

PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN POTENSIO EXTERNAL BERBASIS VFD

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Feri Siswoyo Hadisantoso, ³Ahmad Soleh, ⁴Mokhammad Is Subekti

¹²³Teknologi Listrik, Politeknik Engineering Indorama Purwakarta, ⁴Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Engineering Indorama Purwakarta

¹e-mail: aziz@pei.ac.id.

Abstrak

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu penggerak utama dalam sistem industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, keandalan tinggi, dan efisiensi yang baik. Namun, metode pengoperasian konvensional seperti Direct On Line (DOL) menyebabkan arus awal yang besar serta kurang efisien dalam pengaturan kecepatan motor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan Variable Frequency Drive (VFD) terhadap perubahan arus kumparan stator dan kecepatan putaran motor. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian eksperimental pada motor induksi tiga fasa dengan variasi frekuensi 5 Hz, 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz menggunakan VFD dengan pengaturan potensiometer eksternal. Parameter yang diamati meliputi kecepatan putaran motor (RPM) dan arus kumparan stator (A). Berdasarkan hasil pengukuran Pengujian Tanpa Beban diperoleh bahwa pada frekuensi 25 Hz motor berputar sebesar ± 565 rpm dengan arus sekitar 0,43A, pada 30 Hz sebesar ± 1000 rpm dengan arus 0,43 A, pada 40 Hz sebesar ± 1280 rpm dengan arus 0,43 A, dan pada 50 Hz mencapai ± 1450 rpm dengan arus sekitar 0,43 A. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi pada VFD menyebabkan kenaikan kecepatan putaran motor secara proporsional terhadap frekuensi yang diberikan. Selain itu, arus kumparan stator tidak meningkat dengan kenaikan frekuensi karena motor beroperasi tanpa beban, sehingga arus yang dominan adalah arus magnetisasi yang cenderung stabil sehingga perubahan frekuensi, namun tetap berada dalam batas operasi yang aman. Dibandingkan dengan metode starting langsung (DOL), penggunaan VFD mampu menekan arus awal motor secara signifikan sehingga meningkatkan efisiensi operasi dan keandalan sistem penggerak motor induksi tiga fasa.

Kata kunci: Motor Induksi 3 Fasa, Variable Frequency Drive, Kecepatan Motor, Arus Kumparan.

Abstract

Three-phase induction motors are widely used as prime movers in industrial systems due to their simple construction, high reliability, and good efficiency. However, conventional operating methods such as Direct On Line (DOL) starting produce high inrush current and provide limited capability for speed control. This study aims to analyze the effect of speed control of a three-phase induction motor using a Variable Frequency Drive (VFD) on the stator winding current and motor rotational speed. The research was conducted through an experimental test on a three-phase induction motor with frequency variations of 5 Hz, 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, and 50 Hz using a VFD controlled by an external potentiometer. The observed parameters were motor

Pengendalian motor induksi 3 fasa menggunakan potensio external berbasis vfd

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Feri Siswoyo Hadisantoso, ³Ahmad Soleh, ⁴Mokhammad Is Subekti

rotational speed (RPM) and stator winding current (A). The results of the no-load test show that at 25 Hz the motor rotates at approximately 565 RPM with a current of about 0.43 A, at 30 Hz around 1000 RPM with a current of 0.43 A, at 40 Hz around 1280 RPM with a current of 0.43 A, and at 50 Hz the speed reaches approximately 1450 RPM with a current of about 0.43 A. The results indicate that increasing the frequency supplied by the VFD leads to a proportional increase in motor speed. Meanwhile, the stator current does not significantly increase with the frequency variation because the motor operates under no-load conditions, where the dominant current is the magnetizing current which remains relatively stable. Compared to the Direct On Line (DOL) starting method, the use of a VFD significantly reduces the starting current, thereby improving operational efficiency and reliability of the three-phase induction motor drive system.

Keywords: Three-phase Induction Motor, Variable Frequency Drive, Motor Speed, Winding Current.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada sektor industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, keandalan tinggi, biaya investasi yang relatif rendah, serta kebutuhan perawatan yang minimal. Motor ini banyak diaplikasikan pada berbagai sistem industri seperti pompa, conveyor, kompresor, dan mesin produksi lainnya yang memerlukan sistem penggerak dengan performa stabil dan efisien.

Metode pengaturan kecepatan motor secara konvensional, seperti pengaturan tegangan atau penggunaan sistem mekanis, umumnya menyebabkan penurunan efisiensi dan meningkatkan rugi-rugi pada motor. Selain itu, metode *Direct On Line* (DOL) pada saat starting dapat menghasilkan arus awal yang sangat besar sehingga berpotensi menimbulkan gangguan pada sistem kelistrikan serta mempercepat degradasi isolasi kumparan motor. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pengendalian yang lebih efektif untuk mengatur kecepatan motor sekaligus menjaga kinerja dan umur operasi motor. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Variable Frequency Drive* (VFD). VFD merupakan perangkat elektronika daya yang mampu mengatur kecepatan motor induksi dengan cara mengubah frekuensi dan tegangan suplai yang diberikan ke motor [1],[2]. Melalui metode pengaturan rasio tegangan terhadap frekuensi (*V/f control*), VFD mampu menjaga fluks magnet motor tetap konstan sehingga karakteristik torsi dan efisiensi motor dapat dipertahankan pada berbagai kondisi operasi. Selain itu, penggunaan VFD juga dapat mengurangi arus awal motor secara signifikan sehingga meningkatkan keandalan sistem penggerak dan mengurangi stres listrik pada peralatan.

