

Trainer Kendali Motor Induksi Menggunakan Variable Frequency Drive: Pengujian Jog Dial dan External Potentio Meter

Citra Dewi^{*)1}, Doni Tri Putra Yanto², Oriza Candra³, M.Fahlefi⁴

¹²³⁴Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

^{*)}Corresponding author, citradewi@ft.unp.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada uji kelayakan terhadap trainer kendali motor induksi menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)*. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa trainer yang dikembangkan memenuhi standar dan kriteria trainer yang digunakan di laboratorium, biasanya digunakan untuk media atau peralatan praktikum dan *project* akhir mahasiswa. Metode penelitian ini adalah pengujian langsung dilaboratorium pada Kendali *Jog Dial* dan *External Potentio Meter*. *Jog dial* merupakan *mode* kendali yang tersedia pada VFD dan *External Potentio Meter* yang terpisah dari peralatan VFD, dengan frekuensi sebagai *set point*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa trainer kendali motor induksi menggunakan VFD telah memenuhi standar dan kriteria trainer yang digunakan di laboratorium, parameter pada trainer terukur dengan baik sesuai *datasheet* peralatan dan komponen yang digunakan, sehingga trainer telah berfungsi dengan baik sebagai kendali motor induksi 3 fasa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa trainer ini dapat digunakan sebagai peralatan atau media praktikum di laboratorium khususnya pada kendali motor listrik industri 3 fasa.

INFO.

Info. Artikel:

No. 403

Received. June, 6, 2023

Revised. June, 12, 2023

Accepted. June, 20, 2023

Page. 364 – 375

Kata kunci:

- ✓ Trainer Kendali Motor Induksi
- ✓ Variable Frequency Drive
- ✓ Jog Dial
- ✓ External Potentio Meter

Abstract

This study focuses on the feasibility test of an induction motor control trainer using a Variable Frequency Drive (VFD). This aims to ensure that the trainers developed meet the standards and criteria for trainers used in laboratories, usually used for media or practicum equipment and student final projects. This research method is direct laboratory testing on Jog Dial Control and External Potentio Meter. The jog dial is a control mode available on VFDs and External Potentio Meters which are separate from VFD equipment, with frequency as the set point. The results showed that the induction motor control trainer using VFD had met the standards and criteria for trainers used in the laboratory, the parameters on the trainer were measured properly according to the datasheet of the equipment and components used so that the trainer functioned properly as a 3-phase induction motor controller. Thus, this trainer can be used as equipment or practicum media in the laboratory, especially in the control of 3-phase industrial electric motors.

PENDAHULUAN

Pesatnya perubahan dan perkembangan teknologi serta ilmu pengetahuan khususnya dibidang sistem tenaga listrik, mengakibatkan lahirnya teknologi baru pada kendali mesin-mesin listrik. Aplikasi mesin-mesin listrik seperti motor listrik merupakan komponen utama dan terpenting dalam operasional di dunia industri, sehingga efisiensi dan keandalannya harus diperhatikan. Salah satu motor listrik yang banyak digunakan di dunia industri untuk operasional adalah motor induksi tiga fasa. Motor induksi menggunakan suplai listrik arus bolak balik (AC) dan memiliki konstruksi yang sederhana sehingga pemeliharaan dan perbaikan dapat dilakukan dengan mudah [1][2][3]. Selain itu, motor induksi juga lebih ekonomis karena rendahnya harga dipasaran, mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dan rotasi konstan meskipun ada perubahan beban [4][5].

Putaran kecepatan yang konstan merupakan kelemahan yang dimiliki motor induksi sehingga memerlukan kendali kecepatan untuk mengatasinya. Kendali kecepatan motor induksi tiga fasa dapat

dilakukan dengan mengatur tegangan dan frekuensi input. Salah satu cara kendalinya dapat menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD). VFD juga dikenal sebagai *Adjustable Frequency Drive* atau *Inverter Drive*, yang merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur kecepatan dan torsi motor listrik. VFD berfungsi dengan mengubah frekuensi dan tegangan input yang diberikan ke motor, sehingga mengatur kecepatan operasionalnya. Keuntungan penggunaan VFD diantaranya; pengaturan kecepatan motor dapat sesuai kebutuhan, pengoperasian/*start* dan *stop* dengan perlahan sehingga mengurangi tegangan dan arus awal yang tinggi, kontrol torsi sesuai kebutuhan, efisiensi energi dan memperpanjang umur motor [7][8].

