



PROCEEDING

SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA 2018

ISBN : 978-602-18168-7-5

**“Tantangan dan Pengaruh Revolusi Industri 4.0
Terhadap Inovasi Teknologi Terapan dan Sistem Informasi Digital**

Makassar, 17 September 2018



PROCEEDING

**SEMINAR NASIONAL
TEKNIK ELEKTRO DAN
INFORMATIKA
(SNTEI) 2018**

“Tantangan dan Pengaruh Revolusi Industri 4.0 Terhadap Inovasi Teknologi Terapan dan Sistem Informasi Digital”

Makassar, 17 September 2018

Diselenggarakan oleh:

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018**

SUSUNAN PANITIA
SEMINAR NASIONAL TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA (SNTEI) 2018

PELINDUNG

Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.Si.
(Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang)

PENGARAH

Ibrahim Abduh, S. ST., M.T. (PD I PNUP)
Andi Gunawan, S. E. M.Com.Ak. (PD II PNUP)
Drs. Muslimin, M.T., M.Hum. (PD III PNUP)
Tri Hartono, L.R.S.C., M. Chem. Eng. (PD IV PNUP)

PENANGGUNG JAWAB

Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T. (Ketua Jurusan Teknik Elektro PNUP)

KETUA PELAKSANA

Dharma, Aryani, S.T., M.T., Ph.D.

SEKRETARIS

Sarma Thaha, S.T., M.T.

BENDAHARA

Mardiyah Nas, S.T., M.T.

Pembantu Umum:

1. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. (Koordinator)
2. Ir. Dahlia Nur, M.T.
3. Sofyan Tato, S.T., M.T.
4. Purwito, S.T., M.T.
5. Nuraini Umar, S.T., M.T.
6. Rini Nur, S.T., M.T.
7. Mohammad Adnan, S.T., M.T.
8. Iin Karmila Yusri, S.ST., M.Eng.
9. Asriyadi, S.ST., M.Eng.
10. Ir. Abdullah Bazergan, M.T.

Seksi Publikasi dan Dokumentasi:

1. Eddy Tungadi, S.T., M.T. (Koordinator)
2. Syahrir, S.T., M.T.
3. Muh. Ahyar, S.T., M.T.

Seksi Pendaftaran:

1. Meylanie Olivya, S.T., M.T.
2. Reski Praminasari, S.T., M.T.
3. Mardawia Mabe Parenreng, S.ST., M.T.

Seksi Acara:

1. Sofyan Tato, S.T., M.T. (Koordinator)
2. Irmawati, S.T., M.T.
3. Chaerur Rijal, S.T., MT.
4. Naely Muchtar, S.Pd., M.Pd.
5. Nurul Khaerani Hamzidah, S.T., M.T.

Seksi Prosiding:

1. Zawayah Saharuna, S.T., M.Eng. (Koordinator)
2. Kartika Dewi, S.T., M.T.
3. Ainun Jahriyah, S.T., M.T.

Seksi Perlengkapan dan Akomodasi:

1. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. (Koordinator)
2. Sahabuddin Abd. Kadir, S.T., M.T.
3. Takko, S.Sos.
4. Basim Thariq, A.Md.

Seksi Konsumsi:

1. Kurniawati Naim, S.T., M.T. (Koordinator)
2. Yuniarti, S.T., M.T.
3. Hasmiati

KATA PENGANTAR

Pertama-tama kami ucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas selesainya penyusunan publikasi ilmiah atau *proceeding*, hasil presentasi pada Seminar Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2018 yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang. Seminar Nasional ini dilaksanakan pada hari Senin tanggal 17 September 2018 di Hotel Claro (Grand Clarion), jalan A.P. Pettarani No. 3 Kota Makassar dengan tema: ***“Tantangan dan Pengaruh Revolusi Industri 4.0 Terhadap Inovasi Teknologi Terapan dan Sistem Informasi Digital”***.

Proceeding ini memuat 86 judul dari 119 judul yang layak untuk dipresentasikan. Ke-86 judul tersebut termasuk dalam kategori bidang Teknik Elektro dan Informatika, seperti Teknik Listrik, Teknik Telekomunikasi, Teknik Kontrol/Elektronika, Teknik Multimedia, Teknologi Informasi dan Komunikasi, serta Teknik Komputer.

Kami menyajikan publikasi ilmiah yang menjadi karya inovatif dari para kaum intelektual dengan tujuan untuk menambah dan berbagi pengetahuan bagi kita semua, terutama bagi para peneliti dan akademisi di bidang Teknik Elektro dan Informatika. Kami menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam *proceeding* ini, olehnya itu diharapkan saran atau masukan dari para pembaca untuk lebih menyempurnakan terbitan berikutnya.

Kami selaku penyelenggara SNTEI tahun 2018 menyampaikan terima kasih kami kepada PT. Tamara Overseas Corporindo dan PT. Buana Prima Raya, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan untuk terselenggaranya kegiatan ini. Akhir kata selamat berkarya untuk kemajuan bangsa dan negara.

Makassar, 10 Oktober 2018

Ketua Panitia,

Dharma Aryani

DAFTAR ISI

| | |
|----------------|----|
| Halaman Judul | i |
| Susuna Panitia | ii |
| Kata Pengantar | iv |
| Daftar Isi | v |

ORAL PRESENTATION

TEKNIK LISTRIK

| | |
|--|----|
| Evaluasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 KV Penyulang Toddopuli Wa Ode Sitti Hajriani F.A.¹⁾, Syarifuddin²⁾, Satriani Said Akhmad³⁾. | 1 |
| Peramalan Beban Konsumsi Energi Listrik Jangka Pendek dengan Metode ARIMA Pada Gedung Teknik Elektro Kampus 2 PNUP Shaum Attaqwa¹⁾, Nirwan Noor²⁾, Ashar AR³⁾ | 11 |
| Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Pada Penyulang Kartini PT.PLN (Persero) Rayon Watang Sawitto Dengan Metode Section Technique (SAIFI-SAIDI) Sitti Syarah¹⁾, Sofyan²⁾ | 16 |
| Analisis Faktor-Faktor Penuaan Minyak Transformator Sofyan¹⁾, Agus Efendy²⁾, Kurniawati Naim³⁾ | 22 |
| Analisis Koordinasi Zona Area Proteksi PLTU Mamuju dan Trafo GI Mamuju Nurhayati Rasyid¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Marwan³⁾ | 28 |
| Peningkatan Sistem ESP dalam Efisiensi Penggunaan Daya Listrik di Tonasa V Deva Riyanto K¹⁾, Tadjuddin²⁾, Purwito³⁾ | 34 |
| Studi Kelayakan Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Gedung Hotel Harper Makassar Muh Rizal¹⁾, Ahmad Rosyid Idris²⁾, Naely Muchtar³⁾ | 38 |
| Studi Perencanaan Jaringan Distribusi di Desa Karassing Kecamatan Herlang Kabupaten Bulukumba Kurniawati Naim | 44 |
| Prakiraan Kebutuhan Daya Listrik pada Kota Makassar dari Tahun 2018 Sampai dengan Tahun 2028 Nurul Zakinah | 50 |
| Perancangan Simulasi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Sebagai Energi Alternatif Pauzan Asri¹⁾, Ahmad Rosyid Idris²⁾, Kurniawati Naim³⁾ | 56 |
| Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Studi Kasus PLTB Sidrap Supiarti Nurul Qamariah¹⁾, Aksan²⁾ | 62 |
| Analisis Kestabilan Transient Generator Sinkron pada PLTU Bosowa Energi Jeneponto Surachman Adriansyah¹⁾, Sofyan²⁾, Alimin L.³⁾ | 67 |

| | |
|---|-----|
| Studi Efisiensi Penggunaan Electrostatic Precipitator (ESP) pada PT. Makassar Tene Vivi Yulianti | 71 |
| Studi Aliran Daya Sistem Kelistrikan PT. Makassar Tene Putri Dwi Asriyani | 77 |
| Rancang Bangun Prototipe Pemisah dan Pengangkut Barang dengan Sistem Pneumatik Berbasis PLC Andi Khaidir Qadri Agussalim¹⁾, Ilham Hidayat Nasir²⁾, Hamdani³⁾ | 83 |
| Audit Konsumsi Energi Listrik Pada Gedung Harper Perintis Makassar Nur Haeda¹⁾, Talib Bini²⁾, Ahmad Rosyid Idris³⁾ | 89 |
| Pemanfaatan Power Quality Meter (PQM) dalam Pengukuran pada Instalasi Tenaga Hasnawiyah¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Sarma Thaha³⁾ | 94 |
| Analisis Gangguan pada Gardu GT.PAL 020 di Kompleks Bumi Permata Hijau Jalan Sultan Alauddin Makassar Amalia Azhari Iskandar¹⁾, Hamma²⁾ | 100 |
| Perencanaan Perbaikan Faktor Daya pada PT Makassar Tene Nurul Rahmi | 105 |
| Rancang Bangun Alat Monitoring Parameter Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Via LCD Yusfika D¹⁾, Deriantama Wahyu D²⁾ | 111 |
| Rancang Bangun Alat Monitoring Parameter Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Via <i>Personal Computer</i> A. Rezky Wahyuni¹⁾, Andi Waris²⁾, Aksan³⁾, A.Wawan Indrawan⁴⁾ | 117 |
| Studi Aliran Daya pada Kelistrikan SULSELBAR dengan masuknya PLTU Mamuju 2 x 25 MW Abdul Wahid Kadir¹⁾, Bakhtiar²⁾, Satriani Said Akhmad³⁾ | 123 |
| Analisis Sistem Proteksi Impedance Relay (Distance Relay) pada Jaringan Transmisi 70 KV GI Mandai – GI Pangkep Dewi Purnamasari¹⁾, Ahmad Gaffar²⁾, Hamma³⁾ | 131 |
| Sistem Kontrol Multivariabel Temperatur dan Pressure Berbasis DCS Zara Trimurti Sayojanagandi¹⁾, Hamdani²⁾, A. Wawan Indrawan³⁾ | 136 |
| Analisis Perubahan Pengukuran Arus Setelah Pemasangan Current Transformer 70 kV pada Gardu Induk Pangkep Abd.Haris Hamma, Sarma Thaha | 141 |
| Mitigasi Gangguan Transmisi 70 kV Tello-Borongloe Akibat Sambaran Petir Rasni S.¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Kurniawati Naim³⁾ | 145 |
| TEKNIK TELEKOMUNIKASI | |
| Desain Penyandian CRC Berbasis FPGA Sahbuddin Abdul Kadir | 151 |

