

ISBN : 978-602-70570-5-0

PROSIDING



PIMIMD

Peranan Iptek Menuju Industri Masa Depan

4

SEMINAR NASIONAL
PERANAN IPTEK MENUJU INDUSTRI MASA DEPAN ke-4

**“ PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR
DAN TECHNOPRENEURSHIP
UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING BANGSA “**

27 Juli 2017
Institut Teknologi Padang
Jalan Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang
Telp. 0751 - 7055202



www.itp.ac.id



PUBLIC RELATION
INSTITUT TEKNOLOGI PADANG



itppadang



ITP PADANG



PROSIDING SEMINAR NASIONAL

PERANAN IPTEK MENUJU INDUSTRI MASA DEPAN (PIMIMD) 2017

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR DAN *TECHNOPRENEURSHIP*
UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING BANGSA



Padang, 27 Juli 2017

ITP Press

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL PERANAN IPTEK MENUJU INDUSTRI MASA DEPAN
(PIMIMD) 2017

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR DAN *TECHNOPRENEURSHIP*
UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING BANGSA

Diterbitkan oleh:

ITP Press

Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang 25143

Sumatera Barat Indonesia

Telp/Faks: 0751 7055202/ 0751 444842

<http://www.semnas.itp.ac.id>

email: itp.press@itp.ac.id / semnas-pimimd@itp.ac.id

Disain *cover & layout*: Panitia Seminar Nasional PIMIMD 2017

Cetakan pertama Juli 2017

ISBN 978-602-70570-5-0

© 2017 ITP. All rights reserved

Hak cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

SAMBUTAN REKTOR INSTITUT TEKNOLOGI PADANG

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu.



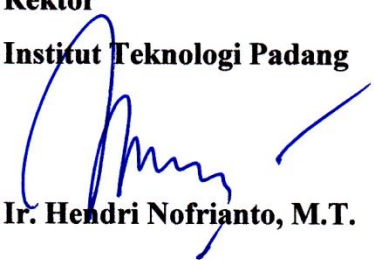
Pertama sekali tidak lupa kita haturkan puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya kepada kita sehingga apa yang menjadi tujuan yang telah diwujudkan mendapat ridhonya. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan selamat kepada Fakultas Teknologi Industri ITP yang telah berhasil menyelenggarakan Seminar Nasional PIMIMD 2017 dengan tema Pengembangan Infrastruktur dan *Technopreneurship* untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa.

Semoga ini menjadi katalis untuk kebangkitan teknologi di Indonesia dalam mengembangkan infrastruktur dan mendorong munculnya *technopreneur* yang dapat bersaing pada era globalisasi ini.

Kegiatan Seminar Nasional PIMIMD 2017 ini bukan hanya sebagai wadah berkumpulnya para peneliti dan praktisi di Indonesia namun juga sebagai tempat berbagi ilmu pengetahuan dan pengalaman dari para pakar yang ada pada bidangnya.

Saya berharap Seminar Nasional PIMIMD 2017 ini dapat menjadi forum bagi para pesertanya untuk memaparkan ide-ide baru dan ajang diskusi atas teori, analisa, rancangan dan pengembangannya guna mewujudkan masyarakat yang bermartabat.

Terakhir kepada seluruh peserta, saya harap terus produktif serta nyaman dan berkesan mengikuti kegiatan seminar yang diselenggarakan di Institut Teknologi Padang.

Rektor
Institut Teknologi Padang

Ir. Hendri Nofrianto, M.T.

KATA PENGANTAR DEKAN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI PADANG

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu.



Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD) 2017 dapat terselenggara. Selanjutnya saya mengucapkan selamat datang kepada undangan dan peserta Seminar Nasional PIMIMD 2017, semoga pada kegiatan seminar ini dapat memaparkan hasil penelitiannya dan juga saling bertukar informasi dan pengalaman.

Sejalan dengan visi, misi dan tujuan, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang terus berusaha secara berkelanjutan aktif mendorong tenaga pendidiknyanya untuk terlibat dalam berbagai kegiatan penelitian, baik yang dibiayai oleh institusi, pemerintah maupun dari pihak lain. Diharapkan dengan adanya seminar nasional ini dapat memfasilitasi komunikasi antar peneliti maupun praktisi sehingga mampu memberikan terobosan dalam bidang rekayasa, terutama berkaitan dengan tema kegiatan ini yaitu Pengembangan Infrastruktur dan *Technopreneurship* untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa.

Kemudian pada kesempatan ini juga, izinkan saya mengucapkan selamat dan terima kasih kepada Panitia Seminar Nasional PIMIMD 2017 atas dedikasi dan waktu yang telah dicurahkan untuk dapat terlaksananya kegiatan seminar nasional ini dengan sukses.


Dekan
Fakultas Teknologi Industri

Arfita Yuana Dewi, M.T.

KATA PENGANTAR KETUA PANITIA SEMINAR NASIONAL PIMIMD 2017

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu.

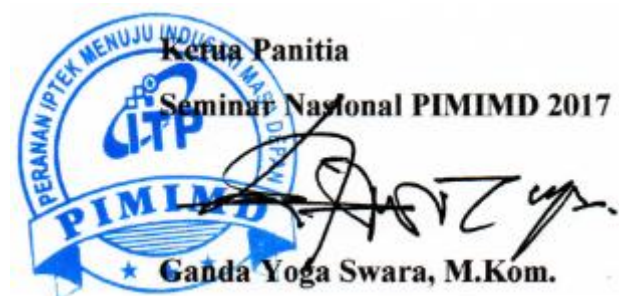


Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD) 2017 dengan tema Pengembangan Infrastruktur dan *Technopreneurship* untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa dapat terselenggara. Kemudian saya mewakili seluruh Panitia Seminar PIMIMD 2017 mengucapkan selamat datang kepada seluruh undangan dan teristimewa peserta yang telah memasukan makalah dan menghadiri Seminar Nasional PIMIMD 2017 yang dilaksanakan pada tanggal 27 Juli 2017 di Institut Teknologi Padang.

Selain itu kami juga memberikan apresiasi yang tinggi kepada narasumber yang telah berkenan untuk mendedikasikan diri dalam berbagi wawasan dan visi pada bidang rekayasa khususnya berkaitan dengan tema seminar kali ini.

Kami berkeyakinan seluruh undangan peserta akan memperoleh ragam informasi sekaligus mengukuhkan jejaring penelitian bagi mengembangkan teknologi yang dapat diterapkan pada masyarakat luas nantinya.

Terakhir kepada peserta Seminar Nasional PIMIMD 2017 terutama dari luar Kota Padang, semoga anda merasa nyaman dan sebelum meninggalkan Kota Padang kami harap anda dapat mengunjungi beberapa kawasan destinasi wisata di Kota Padang, sekaligus melihat secara langsung keindahan dan budaya yang ada di Kota Padang.



ORGANIZING COMMITTEE SEMINAR NASIONAL PIMIMD 2017

Advisory Committee:

Arfita Yuana Dewi, M.T.
Arfidian Rachman, Ph.D.
Zuriman Anthony, M.T.
Dr. Eng. Yuhendra
Drs, Al, M.T.
Mastariyanto Perdana, M.Eng.