Keuntungan penggunaan VFD membuat banyak peneliti menerapkannya [6][7][9][10][14] dengan kesimpulan VFD menghasilkan efisiensi energi yang signifikan, menghemat biaya karena dengan VFD mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang umur motor, mengurangi biaya perawatan. Selain itu VFD juga memberikan kontrol yang presisi terhadap kecepatan motor, mereduksi lonjakan listrik dan meningkatkan kualitas produk.

Penggunaan VFD banyak ditemukan diberbagai industri, diantaranya manufaktur, pertambangan, industri makanan dan minuman, HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), dan sistem transportasi. Perkembangan teknologi dan kebutuhan dunia industri terhadap kendali motor listrik menjadi latar belakang peneliti untuk mengembangkan peralatan atau trainer menggunakan VFD sebagai media praktikum dilaboratorium. Sehingga diharapkan setelah lulus nantinya mahasiswa dapat beradaptasi dengan baik di dunia industri. Tujuan penelitian ini untuk memastikan bahwa trainer yang telah dikembangkan memenuhi standar dan kriteria trainer yang digunakan di laboratorium, yang biasanya digunakan untuk media atau peralatan praktikum dan *project* akhir mahasiswa. Trainer Kendali Motor Induksi Tiga Fasa ini harus melewati tahapan pengujian sebelum digunakan sebagai peralatan atau media di laboratorium. Salah satu pengujiannya yang dilakukan adalah pengujian frekuensi dengan *Jog Dial* dan *External Potentio Meter*.

METODE PENELITIAN

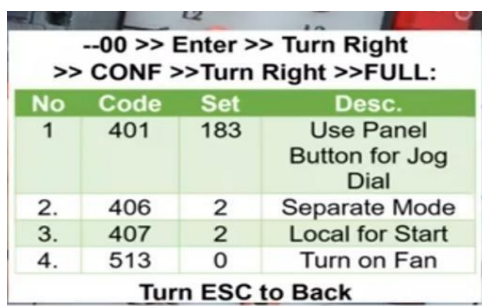
Pengujian *Jog Dial* dan *External Potentio Meter* dilakukan di laboratorium, pengujian ini untuk memastikan trainer dapat beroperasi sesuai fungsinya dan tidak ada permasalahan teknis pada trainer. Fungsi *Jog Dial* pada VFD memberikan fleksibilitas dan kontrol manual sementara terhadap kecepatan motor. Ini sangat berguna dalam situasi di mana pengguna memerlukan kontrol langsung dan cepat terhadap motor, baik untuk operasi sementara, pengujian, pemeliharaan, maupun keadaan darurat. Fungsi *External Potentiometer* pada VFD memberikan fleksibilitas dan kontrol manual yang mudah dalam mengatur kecepatan motor. Potensiometer ini memungkinkan pengguna dengan cepat menyesuaikan kecepatan motor secara presisi, baik untuk penyesuaian segera, kontrol lokal, maupun integrasi dengan sistem kontrol eksternal.

Tahapan penelitian ini dimulai dari studi literature, perancangan trainer, pengaturan system kendali, pengujian (pengujian *Jog Dial* dan *External Potentio Meter*). Sistem kendali bekerja dengan baik apabila sesuai *datasheet* peralatan dan komponen yang digunakan. Jika sistem kendali tidak berjalan dengan baik, maka dilakukan pengaturan ulang sistem kendali.

Pengujian *Jog Dial*

Pengujian ini dengan menentukan kendali minimum dan maksimum *frequency*, acuan untuk kendali *jog dial* yaitu dalam persentase dan kendalinya menggunakan panel pada peralatan VFD itu sendiri. Set menu untuk kendali *jog dial*: 00>>enter>>turn right>>full>>401>>183 dan sesuaikan dengan pedoman pada gambar 1.

Setelah menu disesuaikan dengan pedoman, kemudian untuk menjalankan kendali *jog dial* adalah dengan masuk pada menu referensi dan tekan tombol *start*, dengan persentase dari 0 sampai 100%.



No	Code	Set	Desc.
1	401	183	Use Panel Button for Jog Dial
2.	406	2	Separate Mode
3.	407	2	Local for Start
4.	513	0	Turn on Fan

Turn ESC to Back

Gambar 1. Set menu pada jog dial

Pengujian External Potentio Meter

Pengujian ini menggunakan input analog berupa *External Potentio Meter*, untuk mengatur kecepatan dibantu dengan *External Potentio Meter* yang terpisah dari peralatan VFD itu sendiri. Set menu untuk kendali ini: 00>>enter>>turn right>>conf>>full>>401>>1.



