

PROSIDING SENASTITAN I

Seminar Nasional
Teknologi Industri Berkelanjutan I

Vol. 01, Maret 2021

"Inovasi Teknologi Industri
sebagai Solusi Kebangkitan Indonesia
di Era New Normal"

**Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya**

JL. ARIEF RACHMAN HAKIM 100
SURABAYA, INDONESIA

Website : senastitan.itats.ac.id

E-mail : senastitan@itats.ac.id



9 772775 563004

E-ISSN: 2775-5630

ITATS 
SENASTITAN

PROSIDING SENASTITAN I

Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan
“Inovasi Teknologi Industri sebagai Solusi Kebangkitan
Indonesia di Era New Normal”

Surabaya, 6 Maret 2021



**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI ADHI TAMA SURABAYA
2021**

PROFIL PENERBIT

Nama Penerbit:

Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Redaksi:

Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Jl. Arief Rachman Hakim No. 100, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Telp/Fax: 0315945043/ 0315997244

Email: fti@itats.ac.id, senastitan@itats.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang – Undang

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

**SUSUNAN PANITIA PELAKSANA
SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INDUSTRI BERKELANJUTAN I**

Penanggung Jawab	: Dr. Lukmandono, S.T., M.T.
Ketua Pelaksana	: Ahmad Anas Arifin, S.T., M.Sc.
Sekretaris	: Hastawati Chrisna Suroso, S.T., M.Sc.
Bendahara	: Dian Yanuarita P., S.T., M.T.
Sie. Acara	: Hasan Syafik Maulana, S.T., M.Sc.
Sie. Editorial	: Anindya Rachma Dwicahyani, S.T., M.T. Erlinda Ningsih, S.T., M.T. Zain Lillahulhaq, S.T., M.T. Naili Saidatin, S.Si., M.Sc. Afira Ainur Rosidah, S.T., M.S. Frizka Vietanti, S.T., M.T., M.Sc.
Sie. IT	: Anwar Sodik, S.Kom., M.T.
Sie. Publikasi & Dokumentasi	: Iftika Philo Wardani, S.T., M.T.

SUSUNAN *REVIEWER*
SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INDUSTRI BERKELANJUTAN I

Syamsuri, S.T., M.T., Ph.D.

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Dr. Lukmandono, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Dr. Rony Prabowo, S.E., S.T., M.T., M.S.M.

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Dr. Agus Budianto, M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Dr. Yustia Wulandari Mirzayanti, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Dr.Eng. Rizal Mahmud, S.Pd., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Evi Yulawati, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Desmas Arifianto, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Vuri Ayu Setyowati, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Wakhid Ahmad Jauhari, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret

Benazir Imam Arif Muttaqin, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Telkom Surabaya

Amanda Sofiana, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Industri, Universitas Jenderal Soedirman

UCAPAN TERIMA KASIH

KEPADA

**Pembina dan Pengurus
Yayasan Pendidikan Teknik Surabaya (YPTS)**

Syamsuri, S.T., M.T., Ph.D

Rektor – Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Prima Kharisma I. Y, S.Si., M.Sc.

Ph.D Candidate Cranfield University UK,
Manager of Ammunition Product and Process
Development PT. Pindad

Dr. Eng. Rizal Mahmud, S.Pd., M.T.

Pakar Rekayasa Konversi Energi dan Motor
Pembakaran,
Ketua Jurusan Teknik Mesin ITATS

Dr. Rony Prabowo, S.E., S.T., M.S.M., M.T.

Pakar Simulasi Sistem Industri dan Six Sigma,
Ketua Jurusan Teknik Industri ITATS

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA
PIHAK SPONSOR YANG TELAH
MENDUKUNG ACARA SENASTITAN I



Faisal Rahman, M.T.

Rahman Soesilo, S.Kom., M.T.

Suharto, S.T., M.T.

Ruli Putri Ardyani, S.T.

SAMBUTAN KETUA SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INDUSTRI BERKELANJUTAN I

Segala puji syukur senantiasa kita panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan berkah kepada kita semua sehingga hari ini kita dapat mengikuti acara **SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INDUSTRI BERKELANJUTAN KE-1 (SENASTITAN I)**. Kami mengucapkan selamat datang kepada peserta seminar dimana kita memiliki kesempatan untuk berbagi informasi tentang penemuan, inovasi, dan strategi dalam menciptakan dan memenuhi pengembangan dunia Teknologi Industri.

Tema yang kita angkat hari ini yaitu **“Inovasi Teknologi Industri sebagai Solusi Kebangkitan Indonesia di Era *New Normal*”**. Berkaitan dengan tema tersebut, kami mewakili panitia mengucapkan terimakasih kepada narasumber yang ahli dalam bidangnya sebagai pemakalah utama atas kesediaan waktu yang diberikan. Kami mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prima Kharisma I. Y, S.Si., M.Sc. yang merupakan Ph.D Candidate Cranfield University, UK dan juga sebagai *Manager of Ammunition Product and Process Development* di PT. Pindad,
2. Dr. Eng. Rizal Mahmud, S.Pd., M.T. yang merupakan Pakar Rekayasa Konversi Energi dan Motor Pembakaran dan juga selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin ITATS, dan
3. Dr. Rony Prabowo, S.E., S.T., M.S.M., M.T. yang merupakan Pakar Simulasi Sistem Industri dan *Six Sigma* dan juga selaku Ketua Jurusan Teknik Industri ITATS.

Seminar ini juga dapat terselenggara berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu kami juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. H. Rudy Setia Wibisono, S. H., selaku Pembina YPTS,
2. Ir. H. Abdul Zikri, M. M., selaku Ketua Pengurus YPTS,
3. Drs. Puspo Sasongko, B. E., M.B.A., selaku Sekretaris YPTS,
4. Syamsuri, S.T., M.T., Ph.D. selaku Rektor ITATS,
5. Dr. Agus Budianto, S.T., M.T. selaku Ketua LPPM ITATS,
6. Dr. Lukmandono, S.T., M.T., selaku Dekan FTI ITATS, dan
7. Pihak – pihak *sponsorship* yang membantu acara seminar ini.

SENASTITAN merupakan seminar tingkat nasional yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknologi Industri ITATS setiap tahunnya. Seminar ini telah menjadi

kebutuhan para akademisi dan praktisi untuk menyebarluaskan hasil kerja keras dalam bidang Teknologi Industri. Seminar ini merupakan artikel berbahasa Indonesia yang akan masuk ke dalam prosiding tahunan SENASTITAN yang dikelola oleh FTI ITATS.

