



Sistem Kendali *Up/Down* dan *8-Speed* Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis PLC Outseal, VFD, dan HMI pada Mesin Simulasi PLTMh

Up/Down and 8-Speed Control System for a Three-Phase Induction Motor Based on Outseal PLC, VFD, and HMI in a Micro-Hydro Power Plant Simulator

Farhan Adeputra Maspeke^{1*}, Jaqclin Carolina Tamaka¹, Moody Noldy Tumembow¹, Franklin Bawano¹, Tammy Tiny Veisy Pangow¹

Abstrak

Mesin simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado masih menggunakan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa secara manual melalui VFD. Penelitian ini bertujuan merancang, mengintegrasikan, dan menguji fungsi sistem kendali kecepatan berbasis PLC Outseal Nano V5, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE. Pengujian fungsional dilakukan pada dua mode kendali, yaitu mode *Up/Down* dan *8-Speed*, dengan rentang frekuensi 5–50 Hz dan kecepatan motor teoritis 145–1450 rpm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi logika keluaran PLC pada terminal LI2, LI3, dan LI4 VFD dapat memanggil *setpoint* frekuensi yang telah dikonfigurasi. Kedua mode kendali beroperasi sesuai rancangan sehingga sistem ini dapat digunakan sebagai media praktikum otomasi motor induksi tiga fasa pada simulasi PLTMh.

Kata Kunci

PLC Outseal; Variable Frequency Drive; Human Machine Interface; motor induksi tiga fasa; simulasi PLTMh

Abstract

The Micro-Hydro Power Plant (PLTMh) simulator at the Mechanical Engineering Department of Politeknik Negeri Manado still uses manual speed regulation for its three-phase induction motor through a VFD. This study aimed to design, integrate, and functionally test a speed control system based on an Outseal Nano V5 PLC, Schneider ATV310 VFD, and Haiwell HMI. The method used was Research and Development (R&D) with the ADDIE model. Functional testing was conducted on two control modes, namely the Up/Down mode and the 8-Speed mode, within a frequency range of 5–50 Hz and a theoretical motor speed of 145–1450 rpm. The results showed that the PLC output logic combinations on the LI2, LI3, and LI4 Terminals of the VFD could call the configured frequency setpoints. Both control modes operated as designed, making the system applicable as a practical learning medium for three-phase induction motor automation in PLTMh simulation.

Keywords

Outseal PLC; Variable Frequency Drive; Human Machine Interface; three-phase induction motor; micro-hydro simulator

¹ *Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado
Jln. Raya Politeknik, Buha, Kec. Mapanget, Kota Manado, Sulawesi Utara, Indonesia*

* farhanmaspeketo2@gmail.com

Dikirimkan: 06 Juni 2026. Diterima: 30 Juni 2026. Diterbitkan: 4 Juli 2026.



PENDAHULUAN

Pendidikan vokasi bidang teknik memerlukan media praktikum yang mampu merepresentasikan prinsip kerja sistem industri secara nyata, terukur, dan mudah dioperasikan oleh mahasiswa. Penggunaan media pembelajaran berbasis simulator relevan dalam pembelajaran vokasi karena dapat membantu peserta didik memahami proses kerja sistem melalui pengalaman praktis yang lebih konkret [1]. Selain itu, pengembangan perangkat elektronik berbasis mikrokontroler dan sistem kendali sederhana juga banyak digunakan dalam pembelajaran teknik untuk memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap hubungan antara input, kontroler, aktuator, dan tampilan informasi [2]. Dalam konteks laboratorium teknik, perangkat kontrol dapat dimanfaatkan untuk mengatur variabel kerja suatu sistem, seperti kecepatan, tegangan, arus, atau parameter operasi lain yang diperlukan dalam kegiatan pengujian [3]. Oleh karena itu, pengembangan sistem kendali pada mesin simulasi menjadi penting untuk mendukung pembelajaran berbasis praktik yang lebih dekat dengan kebutuhan otomasi industri.

Salah satu objek praktikum yang membutuhkan sistem kendali terintegrasi adalah mesin simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh). Pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado, mesin simulasi PLTMh masih menggunakan pengoperasian manual, yaitu aktivasi sistem melalui *Miniature Circuit Breaker* (MCB) dan pengaturan putaran motor induksi tiga fasa melalui tombol pada *Variable Frequency Drive* (VFD). Kondisi tersebut membatasi fleksibilitas pengoperasian karena operator harus melakukan pengaturan secara langsung pada perangkat VFD. Mesin simulasi ini menggunakan generator 11 kVA yang digerakkan oleh motor induksi tiga fasa berdaya 5,5 kW. Dalam sistem simulasi tersebut, motor induksi berperan sebagai penggerak generator sehingga pengaturan frekuensi dan kecepatan motor menjadi bagian penting dalam proses pengendalian simulasi PLTMh.

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan sebagai penggerak dalam sistem industri karena konstruksinya sederhana, andal, dan sesuai untuk berbagai aplikasi beban. Namun, motor induksi memerlukan perangkat pengendali agar kecepatan putarnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasi. VFD merupakan perangkat yang umum digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi dengan mengatur frekuensi dan tegangan keluaran yang diberikan ke motor [4]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan VFD pada motor induksi tiga fasa memungkinkan pengaturan kecepatan secara fleksibel melalui variasi frekuensi operasi. Dalam penelitian ini, VFD Schneider ATV310 digunakan sebagai perangkat pengatur frekuensi motor, sedangkan perintah operasi diberikan melalui sistem kendali berbasis PLC dan HMI.

Pengendalian VFD akan lebih fleksibel apabila diintegrasikan dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *Human Machine Interface* (HMI). PLC berfungsi sebagai pusat logika kendali yang memproses input, menjalankan program, dan mengirimkan output ke perangkat aktuator. Sistem kendali dan monitoring kecepatan motor induksi berbasis PLC yang dilengkapi layar sentuh telah digunakan untuk menyederhanakan pengoperasian dan mempermudah pemantauan sistem dibandingkan sistem konvensional [5]. Integrasi PLC, expansion module, VFD, dan HMI juga telah diterapkan untuk mengendalikan dan memantau kecepatan motor induksi tiga fasa dalam rentang frekuensi operasi tertentu [6]. Selain itu, sistem monitoring kecepatan motor induksi berbasis HMI dan PLC dapat membantu operator membaca kondisi kerja motor melalui tampilan antarmuka [7]. Dengan demikian, integrasi PLC, VFD, dan HMI menjadi pendekatan yang relevan untuk meningkatkan fungsi kendali dan monitoring pada mesin simulasi PLTMh.

PLC Outseal dipilih dalam penelitian ini karena dapat digunakan untuk pengontrolan motor induksi tiga fasa dan mendukung pemrograman berbasis *ladder diagram* [8]. Penggunaan PLC Outseal juga relevan dalam konteks pendidikan vokasi karena perangkat ini dapat digunakan

sebagai media pembelajaran sistem kontrol terprogram. Selain PLC, HMI berperan sebagai antarmuka operator untuk mengaktifkan sistem, memilih mode kendali, dan memantau status operasi. Implementasi HMI pada panel kendali motor menunjukkan bahwa antarmuka visual dapat membantu proses pengoperasian dan pemantauan motor listrik secara lebih terstruktur [9]. Pada penelitian ini, HMI Haiwell digunakan sebagai media interaksi operator dengan PLC Outseal, sedangkan VFD Schneider ATV310 berfungsi menerima perintah dari PLC untuk mengatur frekuensi motor.