| TEKNIK ELEKTRONIKA DAN ROBOTIKA | |
|---|-----|
| Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi dengan Unit <i>Soft Starter</i> dan <i>Stall Detector</i> Berbasis SIMULINK untuk <i>Apparatus</i> Laboratorium Mesin Listrik Muchlas | 156 |
| Rancang Bangun <i>Solar Meter</i> dengan Sistem <i>Data Logger</i> Berbasis Mikrokontroler Usman¹⁾, Umar Muhammad²⁾, Nanang Roni Wobowo³⁾ | 165 |
| Penerapan Kontrol <i>SCADA</i> pada Plant Simulator Bendungan Air Sebagai Sarana Pembelajaran Interaktif Untuk Mahasiswa Kifaya¹⁾, Chaerur Rijal²⁾ | 171 |
| TEKNIK MULTIMEDIA (TM) | |
| Penerapan <i>Augmented Reality</i> Sebagai Media Pengenalan Kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang Danar Suhenra¹⁾, Muh. Ahyar²⁾, Mardawia M Parenreng³⁾ | 177 |
| Perancangan Aplikasi Nebeng Syar'i Berbasis Android untuk Mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang Tri Fitriah¹⁾, Asriyadi²⁾, Andi Gunawan³⁾ | 182 |
| Teknik Watermarking Citra Digital Berwarna Menggunakan <i>Redundant Discrete Wavelet Transform (RDWT) – Singular Value Decomposition (SVD)</i> Fitriyani Umar¹⁾, Herdianti Darwis²⁾ | 188 |
| Penerapan Teknologi Kinect 360 sebagai Pengenalan Permainan dalam Olahraga Panahan Muflih Muqaddim S. Jafar¹⁾, Muhammad Ilyas Syarif²⁾, Mardawia M Parenreng³⁾ | 195 |
| Aplikasi <i>City Guide</i> Wisata Tana Toraja Berbasis Android Zeptian Elia Nugraha¹⁾, Asriyadi²⁾, Andi Gunawan³⁾ | 200 |
| Rancang Bangun <i>Augmented Reality</i> Pada Pembelajaran Biologi Sintesis Protein Berbasis Android Ayulestari Manaek Dase¹⁾, Nurhayati²⁾, Syahrir³⁾ | 206 |
| Perancangan Sistem Informasi Pemesanan Tiket Berbasis Android Theo Andika¹⁾, Muh. Ahyar²⁾, Muhammad Ilyas Syarif³⁾ | 212 |
| Rancang Bangun Aplikasi Sistem Informasi dan Pemesanan Jasa Laundry Berbasis Android Ira Wardani¹⁾, Nurhayati²⁾, Mardawia M Parenreng³⁾ | 219 |
| Rancang Bangun <i>Augmented Reality</i> Pada Museum La Galigo Reski Kamil¹⁾, Asriyadi²⁾, Syahrir³⁾ | 225 |
| Implementasi <i>Augmented Reality</i> Pada Kartu Edukasi Animasi Untuk Pengenalan Sirah Nabawi Nabi Muhammad SAW Ahmada Auliya Sayyid¹⁾, Nurhayati²⁾, Asriyadi³⁾ | 231 |
| Rancang Bangun Aplikasi Virtual Reality Pengenalan dan Teknik Dasar Bermain Bola Basket Berbasis Android Muhammad Reski Hasan¹⁾, Muhammad Ilyas Syarif²⁾, Andi Gunawan³⁾ | 237 |

| | |
|---|-----|
| Sistem Informasi Pemesanan Tempat Penginapan di Ekowisata Butta Gowa Resort Berbasis Web Andi Nurma Yunita¹⁾, Muh.Ilyas Syarif²⁾, Andi Gunawan³⁾ | 243 |
| Perancangan Augmented Reality Pada Mata Pelajaran Fisika Dasar Achmad Zulfajri S.¹⁾, Nurhayati²⁾, Syahrir³⁾ | 249 |
| Pengembangan Sistem Keamanan Pengendara Motor Pada Kasus Pembegalan Suhartini¹⁾, Asriyadi²⁾, Syahrir³⁾ | 255 |
| Perancangan Sistem Informasi Kelompok Tani Menggunakan Metode <i>K-Nearest Neighbor</i> Berbasis WEB Tarmuji Rauf¹⁾, Nurhayati²⁾, Syahrir³⁾ | 261 |
| <i>Smart Traffic Ligth</i> Berbasis Kamera sebagai Solusi Kemacetan Amal Fajrin¹⁾, Muh. Ahyar²⁾, Syahrir³⁾ | 265 |
| Rancang Bangun Aplikasi Menggambar dan Mewarnai untuk Anak-Anak Berbasis Android Andi Nasrawaty¹⁾, Asriyadi²⁾, Mardawia M Parenreng³⁾ | 271 |
| TEKNIK INFORMASI DAN KOMPUTER (TIK) | |
| Pola Klasifikasi Sektor Usaha UMKM dengan CART Menggunakan Seleksi Fitur Information Gain Fatma Indriani¹⁾, Dwi Kartini²⁾ | 277 |
| Penerapan <i>Location-Based Service</i> Pada Layanan Informasi Perguruan Tinggi Berbasis Android Najirah Umar¹⁾, Billy Eden William Asrul²⁾, Jamaluddin Sawaji³⁾ | 282 |
| Sistem Pendukung Keputusan Peramalan Harga Komoditas Pangan Menggunakan Algoritma Naïve Bayes dan Simple Exponential Smoothing Studi Kasus: Dinas Perdagangan Kota Makassar Billy Eden William Asrul¹⁾, Sitti Zuhriyah²⁾ | 287 |
| Sistem Pelaporan Pelaksanaan Kegiatan Sertifikasi Kompetensi BNSP (Studi Kasus: LSP-P1 Politeknik Negeri Ujung Pandang) Farid Mustari¹⁾, Irmawati²⁾, Rini Nur³⁾ | 293 |
| Penerapan Sistem Peringatan Potensi Tabrakan Untuk Peningkatan Keselamatan Pada Lokasi Rawan Kecelakaan Ibrahim Abduh¹⁾, Dahlia Nur²⁾, Muh. Ahyar³⁾ | 299 |
| Aplikasi Bebas Bengkalai Mahasiswa Pada Politeknik Negeri Ujung Pandang Muhammad Alim Bahri¹⁾, Iin Karmila Yusri²⁾, Hafsah Nirwana³⁾ | 304 |
| TEKNIK KOMPUTER DAN JARINGAN (TK) | |
| Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Server Pada Data Center Politeknik Negeri Ujung Pandang Muhammad Ilham Syarifuddin¹⁾, Kasim²⁾, Muh. Ahyar³⁾ | 309 |
| Pendeteksi Gerak Berbasis Embedded-System dan Kamera As'ad Djamalilleil¹⁾, Mardawia Mabe Parenreng²⁾ | 314 |