Committee:

Ketua	: Ganda Yoga Swara, M.Kom.	
Sekretaris	: Siti Amelia., M.T.	
Bendahara	: Katria., M.T.	
Anggota	: Asmara Yanto, M.T.	
	Aswir Premadi, M.Sc.	Taufal Hidayat, M.T.
	Indra Warman, M.Kom.	Andi M. Nur Putra, M.T.
	Dede Wira Trise, M.Kom.	Eko Kurniawan P., S.Pd.
	Anggun Anugrah, M.Sc.	Eva Yulianti, M.Cs.
	Putri Pratiwi, M.Si.	Putri Mandarani, M.T.
	Ismet Eka Putra, M.T.	Sulaeman, M.T.
	Andi Syofian, M.T.	Asnal Efendi, M.T.
	Hafni, M.T.	Dwi Harinita, M.T.
	Yulia, S.Kom.	Vera Meilisa, A.Md.
	Silvia Sari, A.Md.	Hamdi Habdillah, S.Kom.
	Emir Dianovrizky, S.Kom.	Umar Hanafi Khalid, S.Kom.
	Osni Sahara, A.Md.	Ratna Pertiwi
	Yuliarni, A.Md.	Heppi Duriyetni
	Oki Gusfritril	Suliken, S.Pd.
	Syahnu Risman, S.T.	Arif Ma'sum, S.T.
	Mapardi	Roland
	Purwanto	Syafruddin Syam
	Yarli Syofni	Dasrul
	Hendra	Zulfirman

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL PERANAN IPTEK MENUJU INDUSTRI MASA DEPAN
(PIMIMD) 2017

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR DAN *TECHNOPRENEURSHIP*
UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING BANGSA

EDITORIAL BOARD

Editor:

Asmara Yanto, M.T. (Institut Teknologi Padang, Indonesia)
Aswir Premadi, M.Sc. (Institut Teknologi Padang, Indonesia)
Andi M. Nur Putra, M.T. (Institut Teknologi Padang, Indonesia)
Taufal Hidayat, M.T. (Institut Teknologi Padang, Indonesia)

Reviewer:

Prof. Dr. Eng. Gunawarman (Universitas Andalas, Indonesia)
Prof. Dr. Ilmi (Institut Teknologi Medan, Indonesia)
Prof. Dr. Ir. Rosdaneli Hasibuan (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)
Prof. Dr. Ir. M. Yahya, M.Sc. (Institut Teknologi Padang, Indonesia)
Dr. Gusri Akhyar Ibrahim (Universitas Lampung, Indonesia)
Arfidian Rachman, Ph.D. (Institut Teknologi Padang, Indonesia)
Dr. Eng. Yuhendra (Institut Teknologi Padang, Indonesia)
Dr. Eng. Mochamad Syamsiro (Universitas Janabadra, Indonesia)

DAFTAR ISI

	Halaman
Sambutan Rektor Institut Teknologi Padang	i
Sambutan Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang	ii
Kata Pengantar Ketua Panitia Seminar Nasional PIMIMD 2017	iii
<i>Organizing Committee</i> Seminar Nasional PIMIMD 2017	iv
<i>Editorial Board</i> Prosiding PIMIMD 2017	v
Daftar Isi	vii

Track 1: Sistem Mekanikal

Smart Electric Automobile (Smart-EA) dengan Triple Charging dan Regenerative Breaking <i>Aulia Rahman Hanifan</i>	1-4
Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Stirling Engine <i>Abdullah Arif Nugroho</i>	5-8
Pemanfaatan Kappa-Karaginan dari Rumput Laut Merah (<i>Eucheuma cottonii</i>) sebagai Bahan Solidifikasi dan Stabilisasi Logam Berat Chromium pada Limbah Tekstil <i>Nyoman Bagus Aryananda Suardika, Bambang Tri Atmaja dan Shandira Deseliane</i>	9-16
Pembuatan Produk Rekayasa Komposit Serat Bulu Ayam Menggunakan Metode Vacuum Bagging dan Metode Vacuum Infusion Process <i>Muhammad Ridlwan dan M. Baqir Bahadjai</i>	17-20
Kajian Performansi Mesin Diesel dengan Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel Canola (<i>Brassica napus</i>) <i>Abednego M. Sormin</i>	21-26
Optimalisasi Tekanan Cetak Komposit Clay Brick menuju kualitas Standar Nasional Indonesia <i>Ade Indra, Edison dan Hendri Nofrianto</i>	27-33
Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC <i>Ismet Eka Putra, Sulaiman dan Ari Galsha</i>	34-39
Studi Getaran Eksperimental Akibat Kelonggaran Sabuk pada Mesin Rotari <i>Asmara Yanto dan Anrinal</i>	40-46

Track 2: Teknologi Informasi

Diagnosis Diabetes Mellitus Menggunakan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dengan Metode Conjugate Gradient Fletcher-Reeves Adaptive Gain <i>Syaiful Anam, Tommy Adriyanto dan Wuryansari M. K</i>	47-52
Manajemen Kesehatan Pasien Rumah Sakit <i>Johan, Dwi Oktarina dan Gusrianty</i>	53-58

Diagnosis Disease of Down Syndrome In Children with Forward Chaining Methods <i>Syafri Arlis, Muhammad Reza Putra dan Sahari</i>	59-64
Analisis dan Deteksi Citra Gigi Berlubang (Karies) Menggunakan Metode Hybrid (Matematika Morfologi dan Canny) <i>Sumijan dan Pradani Ayu Widya Purnama</i>	65-72
Sistem Informasi Geografis untuk Menunjukkan Tempat Lokasi Service Resmi Barang Elektronik Di Kota Padang <i>Musli Yanto dan Eka Praja Wiyata Mandala</i>	73-77
Komparasi Metode Profile Matching dan Topsis dalam Seleksi Penerimaan Asisten Pratikum Studi Kasus (Laboratorium Teknik Informatika Institut Teknologi Padang) <i>Eva Yulianti dan Donna Sari</i>	78-86
The Role of Interpersonal Knowledge Sharing in the Implementation of Decision Support System <i>Firmansyah David</i>	87-90
Sistem Informasi Geografis Pemetaan Jalur Evakuasi Tsunami Berbasis Web (Studi Kasus : Kecamatan Tanjung Mutiara Kabupaten Agam) <i>Yuhendra dan Annisa Noer Djannah Syafrudin</i>	91-96
Track 3: Kecerdasan Buatan	
Desain Sistem Kontrol Keamanan Pratima dan Benda Pusaka Berbasis sms Gateway <i>I Wayan Sukadana</i>	97-105
Pengembangan Permainan Mobile Augmented Reality "Virtua Creature" berbasis MDA Framework <i>Wibisono Sukmo Wardhono, Marji dan Vicky Lazuardi</i>	106-111
Perancangan Sistem Informasi Koperasi Mitra Sejahtera di PT. Krakatau Information Technology <i>Teguh Firmansyah, Anggoro, Herudin dan Dwi Widyaningsih</i>	112-115
Model Aplikasi Pelayanan Pernikahan Berbasis Android dan SMS Gateway <i>Wida Susanti dan M.Hasmil Adiya</i>	116-122
Rancang Bangun Jadwal Kuliah Pengganti Untuk Meningkatkan Pelayanan Kepada Mahasiswa <i>Mira Susanti</i>	123-127
Sistem Kendali Scoring Board Futsal Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 dengan Komunikasi Rs-485 dan Bluetooth <i>Emil Naf'an dan Gushelmi</i>	128-138
Designing Learning Stages of Production Based Entrepreneurship Learning in the Technology and Vocational Education <i>Ganefri, Hendra Hidayat, Asmar Yulastri, Fuji Edya1 dan, Syaiful Islami</i>	139-144

