

KINERJA MODUL LATIH SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS PLC HMI SCADA

**Angga Sulthoni¹, Muhammad Faqihuddin², Ni Cening Nicky Prasada Gayatri³, Kusnadi⁴,
Anicetus Damar Aji⁵**

Prodi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. GA Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

e-mail: 1angga.sulthoni.te18@mhs.wpnj.ac.id, 2muhammad.faqihuddin.te18@mhs.wpnj.ac.id, 3ni.ceningnickyprasadagayatri.te18@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

The induction motor control system is a system on the control component that can control the motor speed stably automatically so as to increase the efficiency of time, effort and cost. This system uses Programmable Logic Controllers (PLC) which have been programmed through EcoStruxure Machine Expert Basic software with ladder diagram programming language to make operations, comparisons and functions of Proportional Integral Derivatives (PID). This control system also uses an additional device, namely Variable Speed Drives (VSD). Voltage injector as a simulator provides a feedback signal to the PID so that the output characteristics of this control system will always pursue the given set point value. The use of HMI and SCADA needs to be integrated with PLC so that the entire work process of this system can be monitored. This can be proven by a series of tests that have been carried out, namely testing the work of the whole system and testing the suitability of the actual value. In testing the overall system work, every device used is integrated. In testing the suitability of the actual values of voltage and current, the average error is 3.17% and 1.88%, respectively.

Keywords: Automatic, Induction Motor, HMI, SCADA, PLC

ABSTRAK

Sistem kendali motor induksi adalah sebuah sistem pada komponen kontrol yang dapat mengendalikan kecepatan motor dengan stabil secara otomatis sehingga meningkatkan efisiensi waktu, tenaga dan biaya. Sistem ini menggunakan Programmable Logic Controllers (PLC) yang telah diprogram melalui software EcoStruxure Machine Expert Basic dengan bahasa pemrograman ladder diagram untuk membuat operasi, komparasi dan fungsi Proportional Integral Derivatives (PID). Sistem kendali ini juga menggunakan perangkat tambahan yaitu Variable Speed Drives (VSD). Voltage injector sebagai simulator memberikan sinyal feedback terhadap PID sehingga karakteristik output dari sistem kendali ini akan selalu mengejar nilai set point yang diberikan. Penggunaan HMI dan SCADA perlu diintegrasikan dengan PLC sehingga proses kerja keseluruhan sistem ini dapat dimonitoring. Hal ini dapat dibuktikan dengan serangkaian pengujian yang telah dilakukan yaitu pengujian kerja sistem keseluruhan dan pengujian kesesuaian nilai aktual. Pada pengujian kerja sistem keseluruhan, setiap perangkat yang digunakan sudah terintegrasi. Pada pengujian kesesuaian nilai aktual tegangan dan arus memiliki rata-rata error masing-masing sebesar 3.17% dan 1.88%.

Kata kunci: HMI, Motor Induksi, Otomatis, PLC, SCADA

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan suatu alat yang tak pernah luput di dalam dunia industri baik

industri berskala kecil maupun berskala besar. Motor induksi dapat diaplikasikan dengan berbagai metode salah satunya dengan cara diotomasi sebagai bentuk upaya dalam

Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi....

peningkatan mutu produk, efisiensi biaya dan waktu guna memenuhi kebutuhan hidup manusia yang kian meningkat [1].

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah modul latih sistem kendali kecepatan motor yang menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC). PLC digunakan untuk mengontrol sebuah motor induksi 3 fasa yang diatur oleh *Variable Speed Drive* (VSD) yang menggunakan prinsip *closed loop system*.

Prinsip *closed loop system* dapat diaplikasikan dengan menggunakan PLC (*Programmable Logic Controllers*) yang memiliki fitur *built in PID (Proportional Integral Derivative)* sebagai kontroler utama untuk memproses data dari *voltage injector* sebagai sinyal pengumpan[2].