| | |
|--|-----|
| Monitoring Akuisisi Data Satelit Pada Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Parepare Hajjaria¹⁾, Kasim²⁾, Eddy Tungadi³⁾ | 319 |
| Analisis Fungsi Metode <i>Scale Invariant Feature Transfrom</i> (SIFT) dalam Pengenalan Wajah Berdasarkan Perbedaan Sudut Pengambilan Gambar Bagus Sabrang Miftachul Choiron Abdillah¹⁾, Muh. Ahyar²⁾, Irmawati³⁾ | 326 |
| ELK : Teknologi Mesin Pencari Big Data Terdistribusi Fathin Abd. Hadi¹⁾, Muh. Ahyar²⁾, Irfan Syamsuddin³⁾ | 333 |
| Rancang Bangun <i>E-commerce</i> Pada Toko Kerajinan Tradisional Makassar Menggunakan Metode <i>Electronic Payment</i> dan Aplikasi Telegram Muh. Fiqri Jayakarsa¹⁾, Eddy Tungadi²⁾, Muh. Fajri Raharjo³⁾ | 339 |
| Analisis Perilaku Malware Menggunakan Metode Analisis Dinamis dan Analisis Statis Wijianto¹⁾, Irfan Syamsudin²⁾, Muh. Ahyar³⁾ | 345 |
| Sistem Virtual Lab untuk Peningkatan Performansi Laboratorium Komputer Miftahul Khair¹⁾, Kasim²⁾, Iin Karmila Yusri³⁾ | 351 |
| Analisis Performansi <i>Link Aggregation Control Protocol</i> (LACP) Antar Perangkat Switch Muh. Nadzir¹⁾, Zawiyah Saharuna²⁾, Irmawati³⁾, Irawan⁴⁾, Rini Nur⁵⁾ | 355 |
| Implementasi Infrastruktur Virtualisasi dengan Openstack Muhammad Satir¹⁾, Irawan²⁾, Kasim³⁾ | 361 |
| Implementasi <i>Interface Hadoop</i> Menggunakan <i>Raspberry Pi</i> Nasruddin¹⁾, Irawan²⁾, Syahrir³⁾ | 367 |
| Peningkatan Kinerja Proses Data Satelit Pada Stasiun Bumi Pengindraan Jauh Parepare Menggunakan <i>Parallel Data Processing</i> Fatahillah M¹⁾, Dahlia Nur²⁾, Irawan³⁾ | 373 |
| Sistem <i>Monitoring</i> Jaringan Komputer Portabel Menggunakan <i>Zabbix</i> dan <i>Raspberry pi</i> Akhdan Naufal Ramadhan¹⁾, Dahlia Nur²⁾, Syahrir³⁾ | 378 |
| Aplikasi Pelaporan Data Bendung Kampili Berbasis API Telegram Nurul Auliyah Tiara Putri¹⁾, Dahlia Nur²⁾, Kasim³⁾ | 384 |
| Machine Learning Penentuan Penerima Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) Eddy Tungadi¹⁾, Irfandy Thalib²⁾, Muhammad Nur Yasir Utomo³⁾ | 391 |
| Sistem Informasi Pelaporan, Pemeliharaan, dan Perbaikan Fasilitas Menggunakan <i>Application Programming Interface</i> (API) Telegram (Studi Kasus: Politeknik Negeri Ujung Pandang) Yunira¹⁾, Iin Karmila Yusri²⁾, Meylanie Olivya³⁾ | 397 |
| POSTER SESSION | |
| TEKNIK LISTRIK | |
| Analisis Gangguan Hubung Singkat Simetri dan Tidak Simetri pada Jaringan Distribusi 20KV di Gardu Induk Panakkukang Muh.Harjunang¹⁾, Satriani Said A²⁾, Agus Salim³⁾ | 402 |

| | |
|---|-----|
| Analisa Penggunaan Recloser Pada Jaringan Distribusi 20 kV Di GI Bulukumba Irfan¹⁾, Purwito²⁾ | 408 |
| Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Bungin Kecamatan Bungin Kabupaten Enrekang Provinsi Sulawesi Selatan Aulia Rahmah | 415 |
| Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTS-PLTD) di Pulau Kulambang Nurul Ilmi¹⁾, Bakhtiar²⁾, Ahmad Rosyid Idris³⁾ | 420 |
| Sistem Proteksi Distance Relay Saluran Transmisi 150 KV Gi Sidrap – Gi Maros Sebelum dan Sesudah Interkoneksi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap Indra Sanusi¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Sarma Thaha³⁾ | 427 |
| Analisis Kompensasi Reaktif Terhadap Motor Induksi 3 Fasa Edhy Sunarwi. A¹⁾, Agus Salim²⁾, Nirwan A Noor³⁾ | 433 |
| Analisis Peramalan Beban Daya 900 VA sebagai Salah-satu Acuan Perencanaan Pembangkitan Sumber Energi Alternatif Fathu Rahmah¹⁾, Bakhtiar²⁾, Sofyan³⁾ | 439 |
| TEKNIK ELEKTRONIKA DAN ROBOTIKA | |
| Rancang Bangun <i>Soft Starter</i> Motor Induksi Berbasis Mikrokontroler Harry Christanto Pinta Masirri¹⁾, Andi Wawan Indrawan²⁾, Nirwan A. Noor³⁾ | 445 |
| Rancang Bangun Robot <i>Line Follower</i> Digital Beroda dengan Pengendalian Kecepatan Berbasis PID (<i>Proportional-Integral-Derivative</i>) Alfinur Hasanuddin¹⁾, Dharma Aryani²⁾, Muhammad Adnan³⁾, Andi Satria Adiputra⁴⁾ | 451 |
| Rancang Bangun Indikator Tangki Bahan Bakar Digital dengan Arduino Nur Aminah¹⁾, Asriadi Syam²⁾, Nurul Ramadhani³⁾ | 457 |
| TEKNIK KOMPUTER DAN JARINGAN (TK) | |
| Aplikasi Penilaian Kinerja Karyawan dengan Metode SMART (<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>) (Studi Kasus PT. Charoen Pokphand Indonesia TBK. Makassar) Asriadi¹⁾, Rini Nur²⁾, Muh. Fajri Raharjo³⁾ | 462 |
| Distribusi Informasi Administrasi Persuratan (Studi Kasus: Politeknik Negeri Ujung Pandang) Nur Wahida Sholehatun Nisaa¹⁾, Iin Karmila Yusri²⁾, Meylanie Olivya³⁾ | 468 |
| Sistem Pembelajaran Online Untuk Program Mentoring Agama Islam Mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang Saridewi.B¹⁾, Iin Karmila Yusri²⁾, Khairun Nisa³⁾ | 475 |
| Dongeng Interaktif Berbahasa Makassar Berbasis Android Ario Nasis¹⁾, Irawan²⁾, Eddy Tungadi³⁾ | 480 |
| Aplikasi Tracking Rute Optimal Berdasarkan Jarak Dan Traffic Pada Kurir Pengantar Barang (Studi Kasus : Laundry An Nur) Riseldase Bata¹⁾, Dahlia Nur²⁾, Meylanie Olivya³⁾ | 486 |

| | |
|---|-----|
| Indoor Wifi Positioning System Menggunakan Metode Fingerprinting Fadel Muhammad¹⁾, Zawiyah Saharuna²⁾, Irmawati³⁾ | 492 |
| Sistem Absensi Mahasiswa Menggunakan Kartu Cerdas Berbasis Raspberry Pi Muhammad Jabal Nur¹⁾, Eddy Tungadi²⁾, Kartika Dewi³⁾ | 498 |

Sistem Kendali Motor Induksi Berkinerja Tinggi dengan Unit *Soft Starter* dan *Stall Detector* Berbasis SIMULINK untuk *Apparatus* Laboratorium Mesin Listrik

Muchlas

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta
muchlas.te@uad.ac.id

Abstrak

Kajian ini bertujuan mengimplementasikan sistem kendali *soft-starter* untuk mereduksi lonjakan arus dan torsi pada saat transien, dan *stall detector* yang akan mematikan secara otomatis catu tegangan motor jika terjadi *stall* pada keadaan *steady-state*. Setelah melalui proses desain dan implementasi ke dalam model SIMULINK, sistem diujikan terhadap 8 (delapan) jenis motor induksi yakni jenis 215 HP, 150 HP, 100 HP, 50 HP, 20 HP, 10 HP, dan 5.4 HP. Data-data tentang karakteristik motor yang menunjukkan kinerja sistem kendali diperoleh melalui eksperimen simulatif dan dianalisis dengan membandingkannya terhadap kriteria teoritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali yang dikembangkan memiliki kinerja yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai *apparatus* laboratorium Mesin Listrik, 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*. Selain itu, diperoleh pula informasi kecepatan *soft-start* berpengaruh terhadap perubahan rasio reduksi arus *starting*, semakin lambat catu *soft-start* yang diberikan, sistem kendali akan memberikan tingkat reduksi arus *starting* yang semakin tinggi.

Keywords: *apparatus laboratorium, sistem kendali berkinerja tinggi, motor induksi tiga fase, soft-starter, stall detector*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi banyak digunakan dalam bidang industri, karena memiliki kelebihan-kelebihan yang tidak dimiliki oleh motor jenis lain seperti motor DC. Untuk daya yang sama, mesin ini harganya lebih murah, konstruksinya lebih kuat dan pemeliharaannya lebih mudah. Namun pada sisi lain, motor jenis induksi ini memiliki kelemahan fundamental yakni pada saat *start-up* membangkitkan lonjakan arus dan torsi yang dapat menimbulkan efek kedip mengganggu alat-alat listrik yang dipasang pada *power line* yang sama, dan dapat menimbulkan kerusakan pada belitan motor. Pada sisi lain, dalam keadaan *steady-state* motor induksi dapat mengalami *stall* yakni keadaan yang menunjukkan rotor berhenti berputar ketika sumbu menerima beban lebih, sementara catu tegangan masih terpasang sehingga dapat merusak belitan mesin jika *power supply* tidak segera dimatikan.

Saat ini memang telah banyak dilakukan kajian untuk memperbaiki kinerja motor induksi [1], [2], [3], [4], [5], namun studi tersebut masih terbatas pada pengendalian untuk *soft-start* yang memberi pengamanan motor di daerah transien saja, sedangkan kajian pengendalian yang mengintegrasikan pengamanan motor di daerah transien maupun *steady-state* dengan *stall detection* belum banyak disajikan. Melalui penerapan *soft-starter* dan *stall-detector* ke dalam sistem kendali dapat diperoleh motor induksi yang memberikan kinerja tinggi dengan harga yang lebih murah serta pemeliharaan yang lebih mudah.

