

Implementation of Variable Frequency Drive and Modbus RTU RS-485 Communication for Induction Motor Speed Control

[Implementasi Variable Frequency Drive dan Komunikasi Modbus RTU RS-485 untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi]

Ibnu Mas'ud¹⁾, Izza Anshory^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: izzaanshory@umsida.ac.id

Abstract. *With the advancement of industrial technology, there is a growing demand for efficient and automated motor control systems, especially for small-scale applications that require cost-effective solutions. This study investigates the speed control of a three-phase induction motor using the LS G100 inverter and LS XBM-DR16S PLC via Modbus RTU RS-485 communication, without additional expansion modules. The approach combines technical design and experimental testing. Results show that the system can accurately control motor speed (RPM accuracy: 99.6%, voltage: 97.2%, current: 91.1%), making it a reliable and economical solution for small to medium-scale industrial automation.*

Keywords- *Three-phase AC motor, LS XBM-DR16S programmable logic controller, LS G100 variable frequency drive, Modbus RTU protocol.*

Abstrak. *Seiring berkembangnya industri, dibutuhkan sistem kendali motor yang efisien dan otomatis, khususnya untuk aplikasi skala kecil yang tetap hemat biaya. Penelitian ini mengkaji pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan inverter LS G100 dan PLC LS XBM-DR16S melalui Modbus RTU RS-485 tanpa modul tambahan. Metode yang digunakan meliputi perancangan teknis dan pengujian eksperimental. Hasil menunjukkan sistem mampu mengontrol kecepatan motor dengan akurasi tinggi (RPM 99,6%, tegangan 97,2%, arus 91,1%), menjadikannya solusi andal dan ekonomis untuk otomasi industri skala kecil-menengah.*

Kata Kunci - *Motor AC tiga fasa, programmable logic controller LS XBM-DR16S, variable frequency drive LS G100, protokol Modbus RTU.*

I. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur, motor induksi tiga fasa merupakan pilihan utama untuk menggerakkan berbagai mesin produksi. Ada beberapa keunggulan yang dimiliki motor induksi, seperti konstruksinya yang sederhana dan kokoh, biaya yang relatif terjangkau, serta kemudahan dalam perawatan [1],[2]. Namun, salah satu kelemahan utamanya adalah kesulitan dalam mengendalikan kecepatan putar secara presisi, karena motor ini cenderung beroperasi pada kecepatan konstan [3]. Untuk mengatasi keterbatasan ini, solusi yang umum digunakan adalah dengan mengatur frekuensi input motor induksi [4]. Dengan mengubah frekuensi, kecepatan motor dapat dikendalikan secara lebih fleksibel, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasional tertentu. Seiring dengan kemajuan teknologi, sistem kendali industri menjadi semakin kompleks. Untuk menyederhanakan sistem kendali dan meningkatkan efisiensi, penggunaan protokol komunikasi seperti Modbus RTU semakin meluas. Modbus RTU yang hanya memerlukan dua kabel komunikasi, sehingga mengurangi kompleksitas pengkabelan dan menyederhanakan perawatan [5].

Dengan adanya otomasi industri, efisiensi kerja meningkat secara signifikan [6],[7]. Beban kerja menjadi lebih ringan karena penggunaan mesin yang dikendalikan oleh sistem otomatis, yang menyederhanakan tugas dan menghasilkan penghematan waktu yang besar [8]. Otomasi dalam sektor industri kini telah menjadi salah satu landasan utama kemajuan teknologi. Dalam konteks ini, peran sistem kendali dan pemantauan dengan komunikasi data sangat penting sebagai elemen pendukung utama [9]. Oleh karena itu, efisiensi sistem kendali yang menggunakan protokol Modbus sangat menyederhanakan aspek-aspek seperti diagram pengkabelan kendali dan pemantauan sistem, terutama dalam situasi pemecahan masalah (troubleshooting). Hal ini disebabkan karena data motor secara real-time, seperti pembacaan arus dan tegangan, dapat dipantau langsung melalui PLC.

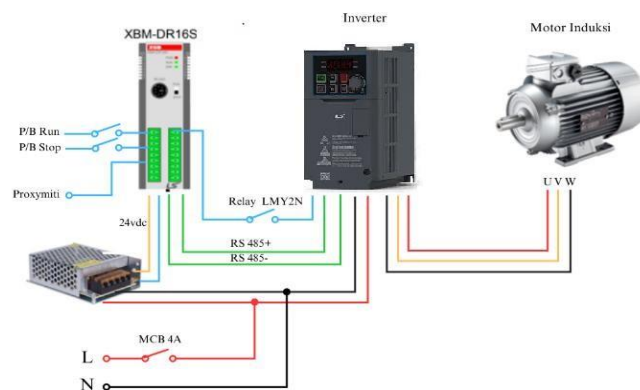
Penelitian sebelumnya membahas penerapan komunikasi data berbasis PLC Omron CP1E. Studi tersebut menggunakan lebih banyak komponen, yaitu PLC Omron CP1E-N30DT-D sebagai master dan VFD Omron 3G3MX2-AB007-V1 sebagai slave. Karena penerapan antarmuka komunikasi Modbus RTU memerlukan penggunaan koneksi RS-485 secara luas, PLC tersebut membutuhkan papan opsi RS-485 tambahan, yaitu modul CP1W-CIF11 [10]. Pada penelitian ini, prinsip ekonomi rekayasa diterapkan dengan meminimalkan anggaran tanpa mengurangi fungsi sistem [11]. Sistem dirancang dan diimplementasikan menggunakan PLC LS XBM-DR16S sebagai master dan

inverter LS G100 sebagai slave, tanpa menggunakan papan opsi (ekspansi) tambahan. Pendekatan ini menyederhanakan rangkaian dan memaksimalkan efisiensi sistem kendali. PLC LS XBM-DR16S menawarkan beberapa keunggulan yang menjadikannya cocok untuk otomasi industri skala kecil hingga menengah. Harganya lebih terjangkau dibandingkan merek lain. Selain itu, perangkat lunak XG5000 tersedia secara gratis dan mudah digunakan, sehingga sangat ideal untuk teknisi pemula. Lebih lanjut, PLC LS mendukung berbagai protokol komunikasi seperti Modbus dan RS-485, serta menyediakan opsi I/O yang fleksibel, menjadikannya efisien dan praktis untuk digunakan dalam sistem kendali otomatis [12].

