



PROCEEDINGS
ISSN: 2407-7534

SENATEK 2015

Seminar Nasional Teknologi 2015

*Peningkatan Daya Saing Teknologi Nasional
Menyongsong MEA 2015*



Malang, 17 Januari 2015
Institut Teknologi Nasional
Malang



Kampus I : Jl. bendungan Sigura-gura no 2 Telp (0341) 551431 (Hunting). Fax (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. RAYA Karanglo, Km2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang



PROCEEDING NASIONAL TEKNOLOGI (SENATEK) 2015
“Peningkatan Daya Saing Teknologi Nasional Menyongsong MEA 2015”
Institut Teknologi Nasional Malang
Malang, 17 Januari 2015

Editor :
Foury Handoko, ST., SS., MT., PhD
Sanny Andjar Sari, ST, MT

Editor Pelaksana :
Endah Kusuma, SSi, M. Kes
Mawan Kriswantono, SE, M.Pd
Singgih Wahyudi, S.Kom
Solichin

Perancangan Kulit Muka :
Haryandiro N, ST.

Email :
Lppm.itn.malang@gmail.com

Cetakan Pertama
Januari 2015

Penerbit :
LPPM - Insitut Teknologi Nasional
Jl. Bend. Sigura-gura No. 2 Malang

ISSN : 2407 – 7534

Hak Cipta pada penulis, dilarang keras mengutip, menjiplak,
Mem-foto copy baik sebagian atau keseluruhan dari isi buku ini
tanpa mendapat izin tertulis dari pengarang atau penerbit.



KATA PENGANTAR

Era MEA 2015 merupakan tantangan bagi seluruh stakeholder termasuk didalamnya Usaha Kecil Menengah (UKM) untuk berbenah dan harus mampu merubah tantangan menjadi peluang dalam meningkatkan daya saing, tidak hanya terbatas pada keunggulan produk dan teknologi melainkan juga pada mental dan budaya bekerja serta berinteraksi dengan sesama masyarakat ASEAN.

Produk yang memiliki keunggulan bersaing bisa dicapai melalui upaya kolektif selain faktor teknologi produksi dan beberapa aspek lain yang mendukungnya, termasuk aspek manajemen, kreativitas dan inovasi, informasi, energi, material, distribusi dan *supply chain*, disamping itu juga perlu memperhatikan aspek *green technology*, *environment* dan *sustainable*.

Berkaitan dengan upaya merubah tantangan menjadi peluang menyongsong MEA 2015 maka salah satu hal yang perlu dilakukan adalah interaksi keilmuan serta publikasi dengan bidang ilmu terkait yang diharapkan bisa diakomodasi dalam seminar nasional ITN 2015 ini. Seminar ini diharapkan menjadi wahana untuk berbagi pengalaman dan berdiskusi berkaitan dengan hasil penelitian dan hasil pengabdian kepada masyarakat pada aspek teknologi yang diaplikasikan pada dunia industri dan teknologi pembangunan dalam upaya meningkatkan daya saing teknologi nasional menyongsong MEA 2015.

Seminar Nasional Teknologi (SENATEK) 2015 dengan tema *Peningkatan Daya Saing Teknologi Nasional Menyongsong MEA 2015*, yang meliputi topik :

Topik A : INOVASI DAN APLIKASI TEKNOLOGI DI INDUSTRI

1. Teknologi Industri Kreatif (*Creative of Industrial Technology*)
2. Teknologi Ramah Lingkungan (*Green Technology*)
3. Manajemen Teknologi (*Management of Technology*)
4. Teknologi Informasi (*Information Technology*)
5. Teknologi Bahan (*Material Technology*)
6. Teknologi Terbarukan (*Renewable Technology*)
7. Teknologi dan Manajemen Rantai Pasok (*Supply Chain Management and Technology*)
8. Manajemen Produksi dan Manajemen Produktifitas (*Production Technology dan Productivity Management*).

Topik B : INOVASI DAN APLIKASI TEKNOLOGI PEMBANGUNAN

1. Teknologi Sumber Daya Air dan Lingkungan (*Water Resource and Environmental Technology*).
2. Bangunan Ramah Lingkungan dan Pengembangan Berkelanjutan (*Green Building and Sustainable Development*).
3. Wilayah Pusat Bisnis (*Business Centre Area*).
4. Kreatif dan Inovatif Material Bangunan (*Creative/Inovative of Material Building*).
5. Perencanaan dan Kreatif Kawasan Wisata (*Planning and Creative Tourism Area*).
6. Teknologi Pemetaan (*Mapping Technology*).

Panitia Seminar Nasional Teknologi (SENATEK) 2015 mengucapkan terimakasih, kepada para pemakalah dan semua pihak yang telah mendukung terlaksananya seminar ini. Panitia mengharapkan kritik dan saran untuk dapat memperbaiki terlaksananya seminar yang akan datang.

Malang, 17 Januari 2015

Panitia SENATEK 2015



Susunan Panitia dan Reviewer

Reviewer Call for Paper :

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
Dr. Ir. Kustamar, MT
Dr. Ellysa Nursanti, ST., MT
Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT
M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom, PhD
Dr. Prima Vitasari, S.IP., M.Pd
Ir. Daim Triwahyono, MSA
Ir. A. Agus Santosa, MT
Dra. Siswi Astuti, M.Pd

Panitia Pengarah :

Ir. Anang Subardi, MT
Dr. Ir. Kustamar, MT
Ir. Harimbi Setyawati, MT
Ir. Gatot Adi Susilo, MT
Dra. Sri Indriani, MM
Ir. Gaguk Sukowiyono, MT
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Sudiro, ST., MT

Penanggung Jawab :

Ir. Soeparno Djiwo, MT
Ir. I Wayan Sujana, MT
Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA
Ir. I Wayan Mundra, MT

Ketua Panitia Sekretaris

: Dr. Ir. Julianus Hutabarat, MSIE
: Foury handoko, ST, SS., MT., PhD

Bendahara

: Sujianto, S.Pd., MM

Kesekretariatan : Sany Andjar Sari, ST, MT



Daftar Isi

HALAMAN SAMPUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR PANITIA	iii
Keynote Speaker : TREN PERKEMBANGAN IPTEK DI MASA DEPAN (I.N.G. Wardana)	iv
DAFTAR ISI	v
TEMA A: INOVASI DAN APLIKASI TEKNOLOGI DI INDUSTRI	
Studi Numerik Pengaruh Konfigurasi Pipa Pada Susunan Pipa <i>Staggered</i> Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas dan Aliran Fluida <i>Nina Yunindra, Ary Bachtiar Khrisna Putra</i>	1
Aplikasi Sistem Boiler Pada UKM Sinar 313 Untuk Meningkatkan Produksi Makanan Ringan Emping Jagung <i>Sudirman, Sri Kurniati</i>	11
Studi Eksperimen Pengaruh Pencampuran Gas HHO Dari Generator HHO Tipe Kering dengan Bahan Bakar LPG Pada Distribusi Temperatur Nyala Api Bunsen Burner <i>Agus Harianto, Djoko Sungkono Kawano</i>	20
Reologi Pengembangan Fluida Non-Newtonian Melewati Celah Sempit dengan Gas CO ₂ Sebagai Driving Force <i>Agus Harijono, I. N. G. Wardana, Nurkholis Hamidi, Denny Widhinuryawan</i>	28
Studi Permasalahan Pada <i>Coal Pulveriser Mill</i> Serta Usulan Penanganannya Menggunakan Metode Numerik <i>Agustin Kurniastuti*, Sutardi</i>	34
Analisa Frame Pada Mesin Pengangkut Garam Rakyat <i>Budi Luwar Sanyoto, Gathot Dwi W, Sri Murwanti, Imam Syafril</i>	41
Simulasi Peningkatan Kinerja Kincir Angin Savonius dengan Empat Plat Pengarah <i>Budi Sugiharto, Denny Widhiyanuwirawan, Slamet Wahyudi, Sudjito Soeparman</i>	51
Rancang Bangun Oven Untuk Proses Pengeringan Kulit Ikan <i>Denny M. E. Soedjono, Joko Sarsetiyanto, Dedy Zulhidayat Noor, Eddy Widiyono</i>	57
Analisis Perhitungan dan Perencanaan <i>Water Tube Boiler</i> Berbahan Bakar LPG Pada Industri Kecil Tahu di Mojokerto <i>Denny M.E. Soedjono, Joko Sasetiyanto, Dedy Zulhidayat Noor, Hayu Rara Febby</i>	66
Analisis Variasi Suhu Tekan Pada Karakteristik Briket Arang Ampas Tebu Sebagai Bahan Bakar Alternatif <i>Digdo Listyadi Setyawan, Nasrul Iminnafik, Hary Sutjahjono</i>	75
Studi Numerik Pengaruh Penambahan <i>Splitter Plate</i> dan <i>Guide Plate</i> Pada Susunan Tube <i>Staggered</i> Terhadap Karakteristik Aliran Fluida dan Perpindahan Panas <i>Dina Yuanita, Ary Bachtiar Khrisna Putra</i>	81
Fluidisasi Awal Pasca Injeksi <i>Waterjet</i> Pada Material Granular	