PLC bekerja dengan cara menerima sinyal masukan yang bersifat logika dan disimpan kedalam memori PLC. Setelah itu sinyal masukan (Input) yang diterimanya akan diproses sehingga menghasilkan sinyal keluaran (*Output*) yang diteruskan ke peralatan-peralatan output yang dapat berupa lampu tanda, *buzzer*, motor listrik, atau peralatan lain yang dapat digerakkan oleh sinyal *output* dari PLC [3].

Inverter atau biasa disebut *Variable Speed Drive* atau *Variable Frequency Drive* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai tegangan atau frekuensi yang masuk ke motor dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur sesuai dengan kebutuhan [4].

Inverter akan mengatur frekuensi pada motor induksi dengan acuan rumus berikut.

$$N = \frac{120 \times \text{Motor Frequency}}{\text{Number of Poles}} \quad (1)$$

Namun dikarenakan motor asinkron maka terdapat perbedaan antara kecepatan medan putar dan kecepatan rotor tersebut atau yang disebut juga dengan istilah slip. Berikut di bawah ini menampilkan rumus slip pada motor.

$$\text{slip} = \frac{\text{Synchronous speed in kW} - \text{Rotor speed in kW}}{\text{Synchronous speed in kW}} \times 100\% \quad (2)$$

Selain itu, diperhatikan juga pengaruh frekuensi terhadap parameter arus dengan acuan rumus berikut.

$$I = \frac{V}{XL} = \frac{V}{2\pi fL} \quad (3)$$

Keterangan

I	=	Arus	(A)
V	=	Tegangan	(V)
X _L	=	Reaktansi induktif	(Ω)
π	=	Pi	(3.14)
f	=	Frekuensi	(Hz)
L	=	Induktansi	(H)

Dikarenakan pada pengaturan VSD menggunakan skalar kontrol, maka rasio V/F konstan. Oleh karena itu, rasio tersebut diuji setiap perubahan frekuensi yang diaplikasikan dengan acuan rumus berikut.

$$\phi m \propto \frac{V}{f} \quad (4)$$

Di dalam tipe skalar kontrol, selain rasio V/F konstan juga memiliki karakteristik torsi awal yang tinggi saat kecepatan rotor bernilai rendah. Berikut di bawah ini menampilkan acuan rumusnya.

$$\text{Torque in N.m} = \frac{\text{Shaft rating in kW} \times 9550}{\text{Rotor speed in rpm}} \quad (5)$$

Selain itu, pada modul latih ini dibuat juga sebuah sistem *monitoring* berupa HMI dan SCADA. Sistem *monitoring* berfungsi untuk mengontrol dan memonitor kondisi *plant* melalui layar yang menyajikan tombol-tombol, visualisasi *plant* ketika sedang bekerja, dan pembacaan indikator atau parameter [5].

Sistem *monitoring* adalah sistem yang berfungsi untuk mengawasi dan mengendalikan proses kerja pada suatu *plant*. *Human Machine Interface* (HMI) dan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dapat menjalankan fungsi *monitoring* dengan berkomunikasi dengan PLC untuk saling bertukar data untuk dapat melakukan pengontrolan dan pengawasan [6].

HMI merupakan suatu sistem antarmuka berbasis komputer. Alat ini berfungsi sebagai media komunikasi antara manusia dengan mesin melalui tampilan layar [7].

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) adalah sebuah sistem yang dapat melakukan pengawasan, pengendalian, dan akuisisi data terhadap sebuah *plant* secara *real time* [8].

Untuk mengintegrasikan antara sistem kontrol dan sistem *monitoring* serta VSD, dibutuhkan sebuah protokol komunikasi. Pada penelitian ini protokol komunikasi yang digunakan adalah Modbus.