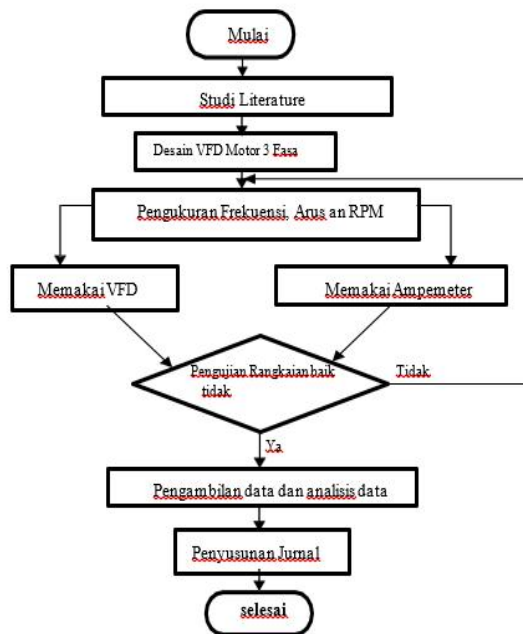
Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penerapan VFD untuk pengendalian kecepatan motor induksi serta dampaknya terhadap efisiensi energi dan performa sistem penggerak [3],[4]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan VFD mampu meningkatkan efisiensi operasi motor dan memberikan fleksibilitas dalam pengaturan kecepatan. Penelitian lain juga menekankan bahwa pengendalian berbasis VFD dapat menurunkan arus starting dibandingkan dengan metode *Direct On Line* [5]. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut lebih berfokus pada aspek efisiensi energi dan karakteristik kecepatan motor, sedangkan analisis hubungan antara variasi frekuensi terhadap perubahan arus kumparan stator secara eksperimental masih terbatas, khususnya pada sistem pengendalian menggunakan potensiometer eksternal sebagai pengatur frekuensi.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat celah penelitian (*research gap*) terkait analisis kuantitatif hubungan antara variasi frekuensi pada VFD terhadap perubahan arus kumparan stator dan kecepatan putaran motor induksi tiga fasa dalam kondisi pengujian workshop. Oleh karena itu, penelitian menawarkan pendekatan eksperimental untuk menganalisis karakteristik arus kumparan dan kecepatan motor pada beberapa variasi frekuensi dikendalikan

menggunakan VFD dengan potensiometer eksternal. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi frekuensi pada VFD terhadap kecepatan putaran motor dan arus kumparan stator pada motor induksi tiga fasa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik arus dan kecepatan motor pada sistem pengendalian berbasis VFD serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem penggerak motor yang lebih efisien dan andal di lingkungan industri maupun pendidikan.

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir berperan penting dalam menggambarkan tahapan proses perancangan dan pelaksanaan penelitian secara sistematis. Penelitian diawali dengan tahap inialisasi peralatan serta pengawatan motor induksi tiga fasa yang digunakan. Selanjutnya, pengambilan data dilakukan melalui pengukuran frekuensi dan arus menggunakan Variable Frequency Drive (VFD) serta alat ukur komersial. Hasil analisis tersebut selanjutnya dituangkan dalam bentuk artikel ilmiah. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Penelitian

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian pengendalian motor 3 fasa berbasis VFD yang digunakan untuk pengambilan data dan pengukuran. Berikut ini penjabaran diagram alir sebagai berikut:

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan teoritis dalam penelitian mengenai pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis *Variable Frequency Drive* (VFD). Tahapan ini bertujuan untuk memahami prinsip kerja motor induksi tiga fasa, karakteristik

pengendalian kecepatan, serta pengaruh variasi frekuensi terhadap parameter listrik seperti arus dan torsi motor. Literatur yang digunakan meliputi buku teks, jurnal ilmiah, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan aplikasi VFD dalam sistem penggerak motor industri. Dengan adanya studi literatur ini, diharapkan penelitian yang dilakukan memiliki dasar ilmiah yang kuat serta mampu memberikan hasil yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.1.1. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi tiga fasa bekerja berdasarkan prinsip medan magnet berputar yang dihasilkan oleh arus tiga fasa pada kumparan stator. Medan magnet ini memotong batang konduktor rotor sehingga menimbulkan arus induksi pada rotor. Interaksi antara medan magnet stator dan arus rotor menghasilkan gaya Lorentz yang menyebabkan rotor berputar [6][7]. Berikut ini spesifikasi motor 3 fasa yang digunakan

Table 1. Spesifikasi motor 3 fasa

Uraian	Data
Merek	Teco
Tegangan (V)	380
Frekuensi (Hz)	50
Power (HP)	1
Arus Nominal (A)	3,5

2.1.2. Variable Frequency Drive (VFD)

Variable Frequency Drive (VFD) adalah perangkat elektronika daya yang berfungsi mengatur kecepatan motor AC dengan cara mengubah frekuensi dan tegangan sumber listrik [8][9]. Secara umum, VFD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

1. Rectifier: Mengubah tegangan AC menjadi DC.
2. DC Link: Menyaring dan menyimpan energi DC.
3. Inverter: Mengubah DC kembali menjadi AC dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur

Table 2. spesifikasi VFD

Uraian	Data
Merek	Danfoss
Tegangan (V)	220
Frekuensi (Hz)	50 Hz
Power (HP)	10 HP
Arus Nominal (A)	11,6A

Dari Tabel 2 diatas menunjukkan spesifikasi Variable Frequency Drive (VFD) yang digunakan dalam sistem. VFD yang digunakan bermerek Danfoss, yang dikenal sebagai salah satu produsen perangkat kendali motor listrik dengan kualitas dan keandalan tinggi di industri. Perangkat ini bekerja pada tegangan 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz, sehingga sesuai dengan standar sistem kelistrikan yang umum digunakan di Indonesia.