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan kunci dari sebuah sistem. PLC bekerja berdasarkan logika yang dapat diprogram dan digunakan untuk mengelola peralatan seperti motor, sensor, lampu, dan aktuator lainnya [13]. Dibandingkan dengan sistem kendali berbasis relay konvensional, PLC lebih fleksibel karena dapat diprogram ulang sesuai dengan kebutuhan operasional [14],[15]. Selain itu, PLC juga memiliki keunggulan dalam hal kecepatan respons, keandalan, serta kemudahan dalam perawatan dan pengembangan sistem. PLC berfungsi sebagai otak dari sistem kendali [16]. PLC dapat berkomunikasi dengan berbagai perangkat, termasuk inverter, menggunakan protokol Modbus RTU. Dengan menggunakan PLC XBM-DR16S, dimungkinkan untuk mengembangkan program logika guna mengendalikan kecepatan motor, memantau kondisi operasi, dan melakukan tindakan korektif apabila terjadi gangguan pada sistem.

Inverter, atau Variable Frequency Drive (VFD), berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) [17]–[19]. Dalam sistem industri, inverter memiliki peran penting sebagai pengendali kecepatan motor, khususnya untuk motor induksi tiga fasa. LS G100, misalnya, merupakan salah satu jenis inverter yang banyak digunakan dan kompatibel dengan protokol komunikasi Modbus RTU. Penerapan sistem ini dapat ditemukan di berbagai industri, seperti industri otomotif, pengolahan makanan dan minuman, serta sektor manufaktur [20].

Implementasi sistem kendali dilakukan dengan mengintegrasikan inverter dan komunikasi Modbus RTU RS-485, di mana PLC LS XBM-DR16S berperan sebagai master untuk mengendalikan secara digital dan memantau inverter LS G100. Selain itu, proses integrasi ini mengeksplorasi bagaimana variasi RPM (kecepatan motor) memengaruhi arus, tegangan, dan frekuensi, dalam rentang kendali 100 RPM hingga 1000 RPM. Kendali ini penting untuk menentukan kinerja optimal motor [21]. Gambar 1 adalah skema diagram pengkabelan Modbus RTU RS-485. Skema ini berfungsi untuk memberikan gambaran umum tentang alur komunikasi, fungsi masing-masing perangkat, serta bagaimana sistem kendali dan pemantauan kecepatan motor diimplementasikan secara terpadu.



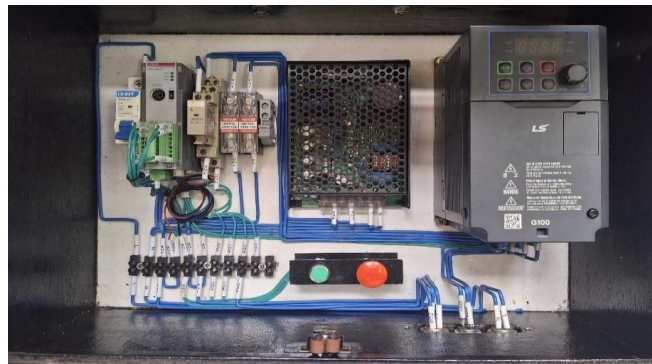
Gambar 1. Skema wiring diagram rangkaian Modbus Rtu Rs-485

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode rekayasa dan eksperimental, yang menggabungkan proses perancangan teknis dengan pengujian kinerja sistem [22]. Tahap rekayasa meliputi analisis kebutuhan, perancangan Alat, serta implementasi keseluruhan sistem, sementara pengujian eksperimental dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem yang dirancang. Penelitian rekayasa ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem Modbus RTU RS-485, menggunakan PLC LS XBM-DR16S sebagai master dan inverter G100 sebagai slave untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi. Kombinasi kedua metode ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dihasilkan tidak hanya memenuhi kebutuhan operasional, tetapi juga memberikan kinerja yang andal dan optimal dalam mengendalikan kecepatan motor.

A. Perancangan System

Sistem ini mengintegrasikan PLC LS XBM-DR16S dan inverter LS G100 melalui komunikasi Modbus RTU RS-485 tanpa menggunakan papan ekspansi tambahan, sebuah konfigurasi yang tidak ditemukan dalam referensi sebelumnya dengan setup serupa. Dengan menggabungkan perangkat dan komunikasi Modbus RTU secara langsung tanpa modul eksternal, tujuan utamanya adalah efisiensi biaya dan kesederhanaan pengkabelan, yang jarang dibahas dalam implementasi lain. Desain sistem ini bertujuan untuk menyederhanakan proses implementasi pembuatan peralatan. Diharapkan dapat meminimalkan troubleshooting dan kerusakan peralatan selama proses produksi. Ada beberapa bahan yang dibutuhkan untuk mendukung kelancaran penelitian dan memastikan tujuan yang diharapkan tercapai. Bahan-bahan yang digunakan meliputi beberapa komponen utama yang mendukung proses pengukuran, pengamatan, dan analisis data, yaitu: Programmable Logic Controller (PLC) LS XBM-DR16S sebagai master, Inverter LS G100 atau Variable Frequency Drive (VFD) sebagai slave, Miniature Circuit Breaker (MCB) 4A untuk memastikan jenis arus yang tepat digunakan agar pemutusan sirkuit lebih presisi [23], fuse holder 2A, Proximity PR08-2DN, catu daya DC 24V, relay DC 24V, kabel jumper untuk menghubungkan PLC dan inverter, tombol tekan (push button) untuk Run dan Stop, kabel daya, kabel USB RS-232, motor induksi 3 fasa 4-pole 220V 180W, multimeter, dan kabel grounding untuk keselamatan dan perlindungan peralatan. Grounding merupakan sistem keselamatan terhadap gangguan yang umum terjadi pada rangkaian listrik [24]. Perangkat lunak yang digunakan meliputi laptop dan perangkat lunak XG5000 yang digunakan untuk proses pemrograman. Gambar 2 menunjukkan hasil perakitan rangkaian kendali kecepatan motor induksi menggunakan protokol Modbus RTU RS-485.