Kebutuhan *retrofit* pada mesin simulasi PLTMh juga berkaitan dengan pentingnya sistem kontrol pada pembangkit listrik skala kecil. Pada sistem PLTMh, pengendalian dan pemantauan parameter operasi diperlukan agar sistem dapat bekerja lebih terarah sesuai kebutuhan simulasi dan praktikum. Studi mengenai sistem kontrol penstabil tegangan pada PLTMH menunjukkan bahwa PLC dapat digunakan sebagai perangkat pengendali dalam sistem pembangkit mikrohidro untuk menjaga parameter operasi tertentu [10]. Sementara itu, penelitian terbaru tentang sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis VSD, PLC, dan HMI menunjukkan bahwa kombinasi perangkat tersebut dapat diterapkan untuk mengatur mode operasi motor melalui antarmuka operator [11]. Penelitian lain mengenai *trainer kit* pengendalian putaran motor tiga fasa berbasis VFD, PLC Outseal, dan HMI juga menunjukkan bahwa integrasi perangkat tersebut sesuai digunakan sebagai media praktikum untuk memahami dasar pengendalian motor di laboratorium teknik [12].

Berdasarkan penelitian terdahulu, integrasi PLC, VFD, dan HMI telah banyak digunakan untuk pengendalian motor induksi tiga fasa, monitoring kecepatan, dan pengembangan *trainer kit* otomasi. Namun, penerapan sistem kendali berbasis PLC Outseal Nano V5, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell pada mesin simulasi PLTMh di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado masih belum tersedia. Selain itu, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya menggantikan pengaturan manual pada VFD, tetapi juga menyediakan dua mode kendali kecepatan, yaitu mode bertahap *Up/Down* dan mode pemilihan *8-Speed* melalui HMI. Celah tersebut menjadi dasar pengembangan sistem kendali dalam penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengintegrasikan sistem kendali motor induksi tiga fasa berbasis PLC Outseal Nano V5, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell pada mesin simulasi PLTMh. Secara khusus, penelitian ini mengevaluasi fungsi sistem melalui pengujian dua mode kendali kecepatan, yaitu mode *Up/Down* dan mode *8-Speed*. Evaluasi difokuskan pada kemampuan sistem dalam memanggil *setpoint* frekuensi yang telah dikonfigurasi melalui kombinasi logika output PLC menuju terminal input digital VFD. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan sistem kendali terintegrasi yang dapat digunakan sebagai media praktikum otomasi motor induksi tiga fasa pada simulasi PLTMh di lingkungan pendidikan vokasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE, yang terdiri atas tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Model ADDIE digunakan karena sesuai untuk penelitian pengembangan perangkat atau media pembelajaran yang memerlukan tahapan sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan, pembuatan produk, penerapan, sampai evaluasi [13]. Pendekatan serupa juga digunakan dalam pengembangan trainer PLC Outseal sebagai media praktikum sistem kendali industri melalui tahapan analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi [14]. Dalam penelitian ini, model ADDIE diterapkan untuk mengembangkan sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa pada mesin simulasi PLTMh melalui integrasi PLC Outseal Nano V5, VFD Schneider ATV310, HMI Haiwell, *relay*, tombol fisik, dan potensiometer.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT), Politeknik Negeri Manado. Kegiatan penelitian mencakup identifikasi kondisi awal sistem, perancangan sistem kendali, pemrograman PLC dan HMI, perakitan perangkat, konfigurasi VFD, serta pengujian fungsional sistem. Objek penelitian adalah sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa pada mesin simulasi PLTMh. Evaluasi difokuskan pada kemampuan sistem dalam menjalankan dua mode kendali kecepatan, yaitu mode *Up/Down* dan mode *8-Speed*.

Komponen utama yang digunakan dalam penelitian disajikan pada [Tabel 1](#). Komponen tersebut dipilih berdasarkan kebutuhan sistem kendali, yaitu pengolahan logika kendali, pengaturan frekuensi motor, antarmuka operator, penerusan sinyal melalui *relay*, catu daya kendali, dan aktuator berupa motor induksi tiga fasa.

Tabel 1. *Komponen Utama Sistem Kendali Motor Induksi Tiga Fasa pada Mesin Simulasi PLTMh*

| No. | Komponen | Spesifikasi |
|-----|--|------------------|
| 1 | <i>Variable Frequency Drive (VFD)</i> | Schneider ATV310 |
| 2 | <i>Programmable Logic Controller (PLC)</i> | Outseal Nano V5 |
| 3 | <i>Human Machine Interface (HMI)</i> | Haiwell |
| 4 | <i>Power Supply DC</i> | 24 V DC / 5 A |
| 5 | <i>Relay DC</i> | 24 V, 8 Channel |
| 6 | Motor Induksi | Tiga fasa |

Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi awal mesin simulasi PLTMh dan kebutuhan sistem kendali yang akan dikembangkan. Pada kondisi awal, aktivasi sistem masih dilakukan melalui *Miniature Circuit Breaker (MCB)*, sedangkan pengaturan putaran motor induksi tiga fasa masih dilakukan secara manual melalui tombol pada VFD. Analisis kebutuhan dilakukan terhadap spesifikasi motor, kebutuhan rentang frekuensi operasi, mode pengaturan kecepatan, kebutuhan antarmuka operator, serta kebutuhan integrasi antara HMI, PLC, *relay*, VFD, dan motor induksi tiga fasa. Berdasarkan analisis tersebut, sistem dikembangkan untuk menyediakan mode kendali *Up/Down*, mode *8-Speed*, dan mode *Multi Speed* melalui potensiometer.

Tahap desain dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem kendali. Alur kendali dirancang dari HMI dan tombol fisik sebagai input operator, kemudian diproses oleh PLC Outseal Nano V5, diteruskan melalui *relay*, dan dikirimkan ke terminal input digital VFD Schneider ATV310 untuk mengatur frekuensi motor induksi tiga fasa. Pada rancangan ini, terminal LI2, LI3, dan LI4 pada VFD digunakan sebagai input logika untuk memanggil kombinasi *preset speed* yang telah dikonfigurasi. Penggunaan terminal logika, fungsi *speed up/down*, dan menu *preset speed* pada ATV310 mengacu pada dokumentasi teknis Schneider Electric yang menjelaskan konfigurasi operasi drive, input logika, dan parameter *preset speed* [15].

Tahap pengembangan dilakukan melalui realisasi rangkaian dan pemrograman sistem. Program *ladder diagram* disusun pada PLC Outseal untuk memproses perintah ON/OFF, reset, mode *Up/Down*, mode *8-Speed*, dan mode *Multi Speed*. Output digital PLC dihubungkan ke *relay* R4, R5, dan R6, kemudian diteruskan ke terminal LI2, LI3, dan LI4 pada VFD. HMI Haiwell dirancang sebagai antarmuka operator untuk menampilkan tombol kendali, status operasi, dan pilihan mode kecepatan. Selain kendali melalui HMI, sistem juga dilengkapi tombol fisik pada panel sehingga operator dapat menjalankan fungsi dasar tanpa bergantung sepenuhnya pada layar HMI. Pada sistem ini, jalur kendali utama mode *Up/Down* dan *8-Speed* menggunakan kombinasi output digital PLC melalui *relay*, sedangkan mode *Multi Speed* menggunakan potensiometer sebagai pengatur frekuensi awal.