2.1.3. Arus Kumparan Motor

Arus kumparan stator motor induksi berbanding lurus dengan beban mekanik yang diterima motor. Semakin besar beban, maka slip motor meningkat sehingga arus rotor dan

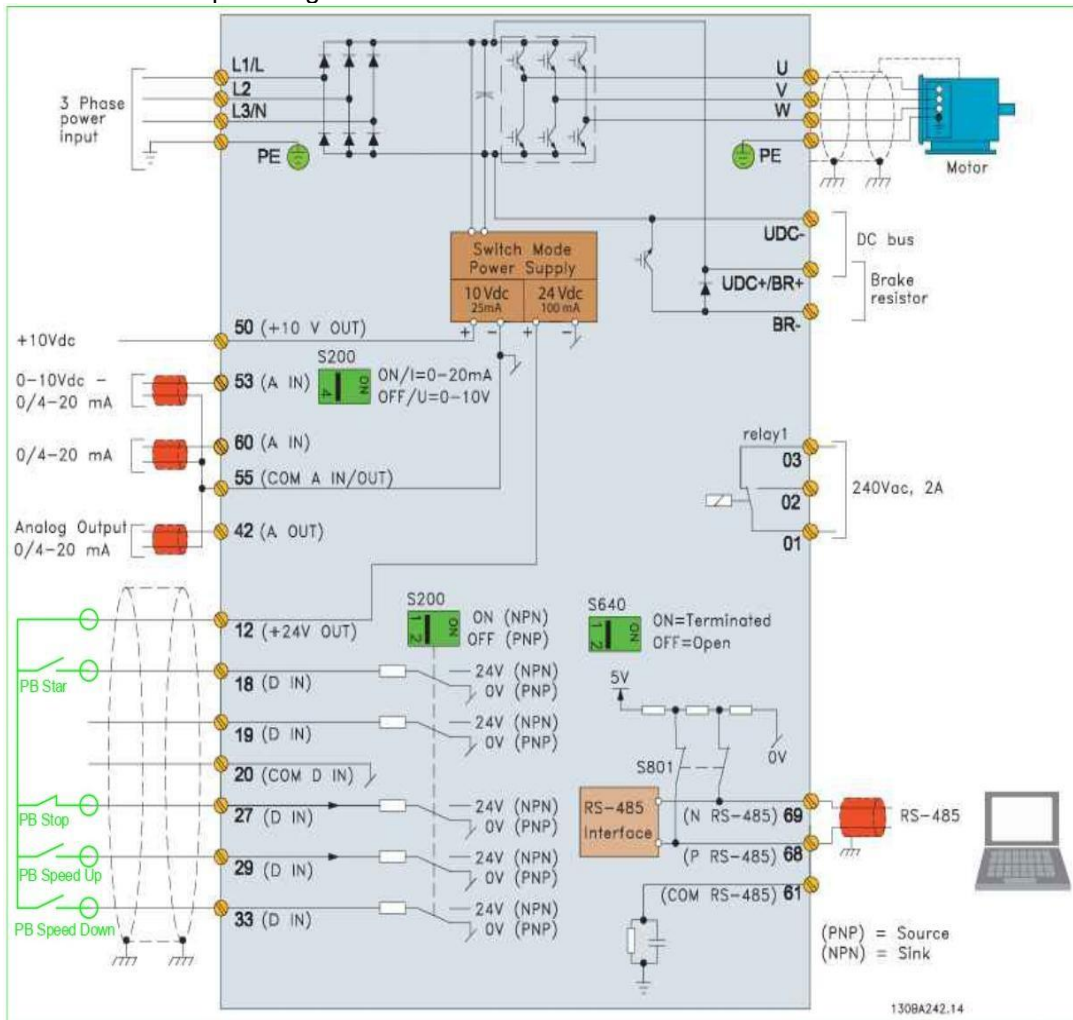
stator juga meningkat. Arus yang berlebihan dapat menyebabkan rugi-rugi tembaga meningkat, panas berlebih, dan penurunan umur isolasi motor. Penggunaan VFD memungkinkan pengaturan arus motor secara lebih terkendali, terutama pada saat starting, sehingga arus awal dapat ditekan hingga 1,2–1,5 kali arus nominal, jauh lebih kecil dibandingkan starting langsung yang dapat mencapai 5–7 kali arus nominal [10][11].

2.2. Pembuatan Desain Rangkaian Variable Frekuensi Drive

Rangkaian VFD Didesain Menggunakan aplikasi proteus. Komponen-komponen yang digunakan antara lain *Variabel Frekuensi Drive*, Emergency Stop - Main Switch, Motor Starter and *Protective Circuit Breaker*, Motor Induksi 3 Fasa.

2.2.1. Rangkaian VFD menggunakan Motor 3 Fasa

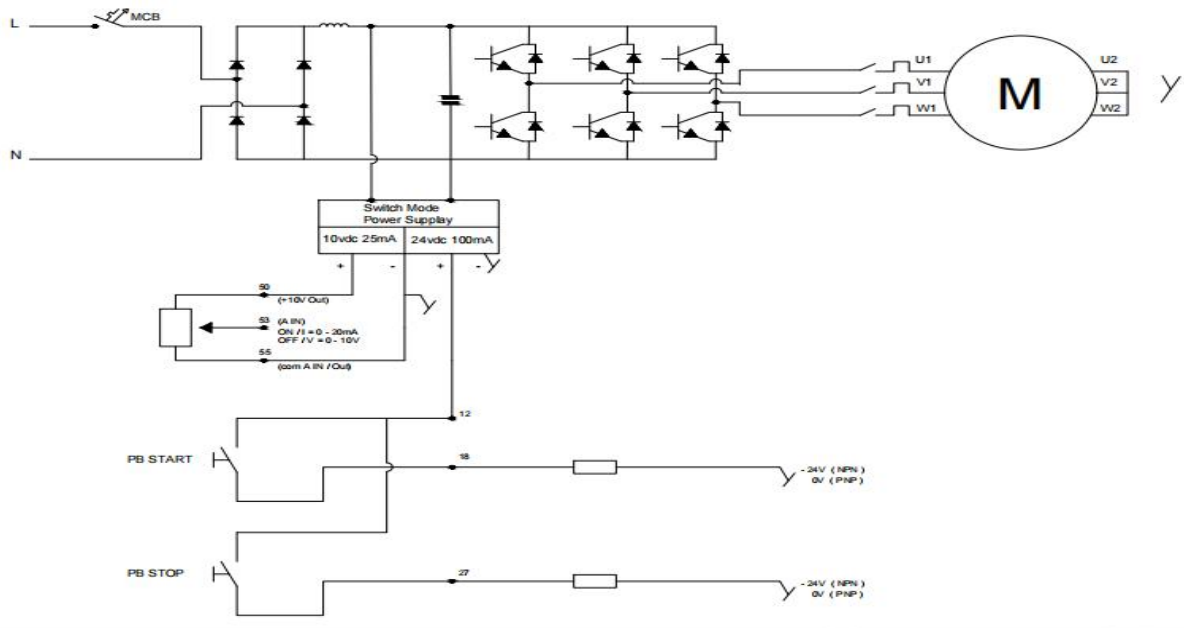
Perancangan sistem pengendali motor tiga fasa menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD). Desain meliputi pemilihan VFD sesuai spesifikasi motor, perancangan rangkaian daya, serta rangkaian kontrol seperti tombol start/stop dan pengaturan kecepatan melalui potensiometer atau panel digital