Kami mewakili panitia acara SENASTITAN I mengucapkan permohonan maaf apabila selama acara berlangsung terdapat kekurangan yang tidak disengaja. Akhir kata semoga seminar ini mendapatkan manfaat yang besar sehingga mampu mewujudkan atmosfer dan budaya riset yang inovatif, berkelanjutan, dan berkualitas sesuai dengan pengembangan Teknologi Industri.

Surabaya, 6 Maret 2021
Ketua Panitia SENASTITAN I
Ahmad Anas Arifin, S.T., M.Sc.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PROFIL PENERBIT	ii
SUSUNAN PANITIA PELAKSANA	iii
SUSUNAN <i>REVIEWER</i>	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
SAMBUTAN KETUA	vii
DAFTAR ISI	ix
INDEKS ARTIKEL PROSIDING	1
ID 101 Perbaikan Kualitas Produk Hasil Pengelasan di PT. XYZ dengan Metode <i>Six Sigma</i> dan <i>Seven Tools</i> <i>Agin Viakri Dagmar</i>	1
ID 103 Integrasi Metode Servqual, KANO, dan QFD untuk Meningkatkan Kualitas Layanan (Studi Kasus : Fakultas Teknik UG) <i>Ibrahim Aji dan Lukmandono</i>	8
ID 104 <i>Monitoring</i> Perubahan Tegangan dan Pemodelan Matematika Fungsi Transfer Motor BLDC dengan <i>System Identification Toolbox</i> <i>Izza Anshory, Dwi Hadidjaja, dan Indah Sulistyowati</i>	18
ID 105 Analisa dan Perbaikan Waktu <i>Set-up</i> Pergantian Cetakan dengan Metode <i>Single-Minutes Exchange of Dies</i> (SMED) <i>Edi Purnomo, Anindya Dwicahyani, dan Zain Lillabulhaq</i>	26
ID 106 Pengaruh Kualitas Produk, Kualitas Layanan dan Harga terhadap Kepuasan dan Loyalitas Konsumen Produk Anita <i>Family Bakery</i> Sumenep <i>Agung Firdausi Absan dan Lukmandono</i>	35
ID 107 Pengendalian Kualitas Produk <i>Handle SS Belly Shape</i> dengan Menggunakan Metode <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) dan <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) di CV. XYZ <i>Suparjo dan Mochamad Bagus Setiyawan</i>	43
ID 109 Implementasi SMED untuk Perbaikan Waktu <i>Changeover</i> Mesin <i>Shrink</i> dan Pengurangan Waktu Proses Produksi Menggunakan Metode MOST <i>Andi Dwi Wahyu Wibowo dan Lukmandono</i>	52
ID 110 Implementasi <i>Six Sigma</i> Sebagai Pengendalian Kualitas Proses Pengelasan Replating Lambung Kapal KMP. Nusa Sejahtera <i>Askabul Mas'amah dan Subartini</i>	61
ID 111 Usulan Rancangan Tata Letak Fasilitas Proses Replating Kapal dengan Menggunakan Metode ARC dan ARD (Studi Kasus di PT. Galangan Peln	

	Surya) <i>Andy Dwiky Alamsyah dan Subartini</i>	65
ID 113	Integrasi Metode OMAX dan HEART Untuk Meningkatkan Produktivitas <i>Suliswanto dan Rony Prabowo</i>	71
ID 114	Analisa Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> di SBU galangan Pelni Surya <i>Ratna Murtisari Dewi dan Subartini</i>	76
ID 116	Implementasi FMEA dan FTA terhadap Kualitas Produksi dengan Mempertimbangkan <i>New Seven Tools</i> <i>Irvanto Hadi Husada, Rina Isti'adzah Noor Utami, dan Kurnia Rahmawati</i>	82
ID 117	Pengaruh <i>Quality of Work Life</i> dan <i>Burnout</i> terhadap Kinerja Karyawan Melalui Kepuasan Kerja sebagai Variabel Moderasi (Studi Kasus: CV. XYZ) <i>Muhammad Abdul Hafizh dan Ni Lub Putu Hariastuti</i>	89
ID 119	Analisis Pengendalian Kualitas Produk <i>Roll Plastik</i> dengan Metode <i>Seven Tools</i> Guna Mengurangi Kecacatan di PT.Samudra Gemilang Plastindo, <i>Abdur Rahman, Andre Valiant Wirawan, Moch. Babril Ilmi Daviq Rofi'i, dan Thifali Dhiwangkara</i>	99
ID 120	Integrasi Pendekatan <i>Markov Chain</i> untuk Menyusun RKAT (Rencana Kegiatan dan Anggaran Tahunan) yang Efisien <i>Rizky Stighfarrinata dan Rony Prabowo</i>	105
ID 121	Desain <i>House of Risk</i> dan <i>Competitive Matrix</i> dengan Mempertimbangkan <i>Life Cycle Assessment</i> dan <i>Sustainability</i> <i>Dwi Arisandi dan Minto Basuki</i>	112
ID 122	Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan sebagai Katalis pada Proses Transesterifikasi <i>Palm Fatty Acid Distillate</i> Menjadi Biodiesel <i>Syabrizal Christian, Dicky Agustian Aditya Wardana, dan Nyoman Puspa Asri</i> ..	120
ID 123	Analisis Perbandingan Biaya Operasional antara Kendaraan Listrik, Bensin dan Diesel <i>Desmas Arifianto Patriawan, Janu Hadi Putra, Bambang Setyono</i>	128
ID 201	Analisis Kecelakaan Kerja Dengan Menggunakan Metode Risk Priority Number, Diagram Pareto, Fishbone, dan Five Why's Analysis <i>Qonita Aulia Robani dan Subartini</i>	136
ID 203	Peningkatan Kualitas Produk Gamis Anak di PT KKI dengan Metode <i>Quality Function Deployment</i> dan <i>Six Sigma</i> <i>Pangki Suseno dan Indung Sudarso</i>	144
ID 205	Mitigasi Risiko Keterlambatan Material dan Komponen Impor menggunakan <i>House of Risk (HOR)</i> Pada Proyek Pembangunan Tug Boat	