Perancangan Aplikasi Pencarian Lokasi Automatic Teller Machine (ATM) terdekat Menggunakan Location Based Service (LBS) Berbasis Geotagging pada Android <i>Busran dan Khairul Amri</i>	145-151
Perancangan Prototype Pengontrolan Jembatan Timbangan Oto Menggunakan Arduino Berbasis Web (Studi Kasus: Unit Pelaksana Penimbangan Kendaraan Bermotor (UPPKB) Lubuak Buayo Kota Padang) <i>Putri Mandarani dan Andhika Putra Arlis</i>	152-160
Penerapan Metode Distribusi Frekuensi dalam Perancangan Aplikasi Bercocok Tanam Padi dan Cabe <i>Harison</i>	161-167
Multimedia Interaktif Pembelajaran Sistem Tata Surya Menggunakan Adobe Flash Dan Database Mysql <i>Ganda Yoga Swara dan Delvi Afrianto</i>	168-173
Track 4: Sistem Tenaga Listrik	
Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS Terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 HZ menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System <i>Handoko Rusiana Iskandar, Yuda Bakti Zainal dan Agus Purwadi</i>	174-183
Simulasi Karakteristik Transien Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan Aplikasi MOTORSIM© Dan Simulink <i>Muchlas</i>	184-193
Rancang Bangun Reflektor Surya Untuk Meningkatkan Efisiensi Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya 60 Watt <i>shak Kasim, Redhyliansyah Muhammad Pangestu</i>	194-200
Perancangan dan Analisis Push-Pull Converter Untuk Solar Charge Controller <i>Budhi Anto, Edy Ervianto dan, Syafri</i>	201-209
Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPh) Rumah Tangga <i>Sepannur Bandri</i>	210-216
Studi Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV GI. Payakumbuh – GI. Koto Panjang <i>Zulkarnaini dan Muhammad Rizki</i>	217-225
Optimalisasi ATS (Automatic Transfer Switch) pada Genset (Generator Set) 2800 Watt Berbasis TDR <i>Alfith</i>	226-232
Analisa Dampak Pemecahan Beban Feeder Tiku Terhadap Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah <i>Arfita Yuana Dewi, Asnal Effendi dan Rizki Zukhra</i>	233-239

Simulasi Karakteristik Transien Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan Aplikasi MOTORSIM[®] Dan Simulink

Muchlas

Universitas Ahmad Dahlan

Jalan Kapas Nomor 9, Yogyakarta, Indonesia

*Correspondence should be addressed to muchlas.te@uad.ac.id

Abstrak

Karakteristik transien mesin listrik telah banyak disimulasikan menggunakan berbagai teknik, namun sebagian besar dari teknik-teknik tersebut masih belum dilengkapi dengan antarmuka yang memberikan kemudahan bagi penggunaannya. Penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan simulator MOTORSIM[®] yang mudah dioperasikan dan dapat digunakan untuk menampilkan karakteristik transien motor induksi tiga fase. Prosedur pengembangan MOTORSIM[®] pada penelitian ini meliputi: analisis kebutuhan, eksplorasi referensi, penentuan model persamaan diferensial motor induksi, penetapan spesifikasi, perancangan antarmuka dan komputasi, serta pengujian aplikasi. Validitas hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan parameter karakteristik hasil simulasi MOTORSIM[®] dengan hasil simulasi menggunakan SIMULINK. Fungsionalitas dari panel-panel simulator diuji menggunakan *black box testing* oleh tiga orang yang dipandang independen dan memiliki kompetensi dalam bidang teknik elektro dan rekayasa perangkat lunak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulator MOTORSIM[®] yang dikembangkan dapat menampilkan karakteristik motor induksi tiga fase sesuai dengan hasil simulasi SIMULINK, dan semua panel yang tersedia dapat berfungsi dengan baik.

Kata kunci: simulasi, karakteristik transien, motor induksi tiga fase, aplikasi MOTORSIM[®]

1. Pendahuluan

Motor induksi atau disebut juga motor AC merupakan salah satu mesin listrik yang saat ini banyak digunakan oleh kalangan industri. Penggunaannya semakin luas karena untuk daya yang setara dengan motor DC, mesin ini memiliki keunggulan selain harganya lebih murah, juga kuat konstruksinya [1], sehingga disebut sebagai kuda penarik (*workhorse*) dalam bidang industri [2].

Dalam bidang pendidikan, praktik materi motor induksi di dalam laboratorium umumnya ditujukan untuk memberikan pemahaman kepada mahasiswa tentang karakteristik dan unjuk kerja mesin tersebut serta cara pengendaliannya dalam berbagai aplikasi industri. Kegiatan praktik motor induksi ini sangat penting bagi mahasiswa teknik, mengingat aktivitas ini dapat memberikan penguatan pada aspek psikomotorik.

Namun, kegiatan praktik motor induksi menggunakan laboratorium real banyak menemui kesulitan terutama jika dihadapkan pada tujuan praktik yang terkait dengan karakterisasi dan unjuk kerja motor induksi dengan daya tinggi. Untuk menyelenggarakan praktik dengan tujuan tersebut, harus disediakan motor induksi dengan daya besar

dan instrumen-instrumen pendukungnya seperti *digital storage oscilloscope* yang tentu memerlukan biaya besar dalam pengadaannya. Selain itu, operasi motor induksi dengan daya besar juga menimbulkan efek kedip, yakni menurunnya tegangan jaringan listrik saat motor induksi melakukan *start up*, sehingga dapat mengganggu operasi-operasi peralatan listrik yang menggunakan jaringan *power line* yang sama. Pada sisi lain, praktik dengan percobaan *direct-online-supplied* tersebut juga dapat membahayakan motor itu sendiri karena saat *start up* motor akan menarik arus sebesar enam sampai dengan delapan kali arus nominal, sehingga dapat merusak kumparan motor jika sering dioperasikan dengan mode seperti ini.

Untuk itu perlu dirancang suatu simulator yang dapat menggantikan praktik real dengan simulasi. Saat ini memang telah tersedia piranti yang dapat digunakan untuk melayani simulasi karakteristik motor induksi yakni SIMULINK yang dibuat oleh perusahaan The MathWorks, Inc. Namun, piranti tersebut hanya menyediakan *Graphical User Interface* (GUI) standar yang belum sesuai dengan kebutuhan spesifik dari suatu proses pembelajaran praktik motor induksi yang memadai. Terlebih lagi untuk materi pembelajaran aplikasi-aplikasi

pengendalian seperti *soft-starter* dengan berbagai parameter *starting time*, piranti tersebut belum menyediakannya. Memang, selain SIMULINK, saat ini telah dikembangkan pula piranti simulasi karakteristik motor induksi seperti dilakukan oleh Renukadevi & Rajambal [3], Arabaci & Bilgin [4], Shah, Rashid & Bhatti [5], Boora, Agarwal & Sandhu [6], Nithin, Jos & Rafeek [7], Kamal & Giri [8], Leedy [9], dan Rafeek, et al [10], namun GUI yang disediakan pada penelitian-penelitian tersebut masih belum bersifat *user friendly*, sehingga dapat mengakibatkan dosen dan mahasiswa mengalami kesulitan dalam melakukan simulasi.

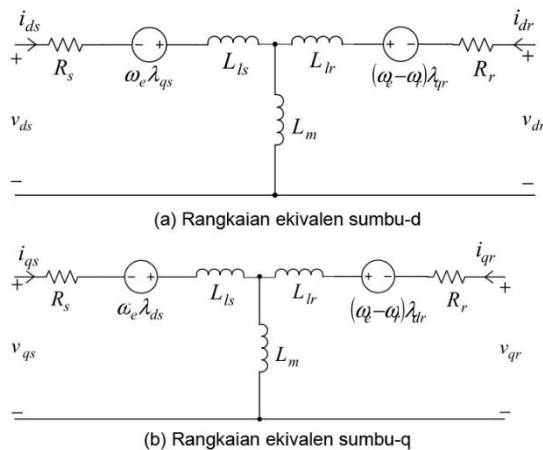
Atas dasar kenyataan-kenyataan yang telah dikemukakan di atas, perlu dilakukan pengembangan simulator yang dapat digunakan sebagai sarana alternatif pembelajaran praktik secara simulatif dengan topik karakteristik motor induksi tiga fase.