<i>Eko Yudiyanto, ING Wardana, Nurkholis Hamidi, Denny Widhiyanuriawan</i>	91
Studi Numerik Karakteristik Pembakaran <i>Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler</i> 660 MWE dengan Penambahan <i>Oxy-Fuel</i> Pada Udara Pembakaran <i>Fanny Eka Candra, Wawan Aries Widodo</i>	98
Pengaruh Induksi Medan Magnet Terhadap Karakteristik Nyala Api Pembakaran Bahan Bakar Minyak Kelapa <i>Gatot Soebiyakto, I.N.G. Wardana, Nurkholis Hamidi, Lilis Yulianti</i>	105
Studi Numerik Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas Pada Tube Platen Superheater PLTU Pacitan <i>Kurniadi Heru Prabowo, Prabowo</i>	114
Studi Numerik Pengaruh Konfigurasi Pengumpanan Dua Jenis Batubara dengan Metode <i>In-Furnace Blending</i> Terhadap Proses Pembakaran Pada Boiler Tangensial <i>Nia Ariningtyas, Sutardi</i>	119
Kecepatan Nyala Pada Pembakaran <i>Premixed</i> Etanol Yang Dikayakan dengan <i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i> <i>Muh Nurkoyim Kustanto, I.N.G. Wardana, Mega Nur Sasongko, Lilis Yulianti</i>	127
Pengaruh Prosentase Massa Refrigeran R 290/R744 Terhadap COP dan Temperatur Masuk Evaporator Pada Sistem Kompresi Uap Satu Tingkat <i>Hanric Muharka, Rudy Soenoko, Slamet Wahyudi, Nurkholis Hamidi</i>	134
Upaya Alternatif Proses Maufaktur Produk Katup Mesin (Engine Valve) Bahan SS 304 Berbasis Proses Operasional Las Gesek (Friction Welding) <i>Nur Husodo, Giri Suseno, Gathot Dwi W, Dadang Hidayat, Rahmad Hidayat.</i>	140
Peta Stabilitas Nyala Api Pada Ruang Bakar <i>Mesoscale</i> Tipe Rectangular Slot terhadap Posisi Combustor <i>Satworo Adiwidodo, I.N.G. Wardana, Lilis Yulianti, Mega Nursasongko</i>	151
Rancang Bangun Mesin Potong Singkong Gerak Reciprocating dengan 4 Cam Follower, 6 Pisau Potong dan 6 Hopper <i>Sri Bangun S, Nur Husodo, Winarto, Agung Subiyakto, Agus Suro</i>	159
Evaluasi Performa <i>Lube Oil Cooler</i> Pada Turbin Gas Dengan Variasi <i>Surface Designation</i> dan <i>Reynolds Number</i> <i>Siti Duratun Nasiqiati Rosady, Bambang Arip Dwiyantoro</i>	169
Simulasi Desain Pemanfaatan Aplikasi <i>Water Mist</i> Berbasis Mikrokontroller Sebagai Proses Pencegahan Kebakaran Pada Bus (Fires Safety) <i>Wahyu Dwi W. S, Wahyu Kurniawan G.U, Setya Wijayanta, Imam Syafi'i</i>	175
Studi Karakteristik Regeneratif Shock Absorber Double Silinder Hydraulic Actuator dengan Variasi Viskositas Oli <i>Wanda Afnison, Harus Laksana Guntur</i>	184
Karakteristik Pembakaran Serbuk Gergaji Kayu Sengon dengan Variasi Massa <i>Mokh. Hairul Bahri, ING. Wardana, Nurkholis Hamidi, Widya Wijayanti</i>	192



Studi Perancangan Suatu <i>Multiplace Chamber rectangular</i> Untuk Terapi Oksigen Hiperbarik <i>Erik S Cahya, Sugiyono, Dinar Kresno, Agung WW</i>	198
Karakterisasi Distribusi Temperatur dan Unjuk Kerja Tangki Penyimpan Energi Termal Stratifikasi Bertingkat dengan Variasi Diameter Difuser <i>Bambang Hadi Priyanto, Joko Waluyo</i>	206
Pengaruh Kecepatan Potong Pada Pemotongan <i>Polymethyl Methacrylate</i> Menggunakan Mesin Laser Cutting <i>Braam Delfian Prihadianto, Gesang Nugroho</i>	216
Pengaruh Perubahan Kecepatan dan Daya Terhadap Lebar Celah Laser Pada Mesin Laser Cutting Kapasitas 60 Watt Dengan Material Akrilik <i>Fathurahman, Gesang Nugroho, Heriyanto</i>	222
Efek Temperatur Sintering Pada Penambahan Penguat Sicw Dan Al ₂ O ₃ Partikel Terhadap Karakteristik Aluminium Matrik Komposit <i>Ketut Suarsana</i>	230
Studi Numerik Karakteristik Aliran dan Pembakaran Pada <i>Tangentially Fired Pulverized Coal Boiler</i> dengan Menggunakan <i>Oxy-Fuel</i> Pada Kasus <i>Coal Blending</i> Antara <i>Medium Rank Coal (MRC)</i> dan <i>Low Rank Coal (LRC)</i> <i>Rina febyanasari*, Wawan Aries Widodo, Budi Utomo Kukuh Widodo</i>	238
Optimasi Suhu Perlakuan Panas Pada <i>Abrasion Wear Resistant Cast Iron</i> Terhadap Keausan, Kekerasan dan Struktur Mikro <i>Triana Nofika Dewi, R. Soekrisno</i>	245
Potensi Lensa Fresnel Sebagai <i>Solar Thermal Concentrator</i> Untuk Aplikasi <i>Solar Domestic (Heating And Solar Cooking)</i> <i>Asrori, Sudjito Soeparman, Slamet Wahyudi, Denny Widhiyanuriyawan</i>	252
Rumah Pengering Untuk Mengatasi Kerusakan Tembakau Racikan Gunung Manru <i>Hamidah Harahap, Fatimah, Renita Manurung</i>	261
Pengeringan Produk Gambir dengan Sistem Kondensasi <i>Raden Mursidi</i>	266
Sifat Fisik dan Karakteristik Pembakaran Methyl Ester Minyak Nabati <i>Muhaji</i>	274
Pengaruh <i>Wire Tension Electrode</i> Pada Mesin <i>Wire EDM</i> Terhadap <i>Kepresisian Pemotongan</i> <i>Eko Edy Susanto, Stevani Ardi Putro</i>	283
Studi Kekuatan Tarik Komposit Serat Rami Acak-Polyester Sebagai Bahan Helm Standar SNI <i>Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, Bambang Setyoko</i>	294



Studi Eksperimen Proses Flashing dari Nosol Berputar di Dalam Lingkungan Vakum <i>Hery sonawan, Abdurrachim, Nathanael P. Tandian, Sigit Yuwono</i>	299
Analisis Lapisan Intermatalik pada Permukaan Baja Perkakas H13 dengan Perlakuan Panas Shot Pening dan Nitridisasi Sebagai Awal Die Soldering Pada Proses Die Casting Paduan Aluminium ADC12 <i>Myrna Ariati, Rini Riastuti, Rizki Aldila</i>	303
Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Korosi Sumuran Baja Tahan Karat Dua Fasa SAF 2205 <i>Reyningtyas Putri Perwitasari, Rini Riastuti</i>	312
Rancang Bangun Kendali Digital Motor BLDC Untuk Mobil Listrik Universitas Jember <i>Arbiantara H., Setiawan A., Widjonarko</i>	320
Evaluasi Keamanan Dan Stabilitas Sistem Tenaga Akibat Interkoneksi Pembangkit Baru Ke Dalam Grid <i>Ni Putu Agustini, I Made Wartana, Lauhil Mahfudz Hayusunan</i>	330
Identifikasi Jenis Asap Di Udara Menggunakan Spektrofotometer dan Jaringan Syaraf Tiruan <i>Tukadi, M. Rivai, M. Ronny</i>	341
Prototype Alat Bantu Penghitung Biji Tanaman Pangan Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535 Dengan Sensor Optocoupler <i>Syahminan, S</i>	340
Aplikasi <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (Anfis) Untuk Estimasi Kebutuhan Oksigen Kimiawi di Sungai Kali Surabaya <i>Wahyudi Harianto, M. Isa Irawan, Ali Masduqi</i>	356
Peningkatan Kapasitas Pembangkitan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohydro (PLTMH) Untuk Peningkatan Pelayanan di Desa Wisata Kebon Agung, Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul –Yogyakarta <i>Syafriyudin, Mujiman, A.A.P. Susastriawan</i>	365
Optimasi Kapasitas Sistem Energi Hibrid Berbasis Energi Terbarukan Untuk Perancangan Sistem Energi Hibrid di Kota Palu <i>I Gede Ryan Sandy, Sasongko Pramono Hadi, Suharyanto</i>	371
Perancangan dan Implementasi Metode Oreste Pada Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Penerima Beasiswa <i>Mokhamad Hadi Wijaya</i>	382
Perancangan Chatbot Pembelajaran Pemrograman Berorientasi Object Berbasis Sistem Modular <i>Wijaya. M Hadi, Sotyohadi, Setiawan. Ridwan Syarif</i>	390
Studi Parametrik Antena Vival di Slot Dengan Pencatuan Mikrostrip <i>Mukhidin, Tommi Hariyadi, Tuti Suartini</i>	400
Rekonstruksi 3D Citra <i>Magnetic Resonancy Imaging (MRI) Abdomen</i> Untuk Identifikasi <i>Polip</i> Pada Saluran Pencernaan	