Konfigurasi VFD dilakukan dengan memasukkan parameter motor dan parameter kendali kecepatan pada Schneider ATV310. Parameter motor mencakup frekuensi nominal, daya

motor, tegangan, arus, kecepatan nominal, dan batas frekuensi operasi. Parameter kendali kecepatan mencakup mode kontrol terminal, fungsi *preset speed*, dan nilai frekuensi yang dipanggil melalui kombinasi logika LI2, LI3, dan LI4. Nilai *setpoint* frekuensi yang digunakan dalam pengujian adalah 5 Hz untuk mode *Multi Speed* dan 20 Hz, 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz, 45 Hz, serta 50 Hz untuk mode *Up/Down* dan *8-Speed*.

Tahap implementasi dilakukan dengan menjalankan sistem pada mesin simulasi PLTMh. Pengujian dilakukan untuk memverifikasi apakah setiap perintah dari HMI dan tombol fisik dapat diproses oleh PLC, mengaktifkan *relay* yang sesuai, dan memanggil *setpoint* frekuensi pada VFD. Pada mode *Up/Down*, pengujian dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan level kecepatan secara bertahap. Pada mode *8-Speed*, pengujian dilakukan dengan memilih *setpoint* kecepatan secara langsung melalui tombol preset pada HMI. Pendekatan pengujian berbasis variasi frekuensi dan respons sistem HMI-VFD relevan dengan penelitian pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis HMI, yang mengevaluasi hubungan antara frekuensi kerja dan kecepatan motor pada sistem kendali berbasis antarmuka operator [16].

Tahap evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsional terhadap seluruh mode operasi sistem. Pengujian mencakup fungsi ON/OFF, reset, mode *Multi Speed*, mode *Up/Down*, dan mode *8-Speed*. Parameter yang diamati meliputi status input HMI atau tombol fisik, alamat *binary* yang aktif pada program, kombinasi logika keluaran LI2-LI3-LI4, *setpoint* frekuensi yang dipanggil pada VFD, dan kecepatan motor teoritis berdasarkan frekuensi yang digunakan. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa integrasi PLC Outseal Nano V5, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell dapat menjalankan fungsi kendali kecepatan sesuai rancangan. Dengan demikian, metode penelitian ini dibatasi pada pengembangan dan pengujian fungsional sistem, bukan pengujian akurasi kecepatan aktual, efisiensi energi, atau performa sistem pada variasi beban.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Sistem Kendali

Sistem kendali yang dikembangkan menyediakan dua mode pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa, yaitu mode kecepatan bertahap *Up/Down* dan mode pemilihan *8-Speed*. Kedua mode tersebut bekerja berdasarkan kombinasi sinyal digital yang dikirimkan oleh PLC Outseal melalui *relay* R4, R5, dan R6 menuju terminal LI2, LI3, dan LI4 pada VFD Schneider ATV310. Setiap kombinasi logika pada ketiga terminal tersebut digunakan untuk memanggil nilai frekuensi yang telah dikonfigurasi pada parameter *preset speed* VFD. Kombinasi logika input digital VFD ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Logika Input Digital VFD terhadap Referensi Kecepatan

| LI4 <i>8-Speed</i> (507.2) | LI3 <i>4-Speed</i> (507.1) | LI2 <i>2-Speed</i> (507.0) | Referensi Kecepatan |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 0 | <i>Multi Speed</i> |
| 0 | 0 | 1 | <i>Speed 20</i> |
| 0 | 1 | 0 | <i>Speed 25</i> |
| 0 | 1 | 1 | <i>Speed 30</i> |
| 1 | 0 | 0 | <i>Speed 35</i> |
| 1 | 0 | 1 | <i>Speed 40</i> |
| 1 | 1 | 0 | <i>Speed 45</i> |
| 1 | 1 | 1 | <i>Speed 50</i> |

Pada [Tabel 2](#), angka 1 menunjukkan *relay* aktif atau terhubung, sedangkan angka 0 menunjukkan *relay* tidak aktif. Kombinasi terminal LI4, LI3, dan LI2 menghasilkan delapan kondisi referensi kecepatan. Kondisi 0-0-0 digunakan untuk mode *Multi Speed* melalui potensiometer, sedangkan tujuh kombinasi lainnya digunakan untuk memanggil preset frekuensi dari 20 Hz sampai 50 Hz.

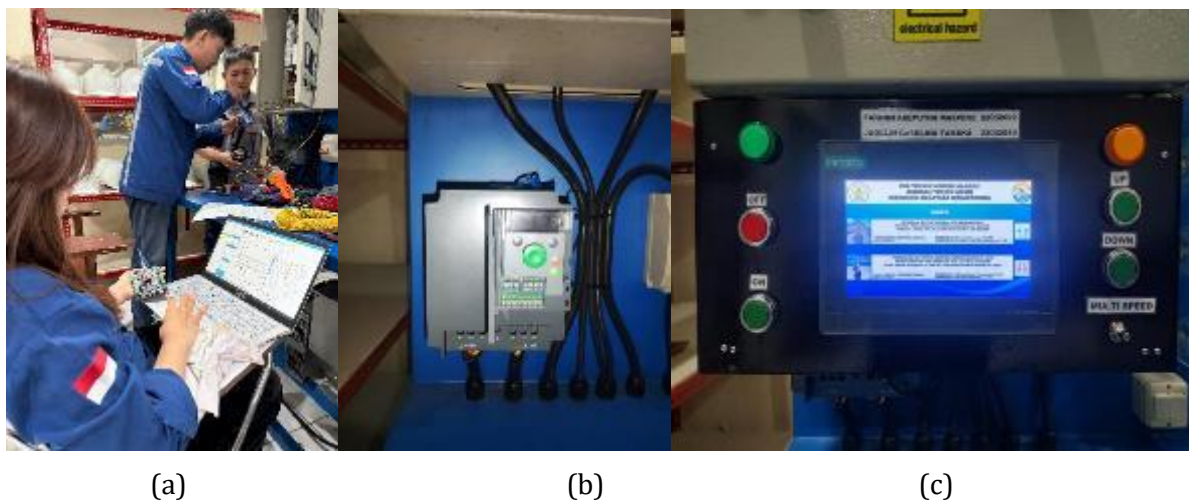
Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem kendali berbasis PLC Outseal, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell dapat diintegrasikan dalam satu sistem kontrol pada mesin simulasi PLTMh. Pengujian dilakukan pada setiap *setpoint* frekuensi yang telah dikonfigurasi. Nilai kecepatan motor yang ditampilkan merupakan kecepatan teoritis berdasarkan perubahan frekuensi pada VFD. Hubungan antara mode kendali, *setpoint* frekuensi, kecepatan teoritis, dan kombinasi output digital ditampilkan pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. *Setpoint Frekuensi, Kecepatan Teoritis, dan Kombinasi Output Digital VFD*

| No. | Mode Kendali | Setpoint Frekuensi (Hz) | RPM Teoritis | Kombinasi Output LI4-LI3-LI2 |
|-----|-----------------------------------|-------------------------|--------------|------------------------------|
| 1 | <i>Multi Speed</i> | 5 | 145 | 0-0-0 |
| 2 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 20 | 580 | 0-0-1 |
| 3 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 25 | 725 | 0-1-0 |
| 4 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 30 | 870 | 0-1-1 |
| 5 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 35 | 1.015 | 1-0-0 |
| 6 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 40 | 1.160 | 1-0-1 |
| 7 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 45 | 1.305 | 1-1-0 |
| 8 | <i>Up/Down</i> dan <i>8-Speed</i> | 50 | 1.450 | 1-1-1 |