2. Landasan Teori

Untuk membangun simulator motor induksi tiga fase, penelitian ini menggunakan dua hal pokok yang melandasinya, yakni model mesin dan teknik komputasi simulasi.

A. Model Dinamis Motor Induksi Tiga fase

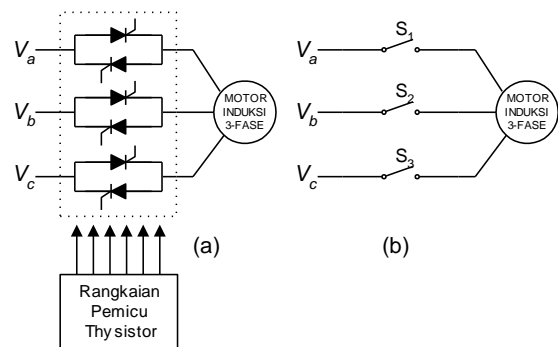
Penurunan formula karakteristik dinamis motor induksi tiga fase dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai model yang telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya. Model yang banyak digunakan untuk menganalisis karakteristik dinamis dari mesin fase banyak adalah model kerangka referensi dq (*direct-quadrature*). Merujuk pada Leedy [9], rangkaian ekuivalen motor induksi 3-fase dalam model dq ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Model d-q motor induksi 3-fase

Keterangan untuk gambar 1 di atas adalah d adalah menunjukkan *direct axis* (sumbu-d), q dinamakan *quadrature axis* (sumbu-q), v_{ds} tegangan stator sumbu-d, v_{qs} tegangan stator sumbu-q, v_{dr} tegangan rotor sumbu-d, v_{qr} tegangan rotor sumbu-q, i_{ds} arus stator sumbu-d, i_{qs} arus stator sumbu-q, i_{dr} arus rotor sumbu-d, i_{qr} arus rotor sumbu-q, ω_e kecepatan angular kerangka referensi, ω_r kecepatan angular rotor, dan λ_{ds} , λ_{ds} , λ_{ds} , dan λ_{ds} adalah fluks belitan pada motor. Keterangan lainnya R_s dan L_{ls} menunjukkan resistansi dan induktansi *linkage* pada belitan stator, sedangkan R_r dan L_{lr} merepresentasikan resistansi dan induktansi *linkage* pada belitan rotor. Notasi L_m digunakan untuk menunjukkan induktansi mutual antara belitan stator dan rotor.

Kajian ini akan menggunakan model yang disarankan oleh Chattopadhyay & Rao [11] dengan menggunakan rangkaian ekuivalen model dq seperti pada gambar 1. Dalam model ini motor induksi dicatu melalui rangkaian *thyristor* yang disusun dalam konfigurasi *back-to-back* pada setiap fase tegangan stator seperti ditunjukkan pada gambar 2 (a), dan rangkaian ekuivalen saklar seperti diilustrasikan pada gambar 2 (b). Notasi pada gambar tersebut V_a , V_b , V_c berurutan menunjukkan tegangan fase-a, fase-b dan fase-c terhadap titik netral dari *supply*.



Gambar 2. Pengendali tegangan motor induksi 3-fase: (a) konfigurasi *back to back thyristor*, (b) rangkaian ekuivalen saklar

Selanjutnya, jika semua saklar pada rangkaian ekuivalen tertutup (ON), maka operasi motor sama seperti diberi catu langsung (*direct-online-supplied*), sehingga berlaku persamaan diferensial pada persamaan (1).

$$\frac{p}{\omega_b} \bar{i} = \bar{X}^{-1} \bar{v} - \bar{X}^{-1} \bar{R} \bar{i} \quad (1)$$

Pada persamaan (1), p menyatakan operator diferensial (d/dt), ω_b kecepatan angular basis yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter motor dalam satuan pu (per unit). Selanjutnya, matriks invers \bar{X} diberikan oleh persamaan (2), yakni,

$$\bar{X}^{-1} = \frac{1}{X_s X_r - X_m^2} \begin{bmatrix} X_r & 0 & -X_m & 0 \\ 0 & X_r & 0 & -X_m \\ -X_m & 0 & X_s & 0 \\ 0 & -X_m & 0 & X_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan X_s , X_r reaktansi induktif diri stator dan rotor, X_{ls} , X_{lr} adalah reaktansi induktif *leakage* stator dan rotor, sedangkan X_m reaktansi induktif mutual. Hubungan antara reaktansi induktif diri, reaktansi induktif *leakage* dan reaktansi induktif mutual dinyatakan dalam persamaan (3), yakni,

$$X_s = X_m + X_{ls} \text{ dan } X_r = X_m + X_{lr} \quad (3)$$

Matriks tegangan stator ditunjukkan oleh persamaan (4), yakni,

$$\bar{v} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3}(V_a - \frac{1}{2}V_b - \frac{1}{2}V_c) \\ \frac{1}{\sqrt{3}}(-V_b + V_c) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan V_a , V_b , dan V_c masing-masing merupakan tegangan setiap fase dari *supply* dan berbentuk sinusoidal yang dinyatakan dalam persamaan (5) seperti berikut ini,

$$\begin{aligned} V_a &= V_m \sin \omega t \\ V_b &= V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_c &= V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (5)$$

Konstruksi matriks \bar{R} ditunjukkan oleh persamaan (6), yakni,

$$\bar{R} = \frac{1}{X_s X_r - X_m^2} \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\omega_r}{\omega_b} X_m & R_r & -\frac{\omega_r}{\omega_b} X_r \\ \frac{\omega_r}{\omega_b} X_m & 0 & \frac{\omega_r}{\omega_b} X_r & R_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

dan vektor arus disajikan melalui persamaan (7), yakni,

$$\bar{i} = \begin{bmatrix} i_{qs} & i_{ds} & i_{qr} & i_{dr} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Untuk menghitung torsi elektromagnetik digunakan persamaan (8),

$$T_e = X_m(i_{qs}i_{dr} - i_{ds}i_{qr}) \quad (8)$$

dan kecepatan motor dihitung dengan persamaan (9),

$$p\left(\frac{\omega_r}{\omega_b}\right) = \frac{T_e - F - T_L}{2H} \quad (9)$$

dengan T_e menunjukkan torsi elektromagnetik yang dibangkitkan, H adalah konstanta inersia dari motor dalam detik, F *friction factor* dan T_L merupakan torsi beban.

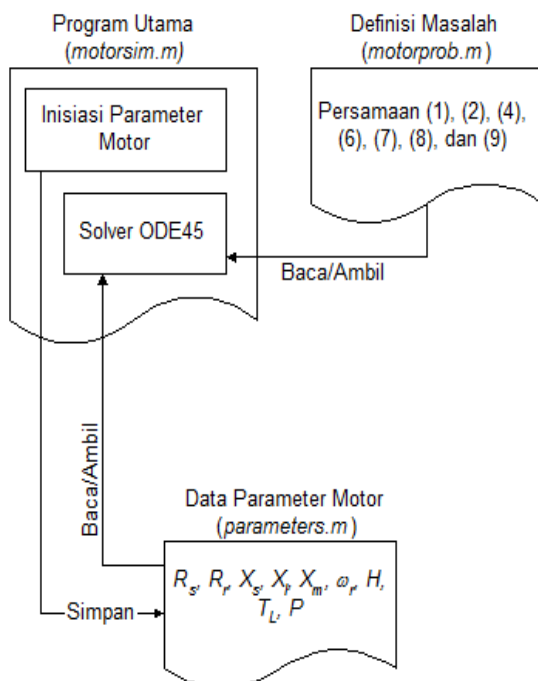
B. Teknik Simulasi Motor Iduksi Tiga Fase

Berdasarkan persamaan-persamaan yang diturunkan dengan menggunakan model dinamis sumbu dq di atas, dapat dilakukan simulasi untuk menghasilkan gambaran tentang karakteristik dinamis motor induksi tiga fase. Prinsip dari simulasi ini adalah menyelesaikan persamaan diferensial yang mengekspresikan variabel-variabel arus stator dan rotor, torsi elektromagnetik serta kecepatan putar motor dalam domain waktu.