	2x1200 HP	
	<i>Oka Hildawan Mahendra dan Minto Basuki</i>	151
ID 206	Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas (Re-Layout) Pada Produksi Kerupuk di UD SEKAR	
	<i>Aulia Tri Wijayanti, Tyas Septia Nova, dan Hastawati Chrisna Suroso</i>	159
ID 207	Analisis SWOT dan QSPM untuk Meningkatkan Kinerja Sumber Daya Manusia pada Industri Tungku Kompor di PT Elang Jagad	
	<i>Musbthofa Zubad Siroj dan Lukmandono</i>	170
ID 208	Pengolahan Sampah Plastik Kemasan Minyak Goreng dan Tutup Botol Menjadi Karbon Aktif	
	<i>Kartika Udyani, Erlinda Ningsih, dan Ambarwati Syahdiana Umar</i>	176
ID 209	Karakteristik Distribusi Aliran <i>Compact Parallel Flow Heat Exchanger</i> Tipe-Z dengan Variasi Modifikasi <i>Inlet Header</i>	
	<i>Siti Duratun Nasiqiati Rosady</i>	187
ID 210	Kualitas Produksi pada Proses Pembulatan Herbal <i>Facemask</i> dengan Pemanfaatan Tenaga Manusia vs Teknologi	
	<i>Hasan Syafik Maulana, Hery Irawan, Desmas Arifianto Patriawan, Ahmad Anas Arifin, Korrie Febrian, dan Moch. Kiki Febrian</i>	196
ID 211	Analisa Produktivitas dengan Metode American Productivity Center (APC) dan Marvin E Mundel (Studi Kasus: UD Sido Lancar)	
	<i>Muhamad Rafi Maulana dan Lukmandono</i>	202
ID 212	Analisa Model Beban Kerja dengan Metode NASA-TLX di BNI <i>Contact Center</i> Surabaya	
	<i>Doni Kurniawan dan Zeplin Jiwa Husada Tarigan</i>	208
ID 213	Studi Pengaruh Jenis Minyak Nabati terhadap Campuran Bioresin Vinil Ester-Minyak Nabati	
	<i>Eli Novita Sari, Ahmad Ilham Ramadhani, dan Jaubarotul Makenunah</i>	215
ID 214	Efektifitas Konsentrasi Pelarut Etanol pada Proses Ekstraksi Moringa Olifera Menggunakan Metode <i>Microwave Assisted Extraction</i> (MAE)	
	<i>Hega Rahman Hakim, Nur Anisa Rosalina, dan Yustia Wulandari Mirzayanti</i> ...223	
ID 215	Implementasi <i>Lean Six Sigma</i> dalam Meningkatkan Kualitas pada Proses Produksi CWSS (Study Kasus PT XYZ)	
	<i>Rahmad Abadi dan Indung Sudarso</i>	228
ID 216	Perancangan Sistem MPPT Turbin Angin Berbasis Fuzzy	
	<i>Jaubarotul Makenunah, Eli Novita Sari, dan Taufik Bagus Afandi</i>	237
ID 218	Perhitungan Biaya Manufaktur Alat Pembulat Adonan Kosmetik Dengan Sistem Putaran Eksentrik Skala Usaha Kecil Menengah	

	<i>Hery Irawan, Ahmad Anas Arifin, Desmas Arifianto Patriawan, Hasan Syafik Maulana, dan Bambang Setyono</i>	243
ID 220	Pengendalian Kualitas Menggunakan Pendekatan <i>Six Sigma</i> sebagai Upaya Perbaikan Produk <i>Defect</i> <i>Novan dan Subartini</i>	249
ID 221	Analisis Proses Manufaktur Mesin Selep Padi <i>Portable</i> Berpenggerak Motor Listrik DC 0.5 HP Energi Surya <i>Aloysius Doni Bramantyo, Miftahul Ulum, Ahmad Anas Arifin, dan Hery Irawan</i> 256	
ID 222	Pengaruh Jumlah Layer dan Orientasi Sudut Filler Karbon pada <i>Polymer Matrix Composite</i> terhadap Kekuatan Tarik dan <i>Impact</i> <i>R. Achmad Supriyadi, Vuri Ayu Setyowati, dan Afira Ainur Rosidah</i>	264
ID 223	Simulasi Numerik pada <i>Backward-Facing Step Flow</i> dengan Menggunakan <i>Near Wall Treatment Methods</i> dan Model <i>Viscous k-ε</i> <i>Iis Rohmawati, Rizal Mahmud, Adzkira Miyuki Al Khanza, dan Eiliya Akira Al Khanza</i>	272
ID 224	Variasi Jumlah Layer <i>Coremat E-Glass</i> dengan Metode <i>Hand Lay Up</i> dan <i>Vacuum Infusion</i> terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan <i>Impact</i> <i>Muchammad Ismail Zakariyah</i>	278
ID 225	Pengaruh Variasi Matriks dan Orientasi Sudut Filler Karbon pada <i>Polymer Matrix Composite</i> terhadap Kekuatan Tarik dan <i>Impact</i> <i>M Habib Maulana dan Vuri Ayu Setyowati</i>	285
ID 226	Analisis Produktivitas Menggunakan Metode Objective Matrix (OMAX) dan <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) di PT Elang Jagad <i>Hakiki Bagus Sajjwo dan Ni Lub Putu Hariastuti</i>	292
ID 227	Pengaruh Metode Pembuatan Komposit dan Variasi Serat Buatan terhadap Kekuatan <i>Impact</i> dan Tarik <i>Indra Kurniawan dan Vuri Ayu Setyowati</i>	301
ID 229	Implementasi <i>Line Balancing</i> pada Proses Produksi Baju Taqwa di UD Sofi Garment <i>Muhammad Ridwan Basalamah, Hastari Nurazhbra Azizah, Ulfiyatul Kholifah, dan Hastawati Chrisna</i>	307
ID 230	Pengaruh Variasi Diameter Turbin <i>Turbocharger Type</i> IHI RHB 31 terhadap Performa <i>Spark Ignition Engine</i> 200 cc <i>Anugrah Fardhan Rasyidi, Moch Syaiful Huda, Afrizal Amir, Zain Lillabulbaq, Rizal Mahmud, dan Yustia Wulandari Mirzayanti</i>	313
ID 231	Perancangan dan Analisis Sistem Pneumatik pada Kendaraan Hibrid Penggerak Motor Listrik dan Udara Bertekanan Bed-18 Bayu Petir	

