

LAPORAN PENELITIAN
PENELITIAN UNGGULAN PROGRAM STUDI



**PENGEMBANGAN SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI BERKINERJA TINGGI
MENGUNAKAN UNIT *SOFT-STARTER* DAN *STALL DETECTOR* BERBASIS *SIMULINK*
DALAM TINJAUAN PEDAGOGI**

Disusun oleh :

Dr. Muchlas, M.T.
NIP 19620218 1987 02 1001

Program Studi Teknik Elektro.
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
Desember, 2017

PENELITIAN INI DILAKSANAKAN ATAS BIAYA
ANGGARAN PENDAPATAN DAN BELANJA UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
NOMOR KONTRAK : PHB-02/SP3-PJB/LPPM-UAD/VII/2017

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, atas hidayah dari Allah Swt, laporan penelitian ini dapat diselesaikan sesuai target yang ditentukan. Laboratorium merupakan fasilitas penting dan sangat dibutuhkan dalam mendukung kegiatan pembelajaran praktik di lingkungan program pendidikan tinggi teknik baik program akademik maupun vokasi. Keterbatasan peralatan yang tersedia di laboratorium dan adanya kebutuhan akan perangkat praktik yang fleksibel, efisien dan aman di lingkungan program studi teknik elektro, telah mendorong dilakukannya penelitian ini. Melalui penelitian pengembangan ini telah dihasilkan sebuah simulator yang dapat digunakan sebagai perangkat praktik sistem kendali motor induksi berkinerja tinggi yang layak, fleksibel dan efisien.

Pada kesempatan ini, peneliti mengucapkan terimakasih atas bantuan yang telah diberikan, kepada: (1) Rektor Universitas Ahmad Dahlan (UAD) yang telah menyediakan dana penelitian; (2) Kepala Lembaga Penelitian dan Pengembangan UAD atas rekomendasi yang diberikan; (3) bapak Sunardi, Ph. D. dan bapak Riky Dwi Puriyanto, S.T., M.Eng. atas kesediannya melakukan evaluasi formatif *alpha test* terhadap produk penelitian; (4) para mahasiswa program studi Teknik Elektro UAD semester akhir yang telah bersedia menjadi subjek penelitian ini. Semoga Allah Swt memberikan imbalan pahala yang berlipat ganda terhadap bantuan yang telah diberikan.

Sekalipun telah diupayakan secara maksimal agar menjadi karya yang baik, namun disadari sepenuhnya bahwa penelitian ini masih mengandung kekurangan, untuk itu saran dari semua pihak sangat dinanti kedatangannya. Akhirnya peneliti berharap semoga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam usaha-usaha peningkatan kualitas pendidikan teknik di Indonesia.

Yogyakarta, Desember 2017
Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Identitas dan Pengesahan	ii
Surat Pernyataan Telah Revisi	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Lampiran	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	x
Abstrak	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Pengembangan	5
D. Spesifikasi Produk yang Diharapkan	6
E. Pentingnya Pengembangan	7
F. Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan	7
G. Definisi Istilah	8
BAB II. LANDASAN TEORI	9
A. Kajian Teori	9
1. Prinsip Kerja Pengendalian Tegangan Motor Menggunakan <i>Thyristor</i>	9
2. Pengendali Tegangan Menggunakan <i>Thyristor</i> Untuk Beban Motor Tiga Fase	14
3. Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi	37
4. Simulator Sebagai Media Pembelajaran	43
B. Kajian Penelitian Terdahulu	48
C. Kerangka Berpikir Pengembangan	57
D. Pertanyaan Penelitian	60
BAB III. METODE PENGEMBANGAN	61
A. Model Pengembangan	61
B. Prosedur Pengembangan	62
C. Uji Coba Produk	79

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	85
A. Produk Penelitian	85
1. Simulator Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi	85
2. Perangkat Pendukung	86
B. Data Uji Coba	86
C. Analisis Data	102
1. Uji Kinerja Sistem Utama Melalui Evaluasi Formatif <i>On Going</i> Tahap 1	102
2. Uji Kinerja <i>Soft-Starter</i> Melalui Evaluasi Formatif <i>On Going</i> Tahap 2	104
3. Uji Kinerja Detektor <i>Stall</i> Melalui Evaluasi Formatif <i>On Going</i> Tahap 3	110
4. Uji Kelayakan Produk melalui Evaluasi Formatif <i>Alpha Testing</i>	114
5. Uji Penggunaan Produk melalui Evaluasi Formatif <i>Beta Testing</i>	119
D. Revisi Produk	121
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	124
1. Kesimpulan	124
2. Saran	126
DAFTAR PUSTAKA	127