Gambar 2. Hasil Perakitan Rangkaian

B. Mekanisme Komunikasi Modbus RTU RS-485

Mekanisme komunikasi Modbus RTU RS-485 beroperasi berdasarkan konsep master-slave, di mana perangkat master, seperti PLC LS XBM-DR16S, memulai komunikasi dengan mengirimkan permintaan data atau instruksi ke perangkat slave, seperti inverter LS G100. Komunikasi ini terjadi melalui jalur komunikasi serial RS-485, yang menggunakan dua kabel utama (S+ dan S-) untuk mentransmisikan data secara diferensial. Setiap perangkat slave memiliki alamat, dan hanya perangkat dengan alamat yang sesuai yang akan merespons permintaan dari master [25]. Protokol Modbus RTU mengirimkan data dalam bentuk frame, yang terdiri dari alamat perangkat, kode fungsi, data, dan CRC (Cyclic Redundancy Check) untuk validasi integritas data. Semua komunikasi dilakukan secara sinkron dan berurutan, sehingga memastikan pertukaran data yang efisien dan andal antara perangkat-perangkat dalam jaringan.

C. Konfigurasi Komunikasi Perangkat.

PLC LS XBM-DR16S berperan sebagai master dalam sistem ini, mengendalikan pengaturan komunikasi seperti baud rate, data bits, dan parity, yang disesuaikan agar sesuai dengan inverter LS G100 [26]. PLC ini dapat mengirim dan menerima data melalui Modbus RTU, memungkinkan untuk mengirim perintah atau membaca status dari inverter. Tabel 1 menunjukkan pengaturan konfigurasi komunikasi Modbus RTU pada rangkaian ini.

Tabel 1. Konfigurasi Komunikasi Perangkat

No	Parameter	Nilai
1	Baud rate	115200 bps
2	Data Bits	8
3	Parity	none
4	Stop Bits	1
5	Mode	RTU

Dalam sistem komunikasi seperti Modbus RTU, parameter data bits dan parity harus sama pada semua perangkat (master dan slave). Jika tidak sama, komunikasi bisa gagal atau data dapat terbaca salah..

D. Konfigurasi Alamat Perangkat

Konfigurasi alamat pada inverter dilakukan untuk menentukan identitas perangkat dalam jaringan Modbus RTU. Alamat ini diperlukan agar PLC sebagai master dapat mengirim perintah atau membaca data dari inverter yang dituju. Misalnya, jika inverter diberikan alamat 1, maka semua komunikasi yang dikirim oleh PLC ke alamat 1 hanya akan diterima oleh inverter tersebut. Berdasarkan Tabel 2, ditunjukkan alamat DRV Group pada inverter, yaitu sekumpulan parameter dasar yang digunakan untuk mengoperasikan dan memantau kinerja motor. Parameter seperti frekuensi operasi (DRV-F), perintah jalan (DRV-RUN) [27], termasuk dalam grup ini dan menjadi kunci dalam proses konfigurasi awal inverter.

Tabel 2. Konfigurasi Alamat DRV Groub Inverter

No	Led Display	Parameter	Nilai	Deskripsi
1	ACC	Acceleration	1.0	Acceleration Time
2	dEC	Deceleration time	1.0	Deceleration Time
3	Drv	Drive mode	3	RS485 Communication
4	Frq	Frequency setting method	7	RS485 Communication

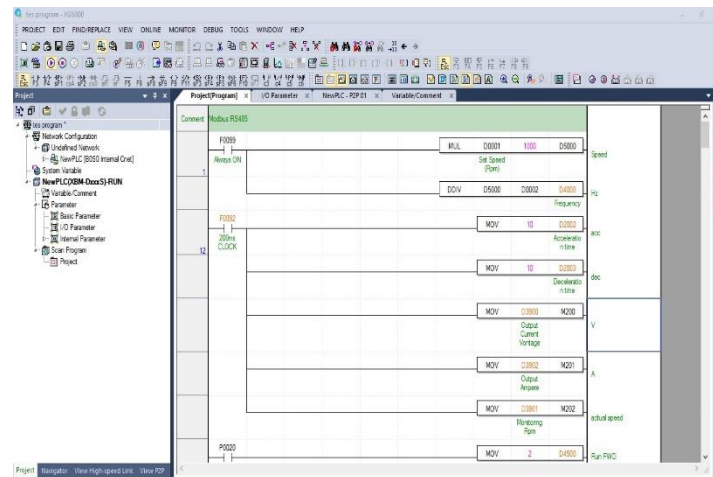
Konfigurasi alamat Common Parameter Code perlu diatur. Common Parameter Code pada inverter LS G100 adalah sekumpulan alamat parameter dasar yang digunakan untuk mengendalikan dan memantau operasi motor melalui komunikasi Modbus RTU. Parameter-parameter ini mencakup pengaturan frekuensi referensi, perintah jalan/berhenti, arah putaran, serta nilai tegangan dan arus motor. Dengan menggunakan kode alamat ini, PLC sebagai master dapat mengirim instruksi dan membaca data dari inverter secara real-time tanpa perlu modul tambahan. Tabel 3 menyajikan parameter yang digunakan untuk mengonfigurasi frekuensi, waktu percepatan/perlambatan, arus motor, dan mode operasi, yang berfungsi sebagai acuan utama dalam proses pemrograman dan komunikasi perintah instruksi dalam sistem kendali [27],[28].