	<i>Bambang Setyono, Firman Prastya Nugroho, Desmas Arifianto Patriawan, Hery Irawan, Ahmad Anas Arifin, dan Hasan Syafik Maulana.....</i>	319
ID 232	Pengendalian Kualitas Produk Box Plastik dengan Metode SPC di PT Rumble Plastics – Sidoarjo <i>Gatot Basuki Hari Mukti</i>	327
ID 233	Analisa Kepuasan Pelanggan dan Pengembangan Desain Proses Pelayanan pada Swalayan Pondok Pesantren Hidayatullah Surabaya <i>Moch. Kalam Mollab dan Rony Prabowo.....</i>	337
ID 234	Analisa Pengendalian Kualitas untuk Megurangi Jumlah Cacat pada Kemasan Produk Gula Pasir PG Kremboong dengan Metode <i>Seven Tools</i> <i>Yoniv Erdbianto.....</i>	347
ID 236	Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Diameter Sudu Kompresor <i>Turbocharger</i> pada Daya dan Torsi CB150R <i>Moch Syaiful Huda, Anugrah Fardhan Rasyidi, Afriзал Amir, Zain Lillabulhaq, Naili Saidatin, dan Dian Yanuarita Purwaningsih</i>	358
ID 237	Pengaruh Variasi Ukuran Pipa terhadap <i>Headloss</i> pada Instalasi Perpipaan di Desa Sumbermanggis <i>Yohanes Charles Narding, Dwi Kusuma, Naili Saidatin, dan Zain Lillabulhaq.....</i>	365
ID 238	Pengolahan Limbah Cair Tekstil dengan Menggunakan Koagulan $FeCl_3$ <i>Lutviana Nur Ayni dan Erlinda Ningsih</i>	370
ID 239	Pengaruh Doping Nitrogen pada Matriks <i>Reduced Graphene Oxide</i> terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor <i>Frizka Vietanti, Naili Saidatin, dan Shella Arinda.....</i>	378
ID 240	Perencanaan Persediaan Bahan Baku Menggunakan Metode <i>Material Requirement Planning</i> di PT XYZ <i>Charismanda Adilla T dan Lukmandono</i>	386
ID 241	Analisa Karakteristik Biomasa untuk Cofiring pada Pembangkit Batubara di Indonesia <i>Zainal Maskur dan Ardi Nugroho.....</i>	394
ID 243	Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Tuang terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Pengecoran Paduan Al – Si <i>Subeni, Afira Ainur Rosidah, Hasanuddin, dan Danail Firmansyah.....</i>	402
ID 244	Analisis Pengaruh Diameter Elektroda dan Kecepatan Las terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Makro pada Baja AISI 1050 dengan Proses Pengelasan TIG <i>Afira Ainur Rosidah , Subeni, dan Erwanda Wisnu Anarki</i>	408

ID 245	Studi Eksperimental Pengaruh Radius Lintasan dan Massa Bola terhadap Respon Getaran Model Bangunan Berperedam Bola <i>Naim Irfani, Ardi Noerpamoengkas, dan Ilham Bagus D.C.</i>	415
ID 246	Pengendalian Kualitas Produk Alumunium Menggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus di PT XYZ Surabaya) <i>Dhedy Yuswandi dan Anindya Rachma Dwicahyani</i>	421
ID 248	Peningkatan Kualitas Produk Velg pada Proses Produksi Di PT PASU dengan Pendekatan Taguchi <i>Sigit Pratama dan Indung Sudarso</i>	430
ID 249	Analisa Efektifitas Penerapan <i>Knowledge Management</i> dan Kepemimpinan terhadap Keunggulan Daya Saing dengan Preferensi Konsumen dan Pemerintah sebagai <i>Intervening</i> (Studi Kasus: IKM Jawa Timur) <i>Farahlia Rachmi dan Rony Prabowo</i>	439
ID 250	Perancangan dan Analisa Sistem Perpipaian Pompa Sertifugal P.100/15 pada Unit Kilang Cepu <i>Indra Adi Gunawan, M arif, Donny Albari, Zain Lillabulbaq, Syamsuri, dan Anindya Rachma Dwicahyani</i>	449
ID 251	Analisis Strategi Bersaing Air Mineral dengan Menggunakan Metode Rantai Markov <i>Iis Riyana dan Lukmandono</i>	456
ID 252	Pra Perancangan Pabrik Diamonium Fosfat dengan Proses <i>Tennessee Valley Authority</i> (TVA) <i>Erlinda Ningsih, Kartika Udyani, Agustin Maharani, dan Dwi Setiawan</i>	465
ID 253	Analisa Peningkatan dan Perbaikan Produktivitas dengan Menggunakan Metode <i>Objective Matrix</i> (OMAX) di CV Agung Impian <i>Muchammad Aldiansyah dan Suparto</i>	471
ID 254	Pirolisis Sampah Ban Sepeda Motor dengan Katalis γ - Alumina Menjadi Fuel <i>Agus Budianto, Erlinda Ningsih, Bagus Dwi Susanto, Achmad Maulidan Syabrie, Abubakar Tubuloula, dan Esthi Kusdarini</i>	476
ID 255	Analisis Produktivitas Marvin E Mundel dan Aplikasi <i>Lean Manufacturing</i> (Studi Kasus PT Abadi Water - Pandaan) <i>Rony Prabowo</i>	485
ID 256	Penerapan <i>Quality Control Circle</i> dalam Memperbaiki Kualitas pada Proses Pengelasan Box Karoseri di PT X <i>Rusman dan Rony Prabowo</i>	495
ID 257	Pengaruh Laju Aliran Air pada Pengujian Jomini terhadap Sifat Mampu Keras dan Struktur Mikro Baja AISI 1045	

Ifrika Philo Wardani, Hery Iraman, Vuri Ayu Setyowati, dan Saiful Fuadi Firdaus
501

ID 258 Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam sebagai Biosorben untuk Penurunan
COD pada Limbah Cair Pabrik Batik

*Dian Yanuarita Purwaningsih, Indah Arista Wulandari, dan Alif Wahyu Aditya.*507

ID 259 Pengukuran *Employee Satisfaction* untuk Meningkatkan *Servant Leadership*
dengan Metode *Customer Satisfaction Index* dan *Importance Performance Analysis*
(Studi Kasus PT ABC)

Dyah Kartika Sitoesmi dan Indung Sudarso.....515

Monitoring Perubahan Tegangan dan Pemodelan Matematika Fungsi Transfer Motor BLDC Dengan System Identification Toolbox

Izza Anshory¹, Dwi Hadidjaja², Indah Sulistiyowati³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Saintek, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
e-mail: izzaanshory@umsida.ac.id

ABSTRACT

Speed control of Brushless Direct Current (BLDC) motor in electric bicycles has an essential role in increasing energy use efficiency. This research aims to optimize the BLDC motor speed control on electric bikes so that the transient response increases. The method used in this research has several stages; the first is to identify the system through monitoring and recording input and output data. The second stage is to carry out mathematical modeling based on input data and output measurement results. The third stage is to optimize the speed control by tuning the Proportional Integral Derivative (PID) controller parameters. An indicator of successful optimization increased transient responses such as reduced overshoot values, fast rise-time values, and no steady-state error. The results showed that the system hardware could monitor and record data such as voltage, current, and speed changes. There has been an increase in the transient response value after being optimized using a PID controller, namely the rise time value of 0.182 seconds, the settling time of 2.33 seconds, and the overshoot value of 0%.

