

PERBANDINGAN *SETPPOINT* KECEPATAN VSD BERBASIS PLC–HMI TERHADAP KECEPATAN AKTUAL MOTOR INDUKSI 3 FASA

¹Mokhamad Is Subekti, ²Fatkur Rachmanu, ³Aziz Yulianto Pratama, ⁴Abdi Bagus Pangestu
Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjineri Indorama
e-mail: subekti.mokhamad@pei.ac.id

Abstrak

Kalibrasi untuk membandingkan antara *setpoint* kecepatan VSD (*Variable Speed Drive*) motor induksi dengan alat ukur penting dilakukan sebelum motor dibebani agar motor berjalan stabil dan sesuai dengan standard yang ditetapkan. Penelitian ini membandingkan kesesuaian *setpoint* kecepatan pada VSD yang diatur oleh PLC (*Programmable Logic Controller*) – HMI (*Human Machine Interface*) dengan kecepatan aktual motor induksi tiga fasa pada kondisi tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan variasi frekuensi VSD dari yang terkecil sebesar 4 Hz sampai yang terbesar 11 Hz baik pada arah putaran forward maupun reverse. Kecepatan aktual motor diukur menggunakan tachometer digital dan dirata-ratakan dari tiga kali pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan aktual motor sedikit lebih rendah dari *setpoint* akibat adanya slip, dengan nilai rata-rata sebesar 0,398% pada rentang kerja masih berada pada daerah toleransi standar BS 37 sebesar $\pm 2\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem HMI–PLC–VSD mampu mengatur kecepatan motor secara stabil dan akurat pada kondisi tanpa beban serta pengendalian sesuai standard yang ditetapkan BS 37.

Kata kunci: motor induksi tiga fasa, VSD, PLC, HMI, *setpoint* kecepatan.

Abstract

Calibration to compare the VSD speed *setpoint* of an induction motor with a tachometer measuring instrument is important before the motor is loaded so that the tolerance is according to the standard. This study compares the suitability of the speed *setpoint* on the VSD regulated by the PLC - HMI with the actual speed of a three-phase induction motor under no-load conditions. Testing was carried out with variations in the inverter frequency in the forward and reverse rotation directions. The actual motor speed was measured using a digital tachometer and averaged from three measurements. The test results showed that the actual motor speed was slightly lower than the *setpoint* due to slip, with an average value of 0.398% in the working range still below the BS 37 standard limit of $\pm 2\%$. These results indicate that the HMI–PLC–VSD system is able to regulate the motor speed stably and accurately under no-load conditions.

Keywords: three-phase induction motor, VSD, PLC, HMI, speed *setpoint*.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan sistem otomasi industri mendorong penggunaan sistem pengendalian yang memungkinkan mesin beroperasi secara terkontrol dan otomatis, sehingga dapat mengurangi keterlibatan manusia secara langsung [1]. Salah satu komponen utama dalam sistem industri adalah motor listrik, khususnya motor induksi tiga fasa yang banyak digunakan karena memiliki konstruksi sederhana, kuat, efisien, serta mudah dalam perawatan [2].

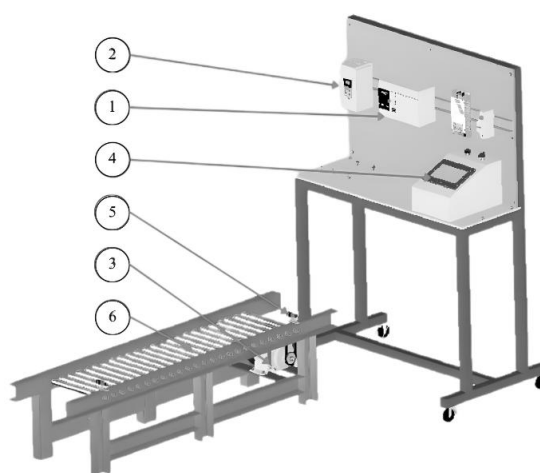
Motor induksi tiga fasa banyak diaplikasikan sebagai penggerak *roller conveyor*, yaitu sistem transportasi material yang digunakan untuk memindahkan barang secara otomatis dan berkesinambungan dalam proses produksi industri [3]. Pengendalian kecepatan motor induksi pada aplikasi ini umumnya dilakukan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) melalui pengaturan frekuensi. Dalam sistem otomasi, *setpoint* kecepatan pada VSD diatur oleh