Tabel 3. Konfigurasi Common Parameter Code

No	Variable	Alamat	Unit
1	Run Comand	D4500	-
2	Frekuensi keluaran	D4000	Hz
3	Arus Keluaran	D3902	A
4	Tegangan Keluaran	D3900	V
5	Rpm Kecepatan	D3901	Rpm
6	Akselerasi	D2002	Sec
7	Deselerasi	D2003	Sec

D. Konfigurasi Program Pada PLC

PLC LS XBM-DR16S, yang berperan sebagai master, mengirim perintah untuk mengonfigurasi parameter pada inverter LS G100, seperti instruksi untuk mengubah kecepatan motor. Perintah ini dijalankan dengan mengirimkan nilai spesifik ke register Modbus yang sesuai pada inverter. Selain mengirim perintah, PLC juga dapat membaca parameter dari inverter LS G100, seperti arus, tegangan, kecepatan, dan status operasi motor. Pembacaan data ini sangat penting untuk pemantauan kondisi operasional motor secara real-time dan memastikan sistem berfungsi sesuai kebutuhan. Oleh karena itu, proses pemrograman harus dilakukan menggunakan perangkat lunak XG5000 [29]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, diagram ladder ini menggambarkan instruksi yang digunakan untuk mengeksekusi perintah dan memantau status motor.



Gambar 3. Ladder Program PLC.

Gambar 3 menunjukkan program instruksi PLC yang dirancang untuk mengendalikan dan memantau operasi inverter. Instruksi tersebut menggunakan alamat register yang telah dikonfigurasi sesuai dengan pengaturan perangkat, seperti yang dijelaskan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Konfigurasi alamat ini sangat penting untuk memastikan komunikasi yang tepat antara PLC sebagai master dan inverter sebagai slave dalam sistem Modbus RTU.

Gambar 4. menunjukkan program instruksi PLC yang dirancang untuk mengendalikan dan memantau operasi inverter. Instruksi tersebut menggunakan alamat register yang telah dikonfigurasi sesuai dengan pengaturan perangkat, seperti yang dijelaskan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Konfigurasi alamat ini sangat penting untuk memastikan komunikasi yang tepat antara PLC sebagai master dan inverter sebagai slave dalam sistem Modbus RTU.

Index	Channel	Device Setting	P2P Function	Conditional Flag	Command type	Data type	No. of variables	Data bits	Destination address number	Name	Setting	Variable setting contents
3	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
1	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
2	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	2. Continuous	WORD	1	2	16	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
3	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
4	2	Modbus RTU client	READ	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
5	2	Modbus RTU client	READ	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
6	2	Modbus RTU client	READ	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
7	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
8	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
9	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
10	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
11	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
12	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
13	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
14	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
15	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
16	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
17	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000
18	2	Modbus RTU client	WRITE	_T0000	1. Single	WORD	1	16	1	Setting	Number 1	READ164000.SAVE164000

Gambar 4. Set P2P Program

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menilai akurasi dan keandalan sistem, serta kesesuaiannya dengan prinsip kerja motor induksi dan tujuan implementasi yang diinginkan. Pengujian meliputi pengukuran kecepatan putar aktual (RPM) dibandingkan dengan nilai kecepatan yang disetel mulai dari 100 hingga 1000 RPM, serta pengukuran frekuensi operasi motor, tegangan output, dan arus output.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan untuk memperjelas ruang lingkup sistem yang diimplementasikan. Sistem diuji hanya pada motor induksi tiga fasa dengan daya 180W dan tegangan 3 fasa 220V, menggunakan PLC LS XBM-DR16S sebagai master dan inverter LS G100 sebagai slave, tanpa modul komunikasi tambahan. Komunikasi antar perangkat dilakukan melalui protokol Modbus RTU menggunakan RS-485. Parameter yang dikendalikan dan dipantau meliputi kecepatan motor (RPM), frekuensi, tegangan output, dan arus listrik, tanpa mempertimbangkan parameter lain seperti suhu atau torsi. Pengujian dilakukan dalam kondisi tanpa beban, sehingga hasilnya tidak menggambarkan kinerja motor saat bekerja dengan beban.

A. Pengukuran RPM Aktual dan Frekuensi Motor Induksi

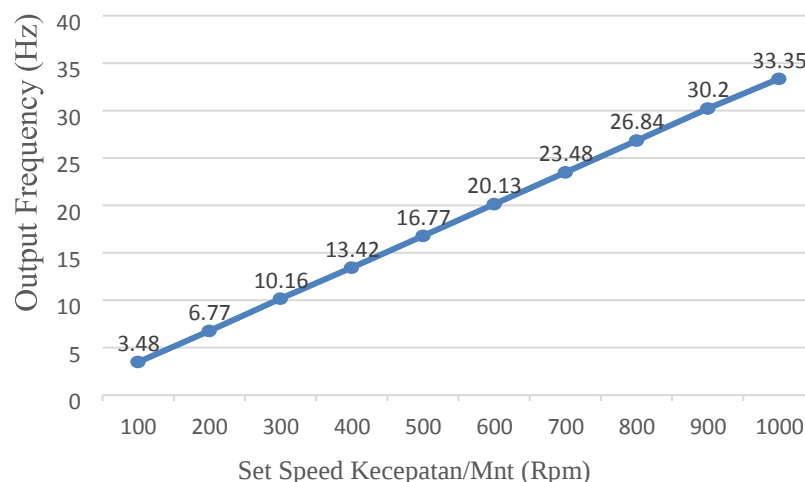
Tabel 4 menyajikan hasil pengukuran kecepatan motor induksi tiga fasa pada titik setel yang berkisar antara 100 hingga 1000 RPM. Data tersebut mencakup kecepatan aktual yang dicatat oleh takometer, persentase slip, akurasi pengendalian kecepatan, dan frekuensi output dari inverter. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem dalam mengendalikan kecepatan motor secara real-time.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Rpm dan Frequency Motor Induksi