[Tabel 3](#) menunjukkan bahwa mode *Multi Speed* berada pada frekuensi awal 5 Hz dengan kecepatan teoritis 145 rpm. Sementara itu, mode *Up/Down* dan *8-Speed* menggunakan tujuh *setpoint* frekuensi dari 20 Hz hingga 50 Hz, dengan kecepatan teoritis 580 rpm hingga 1.450 rpm. Dengan demikian, sistem memiliki delapan kondisi referensi kecepatan, yang terdiri atas satu kondisi *Multi Speed* dan tujuh kondisi *preset speed*.

Perubahan sistem kontrol dari kondisi awal sampai sistem selesai dipasang ditampilkan pada [Gambar 1](#). Dokumentasi ini menunjukkan tahapan visual dari perangkat VFD sebelum penambahan sistem kontrol, proses pemasangan perangkat baru, dan kondisi panel kontrol setelah sistem selesai dibuat.



Gambar 1. Dokumentasi Tahapan Pengembangan Sistem Kontrol: (a) VFD Schneider ATV310 sebelum Penambahan Sistem Kontrol, (b) Proses Pemasangan Sistem Kontrol Baru, dan (c) Sistem Kontrol Setelah Selesai Dirakit

Gambar 1(a) menunjukkan VFD Schneider ATV310 sebelum sistem kontrol baru ditambahkan. Gambar 1(b) memperlihatkan proses pemasangan sistem kontrol, sedangkan Gambar 1(c) menunjukkan panel kontrol setelah perangkat HMI, tombol fisik, lampu indikator, dan potensiometer selesai dipasang. Dokumentasi tersebut memperlihatkan perubahan sistem dari pengoperasian manual melalui VFD menjadi sistem kendali yang dapat dioperasikan melalui HMI dan tombol fisik.

Mode Kecepatan Bertahap Up/Down

Mode kecepatan bertahap *Up/Down* merupakan metode pengaturan kecepatan motor dengan menaikkan atau menurunkan *setpoint* frekuensi secara bertahap. Tampilan HMI untuk mode kecepatan bertahap *Up/Down* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Display HMI Mode Kecepatan Bertahap *Up/Down*

Gambar 2 menunjukkan tampilan HMI yang digunakan untuk mengoperasikan mode *Up/Down*. Pada mode ini, sistem dapat dioperasikan melalui dua jalur input, yaitu tombol pada layar HMI dan tombol fisik yang terpasang pada panel. Kedua jalur input tersebut terhubung ke PLC Outseal dan menghasilkan fungsi kendali yang sama.

Tombol ON dapat ditekan melalui layar HMI dengan alamat B1 atau tombol fisik S1 untuk mengaktifkan sistem. Kondisi aktif ditandai dengan alamat indikator B4 dan B5. Untuk menaikkan kecepatan secara bertahap, operator menekan tombol Up melalui layar HMI B6 atau tombol fisik S3. Untuk menurunkan kecepatan, operator menggunakan tombol Down B7 atau tombol fisik S4. Mode *Multi Speed* dapat diaktifkan melalui B8 dan dikendalikan menggunakan potensiometer pada frekuensi awal 5 Hz. Tombol Reset B3 atau S5 digunakan untuk mengembalikan sistem ke kondisi awal, sedangkan tombol OFF B2 atau S2 digunakan untuk mematikan sistem. Hasil pengujian fungsional mode *Up/Down* ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Fungsional Mode Kecepatan Bertahap *Up/Down*

| No | Langkah | Tombol HMI (Binary) | Tombol Fisik (Switch) | Alamat Binary Aktif | LI4-LI3-LI2 | Frekuensi (Hz) | RPM Teoritis |
|----|------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------|----------------|--------------|
| 1 | Sistem ON | B1 (ON HMI) | S1 (ON Panel) | B1, B4, B5 | 0-0-0 | - | - |
| 2 | Sistem OFF | B2 (OFF HMI) | S2 (OFF Panel) | B2 | 0-0-0 | - | - |

| No | Langkah | Tombol HMI (Binary) | Tombol Fisik (Switch) | Alamat Binary Aktif | LI4-LI3-LI2 | Frekuensi (Hz) | RPM Teoritis |
|----|-------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------|----------------|--------------|
| 3 | Multi Speed | B8 (Multi Speed) | Potensiometer Panel | B8, B16, B17, B18 | 0-0-0 | 5 | 145 |
| 4 | Step 1 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B9, B16 | 0-0-1 | 20 | 580 |
| 5 | Step 2 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B10, B17 | 0-1-0 | 25 | 725 |
| 6 | Step 3 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B11, B16, B17 | 0-1-1 | 30 | 870 |
| 7 | Step 4 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B12, B18 | 1-0-0 | 35 | 1.015 |
| 8 | Step 5 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B13, B16, B18 | 1-0-1 | 40 | 1.160 |
| 9 | Step 6 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B14, B17, B18 | 1-1-0 | 45 | 1.305 |
| 10 | Step 7 | B6 (Up HMI) | S3 (Up Panel) | B15, B16, B17, B18 | 1-1-1 | 50 | 1.450 |
| 11 | Reset | B3 (Reset HMI) | S5 (Reset Panel) | B3 | 0-0-0 | 5 | 145 |

Tabel 4 menunjukkan bahwa mode *Up/Down* dapat memanggil perubahan frekuensi secara bertahap dari 20 Hz sampai 50 Hz melalui tombol Up. Setiap kenaikan step menghasilkan perubahan kombinasi output LI4-LI3-LI2 sesuai konfigurasi *preset speed*. Mode *Multi Speed* dan fungsi reset mengembalikan sistem pada kondisi 0-0-0 dengan frekuensi awal 5 Hz.

Mode Pemilihan Kecepatan 8-Speed

Mode *8-Speed* merupakan metode pengaturan kecepatan motor dengan memilih *setpoint* frekuensi yang telah ditentukan melalui tombol preset pada HMI. Tampilan HMI untuk mode pemilihan kecepatan *8-Speed* ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Display HMI Mode Pemilihan Kecepatan 8-Speed

Gambar 3 menunjukkan tampilan HMI yang menyediakan tombol ON/OFF, mode *Multi Speed*, dan tujuh tombol preset kecepatan dari *Speed 1* sampai *Speed 7*. Pada mode ini, operator dapat memilih frekuensi secara langsung tanpa melalui urutan bertahap seperti pada mode *Up/Down*.