No	Code	Set	Desc.
1	401	1	Terminal Control
2.	406	2	Separate Mode
3.	407	2	Local for Start
4.	513	0	Turn on Fan

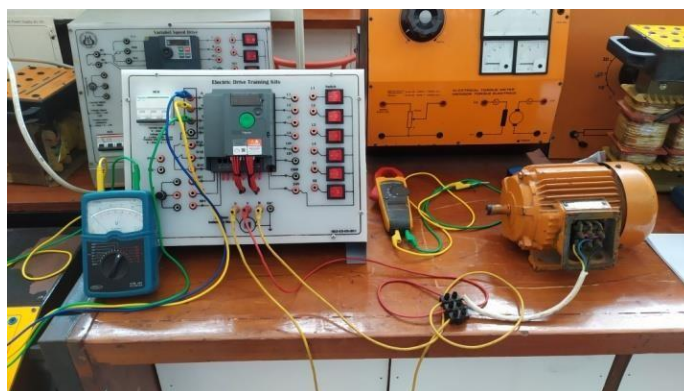
Turn ESC to Back

Gambar 2. Set menu pada External Potentio Meter

Setelah setting menu sesuai dengan gambar 2, kemudian untuk menjalankannya kembali pada menu awal 00 kemudian tekan tombol *run* untuk menjalankan motor induksi, dengan frekuensi mulai dari 0 sampai 50 Hz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan pengujian ini adalah mendapatkan data *jog dial* dan *external potentio meter* dari Trainer kendali motor induksi 3 fasa menggunakan VFD. Hasil pengujian ini dibutuhkan untuk memastikan trainer sudah memenuhi kriteria dan standar peralatan pratikum di laboratorium. Trainer ini telah dirancang dan dikembangkan berdasarkan kebutuhan pembelajaran pratikum kendali motor listrik di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Pengujian trainer dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pengujian Trainer

Spesifikasi motor induksi 3 fasa adalah :

Daya Motor : 0.75 KW
Frekuensi : 50 Hz
Arus : 1.84 A
Putaran : 1400 rpm

Data *Variable Speed Drive/ Variable Frequency Drive* adalah :

Series : ATV 310
Daya : 1.5 KW
Tegangan I/O : 380 V
Arus Input : 6.4 A
Arus Output : 4.1 A

Hasil Pengujian Jog Dial

Pengujian ini dengan mengoperasikan trainer untuk mengendalikan kecepatan putaran motor induksi 3 fasa. *Jog dial* merupakan *mode* kendali yang tersedia pada VFD. *Set point* frekuensi diatur dari 0 hingga 50 Hz sehingga kecepatan motor induksi 3 fasa didapat bervariasi.

Set Point 5 Hz

Frekuensi 5 Hz dengan persentase 10% merupakan referensi pengaturan atau *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Ketika trainer dioperasikan data yang didapat yaitu arus motor (I_m), tegangan motor (V_m) dan kecepatan putaran motor (rpm). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 110V dan kecepatan putaran motor 430 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pengukuran dengan *set point* 5 Hz

Set Point 10 Hz

Frekuensi 10 Hz dengan persentase 20% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 138V dan kecepatan putaran motor 542 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengukuran dengan *set point* 10 Hz

Set Point 15 Hz

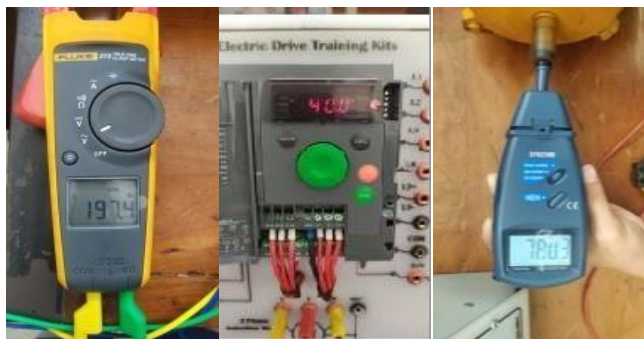
Frekuensi 15 Hz dengan persentase 30% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 168V dan kecepatan putaran motor 661 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pengukuran dengan *set point* 15 Hz

Set Point 20 Hz

Frekuensi 20 Hz dengan persentase 40% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 197 V dan kecepatan putaran motor 780 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengukuran dengan *set point* 20 Hz

Set Point 25 Hz

Frekuensi 25 Hz dengan persentase 50% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 226 V dan kecepatan putaran motor 902 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pengukuran dengan *set point* 25 Hz