Oleh karena simulasi akan dilakukan dengan menggunakan pemrograman MATLAB, maka prosedurnya juga mengikuti kaidah-kaidah pemrograman berbasis matriks ini. MATLAB singkatan dari *matrix laboratory* adalah salah satu bahasa pemrograman generasi keempat yang diciptakan untuk mendukung komputasi masalah-masalah keteknikan berbasis matriks. Bahasa pemrograman ini mengintegrasikan komputasi, visualisasi dan pemrograman ke dalam suatu *easy-to-use environment*, di mana

masalah-masalah berikut solusinya diekspresikan ke dalam bentuk notasi matematik yang familiar.

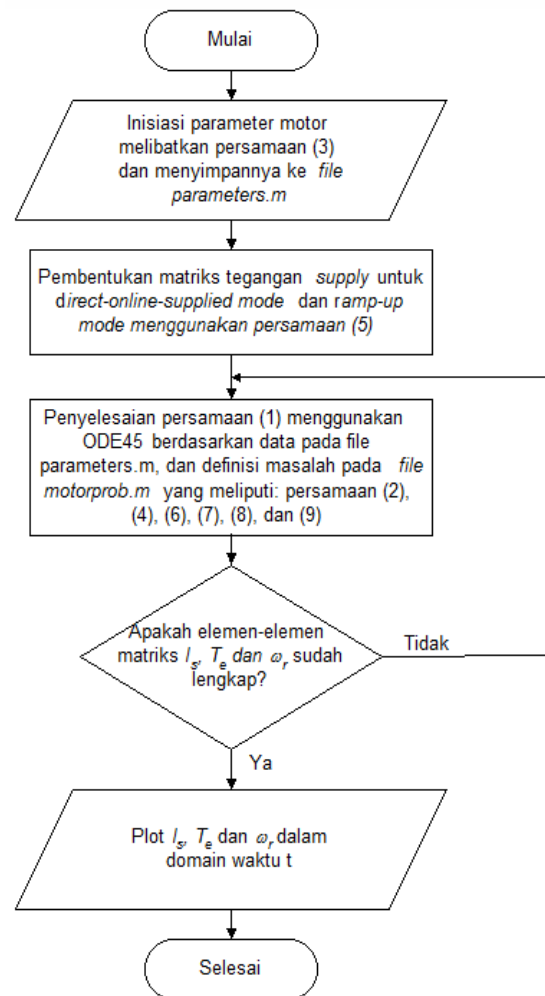
Dalam simulasi ini persamaan-persamaan yang akan diselesaikan dalam domain waktu adalah persamaan (1), persamaan (8) dan persamaan (9) dengan dukungan persamaan (2), (3), (4), (5), (6), dan (7). Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut akan digunakan metode komputasi penyelesaian *ordinary differential equations* orde tinggi dan dalam pemrograman Matlab fungsinya dinamakan *ode45*. Salah satu prosedur yang dapat digunakan adalah dengan membagi program menjadi tiga bagian, yakni program utama, definisi masalah, dan himpunan data atau parameter yang akan disimulasikan. Ketiga bagian tersebut tersimpan dalam tiga *file* dengan ekstensi *m* yang terpisah. Prosedur komputasi ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 3. Mekanisme kerja *solver ODE45*

Gambar (3) menjelaskan bahwa komputasi memerlukan tiga *file* Matlab untuk menghimpun *script* program utama dan definisi masalah serta data parameter mesin yang dianalisis. Dalam menyelesaikan persamaan diferensial orde tinggi, fungsi *solver ODE45* akan membaca data pada *file parameters.m* dan definisi masalah yang berisi himpunan formula persamaan diferensial yang akan diselesaikan.

Sedangkan gambar (4) menjelaskan *flow chart* komputasi. Proses komputasi ini akan menghasilkan penyelesaian persamaan diferensial berbentuk fungsi arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan putar motor dalam domain waktu, yakni $I_s(t)$, $T_e(t)$, dan $\omega_r(t)$ yang terhimpun dalam vektor sepanjang jumlah interval waktu simulasi yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan plot terhadap fungsi tersebut untuk mempermudah pembacaan data hasil analisis. Hasil plot dari fungsi-fungsi tersebut mencerminkan karakteristik dinamis motor induksi tiga fase.



Gambar 4. *Flow chart* komputasi

3. Metode

Studi yang dilakukan ini menggunakan pendekatan penelitian pengembangan.

A. Prosedur Pengembangan

Prosedur pengembangan yang dijalankan mengikuti urutan urutan sebagai berikut.

- Analisis kebutuhan terhadap simulator pada kegiatan praktik Karakteristik Motor

Induksi Tiga Fase yang diberi catu secara *direct online supplied* dan motor induksi yang dicatu dengan tegangan *ramp-up*.

- Eksplorasi referensi dan penentuan model komputasi yang sesuai untuk menyelesaikan persamaan diferensial yang merepresentasikan karakteristik motor induksi tiga fase.
- Penentuan spesifikasi simulator yang akan dikembangkan berdasarkan analisis kebutuhan.
- Perancangan GUI untuk input, proses dan output sesuai spesifikasi yang telah ditentukan dengan mengusahakan agar antarmuka tersebut memiliki sifat *user friendly* dan mudah dioperasikan.
- Perancangan komputasi berbasis *solver* ODE45 berdasarkan hasil eksplorasi referensi penelitian terdahulu.
- Implementasi rancangan GUI semua bagian dan teknik komputasi yang telah dipilih dengan menggunakan pemrograman Matlab.
- Evaluasi kinerja simulator dengan membandingkan hasil simulasi dari simulator yang dikembangkan dengan hasil simulasi menggunakan SIMULINK dari Matlab.
- Pengujian *black box* untuk menguji fungsionalitas dari GUI yang digunakan pada simulator.

B. Sampel Uji Coba

Untuk menguji validitas dan ketepatan spesifikasi yang telah ditentukan, hasil simulasi dari simulator yang dikembangkan dibandingkan terhadap hasil simulasi menggunakan SIMULINK. Sampel yang digunakan untuk ujicoba ini terdiri atas 7 buah motor induksi tiga fase dari jenis/*name plate* sebagai berikut,

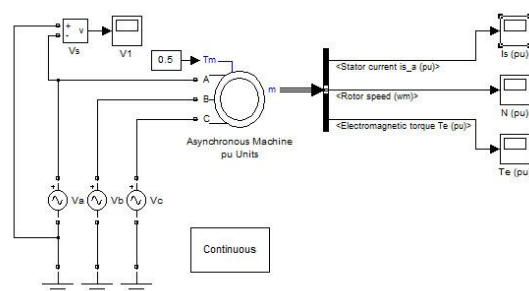
- *Name plate*: 215HP, 400V, 50Hz, 1487rpm
Parameter dalam satuan SI:
 $R_s=0,01379$ ohm; $R_r=0,007728$ ohm;
 $L_{ls}=0,000152$ H; $L_{lr}=0,000152$ H;
 $L_m=0,00769$ H; $J=2,9$ kg.m²; $P=2$;
 $F=0,05658$ N.m.s; $T_L=400$ N.m
- *Name Plate*: 150HP, 400V, 50Hz, 1487rpm
Parameter dalam satuan pu:
 $R_s=0,01481$ pu; $R_r=0,008464$ pu;
 $L_{ls}=0,04881$ pu; $L_{lr}=0,04881$ pu;
 $L_m=2,241$ pu; $H=0,258$ s; $P=2$;
 $F=0,01216$ pu; $T_L=0,5$ pu
- *Name plate*: 100HP, 575V, 60Hz, 1780rpm
Parameter dalam satuan SI:

$R_s=0,05963$ ohm; $R_r=0,03281$ ohm;
 $L_{ls}=0,000633$ H; $L_{lr}=0,000633$ H;
 $L_m=0,02742$ H; $J=1,3$ kg.m²; $P=2$;
 $F=0,0396$ N.m.s; $T_L=200,106$ N.m

- *Name Plate*: 50HP, 575V, 60Hz, 1775rpm
Parameter dalam satuan pu:
 $R_s=0,01114$ pu; $R_r=0,0122$ pu;
 $L_{ls}=0,05295$ pu; $L_{lr}=0,05295$ pu;
 $L_m=2,006$ pu; $H=0,1905$ s; $P=2$;
 $F=0,02363$ pu; $T_L=0,5$ pu
- *Name plate*: 20HP, 460V, 60Hz, 1760rpm
Parameter dalam satuan SI:
 $R_s=0,2761$ ohm; $R_r=0,1645$ ohm;
 $L_{ls}=0,002191$ H; $L_{lr}=0,002191$ H;
 $L_m=0,07614$ H; $J=0,1$ kg.m²; $P=2$;
 $F=0,01771$ N.m.s; $T_L=50$ N.m
- *Name Plate*: 10HP, 460V, 60Hz, 1760rpm
Parameter dalam satuan pu:
 $R_s=0,0241$ pu; $R_r=0,0159$ pu;
 $L_{ls}=0,05518$ pu; $L_{lr}=0,05518$ pu;
 $L_m=1,975$ pu; $H=0,1191$ s; $P=2$;
 $F=0,03877$ pu; $T_L=0,5$ pu
- *Name plate*: 5HP, 460V, 60Hz, 1750rpm
Parameter dalam satuan SI:
 $R_s=1,115$ ohm; $R_r=1,083$ ohm;
 $L_{ls}=0,005974$ H; $L_{lr}=0,005974$ H;
 $L_m=0,2037$ H; $J=0,02$ kg.m²; $P=2$;
 $F=0,005752$ N.m.s; $T_L=10,1768$ N.m

C. Pengumpulan Data

Data-data diperoleh secara simulatif menggunakan simulator yang dikembangkan dan SIMULINK. Rangkaian yang digunakan untuk menghasilkan data-data karakteristik motor pembanding menggunakan SIMULINK ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Rangkaian untuk simulasi pembanding menggunakan SIMULINK

D. Analisis Data

Data-data yang telah diperoleh tersebut, selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik fungsi terhadap waktu dari variabel arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan angular rotor, yang mencerminkan karakteristik motor induksi tiga fase. Melalui teknik seperti ini diperoleh karakteristik motor induksi tiga fase

dari kedua simulator. Hasil simulasi menggunakan SIMULINK digunakan sebagai pembanding, karena kelengkapan MATLAB ini dipandang sebagai *tool* yang lazim dipakai di lingkungan profesi keteknikan, sehingga memiliki tingkat ketepatan yang tinggi dalam menirukan karakteristik motor induksi.

Selain membandingkan hasilnya dengan SIMULINK, evaluasi kinerja simulator yang dikembangkan juga dilakukan dengan menguji-fungsionalitas panel-panel yang tersedia melalui *black box testing*. Menurut Williams [12], *black box testing* disebut juga dengan istilah *functional testing* yakni suatu pengujian perangkat lunak yang mengabaikan mekanisme internal dari komponen atau sistem yang dikembangkan dan hanya berpusat pada pengamatan output dalam merespons input-input yang diberikan selama eksekusi sistem dijalankan, dan pengujiannya dilakukan oleh pihak-pihak yang dipandang independen.

Prinsip uji fungsionalitas dengan desain *black box testing* adalah *tester* memberikan input tertentu pada sistem yang dikembangkan, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap output yang ditampilkan. Uji ini diakhiri dengan pemberian pandangan oleh *tester* terhadap kesesuaian antara output aktual yang ditampilkan oleh perangkat lunak terhadap output yang diharapkan oleh pengembang, untuk input tertentu. Pandangan *tester* terhadap kesesuaian ini dinyatakan dalam dua kategori yakni sesuai dan tidak sesuai.

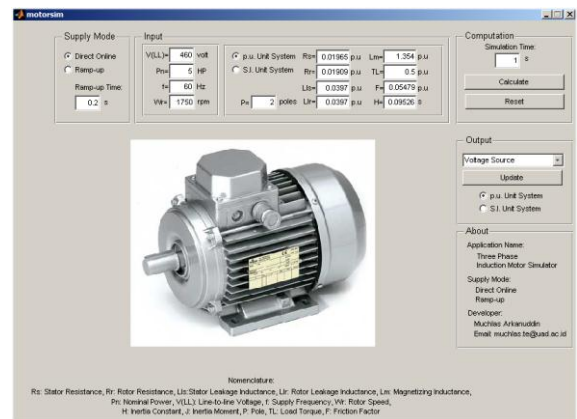
Subjek ujicoba/*tester* dalam uji ini adalah tiga orang dosen dengan kualifikasi magister (1 orang) dan doktor (2 orang) dalam bidang teknik elektro/informatika. Jenis data yang diperoleh dari uji ini bersifat kuantitatif berupa jumlah pandangan *tester* antara hasil pengamatan terhadap hasil yang diharapkan.

Data-data pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan teknik persentase. Oleh karena target penelitian ini menginginkan agar semua panel yang tersedia dapat berfungsi dengan baik, maka kriteria yang digunakan dalam menentukan fungsionalitas simulator yang dikembangkan bersifat diskrit. Simulator yang dikembangkan dinyatakan lolos uji ini jika *tester* memberikan pandangan bahwa 100% dari seluruh output aktual yang diamati sesuai dengan output yang diharapkan pengembang. Sebaliknya, jika terdapat satu saja (kurang dari 100%) aspek output yang tidak sesuai, maka perangkat lunak yang dikembangkan ini harus direvisi dan diuji kembali fungsionalitasnya. Dengan demikian, uji ini akan memastikan simulator motor

induksi tiga fase yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik.

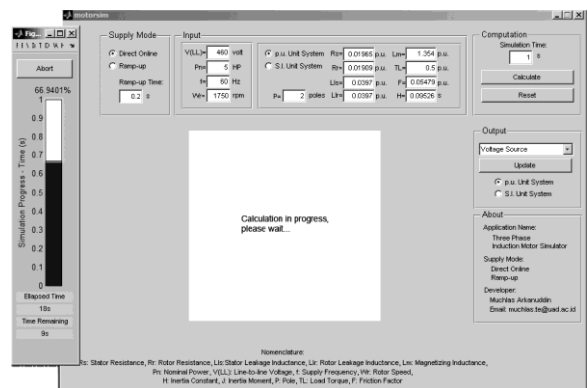
4. Hasil Penelitian

Penelitian ini telah menghasilkan sebuah simulator yang dapat digunakan untuk simulasi karakteristik motor induksi tiga, dan selanjutnya produk penelitian ini disebut dengan MOTORSIM®. Simulator ini berupa perangkat lunak yang berjalan di bawah aplikasi MATLAB. Antarmuka MOTORSIM® ditunjukkan pada gambar 6.