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Instrumen Evaluasi Aspek Instruksionalperangkat Pembelajaran Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi	132
Lampiran 2. Instrumen Evaluasi Aspek Tampilan Produk Perangkat Pembelajaran Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi	136
Lampiran 3. Instrumen Evaluasi Aspek Isiperangkat Pembelajaran Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi	139
Lampiran 4. Instrumen Evaluasi <i>Beta Test</i> Perangkat Pembelajaran Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi	141
Lampiran 5. Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 215 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	143
Lampiran 6. Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 150 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	144
Lampiran 7. Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 100 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	145
Lampiran 8. Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 50 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	146
Lampiran 9. Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 20 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	147

Lampiran 10.	Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 10 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	148
Lampiran 11.	Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 5 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	149
Lampiran 12.	Data Karakteristik Arus (Kiri,) Torsi (Tengah), dan Kecepatan Rotor (Kanan) Dalam Domain Waktu Menggunakan Catu Berturut-turut Dari Atas ke Bawah: Langsung, <i>Soft-Start</i> Cepat, <i>Soft-Start</i> Sedang, dan <i>Soft-Start</i> Lambat Untuk Motor 3,4 HP Dikendalikan Menggunakan Sistem Kendali Berkinerja Tinggi	150
Lampiran 13.	Bentuk Gelombang Pulsa Pemicu Untuk $f = 50$ Hz dan Lebar= 60°	151
Lampiran 14.	Program Matlab Untuk Simulasi Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Motor Induksi Tiga Fase Dicatu Menggunakan Tegangan Terkendali Thyristor Terpucu	152
Lampiran 15.	Kontrak Penelitian	160
Lampiran 16.	Draf Naskah Publikasi Ilmiah	

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.	Spesifikasi Simulator Sistem Kendali Motor Induksi Tiga Fase Berkinerja Tinggi	6
Tabel 2.	Persamaan Tegangan Terminal Fase a Untuk Mode $\gamma < \pi/3$	27
Tabel 3.	Persamaan Tegangan Terminal Fase a Untuk Mode $\gamma > \pi/3$	27
Tabel 4.	Persamaan Arus Stator Untuk $\gamma < \pi/3$	28
Tabel 5.	Persamaan Arus Stator Untuk $\gamma > \pi/3$	29
Tabel 6.	Spesifikasi Simulator Berdasarkan Definisi	45
Tabel 7.	Langkah ADDIE Disesuaikan Untuk Pengembangan Media Pembelajaran Simulator Sistem Kendali Mesin Listrik Berkinerja Tinggi	47
Tabel 8.	Beban Motor Untuk Operasi Normal dan <i>Overloaded</i>	70
Tabel 9.	Nilai Parameter <i>Slope</i> dan <i>Threshold</i> Pada Rangkaian Penggeser Pulsa	73
Tabel 10.	Nilai Parameter <i>Threshold</i> Pada Unit <i>Stall Detector</i>	76
Tabel 11.	Jenis Motor Induksi Sampel Penelitian	78
Tabel 12.	Data Perbandingan Arus Stator Dengan Beban Normal dan Beban Lebih Setelah Sistem Utama Dipasang Unit <i>Stall Detector</i>	96
Tabel 13.	Data Perbandingan Torsi Elektromagnetik Dengan Beban Normal dan Beban Lebih Setelah Sistem Utama Dipasang Unit <i>Stall Detector</i>	97
Tabel 14.	Data Perbandingan Kecepatan Putar Rotor Dengan Beban Normal dan Beban Lebih Setelah Sistem Utama Dipasang Unit <i>Stall Detector</i>	98
Tabel 15.	Data Kelayakan Produk Oleh Ahli Instruksional/Media/Materi Untuk Aspek Instruksional	99
Tabel 16.	Data Kelayakan Produk Oleh Ahli Instruksional/Media/Materi Untuk Aspek Tampilan Produk	99
Tabel 17.	Data Kelayakan Produk Oleh Ahli Instruksional/Media/Materi Untuk Aspek Isi	100
Tabel 18.	Data Kualitatif Berupa Saran Ahli Untuk Perbaikan Produk	100
Tabel 19.	Data Respons Calon Pengguna Produk	101
Tabel 20.	Data Kualitatif Berupa Saran Mahasiswa Untuk Perbaikan Produk	101
Tabel 21.	Perbandingan Bentuk Gelombang Tegangan Eksitasi dan Arus Pada Sistem Utama Terhadap Hasil Simulasi Hamed & Chalmers (1990) Untuk Berbagai Sudut Pemicuan α	102
Tabel 22.	Perbandingan Bentuk Gelombang Tegangan Fase-ke-Fase dan Arus Pada Sistem Utama Terhadap Hasil Simulasi Hamed & Chalmers (1990) Untuk Berbagai Sudut Pemicuan α	103