Implementasi sistem kendali motor berkinerja tinggi yang mengandung unit *soft-starter* dan *stall-detector* ini pada level simulatif menggunakan SIMULINK sangat penting dan diperlukan agar diperoleh sebuah *tools* yang dapat digunakan secara aman untuk eksperimen pra implementasi maupun pembelajaran praktik pengendalian motor listrik AC di laboratorium.

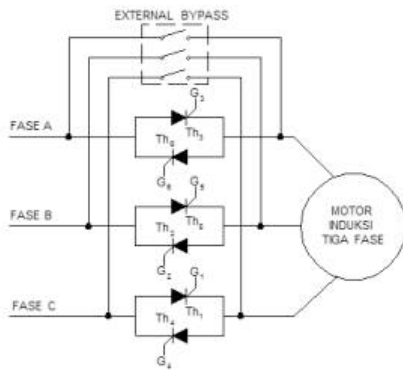
II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Kendali *Soft Starter*

Sistem pengendali *soft-starter* dapat diimplementasikan menggunakan rangkaian pengendali tegangan dengan *thyristor* terpicu yang dipasang dalam konfigurasi anti-paralel [6], [7], [8]. Prinsip *soft-starter* adalah mereduksi arus dan torsi awal dengan cara melakukan pengaturan sudut pemicuan *thyristor* untuk memberikan tegangan sekecil-kecilnya saat motor melakukan *start-up*, namun tegangan tersebut mampu membangkitkan torsi yang dibutuhkan untuk mengatasi beban. Melalui cara ini, seiring turunnya *slip* atau naiknya kecepatan motor, arus stator dapat direduksi karena tegangannya kecil, dan saat *steady-state* setiap fase diubah koneksinya menjadi *direct-on-line supplied*.

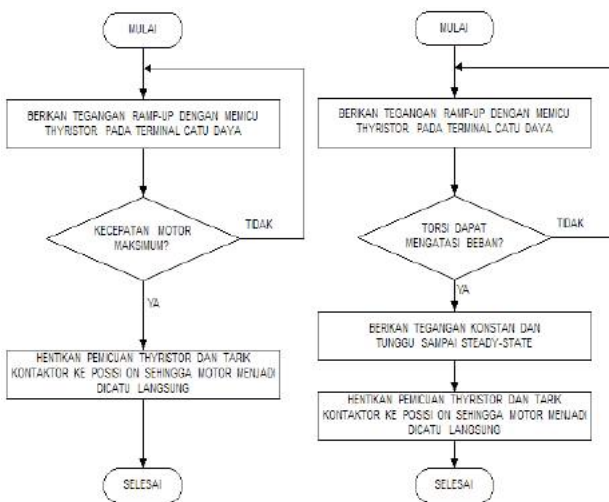
Sementara itu, perusahaan *Eaton Corporation* dan *Rockwell Automation* dalam publikasi yang diterbitkan untuk menyertai peluncuran produk-produknya, memberikan penjelasan bahwa reduksi *starting current* dan lonjakan torsi awal dapat dilakukan oleh *soft-starter* dengan memberikan tegangan dalam bentuk *ramp-up*, yakni tegangan yang nilainya berubah secara gradatif dari

kecil sampai nilai tertentu [7], [8]. Pemberian tegangan ini dilakukan oleh pengendali dengan melakukan perubahan pemicuan *thyristor* setiap setengah periode tegangan inputnya, sehingga sudut pemicuannya berubah semakin kecil yang menghasilkan tegangan *ramp-up* semakin besar selama *start-up* berlangsung. Setelah kecepatan motor maksimum tercapai, kontaktor *bypass* ditarik ON sehingga motor beroperasi menggunakan *direct-on-line supplied*, kondisi seperti ini menjadikan pekerjaan *thyristor* lebih efisien.



Gambar 1. Pengendali Tegangan *Soft-starter* Versi Eaton Corporation dan Rockwell Automation

Algoritma *soft-starter* yang digunakan untuk mendukung struktur perangkat keras pengendali pada Gambar 1, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Algoritma *Soft-Start*: (a) Kiri: Versi Eaton Corporation & Rockwell Automation, dan (b) Kanan: Versi Mohan, dkk.

Penelitian yang berhubungan dengan *soft-starter* pernah dilakukan oleh Nithin, dkk. pada 2013 yang menghasilkan *soft-starter* menggunakan pengendali tegangan dengan enam buah *thyristor* terpicu untuk mereduksi getaran torsi elektromagnetik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun tersebut

mampu mereduksi getaran torsi saat motor melakukan *start-up* [1]. Dalam penelitian tersebut tidak dideskripsikan secara eksplisit hasil minimalisasi getaran torsi dalam bentuk grafik karakteristik torsi. Pada tahun yang sama Rafeek, dkk. melakukan penelitian tentang sistem untuk mereduksi arus dan torsi motor saat *start-up*. Disain sistemnya merupakan model matematis dari pengontrol tegangan dengan enam buah *thyristor* terpicu yang diverifikasi dengan model SIMULINK dari MATLAB.

Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pada tingkat simulatif, pengendali tegangan dengan *thyristor* terpicu oleh pulsa dengan *firing angle* gradual dari besar ke kecil, dapat mereduksi lonjakan arus dan torsi awal saat motor induksi tiga fase melakukan *start-up* [2]. Hasil kedua penelitian tersebut telah menguatkan pandangan bahwa *soft-starter* dapat dibangun menggunakan pengendali tegangan yang dipasangi *thyristor* dengan konfigurasi anti paralel pada setiap fasenya dan diberi sudut pemicuan secara graduatif dari besar ke kecil sehingga menghasilkan tegangan fase yang bersifat *ramp-up*.

Penelitian Ryu, dkk. pada 2016 menghasilkan sebuah sistem kendali *soft-starter* yang dapat mereduksi arus *starting* yang tinggi pada motor induksi besar yakni *blower*, kipas angin, pompa dan peralatan *crain*. Penelitian ini juga menggunakan pengendali tegangan yang dilengkapi dengan *thyristor* terpicu untuk mengendalikan *soft-starter* dan mengatur kecepatan motor. Hasil penelitian menunjukkan rangkaian pemicu *thyristor* telah dapat bekerja dengan baik dan dapat menghasilkan tegangan yang berubah dari nilai kecil ke nilai yang semakin besar sehingga motor dapat melakukan *start-up* dengan halus [9].

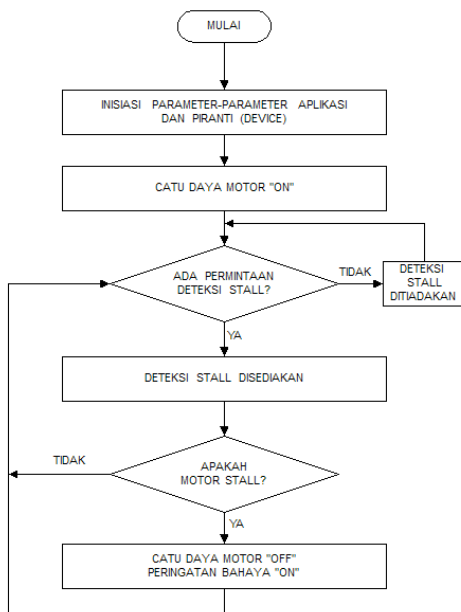
Relevan dengan hasil penelitian Ryu, dkk., penelitian Jun, dkk. pada 2016, telah mengembangkan sebuah strategi pengendalian *soft-starter* sehingga dapat memberikan hasil menurunnya arus *starting* saat motor melakukan *start-up* [10]. Sementara itu, Trivedi, dkk. pada 2017, juga telah berhasil menyimulasikan dengan SIMULINK rancangan *soft-starter* berbasis pengendali tegangan menggunakan *thyristor* terpicu. Hasil simulasinya menunjukkan bahwa dengan cara memberikan sudut picu secara graduatif pada *thyristor*, sistem menghasilkan tegangan yang bertambah secara graduatif pula sehingga memberikan efek *soft-starting* menurunkan arus awal dari 82 A menjadi 38 A pada motor induksi tiga fase [11].

Kedua hasil penelitian di atas yakni dari Jun, dkk. serta simulasi dari Trivedi, dkk. telah menambah kuatnya pandangan bahwa *soft-starter* untuk motor induksi tiga fase dapat dibangun menggunakan pengendali tegangan dengan *thyristor* sebagai komponen utamanya. Sedangkan dari aspek prosedurnya, semua penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa penurunan arus *starting* dapat direduksi oleh *soft-starter* dengan cara memberikan tegangan catu dalam bentuk *ramp-up* yang dilakukan dengan memberikan sudut pemicuan awal tinggi, dan

secara graduatif digeser ke sudut pemecuan yang rendah hingga torsi elektromagnetik mampu mengatasi beban.