Programmable Logic Controller (PLC) dengan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai media *input* dan pemantauan. Namun demikian, perbedaan antara *setpoint* kecepatan dan kecepatan aktual motor masih dapat terjadi akibat karakteristik motor dan sistem penggerak.

Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji perbandingan *setpoint* kecepatan pada VSD yang diatur oleh PLC melalui antarmuka HMI terhadap kecepatan aktual motor induksi tiga fasa pada kondisi tanpa beban, guna mengetahui kinerja dan akurasi sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa hasil rancangan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada pengujian unjuk kerja sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)[4], *Variable Speed Drive* (VSD), dan *Human Machine Interface* (HMI) pada aplikasi *roller conveyor*. PLC berfungsi sebagai pengendali utama yang mengatur *setpoint* kecepatan inverter VSD melalui antarmuka HMI, sedangkan motor induksi berperan sebagai aktuator sistem. Desain modul sistem pengendalian yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Modul Pengendali

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. PLC Mitsubishi FX 3G | 4. HMI Weinview MT 60701IE |
| 2. VSD Panasonic VF0 | 5. Sensor <i>Photoelectric</i> |
| 3. Motor Induksi 3 <i>Phase</i> | 6. <i>Roller Conveyor</i> |

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan pengujian yang disusun secara sistematis untuk memperoleh data yang akurat dan konsisten, khususnya pada kondisi tanpa beban. Tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Kecepatan Motor Arah *Forward* pengujian pertama dilakukan pada arah putaran *forward*. Pada tahap ini, kecepatan *setpoint* ditentukan berdasarkan variasi frekuensi inverter yang diatur melalui HMI dan diteruskan oleh PLC ke VSD. Motor induksi dijalankan tanpa beban, kemudian kecepatan aktual motor diukur menggunakan tachometer digital. Setiap variasi frekuensi dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali dan hasilnya dirata-ratakan untuk memperoleh nilai kecepatan aktual yang representatif.
2. Pengujian Kecepatan Motor Arah *Reverse* tahap selanjutnya adalah pengujian pada arah putaran *reverse*. Prosedur pengujian dilakukan dengan cara yang sama seperti pada arah *forward*, yaitu dengan memberikan variasi frekuensi inverter sebagai *setpoint* kecepatan

melalui HMI. Kecepatan aktual motor diukur menggunakan tachometer digital sebanyak tiga kali pada setiap variasi frekuensi, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk dianalisis. Dalam pelaksanaan pengujian ini, digunakan beberapa komponen pendukung yang saling terintegrasi dalam sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa. Fungsi masing-masing komponen yang terlibat dalam pengujian dijelaskan sebagai berikut.

VSD (*Variable Speed Drive*) merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), kemudian dikonversi kembali menjadi arus bolak-balik (AC) dengan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur sesuai kebutuhan [5][6]. Pengaturan frekuensi dan tegangan ini memungkinkan inverter mengendalikan kecepatan putaran motor AC, di mana peningkatan frekuensi akan meningkatkan kecepatan motor dan sebaliknya [2][5]. Secara prinsip, inverter menghasilkan tegangan AC dari sumber DC melalui pembentukan gelombang yang umumnya berbentuk gelombang persegi, bukan sinusoida murni [5]. Dalam aplikasi industri, inverter juga dilengkapi fitur *multispeed* yang memungkinkan pengaturan beberapa tingkat kecepatan motor berdasarkan kombinasi sinyal *input* digital, baik secara manual maupun otomatis melalui PLC, sehingga sistem dapat bekerja lebih fleksibel, andal, dan terintegrasi dengan logika kontrol digital untuk mengurangi kesalahan pengaturan manual [7]. Pada Gambar.2 tampak VSD (*Variable Speed Drive*) [8].