<i>Achmad Ribut Triwoto, Tri Arief Sardjono</i>	407
Integrasi Optimal <i>Distributed Generator</i> Untuk Meningkatkan Performasi Sistem dengan Teknik Optimasi Evolusi <i>I Made Wartana, Teguh Herbasuki, Ni Putu Agustini</i>	414
Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal <i>Site Radar</i> 214 dengan Metode Sudut Lindung, Bola Bergulir dan Pengumpulan Volume <i>Edi Supartono, Suharyanto</i>	424
Deteksi Sinyal Elektromyogram (EMG) Saat Kontraksi dan Relaksasi dengan Personal Komputer <i>Irmalia Suryani Faradisa, Pandu Noortyas</i>	431
Roket Kendali Otomatis Ketinggian Rendah Menggunakan Atmega 328 dengan Sensor BMP 085 dan CMPS10 Serta Grafik Antarmuka <i>Agil Setiawan, M. Fadhil Abdullah, Anggara Wijaya</i>	440
<i>Outage Cost</i> Pabrik Kayu Lapis (<i>Plywood</i>) CV. Putra Makmur Abadi <i>Industrial Wood</i> Akibat Pemadaman Listrik <i>Husein Mubarak, Bambang Sugiyantoro, Avrin Nur Widiastuti</i>	445
Profil Kualitas Daya Listrik (Power Quality) Pada Industri Manufaktur Pengolahan Plastik <i>Alex Sandria Jaya Wardhana</i>	454
Analisa Home Theater Multi Channel Menggunakan Operasional Amplifier <i>M. Ibrahim Ashari, Irmalia Suryani Faradisa</i>	463
Pemasangan Lc Filter Pada Scr (<i>Silicon Controlled Rectifier</i>) Sebagai Pengendali Motor Dc <i>Bambang Prio Hartono, Choirul Saleh, Taufik Hidayat</i>	472
Rancang Bangun Dispenser Otomatis Menggunakan Sistem Vending Machine Diaplikasikan Pada Pondok Pesantren Miftahul Huda Eko Nurchayo, Irmalia Suryani F., Taufik Hidayat, Teguh Herbasuki	481
Identifikasi Plagiasi Karya Ilmiah Berbasis Temu Kembali Informasi Menggunakan Algoritam Edit Distance Melalui Peringkasan Teks Otomatis <i>Iyan Mulyana, Andi Chairunnas, Aries Maesya</i>	490
Ideal Solution System: Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Solusi Ideal Pada Multi Purpose Problem Menggunakan Metode Topsis <i>Rani Purbaningtyas</i>	499
Strategi Pemanfaatan Arsitektur <i>Model-View-Controller</i> Pada Sistem Berbasis Metode <i>Extreme Programming</i> <i>Karina Auliasari</i>	507
Implementasi SMS Gateway Sebagai Sistem Monitoring Kinerja Jaringan Komputer <i>Ahmad Faisol</i>	515
Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan Metode Simple Additive Weighting Untuk Penentuan Guru Berprestasi <i>Alexius Endy Budianto, Eris Dianawati</i>	520
Pengembangan Aplikasi <i>Baby Care</i> Menggunakan Metode <i>User-Centered Design</i>	



<i>Karina Auliasari, Mira Orisa</i>	530
Desain State Simulasi Pertarungan Dua Karakter <i>Sukoco</i>	537
Panduan Pembuatan User Interface Programmable Logic Controller (PLC) dengan Studi Kasus Water Treatment Plant <i>Yuli Wahyuni, Taufik Hidayat, Adi Setyawan</i>	542
Pembuatan Aplikasi Pengolahan Citra Digital Pemilihan Biji Kacang Kedelai Bagi Petani Kedelai Untuk Diterapkan Didesa Tumpang Kabupaten Malang <i>Yuli Wahyuni, ST, Taufik Hidayat, Clara Wildea Martha</i>	552
Pengendalian Kualitas Produk Kerupuk Bawang Untuk Mengurangi Jumlah Produk Cacat di UD. Kalirejo Kabupaten Banyuwangi <i>Herdiana, D.S.</i>	561
Analisis Kemampuan Proses Pemintalan Benang Sutra Berdasarkan Perbedaan Waktu Kerja dengan Pendekatan Statistical Process Control (SPC) <i>Hardi</i>	566
Pengaruh Pelaksanaan Program Corporate Social Responsibility (CSR) Perusahaan Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Pengembangan Wilayah di Kabupaten Labuhanbatu Selatan <i>Abdul Rajab Pasaribu</i>	572
Penyusunan Hirarki Triple Helix Untuk Menentukan Prioritas Berkelanjutan UKM (Studi Kasus UKM D'Organic) <i>M. Imron Mas'ud</i>	582
Pengembangan Model Total Biaya Sistem Produksi Pembuatan Kapal Layar Phinisi Dengan Model Famili Produk <i>Dirgahayu Lantara</i>	588
Model Dan Skala Prioritas Tahapan Implementasi TQM Pada Universitas Swasta <i>Lamatinulu, Muhammad Dahlan</i>	599
Uji Validitas Dan Reliabilitas <i>Hamilton Anxiety Rating Scale</i> Terhadap Kecemasan dan Produktivitas Pekerja <i>Visual Inspection</i> PT. Widatra Bhakti <i>Fu'ad Kautsar, Dayal Gustopo, Fuad Achmadi</i>	605
Analisis Proses Produksi Berdasarkan Lean Manufacture dengan Pendekatan Valsat Pada PT.XX <i>Abdul Wahid</i>	610
Rancang Bangun Mesin Pengolahan Kopi Terpadu <i>Sri Indriani, Sanny Andjar Sari</i>	616
Penerapan Mesin Perontok Padi di Desa Ngadirejo Kecamatan Kromengan Kabupaten Malang <i>Sanny Andjar Sari, Salamia, Sri Indriani, Harimbi Setyawati, Priscilla Tamara, Erni Junita Sinaga</i>	622
Perancangan Kowi Peleburan Limbah Kaca Dengan Metode QDF dan AHP <i>Priscilla Tamara, Peniel I. Gultom, Sanny Andjar Sari</i>	626



	Perancangan dan Pembuatan Alat Pembelah dan Penyerut Bambu Untuk Pengrajin Sangkar Burung Desa Gedok - Turen Malang <i>Erni Junita Sinaga, Sanny Andjar Sari, Anis Artiyani</i>	635
	Penentuan Faktor Resiko <i>Musculetal Disorder</i> (MSDS) Bagi Pekerja Pengglasiran Keramik <i>Dayal Gustopo, Ida Bagus Suardika, Fuad Kautsar</i>	643
	Pemodelan Spasial Balita Gizi Buruk dengan <i>Geographically Weighted Negative Binomial Regression</i> dan <i>Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic</i> (Studi Kasus Jumlah Balita Gizi Buruk Di Jawa Timur Tahun 2013) <i>Tri Cahya Widodo, Sony Sunaryoi, Purhadi</i>	648
	<i>Small Area Estimation</i> Dengan Pendekatan <i>Empirical Bayes</i> Berbasis Model Beta-Binomial Untuk Estimasi Angka Pengangguran Di Kabupaten Sumba Timur <i>Lamatur Heribertus Sidabutar, Dr. Dra. Ismaini Zain, M.Si</i>	657
	Identifikasi Tingkat Kepuasan Pengguna Terhadap Pengelolaan, Fasilitas, Dan Kualitas Pelayanan Terminal Purwoasri Kabupaten Kediri <i>Agung Sedayu</i>	663
	Perancangan Rompi Anti Cidera Berbahan Coir Fiber (Serabut Kelapa) Yang Ergonomis <i>Iftitah Ruwana, Julianus Hutabarat</i>	673
	Pengaruh Proses Sanforize Shringkate Untuk Meningkatkan Kekuatan Kain Cotton <i>Kiswando</i>	681
	Pertimbangan Antropometri Mata Untuk Kenyamanan Kerja Pada Cv. Mulya <i>Subchan Asy'ari</i>	686
	Analisa Kebutuhan Tenaga Kerja Untuk Memenuhi Permintaan Konsumen di Perusahaan Pengelola Makanan <i>Agam Rakhmad Ramadhan, Ellysa Nursanti, Thomas Priyasmanu</i>	691
	Aplikasi Teknologi Heat Recovery pada System HVAC di Industri Farmasi <i>Hendro Widyantoro</i>	699
	Analisis Hubungan Produk Domestik Bruto dan Ekspor Indonesia dengan Pendekatan Threshold Vector Error Correction Model (TVECM) <i>Gama Putra Danu Sohibien, Brodjol Sutijo Suprih Ulama</i>	706
	Penerapan Persamaan Simultan Spasial Untuk Pemodelan Kemiskinan di Provinsi Jawa Timur <i>Hadiyanto, Setiawan</i>	715
	Potensi dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Menjadi Asap Cair Sebagai Pengawet Pada Industri Kayu dan Karet <i>SP. Abrina Anggraini</i>	723
	Aplikasi Membran <i>Nata De Chayote</i> Sebagai Separator Baterai Zink Karbon <i>Firyal Amira Gista, Fredy Kurniawan</i>	732
	Pengaruh Putaran Motor Terhadap Kualitas Biodiesel CPO Hasil Pemisahan Dengan Sistem Sentrifugasi	