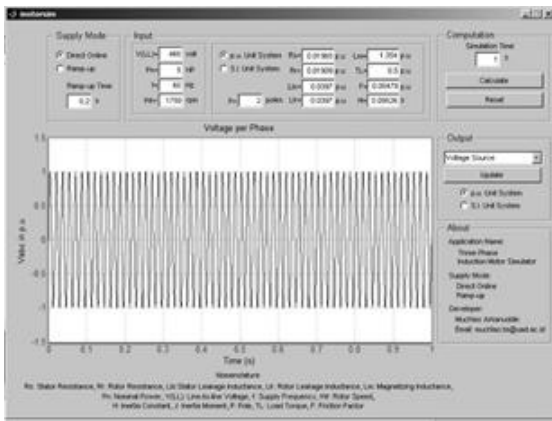
Gambar 6. Antarmuka MOTORSIM© saat pertama kali dijalankan

Sedangkan tampilannya saat komputasi dilakukan ditunjukkan pada gambar 7.



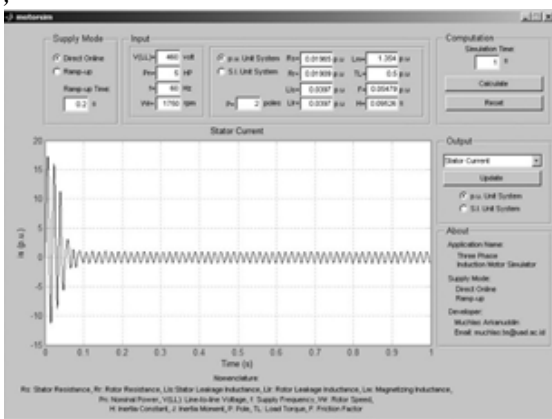
Gambar 7. Antarmuka MOTORSIM© saat komputasi dilakukan

Setelah komputasi selesai dilakukan, MOTORSIM© akan memberikan tampilan sesuai jenis output yang dipilih. Untuk jenis output *Voltage Source* yang dipilih, tampilannya ditunjukkan gambar 8,

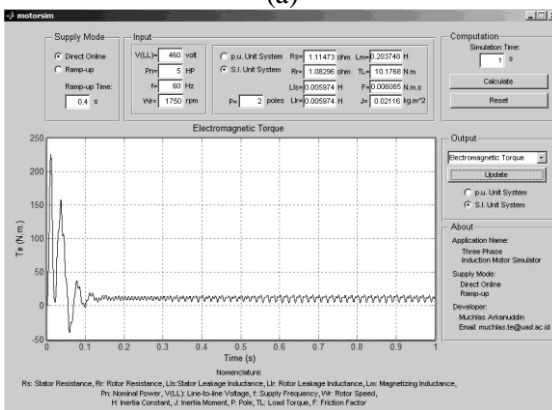


Gambar 8. Tampilan MOTORSIM© untuk jenis output *Voltage Source*

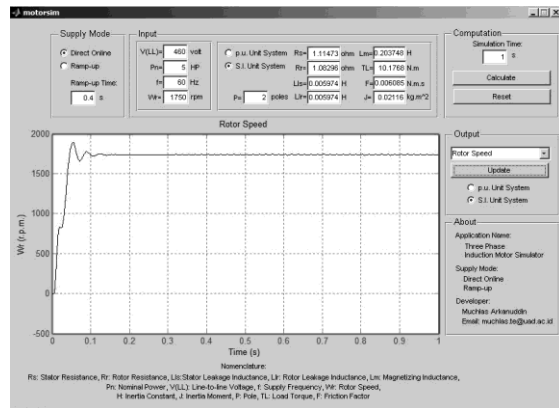
sedangkan untuk output *Stator Current*, *Electromagnetic Torque* dan *Rotor Speed*, tampilan MOTORSIM© ditunjukkan pada gambar 9 berikut ini.



(a)



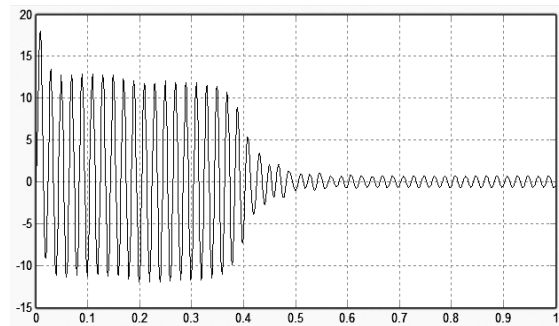
(b)



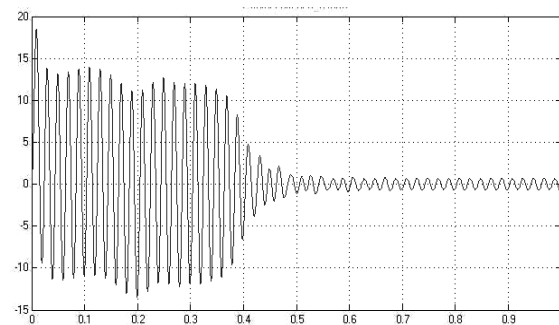
(c)

Gambar 9. Tampilan output MOTORSIM© untuk: (a) *Stator Current*, (b) *Electromagnetic Torque*, dan (c) *Rotor Speed*

Validasi MOTORSIM© dilakukan dengan membandingkan hasil simulasinya terhadap hasil simulasi menggunakan SIMULINK. Hasil-hasil berikut ini adalah perbandingan simulasi menggunakan salah satu motor induksi tiga fase dari 7 sampel motor yang digunakan pada penelitian ini. Hasil simulasi untuk arus stator dengan mode *direct-online supplied*, ditunjukkan pada gambar 10.



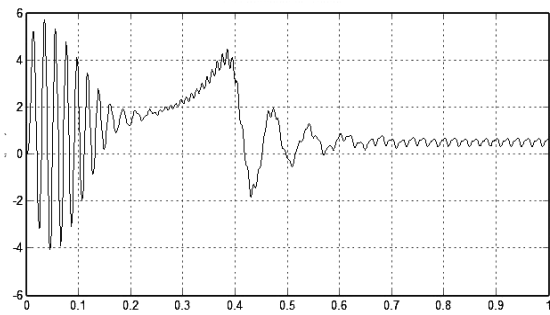
(a) Grafik arus stator (pu) versus waktu (s) dengan MOTORSIM© *direct-online supplied*



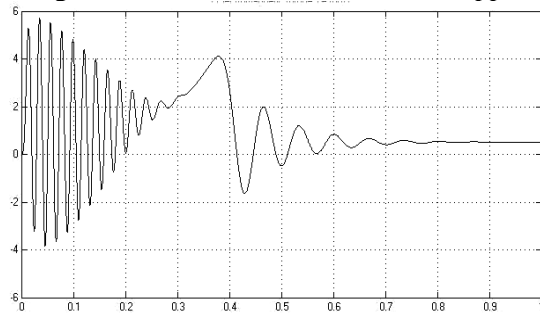
(b) Grafik arus stator (pu) versus waktu (s) dengan SIMULINK *direct-online supplied*

Gambar 10. Hasil simulasi arus stator untuk motor 150 HP, 400 V, 50 Hz, 1487 rpm

Untuk torsi elektromagnetik, hasil simulasinya ditunjukkan pada gambar 11.