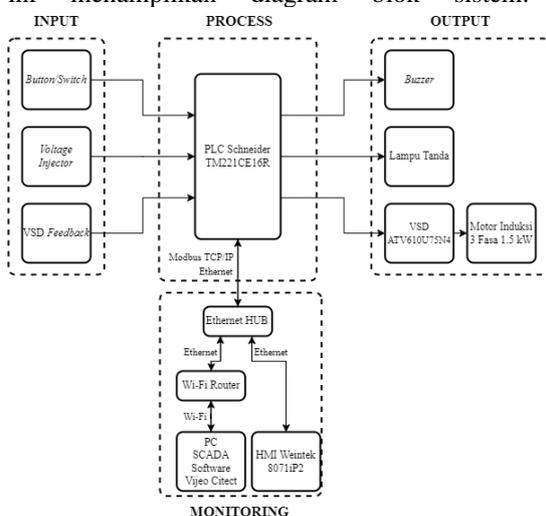
Modbus merupakan protokol komunikasi dua-arah yang paling umum digunakan sebagai media penghubung dengan perangkat industri atau media elektronik lainnya dengan komputer [9]. Berdasarkan media transfernya,

Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi....

Modbus dikategorikan ke dalam Modbus serial (RS232/RS485) dan Modbus Ethernet (TCP/IP). Jika dirujuk dari bentuk datanya, Modbus dibagi ke dalam Modbus RTU (serial) dan Modbus ASCII. Pada modbus serial digunakan istilah *Master/Slave* sedangkan Modbus Ethernet biasanya memakai terminologi *Server/Client* [10].

2. METODE PENELITIAN

Modul latih ini dapat di-*upgrade* komponen-komponen elektrikalnya sesuai dengan keinginan pengguna. Modul ini secara garis besar memiliki fungsi pada ruang lingkup sektor pengoperasian, pengendalian dan pengawasan. Berikut pada Gambar 1 di bawah ini menampilkan diagram blok sistem.



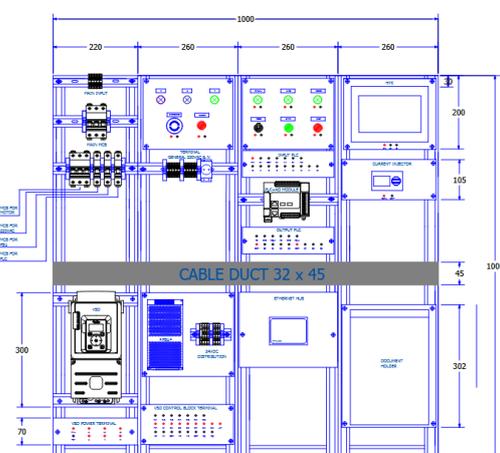
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1 terlihat blok diagram dari keseluruhan sistem yang meliputi fungsi pengendalian dan fungsi pengawasan. Terdapat 4 bagian yaitu *input*, proses, *output* dan *monitoring systems*. Pada bagian input dilakukan oleh tombol-tombol atau saklar-saklar fisik pada modul, *voltage injector* sebagai pengatur sinyal dan sinyal umpan balik oleh VSD. Pada bagian proses dilakukan oleh PLC yang memproses dan menyimpan data-data seperti PID *block* dan pengaturan jadwal operasi. Pada bagian *output* dilakukan oleh lampu-lampu indikator, *buzzer* sebagai indikasi alarm, VSD dan motor listrik 3 fasa. Pada bagian *monitoring* dilakukan oleh sistem SCADA dan HMI secara *remote* yang dapat berupa masukan atau perintah/keluaran. Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah:

1. Mendesain modul yang terdiri dari *layout*, ukuran, komponen dan *wiring diagram*.
2. Merealisasikan hasil desain.
3. Membuat daftar I/O pada kontroler.

4. Memprogram sistem kendali motor otomatis pada PLC *Schneider TM221CE16R* menggunakan perangkat lunak *EcoStruxure Machine Expert Basic* dan konfigurasi sistem VSD.
5. Memprogram sistem monitoring kendali motor otomatis pada HMI *Weintek 8071iP2* dan *Vijeo Citect SCADA*.
6. Melakukan *wiring* sistem elektrikal sesuai dengan *wiring diagram* dan tabel I/O.
7. Melakukan pengujian dan evaluasi.
8. Melakukan pengambilan data serta menganalisis hasil pengujian.