Set Point 30 Hz

Frekuensi 30 Hz dengan persentase 60% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 255 V dan kecepatan putaran motor 1058 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil Pengukuran dengan *set point* 30 Hz

Set Point 35 Hz

Frekuensi 35 Hz dengan persentase 70% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 284 V dan kecepatan putaran motor 1132 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Pengukuran dengan set point 35 Hz

Set Point 40 Hz

Frekuensi 40 Hz dengan persentase 80% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 299V dan kecepatan putaran motor 1260 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Hasil Pengukuran dengan set point 40 Hz

Set Point 45 Hz

Frekuensi 45 Hz dengan persentase 90% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 317V dan kecepatan putaran motor 1318 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil Pengukuran dengan set point 45 Hz

Set Point 50 Hz

Frekuensi 50 Hz dengan persentase 100% merupakan *set point* kecepatan yang dapat langsung diatur pada panel VFD yang digunakan dalam trainer. Hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 338V dan kecepatan putaran motor 1524 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Hasil Pengukuran dengan set point 50 Hz

Hasil Pengujian *External Potentio Meter*

Pengujian *External potentio meter* ini dengan *set point* frekuensi diatur dari 10 hingga 50 Hz dengan peningkatan 10 Hz.

Set Point 10 Hz

Frekuensi 10 Hz dijadikan referensi pengaturan atau *set point* kecepatan, ketika trainer dioperasikan data yang didapat yaitu arus motor (I_m), tegangan motor (V_m) dan kecepatan putaran motor (rpm). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 81V dan kecepatan putaran motor 305 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Hasil Pengukuran dengan *set point* 10 Hz

Set Point 20 Hz

Frekuensi 20 Hz dijadikan referensi pengaturan atau *set point* kecepatan, hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 153 V dan kecepatan putaran motor 594 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Hasil Pengukuran dengan *set point* 20 Hz

Set Point 30 Hz

Frekuensi 30 Hz dijadikan referensi pengaturan atau *set point* kecepatan, hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 227 V dan kecepatan putaran motor 907 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil Pengukuran dengan *set point* 30 Hz

Set Point 40 Hz

Frekuensi 40 Hz dijadikan referensi pengaturan atau *set point* kecepatan, hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 299 V dan kecepatan putaran motor 1194 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Hasil Pengukuran dengan set point 40 Hz

Set Point 50 Hz

Frekuensi 50 Hz dijadikan referensi pengaturan atau *set point* kecepatan, hasil pengujian didapatkan arus motor 0.5 A, tegangan motor 337.5 V dan kecepatan putaran motor 1495 rpm. Penunjukan alat ukur pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Hasil Pengukuran dengan set point 50 Hz

Tabel 1. Hasil Pengujian Kendali Jog Dial

Set Point (Hz)	Persentase (%)	Arus (A)	Tegangan (V)	Kecepatan Putaran Motor (rpm)
0	0	0	0	0
5	10	0.5	110	430
10	20	0.5	138	542
15	30	0.5	168	661
20	40	0.5	197	780
25	50	0.5	226	902
30	60	0.5	255	1058
35	70	0.5	284	1132
40	80	0.5	299	1260
45	90	0.5	317	1318
50	100	0.5	337.5	1524

Tabel 2. Hasil Pengujian Kendali External Potentio Meter

Set Point (Hz)	Arus (A)	Tegangan (V)	Kecepatan Putaran Motor (rpm)
0	0	0	0
10	0.5	80	305
20	0.5	153	594
30	0.5	227	907
40	0.5	299	1194
50	0.5	338	1495

Hasil penelitian berupa pengujian *jog dial* dan *external potentiometer* menunjukkan bahwa trainer dapat digunakan sebagai media pembelajaran pratikum di laboratorium. Hal ini berdasarkan pengujian yang menunjukkan parameter terukur dengan baik sesuai *datasheet* peralatan dan komponen yang digunakan, sehingga trainer telah berfungsi dengan baik sebagai kendali motor induksi 3 fasa.