Gambar 2. Rangkaian VFD Menggunakan Motor 3 fasa

Pengendalian motor induksi 3 fasa menggunakan potensio external berbasis vfd

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Feri Siswoyo Hadisantoso, ³Ahmad Soleh, ⁴Mokhammad Is Subekti



Gambar 3. Wiring Control

Gambar 2 dan 3 di atas merupakan diagram rangkaian dasar pengkabelan *Variable Frequency Drive* (VFD) yang terhubung dengan motor listrik tiga fasa beserta rangkaian kontrolnya. Sumber tegangan satu fasa 220 V yang terdiri dari Line (L) dan Netral (N) terlebih dahulu melewati MCB (Miniature Circuit Breaker) sebagai pengaman terhadap arus lebih dan hubung singkat. Setelah itu, tegangan AC masuk ke bagian penyearah (rectifier) yang tersusun dari dioda bridge untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC)[12][13]. Tegangan DC hasil penyearahan kemudian masuk ke rangkaian DC Bus yang dilengkapi dengan kapasitor dan induktor (choke). Komponen ini berfungsi untuk meratakan dan menstabilkan tegangan DC sebelum diproses lebih lanjut. Dari DC Bus, tegangan disalurkan ke rangkaian inverter yang menggunakan saklar elektronik (IGBT). Inverter ini mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC tiga fasa dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur sesuai kebutuhan pengendalian motor.

Keluaran inverter dihubungkan ke terminal U1, V1, dan W1 yang terhubung ke motor tiga fasa (M). Motor ditunjukkan dalam konfigurasi bintang (Y), dengan terminal U2, V2, dan W2 terhubung secara internal. Melalui pengaturan frekuensi oleh VFD, kecepatan putar motor dapat dikendalikan secara fleksibel dan efisien. Pada bagian kontrol, terdapat switch mode power supply internal yang menyediakan tegangan referensi 10 VDC dan 24 VDC. Tegangan ini digunakan untuk rangkaian input analog dan digital. Input analog berfungsi untuk pengaturan kecepatan, misalnya menggunakan sinyal 0–10 V atau 4–20 mA. Sedangkan input digital digunakan untuk perintah operasi seperti START dan STOP. Secara keseluruhan, gambar tersebut menggambarkan prinsip kerja VFD dalam mengubah sumber tegangan satu fasa menjadi keluaran tiga fasa yang dapat diatur frekuensinya untuk mengendalikan kecepatan motor, lengkap dengan sistem proteksi dan rangkaian kontrol operasionalnya [14][15].

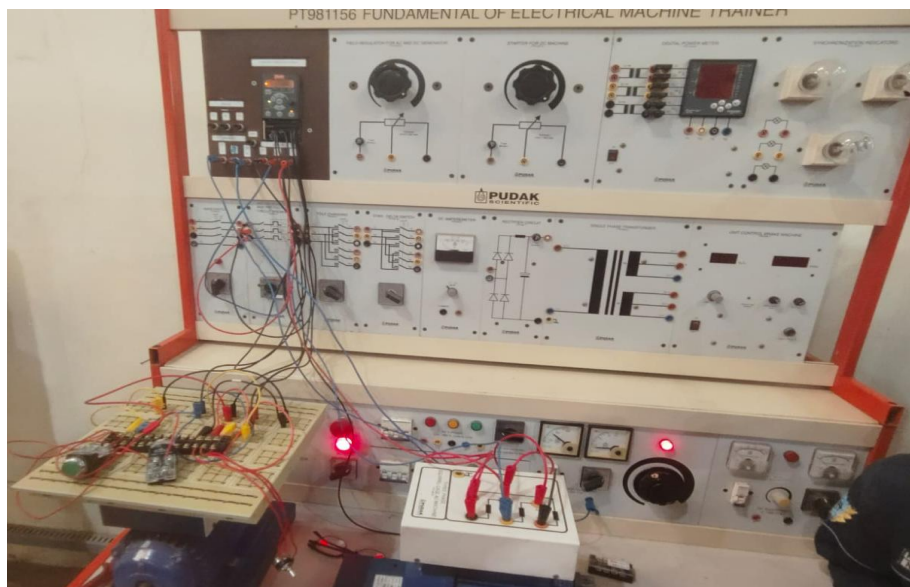
2.3. Prosedur Pengujian

1. Pastikan semua peralatan dalam kondisi OFF.

2. Hubungkan motor induksi 3 fasa ke terminal output VFD (U, V, W).
3. Hubungkan sumber listrik 3 fasa ke input VFD (R, S, T).
4. Pasang potensiometer eksternal pada terminal analog input VFD sesuai diagram.
5. Atur parameter VFD agar mode kontrol frekuensi menggunakan analog input.
6. Nyalakan VFD dan jalankan motor pada kondisi awal.
7. Putar potensiometer secara perlahan dari posisi minimum ke maksimum.
8. Amati perubahan:
 - a. Frekuensi pada display VFD
 - b. Kecepatan motor (RPM) menggunakan tachometer.
9. Catat hasil pengamatan pada beberapa posisi potensiometer
10. Setelah pengujian kembalikan potensiometer ke posisi minimum dan matikan sistem.

2.4. Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan multimeter dan clamp meter untuk mengukur parameter listrik motor induksi tiga fasa yang dikendalikan oleh *Variable Frequency Drive* (VFD). Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan input dan output VFD serta kontinuitas rangkaian, sedangkan clamp meter digunakan untuk mengukur arus pada masing-masing fasa tanpa harus memutus rangkaian.