Keywords: BLDC motor, electric bike, PID controller, optimization

ABSTRAK

Pengaturan kecepatan motor *Brushless Direct Current* (BLDC) di kendaraan sepeda listrik memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan optimisasi kontrol kecepatan motor BLDC di sepeda listrik sehingga respon transien semakin meningkat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ada beberapa tahap, yang pertama melakukan identifikasi sistem melalui *monitoring* dan perekaman data *input* dan *output*. Tahap kedua adalah melakukan pemodelan matematika berdasarkan data *input* dan *output* hasil pengukuran. Dan tahap ketiga adalah melakukan optimisasi kontrol kecepatan melalui penalaan parameter kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID). Indikator keberhasilan optimisasi adalah terjadinya peningkatan respon transien seperti berkurangnya nilai *overshoot*, nilai *rise-time* yang cepat, dan tidak memiliki error steady-state. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *hardware* sistem mampu melakukan *monitoring* dan perekaman data seperti perubahan tegangan, arus dan kecepatan. Selain itu telah terjadi peningkatan nilai respon transien setelah dioptimisasi dengan menggunakan kontroler PID, yaitu nilai *rise time* sebesar 0.182 *seconds*, settling time sebesar 2.33 *seconds*, dan nilai *overshoot* 0 %.

Kata kunci: motor BLDC, sepeda listrik, kontrol PID, optimisasi

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah pemakaian kendaraan berbahan bakar fosil yang berlebihan di kota-kota besar yang membengkak tiada henti, karena masyarakat secara tidak masuk akal membeli skuter, sepeda motor dan mobil sehingga menyebabkan pencemaran udara[1]. Hal inilah yang merupakan alasan utama dilakukan identifikasi kebutuhan untuk menemukan dan memodifikasi kendaraan listrik. Ada beberapa jenis kendaraan listrik yang saat ini banyak dikembangkan dan dilombakan seperti mobil listrik. Sayangnya mobil listrik cenderung mahal, terutama karena biaya perakitan aki. Mobil listrik memiliki empat tempat duduk yang digunakan untuk mengangkut satu orang juga boros energi, meski mungkin lebih sedikit dibandingkan dengan kendaraan bermesin bensin. Mobil listrik membutuhkan tempat parkir seperti halnya kendaraan yang ada, dan dengan demikian tidak akan menyelesaikan masalah parkir kampus[2]. Kendaraan ini juga mahal dalam hal asuransi (terutama untuk pengemudi yang lebih muda), memerlukan pembayaran pajak jalan raya (atau yang setara di berbagai negara), dan biasanya mengharuskan pengemudi untuk memiliki

surat izin yang masih berlaku. Sebaliknya, sepeda tidak memerlukan asuransi, tidak menarik pajak jalan raya, dan biasanya tidak memerlukan izin berkendara di sebagian besar negara.

Oleh karena itu sebagai solusi terbaik dan ekonomis adalah kendaraan sepeda listrik, yang merupakan pendukung kemajuan lingkungan dan alternatif yang terjangkau secara ekonomis akan menjadi solusi terbaik. Bagian umum dari Sepeda Listrik adalah *Brushless DC Motor* (Hub Motor), *Throttle (Accelerator)*, *Battery Storage (12 V)*, *Chain Drive*, *Frame* dan suku cadang sepeda umum lainnya[3]. Sepeda listrik ada dua bagian sesuai dengan fungsinya dan cara kerjanya: *Power on Demand* dan *Pedal Assist*. Motor diaktifkan oleh *Throttle* dengan *power-on-demand*, biasanya dipasang di stang serta pada skuter atau sepeda motor umum[3]. Dengan mengayuh motor listrik dapat dikontrol dengan pedal-assist.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah alat *prototype* kontrol *monitoring* perubahan tegangan di sepeda listrik, karena perubahan *Throttle* untuk dilakukan pemodelan matematika dan optimisasi kontrol kecepatannya menggunakan kontroler *Proportional Integral Derivative (PID)*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertama membuat desain *hardware prototype* kontrol kecepatan motor *Brushless Direct Current (BLDC)*, kedua melakukan identifikasi sistem untuk mendapatkan data *input* dan *output*, dan yang ketiga melakukan optimisasi dengan menggunakan kontrol *PID*.

Penelitian yang berkaitan dengan sepeda listrik telah banyak dilakukan oleh para peneliti, diantaranya tentang bagian-bagian apa saja yang menyusun kendaraan sepeda listrik, pemodelan matematika motor BLDC sebagai penggerak sepeda listrik, sepeda listrik yang bertenaga hibrida dengan melibatkan tiga cara berbeda untuk mengisi baterai seperti tenaga surya, dinamo, dan pengisian daya dinding AC 220V[4]. Daya dari ketiga mode ini digunakan untuk mengisi daya motor *Permanent Magnetic Motor Direct Current (PMDC)* yang menjalankan sepeda. Sepeda bertenaga *hybrid* dirancang sedemikian rupa sehingga pengendara dapat memiliki mode pengoperasian sepeda yaitu ia dapat memilih sepeda yang akan dikendarai sepenuhnya dengan motor listrik PMDC atau dapat digerakkan secara manual oleh dirinya sendiri. Identifikasi sistem motor BLDC dengan menggunakan metode fungsi transfer.

Pada penelitian ini membahas tentang perancangan *prototype monitoring* perubahan tegangan sepeda listrik yang terhubung dengan *personal computer (PC)* untuk optimisasi kontrol kecepatan motor BLDC.

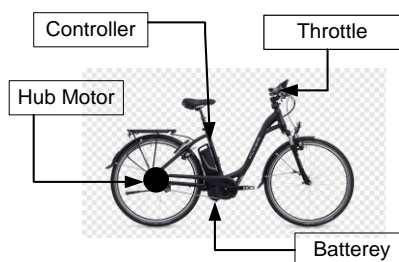
TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka tentang pembuatan *prototype* kendaraan sepeda listrik ini akan dibahas beberapa hal, diantaranya adalah bagian-bagian sepeda listrik, motor BLDC, identifikasi sistem, dan kontroler PID.

