, No. 2, Pp. 92–98, Oct. 2020, Doi: 10.33019/Jurnalecotipe.V7i2.1465.
- [8]. M. B. Sulthony *Et Al.*, "Implementasi Pemrograman PLC Dan HMI Terintegrasi Factory IO Pada Sistem Automated Storage Warehouse," 2024.
- [9]. J. Prasetyo And S. Heru Purwanto, "Pengaplikasian Variable Speed Drive Untuk Mengontrol Kecepatan Main Motor Drive Dc Pada Rotari Kiln Pada Pt Semen Baturaja (PERSERO). Tbk."
- [10]. Muhammad Iqbal Naufal And Irwanto Irwanto, "Motor Listrik 3 Fasa Sebagai Sistem Penggerak Motor Roll Pada Mesin Case Sealer Di Pt. Matahari Megah," *Jurnal Sains Dan Teknologi*, Vol. 2, No. 1, Pp. 32–45, Jun. 2023, Doi: 10.58169/Saintek.V2i1.132.
- [11]. B. Setio Utomo And U. Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari Banjarmasin, "Efisiensi Energi Listrik Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada Motor Induksi 3 Fasa," Vol. 5, No. 2, 2022, [Online]. Available: <https://Ojs.Uniska-Bjm.Ac.Id/Index.Php/Eeict>
- [12]. M. Yusuf And A. Rohman, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan PLC Omron CP1E Dengan Kontrol Proporsional," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, And Power Engineering)*, Vol. 7, No. 2, Pp. 92–98, Oct. 2020, Doi: 10.33019/Jurnalecotipe.V7i2.1465.
- [13]. T. U. Syamsuri, H. Mukti, And R. Duanaputri, "Analisis Penggunaan Variable Speed Drive (VSD) Pada Motor Kompresor," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, Vol. 8, No. 3.
- [14]. T. Herdantyo *Et Al.*, *Seminar Nasional Edusainstek Desain Dan Simulasi Sistem Hmi (Human Machine Interface) Berbasis Citect Scada Pada Konveyor Proses Di Industri*. 2018.
- [15]. D. H. Prastiko And A. Supardi, "Pengendali Dan Monitoring Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Programmable Logic Controller Dan Expansion Dengan Human Machine Interface," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 22, No. 2, Pp. 168–176, Aug. 2022, Doi: 10.23917/Emitor.V22i2.19110.