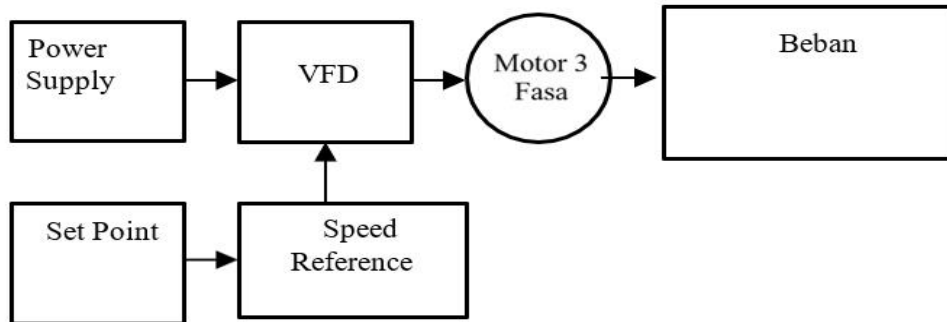


Gambar 4. Pengujian VFD Pada Motor 3 Fasa

Pada gambar 4 pengujian dan Pengukuran dilakukan pada beberapa variasi frekuensi keluaran VFD (10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz) dalam kondisi tanpa beban dan berbeban. Data yang diperoleh meliputi nilai tegangan, arus, dan kestabilan kerja motor. Hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis hubungan antara perubahan frekuensi terhadap arus, serta memastikan bahwa sistem pengendalian kecepatan bekerja secara aman dan sesuai dengan spesifikasi peralatan.

Pengendalian motor induksi 3 fasa menggunakan potensio external berbasis vfd

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Feri Siswoyo Hadisantoso, ³Ahmad Soleh, ⁴Mokhammad Is Subekti



Gambar 5 Blok Diagram

Gambar 5 menunjukkan blok diagram sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis Variable Frequency Drive (VFD). Sumber tegangan AC tiga fasa masuk ke VFD dan terlebih dahulu disearahkan oleh rangkaian penyearah (rectifier), kemudian diratakan oleh rangkaian DC link. Selanjutnya, inverter pada VFD mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat diatur sesuai kebutuhan.

2.5. Pengambilan data dan Analisis Data

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan multimeter dan clamp meter untuk mengukur parameter listrik motor induksi tiga fasa yang dikendalikan oleh *Variable Frequency Drive* (VFD). Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan input dan output VFD serta memastikan kontinuitas rangkaian, sedangkan clamp meter digunakan untuk mengukur arus pada masing-masing fasa motor tanpa memutus penghantar.



Gambar 6. Pengambilan Data Pengukuran

2.5.1. Pengambilan Data Parameter Listrik

Diukur menggunakan multimeter dan clamp meter:

- Tegangan input VFD (Volt)
- Tegangan output VFD (Volt)
- Arus tiap fasa motor (Ampere)

Pengendalian motor induksi 3 fasa menggunakan potensio external berbasis vfd

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Feri Siswoyo Hadisantoso, ³Ahmad Soleh, ⁴Mokhammad Is Subekti

d. Frekuensi output VFD (Hz)

2.5.2. Pengambilan data Mekanik

Diukur menggunakan Tachometer

- Kecepatan putar motor (RPM) menggunakan tachometer
- Torsi (jika menggunakan brake/dynamometer)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diperoleh melalui serangkaian pengujian terhadap sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan potensio external berbasis *Variable Frequency Drive* (VFD) dengan variasi frekuensi kerja dan kondisi pembebanan. Data yang dikumpulkan digunakan untuk menganalisis karakteristik listrik dan kinerja motor, khususnya hubungan antara perubahan frekuensi terhadap kecepatan, arus, dan kestabilan operasi motor.

3.1. Pengujian VFD Terhadap Motor Induksi Dengan Variasi Frekuensi

Pengujian *Variable Frequency Drive* (VFD) terhadap motor induksi dilakukan dengan memberikan variasi frekuensi pada saat motor beroperasi dalam kondisi tanpa beban. Frekuensi keluaran diatur secara bertahap mulai dari 5 Hz hingga 50 Hz. Parameter yang diamati meliputi kecepatan putar motor (RPM), tegangan (V), dan arus (A). Data hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi frekuensi terhadap karakteristik kerja motor induksi, sebagaimana disajikan pada hasil berikut.

Tabel 3. Pengujian tanpa beban VFD Terhadap Motor Induksi Dengan Variasi Frekuensi menggunakan Potensio External.

Frekuensi	RPM	Arus	Tegangan
5	78	0,03	16,9
10	268,2	0,43	152,8
25	565,6	0,43	160
30	1.078	0,43	196,4
40	1.289	0,43	218,2
50	1.498	0,43	232,8

Pada Tabel 3 tersebut menunjukkan hubungan antara frekuensi keluaran VFD terhadap kecepatan putar motor (RPM), arus, dan tegangan kerja motor. Secara umum, terlihat bahwa kenaikan frekuensi berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan putar motor dan tegangan keluaran, sementara arus relatif stabil setelah frekuensi tertentu. Pada frekuensi 5 Hz, motor masih menunjukkan putaran sebesar 78 RPM dengan arus 0,03 A dan tegangan 16,9 V. Kondisi ini menunjukkan adanya tegangan sisa (*residual voltage*) atau pembacaan awal sebelum motor benar-benar berhenti sempurna. Arus 0,43 A pada frekuensi 10–50 Hz terjadi karena motor beroperasi tanpa beban, sehingga arus yang dominan adalah arus magnetisasi yang cenderung stabil sehingga perubahan frekuensi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap arus ketika VFD menjaga rasio V/f tetap konstan.

Pada frekuensi 40 Hz, motor berputar pada 1.289 RPM dengan tegangan 218,2 V. Selanjutnya pada frekuensi maksimum 50 Hz, motor mencapai 1.498 RPM dengan tegangan 232,8 V dan arus tetap 0,43 A. Kecepatan ini mendekati kecepatan nominal motor 4 kutub pada sistem 50 Hz. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi VFD menyebabkan kenaikan kecepatan dan tegangan secara proporsional, sedangkan arus cenderung stabil karena beban motor tidak mengalami perubahan signifikan. Hal ini membuktikan prinsip dasar pengendalian kecepatan motor induksi menggunakan metode pengaturan frekuensi (*V/f control*).