Sepeda Listrik

Sepeda listrik semakin mendapat perhatian di seluruh dunia, terutama di China, Eropa, Jepang, Taiwan, Amerika Serikat, dan Indonesia. Secara umum bagian-bagian dari sepeda listrik adalah motor *Brushless DC (hub motor)*, *Throttle (Accelerator)*, *battery storage (12 V)*, *Chain Drive, frame* dan suku cadang sepeda umum lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dijelaskan bahwasanya penulis membahas tentang komponen penting dan eksperimen dari sepeda listrik, yaitu *alternator/throttle*, *hub motor* (motor BLDC), kontroler, dan baterai. Pertama, *alternator* yang merupakan perangkat elektromekanis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Komponen utama yang kedua yaitu, ada banyak jenis yang telah diuji hingga saat ini tetapi yang populer antara lain baterai NiMH, Ni, atau Lithium-ion[5]. Kapasitas baterai berbeda-beda pada sepeda. Secara umum energi penyimpanan sebagian besar mencapai sekitar 400 Watt. Kualitas baterai diukur dengan berapa banyak siklus yang dapat mereka isi, dan berapa persentase yang masih berfungsi setelah durasi durasi tetap, yang diukur dengan membandingkan dengan kapasitas asli pada waktu pembuatan.



Gambar 1. Bagian-bagian sepeda listrik

Komponen ketiga adalah kontroler yaitu suatu komponen yang berfungsi mengatur tegangan keluaran dari sumber tegangan DC. sebelum disuplai ke baterai. Rangkaian kontroler merupakan rangkaian konverter tegangan DC menjadi sumber tegangan AC [6].

Motor BLDC

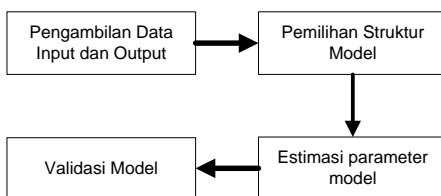
Motor *Brushless* DC (BLDC) adalah motor sinkron yang terdiri dari lilitan jangkar pada stator permanen dan magnet pada rotor. Stator motor BLDC terdiri dari laminasi baja bertumpuk dengan lilitan ditempatkan di slot dan belitan stator ini dapat diatur dalam dua pola yaitu pola bintang atau pola delta [7]. Perbedaan utama antara kedua pola tersebut adalah bahwa pola bintang memberikan torsi tinggi pada RPM rendah dan pola delta memberikan torsi rendah pada RPM rendah[8]. Ada banyak keunggulan motor BLDC seperti karakteristik kecepatan versus torsi yang lebih baik, respons dinamis tinggi, efisiensi tinggi, masa pengoperasian yang lama, pengoperasian tanpa suara, rentang kecepatan yang lebih tinggi [9].

Biasanya, motor BLDC memiliki belitan tiga fasa yang digulung dalam bentuk bintang atau delta dan membutuhkan jembatan inverter tiga fasa untuk pergantian elektronik. Motor *Brushless* umumnya dikontrol menggunakan jembatan semikonduktor daya tiga fase. Motor memerlukan sensor posisi rotor untuk memulai dan menyediakan urutan pergantian yang tepat untuk menghidupkan perangkat daya di jembatan *inverter* [10].

Identifikasi Sistem

Terdapat beberapa teknik untuk memperoleh model sistem motor BLDC melalui eksperimen. Salah satunya dengan mengamati data masukan dan keluaran dari motor BLDC tersebut. Untuk memahami dan mempelajari atribut-atribut pada sistem diperlukan pengenalan sistem yang diperoleh melalui pemodelan matematis berdasarkan atribut Komponennya. Berdasarkan hasil pengenalan ini diperoleh fungsi transfer. Melalui model fungsi transfer ini, kita bisa melihat Sifat respons sistem terhadap berbagai masukan. Berdasarkan pengetahuan tentang sifat sistem, operasi atau perawatan yang tepat dapat ditentukan untuk menjalankan sistem Seperti yang diharapkan[11]. Identifikasi sistem merupakan metode eksperimental untuk menentukan model dinamik sistem.

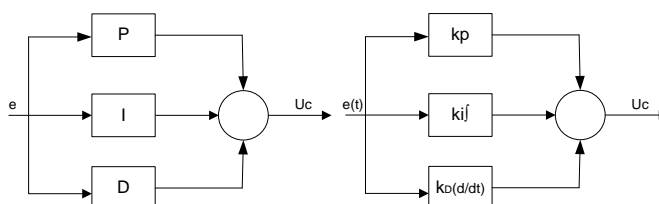
Dalam suatu sistem kendali, identifikasi sistem biasanya dapat digambarkan seperti pada Gambar 2. Tahapan proses identifikasi sistem meliputi empat tahapan yaitu ketersediaan *input* pabrik dan data *output* yang akan diperoleh. Setelah konfirmasi, yang kedua adalah pemilihan struktur model, dan yang ketiga adalah estimasi parameter model. Keempat, memverifikasi struktur dan model yang ditentukan Nilai parameternya.



Gambar 2. Struktur umum motor BLDC

Kontroler PID

Metode kendali *Proporsional Integral Derivative* (PID) merupakan salah satu metode kendali yang banyak digunakan dalam elektro industri. Pengontrol ini memiliki parameter tiga pengontrol yaitu konstanta proporsional (K_p), Konstanta Integral (K_i), dan Konstanta *Derivative* (K_d)[12]. Dalam metode PID konvensional, ketiga parameter ini diturunkan dari perhitungan matematis. Struktur kontrol PID secara umum digambarkan pada Gambar 3.



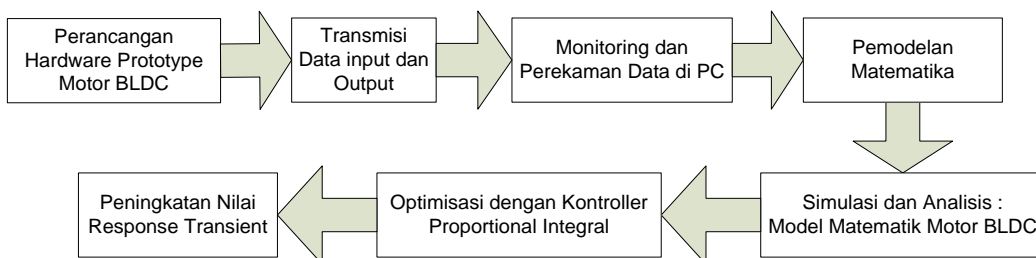
Gambar 3. Struktur Kontroler PID.