<i>Erry Ika Rhofita</i>	740
Isolasi Senyawa Terpenoid dan Uji Bioaktivitas Antioksidan dari Tumbuhan Kacang Kayu (<i>Cajanus cajan</i> (L) Millsp) dari Pulau Poteran-Madura <i>Debora Ariyani, Taslim Ersam</i>	747
Pengaruh Nanosize-Filler Pada Daya Serap Air Superabsorban Polimer Komposit Akrilat <i>Jadigia Ginting</i>	751
Isolasi Lignin Dari Serbuk Gergajian Kayu Untuk Bahan Komposit <i>Jadigia Ginting</i>	756
Pengaruh Penambahan Asam Posfat Pada Degradasi Gliserol Untuk Menghasilkan Metanol Menggunakan Ultrasonik <i>Ruslan, Sumarno, Mahfud</i>	763
Teknologi Produksi Radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari Fisi ^{235}U vs Aktivasi Neutron: Studi Teknis dan Ekonomis <i>Kadarisman</i>	768
Pembuatan Gliserol Karbonat dari Gliserol (Hasil Samping Industri Biodiesel) dengan Variasi Rasio Reaktan dan Waktu Reaksi <i>Jimmy, Yesualdus Marinus Jehadu</i>	780
Optimalisasi Proses Isolasi Etil Parametoksisinamat (EPMS) dari Rimpang Kencur dengan Variasi Proses dan Konsentrasi Pelarut <i>Mohammad Istnaeny Hudha, Elvianto Dwi Daryono, Muyassaroh</i>	787
Ekstraksi Minyak Atsiri Jahe Merah dengan Variasi Jenis Pelarut dan Waktu Ekstraksi <i>Elvianto Dwi Daryono, Ferry Andri Trilaksono, Lia Walianti</i>	793
Kelompok Nelayan Usaha Kecap dari Limbah Ikan Laut dengan Teknologi Hidrolisis Enzimatis di Desa Watukarung Pacitan <i>Siswi Astuti, Eko Edy Susanto, Ertin Lestari</i>	800
Kajian Penggunaan Magnesol Pada Proses Pencucian Biodiesel <i>Harimbi Setyawati, Bagas Arya J., Leonardo Kusuma A.</i>	805
Pigmen Hasil Eksplorasi Kekayaan Hayati Lokal Sebagai Pengganti Pewarna Berbahaya Rhodamin B dan Kopigmentasinya <i>Elfi Anis Saati, Sri Winarsih, Moch. Wachid</i>	814
Sari Kedelai Lokal Unggul Rendah Kalori: Kajian Jenis Pemanis Dan Konsentrasinya <i>Elfi Anis Saati, Sri Winarsih, Aulina Maghfiroh</i>	823
Pemanfaatan Madu Sebagai Inhibitor Pada Baja Karbon Rendah Dalam Lingkungan NaCl 3,5% dengan Metode Weight Loss <i>Johny Wahyuadi S, Andi Rustandi, R. Nino Romantika, M. Akbar Barrinaya</i>	832
Penyuluhan Pembuatan Alat-alat Peraga Fisika Sederhana di MGMP IPA SMP/MTs Kota Batu <i>Anang Subardi, Sumanto</i>	841
Karakterisasi Lapisan Retak Mikro Permukaan Hard Chrome Hasil Perlakuan Nitridisasi	848



	<i>Wayan Sujana, K.A. Widi</i>	
	Implementasi Dynamic Voltage Restorer (DVR) Multifungsi Untuk Perbaikan Kualitas Daya <i>Abdul hamid, Eko Nurcahyo</i>	856
	The Role of Renewable Resource: A Hybrid System of Wind and Solar Energy <i>Abraham Lomi, Aryuanto Soetedjo, Yusuf Nahkoda</i>	866
	Potensi Limbah Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Energi Alternatif <i>Dwi Ana A, Harun Pampang dan Lois Yunita</i>	1088
TEMA B: INOVASI DAN APLIKASI TEKNOLOGI PEMBANGUNAN		
	Pengembangan Bangunan <i>Air Inflated Structure</i> Sebagai Fasilitas Tanggap Bencana <i>M. Ikhsan Setiawan, Tiong Iskandar, Hery Budiyanto</i>	874
	Pengaruh Lubang Drainase Pada Penampang Kolom Persegi Beton Bertulang Terhadap Kuat Tekan Dan Daktilitas <i>A.Agus Santosa, Yosimson Petrus Manaha, Ester Priskasari</i>	106
	Optimasi <i>Offset</i> Sinyal Simpang Bersinyal Pada Atcs (<i>Area Traffic Control System</i>) <i>Nusa Sebayang, Harnen Sulistio, Ludfi Djakfar, Achmad Wicaksono</i>	882
	Pendampingan Perencanaan Rumah Ibadah Di Desa Nangkajajar Kab.Pasuruan Sebagai Upaya Sharing Iptek dan Peningkatan Kenyamanan Warga Dalam Beribadah <i>A. Agus Santosa, Tiong Iskandar, Deviany Kartika</i>	892
	Analisis Penentuan Tipe Bangunan Penghubung Yang Efektif dan Efisien dengan Metode Rekayasa Nilai Di Desa Tirtomoyo Kabupaten Malang <i>Tiong Iskandar, Deviany Kartika, A. Agus Santosa</i>	900
	Program Hemat Simpan Olah dan Daur Ulang Air (Hesioda) Sebagai Upaya Efisiensi Pemakaian dan Pemanfaatan Air <i>Dyah Wahyu Wijayanti, Dwi Ermawati Rahayu, Tim Kkn</i>	909
	Pemodelan Penyebaran NAF dan PAF Pada Daerah Penambangan Batubara <i>Pit</i> Terbuka Di Muara Lawa, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur <i>Shalaho Dina Devy, Heru Hendrayana, Dony Prakasa E.P, dan Eko Sugiharto</i>	917
	Pemanfaatan Limbah Kertas Pembungkus Tembakau Rokok Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket <i>Hery Setyobudiarso</i>	1013
	Penerapan Komposter Anaerobik Dalam Pembuatan Pupuk Cair Pada Sampah Basah di Perumahan Pondok Cempaka Indah Kota Malang <i>I Nyoman Sudiasa, Anis Artiyani, Dwi Ana Anggorowati, Mochtar Asroni</i>	1069
	Keberlanjutan Arsitektur Kolonial Bangunan Gereja di Malang Sebagai Pembentuk <i>Landmark</i> Kawasan <i>Nur Fauziah</i>	924
	Kajian Karakteristik Kawasan Hutan Kota Yang Berkelanjutan <i>Diah Kusuma Ningrum, Bambang Soemardiono, Purwanita Setijanti</i>	932



Efektivitas Desain Kamar dan <i>Nurse Station</i> Pada Paviliun Penderita Stroke di Rumah Sakit Y di Surabaya <i>Pandu Tedja, Gunawan Tanuwidjaja</i>	938
Pengoptimalan Sirkulasi Angin Pada Rumah Deret <i>Zuraida</i>	946
Pengaruh Warna Dalam Desain Fasilitas Perawatan Gigi Ramah Anak di Amerika <i>Gunawan Tanuwidjaja, N. Willy Ivan Juanda, Silvia Ivannawati Himdojo, Eko Sunjoyo, Yoszy Aldo Tondayana, Sylvester Kevin, Oji Pratama, Tanaka Sanjaya</i>	956
Desain Dermaga Apung dan Penangkap Sampah di Kawasan Ekowisata Mangrove Wonorejo, Surabaya <i>Bella Maria Sunjaya, Eko Sunjoyo Salim, Dharma Wijaya, Gunawan Tanuwidjaja</i>	964
Optimasi Penggunaan Lahan Dalam Pengembangan Kawasan Perkotaan Kecamatan Pacet-Kabupaten Mojokerto <i>Rini Ratna WN, Haryo Sulistyarso, Eko Budi Santoso</i>	970
Faktor Keseimbangan Lingkungan Terhadap Emisi Gas CO ₂ di Wilayah Perkotaan Gresik <i>Achmad Ghozali, Adjie Pamungkas, Eko Budi Santoso</i>	980
Studi Hubungan Ruang Terbuka Hijau, Temperatur Lingkungan Perkotaan dan Kebutuhan Konsumsi Oksigen Dengan Sistem Informasi Geografis <i>Dedy Kurnia Sunaryo</i>	990
Formasi Spasial Permukiman Komunitas Hindu di Dusun Sawun dan Dusun Jenglong Kecamatan Wagir Kabupaten Malang <i>Lalu Mulyadi, Ida Bagus Suwardika, I Wayan Muindra</i>	1003
Penataan Pencahayaan Malam Hari di Kawasan Kota Lama Surabaya Sebagai Upaya Mempertahankan Image Kawasan <i>Setyo Bugiakso Bayusakti, Endang Titi Sunarti Darjosanjoto, Murni Rachmawati</i>	1022
Evaluasi Adaptasi Banjir Pantai Dalam Konteks Perubahan Iklim di Pesisir Surabaya <i>Vilas Nitivattanano, Rimadewi Supriharjo, Ariyaningsih</i>	1031
Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Urban Heat Island di Surabaya, Indonesia <i>Ayu Candra Kurniati, Vilas Nitivattananon, Haryo Sulistyarso</i>	1040
Faktor Yang Mempengaruhi Pengembangan Kawasan Perumahan Dan Permukiman Berkelanjutan Di Mejayan, Kabupaten Madiun <i>Ainun Dita Febriyanti, Ispurwono Soemarno, Ima Defiana</i>	1050
Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah Longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika <i>Martinus Edwin T., Silvester Sari S., Hery Purwanto</i>	1077

Evaluasi Keamanan dan Stabilitas Sistem Tenaga Akibat Interkoneksi Pembangkit Baru ke dalam *Grid*

Ni Putu Agustini¹, I Made Wartana², Lauhil Mahfudz Hayusunan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITN-Malang

e-mail: ¹niputu.agustini@yahoo.co.id, ²m.wartana@fti.itn.ac.id, ³hayusman@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan model baru untuk meningkatkan kinerja sistem tenaga listrik berdasarkan stabilitas sistem yakni: indeks stabilitas tegangan dan faktor stabilitas saluran, serta keamanan sistem berdasarkan pada margin tegangan bus dan batas thermal saluran transmisi. Model ini dianalisis dan dievaluasi pada sistem uji standard akibat pembangkitan baru yang dapat berupa energi baru terbarukan terinterkoneksi ke dalam sistem *grid* dalam mengantisipasi peningkatan pembebanan sistem. Untuk menjamin stabilitas dan keamanan sistem akibat interkoneksi pembangkit baru yang dapat berupa energi baru terbarukan tersebut dilakukan dengan penempatan optimal salah satu tipe piranti kendali canggih, yaitu *Shunt FACTS* (Flexible AC Transmission Systems) *Controler*, yaitu *Static Var Compensator* atau yang dikenal dengan SVC. Piranti pengendali yang mampu menginjeksi dan menyerap daya reaktif tersebut dimodelkan dan selanjutnya digabungkan dalam analisis aliran daya Newton Raphson. Efektifitas metodologi yang dikembangkan ini telah berhasil diuji pada sistem uji standard IEEE 14-bus dengan menginterkoneksi pembangkit baru ke dalam sistem uji tersebut.