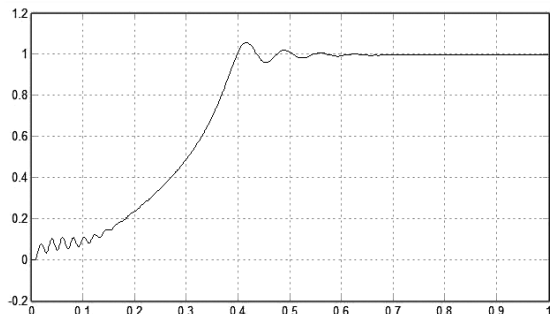
(a) Grafik torsi (pu) versus waktu (s) dengan MOTORSIM© *direct-online supplied*



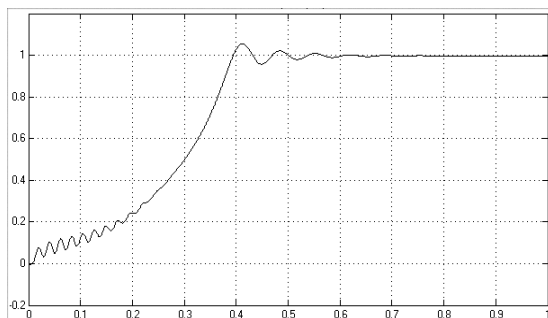
(b) Grafik torsi (pu) versus waktu (s) dengan SIMULINK *direct-online supplied*

Gambar 11. Hasil simulasi torsi untuk motor 150 HP, 400 V, 50 Hz, 1487 rpm

Sedangkan untuk kecepatan rotor, hasil simulasinya ditunjukkan pada gambar 12.



(a) Grafik kecepatan rotor (pu) versus waktu (s) dengan MOTORSIM© *direct-online supplied*



(b) Grafik kecepatan rotor (pu) versus waktu (s) dengan SIMULINK *direct-online supplied*

Gambar 12. Hasil simulasi kecepatan rotor untuk motor 150HP, 400V, 50 Hz, 1487 rpm

Berdasarkan perbandingan hasil menggunakan motor 150 HP, terlihat bahwa untuk mode *direct-online supplied*, MOTORSIM© memberikan hasil yang relatif sama dengan hasil simulasi SIMULINK. Untuk enam buah motor lainnya yang diujicobakan, juga telah memberikan kemiripan hasil antara MOTORSIM© dan SIMULINK. Untuk operasi motor dengan catu langsung, perbedaan hanya terjadi pada amplitudo dan waktu torsi mencapai nilai maksimum dengan persentase perbedaan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Persentase perbedaan hasil MOTORSIM© dan SIMULINK untuk *direct-online supplied*

Jenis Motor	$\Delta T_{em} (\%)$	$\Delta t_{Tem} (\%)$
215HP	0,00	0
150HP	0,00	0
100HP	0,00	0
50HP	0,00	0
20HP	3,70	0
10HP	2,56	0
5HP	7,32	0

Tabel 1 menggambarkan bahwa hanya pada motor-motor yang berdaya rendah saja (20HP, 10HP, dn 5HP), terjadi perbedaan hingga mencapai 7,32% antara hasil menggunakan MOTORSIM© dan SIMULINK, untuk aspek amplitudo torsi maksimum (T_{em}) dan waktu mencapainya (t_{Tem}). Hal itu berarti hasil simulasi karakteristik motor induksi menggunakan MOTORSIM© dapat dipandang sama dengan hasil simulasi SIMULINK untuk motor-motor berdaya tinggi di atas 20HP, yang dioperasikan dengan menggunakan *direct-online supplied*.

Selain dengan mode *direct-online supplied*, uji coba MOTORSIM© juga dilakukan dengan mode *ramp-up supplied*. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa untuk mode *ramp-up supplied*, semua jenis motor memberikan hasil simulasi yang relatif sama antara MOTORSIM© dan SIMULINK, kecuali hanya pada aspek tertentu saja yang berbeda seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Persentase perbedaan hasil MOTORSIM© dan SIMULINK untuk *ramp-up supplied*

Jenis Motor	$\Delta T_{em}(\%)$	$\Delta t_{Tem}(\%)$
215HP	2,50	2,99
150HP	2,44	1,45
100HP	0,00	2,27
50HP	2,44	0,00
20HP	1,92	1,67
10HP	2,63	0,00
5HP	0,00	0,00

Berdasarkan tabel 2 dapat dinyatakan bahwa untuk semua jenis motor tidak terjadi perbedaan hasil simulasi yang signifikan antara penggunaan MOTORSIM© dan SIMULINK. Hal itu menunjukkan bahwa untuk semua jenis motor yang dioperasikan dengan mode *ramp-up supplied*, MOTORSIM© dapat melakukan simulasi dengan hasil yang relatif sama dengan simulasi menggunakan SIMULINK

Hasil uji fungsionalitas panel yang tersedia pada MOTORSIM© oleh tiga subjek *tester* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji fungsionalitas panel pada MOTORSIM©

Nomor Tester	% Pandangan Tester	Fungsionalitas Panel
1	100% Sesuai	Berfungsi baik
2	100% Sesuai	Berfungsi baik
3	100% Sesuai	Berfungsi baik

Tabel 3 menunjukkan bahwa dari 21 item pengujian yang diberikan, ketiga *tester* menyatakan bahwa panel yang tersedia telah dapat memberikan kesesuaian output terhadap input yang diberikan sebesar 100%. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa semua panel pada MOTORSIM© telah dapat berfungsi dengan baik.

5. Kesimpulan

Melalui penelitian ini telah dihasilkan sebuah simulator MOTORSIM© dalam bentuk perangkat lunak berbasis pemrograman Matlab yang dapat digunakan secara valid untuk simulasi karakteristik motor induksi tiga fase. Pada operasi dengan *direct-online supplied*, MOTORSIM© dapat memberikan hasil simulasi yang valid untuk jenis motor berdaya tinggi di atas 20HP, sedangkan pada operasi menggunakan *ramp-up supplied*, simulator ini dapat memberikan hasil simulasi valid untuk semua jenis motor. Semua panel pada MOTORSIM© telah dapat berfungsi secara baik.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kolega dosen di Universitas Ahmad Dahlan, yakni Rusydi Umar, Ph. D. dan Sunardi, Ph.D., yang telah menjadi teman diskusi intensif tentang pengembangan aplikasi MOTORSIM©.

References

- [1] M. F. Rahman, D. Patterson, A. Cheok, and R. Betz, "Motor drives," in *Power electronics handbook*, 3rd ed., M. H. Rashid, Ed. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2011, pp. 915–991.
- [2] C. Versèle, O. Deblecker, and J. Lobry, "Implementation of induction motor drive control schemes in matlab/simulink/dspace environment for educational purpose," in *MATLAB for Engineers - Applications in Control, Electrical Engineering, IT and Robotics*, K. Perutka, Ed. Rijeka, Croatia, 2011, pp. 365–386.
- [3] G. Renukadevi and K. Rajambal, "Generalized d-q model of n-phase induction motor," *Int. J. Electr. Comput. Electron. Commun. Eng.*, vol. 6, no. 9, pp. 62–71, 2012.
- [4] H. Arabaci and O. Bilgin, "Squirrel cage of induction motors simulation via simulink," *Int. J. Model. Optim.*, vol. 2, no. 3, pp. 324–327, 2012.
- [5] S. Shah, A. Rashid, and M. K. L. Bhatti, "Direct quadrature (d-q) modeling of 3-phase induction motor using matlab/simulink," *Can. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 5, pp. 237–243, 2012.
- [6] S. Boora, S. K. Agarwal, and K. S. Sandhu, "Dynamic dq axis modeling of three-phase asynchronous machine using matlab," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 8, pp. 3942–3951, 2013.
- [7] 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.
- [8] A. Kamal and V. K. Giri, "Mathematical modelling of dynamic induction motor and performance analysis with bearing fault," *Int. J. Innov. Technol. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 336–340, 2013.

- [9] A. W. Leedy, "Simulink/matlab dynamic induction motor model for use as a teaching and research tool," *Int. J. Soft Comput. Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 102–107, 2013.
- [10] 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.
- [11] A. K. Chattopadhyay and T. J. Rao, "Generalized method of computer simulation for induction motors with stator current discontinuities and its application to a cycloconverter-fed drive," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-16, no. 2, pp. 234–241, 1980.
- [12] L. Williams, *A (partial) introduction to software engineering practices and methods*. Raleigh, NC: North Carolina State University, 2010.