Pengendalian motor induksi 3 fasa menggunakan potensio external berbasis vfd

¹Aziz Yulianto Pratama, ²Feri Siswoyo Hadisantoso, ³Ahmad Soleh, ⁴Mokhammad Is Subekti

Tabel 4. Pengujian beban lampu 5 Watt VFD Terhadap Motor Induksi Dengan Variasi Frekuensi menggunakan Potensio External.

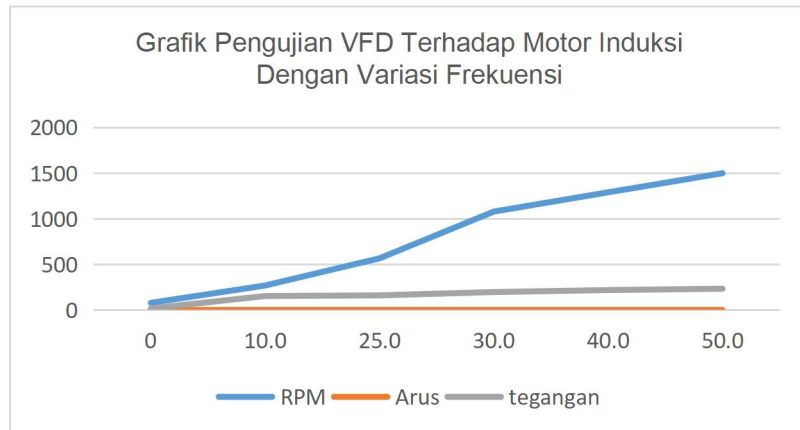
Frekuensi	RPM	Arus	Tegangan
5	70	0,05	16,9
10	250	0,48	152,9
25	540	0,48	162
30	1.040	0,48	198,4
40	1.250	0,49	218,2
50	1.460	0,51	234,8

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, terlihat bahwa peningkatan frekuensi yang diberikan oleh Variable Frequency Drive melalui pengaturan potensiometer eksternal menyebabkan peningkatan kecepatan putaran motor induksi. Pada frekuensi 5 Hz, motor hanya menghasilkan kecepatan sebesar 70 RPM dengan arus sebesar 0,05 A, sedangkan pada frekuensi 50 Hz kecepatan motor meningkat hingga 1460 RPM dengan arus sebesar 0,49 A. Tegangan keluaran VFD juga mengalami peningkatan seiring bertambahnya frekuensi, yang menunjukkan bahwa sistem kontrol V/f pada VFD bekerja untuk menjaga kestabilan operasi motor. Selain itu, arus yang mengalir pada motor relatif stabil pada kisaran 0,48–0,51 A setelah frekuensi mencapai 10 Hz, yang menunjukkan bahwa beban lampu 5 W tidak memberikan perubahan arus yang signifikan terhadap kinerja motor.

Tabel 4. Analisis Error Kecepatan Motor

Frekuensi	RPM Terukur	RPM Teoritis	Error%
5	78	150	48 %
10	268,2	300	10,6 %
25	565,6	750	24,6 %
30	1.078	900	19,8 %
40	1.289	1200	7,4 %
50	1.498	1500	0,13 %

Berdasarkan hasil analisis error, terlihat bahwa pada frekuensi rendah seperti 5 Hz dan 10 Hz, nilai error relatif lebih besar. Hal ini disebabkan karena pada frekuensi rendah motor induksi belum mencapai kondisi operasi yang stabil sehingga putaran rotor masih dipengaruhi oleh rugi-rugi mekanis, slip yang tinggi, serta keterbatasan torsi awal motor. Pada frekuensi yang lebih tinggi seperti 40 Hz hingga 50 Hz, nilai error menjadi jauh lebih kecil. Pada frekuensi 50 Hz, kecepatan motor yang terukur sebesar 1498 RPM sangat mendekati nilai teoritis 1500 RPM, dengan error hanya sekitar 0,13%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian menggunakan Variable Frequency Drive dengan potensiometer eksternal mampu mengatur kecepatan motor dengan akurasi yang baik pada frekuensi mendekati frekuensi nominal. Selain itu, nilai arus yang relatif stabil pada kisaran 0,43 A menunjukkan bahwa perubahan frekuensi tidak memberikan perubahan signifikan terhadap arus motor pada kondisi beban yang digunakan dalam pengujian.

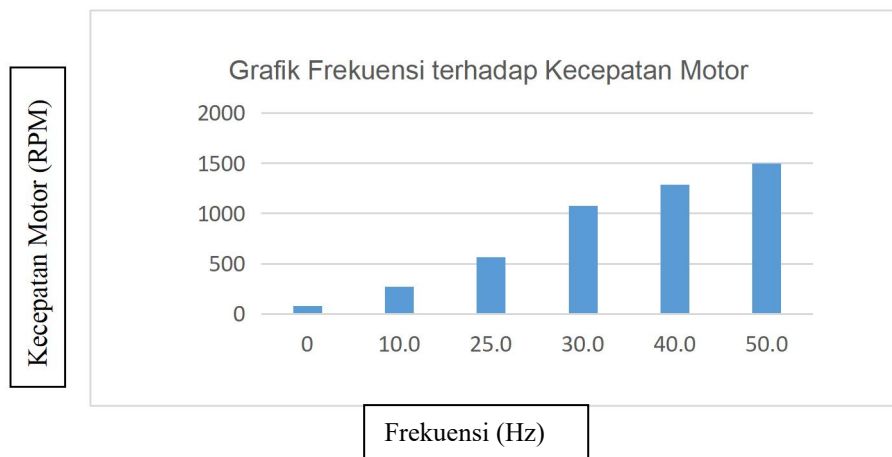


Gambar 7. Pengujian Tanpa Beban VFD terhadap Motor Induksi dengan variasi Frekuensi

Berdasarkan gambar 7 grafik pengujian, kecepatan motor (RPM) menunjukkan peningkatan yang hampir linier seiring dengan kenaikan frekuensi dari 0 hingga 50 Hz. Pada frekuensi 50 Hz, kecepatan motor mencapai sekitar 1450–1500 RPM, yang mendekati kecepatan sinkron motor induksi 4 kutub, yaitu sekitar 1500 RPM. Hal ini menunjukkan bahwa inverter (VFD) mampu mengatur kecepatan putar motor secara efektif melalui pengendalian frekuensi suplai.