Kata kunci: Indeks stabilitas tegangan, faktor stabilitas saluran, FACTS, SVC, keamanan sistem

ABSTRACT

This study developed a new model of improving the performance of the power system based on the stability of the system: voltage stability index and line stability factor, as well as security systems based on the bus voltage and thermal limits of the transmission line margins. The model has been analyzed and evaluated on standard test system due to interconnection of the new generation (renewable energy) to the grid in anticipation of an increase of the system loadability. To ensure the stability and security of the system due to the interconnection of the new generation is done with the optimal placement of one type of advanced control devices, namely Shunt FACTS (Flexible AC Transmission Systems) controller, Static Var Compensator, known as SVC. The control device that is capable of injecting and absorbing reactive power is modeled and subsequently incorporated in Newton Raphson power flow analysis. Effectiveness of the developed methodology has been successfully tested on a test system IEEE 14-bus standard with a new generation interconnect into the test system.

Keywords: *voltage stability index, line stability factor. FACTS, SVC, system security.*

Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, sistem tenaga listrik menghadapi tantangan baru sebagai akibat dampak deregulasi dan restrukturisasi pasar listrik (Cai & Erlich, 2004). Seiring dengan deregulasi tersebut, beban listrik terus meningkat sehingga perlu adanya penambahan pembangkit baru ke dalam jaringan sistem tenaga listrik (*grid*) untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan beban konsumen. Hal ini mengakibatkan jaringan transmisi menyalurkan beban listrik mendekati batas termalnya.

Kondisi ini tentu menarik pengelola/utilitas sistem tenaga listrik dalam hal ini PT PLN untuk menemukan cara yang tepat yang memungkinkan penyaluran daya listrik dengan ke konsumen lebih efisien dengan cara melakukan pengendalian aliran daya listrik (Lu & Li, 2008). Banyak teknologi terbaru dikembangkan dalam sistem tenaga listrik, yang membuat utilitas mampu mengendalikan aliran daya dalam mengantisipasi peningkatan pembebanan daya listrik, batas thermal saluran transmisi, stabilitas sistem transmisi, dan meningkatkan keamanan sistem transmisi (N. G. Hingorani, 2000). Selain itu, berbagai perangkat kendali modern telah dikembangkan dan digunakan untuk

memaksimalkan kemampuan mentransfer daya sekaligus meminimalkan kerugian daya sistem transmisi, yang mengarah kepada pemanfaatan efisien dan meningkatkan performansi sistem tenaga yang ada (I. Made Wartana & Ni Putu Agustini, 2011).

Jika dibandingkan dengan strategi pengendalian korektif, seperti penjadwalan pembangkit dan pemutusan beban, pemanfaatan system kendali modern seperti piranti FACTS (Flexible AC Transmission system) di masa depan merupakan alternatif yang lebih ekonomis dalam upaya menurunkan biaya operasional dan biaya investasi pengembangan sistem jaringan baru, walaupun biaya perangkat ini masih relatif mahal dan sistem pengoperasiannya termasuk rumit (Shaheen, Rashed, & Cheng, 2007), (Saravanan, Slochanal, Venkatesh, & Abraham, 2007).

Untuk mengantisipasi kenaikan kebutuhan listrik yang terus meningkat tersebut, serta secara perlahan mengurangi ketergantungan pasokan listrik dari luar pulau, maka pengoperasian pembangkit baru mutlak dilakukan. Pengoperasian pembangkit baru tersebut tidaklah cukup tanpa dibarengi dengan perluasan sistem seperti penambahan Gardu Induk (GI) baru. Peningkatan kebutuhan akan energi listrik bukan saja akan mengakibatkan penambahan pembangkit listrik baru tetapi juga berakibat pada penambahan GI baru seperti (Mataram, 2010). Pengoperasian pembangkit dan GI ini akan memberikan pengaruh pada performansi sistem grid yang direpresentasikan pada reduksi profil tegangan dan rugi daya sistem grid tersebut. Agar pengoperasian pembangkit dan penambahan GI baru tersebut mampu mensuplai kenaikan beban listrik yang terjadi untuk beberapa tahun ke depan dengan kontinuitas dan keandalan yang baik maka perlu dianalisis dan dievaluasi stabilitas dan keamanan sistem grid tersebut.

Penelitian ini menerapkan salah satu metode baru berdasarkan teknik optimasi evolusi yang dikenal dengan nama *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menganalisis dan mengevaluasi stabilitas dan keamanan sistem tenaga listrik pada kondisi pembebanan maksimal sistem dengan beroperasinya pembangkitan baru yang dapat berupa energi baru terbarukan (renewable energy). Hal ini dilakukan dengan penempatan optimal salah satu *Shunt FACTS Controller* yaitu SVC pada sistem uji standard IEEE 14-bus (Milano, 2005a), (Zimmerman, Murillo, Sanchez, & Thomas, 2011) sehingga penambahan pembangkit baru ke dalam sistem grid tersebut tetap menjamin sistem dalam margin stabilitasnya yang terdiri dari: indeks stabilitas tegangan (IST) dan faktor stabilitas saluran (FSS) serta menjaga keamanan sistem berdasarkan batas-batas tegangan bus dan kapasitas thermal penyaluran daya pada batas yang diijinkan. Disamping itu untuk menghindari kenaikan rugi saluran yang berlebihan akibat kenaikan pembebanan sistem, maka program yang dikembangkan ini juga akan sekaligus meminimalkan rugi daya aktif saluran ketika terinterkonksinya pembangkit baru tersebut ke dalam grid sehingga performansi sistem dapat ditingkatkan.

Metode Penelitian

Analisis Aliran Daya Newton Raphson

Secara matematis persamaan aliran daya dapat diselesaikan dengan menggunakan koordinat rectangular, koordinat polar atau bentuk hybrid. Dalam pembahasan koordinat polar (Alsac & Stott, 1974). Persamaan daya aktif dan reaktif pada bus i adalah:

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i V_k Y_{ik}| \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \quad (1)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i V_k Y_{ik}| \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) di atas menghasilkan suatu kumpulan persamaan yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui magnitude tegangan ($|V|$) dan sudut fasa (δ) di setiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan di atas yang dilinierkan dengan metode Newton Raphson dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3)$$

dengan:

ΔP : Selisih injeksi netto daya aktif dengan jumlah aliran daya aktif tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan $|V|$ yang didapat dari perhitungan iterasi ke- k .

ΔQ : Selisih injeksi netto daya reaktif dengan jumlah aliran daya reaktif tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan $|V|$ yang didapat dari perhitungan iterasi ke- k .

$\Delta \delta$: Vektor koreksi sudut fasa tegangan

$\Delta |V|$: Vektor koreksi magnitudo tegangan

H, L, M, N merupakan elemen-elemen *off-diagonal* dan diagonal dari submatrik Jacobian yang dibentuk dengan mendefinisikan persamaan (3) dengan:

$$\left. \begin{aligned} H_{ik} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} & ; & \quad N_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial |V_k|} \\ M_{ik} &= \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} & ; & \quad L_{ik} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_k|} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Untuk menghitung selisih daya, maka mula-mula ditentukan harga awal tegangan simpul dan sudut fasanya, kemudian daya aktif dan reaktif dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Selisih daya antara daya yang telah ditentukan dengan daya hasil perhitungan ini merupakan perubahan daya yang terjadi pada simpul. Magnitudo tegangan dan sudut fasa yang diasumsikan ($|V|$) dan (δ) serta selisih daya yang dihitung (ΔP dan ΔQ) digunakan untuk memperoleh elemen-elemen matrik Jacobian.

Persamaan (5) diselesaikan untuk menghitung vektor koreksi magnitudo tegangan ($\Delta |V|$) dan sudut fasa tegangan ($\Delta \delta$) yang baru sehingga diperoleh harga magnitudo tegangan dan sudut fasa yang baru (Alsac & Stott, 1974):

$$\left. \begin{aligned} |V^{k+1}| &= |V|^k + \Delta |V|^k \\ \Delta^{k+1} &= \delta^k + \Delta \delta^k \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya aktif dan reaktif antara yang dijadwalkan dan dihitung, yaitu ΔP dan ΔQ untuk semua simpul mendekati nilai toleransi atau proses perhitungan iterasi mencapai konvergen.

Pemodelan Piranti Kendali Shunt FACTS.

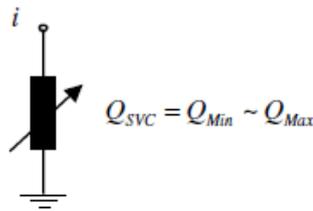
Variabel dan parameter saluran transmisi diantaranya: reaktansi saluran, besaran tegangan dan sudut fasa dapat dikontrol dengan cara yang cepat dan efektif menggunakan piranti *FACTS (Flexible AC Transmission System)*. Banyak keuntungan yang bisa diperoleh dengan menggunakan FACTS tersebut diantaranya meningkatkan stabilitas sistem jaringan listrik seperti stabilitas transient, stabilitas sinyal kecil dan juga dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga (Cai, Erlich, & Stamtis, 2004). Disamping itu memaksimalkan pembebanan sistem juga dapat dilakukan dengan penempatan optimal dan pengaturan parameter dari piranti pengandali FACTS ini. Namun demikian pengendali aliran daya merupakan fungsi utama dari FACTS tersebut (Lu, Li, Jiang, & Wu, 2008).