Sedangkan untuk persamaan umum kontroler PID ditunjukkan pada persamaan (1):

$$u_c(t) = k_p e(t) + k_i \int^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de}{dt} \dots (1)$$

METODE PENELITIAN

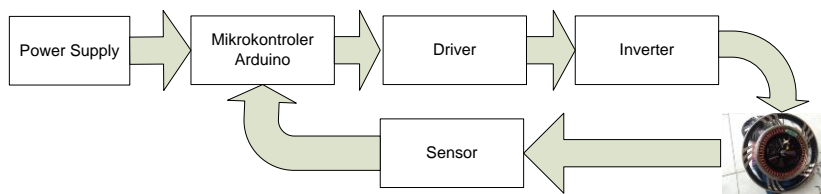
Metode yang digunakan dalam penelitian ini, digambarkan dalam blok diagram berikut :



Gambar 4. Blok Diagram *Monitoring* Perubahan Tegangan Motor BLDC

Monitoring Perubahan Tegangan Motor BLDC

Perancangan *hardware* untuk *monitoring* perubahan tegangan pada sistem kontrol kecepatan sistem motor BLDC digambarkan dalam blok diagram berikut ini :

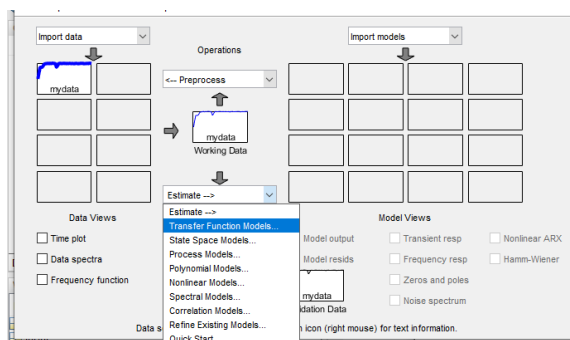


Gambar 5. Hardware Monitoring Perubahan Tegangan

Pada Gambar 5 menjelaskan tentang perancangan *prototype hardware* untuk mendapatkan data *input* dan *output* di sistem kontrol kecepatan motor BLDC. Data *input* dan *output* yang diukur yaitu tegangan, arus, dan kecepatan. Perubahan tegangan hasil perubahan mekanik pada throttle akan diidentifikasi yang nantinya menyebabkan perubahan kecepatan. Data hasil perubahan tersebut teridentifikasi hasilnya dan termonitor di *Personal computer*.

System Identification Toolbox (SIT)

System Identification Toolbox (SIT) merupakan sebuah aplikasi software yang terdapat di program Matlab untuk mendapatkan model matematika. SIT dapat digunakan sebagai alat identifikasi yang dijelaskan pada Gambar 10, yaitu menggunakan antarmuka pengguna grafis (GUI) untuk mensimulasikan dan menganalisis sistem dinamis. Data *input* dan *output* hasil pengukuran diinputkan, disimulasikan dan disimulasikan sehingga didapatkan model matematika sesuai dengan struktur model yang dipilih seperti Gambar 6.



Gambar 6. System Identification Toolbox untuk Data *Input* dan *Output*

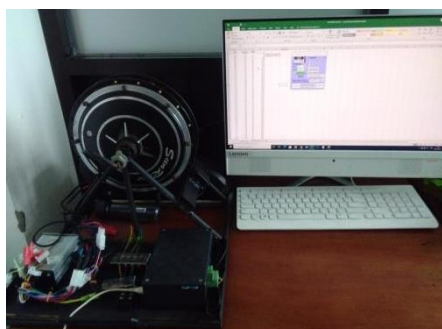
Hasil data *input* dan *output* digunakan sebagai dasar untuk memodelkan matematika melalui *system identification toolbox* di program Matlab.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian untuk *monitoring* perubahan tegangan terdapat beberapa tahapan, yaitu tahap pertama berfungsinya *hardware* hasil integrasi perancangan sistem elektronika untuk mendapatkan data *input* dan *output*. Tahap kedua yaitu pengambilan data *input* dan *output* untuk dimodelkan secara matematika melalui *System Identification Toolbox* (SIT). Tahap ketiga adalah melakukan optimisasi pada sistem persamaan matematika dalam bentuk persamaan fungsi laplace.

Hasil perancangan *hardware*

Hasil installasi dan perancangan sistem elektronika untuk *monitoring* perubahan tegangan pada sistem kontrol kecepatan motor BLDC ditunjukkan pada Gambar 7.

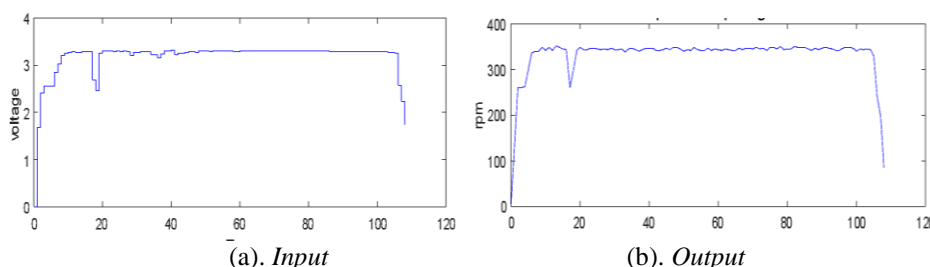


Gambar 7. Hardware Monitoring Perubahan Tegangan Motor BLDC

Dan setelah diaktifkan semua komponen sensor, *power supply*, driver kontroler, motor BLDC, dan komputer, maka didapatkan data hasil pengukuran *input* dan *output* yaitu tegangan, arus, dan kecepatan putar motor.