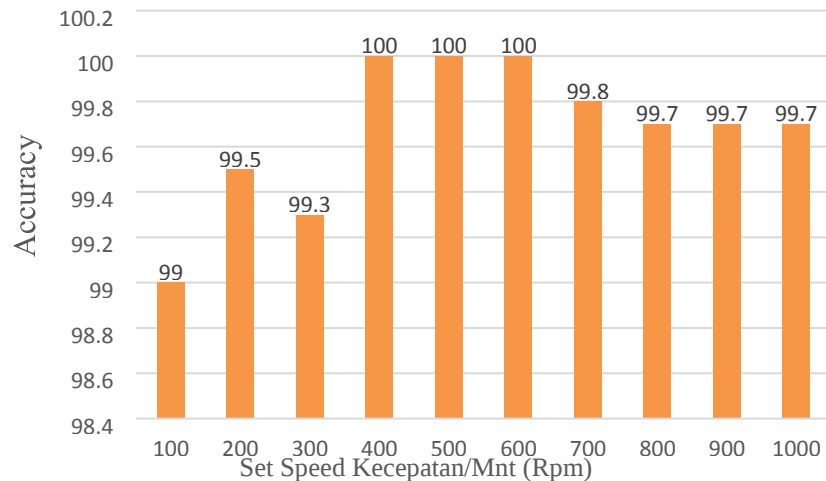
No	Kecepatan/mnt	Takometer	Slip (%)	Akurasi (%)	Frequency (Hz)
1	100	101	1	99	3,48
2	200	201	0,5	99,5	6,77
3	300	302	0,6	99,3	10,16
4	400	400	0	100	13,42
5	500	500	0	100	16,77
6	600	600	0	100	20,13
7	700	701	0,1	99,8	23,48
8	800	802	0,2	99,7	26,84
9	900	902	0,2	99,7	30,20
10	1000	1002	0,2	99,7	33,35

Berdasarkan hasil Grafik Uji Frekuensi (Gambar 5), terlihat bahwa peningkatan RPM motor disertai dengan peningkatan frekuensi yang dikeluarkan oleh VFD. Hal ini sejalan dengan karakteristik dasar motor induksi tiga fasa, di mana kecepatan (RPM) berbanding lurus dengan frekuensi suplai. Dengan jumlah kutub motor yang tetap, peningkatan kecepatan hanya dapat dicapai dengan meningkatkan frekuensi. Oleh karena itu, saat kecepatan motor disesuaikan melalui VFD, perangkat secara otomatis menaikkan frekuensi keluarannya untuk meningkatkan kecepatan motor sesuai dengan nilai yang diinginkan..

Berdasarkan Grafik RPM Aktual motor, motor yang diuji mampu mencapai kecepatan putaran aktual yang sangat mendekati nilai set point yang telah ditentukan. Data pengujian menunjukkan rata-rata persentase akurasi sebesar 99,6%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Tingkat akurasi yang tinggi ini menunjukkan keandalan dan presisi sistem dalam mengendalikan kecepatan motor, yang memperkuat kesesuaiannya untuk aplikasi yang memerlukan kinerja tinggi dan pengaturan kecepatan yang presisi. Akurasi seperti ini sangat bernilai dalam proses otomatisasi industri, di mana penyimpangan kecil dalam kecepatan motor dapat memengaruhi kinerja keseluruhan sistem.



Gambar 5. Grafik pengukuran Frequency Terhadap Rpm Motor



Gambar 6. Grafik Aktual Akurasi Rpm Motor

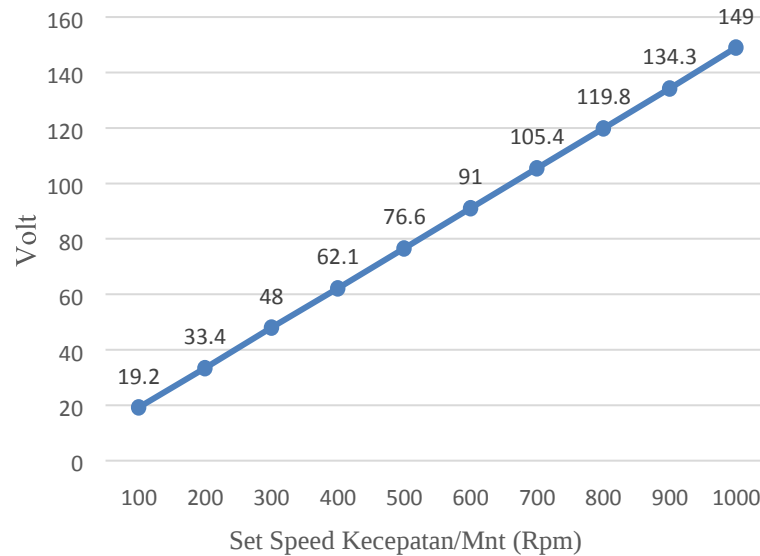
B. Pengukuran Output Voltage

Tabel 5 menyajikan hasil pengukuran tegangan output motor pada berbagai kecepatan putaran (RPM), yang diperoleh melalui percobaan menggunakan VFD dan dibandingkan dengan pembacaan dari multimeter digital. Setiap tingkat kecepatan diuji dengan lima kali percobaan, yang kemudian dibandingkan dengan pembacaan aktual dari multimeter guna menentukan akurasi sistem. Data ini digunakan untuk mengevaluasi akurasi pengaturan tegangan inverter dalam menjaga stabilitas operasional motor.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran