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.	Pengendali Tegangan 1-Fase dengan <i>Thyristor</i> : (a) Rangkaian, (b) Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Pulsa Pemicu, dan Arus yang Lewat <i>Thyristor</i>	10
Gambar 2.	Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Motor Induksi 1-Fase Dicatu Dengan Tegangan Terkendali Thyristor: (a) $\alpha = \theta = 49^\circ$, (b) $\alpha = 60^\circ$, (c) $\alpha = 100^\circ$, dan (d) $\alpha = 150^\circ$	14
Gambar 3.	Pengendali Tegangan Tiga Fase Menggunakan <i>Thyristor</i> Terpucu Dengan Beban Motor Induksi: (a) Urut-urutan Pemicuan, (b) Rangkaian	15
Gambar 4.	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fase: (a) Rangkaian Asli, (b) Rangkaian Dengan Mempertimbangkan GGL Balik atau <i>Back EMF</i> (Hamed & Chalmers, 1990)	17
Gambar 5.	Rangkaian Ekuivalen Sederhana dari Gambar 4 (Hamed & Chalmers, 1990)	18
Gambar 6.	Hubungan Antara Rangkaian Asli dan Termodifikasi (Hamed & Chalmers, 1990)	21
Gambar 7.	Diagram Fasor Rangkaian Ekuivalen Termodifikasi (Hamed & Chalmers, 1990)	21
Gambar 8.	Rangkaian Ekuivalen Sistem Tiga Fase Dengan Mempertimbangkan GGL Lawan (Hamed & Chalmers, 1990)	22
Gambar 9.	Diagram Alir Prosedur Komputasi Tegangan dan Arus Motor Dengan α Sebagai Variabel Pengendali (Muchlas, 1998: 60)	33
Gambar 10.	Simulasi Menggunakan Prosedur Pada Gambar 9 Untuk Mode $\gamma < \pi/3$	34
Gambar 11.	Simulasi Menggunakan Prosedur Pada Gambar 9 Untuk Mode $\gamma > \pi/3$	35
Gambar 12.	Perbandingan Hasil Analisis Teoritik dan Eksperimen Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Pada Motor Induksi Tiga Fase (Hamed dan Chalmers (1990: 190)	36
Gambar 13.	Pengendali Tegangan Untuk <i>Soft-Starter</i> Versi <i>Eaton Corporation</i> dan <i>Rockwell Automation</i>	38
Gambar 14.	Diagram Alir Algoritma <i>Soft-Start</i> : (a) Versi <i>Eaton Corporation</i> (2013) dan <i>Rockwell Automation</i> (2014), (b) Versi Mohan, et al (2003)	39
Gambar 15.	Diagram Alir Sistem Kendali Deteksi <i>Stall</i> pada Motor Listrik dari <i>Freescale Semiconductor, Inc.</i> (Mackay, 2004)	40
Gambar 16.	Prinsip Pendeteksian <i>Stall</i> Menggunakan GGL Lawan (ON-Semiconductor, 2015: 5)	41
Gambar 17.	Metode Deteksi <i>Stall</i> dari Unsworth (1988: 9-17): (a) Keadaan GGL Lawan, (b) Rancangan <i>Hardware</i>	42
Gambar 18.	Rancangan <i>Soft-starter</i> dari Ryu, Jeon & Shon (2016: 90)	49
Gambar 19	Desain Sistem Kendali <i>Soft-starter</i> dari Jun, Yao & Xia-hui (2016: 154)	49