B. Sistem Kendali Stall Detector

Sistem kendali deteksi *stall* digunakan untuk mendeteksi munculnya keadaan *stall*, yakni motor dalam keadaan berhenti berputar karena bebannya berlebihan namun tegangan catu masih terpasang. Jika pada keadaan ini catu tegangan tidak segera dimatikan, kondisi *stall* dapat menyebabkan kerusakan pada belitan motor. Agar motor tetap aman, sistem kendalinya perlu dilengkapi dengan pendeteksi keadaan *stall* yang akan mendeteksi situasi *overloaded* dan unit *breaker* yang akan melakukan langkah-langkah cepat dalam memutus catu daya ketika motor kelebihan beban. Penjelasan tentang prinsip kerja detektor *stall* dapat ditemukan pada dokumen-dokumen yang dipublikasikan oleh perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam bidang pengendalian motor cerdas. Menurut dokumen *Application Note AN2149* dari perusahaan *Freescale Semiconductor*, dijelaskan bahwa prinsip sistem kendali deteksi *stall* dapat digambarkan seperti pada diagram alir yang disajikan melalui Gambar 3 berikut ini [12].

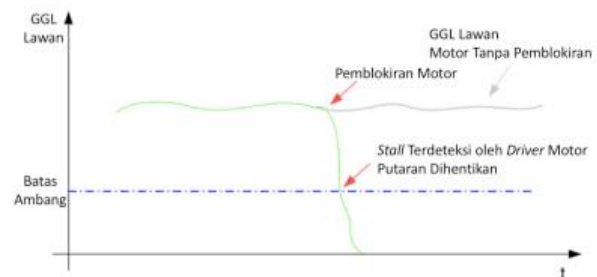


Gambar 3. Diagram Alir Sistem Kendali Deteksi *Stall* pada Motor Listrik dari *Freescale Semiconductor, Inc.*

Berdasarkan Gambar 3 dapat diperoleh penjelasan bahwa pada sistem kendali deteksi *stall*, mula-mula dilakukan inisiasi parameter-parameter aplikasi, diteruskan dengan pemberian catu daya motor dan pengaktifan detektor. Jika terdeteksi adanya situasi *stall*, maka sistem kendali akan mematikan catu daya dan menghidupkan tanda peringatan bahaya. Sementara itu, dari dokumen *Application Note AN2650* yang diterbitkan oleh perusahaan *ST Microelectronics*, diperoleh informasi bahwa deteksi *stall* dapat dilakukan dengan menggunakan metode GGL (gaya gerak listrik) Lawan. Pada motor yang mengalami *stall*, oleh karena rotor berhenti berputar maka

belitannya tidak menimbulkan GGL Lawan. Ketiadaan GGL Lawan ini yang ditunjukkan oleh meningkatnya arus motor dapat digunakan sebagai indikator keadaan *stall*. Prinsip pendeteksian *stall* dilakukan dengan mendeteksi kenaikan arus motor yang terjadi selama mesin *running*, dan jika kenaikan arus mencapai batas ambang yang menunjukkan tidak adanya GGL Lawan, maka dianggap terjadi keadaan *stall*, selanjutnya dilakukan pemutusan terhadap arus fase yang mencatu motor [13].

Penggunaan GGL Lawan sebagai metode pendeteksian keadaan *stall* juga digunakan oleh perusahaan kontrol mesin listrik cerdas *ON Semiconductor*, yang penjelasannya disajikan melalui Gambar 4 berikut ini [14].



Gambar 4. Prinsip Pendeteksian *Stall* Menggunakan GGL Lawan dari *ON-Semiconductor*

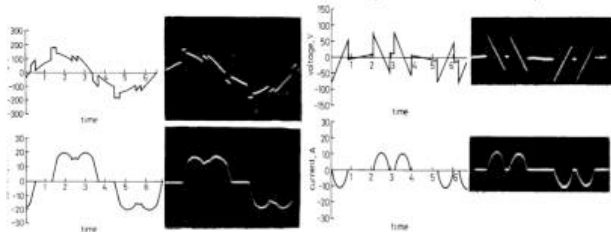
Metode pendeteksian *stall* pada Gambar 4 di atas menggunakan nilai batas ambang sebagai parameter pengendalian. Batas ambang merupakan nilai GGL Lawan yang dianggap menjadikan motor mengalami keadaan *stall*. Ketika terjadi pemblokiran pada motor, kecepatan putar rotor akan menurun secara drastis menyebabkan GGL Lawan juga menurun dan jika nilainya sampai pada batas ambang, pengendali akan menghentikan putaran motor dengan memutus arus catu daya. Pendeteksian GGL Lawan itu sendiri dapat dilakukan dengan berbagai metode, dan menurut Unsworth pemegang *patent* Amerika Serikat 1988 nomor 4767975, GGL Lawan yang berhubungan dengan keadaan *stall*, dapat diperkirakan nilainya saat mencapai batas ambang [15].

Salah satu penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan detektor *stall* pernah dilakukan oleh para peneliti dari Universitas Pane India. Borse, dkk. pada 2015 telah mendesain sebuah sistem proteksi pada motor induksi tiga fase dengan menggunakan basis PLC. Melalui penelitian tersebut, telah ditemukan bahwa desain yang diajukan telah dapat bekerja dengan baik, dalam arti tidak hanya dapat mereduksi *starting current* saja saat motor melakukan *start-up*, namun sistem mampu membangkitkan torsi internal awal besar yang mampu mengatasi beban. Sistem yang dikembangkan juga telah mampu memonitor arus lebih, tegangan lebih, suhu lebih, kecepatan lebih, lonjakan dan vibrasi arus serta dapat mengatasi kesalahan-kesalahan yang terjadi selama operasi motor berlangsung [16].

Merujuk penelitian di atas, terlihat bahwa sistem proteksi dapat diimplementasikan dengan memasang unit pengukuran arus dan unit pengukuran tegangan. Dengan menghubungkan unit pengukuran tersebut ke bagian prosesor (dalam hal ini PLC), dapat dijalankan sebuah prosedur atau algoritma pengendalian untuk melindungi motor induksi. Dalam konteks pengembangan sistem proteksi motor dari keadaan *stall*, hasil penelitian para peneliti dari India ini memberikan inspirasi jika kondisi *stall* dapat diwakili oleh naiknya arus sampai batas ambang tertentu, maka pendeteksiannya dapat dilakukan dengan memasang unit trafo arus pada jalur fase tegangan input. Selanjutnya, jika arus yang terdeteksi oleh sensor arus telah mencapai batas ambang yang telah ditentukan, sistem dapat menggerakkan *relay driver* untuk memutus catu daya motor pada setiap fasenya.

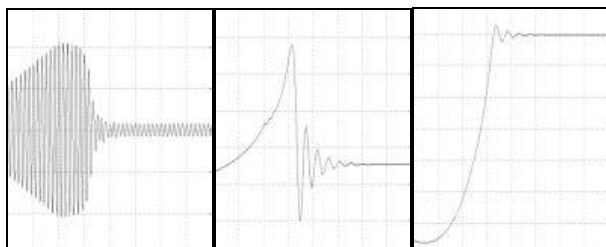
C. Kriteria Kinerja Sistem

Untuk mengukur kinerja pengendali tegangan dengan *thyristor* terpicu, dapat digunakan pembandingan bentuk gelombang arus dan motor hasil penelitian Hamed dan Chalmers seperti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Motor Induksi Tiga Fase dari Hamed dan Chalmers [17]

Jika sistem yang dikembangkan dapat menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan sesuai dengan hasil analisis teoritik Hamed dan Chalmers maka sistem dinyatakan telah dapat bekerja dengan baik. Sementara itu, untuk mengukur kinerja sistem kendali *soft-starter*, dapat digunakan pembandingan karakteristik arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 6 [1], [2], [10], [11], [18].

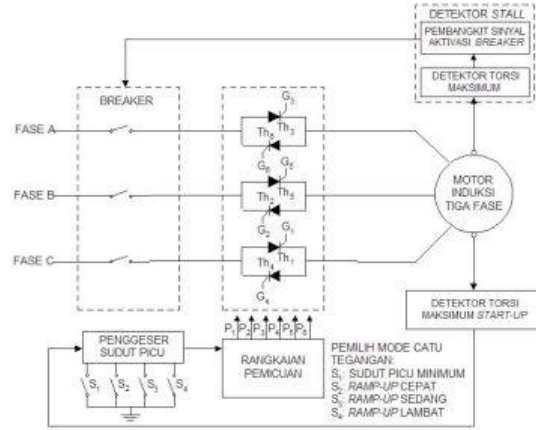


Gambar 6. Bentuk Gelombang Hasil Penelitian Terdahulu Pada Sistem Kendali *Soft-start*, dari Kiri ke Kanan: Karakteristik Arus, Torsi dan Kecepatan Putar Dalam Fungsi Waktu