Gambar.2 *Variable speed drive*

Oleh karena itu, untuk mempermudah pengaturan dan pemantauan kerja VSD, digunakan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai media interaksi antara operator dan sistem. HMI (*Human Machine Interface*) merupakan sistem antarmuka yang memfasilitasi interaksi antara operator dan sistem kendali untuk memantau serta mengendalikan proses kerja mesin secara real-time [9]. Dalam sistem pengendalian motor induksi berbasis inverter, HMI berfungsi sebagai media *input* dan visualisasi yang mengirimkan perintah pengaturan ke PLC, kemudian diteruskan ke inverter untuk mengatur kecepatan motor. HMI beroperasi secara online dengan membaca dan menampilkan data melalui *port* komunikasi seperti USB, RS232, atau *port* serial lainnya yang terhubung dengan *controller* [10]. Selain menampilkan status operasi mesin, HMI juga menyediakan elemen kontrol seperti tombol dan indikator, menampilkan alarm saat terjadi kondisi abnormal, serta menyajikan data kinerja sistem dalam bentuk grafik. Gambar 3. menunjukkan contoh tampilan sederhana HMI [10].



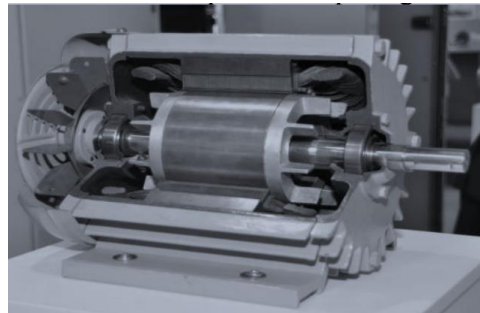
Gambar. 3 Human Machine Interface (HMI)

Sebagai penghubung antara antarmuka HMI dan perangkat kendali lapangan, *Programmable Logic Controller* (PLC) berperan sebagai pusat pengendali dalam sistem otomatisasi industri. PLC merupakan perangkat komputer digital yang dirancang khusus untuk mengotomatiskan proses elektromekanis serta mengendalikan berbagai mesin pada industri skala kecil hingga besar [11]. PLC memiliki kemampuan *input* dan *output* yang dapat dihubungkan dengan sensor dan aktuator untuk menjalankan fungsi kontrol, pemrosesan data, serta sistem pemantauan terpusat [8]. Seluruh proses mulai dari penerimaan sinyal masukan, pengolahan logika, hingga pengambilan keputusan dan pengiriman sinyal keluaran dilakukan oleh PLC sesuai dengan program yang telah dirancang [12][8]. Gambar 4 menunjukkan gambar sederhana PLC [13].



Gambar. 4 Programmable Logic Controller (PLC)

Sebagai aktuator yang dikendalikan oleh sistem PLC, motor induksi tiga fasa merupakan mesin listrik yang berfungsi mengubah energi listrik arus bolak-balik (AC) menjadi energi mekanik berupa putaran [12][14]. Motor induksi tiga fasa tersusun atas dua komponen utama, yaitu stator dan rotor yang dipisahkan oleh celah udara (*air gap*), serta banyak digunakan dalam aplikasi industri karena konstruksinya sederhana dan andal [10][15]. Berdasarkan jenis rotornya, motor induksi tiga fasa dibedakan menjadi *wound rotor* dan *squirrel-cage rotor* [10]. Prinsip kerja motor ini didasarkan pada induksi elektromagnetik, di mana medan putar yang dihasilkan arus stator menginduksi arus pada rotor sehingga rotor berputar dengan kecepatan yang lebih rendah dari kecepatan medan putar, sehingga motor induksi disebut motor tak serempak (*asynchronous*) [11]. Gambar 5. menunjukkan bentuk umum motor induksi tiga fasa [14].