Gambar 20.	Sistem Proteksi Motor Induksi (Borse, Pandhare & Kumar, 2015: 894)	52
Gambar 21.	Desain <i>Fault Protector</i> dari Singh, et al. (2017: 715)	53
Gambar 22.	Kerangka Berpikir Pengembangan	57
Gambar 23.	Model Konseptual Produk Simulator yang Dikembangkan	61
Gambar 24.	Arsitektur Perangkat Keras Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi	65
Gambar 25.	Algoritma Pengendalian Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi	66
Gambar 26.	Rancangan GUI Simulator Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi	67
Gambar 27.	Sumber Tegangan AC Tiga-Phase dan Pengaturan Parameternya Untuk Motor 3HP	68
Gambar 28.	Pemilih Jenis Catu (<i>Supply Mode Selector</i>)	69
Gambar 29.	Saklar Pemilih Skenario: (a) <i>Normal Operation</i> , (b) <i>Overloaded Operation</i>	70
Gambar 30.	Pengendali Tegangan Mengandung Piranti Pensaklaran <i>Thyristor</i> dan Rangkaian Pemicuan Versi SIMULINK	71
Gambar 31.	Parameter Rangkaian Pemicuan (Kiri) dan <i>Thyristor</i> (Kanan) Untuk $f=50$ Hz	72
Gambar 32.	Kiri: Rangkaian Penggeser Pulsa, Kanan: Parameter Untuk Blok <i>Ramp1</i> (atas) dan <i>Switch1</i> (bawah) Pada Motor 50 HP	73
Gambar 33.	Unit <i>Stall Detector</i> Terdiri Atas: (a) Pengaktif <i>Relay</i> dan (b) <i>Relay</i> Pemutus	74
Gambar 34.	Parameter Blok <i>Switch7</i> (Kiri) dan <i>Switch6</i> (Kanan)	74
Gambar 35.	Parameter <i>Relay</i> Pemutus	75
Gambar 36.	<i>Timer</i> Pemberian Variasi Beban Untuk Motor 215 HP: (a) Rangkaian; (a) Struktur <i>Timer</i> ; dan (c) Parameter untuk <i>Switch4</i> dan <i>Switch5</i>	77
Gambar 37.	Unit Output Terdiri Atas Motor Induksi Tiga Fase dan Sub Unit Display	77
Gambar 38.	Tahap Pengujian Produk <i>On Going</i>	80
Gambar 39.	Gambar 39. Tahap Pengujian Produk <i>Alpha Test</i> , <i>Beta Test</i> dan Sumatif	80
Gambar 40.	Bentuk Produk Perangkat Pembelajaran Berupa Simulator Sistem Kendali Motor Induksi Tiga Fase Berkinerja Tinggi Berbasis SIMULINK	85
Gambar 41.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=150° dan Jenis Motor 215 HP	87
Gambar 42.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=150° dan Jenis Motor 215 HP	87
Gambar 43.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=140° dan Jenis Motor 215 HP	87
Gambar 44.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=140° dan Jenis Motor 215 HP	87
Gambar 45.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=130° dan Jenis Motor 215 HP	87