Identifikasi Sistem Motor BLDC

Data hasil pengujian, kemudian diolah dan dianalisis menggunakan aplikasi pemrograman Matlab, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Data *Input* dan *Output* Motor BLDC

Dari Gambar 4.2. dapat dijelaskan bahwasanya perubahan tegangan *input* pada throttle dengan range 1,2V – 3.5 Volt berkorelasi dengan perubahan kecepatan putar motor BLDC dengan range 350 rpm, yang ditunjukkan adanya ketidakstabilan dalam kecepatan putar motor tersebut. Hasil pengukuran data *input* dan *output* motor BLDC tersebut, kemudian disimulasikan dengan menggunakan tools di program aplikasi Matlab *System Identification Toolbox* (SIT), serta dengan memilih struktur model *transfer function*. *Transfer function* sebagai rasio perbandingan dari Y (s) dan U (s), didefinisikan sesuai dengan persamaan 2.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \dots \dots (2)$$

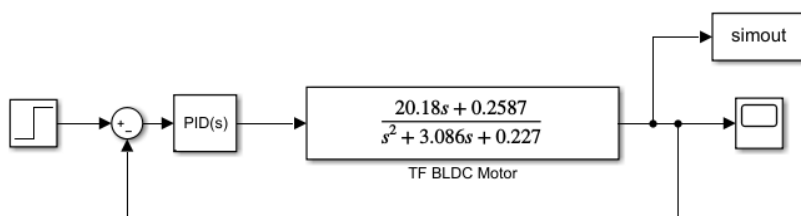
Sehingga didapatkan persamaan matematika dalam bentuk persamaan fungsi laplace seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$G(s) = \frac{20.18s + 0.2587}{s^2 + 3.086s + 0.227} \dots \dots (3)$$

Optimisasi dengan Kontroler PID

Persamaan matematika dalam bentuk fungsi laplace sebagai bentuk model matematika hasil identifikasi motor *Brushless Direct Current* (BLDC) dilihat performansi kinerjanya dengan

menggunakan kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID). Blok simulink untuk melihat performansi kinerjanya ditunjukkan pada Gambar 9.

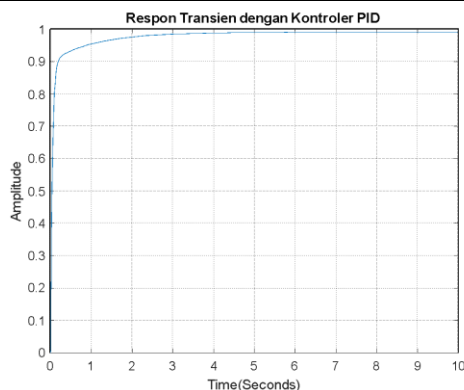


Gambar 9. Blok Simulink Optimisasi Motor BLDC dengan Kontroler PID

Hasil simulasi dari pengujian kontrol kecepatan motor BLDC dengan menggunakan kontroler PID diperoleh grafik respon transien seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Sedangkan untuk performansi respon transiennya pada saat nilai $k_p=0.85$, $k_i=1.1$, dan $k_d= 0.13$, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Response Transient dengan kontroler PID

Parameter Kinerja Sistem	Nilai
<i>Rise time</i>	0,182 detik
<i>Settling Time</i>	2,33 detik
<i>Overshoot</i>	0%
<i>Peak</i>	0,99



Gambar 10. Grafik Respon Transien Optimisasi dengan Kontroler PID

KESIMPULAN

Sepeda listrik sebagai kendaraan alternatif untuk mengurangi adanya peningkatan penggunaan konsumsi bahan bakar minyak bumi, perlu terus dilakukan inovasi dan pengembangan. Salah satu pengembangannya adalah melakukan *monitoring* perubahan tegangan yang berkorelasi dengan perubahan kecepatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya perubahan tegangan karena disebabkan perubahan mekanis dari *Throttle* menyebabkan perubahan kecepatan putar motor BLDC. Hal ini dibuktikan dengan adanya perekaman data *input* dan *output*. Selain itu, data hasil pengukuran *input* dan *output* berhasil didapatkan model matematika dalam bentuk fungsi transfer. Persamaan model matematika ini digunakan sebagai dasar optimisasi kontrol kecepatan motor BLDC, dan hasilnya menunjukkan respon transien yang baik. Hal ini

dibuktikan dengan indikator nilai *rise time* sebesar 0.182 *seconds*, *settling time* sebesar 2.33 *seconds*, dan nilai *overshoot* 0 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, khususnya DRPM yang telah memberikan dukungan pembiayaan untuk Penelitian Internal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Florez *et al.*, "Development of a bike-sharing system based on pedal-assisted electric bicycles for bogota city," *Electron.*, vol. 7, no. 11, 2018.
- [2] I. V. McLoughlin *et al.*, "Campus Mobility for the Future: The Electric Bicycle," *J. Transp. Technol.*, vol. 02, no. 01, pp. 1–12, 2012.
- [3] I. Anshory, D. Hadidjaja, and R. B. Jakaria, "Blcdc Motor : Modeling and Optimization Speed Control Using Firefly Algorithm," *Dinamik*, vol. 25, no. 2, pp. 51–58, 2020.
- [4] S. A. K. Mozaffari Niapour, G. Shokri Garjan, M. Shafiei, M. R. Feyzi, S. Danyali, and M. Bahrami Kouhshahi, "Review of Permanent-Magnet *Brushless* DC motor basic drives based on analysis and simulation study," *Int. Rev. Electr. Eng.*, vol. 9, no. 5, pp. 930–957, 2014.
- [5] H. B. Suryadipraja, J. Jamaaluddin, T. Elektro, and U. M. Sidoarjo, "Pengo optimalan Penggunaan Sensor Uvitron Pada Robot Berkaki Dalam Mendeteksi Keberadan Titik Api Dengan Sebuah Lilin," pp. 206–210.
- [6] I. Anshory and I. Robandi, "Identification and Optimization Speed Control of BLDC Motor Using Fuzzy Logic Controller," vol. 7, pp. 267–271, 2018.
- [7] B. Kumar, S. K. Swain, and N. Neogi, "Controller Design for Closed Loop Speed Control of BLDC Motor," vol. 9, no. 1, 2017.
- [8] I. D. . Karyatanti, B. Dewantara, and D. Rahmataullah, "Turn To Turn Short Circuit Classification In Induction Motor Stator Windings Caused By Isolation Failure Using Neural Network (NN) Method," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng. UMSIDA)*, vol. 4, no. 2, pp. 102–114, 2020.
- [9] I. Anshory, I. Robandi, and Wirawan, "Monitoring and optimization of speed settings for *Brushless* Direct Current (BLDC) using Particle Swarm Optimization (PSO)," in *Proceedings - 2016 IEEE Region 10 Symposium, TENSYP 2016*, 2016.
- [10] G. S. Shehu, A. B. Kunya, I. H. Shanono, and T. Yalcinoz, "A Review of Multilevel Inverter Topology and Control Techniques," vol. 4, no. 3, pp. 233–241, 2016.
- [11] S. Rachad, H. Fouraiji, and B. Bensassi, "Identification approach for a production system using ARX model," *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Logist. Oper. Manag. GOL 2014*, pp. 93–97, 2014.
- [12] M. A. Ibrahim, A. K. Mahmood, and N. S. Sultan, "Optimal PID controller of a *Brushless* DC motor using genetic algorithm," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 822–830, 2019.