D. Sistem yang Dikembangkan

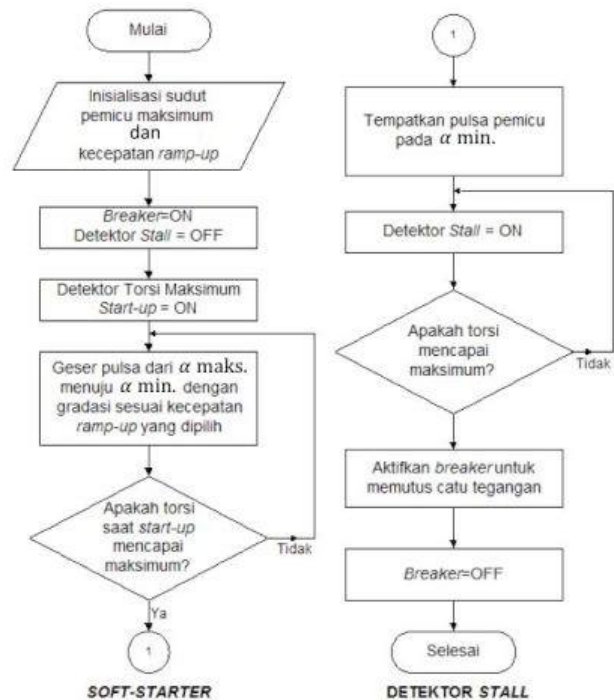
Desain-desain dari referensi [1], [2], [6], [7], [8], [9], [10], [11] telah menjadi sumber inspirasi pengembangan unit *soft-starter* yang menjadi bagian dari sistem kendali

berkinerja tinggi yang dikembangkan dalam penelitian ini. Sementara itu, rancangan pengendali dari referensi [12], [13], [14], [15], [16], [18] telah menjadi sumber ide pengembangan unit *stall detector*. Berdasarkan sumber-sumber yang telah digali tersebut, dapat digambarkan rancangan perangkat keras dari sistem kendali yang dikembangkan pada penelitian ini seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Arsitektur Perangkat Keras Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi

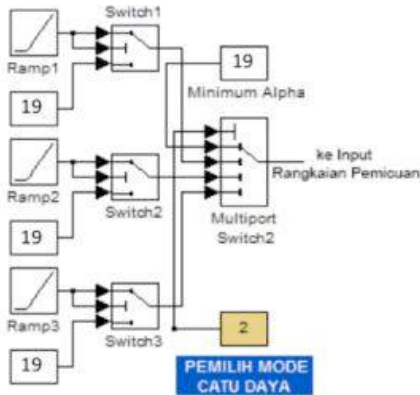
Berdasarkan eksplorasi pustaka, selain dapat dikembangkan arsitektur perangkat keras seperti Gambar 7 di atas, dapat pula dirancang algoritma pengendalian seperti ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Algoritma Pengendalian Sistem Kendali Motor Berkinerja Tinggi

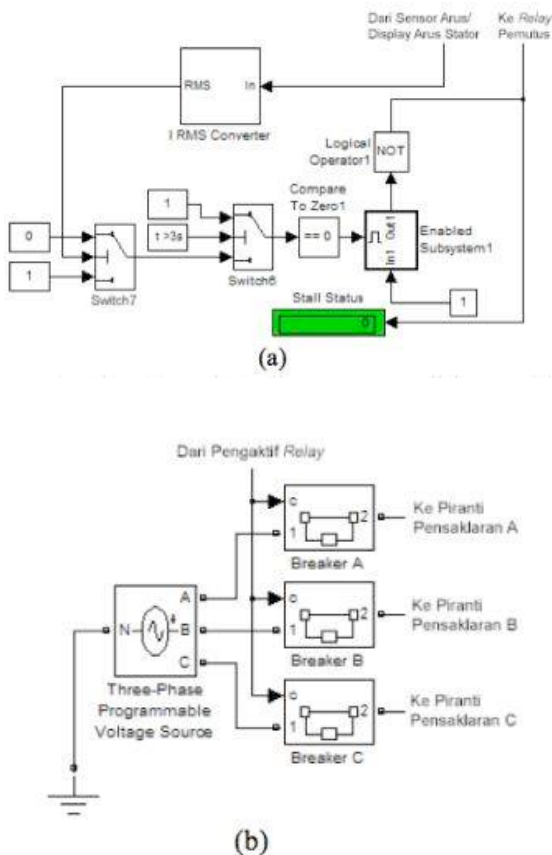
Rangkaian penggeser sudut picu atau penggeser pulsa pada Gambar 7 di atas, dalam model SIMULINK dapat disusun dengan menggunakan rangkaian pembangkit bilangan *decrement* untuk sudut pemucuan alfa. Rangkaian

ini akan membangkitkan nilai alfa dari nilai maksimum menuju nilai minimum dalam satuan derajat listrik. Rangkaian penggeser pulsa pemicuan dalam format disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Penggeser Pulsa

Sedangkan rangkaian *stall detector* yang terdiri atas rangkaian sensor arus/torsi maksimum, pengaktif *relay*, dan *relay* pemutus dalam model SIMULINK ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Unit *Stall Detector* Versi SIMULINK Terdiri Atas: (a) Pengaktif *Relay* dan (b) *Relay* Pemutus

III. METODE PENELITIAN

Studi ini diawali dengan melakukan perancangan sistem kendali *soft-starter* dan *stall-detector* menggunakan Gambar 7 dan Gambar 8. Selanjutnya, dilakukan implementasi rancangan tersebut menggunakan SIMULINK dan diteruskan dengan pengujian pada setiap unit dalam sistem kendali yang dikembangkan.

A. Sampel Penelitian

Sistem yang telah dibangun, diujicobakan terhadap 8 buah motor induksi tiga fase dari jenis 215 HP, 150 HP, 100 HP, 50 HP, 20 HP, 10 HP, dan 5.4 HP. Semua motor yang menjadi sampel penelitian diambil dari model yang disediakan oleh SIMULINK dengan parameter seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Motor Induksi Tiga Fase Sampel Penelitian

| No. | Jenis Motor/ Name Plate | Parameter | | | | | | | |
|-----|---------------------------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|------------------------------------|-------------|-----|
| | | R_s (Ω) | L_s (H) | R_r (Ω) | L_r (H) | L_m (H) | J ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) | F (N.m.s) | p |
| 1 | 215HP (160KW), 400V, 50Hz, 1487rpm | 0,01379 | 0,000152 | 0,007728 | 0,000152 | 0,00769 | 2,9 | 0,05658 | 2 |
| 2 | 150HP (110KW), 400V, 50Hz, 1487rpm | 0,02155 | 0,000226 | 0,01231 | 0,000226 | 0,01038 | 2,3 | 0,05421 | 2 |
| 3 | 100HP (75KW), 400V, 50 Hz, 1484rpm | 0,03552 | 0,000335 | 0,02092 | 0,000335 | 0,0151 | 1,25 | 0,03914 | 2 |
| 4 | 50HP (37KW), 400V, 50 Hz, 1480rpm | 0,08233 | 0,000724 | 0,0503 | 0,000724 | 0,02711 | 0,37 | 0,02791 | 2 |
| 5 | 20HP (15KW), 400V, 50Hz, 1460rpm | 0,2147 | 0,000991 | 0,2205 | 0,000991 | 0,06419 | 0,102 | 0,009541 | 2 |
| 6 | 10HP (7,5KW), 400V, 50Hz, 1440rpm | 0,7384 | 0,003045 | 0,7402 | 0,003045 | 0,1241 | 0,0343 | 0,000503 | 2 |
| 7 | 5,4HP (4KW), 400V, 50Hz, 1430rpm | 1,405 | 0,005839 | 1,395 | 0,005839 | 0,1722 | 0,0131 | 0,002985 | 2 |
| 8 | 3HP, 220V, 60Hz, 1725rpm | 0,435 | 0,004 | 0,816 | 0,002 | 0,06931 | 0,089 | 0 | 2 |

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara eksperimen simulatif dengan menggunakan skenario operasi normal dan operasi beban lebih seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Torsi beban untuk skenario operasi normal dan beban lebih

| Jenis Motor | Torsi Beban Motor | | |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | Normal 1 $t=0s$ s.d. $t=6s$ | Normal 2 $t=6s$ s.d. $t=8s$ | Overloaded $t=8s$ s.d. $t=10s$ |
| 215 HP | 380 N | 760 N | 1000 N |
| 150 HP | 277 N | 554 N | 800 N |
| 100 HP | 213,5 N | 427 N | 600 N |
| 50 HP | 110 N | 220 N | 400 N |
| 20 HP | 42 N | 84 N | 200 N |
| 10 HP | 22 N | 44 N | 88 N |
| 5,4 HP | 11 N | 22 N | 50 N |
| 3 HP | 10 N | 20 N | 50 N |

Data-data yang dikumpulkan berupa besaran arus transien, torsi elektromagnetik dan kecepatan putar motor sebagai variabel terikat, dan waktu sebagai variabel bebas. Selanjutnya, dari data-data tersebut, dapat diperoleh grafik karakteristik dinamis dari arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan putar rotor.