Gambar.5 Motor Induksi 3 Fasa

Kecepatan medan putar atau kecepatan sinkron motor induksi dapat ditentukan berdasarkan frekuensi sumber dan jumlah kutub motor, sedangkan selisih antara kecepatan sinkron dan kecepatan aktual rotor dinyatakan dalam bentuk slip [15]. Hubungan tersebut dinyatakan melalui Persamaan (1) untuk kecepatan sinkron dan Persamaan (2) untuk slip [16].

$$N_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

N_s = Kecepatan sinkron (rpm)

f = Frekuensi sumber (Hz)

p = Jumlah kutub motor

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

S = Slip (%)

N_s = Kecepatan sinkron (rpm)

N = Kecepatan aktual (rpm)

Pada kondisi tanpa beban, nilai slip motor induksi tiga fasa umumnya berada di bawah 1%, yang menunjukkan bahwa motor mampu beroperasi mendekati kecepatan sinkron dan sistem pengendalian berbasis PLC bekerja dengan baik [13].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara kecepatan *setpoint* yang diatur melalui HMI dan kecepatan aktual motor induksi tiga fasa pada kondisi tanpa beban. Pengujian dilakukan pada dua arah putaran, yaitu *forward* dan *reverse*. Kecepatan *setpoint* ditentukan berdasarkan frekuensi inverter, sedangkan kecepatan aktual diukur menggunakan tachometer digital. Setiap variasi frekuensi diukur sebanyak tiga kali dan dirata-ratakan, dengan hasil pengujian disajikan pada sub bab berikut.

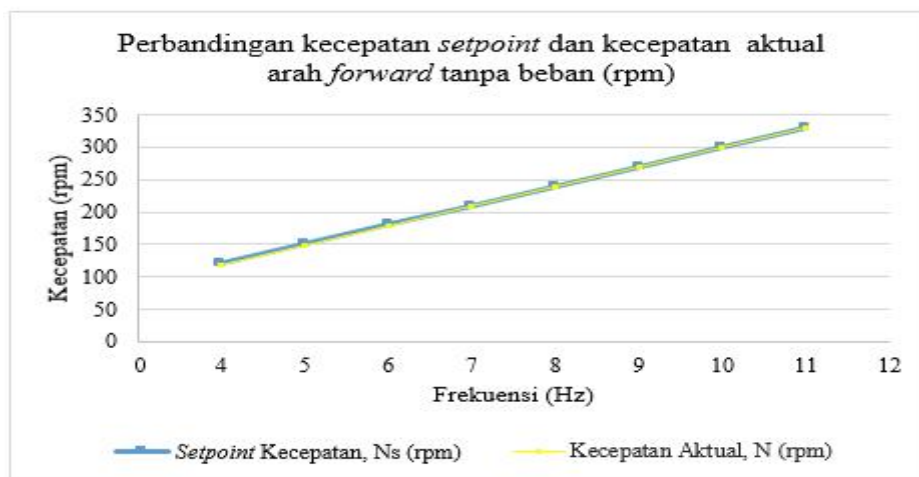
3.1. Pengujian Kecepatan Aktual Motor Arah Forward

Hasil pengujian kecepatan motor arah *forward* tanpa beban ditampilkan pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Pengujian kecepatan aktual motor arah forward

NO	Variasi Frekuensi, f (Hz)	Setpoint Kecepatan, Ns (rpm)	Kecepatan Aktual, N (rpm)	Slip, S (%)
1	4	120	119,37	0,528
2	5	150	149,27	0,488
3	6	180	179,30	0,389
4	7	210	209,00	0,476
5	8	240	239,40	0,250
6	9	270	268,90	0,407
7	10	300	298,77	0,411
8	11	330	329,23	0,232
Rata-rata slip				0,398