Layout modul latih terlihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Desain layout modul

Salah satu pilihan mode kerja yang dapat diterapkan adalah mode lokal. Mode lokal dapat diaktifkan dengan memutar *selector switch* ke arah mode lokal. Mode lokal digunakan untuk mengoperasikan motor dengan tombol-tombol fisik pada modul. Selain itu, pengaturan parameter frekuensi hanya dapat dikonfigurasi melalui VSD (lokal). Mode lokal ini dapat dijadikan cadangan kerja suatu sistem apabila mode *remote* atau *auto* mengalami permasalahan. Pada mode ini, data status antar *device* diambil setiap perubahan frekuensi dari 0 – 10 Hz.

Pilihan lainnya adalah *remote*. Pada mode ini, perintah terhadap sistem dialihkan ke HMI atau SCADA. Mode *remote* dapat diaktifkan dengan memutar *selector switch* ke arah mode *remote*. Di dalam mode ini, terdapat sub pengendalian yaitu manual dan auto. Sub pengendalian manual dapat mengoperasikan motor dengan memasukkan nilai persentase kecepatan yang diinginkan melalui layar HMI. Pada mode ini, data numerik antar *device* diambil setiap perubahan persentase yaitu 0 – 100%. Sub pengendalian auto mampu mengoperasikan

Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi....

motor sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Selain itu, mode auto dapat mengaktifkan PID sehingga laju alir motor dapat menyesuaikan sinyal pengumpan yang masuk ke kontroler.

Metode penelitian ini termasuk ke dalam jenis kualitatif dikarenakan bersifat mengetahui suatu karakteristik parameter terhadap parameter lainnya. Adapun peralatan yang digunakan berupa laptop sebagai indikator PLC, computer sebagai software SCADA, dan alat ukur seperti multimeter dan tachometer.

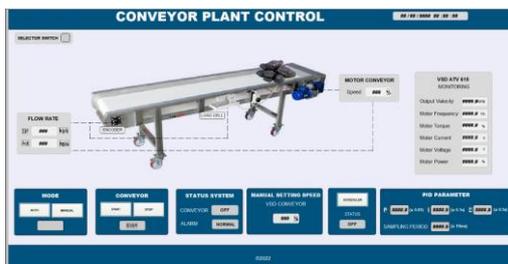
Dilakukan pengujian-pengujian untuk mendapatkan data dan dilakukan analisis dari data tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut gambar 3 dan gambar 4 menampilkan tampilan utama HMI dan SCADA. Pada gambar tersebut diberikan ilustrasi konveyor sebagai bentuk pengaplikasian motor induksi.



Gambar 3 Tampilan Utama HMI



Gambar 4 Tampilan Utama SCADA

A. Pengujian Kerja Sistem Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan. Terdapat 3 inti pengujian yaitu mode *local*, mode *remote* dan mode gangguan. Ketiga mode ini tiap status kemudian dibandingkan dengan device lainnya seperti HMI dan SCADA. Berikut pada Tabel 1 hingga Tabel 3 di bawah ini menampilkan hasil data pengujian status pada mode *local*, *remote*, dan gangguan.

Tabel 1 Pengujian Status Mode Local

No	Kondisi Selector Switch	Kondisi Lampu Tanda	Indikator Status	
			HMI	SCADA
1	Posisi 0			
2	Posi Local			

Tabel 2 Pengujian Status Mode Remote

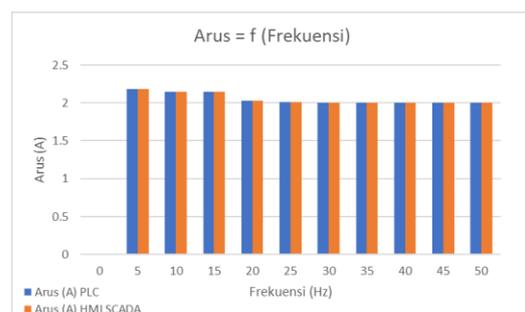
No	Kondisi Selector Switch	Kondisi Lampu Tanda	Indikator Status	
			HMI	SCADA
1	Posisi 0			
2	Posi Remote			