Gambar 46.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=130° dan Jenis Motor 215 HP	87
Gambar 47.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=120° dan Jenis Motor 215 HP	88
Gambar 48.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=120° dan Jenis Motor 215 HP	88
Gambar 49.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=110° dan Jenis Motor 215 HP	88
Gambar 50.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=110° dan Jenis Motor 215 HP	88
Gambar 51.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=100° dan Jenis Motor 215 HP	88
Gambar 52.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=100° dan Jenis Motor 215 HP	88
Gambar 53.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=90° dan Jenis Motor 215 HP	89
Gambar 54.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=90° dan Jenis Motor 215 HP	89
Gambar 55.	Tegangan Eksitasi (Kuning) V_{a-n} (V) dan Arus Stator (Ungu) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=19° dan Jenis Motor 215 HP	89
Gambar 56.	Tegangan Fase-ke-Fase (Ungu) V_{a-b} (V) dan Arus Stator (Kuning) I_s (A) Versus Waktu (s) untuk Alfa=19° dan Jenis Motor 215 HP	89
Gambar 57.	Data Perbandingan Karakteristik Motor Dikendalikan Dengan Catu: (a) langsung (DOL), (b) <i>Soft-start</i> Cepat, (c) <i>Soft-start</i> Sedang, (d) <i>Soft-start</i> Lambat	90
Gambar 58.	Data Perbandingan Karakteristik Motor Sebelum Sistem Dipasangi <i>Stall Detector</i> Dengan Catu: (a) langsung (DOL), (b) <i>Soft-start</i> Cepat, (c) <i>Soft-start</i> Sedang, (d) <i>Soft-start</i> Lambat	94
Gambar 59.	Data Perbandingan Karakteristik Motor Setelah Sistem Dipasangi <i>Stall Detector</i> Dengan Catu: (a) langsung (DOL), (b) <i>Soft-start</i> Cepat, (c) <i>Soft-start</i> Sedang, (d) <i>Soft-start</i> Lambat	95
Gambar 60.	Indikator Keberhasilan Unit <i>Soft-Starter</i> Secara Visual	105
Gambar 61.	Reduksi Arus <i>Starting</i> Oleh Unit <i>Soft-Starter</i> Untuk Beban Normal-1	105
Gambar 62.	Reduksi Arus <i>Starting</i> Oleh Unit <i>Soft-Starter</i> Untuk Beban Normal-2	106
Gambar 63.	Pengaruh Jenis <i>Soft-Starter</i> Terhadap Persentase Reduksi Arus <i>Starting</i> Untuk Motor Dengan Beban: (a) Normal-1, dan (b) Normal-2	107
Gambar 64.	Reduksi Lonjakan Torsi <i>Starting</i> Oleh Unit <i>Soft-Starter</i>	108
Gambar 65.	Pengaruh Jenis <i>Soft-Starter</i> Terhadap Persentase Reduksi Torsi <i>Starting</i>	109
Gambar 66.	Kecepatan Putar Rotor Pada Berbagai Mode Catu Daya	110

Gambar 67.	Analisis Perbandingan Karakteristik Motor Untuk Sistem Kendali <i>Soft-Start</i> Sebelum dan Sesudah Dipasangi <i>Stall Detector</i>	111
Gambar 68.	Perbandingan Arus Stator Beban Normal dan Beban Lebih Untuk Sistem Pengendali Setelah Dipasangi <i>Stall Detector</i>	112
Gambar 69.	Perbandingan Torsi dan Kecepatan Rotor Beban Normal dan Beban Lebih Untuk Sistem Pengendali Setelah Dipasangi <i>Stall Detector</i>	113
Gambar 70.	Hasil Evaluasi Produk Oleh Ahli Untuk Aspek Instruksional	114
Gambar 71.	Hasil Evaluasi Produk Oleh Ahli Untuk Aspek Tampilan Produk	116
Gambar 72.	Hasil Evaluasi Produk Oleh Ahli Untuk Aspek Isi	118
Gambar 73.	Respons Calon Pengguna Produk	120
Gambar 74.	Revisi Produk Pengubahan Mata Kuliah Relevan Dengan Materi Produk Pada Spesifikasi Produk	121
Gambar 75.	Revisi Produk Panduan Praktik Untuk Mengarahkan Tugas Mandiri	121
Gambar 76.	Revisi Produk Tentang Penambahan Kegiatan Pra Praktik Pada Panduan Praktik	122
Gambar 77.	Tampilan Produk Simulator Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi Setelah Dilakukan Revisi Berdasarkan Saran Para Ahli dan Calon Pengguna	123

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI BERKINERJA TINGGI MENGUNAKAN UNIT *SOFT-STARTER* DAN *STALL DETECTOR* BERBASIS *SIMULINK* DALAM TINJAUAN PEDAGOGI

Muchlas

Kegiatan praktik menggunakan peralatan real di lingkungan program studi Teknik Elektro khususnya materi Pengendalian Mesin Listrik atau Sistem Proteksi memerlukan alokasi ruang dan biaya yang besar. Penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan produk berupa simulator sistem kendali motor induksi berkinerja tinggi berbasis *SIMULINK* yang layak digunakan sebagai perangkat praktik yang efisien, fleksibel dan aman. Melalui penelitian ini ingin diperoleh pula informasi tentang kelayakan produk dalam pandangan para ahli dan persepsi calon pengguna.