Static Var Compensator (SVC) merupakan salah satu tipe dari pengendali *FACTS Shunt* yang banyak digunakan pada sistem kelistrikan modern di beberapa belahan dunia. Piranti kendali SVC ini dihubungkan secara parallel (Shunt) dengan bus beban untuk mengkompensasi reaktansi induktif pada bus tersebut sebagaimana ditunjukkan persamaan (6). Dalam penelitian ini SVC dimodelkan sebagai injeksi daya reaktif ideal pada bus i sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 (N. Hingorani & Gyugyi, 1999).

$$\Delta Q_i = Q_{SVC} \quad (6)$$

Pemodelan tersebut dilengkapi dengan persamaan aljabar yang mengekspresikan injeksi daya reaktif pada node SVC tersebut seperti ditunjukkan persamaan (7) (Milano, 2005b).

$$Q_{SVC} = b_{SVC} V^2 \quad (7)$$



Gambar 1. Pemodelan piranti kendali SVC

Stabilitas dan Keamanan daya sistem

Indeks stabilitas tegangan

Indeks stabilitas tegangan atau yang dapat disingkat dengan IST dikembangkan oleh (Musirin & Abdul Rahman, 2002) dan digunakan dalam penelitian ini untuk menjamin pembebanan sistem tiap bus aman. IST adalah perangkat yang digunakan untuk menunjukkan kondisi stabilitas tegangan yang dirumuskan berdasarkan saluran atau bus seperti yang didefinisikan dengan persamaan (8) berikut,

$$IST_{ik} = \frac{4Z^2 Q_k}{V_i^2 X} \quad (8)$$

dengan, Z adalah impedansi saluran, X adalah reaktansi saluran, Q, adalah daya reaktif pada sisi terima, dan V_i adalah tegangan pada sisi kirim.

Saluran yang menunjukkan IST mendekati nilai 1,00 berarti bahwa saluran tersebut mendekati titik ketidakstabilan. Jika IST melampaui 1,00, berarti salah satu bus yang terhubung dengan saluran tersebut akan mengalami penurunan tegangan tiba-tiba yang menyebabkan runtuhnya sistem. Indeks IST digunakan pada sistem kendali tenaga listrik untuk menjamin bahwa tidak akan ada bus jatuh akibat pembebanan lebih.

Faktor stabilitas saluran

Indeks stabilitas sistem juga dijamin oleh faktor stabilitas saluran yang dapat disingkat dengan istilah FSS yang diusulkan oleh A Mohamedetal (Suganyadevia & Babulal, 2009). Formulasi dimulai dengan persamaan keadaan sistem tenaga dan dinyatakan sebagaimana persamaan (7) berikut.

$$FSS = 4 \left(\frac{X}{V_i^2} \right) \left(\frac{X}{V_i^2} P_i^2 + Q_k \right) \quad (9)$$

dengan, X adalah reaktansi saluran, V_i adalah tegangan sisi kirim, P_i adalah daya nyata pada sisi kirim dan Q adalah daya pada sisi terima. FSS harus dijaga kurang dari 1,00 untuk mempertahankan sistem yang stabil. FSS menjamin sistem sehingga tidak ada saluran melampaui batas atas kemampuan pengiriman daya saluran dalam segala kondisi pembebanan grid.

Optimasi pembebanan daya sistem

Pengendali FACTS ditempatkan pada jaringan tenaga listrik dalam upaya meningkatkan pembebanan sistem, dan pada saat yang sama untuk mencegah terjadinya pembebanan lebih pada saluran dan pelanggaran tegangan pada bus sistem. Fungsi obyektif berdasarkan pengukuran indeks pembebanan lebih dan keamanan sistem dalam hal ini tingkat tegangan dan pembebanan cabang. Formulasi matematika untuk peningkatan pembebanan lebih sistem dirumuskan dalam (8) dan (9) berikut (Nagalakshmi & Kamaraj, 2011):

$$\text{Max } F_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) \quad (10)$$

$$\text{s.t. } \left. \begin{array}{l} g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) = 0 \\ h(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) \leq 0 \end{array} \right\} \quad (11)$$

dengan, \mathbf{x} dan \mathbf{u} menunjukkan variabel dependen dan variabel kontrol, λ adalah faktor pembebanan lebih dalam %, $g(\mathbf{x}, \mathbf{u})$ adalah seperangkat kendala persamaan nonlinier (persamaan aliran daya) dengan faktor pembebanan lebih, dan $h(\mathbf{x}, \mathbf{u})$ adalah himpunan kendala ketimpangan nonlinier. Vektor \mathbf{x} terdiri dari pembangkit listrik reaktif, daya slackbus, tegangan dari semua bus beban. Vektor \mathbf{u} terdiri dari tegangan semua bus generator, pembangkit listrik nyata, arus saluran transmisi, faktor pembebanan lebih, lokasi optimal FACTS Controller dan pengaturan optimal dengan memenuhi kendala keamanan sistem sebagai berikut (Rashed & Shaheen, 2007):

$$VL = \sum_{i=1}^{N_l} OLL_i \times \sum_{j=1}^{N_b} BVV_j \quad (12)$$

dengan, VL adalah faktor pelanggaran batas termal dan bus, OLL_i dan BVV_j masing-masing merupakan faktor pembebanan lebih saluran dan faktor pelanggaran tegangan bus, sebagaimana diuraikan dalam (14) dan (15); N_l dan N_b masing-masing adalah jumlah total saluran transmisi dan bus. Sedangkan λ_i adalah parameter beban dari sistem, untuk mencari jumlah maksimum jaringan yang mampu memasok daya dalam margin keamanan sistem.

Parameter beban, λ dalam (10) didefinisikan sebagai fungsi dari faktor beban λ_f :

$$\lambda = \exp[\gamma|\lambda_f - \lambda_f^{\max}|] \quad \lambda_f \in [1, \lambda_f^{\max}] \quad (13)$$

dengan, γ adalah koefisien untuk menyesuaikan kemiringan fungsi, dan merupakan batas maksimal λ_f .

Factor beban λ_f , mencerminkan variasi daya beban P_i dan Q_i , yang didefinisikan sebagai (Lu & Li, 2008):

$$P_i(\lambda_f) = \lambda_f P_{i=m+1, \dots, N_b} \quad (14)$$

$$Q_i(\lambda_f) = \lambda_f Q_{i=m+1, \dots, N_b} \quad (15)$$

dengan, m adalah jumlah bus generator. $\lambda_f=1$ menunjukkan beban kasus dasar. Indek-indek keadaan keamanan sistem terdiri dari dua bagian. Bagian pertama, OLL_i , berkaitan dengan pembebanan saluran dan pelanggaran pembebanan lebih dalam saluran. Nilai OLL_i sama dengan 1 jika pembebanan saluran cabang kurang dari rating. OLL_i meningkat secara *alorithmik* (logaritma yang sebenarnya) dengan pembebanan dan dapat dihitung dari (Gerbex & Cherkaoui, 2001):

$$OLL_i = \begin{cases} 1; & \text{if } P_{ik} \leq P_{ik}^{\max}, \\ \exp\left(\Gamma_{OLL} \left|1 - \frac{P_{ik}}{P_{ik}^{\max}}\right|\right); & \text{if } P_{ik} \geq P_{ik}^{\max}, \end{cases} \quad (16)$$

dengan, P_{ik} merupakan aliran daya nyata antara bus i dan k dan batas termal untuk batas antara bus i dan k masing-masing adalah koefisien yang digunakan untuk menyesuaikan kemiringan fungsi eksponensial.

Pada BVV_k bagian kedua dalam (10) menyangkut level tegangan untuk setiap bus dari jaringan listrik. Nilai BVV_k didefinisikan sebagai (I. Made Wartana & Ni Putu Agustini, 2011):

$$BVV_k = \begin{cases} 1; & \text{if } 0.9 \leq V_b \leq 1.1 \\ \exp(\Gamma_{BVV} |1 - V_b|); & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

dengan, BVV_k adalah faktor pelanggaran tegangan bus di bus k dan merupakan koefisien yang digunakan untuk mengatur kemiringan fungsi eksponensial dalam persamaan di atas. Persamaan (15) menunjukkan bahwa besaran tegangan yang sesuai adalah mendekati 1 pu. Serupa dengan OLL_i , nilai BVV_k adalah sama dengan 1 jika tingkat tegangan jatuh antara batas tegangan minimal dan maksimal. Di luar jangkauan, BVV_k meningkat secara eksponensial sesuai variasi tegangan.

Minimisasi rugi-rugi daya aktif saluran transmisi

Fungsi tujuan ini adalah untuk meminimalkan kerugian daya aktif (P_{loss}) di jalur transmisi yang dapat dinyatakan sebagai (I. M. Wartana & N. P. Agustini, 2011):

$$F_2(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{n=1}^{N_l} g_n [V_i^2 + V_k^2 - 2V_i V_k \cos t(\delta_i - \delta_k)] \quad (18)$$

dengan, N_l adalah jumlah jalur transmisi; g_n adalah konduktansi dari n saluran; $V_i \angle \delta_i$ dan $V_k \angle \delta_k$ masing-masing adalah tegangan pada akhir bus- i dan k dari dari n saluran.

Kendala kesamaan

Kendala ini merupakan persamaan aliran daya khas sebagai berikut (Alsac & Stott, 1974):

$$P_{G_i} = P_{L_i} + V_i \sum_{k=1}^{N_b} V_k (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}); \quad 1 = 1, 2, 3, \dots, N_b \quad (19)$$

$$Q_{G_i} = Q_{L_i} + V_i \sum_{k=1}^{N_b} V_k (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik}); \quad 1 = 1, 2, 3, \dots, N_b \quad (20)$$

dengan, N_b adalah jumlah bus dalam sistem.