Tegangan keluaran VFD juga mengalami peningkatan seiring bertambahnya frekuensi. Pola ini sesuai dengan prinsip pengaturan V/f konstan, yang bertujuan menjaga fluks magnet motor tetap stabil. Dengan demikian, motor tetap mampu menghasilkan torsi yang memadai, khususnya pada kondisi kecepatan rendah. Sementara itu, arus motor cenderung relatif kecil dan stabil, meskipun terdapat sedikit kenaikan pada frekuensi tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa motor bekerja dalam batas normal tanpa mengalami beban berlebih selama pengujian.

3.2. Pengujian Perubahan Frekuensi terhadap Kecepatan Motor

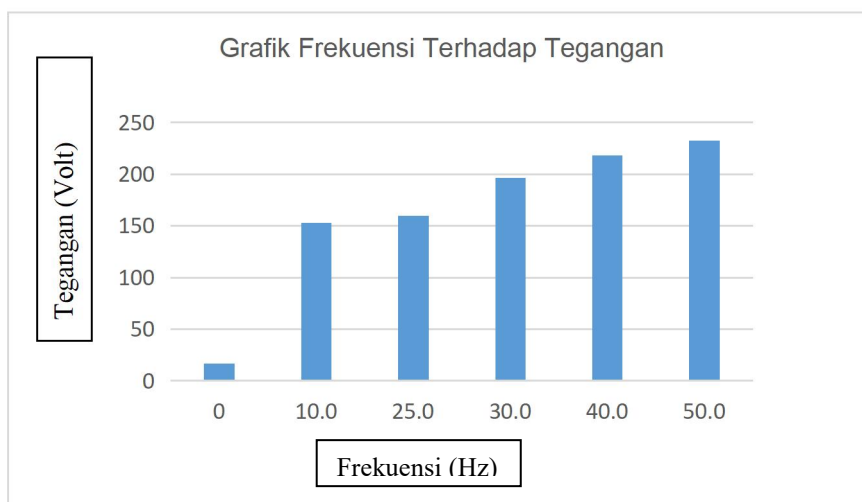


Gambar 8. Grafik Perubahan Frekuensi terhadap Kecepatan Motor

Berdasarkan gambar 8 grafik frekuensi terhadap kecepatan motor, terlihat bahwa peningkatan frekuensi berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan putar motor (RPM). Pada frekuensi 5 Hz, motor belum berputar atau hanya menunjukkan putaran sangat rendah. Ketika frekuensi dinaikkan menjadi 10 Hz, kecepatan motor mulai meningkat secara signifikan. Peningkatan ini terus berlanjut pada 25 Hz dan 30 Hz, di mana kenaikan RPM terlihat semakin besar.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan hubungan yang hampir linier antara frekuensi dan kecepatan motor. Hal ini sesuai dengan teori bahwa kecepatan motor induksi sebanding dengan frekuensi sumber yang diberikan, sehingga pengaturan frekuensi menggunakan VFD efektif dalam mengontrol kecepatan motor.

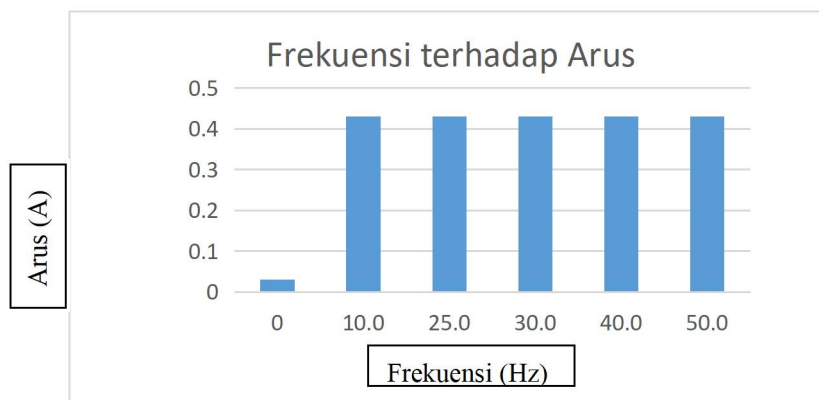
3.3. Pengujian Perubahan Frekuensi terhadap Tegangan



Gambar 9. Perubahan Frekuensi terhadap Tegangan

Berdasarkan gambar 9 grafik frekuensi terhadap tegangan, terlihat bahwa tegangan keluaran meningkat seiring dengan bertambahnya frekuensi. Pada frekuensi 0 Hz, tegangan masih sangat rendah karena motor belum beroperasi. Ketika frekuensi dinaikkan menjadi 10 Hz, tegangan meningkat secara signifikan, kemudian terus bertambah pada 25 Hz dan 30 Hz. Pada frekuensi 40 Hz, tegangan mendekati nilai nominal, dan pada 50 Hz mencapai sekitar 230 V. Pola kenaikan ini menunjukkan bahwa sistem VFD menerapkan prinsip V/f konstan, di mana tegangan dinaikkan secara proporsional terhadap frekuensi untuk menjaga fluks magnet motor tetap stabil. Dengan demikian, motor dapat beroperasi secara optimal tanpa mengalami penurunan torsi pada berbagai tingkat kecepatan.