C. Analisis Data

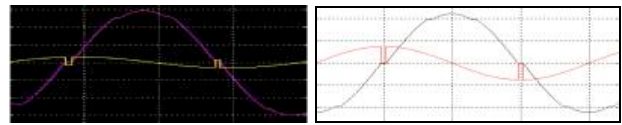
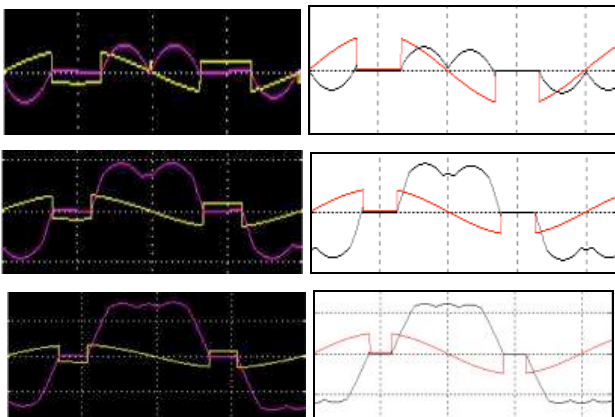
Setelah sistem utama, yakni pengendali tegangan AC menggunakan *thyristor*, teruji kinerjanya, unit *soft-starter* kemudian dipasang ke dalamnya. Untuk memastikan unit *soft-starter* telah berkerja dengan baik, dilakukan uji banding bentuk gelombang arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan rotor yang dihasilkan terhadap hasil penelitian terdahulu berdasarkan referensi [1], [2], [10], [11], [18]. Kriteria kinerjanya adalah jika bentuk gelombang yang dihasilkan oleh sistem kendali *soft-starter* yang dibangun mirip dengan bentuk gelombang motor hasil penelitian terdahulu tersebut, maka produk yang dibangun telah dapat bekerja dengan baik. Selanjutnya dilakukan uji kinerja *soft-starter* dari kemampuannya dalam mereduksi arus *starting* dan torsi. Pengujiannya dilakukan dengan cara menghitung rasio arus dan torsi saat *start-up* terhadap arus dan torsi *steady state* untuk mode *direct-on-line (DOL) supplied* dan *soft-start*. Kedua rasio tersebut dibandingkan, jika rasio arus dan torsi *starting* terhadap nilai nominalnya untuk mode *soft-start* lebih kecil dibandingkan pada mode catu DOL, maka unit *soft-starter* dianggap memiliki kinerja yang baik.

Selain *soft-starter*, sub sistem lain yang dipasang pada sistem utama pengendali tegangan adalah sub sistem detektor *stall*. Unit ini diuji kinerjanya dengan mengamati konektivitas sistem terhadap tegangan catu tiga fase. Detektor *stall* dinyatakan dapat berkerja dengan baik jika pada saat tertentu ketika motor terkena beban lebih, sehingga torsi elektromagnetik atau arus statornya meningkat sampai batas ambang yang telah ditentukan, sistem dapat mematikan/memutus catu daya secara otomatis yang ditunjukkan oleh berubahnya nilai arus dan tegangan motor menjadi bernilai nol yang dapat diamati melalui *display output*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kinerja Sistem Utama

Hasil pengujian terhadap sistem utama (sebelum dipasang unit *soft-starter* dan *stall detector* menunjukkan bentuk gelombang arus dan tegangan motor seperti pada gambar 11.

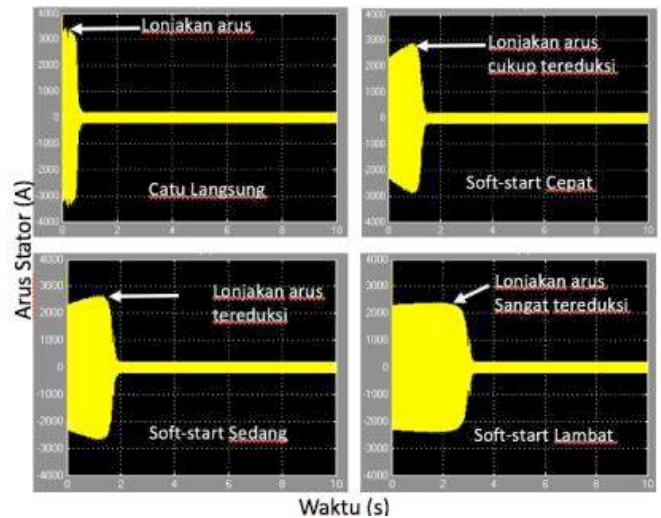


Gambar 11. Bentuk Gelombang Arus (Ungu) dan Tegangan (Kuning) Hasil Penelitian (Kiri) dan Pembanding Hamed & Chalmers (1990) (Kanan) Untuk Berbagai Sudut Pemucuan

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa bentuk gelombang tegangan eksitasi dan arus stator dari sistem utama yang dibangun pada penelitian ini mirip dengan bentuk gelombang dan arus motor hasil simulasi Hamed dan Chalmers [17]. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem utama yang dibangun pada penelitian ini yakni pengendali tegangan dengan menggunakan *thyristor* terpicu telah dapat bekerja dengan baik.

B. Kinerja Soft-Starter

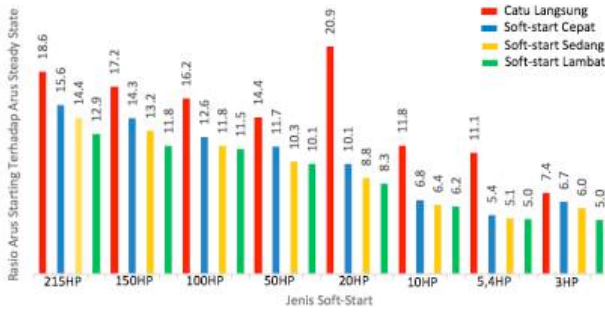
Melalui tahap pengujian, diperoleh hasil bahwa *starting current* yang dibangkitkan oleh motor induksi yang dioperasikan menggunakan catu daya langsung (*direct-on-line supplied*) terlihat nilainya sangat tinggi, namun nilai arus tersebut berkurang ketika sistem utama dijalankan dengan unit *soft-starter*, dan reduksinya semakin besar untuk kecepatan tegangan *ramp-up* yang semakin rendah (*soft-start* lambat) seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Indikator Keberhasilan Unit *Soft-Starter* Secara Visual

Secara visual, sistem kendali *soft-start* yang dibangun melalui penelitian ini telah dapat melakukan fungsinya dengan baik yakni mampu melakukan reduksi arus *starting* sehingga nilainya berkurang saat motor melakukan *start-up*. Tingkat reduksi yang dapat dilakukan oleh sistem kendali *soft-start* untuk beban Normal-1 ditunjukkan pada Gambar 13 berikut ini.

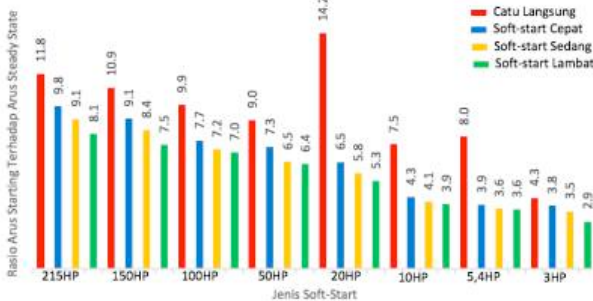
Reduksi Arus Starting Oleh Unit Soft-Starter Untuk Beban Normal-1



Gambar 13. Reduksi Arus *Starting* Oleh Unit *Soft-Starter* Untuk Beban Normal-1

Sedangkan tingkat reduksi arus *starting* yang dapat dilakukan oleh unit *soft-starter* untuk beban Normal-2 dapat disajikan melalui Gambar 14. Merujuk Gambar 13 dan Gambar 14, terlihat bahwa motor yang dicatu secara langsung membangkitkan arus *starting* yang sangat tinggi, baik untuk beban Normal-1 maupun Normal-2. Pemasangan unit *soft-starter* telah memberikan penurunan arus *starting* saat mesin melakukan *start-up* untuk semua jenis catu *soft-start* (cepat, sedang dan lambat) pada semua jenis motor. Hal ini menunjukkan dari sudut pandang kemampuan mereduksi lonjakan arus *starting*, sistem kendali *soft-start* yang dibangun telah dapat memberikan kinerja yang sangat baik.

Reduksi Arus Starting Oleh Unit Soft-Starter Untuk Beban Normal-2



Gambar 14. Reduksi Arus *Starting* Oleh Unit *Soft-Starter* Untuk Beban Normal-2

Melalui penelitian ini ditemukan pula fenomena yang menunjukkan semakin lambat catu *soft-start* yang diberikan, sistem kendali akan memberikan tingkat reduksi arus *starting* yang semakin tinggi. Hal ini berarti jenis catu *soft-start* mempengaruhi kemampuan sistem dalam mereduksi arus *starting*, dalam hal ini catu jenis *soft-start* lambat akan memberikan kinerja terbaik dari unit *soft-starter*.

Selain ditinjau dari kemampuannya dalam mereduksi lonjakan arus *starting*, kinerja unit *soft-starter* juga ditinjau dari kemampuannya dalam mereduksi lonjakan torsi saat *start-up*. Hasilnya dapat disajikan grafik pada Gambar 15 berikut ini.