Pengoperasian mode *8-Speed* dimulai dengan menekan tombol ON B19. Setelah sistem aktif, operator dapat memilih *Speed 1* sampai *Speed 7* melalui alamat B23 sampai B29. PLC

Outseal memproses perintah tersebut dan mengaktifkan kombinasi *relay* R4, R5, dan R6 yang sesuai menuju terminal LI2, LI3, dan LI4 pada VFD. Operator juga dapat memilih mode *Multi Speed* B22 untuk pengaturan melalui potensiometer. Setelah selesai, sistem dapat dimatikan menggunakan tombol OFF B20. Hasil pengujian fungsional mode *8-Speed* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Fungsional Mode 8-Speed

| No. | Tombol HMI | Alamat Binary Input Aktif | Alamat Binary Output Aktif | LI4-LI3-LI2 | Frekuensi (Hz) | RPM Teoritis |
|-----|--------------------|---------------------------|----------------------------|-------------|----------------|--------------|
| 1 | ON | B19 | B21 | 0-0-0 | - | - |
| 2 | OFF | B20 | - | 0-0-0 | - | - |
| 3 | <i>Multi Speed</i> | B22 | B37, B38, B39, B40 | 0-0-0 | 5 | 145 |
| 4 | <i>Speed 1</i> | B23 | B30, B38 | 0-0-1 | 20 | 580 |
| 5 | <i>Speed 2</i> | B24 | B31, B39 | 0-1-0 | 25 | 725 |
| 6 | <i>Speed 3</i> | B25 | B32, B38, B39 | 0-1-1 | 30 | 870 |
| 7 | <i>Speed 4</i> | B26 | B33, B40 | 1-0-0 | 35 | 1.015 |
| 8 | <i>Speed 5</i> | B27 | B34, B38, B40 | 1-0-1 | 40 | 1.160 |
| 9 | <i>Speed 6</i> | B28 | B35, B39, B40 | 1-1-0 | 45 | 1.305 |
| 10 | <i>Speed 7</i> | B29 | B36, B38, B39, B40 | 1-1-1 | 50 | 1.450 |

Tabel 5 menunjukkan bahwa mode *8-Speed* dapat memanggil *setpoint* frekuensi secara langsung melalui tombol preset pada HMI. Kondisi *Multi Speed* berada pada kombinasi 0-0-0 dengan frekuensi 5 Hz, sedangkan *Speed 1* sampai *Speed 7* menghasilkan frekuensi 20 Hz sampai 50 Hz. Hasil ini menunjukkan bahwa mode *8-Speed* pada sistem ini terdiri atas satu kondisi *Multi Speed* dan tujuh preset kecepatan melalui HMI.

Penyetelan VFD Schneider ATV310

Penyetelan VFD Schneider ATV310 dilakukan agar parameter VFD sesuai dengan spesifikasi motor induksi tiga fasa dan kebutuhan pengujian sistem. Parameter motor yang dimasukkan pada VFD ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter Motor pada VFD Schneider ATV310

| Alamat Kontrol | Parameter Motor | Keterangan |
|----------------|-----------------|-------------------------|
| 301 | 50 Hz | Frekuensi nominal motor |
| 302 | 5,5 kW | Daya motor |
| 304 | 380 V | Tegangan motor |
| 305 | 12 A | Arus motor |
| 306 | 50 Hz | Frekuensi kerja nominal |
| 307 | 1450 rpm | Kecepatan nominal |
| 308 | 60 Hz | Frekuensi maksimum |

Tabel 6 menunjukkan parameter dasar motor yang digunakan dalam konfigurasi VFD. Parameter tersebut mencakup frekuensi nominal, daya, tegangan, arus, kecepatan nominal, dan batas frekuensi maksimum yang digunakan sebagai dasar penyetelan sistem kendali.

Selain parameter motor, VFD juga dikonfigurasi pada menu pengaturan kecepatan. Parameter *preset speed* yang digunakan pada VFD Schneider ATV310 ditampilkan pada [Tabel 7](#).

Tabel 7. Parameter Preset speed pada VFD Schneider ATV310

| Alamat Kontrol | Parameter | Keterangan |
|----------------|-----------|----------------|
| 507.0 | L2H | 2 Preset speed |
| 507.1 | L3H | 4 Preset speed |
| 507.2 | L4H | 8 Preset speed |
| 507.3 | 20 Hz | Speed 2 |
| 507.4 | 25 Hz | Speed 3 |
| 507.5 | 30 Hz | Speed 4 |
| 507.6 | 35 Hz | Speed 5 |
| 507.7 | 40 Hz | Speed 6 |
| 507.8 | 45 Hz | Speed 7 |
| 507.9 | 50 Hz | Speed 8 |

[Tabel 7](#) menunjukkan bahwa alamat 507.0, 507.1, dan 507.2 digunakan untuk mengatur fungsi *preset speed*, sedangkan alamat 507.3 sampai 507.9 digunakan untuk menentukan nilai frekuensi preset dari 20 Hz sampai 50 Hz. Berdasarkan konfigurasi ini, terminal LI2, LI3, dan LI4 digunakan untuk memanggil variasi frekuensi sesuai kombinasi output digital PLC.

Parameter menu kontrol VFD ditampilkan pada [Tabel 8](#). Parameter ini digunakan untuk mengatur sumber perintah kendali dan prioritas arah putaran pada VFD.

Tabel 8. Parameter Menu Kontrol VFD Schneider ATV310

| Alamat Kontrol | Parameter Kontrol | Kode |
|----------------|---------------------------------|------|
| 201 | 2-Wire Control | 00 |
| 202 | Forward Priority | 02 |
| 407 | Command Channel 1: Terminals | 01 |

[Tabel 8](#) menunjukkan bahwa sistem menggunakan mode *2-Wire Control*, prioritas forward, dan sumber perintah dari terminal. Konfigurasi ini sesuai dengan rancangan sistem yang memanfaatkan terminal input digital VFD sebagai penerima sinyal kendali dari PLC melalui *relay*.

Hasil Dokumentasi Komponen Sistem

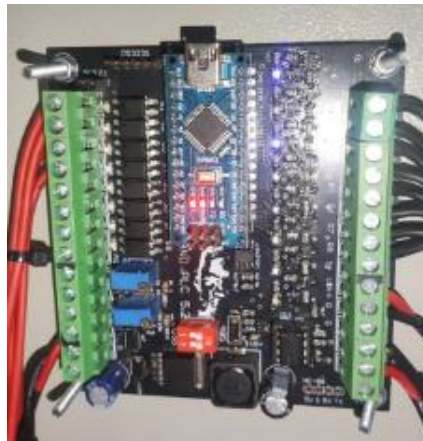
Selain pengujian fungsional, hasil penelitian juga ditampilkan melalui dokumentasi komponen utama yang digunakan dalam sistem kendali. Komponen pertama adalah VFD Schneider ATV310, sebagaimana ditampilkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. VFD Schneider ATV310

Gambar 4 menunjukkan VFD Schneider ATV310 yang digunakan sebagai perangkat pengatur frekuensi motor induksi tiga fasa. Pada sistem ini, VFD menerima kombinasi sinyal input digital dari PLC melalui *relay* untuk memanggil nilai frekuensi yang telah dikonfigurasi.