KESIMPULAN

Pengujian *jog dial* dan *external potentiometer* pada Trainer Kendali Motor Induksi dengan menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* telah dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan trainer yang dikembangkan memenuhi standar dan kriteria untuk media pembelajaran pratikum. Hal ini dikarenakan parameter terukur dengan baik sesuai *datasheet* peralatan dan komponen yang digunakan. Sehingga trainer ini dapat digunakan sebagai peralatan pratikum khususnya pada kendali motor listrik industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. T. P. Yanto, Hastuti, Andrian, Putri Ani, Nizwardi Jalius dan Ridwan, "Training Kit Kendali Motor Induksi berbasis Inverter Tiga Fasa: Analisis Uji Kelayakan," Jurnal Teknik Elektro Indonesia., vol. 4, no. 1, pp. 91–104, March 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.345.
- [2] B. L. G. Costa, C. L. Graciola, B. A. Angélico, A. Goedel, M. F. Castoldi, and W. C. D. A. Pereira, "A practical framework for tuning DTC-SVM drive of three-phase induction motors," *Control Eng Pract*, vol. 88, no. October 2018, pp. 119–127, 2019, doi: 10.1016/j.conengprac.2019.05.003.
- [3] Wang, G., & Han, Z. (2019), "Investigation of the Accuracy of VFD Analog Output Data and the Energy Performance of Different Voltage Controls in a VFD-motor-belt-fan System," *Energy and Buildings* 194, pp. 260-272, April 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.008.
- [4] S. A. Othman, J. A. K. Mohammed, and F. M. Mohammed, "Variable Speed Drives in Electric Elevator Systems: A Review," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1973, no. 1, p. 12028, Aug. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1973/1/012028.
- [5] M.Eriyadi, A. Ajimah, D. Usman, Y.M. Hamdani, S.C. Abadi, and A. Suryadi, "Analysis of The Implementation of Three Phase Variable Frequency Drive on The Prototype of A Rice Drying Machine," *{IOP} Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol 1098, no. 4, p. 42057, March 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1098/4/042057.
- [6] Atmam, A. Tanjung, dan Zulfahri, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)," *Sain ETIn*, vol. 2. No. 2, pp. 52-59, 2018, doi: 10.31849/sainetin.v2i2.1218.
- [7] William Goetzler, Timothy Sutherland, and Callie Reis, "Energy Savings Potential and Opportunities for High-Efficiency Electric Motors in Residential and Commercial Equipment," The U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Building Technologies Office, Burlington, December 2013.
- [8] Agamloh, E. B., Cavagnino, A., & Vaschetto, S, "Standard Efficiency Determination of Induction Motors With a PWM Inverter Source," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 55, PP. 398-406, Issue: 1, 2019, doi:10.1109/tia.2018.2869118.
- [9] S. Mahmodicherati, N. Ganesan, L. Ravi, and Tallam, "Application of Active Gate Drive in Variable Frequency Drives," *Enefgy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2018, pp. 1796-1799, doi: 10.1109/ECCE.2018.8558170.
- [10] H. Hastuti, P. Anugrah, D. T. P. Yanto, and E. Astrid, "Design and Development of Electric Drive Training Kit for Speed Control of Three-Phase Induction Motor," *Journal of Xidian University*, vol. 14, no. 12, pp. 385–392,

-
- 2020, doi: 10.37896/jxu14.12/040.
- [11] A. Ahyanuardi, O. Candra, D. T. P. Yanto, and A. A. A. Bata, "The Development of 1 Phase Induction Motor Training Kits," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 9, no. 08, pp. 541–545, 2020.
- [12] C. Dewi, D. T. P. Yanto, and H. Hastuti, "The Development of Power Electronics Training Kits for Electrical Engineering Students : A Validity Test Analysis," *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, vol. 3, no. 2, pp. 114–120, 2020, doi: <https://doi.org/10.24036/jptk.v3i2.9423>.
- [13] M. Mulder, T. Weigel, and K. Collins, "The concept of competence in the development of vocational education and training in selected EU member states: A critical analysis," *Journal of Vocational Education and Training*, vol. 59, no. 1, pp. 67–88, 2007, doi: 10.1080/13636820601145630.
- [14] Naufal Ihsan, Ign. Agus Purbhadi, Nugroho Tri, "Rancang Bangun Panel Variable Frequency Drive Trainer Motor Induksi AC 3 Fasa," *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir*, Agustus 2018, ISSN 1978-0176.
- [15] Emmanuel B. Agamloh, Scott Peele, Joseph Grappe, "Operation of Variable Frequency Drive Motor System with Source Voltage Unbalance", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 53, No.6, pp. 6038–6046, 2017, doi:10.1109/tia.2017.2747144.
- [16] Emmanuel B. Agamloh, "Power and Efficiency Measurement of Motor-Variable-Frequency Drive Systems", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 1, pp. 766–773, 2017, doi:10.1109/tia.2016.2602807.