Tabel 3 Pengujian Status Mode Gangguan

No.	Simulasi Gangguan	Kondisi Output Device		Kondisi Alarm	
		Motor	Buzzer	HMI	SCADA
1	Input Phase Loss	OFF	ON		
2	Output Phase Loss	OFF	ON		

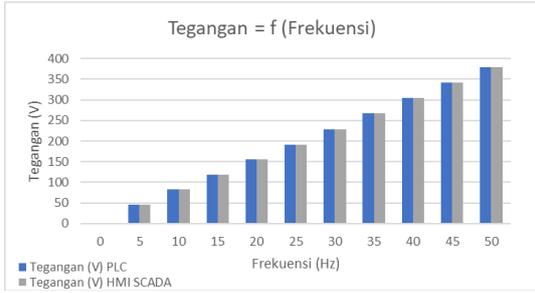
Terlihat pada tabel di atas yaitu data hasil pengujian kesesuaian pembacaan status mode *local* pada HMI dan SCADA. Pada tabel tersebut, baik lampu tanda, HMI, SCADA dan komponen lainnya memiliki indikator status yang sesuai. Hal ini mengindikasikan bahwa program PLC dan komunikasi pada sistem ini telah terintegrasi.

Pengujian selanjutnya yaitu dilakukan pada mode *remote*-manual untuk melihat pengaruh frekuensi terhadap parameter arus, tegangan, daya dan torsi. Berikut pada gambar 5 hingga gambar 8 di bawah ini menampilkan hasil data pengujiannya.

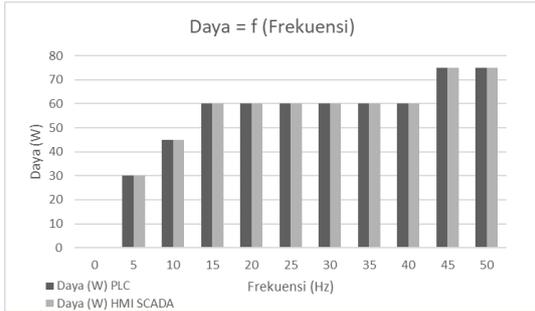


Gambar 5 Pengujian Nilai Arus

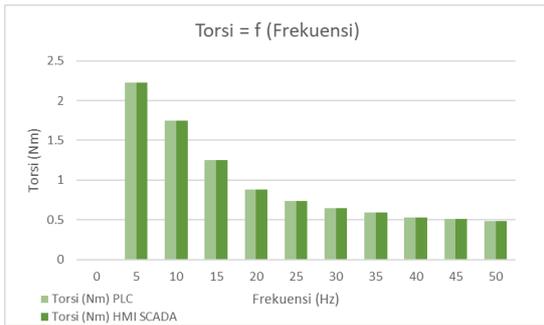
Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi....



Gambar 6 Pengujian Nilai Tegangan



Gambar 7 Pengujian Nilai Daya

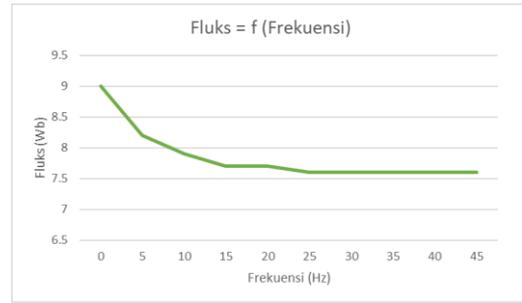


Gambar 8 Pengujian Nilai Torsi

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 di atas, terlihat parameter arus memiliki nilai yang menurun saat frekuensi dinaikkan. Hal ini sesuai dengan persamaan 3 yaitu frekuensi berbanding terbalik dengan arus dan dengan asumsi bahwa induktansi memiliki nilai yang tetap. Parameter tegangan memiliki nilai yang linier dengan frekuensi karena menggunakan tipe kontrol rasio V/F konstan pada VSD sehingga nilai fluks maksimum juga cenderung konstan. Hal ini sesuai dengan persamaan 4. Berikut contoh perhitungan dan hasil perhitungan keseluruhan yang dibuat dalam bentuk grafik pada gambar 9.