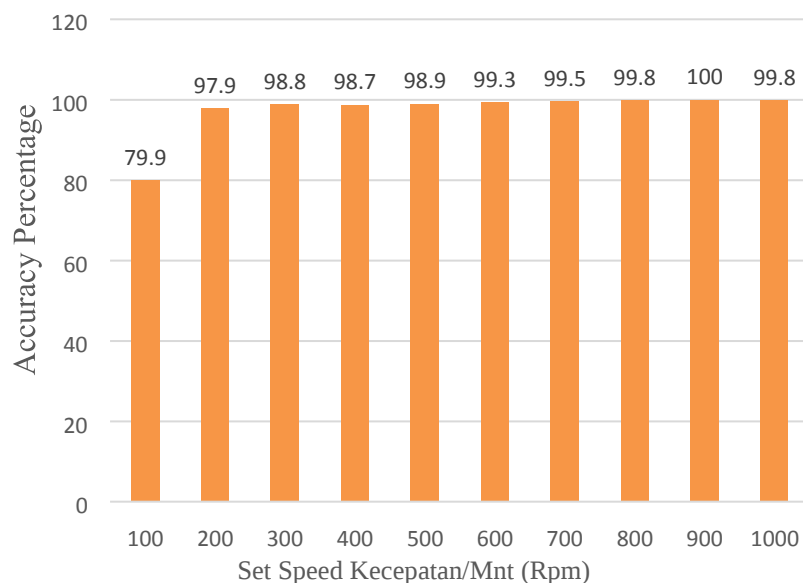
No	Kecepatan /mnt	Pengukuran VFD (volt)					Rata-Rata	Multi meter	Akurasi (%)
		1	2	3	4	5			
1	100	19,2	19,2	19,3	19,2	19,2	19,2	23,1	79,9
2	200	33,4	33,4	33,4	33,5	33,5	33,4	32,7	97,9
3	300	48	48,1	48	48	47,9	48	47,2	98,8
4	400	62,1	62,1	62,1	62,2	62	62,1	61,3	98,7
5	500	76,5	76,6	76,8	76,6	76,6	76,6	75,7	98,9
6	600	90,9	91,1	90,9	91,2	91	91	90,4	99,3
7	700	105,3	105,5	105,5	105,4	105,3	105,4	104,9	99,5
8	800	119,9	119,8	119,8	119,8	119,9	119,8	119,6	99,8
9	900	134,3	134,3	134,2	134,2	134,5	134,3	134,3	100
10	1000	148,9	149,2	149,3	149	148,8	149	149,2	99,8

Berdasarkan hasil pengujian dan grafik pengukuran tegangan output pada Gambar 7, setiap peningkatan frekuensi yang diatur oleh inverter (VFD) diikuti oleh peningkatan tegangan output motor secara proporsional. Pola ini menunjukkan adanya hubungan linear antara frekuensi dan tegangan, yang sesuai dengan prinsip V/f (Volt per Hertz) konstan, di mana VFD secara otomatis menyesuaikan tegangan untuk menjaga rasio V/f tetap stabil. Tujuan dari pengaturan ini adalah untuk menjaga torsi motor tetap stabil dan memastikan operasi motor yang efisien pada berbagai kecepatan



Gambar 7. Grafik Pengukuran Output Voltage

Selain itu, pemantauan tegangan dilakukan melalui program PLC, disertai dengan pengukuran langsung menggunakan multimeter digital sebagai alat pembandingan. Perbandingan antara nilai yang dipantau dan hasil pengukuran aktual menunjukkan tingkat akurasi rata-rata sebesar 97,2%, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Nilai ini mencerminkan tingkat presisi yang tinggi, yang menunjukkan bahwa sistem pemantauan tegangan melalui program PLC memiliki akurasi yang sangat baik dan dapat diandalkan untuk keperluan kontrol maupun pemantauan proses secara real time.



Gambar 8. Grafik Akurasi Output Voltage

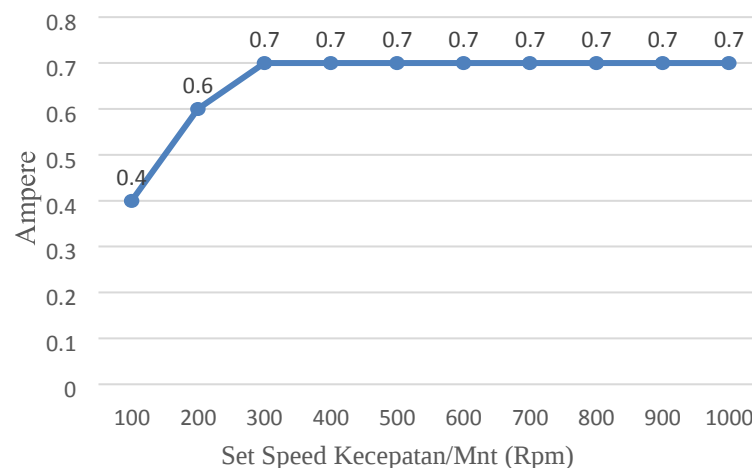
C. Pengukuran Output Current

Tabel 6 menyajikan hasil pengukuran arus output (ampere) motor induksi pada berbagai kecepatan putaran (RPM), berdasarkan lima kali percobaan dengan menggunakan pembacaan dari inverter (VFD). Nilai rata-rata dari percobaan tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran aktual yang dilakukan menggunakan multimeter digital untuk menentukan tingkat akurasi sistem. Data ini digunakan untuk mengevaluasi akurasi sistem pemantauan arus motor dalam kondisi tanpa beban.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Output Current