3.4. Pengujian Perubahan Frekuensi Terhadap Arus



Gambar 10. Perubahan Frekuensi terhadap Arus

Berdasarkan gambar 10 grafik frekuensi terhadap arus, terlihat bahwa pada frekuensi 0 Hz arus motor sangat kecil karena motor belum beroperasi. Ketika frekuensi dinaikkan menjadi 10 Hz, arus meningkat secara signifikan hingga sekitar 0,42 A, kemudian cenderung stabil pada kisaran nilai tersebut hingga frekuensi 50 Hz. Kondisi ini menunjukkan bahwa arus motor relatif konstan meskipun frekuensi dan kecepatan meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa beban motor tidak berubah secara signifikan dan sistem VFD mampu menjaga operasi motor tetap stabil tanpa menyebabkan lonjakan arus yang berlebihan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Variable Frequency Drive (VFD) dengan pengaturan potensiometer eksternal berhasil mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa secara efektif. Penelitian ini membuktikan bahwa peningkatan frekuensi yang diberikan oleh VFD berpengaruh langsung terhadap peningkatan kecepatan putaran motor. Pada pengujian yang dilakukan, peningkatan frekuensi dari kondisi rendah hingga frekuensi maksimum menghasilkan kenaikan kecepatan motor hingga mencapai sekitar 1400–1500 RPM, sementara arus yang mengalir pada motor relatif stabil pada kisaran (0,43–0,51 A) meskipun terjadi perubahan frekuensi dan tegangan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan VFD mampu menjaga kestabilan arus motor dibandingkan dengan pengoperasian motor secara langsung tanpa pengaturan kecepatan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengaturan berbasis VFD tidak hanya berfungsi untuk mengatur kecepatan motor, tetapi juga berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan menjaga kinerja motor agar tetap stabil pada berbagai kondisi pengaturan frekuensi. Kontribusi dari penelitian ini adalah memberikan gambaran implementasi pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan potensiometer eksternal pada VFD sebagai metode yang sederhana, fleksibel, dan mudah diterapkan pada sistem pembelajaran maupun aplikasi industri skala kecil. Metode ini juga dapat menjadi alternatif media praktikum untuk memahami hubungan antara frekuensi, tegangan, arus, dan kecepatan pada motor induksi.

5. SARAN PENELITIAN LANJUT

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, pengujian dengan variasi beban motor, analisis efisiensi energi, serta pengukuran parameter lain seperti torsi dan faktor daya agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kinerja motor induksi yang dikendalikan menggunakan VFD

6. DAFTAR NOTASI

Contoh penulisan notasi dapat diuraikan dengan keterangan sebagai berikut :

A	: Arus
V	: Tegangan
μ	: Rata-rata data.
RPM	: Kecepatan Motor
F	: Frekuensi (Hz)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munfiqoh MK, Aribowo D. Pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan variable frequency-drive (VFD) untuk mendeteksi aliran dan tekanan air pada modul pumps training system PT Festo Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 2022;1(2):24–34.
- [2] Arifin M, Umar U. Analisis perbandingan arus starting motor induksi 3 fasa rangkaian star-delta dengan variable frequency drive. *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*. 2021;189–195.
- [3] Suparyogi D, Buhori A. Rancang bangun alat uji prestasi motor 3 fasa dengan menggunakan inverter VFD jenis XY5-AT1 (model AT1-1500X) dan pembebanan tambahan dengan sistem rem hidrolik. *Journal of Innovation Research and Knowledge*. 2024;4(7):4669–4684.
- [4] Pratama AY, Setiawan I, Hendrawan D, Rizky WY. Sistem monitoring energi listrik menggunakan sensor HLW8012 dan mikrokontroler. *Journal Scientific of Mandalika (JSM)*. 2025;6(3):552–557.
- [5] Jerminan E. Pengaruh frekuensi terhadap performa motor induksi pada sistem penggerak mekanis. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*. 2025;13(3S1).
- [6] Ma'arif ES. Sistem kendali kecepatan motor pompa booster menggunakan VFD dan sensor tekanan berbasis kendali smart relay. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*. 2025;8(1).
- [7] Asmoro PT, Ningtias DWA, Pratama AY, Fatoni AN. Pengaruh integrated circuit pada rangkaian fast charging baterai mobil listrik. *Ramatekno*. 2025;5(1):50–59.
- [8] Aditya IM, Bawano F, Hosang DP. Perancangan sistem kontrol motor listrik pada eretan mesin frais model UH-IF seri no. 1508 berbasis variable frequency drive (VFD). *Jurnal Mesin Wawasan Nusantara*. 2025;1(1):102–109.
- [9] Pratama AY, Asmoro PT, Siswoyo FF, Ishak M, Adha RI, Saputra I. Simulasi dan rancang bangun power supply variabel berbasis MATLAB. *Ramatekno*. 2025;5(2):71–82.
- [10] Dewi C, Yanto DTP, Candra O, Fahlefi M. Trainer kendali motor induksi menggunakan variable frequency drive: pengujian jog dial dan external potentiometer. *JTEIN J Tek Elektro Indones*. 2023;4(1).
- [11] Palupi KE, Sukmadi T, Denis D. Perancangan sistem kontrol kecepatan pada mobil listrik dengan penggerak motor induksi tiga fasa. *Transient J Ilm Tek Elektro*. 2020;9:627–35.
- [12] Nugrahanto I, Riatma PG, Risdhayanti AD. Perancangan variable frequency drive (VFD) satu fasa dengan menggunakan metode sinusoidal pulse width modulation berbasis mikrokontroler. 2022;17:32–44.
- [13] Sumarta P. Desain penggunaan variable frequency drive (VFD) pada starting-up motor induksi 3 fasa menggunakan metode sinusoidal pulse-width modulation (SPWM). *J Al-Azhar Indones Seri Sains Teknol*. 2024.

- [14] Pambudi WS, Widyantoro D, Prabowo YA, Munir M, Putra NPU. Analisa pengaturan kecepatan motor induksi 3 phasa dengan variable frequency drive menggunakan kontrol PID pada pompa booster. *J Inform dan Tek Elektro Terapan*. 2026;14(1).
- [15] Maulana FR, Daud M, Meliala S. Analisis kemunculan harmonisa pada variable frequency drive dan dampaknya terhadap pengaturan kecepatan motor induksi tiga fase. *Electrician J Rekayasa dan Teknol Elektro*. 2024;18(3):322–335.