$$f = 5 \text{ Hz}$$

$$\phi_m = \frac{V}{f} = \frac{45}{5} = 9 \text{ Wb}$$



Gambar 9 Grafik Frekuensi Terhadap Fluks

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8, parameter daya memiliki karakteristik yang berbanding lurus dengan frekuensi. Nilai daya hasil kalkulasi internal VSD hanya sekian persen dari 1500 Watt dikarenakan motor yang digunakan dalam kondisi tanpa beban sehingga *mechanical load* yang terjadi sangat kecil. Sedangkan, torsi berbanding terbalik dengan frekuensi sesuai dengan persamaan 5.

Pengujian selanjutnya yaitu dilakukan pada mode *remote-auto*. Berikut pada Tabel 4 dan 5 di bawah ini menampilkan hasil data pengujianya.

Tabel 4 Pengujian PID

No.	Set Point Flow Rate (kg/s)	Actual (kg/s)	Karakteristik Output		
			VSD	HMI	SCADA
1.		30	Naik	Naik	Naik
2.	50	70	Turun	Turun	Turun
3.		50	Tetap	Tetap	Tetap

Tabel 5 Pengujian Penjadwalan

Jadwal									
Mulai beroperasi				Berhenti beroperasi					
Indikator									
VSD	HMI		SCADA		VSD	HMI		SCADA	
	Ti mi ng	M ot or	Ti mi ng	M ot or		Ti mi ng	M ot or	Ti mi ng	M ot or
RUN	O N	O N	O N	O N	RUN	O F	O F	O F	O F

Berdasarkan Tabel 4 di atas, terlihat karakteristik keluaran PID. Saat pemberian nilai aktual PID di bawah nilai *set point*, maka karakteristik keluaran PID akan berusaha mencapainya dengan menaikkan nilai. Saat pemberian nilai aktual PID di atas nilai *set point*, maka karakteristik keluaran PID akan berusaha mencapainya dengan menurunkan nilai. Kedua jenis karakteristik ini berhasil diterapkan karena menggunakan mode *reverse* pada konfigurasi keluaran PID *block*. Adapun saat pemberian nilai

Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi....

aktual PID sama dengan *set point*, maka keluaran akan terus tetap memertahankan nilainya. Dikarenakan pada modul ini hanya merupakan simulasi, maka prinsip PID yang digunakan tidak sepenuhnya optimal akibat tidak adanya pembebanan motor dan sensor.

Berdasarkan Tabel 5 di atas, terlihat mengenai kesesuaian penjadwalan operasi motor. Sebelum mencapai target mulai beroperasi, kondisi masih diam. Saat mulai beroperasi sesuai waktunya, status indikator VSD menjadi *RUN* sehingga motor *ON*. Kemudian saat waktu mencapai akhir dari pengoperasian, status VSD menjadi *RDY* yaitu *ready* sehingga motor *OFF* namun indikator "*timing*" masih tetap berjalan menunggu waktu operasi berikutnya. Mode ini diperlukan pada pengaplikasian motor sesungguhnya agar beroperasi secara otomatis, meminimalisir kesalahan operator baik dalam memulai maupun mengakhiri pengoperasian dan mampu mengurangi pemakaian daya yang berlebihan atau tidak diperlukan.

B. Pengujian Kesesuaian Nilai Aktual

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah parameter nilai yang terukur atau aktual sesuai dengan pembacaan *display* VSD. Pengujian dapat dilakukan baik dalam mode *local* maupun *remote*. Berikut pada Tabel 6 di bawah ini menampilkan hasil data pengukuran parameter tegangan dan arus.