Komponen pengendali utama yang digunakan adalah PLC Outseal Nano V5. Dokumentasi PLC Outseal ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. PLC Outseal Nano V5

Gambar 5 menunjukkan PLC Outseal Nano V5 yang digunakan sebagai pusat pemrosesan logika kendali. PLC menerima perintah dari HMI dan tombol fisik, kemudian mengaktifkan output digital yang diteruskan ke *relay* dan terminal input VFD.

Relay digunakan sebagai antarmuka antara output PLC dan input digital VFD. Dokumentasi *relay* pada panel sistem ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Relay* sebagai Antarmuka Output PLC dan Input Digital VFD

Gambar 6 menunjukkan susunan *relay* yang digunakan untuk meneruskan sinyal kendali dari PLC Outseal menuju terminal LI2, LI3, dan LI4 pada VFD. *Relay* ini berfungsi sebagai penghubung sinyal digital agar kombinasi *preset speed* dapat dijalankan sesuai perintah dari PLC.

HMI Haiwell digunakan sebagai antarmuka operator pada sistem kendali. Dokumentasi HMI Haiwell ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. HMI Haiwell pada Panel Sistem Kendali

Gambar 7 menunjukkan HMI Haiwell yang dilengkapi tombol fisik ON, OFF, Up, Down, dan *Multi Speed* pada panel. HMI digunakan untuk memilih mode operasi, menjalankan perintah kendali, dan menampilkan status sistem. Tombol fisik pada panel memberikan jalur input tambahan sehingga operator tetap dapat menjalankan fungsi dasar sistem tanpa hanya bergantung pada layar HMI.

Komponen potensiometer digunakan untuk pengaturan mode *Multi Speed*. Dokumentasi potensiometer ditampilkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Potensiometer untuk Pengaturan Mode *Multi Speed*

Gambar 8 menunjukkan potensiometer yang digunakan sebagai pengatur frekuensi pada mode *Multi Speed*. Pada hasil pengujian, mode *Multi Speed* berada pada kondisi kombinasi 0-0-0 dengan frekuensi awal 5 Hz. Selanjutnya, hasil akhir integrasi sistem kendali pada mesin simulasi PLTMh ditampilkan pada **Gambar 9** yang menunjukkan sistem kendali yang telah terpasang pada mesin simulasi PLTMh. Dokumentasi tersebut memperlihatkan bahwa PLC Outseal, VFD Schneider ATV310, HMI Haiwell, *relay*, tombol fisik, dan potensiometer telah diintegrasikan pada satu panel kendali untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa pada mesin simulasi PLTMh.



Gambar 9. Mesin Simulasi PLTMh dengan Sistem Kontrol Baru

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kendali berbasis PLC Outseal, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell dapat menjalankan fungsi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa pada mesin simulasi PLTMh melalui kombinasi logika input digital VFD. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, terminal LI4, LI3, dan LI2 digunakan untuk membentuk delapan kondisi referensi kecepatan, yaitu satu kondisi *Multi Speed* dan tujuh kondisi *preset speed* dari 20 Hz sampai 50 Hz. Pola ini menunjukkan bahwa fungsi pengaturan kecepatan tidak dilakukan melalui input manual langsung pada VFD, tetapi melalui kombinasi sinyal digital dari PLC yang diteruskan melalui *relay*. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip sistem kendali motor induksi berbasis PLC dan VFD, yaitu PLC berperan sebagai pengolah logika kendali, sedangkan VFD berperan sebagai pengatur frekuensi motor [17].

Jika dibandingkan dengan sistem awal yang masih mengandalkan pengoperasian manual pada panel VFD, hasil pada Gambar 1 menunjukkan adanya perubahan bentuk sistem dari pengoperasian langsung pada VFD menjadi sistem kontrol yang terintegrasi dengan panel operator. Perubahan ini penting karena operator tidak lagi hanya bergantung pada tombol bawaan VFD, tetapi dapat mengoperasikan sistem melalui HMI dan tombol fisik yang terhubung ke PLC. Studi integrasi VSD-PLC-HMI pada motor induksi tiga fasa juga menunjukkan bahwa penggabungan perangkat pengendali, pengatur frekuensi, dan antarmuka operator dapat memperluas fungsi kontrol motor dibandingkan sistem yang hanya mengandalkan satu perangkat kendali [18]. Penelitian lain yang menggunakan PLC, SCADA, dan HMI Haiwell juga memperlihatkan bahwa integrasi antarmuka operator dengan sistem kendali motor dapat mendukung pengoperasian dan monitoring sistem secara lebih terpusat [19]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat posisi integrasi PLC-VFD-HMI sebagai pendekatan teknis yang relevan untuk sistem kendali motor induksi pada lingkungan praktikum.

Perbedaan utama antara mode *Up/Down* dan mode *8-Speed* terlihat pada cara operator memilih *setpoint* frekuensi. Berdasarkan Tabel 4, mode *Up/Down* memanggil frekuensi secara bertahap dari 20 Hz hingga 50 Hz melalui tombol Up, sedangkan Tabel 5 menunjukkan bahwa mode *8-Speed* memungkinkan operator memilih preset frekuensi secara langsung melalui tombol *Speed 1* sampai *Speed 7*. Perbedaan fungsi ini juga tercermin pada tampilan HMI dalam Gambar 2 dan Gambar 3. Mode *Up/Down* lebih sesuai untuk pengoperasian bertahap karena perubahan frekuensi dilakukan secara berurutan, sedangkan mode *8-Speed* lebih sesuai untuk pemilihan level kecepatan tertentu tanpa melewati urutan sebelumnya. Simulator kendali motor induksi berbasis PLC dan HMI pada penelitian lain juga menekankan bahwa rancangan antarmuka operator berperan penting dalam membantu pengguna memahami hubungan antara perintah input, logika PLC, dan respons sistem kendali [20]. Dalam konteks penelitian

ini, dua mode kendali tersebut memberikan dua pola pengoperasian yang berbeda, tetapi tetap menggunakan konfigurasi logika terminal VFD yang sama.

Data pada [Tabel 3](#), [Tabel 4](#), dan [Tabel 5](#) menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi dari 5 Hz sampai 50 Hz diikuti oleh peningkatan kecepatan motor teoritis dari 145 rpm sampai 1.450 rpm. Hubungan tersebut konsisten dengan prinsip dasar pengaturan kecepatan motor induksi melalui VFD, yaitu perubahan frekuensi akan mengubah kecepatan putar motor. Beberapa penelitian terbaru mengenai pengendalian motor induksi berbasis VSD, PLC, dan HMI menunjukkan pola serupa, yaitu frekuensi menjadi variabel utama yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor [21], [22]. Namun, hasil pada penelitian ini harus ditafsirkan secara hati-hati karena RPM yang ditampilkan masih berupa kecepatan teoritis, bukan hasil pengukuran aktual menggunakan tachometer atau sensor kecepatan. Oleh karena itu, hasil ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan akurasi kecepatan motor, error kecepatan, atau kestabilan kecepatan terhadap perubahan beban.