Reduksi Torsi Starting Oleh Unit Soft-Starter

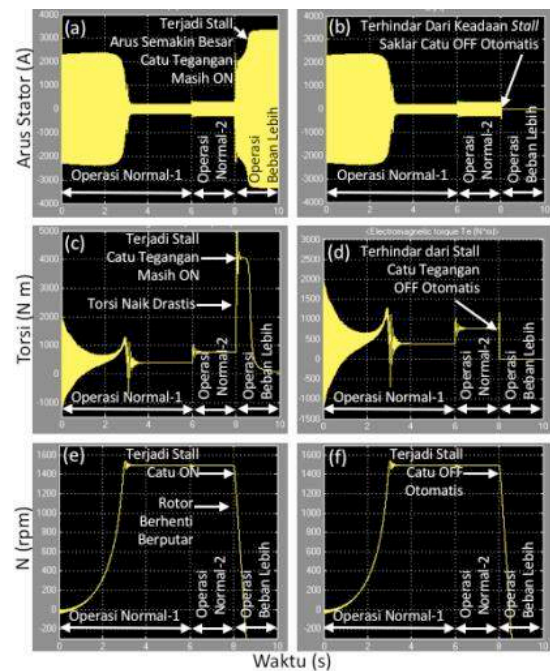


Gambar 15. Reduksi Lonjakan Torsi *Starting* Oleh Unit *Soft-Starter* Untuk beban Normal-1 dan Beban Normal 2

Merujuk Gambar 15, terlihat bahwa torsi *starting* (blok berwarna merah) yang dibangkitkan oleh motor yang dicatu secara langsung melonjak dengan nilai yang sangat tinggi. Sebagai contoh untuk motor jenis 215 HP dan 150 HP, lonjakan torsi *starting* berturut-turut mencapai 7,6 dan 7,8 kalinya torsi normal saat *steady state*, bahkan untuk motor jenis 20 HP lonjakannya mencapai hampir 20 kalinya torsi normal. Melalui Gambar 15, terlihat pula bahwa penggunaan sistem kendali *soft-start* telah mampu mereduksi lonjakan torsi *starting* untuk semua jenis *soft-starter* pada semua jenis motor yang digunakan sebagai sampel penelitian. Lonjakan torsi *starting* (blok berwarna merah) telah dapat direduksi dengan cukup signifikan menjadi torsi *starting* yang lebih rendah melalui sistem kendali *soft-start* berkecepatan tinggi (blok berwarna biru), sedang (blok berwarna kuning), dan lambat (blok berwarna hijau).

C. Kinerja Stall-Detector

Gambar 16 berikut ini merupakan analisis keadaan karakteristik motor induksi sebelum sistem dipasang *stall detector* untuk jenis catu daya *soft-start* lambat.



Gambar 16. Karakteristik Motor: (a) Tanpa *Stall Detector* dan (b) Dengan *Stall Detector*

Dari Gambar 16 (a) dan Gambar 16 (c), terlihat bahwa untuk operasi beban lebih pada sistem yang belum dipasang *stall detector*, terjadi kenaikan arus stator dan torsi elektromagnetik sehingga melebihi batas ambang keamanan motor, menyebabkan motor mengalami keadaan *stall*. Keadaan *stall* ini ditunjukkan oleh menurunnya secara drastis kecepatan putar rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 16 (e), sehingga motor menjadi berhenti berputar sementara catu tegangan masih terpasang seperti pada Gambar 16 (a). Dari analisis ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa sistem kendali yang belum dipasang unit *stall detector*, pemberian torsi beban lebih dapat menyebabkan motor mengalami *stall*, yakni motor berhenti berputar tetapi catu tegangan masih terpasang (ON) pada inputnya.

Sementara itu, pada Gambar 16 sebelah kanan, terlihat bahwa motor induksi yang dikendalikan oleh sistem kendali *soft-start* yang dilengkapi dengan *stall-detector*, pada saat menerima beban lebih arus statornya menunjukkan nilai nol yang berarti tidak ada arus yang mengalir pada belitan statornya, seperti ditunjukkan pada Gambar 16 (b). Hal ini mengindikasikan bahwa *stall-detector* yang terpasang pada sistem telah bekerja mendeteksi arus lebih akibat pemberian beban lebih, dan ketika arus tersebut melebihi batas ambangnya maka catu daya akan dimatikan sehingga tampak arusnya menjadi nol (Gambar 16b), motor tidak lagi membangkitkan torsi (Gambar 16Gd) dan motor berhenti berputar (Gambar 14f) bersamaan dengan matinya catu daya (catu daya OFF secara otomatis) sehingga motor menjadi aman.

V. KESIMPULAN

Unit *soft-start* yang dibangun pada penelitian ini memiliki kinerja sangat baik. Untuk semua jenis motor yang menjadi sampel penelitian, unit ini mampu melakukan reduksi arus dan torsi *starting* secara signifikan. Kecepatan *soft-start* berpengaruh terhadap perubahan rasio reduksi arus *starting*, semakin lambat catu *soft-start* yang diberikan, sistem kendali akan memberikan tingkat reduksi arus *starting* yang semakin tinggi. Kecepatan *soft-start* tidak berpengaruh terhadap perubahan rasio reduksi torsi *starting*.

Unit *stall detector* yang terpasang pada sistem kendali yang dibangun juga memiliki kinerja sangat baik. Untuk semua jenis catu daya dan jenis motor yang digunakan sebagai sampel penelitian, unit ini mampu mematikan secara otomatis catu daya motor jika terjadi keadaan *stall*.

Secara keseluruhan sistem kendali motor induksi berkinerja tinggi yang dibangun telah menunjukkan kinerja yang sangat baik, ditunjukkan oleh kemampuannya dalam mereduksi secara signifikan arus dan torsi *starting*, serta kemampuannya dalam mematikan secara otomatis catu daya ketika motor mengalami keadaan *stall*, sehingga dapat digunakan sebagai *apparatus* laboratorium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Sunardi, Ph.D., dan Rusydi Umar, Ph. D. dosen Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan yang telah memberikan saran-saran konstruktif terhadap paper ini melalui diskusi yang intensif. Kepada para mahasiswa peserta mata kuliah Mesin-mesin Listrik juga diucapkan terimakasih atas bantuannya melakukan uji coba produk ini.

REFERENSI

- [1] K. S. Nithin, B. M. Jos, and M. Rafeek, "An improved method for starting of induction motor with reduced transient torque pulsations," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 462–470, 2013.
- [2] M. Rafeek, B. M. Jose, K. S. Nithin, and B. Paul, "A novel soft starter for three-phase induction motors with reduced starting current and minimized torque pulsations," *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 2, no. 8, pp. 210–213, 2013.
- [3] R. Raphael and B. PR, "Fault detection of Induction Motor using Envelope Analysis," *Int. J. Adv. Res. Technol.*, vol. 2, no. 7, pp. 258–262, 2013.
- [4] R. Padmapriyadharishini, "Improved soft start capability of induction motor using solar power generation based z source inverter," *Int. J. MC Sq. Sci. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 66–76, 2015.
- [5] R. Padmapriyadharishini, K. I. N, and V. Ramakrishnan, "Comparison of pi and fuzzy based vector control and soft start capability by adding sl-zsi with photovoltaic for induction motor drive," *Int. J. Comput. Technol. Appl.*, vol. 9, no. 31, pp. 273–289, 2016.
- [6] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, Third Edit. Hoboken, Nj: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [7] Eaton Corporation, "Choosing between a soft starter and a variable frequency drive to t your application," *Industry Application IA04003002E*, Cleveland, OH, pp. 1–4, 2013.
- [8] Rockwell Automation, "When to use a soft starter or an ac variable frequency drive," *Rockwell Automation Publication 150-WP007A-EN-P*, Milwaukee, WI, pp. 1–22, 2014.
- [9] D. Ryu, H. Jeon, and J. Shon, "Implementation of soft-starter with large scale power stack for high voltage induction motor driving," *Trans. Korean Inst. Electr. Eng.*, vol. 65P, no. 2, pp. 88–93, 2016.
- [10] T. Jun, L. Yao, and W. Xia-hui, "Research and Design of High Torque Soft Starter Based on Discrete Frequency Tong Jun," in *6th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM 2016)*, 2016, pp. 150–156.

- [11] B. Trivedi, J. Raval, J. Desai, and K. Sonwane, "Soft start of induction motor using TRIAC switching," *Int. J. Eng. Dev. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 1635–1639, 2017.
- [12] W. Mackay, "Compressor induction motor stall and rotation detection using microcontrollers," *Application Note AN2149 Freescale Semiconductor, Inc.*, Denver, Colorado, pp. 1–36, 2004.
- [13] STMicroelectronics, "L9942 back emf stall detection algorithm," *Application Note AN3327*, Geneva, Switzerland, pp. 1–22, Dec-2013.
- [14] ON-Semiconductor, "AMIS-30623/AMIS-30624/NCV70627 stall detection," *Application Note AND8471/D*, Phoenix, Arizona, pp. 1–30, Aug-2015.
- [15] P. J. Unsworth, "Controller for induction motors," US4767975 A, 1988.
- [16] C. Borse, A. Pandhare, and R. Kumar, "PLC based induction motor starting and protection," *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci. Vol.*, vol. 3, no. 2, pp. 893–897, 2015.
- [17] S. A. Hamed and B. J. Chalmers, "Analysis of variable-voltage thyristor controlled induction motors," *IEE Proc.*, vol. 137, no. 3, pp. 184–193, 1990.
- [18] V. Singh, A. Gupta, A. Gupta, A. Garg, A. Khandelwal, and A. Gupta, "Induction motor protection system," *Imp. J. Interdiscip. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 714–716, 2017.
- [19] Muchlas, "Pengembangan simulator berbasis matlab untuk pembelajaran praktik karakteristik motor induksi tiga fase," Penelitian tak diterbitkan. Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, 2016.