Tabel 6 Pengujian Parameter Tegangan dan Arus

Frek (Hz)	Tegangan (V)			Arus (A)		
	Baca	Ukur	Error (%)	Baca	Ukur	Error (%)
Pengujian 1						
0	0	0	0	0	0	0
10	82	83	1,2	2,14	2,09	2,34
20	155	160	3,12	2,04	1,97	3,43
30	230	244,8	6,04	2,02	1,96	2,97
40	304	318	4,61	2,00	1,95	2,5
50	380	395,7	3,97	1,99	1,95	2,01
Pengujian 2						
0	0	0	0	0	0	0
10	82	84,3	2,73	2,15	2,12	1,39
20	155	157	1,27	2,04	1,99	2,45
30	230	253	9,09	2,01	1,97	1,99
40	304	315,3	3,58	2,00	1,96	2
50	379	383	1,04	2,00	1,95	2,5
Pengujian 3						
0	0	0	0	0	0	0
10	82	86,4	5,09	2,15	2,11	1,86
20	155	151,2	2,45	2,03	1,99	1,97
30	230	247,4	7,03	2,02	1,97	2,48
40	304	318	4,4	2,00	1,96	2
50	379	384,8	1,51	1,99	1,95	2,01

Berdasarkan tiga kali pengujian, rata-rata *error* tegangan dan arus yang terjadi masing-masing adalah sebesar 3.17% dan 1.88%. nominal-nominal ini tidak memengaruhi sistem secara signifikan dan tetap beroperasi sebagaimana mestinya. Terjadinya *error* pada pengujian ini diakibatkan oleh tiga hal yaitu batasan konfigurasi VSD, toleransi dan keterbatasan pada alat ukur. Batasan konfigurasi arus nominal VSD tidak dapat disesuaikan dengan arus nominal *nameplate* motor yang digunakan. Arus nominal minimum yang dapat dikonfigurasi pada VSD yaitu 3.95A sedangkan pada *nameplate* motor yang digunakan yaitu 3.7A. Kemudian, *digital multimeter* tidak akan mampu mengukur tegangan *output* VSD secara aktual dikarenakan pengukuran tegangan efektif pada *digital multimeter* tidak dapat merepresentasikan hasil filter gelombang keluaran PWM (*Pulse With Modulation*). Selain itu, timbulnya *noise* pada VSD juga memengaruhi nilai *high frequency*-nya. Oleh karena itu, perlu ditambahkan *low pass filter* agar mampu mengukur tegangan efektif secara aktual. Adapun toleransi rata-rata pada alat ukur yang digunakan yaitu berkisar (%1 + 3). Nilai *error* perlu diketahui agar pengguna atau pekerja mengetahui konfigurasi terbaik dalam mengatur parameter-parameter VSD.

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian parameter kecepatan. Berikut pada Tabel 7 di bawah ini menampilkan hasil data pengujianya.

Tabel 7 Pengujian Parameter Kecepatan

Frek (Hz)	Kecepatan sinkron (rpm)	Slip (%)	Kecepatan rotor (tacho) (rpm)	Velocity rotor (VSD) (rpm)
Pengujian 1				
0	0	-	0	0
10	300	0	300	300
20	600	0,08	600,5	600
30	900	-	900,5	900
40	1200	0,06	1200	1200
50	1500	0	1500	1500
Pengujian 2				
0	0	0	0	0
10	300	0	300	300
20	600	0	600	600
30	900	-	900,5	900
40	1200	0,06	1200	1200
50	1500	0	1500	1500
Pengujian 3				
0	0	0	0	0
10	300	0	300	300
20	600	0	600	600
30	900	0	900	900

Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi....