Keterbatasan tersebut membedakan penelitian ini dari studi pengendalian motor induksi yang melakukan pengukuran respons aktual, seperti *rise time*, *settling time*, *steady-state error*, atau pengaruh beban terhadap kecepatan motor [23]. Penelitian ini tidak menilai respons dinamis motor atau performa sistem pada berbagai kondisi beban, tetapi berfokus pada pengujian fungsional integrasi perangkat. Dengan demikian, klaim yang dapat ditarik dari hasil penelitian adalah bahwa sistem mampu memanggil *setpoint* frekuensi sesuai konfigurasi terminal LI4-LI3-LI2, bukan bahwa sistem telah memiliki akurasi kecepatan aktual atau performa kontrol yang lebih baik dibandingkan metode lain. Batasan ini penting agar interpretasi hasil tetap sesuai dengan desain dan data pengujian yang tersedia.

Penyetelan VFD pada [Tabel 6](#), [Tabel 7](#), dan [Tabel 8](#) memperlihatkan bahwa keberhasilan sistem tidak hanya bergantung pada program PLC, tetapi juga pada kesesuaian parameter VFD dengan spesifikasi motor dan mode kontrol yang digunakan. Parameter motor pada [Tabel 6](#) menjadi dasar agar VFD bekerja sesuai karakteristik motor induksi tiga fasa yang digunakan. Parameter *preset speed* pada [Tabel 7](#) menentukan frekuensi yang dipanggil oleh kombinasi terminal LI4, LI3, dan LI2, sedangkan [Tabel 8](#) menunjukkan bahwa sumber perintah kendali diarahkan melalui terminal. Kesesuaian antara konfigurasi VFD, output PLC, dan *relay* menjadi faktor penting karena kesalahan parameter dapat menyebabkan *setpoint* yang dipanggil tidak sesuai dengan rancangan. Dalam konteks ini, dokumentasi komponen pada [Gambar 4](#) sampai [Gambar 8](#) membantu menjelaskan bahwa fungsi sistem dibangun melalui hubungan antarperangkat, bukan oleh satu komponen secara terpisah.

Dari sisi perangkat keras, [Gambar 4](#) sampai [Gambar 8](#) menunjukkan peran masing-masing komponen dalam sistem kendali. VFD berfungsi sebagai pengatur frekuensi motor, PLC Outseal menjadi pusat logika kendali, *relay* menjadi antarmuka antara output PLC dan input digital VFD, HMI Haiwell menjadi antarmuka operator, dan potensiometer digunakan pada mode *Multi Speed*. Keterhubungan komponen tersebut menjelaskan mengapa sistem dapat menyediakan dua jalur pengoperasian, yaitu melalui layar HMI dan melalui tombol fisik pada panel. Pada konteks pembelajaran vokasi, sistem yang memadukan perangkat fisik, antarmuka visual, dan logika program dapat membantu mahasiswa mengamati hubungan antara input operator, pemrosesan logika, dan respons aktuator. Penelitian tentang penggunaan teknologi PLC, VSD, dan HMI pada pembelajaran instalasi motor listrik di sekolah vokasi juga menunjukkan bahwa sistem berbasis perangkat nyata dapat memperkuat pengalaman belajar praktik karena peserta didik berinteraksi langsung dengan komponen kontrol industri [24].

Implikasi pendidikan dari penelitian ini terletak pada potensi sistem sebagai media praktikum otomasi motor induksi tiga fasa. Hasil akhir pada [Gambar 9](#) menunjukkan bahwa perangkat PLC Outseal, VFD Schneider ATV310, HMI Haiwell, *relay*, tombol fisik, dan potensiometer telah terpasang dalam satu sistem pada mesin simulasi PLTMh. Dalam pembelajaran otomasi, media berbasis *training kit* dan HMI dapat membantu mahasiswa

memahami konsep pemrograman PLC, antarmuka operator, pemetaan input-output, serta hubungan antara frekuensi VFD dan kecepatan motor. Studi tentang *HMI-based control training kit* menunjukkan bahwa penggunaan perangkat kontrol berbasis HMI dapat memperkuat keterampilan otomasi karena mahasiswa tidak hanya mempelajari teori, tetapi juga berlatih menjalankan sistem kontrol secara langsung [25]. Penelitian lain mengenai pengembangan PLC trainer juga menegaskan bahwa keterbatasan media praktik nyata dapat menjadi kendala dalam pembelajaran otomasi, sehingga pengembangan trainer fisik diperlukan untuk menjembatani teori dan praktik [26].

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *retrofit* sistem kontrol pada mesin simulasi PLTMh berhasil diarahkan pada penggantian pola pengoperasian manual menjadi sistem kendali terintegrasi berbasis PLC, VFD, dan HMI. Kontribusi utama penelitian ini bukan pada pengembangan algoritma kontrol baru, melainkan pada integrasi perangkat dan pengujian fungsional dua mode kendali kecepatan dalam satu media praktikum. Mode *Up/Down* memberikan alur perubahan frekuensi secara bertahap, sedangkan mode *8-Speed* memberikan akses langsung ke preset frekuensi yang telah dikonfigurasi. Namun, karena pengujian masih terbatas pada fungsi ON/OFF, reset, *Multi Speed*, *Up/Down*, *8-Speed*, kombinasi output digital, dan RPM teoritis, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mengukur RPM aktual, error kecepatan, respons transien, konsumsi daya, serta kinerja sistem pada variasi beban.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini menghasilkan sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa pada mesin simulasi PLTMh berbasis PLC Outseal Nano V5, VFD Schneider ATV310, dan HMI Haiwell. Sistem yang dikembangkan menggantikan pengoperasian manual pada VFD dengan sistem kendali terintegrasi melalui HMI dan tombol fisik pada panel. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa mode *Up/Down* dan mode *8-Speed* dapat memanggil *setpoint* frekuensi yang telah dikonfigurasi pada VFD. Mode *Up/Down* bekerja secara bertahap, sedangkan mode *8-Speed* memungkinkan pemilihan preset kecepatan secara langsung melalui HMI. Kombinasi output PLC menuju terminal LI2, LI3, dan LI4 pada VFD juga berfungsi sesuai konfigurasi, sehingga sistem dapat menjalankan variasi frekuensi dari mode *Multi Speed* pada 5 Hz sampai preset kecepatan 50 Hz. Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan sebagai media praktikum otomasi dasar untuk membantu mahasiswa memahami integrasi PLC, VFD, HMI, *relay*, potensiometer, dan motor induksi tiga fasa pada simulasi PLTMh.