Model pengembangan yang digunakan adalah model konseptual dengan prosedur ADDIE (*analysis, design, develop, implementation, evaluation*). Kinerja produk yang dikembangkan diuji melalui tahap evaluasi formatif *on going* yang meliputi uji kinerja unit *soft-starter* dan uji unit *stall detector*. Kelayakan produk diuji melalui evaluasi formatif *alpha test* oleh ahli pembelajaran, ahli materi dan ahli media dari program studi Teknik Elektro, meliputi aspek instruksional, tampilan produk dan isi. Sedangkan uji penggunaan dilakukan melalui evaluasi formatif *beta test* oleh calon pengguna mahasiswa teknik elektro semester akhir. Data-data untuk uji kinerja sistem dikumpulkan melalui metode eksperimen, sedangkan pandangan para ahli dan pendapat calon pengguna digali dengan menggunakan instrumen angket tertutup yang dilengkapi ruang untuk memberikan saran-saran perbaikan produk. Analisis data untuk uji kinerja produk dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil penelitian terdahulu yang sudah diyakini kebenarannya. Kelayakan produk dan persepsi pengguna dianalisis menggunakan metode persentase dengan kriteria: produk dianggap layak oleh para ahli dan diterima oleh pengguna jika persentase persepsi positifnya lebih besar dari 80%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali yang terkandung dalam produk yang dikembangkan memiliki kinerja yang tinggi, ditunjukkan oleh kemampuannya dalam: (1) mereduksi secara signifikan lonjakan arus dan torsi *starting* yang dibangkitkan motor selama *start-up*; dan (2) mematikan secara otomatis catu daya ketika motor dalam keadaan *stall*. Produk layak digunakan sebagai perangkat pembelajaran praktik Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi. Para ahli memberikan persepsi yang positif terhadap produk pembelajaran ini dengan skor 87,7% untuk aspek instruksional, 86,5% untuk aspek tampilan produk dan 97,1% untuk aspek isi. Calon pengguna memberi tanggapan yang positif terhadap produk penelitian ini yang ditunjukkan oleh skor rata-rata persepsi sebesar 85,7%. Produk ini dipersepsikan oleh calon pengguna memiliki karakteristik mudah dioperasikan, menarik, membangkitkan motivasi, menciptakan lingkungan belajar mandiri dan kolaboratif serta bermanfaat meningkatkan pemahaman terhadap materi sistem kendali motor berkinerja tinggi.

Kata kunci: sistem kendali berkinerja tinggi, motor induksi, berbasis SIMULINK, soft-starter, stall detector

ABSTRACT

DEVELOPING A HIGH-PERFORMANCE CONTROL SYSTEM USING SOFT STARTER AND STALL DETECTOR UNIT FOR THE INDUCTION MOTOR BASED ON SIMULINK IN A PEDAGOGY PERSPECTIVE

Muchlas

Practical work activities in the electrical engineering laboratory using the real equipment are costly and inefficient in space of the room. This study is aimed to produce a simulator of the high-performance control system for the induction motor based on SIMULINK that is used validly, efficiently, flexibly and safely as a tool for practical work of the electrical machinery control and also protection system courses. This research will also obtain the product feasibility by experts and the product perception by users.

This development uses a conceptual model with the ADDIE procedure i.e. analysis, design, develop, implementation, and evaluation. Product performance is tested through formative on-going evaluation. To ensure the system is running well, a soft-starter unit performance test and stall detector unit test are performed. Product feasibility is tested through an alpha test by experts of learning, content, and media, in three aspects of instructional, product display and content. Meanwhile, the test of product use is done through a beta test by prospective users of electrical engineering students. The data of the system performance test is collected through experimental method, meanwhile, the perception of experts and prospective users are collected using the closed questionnaire. Data analysis of product performance test is done by comparing the simulation result to previous research result. Product feasibility and user perceptions are analyzed using percentage method with criteria: the product is considered feasible by the experts and accepted by the users if the percentage of positive perception is greater than 80%.

The research found that the control system contained in the developed product has a high performance, indicated by its ability to: (1) significantly reduce the starting current and torque generated by the motor during start-up; and (2) automatically turn off the power supply when the motor is in a stall state. The product is feasible to be used as a tool of the practical work in a high-performance induction motor control system. The experts give a positive perception on this learning product with score 87.7% for instructional aspect, 86.5% for product display aspect and 97.1% for content aspect. Prospective users gave a positive response to the product of this study, indicated by the average score of perception of 85.7%. This product is perceived by the prospective users to have the characteristics of easy to operate, interesting, generating motivation, creating an independent and collaborative learning environment and used to improve understanding of high-performance motor control system material.

Keywords: high-performance control system, induction motor, based on SIMULINK, soft-starter, stall detector