Berdasarkan hasil pengujian pada arah *forward*, kecepatan aktual motor selalu sedikit lebih rendah dibandingkan kecepatan *setpoint* akibat adanya slip motor induksi. Nilai rata-rata slip sebesar 0,398% menunjukkan bahwa selisih kecepatan masih berada dalam batas normal untuk kondisi tanpa beban, yaitu di bawah 1% [12]. Peningkatan frekuensi menyebabkan kenaikan kecepatan aktual motor. Hubungan antara frekuensi dan kecepatan motor arah *forward* divisualisasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik kecepatan aktual arah *forward*

Kecepatan sinkron (Ns) ditentukan berdasarkan frekuensi kerja inverter dan jumlah kutub motor, yang dihitung menggunakan persamaan 1 dan secara praktis setara dengan kecepatan *setpoint* yang diatur melalui HMI. Selanjutnya, kecepatan aktual motor (N) diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan tachometer yang merepresentasikan kecepatan putar rotor. Nilai slip (S) kemudian dihitung berdasarkan selisih antara kecepatan sinkron dan kecepatan aktual terhadap kecepatan sinkron menggunakan persamaan 2. Hasil perhitungan ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis persentase slip pada motor induksi 3 fasa.

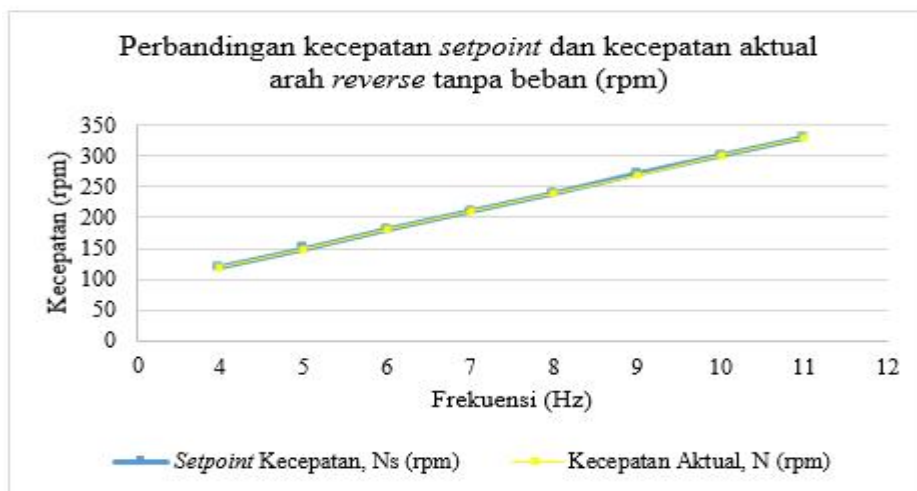
3.2. Pengujian Kecepatan Aktual Motor Arah Reverse

Hasil pengujian kecepatan motor arah *forward* tanpa beban ditampilkan pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Pengujian kecepatan aktual motor arah *reverse*

N O	Variasi Kecepatan, f (Hz)	Setpoint Kecepatan, Ns (rpm)	Kecepatan Aktual, N (rpm)	Slip, S(%)
1	4	120	119,40	0,500
2	5	150	149,20	0,533
3	6	180	179,47	0,296
4	7	210	208,63	0,651
5	8	240	239,40	0,250
6	9	270	269,13	0,321
7	10	300	299,00	0,333
8	11	330	329,00	0,303
Rata-rata slip				0,398

Hasil pengujian pada arah *reverse* menunjukkan bahwa kecepatan aktual motor tetap berada di bawah kecepatan *setpoint*. Rata-rata nilai slip yang terjadi pada arah ini adalah sebesar 0,398%, sama seperti arah *forward*. Selisih antara kecepatan sinkron dan aktual tergolong sangat kecil dan tidak mempengaruhi kestabilan kerja motor. Untuk memperjelas hubungan antara frekuensi dan kecepatan motor pada arah *reverse*, grafik disajikan pada Gambar 7. berikut.