Saran

Penelitian ini masih terbatas pada pengujian fungsional, sehingga belum mencakup pengukuran RPM aktual, akurasi kecepatan, respons transien, konsumsi daya, dan kinerja sistem pada variasi beban. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan fitur pemantauan parameter motor, seperti arus, tegangan, daya, dan kecepatan aktual pada HMI. Pengembangan berikutnya juga dapat diarahkan pada penggunaan komunikasi berbasis jaringan, seperti Modbus TCP/IP, untuk mendukung pemantauan jarak jauh. Selain itu, pengujian pada berbagai kondisi beban perlu dilakukan agar performa sistem kendali dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] I. Taufiq, M. Y. Setiawan, T. Sugiarto, and H. D. Saputra, "Pengaruh Penerapan Media Pembelajaran CVT Berbasis Simulator terhadap Hasil Belajar Siswa di SMK N 2

- Payakumbuh,” JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 2, no. 1, pp. 119–130, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v2i1.148.
- [2] R. S. Arifin, D. Fernandez, M. Martias, and W. Purwanto, “Perancangan dan Pengembangan Alat Indikator Bahan Bakar Digital untuk Sepeda Motor Berbasis Mikrokontroler Arduino,” JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 2, no. 1, pp. 11–22, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v2i1.129.
- [3] Miswardi, M. Y. Setiawan, T. Sugiarto, D. S. Putra, and Masykur, “Pembuatan Perangkat Kontrol Kecepatan Udara di Terowongan Angin Berbasis Arduino,” JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 1, no. 4, pp. 541–554, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i4.100.
- [4] G. Arrachman, R. Rusdi, and Bustani, “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.
- [5] A. Supardi, U. Umar, I. Setiyoko, and M. Saifurrohman, “Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* Dilengkapi Layar Sentuh,” Emitor: Jurnal Teknik Elektro, vol. 22, no. 1, pp. 65–72, 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i1.15784.
- [6] 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, 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i2.19110.
- [7] I. Rifaldo and M. Yuhendri, “Sistem Monitoring Kecepatan Motor Induksi dengan HMI Berbasis PLC,” JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 3, no. 2, pp. 319–325, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i2.264.
- [8] W. S. Alfira and K. Riyadi, “Kelayakan PLC Outseal pada Pengontrolan Motor Induksi 3 Fasa,” Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, vol. 7, no. 1, pp. 106–110, 2022.
- [9] A. A. Akbar, A. Stefanie, and N. Wahyudi, “Implementasi *Human Machine Interface* untuk Panel Motor Control Center Perusahaan Kelapa Sawit di PT. Solusi Indosistem Otomat,” TEKTRIKA: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika, vol. 7, no. 2, pp. 42–49, 2022, doi: 10.25124/tektrika.v7i2.5628.
- [10] R. Rimbawati, C. Cholish, E. Saputro, and P. Harahap, “Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 pada PLTMH Bintang Asih,” RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi, vol. 3, no. 2, pp. 62–70, 2021.
- [11] Y. A. Volta, A. Suyadi, A. Firmansyah, and I. Fadly, “Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan VSD Berbasis HMI PLC Omron CP1E N40,” Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol. 27, no. 4, pp. 209–215, 2025, doi: 10.14710/transmisi.27.4.209-215.
- [12] D. P. Hosang, M. N. Tumembow, and V. G. J. Darosa, “Rancang Bangun *Trainer kit* Praktikum Pengendalian Putaran Motor Tiga Fasa dengan VFD Berbasis PLC Outseal dan HMI dengan Implementasi Sepuluh Tombol,” Jurnal Masina Nipake, vol. 5, no. 1, pp. 121–133, 2025.
- [13] A. Rustandi and Rismayanti, “Penerapan Model ADDIE dalam Pengembangan Media Pembelajaran di SMPN 22 Kota Samarinda,” Jurnal Fasilkom, vol. 11, no. 2, pp. 57–60, 2021, doi: 10.37859/jf.v11i2.2546.
- [14] B. D. Waluyo, B. Sitompul, E. E. Y. Sitompul, S. S. Marpaung, S. A. Ramadhani, and T. V. Simatupang, “Pengembangan Trainer PLC Berbasis Outseal untuk Rangkaian Kendali PLC,” Jurnal Teknologi Pendidikan (JTP), vol. 18, no. 2, pp. 74–79, 2025, doi: 10.24114/jtp.v18i2.70205.

- [15] Schneider Electric, "ATV310 User Manual," Version 12, Document Reference EAV94277, Schneider Electric, 2026.
- [16] R. F. Tsany, F. S. Hadisantoso, and A. Suryadi, "Aplikasi *Human Machine Interface* pada Pengaturan *Speed* Motor Induksi 3 Fasa," *Jurnal RAMATEKNO*, vol. 3, no. 2, pp. 54–58, 2023.
- [17] S. Vadi, R. Bayindir, Y. Toplar, and I. Colak, "Induction Motor Control System with a *Programmable Logic Controller (PLC)* and Profibus Communication for Industrial Plants: An Experimental Setup," *ISA Transactions*, vol. 122, pp. 459–471, 2022, doi: 10.1016/j.isatra.2021.04.019.
- [18] Harrij Mukti K., R. Duanaputri, Rachmat Sutjipto, Dhimas Dhesah K., and M. F. Hakim, "Integrated VSD-PLC-HMI Based *Speed* Control System for Three-Phase Induction Motor in Vertical Drive Applications," *Proceeding of International Joint Conference on UNESA*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, Sep. 2025. [Online]. Available: <https://proceeding.unesa.ac.id/index.php/pijcu/article/view/6522>
- [19] E. Damayanti and A. Leanardi, "Rancang Bangun Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis PLC SCADA dengan HMI Haiwell melalui Sistem Jarak Jauh," *Jurnal TEDC*, vol. 20, no. 1, pp. 6–13, 2026, doi: 10.70428/tedc.v20i1.1438.
- [20] K. Priyanto, I. E. Sudjana, H. N. Almay, Kriswanto, Haikal, Rahmat, and S. Enita, "Design and Implementation of a 3-Phase Induction Motor Controller Simulator Using PLC and HMI Integration," *Infotekmesin*, vol. 17, no. 01, pp. 89–95, Jan. 2026, doi: 10.35970/infotekmesin.v17i1.2750.
- [21] N. R. Putri and M. Yuhendri, "Three-Phase Induction Motor Control Using Scalar Control Method Based on the *Internet of Things (IoT)*," *Journal of Industrial Automation and Electrical Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 29–35, 2025, doi: 10.24036/jiaee.v2.i2.pp29-35.
- [22] M. Yuhendri, J. Siregar, D. C. Riawan, N. N. Mohamed, Taali, and F. Hanifah, "Vector Control of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor Based on *Internet of Things*," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 15, no. 3, pp. 22312–22318, 2025, doi: 10.48084/etasr.9790.
- [23] A. R. Al Tahtawi, S. Yahya, P. Elbizzar, and S. M. Ilman, "*Speed* control of three phase 1.5 kW induction motor using VSD LS SV015IG5A-2 with proportional integral anti-windup method," *Journal of Fuzzy Systems and Control*, vol. 2, no. 3, pp. 140–146, 2024, doi: 10.59247/jfsc.v2i3.242
- [24] I. M. Suginardha, K. I. Ismara, M. Supriadi, D. Hariyanto, and S. Meunmany, "Enhancing Electric Motor Control of Electric Motor Installation in Indonesian Vocational Schools Using PLC and VSD Technology with HMI," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 77–92, 2025, doi: 10.21831/jee.v9i1.84503.
- [25] Aswardi, D. T. P. Yanto, C. Dewi, H. Zaswita, M. Kabatiah, and R. Kurani, "*Human Machine Interface*-Based Control Training kit as Innovative Learning Media to Enhance Students' Automation Control Skills in the Industry 4.0 Era," *TEM Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 2157–2165, 2023, doi: 10.18421/TEM124-26.
- [26] F. Widinata and I. M. Wirawan, "Development of *Programmable Logic Controller (PLC)* Trainer Learning Media for Industrial Automation," *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, vol. 6, no. 2, pp. 766–783, 2025, doi: 10.51276/edu.v6i2.1229.

Halaman ini sengaja di kosongkan