Kendala Ketidaksamaan

Kendala ketidaksamaan $h(x,u)$ adalah batas variabel control dan variabel keadaan. Daya nyata generator P_G , daya reaktif Q_G , tegangan V_i , dan sudut fase δ_i dibatasi oleh batas-batas sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} P_{G_i}^{\min} &\leq P_{G_i} \leq P_{G_i}^{\max} & i = 1, \dots, m \\ Q_{G_i}^{\min} &\leq Q_{G_i} \leq Q_{G_i}^{\max} & i = 1, \dots, m \\ V_i^{\min} &\leq V_i \leq V_i^{\max} & i = 1, \dots, N_b \\ -0.9 &\leq \delta_i \leq 0.9 & i = 1, \dots, N_b \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Kendala pembebanan transmisi P_{ik} direpresentasikan sebagai:

$$|P_{ik}| \leq P_{ik}^{\max}; \quad ik = 1, \dots, N_l \quad (22)$$

Pada λ_f load factor dibatasi oleh batas-batasnya sebagai:

$$1 \leq \lambda_f \leq \lambda_{f_l}^{\max} \quad (23)$$

Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO adalah teknik optimasi stokastik heuristik yang relatif baru dan diperkenalkan oleh Eberhart dan Kennedy (Kennedy & Eberhart, 1995). Hal ini didasarkan pada gerakan dan kecerdasan ribuan serangga atau ternak burung dan kelompok-kelompok sejenis. Dalam sistem PSO, kelompok ini adalah sebuah komunitas terdiri dari semua partikel terbang bergerak di dalam ruang multi dimensi. Sementara dalam penerbangannya, setiap partikel memodifikasi posisinya menurut pengalaman sendiri, serta pengalaman partikel tetangga, sampai menemukan sebuah titik relatif statis atau sampai melampaui batas-komputasi nya.

Setiap partikel dalam ruang pencarian didefinisikan dengan unsur-unsur berikut (Birge, 2003) dengan x_i^k : adalah nilai dari partikel i pada generasi k . Pembaruan partikel dalam ruang pencarian didefinisikan dengan (25); p_{best} adalah nilai terbaik ditemukan oleh partikel i sampai generasi k ; v_i^k adalah kecepatan partikel pada k generasi. Pembaruan kecepatan selama prosedur pencarian yang disajikan oleh (24); g_{best} adalah partikel terbaik yang ditemukan dalam kelompok sampai generasi k .

$$v_i^{k+1} = \omega \times v_i^k + v_i^{k+1} \quad (24)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^k + c_1 \times rand_1 \times (p_{best_i} - x_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (g_{best} - x_i^k) \quad (25)$$

dengan:

ω : fungsi bobot,

c_j : factor bobot,

$rand_i$: angka acak antara 0 and 1,

p_{best_i} : p_{best} dari partikel i ,

g_{best} : g_{best} dari group.

Fungsi bobot berikut biasanya digunakan:

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{iter_{\max}} \times iter \quad (26)$$

dengan:

ω_{\max} : bobot awal,

ω_{\min} : bobot akhir,

$iter_{\max}$: jumlah iterasi maksimal,

$iter$: jumlah iterasi sekarang.

Perhitungan fungsi fitness.

Metodologi penyelesaian masalah dilakukan penelitian ini dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Masalah optimasi pembebanan sistem dan meminimalkan rugi daya dirubah menjadi masalah optimasi tanpa kendala dengan menggunakan faktor penalti (FP) seperti yang diberikan dalam (25). Dengan demikian persamaan ini menjadi fungsi *fitness* dalam teknik PSO:

$$\text{Fungsi fitness} = \mu_1 F_1 - \mu_2 F_2 + FP \times |VL - 1| \quad (27)$$

Persamaan (27) terdiri dari tiga suku persamaan. Suku pertama adalah fungsi tujuan untuk memaksimalkan pembebanan sistem sebagaimana ditunjukkan persamaan (10), suku kedua merupakan fungsi tujuan kedua untuk meminimalkan rugi-rugi daya saluran transmisi seperti ditunjukkan persamaan (18). Sedangkan suku terakhir, merupakan kendala pelanggaran keamanan sistem sesuai persamaan (12) yang dikalikan dengan PF untuk menghitung fungsi *fitness* yang diberikan oleh (27) untuk setiap partikel. μ_i adalah koefisien pembobotan yang digunakan untuk menyesuaikan kemiringan PSO. Untuk setiap partikel, data-data saluran dan bus diperbarui sesuai kenaikan pembebanan sistem. Metode aliran daya NR dijalankan untuk mendapatkan tegangan pada setiap bus dan aliran daya saluran. Dengan hasil ini, nilai *VL* untuk setiap partikel diperoleh dengan menggunakan (12) dan fungsi *fitness* dari setiap partikel dihitung dengan menggunakan (27). Partikel yang memberikan nilai maksimum untuk fungsi *fitness* dalam populasi dianggap sebagai partikel g_{best} .

Kecepatan dan posisi baru setiap partikel dihitung masing-masing dengan menggunakan persamaan (25) dan (24). Prosedur ini diulang sampai jumlah maksimum iterasi tercapai sehingga nilai *VL* dan semua kendala stabilitas seperti yang ditunjukkan pada (8) dan (9) untuk partikel g_{best} diperiksa. Jika nilainya sama dengan 1, kemudian dengan menggunakan partikel g_{best} , nilai saat ini dari pembebanan sistem dapat dipenuhi tanpa terjadi pelanggaran pada aliran daya saluran, kendala batas tegangan bus dan semua kendala stabilitas dalam batas yang diijinkan. Partikel g_{best} disimpan bersama-sama dengan pembebanan sistem dan rugi-rugi daya saluran. Kemudian pembebanan sistem meningkat lagi ketika algoritma PSO dijalankan. Jika nilai *VL* untuk partikel g_{best} tidak sama dengan 1 maka partikel g_{best} tidak dapat memenuhi pembebanan sistem saat ini dan partikel g_{best} dengan *VL* = 1 yang diperoleh dalam langkah sebelumnya dianggap sebagai pengaturan optimal terbaik. Pembebanan sistem yang sesuai dengan partikel g_{best} dianggap sebagai pembebanan sistem maksimal.

Hasil dan Pembahasan

Data dan Metode Simulasi

Untuk menguji keberhasilan program dalam menyelesaikan masalah optimasi yang dikembangkan dalam penelitian ini, simulasi program telah dilakukan dengan menyelesaikan persoalan dua fungsi objektif secara simultan yaitu memaksimalkan pembebanan sistem (Max *PS*) sekaligus meminimalkan rugi-rugi daya aktif (Min P_{loss}) saluran transmisi. Hal ini dilakukan dengan penempatan optimal piranti kendali SVC untuk sistem uji standar IEEE 14-bus (Zimmerman, et al., 2011) baik pada kondisi *base case* (Kasus-1), maupun setelah interkoneksi pembangkit baru yang ditentukan besarnya yaitu 10, MVA, 13.8 Volt, ke dalam *grid* (Kasus-2). Piranti kendali SVC yang digunakan dalam pengujian sistem tersebut, dimodelkan menggunakan *toolbox* analisis sistem tenaga (PSAT) (Milano, 2005a). Parameter PSO untuk semua kasus ini disajikan dalam Tabel 1.

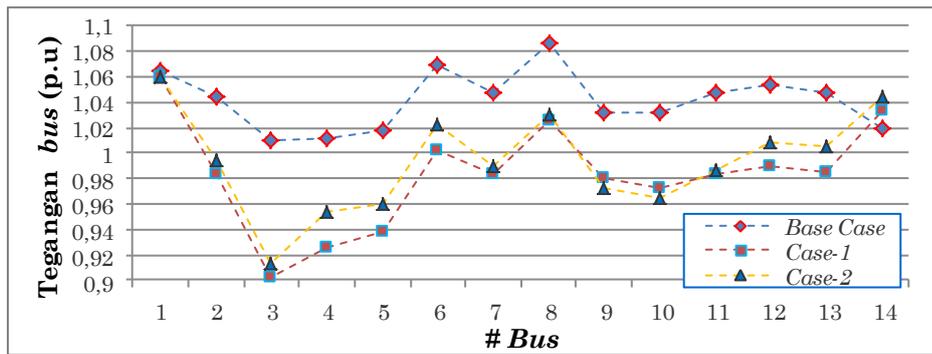
Tabel 1. Parameter PSO

c_1, c_2	ω_{max}	ω_{min}	Jumlah Iterasi	Jumlah Populasi
2.0	0.9	0.4	50	50

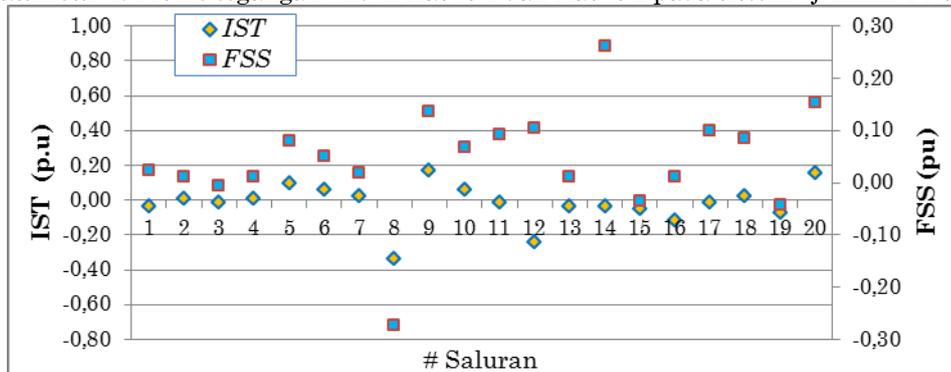
Dalam penelitian ini, beban dimodelkan sebagai beban PQ konstan dengan faktor daya konstan dan beban dinaikkan menggunakan program PSO sesuai persamaan (10) dan (11). Setiap penambahan beban yang terjadi dalam penelitian ini diasumsikan ditanggung oleh generator *slack*.