40	1200	-	1202	1200
		0,17		
50	1500	0	1500	1500

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa perhitungan kecepatan sinkron dengan pembacaan kecepatan rotor pada *display* VSD bernilai sama. Kemudian, saat diukur kecepatan rotor motor secara aktual dengan tachometer mayoritas datanya bernilai sama baik dengan perhitungan kecepatan sinkron maupun pembacaan pada *display* VSD. Berdasarkan persamaan 2, seharusnya nilai kecepatan rotor tidak akan sama bahkan melebihi nilai kecepatan sinkron. Terdapat 2 faktor yang menyebabkan hal tersebut terjadi yaitu dikarenakan pada pengaturan kompensasi slip VSD bernilai 100% sehingga hampir terjadi persamaan antara kecepatan sinkron dan rotor motor tanpa beban. Selain itu, faktor toleransi dan kesalahan pembacaan alat ukur juga memengaruhi proses pengukuran sehingga terdapat beberapa data yang tidak sesuai dengan teori. Fungsi pengaturan kompensasi slip pada pengaplikasian sesungguhnya adalah untuk meminimalisir gap antara aktual dengan kecepatan sinkron saat motor dibebani. Pengaturan kompensasi slip dimaksimalkan karena pada sistem ini juga menggunakan PID sehingga bila diaplikasikan secara real, kalkulasi internal PID menghasilkan keluaran yang optimal dan mendekati sempurna.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Proses kendali motor dapat dilakukan secara otomatis menggunakan PID.
2. Pengaplikasian PID pada sebuah proses kerja sistem mampu memberikan karakteristik keluaran yang mendekati *set point*.
3. Sistem kendali motor otomatis dengan PLC dapat terintegrasi dengan HMI dan SCADA sebagai fungsi pengawasan.
4. Pada pengujian kesesuaian nilai aktual, nilai rata-rata error tegangan dan arus yang dihasilkan yakni 3.17% dan 1.88%.
5. Torsi dan frekuensi pada motor listrik tanpa beban memiliki nilai yang berbanding terbalik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sadi, "Jurnal Teknik Industri, Vol. 14, No. 2, Desember 2012, 137," vol. 14, no. 2, 2012.
- [2] A. P. Kaldate, "PLC Based PID Speed Control System," *IOSR J. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 55–60, 2014, doi: 10.9790/3021-04365560.
- [3] T. Mahendra, M. F. Daffa, W.

Primaandika, M. Dwiyanti, and S. Nasution, "Aplikasi scada pada sistem pengendalian dan pemantauan kecepatan motor," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 6, pp. 194–198, 2021.

- [4] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," *Sist. Inf. ISSN*, vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2018.
- [5] E. H. Wiguna and A. Subari, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Air Dan Kelembaban Tanah Pada Penyiram Tanaman Otomatis Dengan Hmi (Human Machine Interface) Berbasis Raspberry Pi Menggunakan Software Node-Red," *Gema Teknol.*, vol. 19, no. 3, p. 1, 2017, doi: 10.14710/gt.v19i3.21878.
- [6] N. C.P, A. Supriyanto, and Y. M. Maulan, "Rancang Bangun Sistem Informasi Monitoring Dan Evaluasi Pembangunan Sarana Dan Prasarana Pada Dinas Perhubungan Kota Surabaya," *Jsika*, vol. 5, no. 7, pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/252001-rancang-bangun-sistem-informasi-monitori-8bf2272f.pdf>.
- [7] A. Septian, "Penerapan Trainer Human Machine Interface (HMI) Berbasis CX-Designer Sebagai Media Pembelajaran Programmable Logic Controller (PLC)," vol. 3, no. 4, pp. 2622–4615, 2018, [Online]. Available: <http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/informatika>.
- [8] N. Demus, D. Pangestu, R. Nurfauzi, D. Libertin, A. I. Hrp, and D. M. Dwiyanti, "IMPLEMENTASI SCADA MITSUBISHI PADA SISTEM HVAC DI PT SINARMAS ARGO RESOURCES TECHNOLOGY," 2019.
- [9] S. D. Chandra, H. Kusuma, and Suwito, "Desain Dan Implementasi Protokol Modbus Untuk Sistem Antrian Terintegrasi Pada Pelayanan Surat Izin Mengemudi (Sim) Di Kepolisionan Resort," 2016.
- [10] A. Bagus Buditama, "Monitoring Over Temperature Transformator Berbasis Arduino Mega 2560 Menggunakan Hmi (Human Machine Interface)," pp. 9–57, 2019.