Gambar 7. Grafik kecepatan aktual arah *reverse*

Gambar 7. menunjukkan bahwa grafik kecepatan aktual terhadap frekuensi pada arah *reverse* juga membentuk pola linier yang konsisten seperti pada arah *forward*. Karena nilai slip rata-rata pada arah *reverse* sama dengan arah *forward*, yaitu sebesar 0,398%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pengaturan *setpoint* kecepatan pada VSD yang diatur oleh PLC melalui antarmuka HMI menunjukkan kesesuaian yang baik dengan kecepatan aktual motor induksi tiga fasa pada kondisi tanpa beban baik pada arah *forward* maupun *reverse*. Penyimpangan yang terjadi sekitar 0,398% pada rentang kerja masih dibawah batas yang ditentukan menurut standard BS 37 sebesar $\pm 2\%$.

5. Daftar Notasi

f = Frekuensi sumber (Hz)

N = Kecepatan aktual (rpm)
Ns = Kecepatan sinkron (rpm)
 p = Jumlah kutub motor
S = Slip (%)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hardiati, "Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3-Phase pada Aplikasi Industri Plastik," vol. III, no. 1, pp. 1–6, 2009.
- [2] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter Altivar 12P," *Sisfo J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2018, doi: 10.29103/sisfo.v2i1.1001.
- [3] S. Syafrizal and A. A. Supriyanto, "Pengaruh pembebanan terhadap kecepatan kerja roll conveyor," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 124–128, 2020, doi: 10.24127/trb.v9i1.1146.
- [4] M.Is Subekti, "Perancangan Mesin Transport Produk Disc Karbon Dengan Pengendali Menggunakan PLC MITSUBISHI FX1N-60MR-D," *Jurnal RAMATEKNO*, vol. 2, no. 2, pp. 16-23.
- [5] U. A. Pringsewu, F. Rachman, and R. Rahmadewi, "Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering Modul Latih Inverter Sebagai Kendali Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Hmi Berbasis PLC," vol. 5, no. 2, pp. 255–262, 2023, [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- [6] G. Simamora and A. Gultom, "Pompa Motor Listrik Yang Menggunakan Inverter Sebagai Variable Speed Drive Di Gedung Park 5 Cilandak -," Pp. 2278–2292.
- [7] I. Manual, "Compact Inverter VF0 Series," pp. 0–87.
- [8] S. A. C. Inverters, "VF-0 Series VF-0 Series Specifications," pp. 5–7.
- [9] H. Haryanto and S. Hidayat, "Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 2, p. 58, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i2.476.
- [10] WEINTEK LABS, "MT8072iE," vol. 0, pp. 55–56, 2023, [Online]. Available: [web: www.weintekiiot.com](http://www.weintekiiot.com)
- [11] A. Effendi, "Perancangan pengontrolan pemanas air menggunakan PLC Siemens S7-1200 da sensor arus ACS712," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 12–19, 2013.
- [12] N. Evalina, A. H. Azis, and Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [13] Muratno and Misdi, "Pengujian Dan Analisis Motor Asinkron Tiga Fasa Pada Laboratorium Elektro," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 27–34, 2020.
- [14] A. Saputra, Syukriyadin, and M. Syukri, "Perancangan Rangkaian Pengasutan Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Arduino Nano," *J. Komputer, Informasi Teknol. dan Elektro*, vol. 2, no. 4, pp. 45–51, 2017, [Online]. Available: <https://jurnal.usk.ac.id/kitekro/article/view/9671>
- [15] T. Angraini, "Unjuk Kerja Dan Pemanfaatan Inverter Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," pp. 87–94.
- [16] M. A. Therib, "Three Phase Induction Motors," no. November, 2017.