Lokasi dan pengaturan (*setting*) kendali SVC ditetapkan sebagai variable keputusan, sementara semua bus beban dari sistem uji IEEE 14-bus dipilih sebagai kandidat lokasi untuk penempatan SVC tersebut. Diagram saluran tunggal dari sistem uji IEEE 14-bus (Zimmerman, et al., 2011). Berdasarkan data tersebut IEEE 14-bus dicatu oleh 2 generator pada bus 1 dan 2, tiga buah kondenser sinkron terletak pada bus 3, 6 dan 8 dengan 20 saluran serta 11 bus beban.

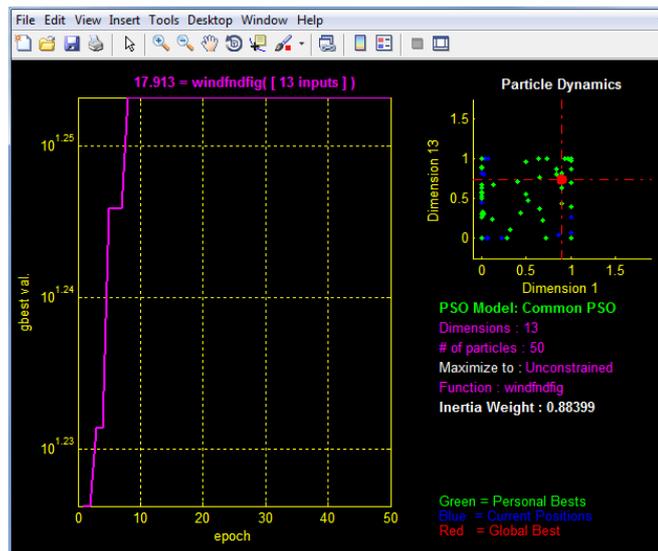
Dari hasil simulasi yang dilakukan pada kedua kasus tersebut, diperoleh bahwa lokasi penempatan dan *setting* optimal dari peralatan kendali SVC pada jaringan IEEE 14-bus untuk mendapatkan Max *SL* dan Min P_{loss} saluran transmisi ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Profile tegangan untuk Kasus-1 dan Kasus-2 pada sistem uji IEEE 14-bus



Gambar 5. Indeks IST dan faktor FSS untuk Kasus-2 pada sistem uji IEEE 14-bus



Gambar 6. Performance index evolution PSO untuk Kasus-2 pada sistem uji IEEE 14-bus

Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil menerapkan salah satu teknik optimasi evolusi canggih yaitu *Particle Swarm Optimisation* (PSO) yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi *multi-objective* yaitu: meningkatkan pembebanan sistem akibat interkoneksi pembangkit baru ke dalam *grid* dan sekaligus mereduksi rugi-rugi daya aktif saluran transmisi. Penyelesaian masalah optimasi yang melibatkan persoalan *bi-objective* secara simultan tersebut dilakukan dengan penempatan optimal salah satu tipe piranti kendali FACTS yaitu SVC pada lokasi terbaik dengan tetap menjamin keamanan dan stabilitas sistem yang dinyatakan sebagai indeks IST dan faktor FSS. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada sistem uji standar IEEE 14-bus menunjukkan bahwa pembebanan sistem dapat ditingkatkan secara

efisien mencapai 83,4 % dari kondisi *base case*, menggunakan teknik PSO dengan indeks unjuk kerja yang akurat dan cepat dalam mencapai konvergensinya.

Disamping itu, algoritma yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya mampu memecahkan persoalan optimasi *bi-objective*, tetapi juga memiliki fitur unggul yang mencakup solusi berkualitas tinggi, karakteristik konvergensi yang stabil dan efisiensi perhitungan yang baik. Dengan demikian teknik optimasi yang diusulkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk lebih dari dua objeive dan diterapkan pada sistem tenaga praktis untuk validasi dan mendukung keunggulan teknik yang diusulkan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada ITN-Malang yang telah membantu pendanaan penelitian ini melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat ITN-Malang

Daftar Pustaka

1. Alsac, O., & Stott, B. (1974). Optimal Load Flow with Steady-State Security. *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, PAS-93*(3), 745-751.
2. Birge, B. (2003, 24-26 April 2003). *PSOt - a particle swarm optimization toolbox for use with Matlab* Paper presented at the Proceedings of the 2003 IEEE, Swarm Intelligence Symposium SIS '03.
3. Cai, L. J., Erlich, I., & Stamtis, G. (2004, 10-13 Oct. 2004). *Optimal choice and allocation of FACTS devices in deregulated electricity market using genetic algorithms*. Paper presented at the IEEE PES Power Systems Conference and Exposition.
4. Cai, L. J., & Erlich, I., Stamtis, G. (2004, 10-13 Oct. 2004). *Optimal choice and allocation of FACTS devices in deregulated electricity market using genetic algorithms*. Paper presented at the Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES.
5. Gerbex, S., & Cherkaoui, R., Germond, A. J. (2001). Optimal location of multi-type FACTS devices in a power system by means of genetic algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 16*(3), 537-544.
6. Hingorani, N., & Gyugyi, L. (1999). *Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*.
7. Hingorani, N. G. (2000). *Role of FACTS in a deregulated market*. Paper presented at the Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE.
8. Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization* Paper presented at the Proceedings, IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, WA , Australia
9. Lu, Z., Li, M. S., Jiang, L., & Wu, Q. H. (2008, 20-24 July 2008). *Optimal allocation of FACTS devices with multiple objectives achieved by bacterial swarming algorithm*. Paper presented at the 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century
10. Lu, Z., & Li, M. S., Jiang, L., Wu, Q. H. (2008, 20-24 July 2008). *Optimal allocation of FACTS devices with multiple objectives achieved by bacterial swarming algorithm*. Paper presented at the Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE.
11. Mataram, I. M. (2010). Profil Sistem Kelistrikan Bali Pasca GI Pemecutan Kelod dan PLTU 780 MW Celukan Bawang Beroperasi *Teknologi Elektro, 9*, No. 1(1), 31-36.
12. Milano, F. (2005a). An Open Source Power System Analysis Toolbox. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 20*(3), 1199-1206.
13. Milano, F. (2005b). An Open Source Power System Analysis Toolbox. *Power Systems, IEEE Transactions on, 20*(3), 1199-1206.
14. Musirin, I., & Abdul Rahman, T. K. (2002, 2002). *Novel fast voltage stability index (FVSI) for voltage stability analysis in power transmission system*. Paper presented at the Student Conference on Research and Development, SCORED 2002.
15. Nagalakshmi, S., & Kamaraj, N. (2011, 28-30 Jan. 2011). *Loadability enhancement for pool model with FACTS devices in transmission system using Differential Evolution and Particle Swarm Optimization*. Paper presented at the Power Electronics (IICPE), 2010 India International Conference on.
16. Rashed, G. I., & Shaheen, H. I., Cheng, S. J. (2007, 24-27 Aug. 2007). *Optimal Location and Parameter Settings of Multiple TCSCs for Increasing Power System Loadability Based on GA and PSO Techniques*. Paper presented at the Third International Conference on Natural Computation, ICNC 2007.
17. Saravanan, M., Slochanal, S. M. R., Venkatesh, P., & Abraham, J. P. S. (2007). Application of particle swarm optimization technique for optimal location of FACTS devices considering cost of installation and system loadability. *Electric Power Systems Research, 77*(3-4), 276-283.
18. Shaheen, H. I., Rashed, G. I., & Cheng, S. J. (2007, 24-28 June 2007). *Optimal Location and Parameters Setting of Unified Power Flow Controller Based on Evolutionary Optimization Techniques*. Paper presented at the IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007.
19. Suganyadevia, M. V., & Babulal, C. K. (2009, 4-6 June 2009). *Estimating of loadability margin of a power system by comparing Voltage Stability Indices*. Paper presented at the 2009 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC 2009. .
20. Wartana, I. M., & Agustini, N. P. (2011, 17-19 July 2011). *Optimal placement of UPFC for maximizing system loadability and minimizing active power losses in system stability margins by NSGA-II*. Paper presented at the Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on.



-
21. Wartana, I. M., & Agustini, N. P. (2011). *Optimal Placement of UPFC for Maximizing System Loadability by Particle Swarm Optimization*. Paper presented at the Proceedings of The 12th International Conference on Quality in Research (QiR 2011), Bali-Indonesia. <http://qir.eng.ui.ac.id/>
 22. Zimmerman, R. D., Murillo, S., x, nchez, C. E., & Thomas, R. J. (2011). MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 26(1), 12-19.



SERTIFIKAT

Nomor : 01.013/II.SENATEK/2015

Diberikan Kepada :

Dr. Ir. Made Wartana, MT

Sebagai

Pemakalah

pada acara :

Seminar Nasional Teknologi 2015

“Peningkatan Daya Saing Teknologi Nasional Menyongsong MEA 2015”

Diselenggarakan Oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat

Institut Teknologi Nasional Malang

Bertempat di Kampus II ITN Malang, Tanggal 17 Januari 2015



Rektor,

Ir. Soeparno Djiwo, MT
NIP. Y. 101 8600 128

Ketua SENATEK,

Dr. Ir. Julianus Hutabarat, MSIE
NIP. Y. 101 8500 094