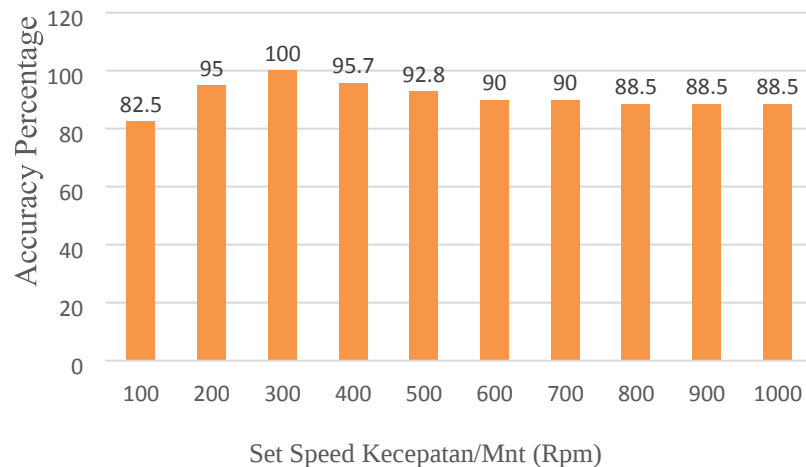
No	Kecepatan/ Mnt	Pengukuran VFD (Ampere)					Rata-Rata	Multi meter	Akurasi (%)
		1	2	3	4	5			
1	100	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,47	82,5
2	200	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,63	95
3	300	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	100
4	400	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,73	95,7
5	500	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,75	92,8
6	600	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,77	90
7	700	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,77	90
8	800	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,78	88,5
9	900	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,78	88,5
10	1000	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,78	88,5

Berdasarkan grafik pengujian arus tanpa beban pada Gambar 9, terlihat bahwa pada kecepatan rendah (sekitar 100 RPM), arus motor yang tercatat adalah 0,4 A, sementara pada kecepatan di atas 200 RPM, arus stabil di angka 0,7 A. Kenaikan ini terjadi meskipun tanpa adanya beban eksternal, yang menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi dan tegangan output dari VFD menyebabkan peningkatan arus magnetisasi untuk mempertahankan operasi motor. Selain itu, kerugian internal motor juga meningkat pada kecepatan yang lebih tinggi, sehingga membutuhkan arus tambahan untuk kompensasi. Pembacaan tampilan pada inverter (VFD) cenderung membulatkan nilai desimal ke atas atau ke bawah tergantung pada logika internal sistem. Umumnya, hanya satu angka di belakang koma yang ditampilkan untuk mengoptimalkan kecepatan tampilan dan keterbacaan.



Gambar 9. Grafik Pengukuran Output Current

Berdasarkan grafik perbandingan (Gambar 10) antara hasil pemantauan arus melalui program PLC dan pengukuran langsung menggunakan multimeter, diperoleh tingkat akurasi rata-rata sebesar 91,1%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan arus yang terintegrasi dalam program PLC mampu merepresentasikan kondisi arus motor yang sebenarnya dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Meskipun terdapat sedikit penyimpangan akibat pembulatan dan keterbatasan resolusi sistem pemantauan, nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi dan dapat disimpulkan bahwa sistem ini bekerja secara akurat dan andal dalam menampilkan parameter arus listrik motor.



Gambar 10. Grafik Akurasi Output Current

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan mengintegrasikan inverter LS G100 sebagai slave dan PLC LS XBM-DR16S sebagai master, yang terhubung melalui komunikasi Modbus RTU RS-485. Secara signifikan, sistem ini mampu berfungsi secara efektif tanpa memerlukan modul tambahan (option board). Desain yang sederhana ini memberikan keuntungan besar dalam hal efisiensi biaya dan kemudahan penerapan pada aplikasi industri, di mana pengurangan jumlah komponen tambahan dapat menghasilkan sistem yang lebih efisien.

Sistem ini mampu melakukan pemantauan dan pengendalian parameter utama motor secara real time, termasuk kecepatan (RPM), frekuensi operasi, tegangan keluaran, dan arus (ampere). Kemampuan untuk mengendalikan berbagai parameter secara langsung sangat penting untuk memastikan performa motor tetap optimal di bawah berbagai kondisi operasi. Sistem yang responsif dan dinamis seperti ini sangat dibutuhkan untuk menjaga performa motor sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan aktual motor (RPM) yang diukur memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,6%, menandakan bahwa sistem ini sangat presisi dalam mengendalikan kecepatan motor. Tegangan keluaran menunjukkan hubungan linier terhadap frekuensi, sesuai dengan prinsip V/f konstan, dan mencapai akurasi sebesar 97,2% dibandingkan dengan hasil pengukuran aktual. Selain itu, pengukuran arus keluaran (ampere) menunjukkan akurasi sebesar 91,1%, dengan penyimpangan kecil yang disebabkan oleh pembulatan nilai pada sistem VFD. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya akurat tetapi juga stabil dalam kondisi dunia nyata.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah terbukti efisien, akurat, dan andal untuk pengendalian dan pemantauan motor induksi dalam aplikasi otomasi industri, khususnya untuk skala kecil hingga menengah. Penggunaan komunikasi digital melalui Modbus RTU menyederhanakan proses wiring, meningkatkan kemampuan troubleshooting, dan berkontribusi terhadap efisiensi keseluruhan sistem kendali. Hal ini menjadikan sistem ini sebagai pilihan yang tepat bagi industri yang ingin mengimplementasikan solusi pengendalian motor yang andal dan hemat biaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang tulus kepada Bapak Izza Anshory selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama penelitian. Terima kasih juga kepada orang tua atas doa dan dukungan yang tak henti, serta kepada dosen penguji atas masukan berharga. Penghargaan juga disampaikan kepada rekan-rekan atas semangat dan bantuan selama proses ini.

REFERENSI

- [1] I. Anshory, Jamaaluddin, and A. Wisaksono, *Buku Ajar Dasar Konversi Energi*. UMSIDA Press, 2022. [Online]. Available: <https://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/view/978-623-464-0403/1143>
- [2] A. K. Pratama, E. Zondra, and H. Yuvendius, "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan," vol. 5, no. 1, pp. 35–43, 2020.
- [3] S. Nuari and E. Zondra, "ANALISIS STARTING MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC," vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [4] Y. Pranata, T. Arfianto, and N. Taryana, "Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Inverter 3 Fasa," vol. 4, no. 2, 2018.
- [5] T. Tosin, "Perancangan dan Implementasi Komunikasi RS-485 Menggunakan Protokol Modbus RTU dan Modbus TCP Pada Sistem Pick-By-Light," *Komputika J. Sist. Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 85–91, 2021, doi: 10.34010/komputika.v10i1.3557.
- [6] I. K. Anaam, T. Hidayat, R. Y. Pranata, H. Abdillah, A. Yhuto, and W. Putra, "Vocational Education National Seminar (VENS) Pengaruh trend otomasi dalam dunia manufaktur dan industri," pp. 46–50, 2022.
- [7] M. Budiyanto, K. Prisda, and O. Sihombing, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER ZELIO SOFT2 PADA PROSES OTOMASI INDUSTRI," vol. 1, no. 1, pp. 63–67, 2023.
- [8] M. Nurtanto, H. Sofyan, P. Pardjono, and S. Suyitno, "Development model for competency improvement and national vocational qualification support frames in automotive technology," vol. 9, no. 1, pp. 168–176, 2020, doi: 10.11591/ijere.v9i1.20447.
- [9] W. Witrius and S. Karim, "Desain Monitoring Dan Kontrol Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Protokol Komunikasi Modbus RTU," *J. EEICT (Electric Electron. Instrum. Control Telecommun.)*, vol. 6, no. 2, pp. 26–30, 2023, doi: 10.31602/eeict.v6i2.12934.
- [10] M. Rifa'i, A. Suprajitno, and D. Nugroho, "Implementasi Komunikasi Data Pada Sitem Kendali Motor Induksi Tiga Fasa," *Pros. Konf. Ilm. Mhs. Unissula Klaster Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 100–106, 2020.
- [11] A. Wisaksono, *Buku Ajar Mata Kuliah Pengantar Menejemen Ekonomi Teknik*. UMSIDA Press, 2022. [Online]. Available: <https://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/view/1299>
- [12] M. R. Usman, "Pengantar PLC," no. November, 2022.
- [13] A. Nurhadi, M. jas. Afroni, and B. dwi sulo, "ini dan adanya umpan balik dari output generator yang masuk ke PLC akan menghasilkan kecepatan generator yang stabil meskipun daya yang dibutuhkan menggunakan program aritmatika . Kemudian nilai dari hasil pengolahan data akan dirubah menjadi sinyal dan a," pp. 10–17, 2019.
- [14] A. Saputra, A. Wahyu, F. Rahman, and P. E. Amplifier, "Jurnal Teknologi Elektro , Universitas Mercu Buana SISTEM KOREKSI OTOMATIS PADA MESIN PACKAGING DENGAN PENGENDALI PLC Jurnal Teknologi Elektro , Universitas Mercu Buana," vol. 8, no. 1, pp. 54–57, 2017.
- [15] D. Ajudin, "Pengenalan dasar PLC (Programmable Logic Controllers)," *Wordpress.Com*, no. December, pp. 0–6, 2015.
- [16] A. Supardi, I. Setiyoko, and M. Saifurrohman, "EMITOR : Jurnal Teknik Elektro Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller".
- [17] A. Anton and T. Angraini, "Unjuk Kerja Dan Pemanfaatan Inverter Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *Elektron J. Ilm.*, vol. 5, no. 2, pp. 87–92, 2013, doi: 10.30630/eji.5.2.59.
- [18] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2018.
- [19] R. A. Rangkuti and E. Zondra, "STUDI PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)," vol. 14, no. April, pp. 121–128, 2020.
- [20] Nurpadmi, "FORUM TEKNOLOGI Vol. 01 No. 2," vol. 01, no. 2.
- [21] I. Anshory, A. Wisaksono, J. Jamaaluddin, and A. Fudholi, "Implementation of ARM STM32F4 microcontroller for speed control of BLDC motor based on bat algorithm," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 127–135, 2024, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i1.pp127-135.

- [22] L. Yuwanto, “Pengantar metode penelitian eksperimen,” p. 354, 2018.
- [23] J. Jamaaluddin, I. Anshory, and S. D. Ayuni, “Analysis of Overcurrent Safety in Miniature Circuit Breaker with Alternating Current,” vol. 5, no. 2, pp. 68–73, 2021.
- [24] J. Jamaaluddin and S. Sumarno, “Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33, 2017, doi: 10.21070/jeee-u.v1i1.375.
- [25] F. X. Ariwibisono and W. P. Muljanto, “Implementasi Sistem Monitoring Produksi Energi PLTS Berbasis Protokol,” vol. 17, pp. 109–118, 2023.
- [26] X. G. T. Series, *XGT Series*. 2006. [Online]. Available: [https://www.lselectric.com/upload/customer/download/631/XG5000\(080812\).pdf](https://www.lselectric.com/upload/customer/download/631/XG5000(080812).pdf)
- [27] L. LS ELECTRIC Co., “LSLV-G100-ins-EN.” [Online]. Available: <https://www.tme.com/Document/b0e3894a8e33eaf97a12153a77f8c868/LSLV-G100-INS-EN.pdf>
- [28] L. LS ELECTRIC Co., “XBM-DN16S,DN32S,dr16s.” [Online]. Available: <https://www.otomasyononline.com/download/LSLG/XBM-DN16S,DN32S,DR16S.pdf>
- [29] K. Santosa and A. NurRachman, “RANCANG BANGUN SISTEM PANTAU TEMPERATUR PADA MODEL SUNKUP PLTN DENGAN PLC XBM-DR16S,” pp. 123–129, 2011.
- [30] J. Lai, X. Lu, F. Wang, and P. Dehghanian, “Fully-Distributed Gossip Control for Voltage Regulation of Inverter-based DRs in P2P Microgrids”.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.