



PROSIDING

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-13

"Kontribusi untuk Masyarakat"

Universitas Indonesia, Kampus UI Depok
15-16 Oktober 2014

disponsori oleh:



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA





PROSIDING

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-13

"Kontribusi untuk Masyarakat"

Universitas Indonesia, Kampus UI Depok
15-16 Oktober 2014

disponsori oleh:



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PENGANTAR

Sekali lagi, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia dipercaya menjadi tuan rumah untuk perhelatan tahunan terbesar Badan Kerjasama Seluruh Teknik Mesin (BKSTM) yaitu Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XIII. Dalam penyelenggaraannya, SNTTM telah berhasil menjadi satu kegiatan tahunan diskusi para akademisi di Indonesia yang kemudian juga menyediakan tempat penajaman mahasiswa teknik mesin Indonesia melalui kegiatan Lomba Nasional Tahunan Rancang Bangun Mesin.

SNTTM XIII yang diselenggarakan di Gedung Perpustakaan Universitas Indonesia pada 15-16 Oktober 2014 memberikan nuansa baru dalam hal organisasi karya ilmiah. Untuk pertama kalinya, *online submission* diperkenalkan dalam pengumpulan, *review* dan keputusan penerimaan karya ilmiah tersebut. Ke depannya, *platform* ini akan diteruskan oleh panitia SNTTM di masa mendatang. Sehingga BKSTM akan memiliki *database digital* yang kaya dalam hal koleksi karya ilmiah dan juga sumber daya *reviewer*. Panitia SNTTM mendatang dapat mengerahkan *reviewer* dari berbagai universitas di Indonesia untuk mengkaji satu paper sehingga komunitas diskusi ilmiah dapat saling berkomunikasi tanpa sekat jarak.

Penyelenggaraan kali ini menjaring 220 karya ilmiah yang berasal dari 36 institusi. Terdapat juga capaian dari SNTTM lalu yang berhasil diteruskan yaitu adanya sesi internasional dengan jumlah 41 karya ilmiah. Dari karya ilmiah yang ada dapat dikomposisikan menurut bidang sebagai berikut: 42% konversi energy; 24% mekanika teknik; 17% material; 14% manufaktur dan 4% terbagi rata antara teknologi perkapalan dan pendidikan teknik mesin. Kemudian dari sisi kualitas isi, kami mendorong kepada peserta SNTTM XIII untuk mengumpulkan karya ilmiah terbaiknya untuk dimuat di jurnal-jurnal dengan akreditasi internasional. Berbagai hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan level penyelenggaraan SNTTM dan karya ilmiah teknik mesin di tingkat lebih tinggi. Beberapa karya penelitian terpilih akan diterbitkan dalam Jurnal Teknik Mesin Indonesia (JTMI).

Salam hangat,

Dr. Yudan Whulanza, S.T., M.Sc.
Ketua Panitia Pelaksana

PANITIA

Panitia Pengarah : Prof. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng
Prof. Ir. Yulianto Sulistyono Nugroho, M.Sc, Ph.D
Dr. Ir. Warjito, M.Eng

Panitia Pelaksana

Ketua Umum : Dr. Yudan Whulanza, S.T., M.Sc.

Koord. Seminar dan Editorial : Dr. Sugeng Supriadi, S.T., M.S.Eng

Koord. Lomba RBM : Dr. Ir. Gatot Prayogo, M.Eng

Kesekretariatan : Muhammad Agung Santoso, S.T., M.T.
Fadhil, S.T.

Kebendaharaan : Jos Istiyanto, S.T., M.T., Ph.D

Koord. Acara : Dr. Engkos A. Kosasih
Mohamad Taufiqurrakhman, S.T.

Sie. Sponsorship : Prof. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng
Firman Ady Nugroho, ST., MT.

Sie. Akomodasi & Fasilitas : Gunawan, S.T., M.T.
Syarifudin

Sie. Konsumsi : Kartina, Amd
Maryani

Sie. Publikasi : Dr. Ario Sunar Baskoro, S.T., M.T., M.Eng
Nurul Palaq, Amd
Heri Sulistyono Budhi, S.T.

Sie. Perlengkapan : David Hansaulin
Yasin

REVIEWER

1. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara
2. Prof. Dr.Ir. Adi Suryosaty, MEng.
3. Ir. Agung Subagio, Dipl.Ing.
4. Dr. Agus Pamitran, ST., MEng.
5. Dr. Ario Sunar Baskoro, ST., MT., MEng.
6. Prof. Dr. Ir. Bambang Suryawan, MT.
7. Ir. Bambang P. Prianto, MIKomp.
8. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, MEng.
9. Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.Ing.
10. Prof. Dr. Ir. Budiarmo, MEng.
11. Prof. Dr. Ir. Danardono AS., DEA.
12. Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT.
13. Firman Ady Nugroho, ST., MT.
14. Dr. Ir. Gatot Prayogo, MEng.
15. Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, MEng.
16. Gunawan, ST., MT.
17. Gerry Liston Putra, ST., MT.
18. Ir. Hadi Tresno Wibowo, MT
19. Prof. Dr. Ir. Harinaldi, MEng.
20. Dr. Ir. Hendri DS. Budiono, MEng.
21. Dr. Ir. Henky S. Nugroho, MT.
22. Prof. Dr. Ir. I. Made Kartika D., Dipl.Ing.
23. Jos Istiyanto, ST.,MT.,PhD.
24. Mohammad Adhitya, ST.,MSc.
25. Muhammad Baqi, ST.,MT.
26. Muhammad Agung Santoso, ST.,MT.
27. Dr. Ir. Imansyah Ibnu Hakim, MEng.
28. Dr. Ir. Marcus A. Talahatu, MT.
29. Prof. Dr. Ir. M. Idrus Alhamid
30. Dr. Ing. Ir. Nasruddin, MEng.
31. Prof. Dr. -Ing. Nandy Setiadi Djaja Putra
32. Prof. Dr.Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA.
33. Ir. Rusdy Malin, MME.
34. Dr. Ir. Sunaryo
35. Dr. Sugeng Supriadi, ST.,MSEng.
36. Ir. tris budiono M, MSi.
37. Prof. Dr. Ir. Tresna P. Soemardi, SE, MSi.
38. Prof. Dr. Ir. Yanuar, MSc.,MEng
39. Dr. Ir. Warjito, MEng.
40. Dr. Ir. Wahyu Nirbito, MSME.
41. Yudan Whulanza, ST., MT., PhD.
42. Prof. Dr. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho, MS

DAFTAR ISI

COVER	i
PENGANTAR	iii
PANITIA	iv
REVIEWER	v
KEYNOTE SPEAKER	vi
DENAH LOKASI	x
JADWAL ACARA	xiii
DAFTAR ISI	xxvii

APPLIED MECHANICS (AM)

AM-01	Pengaruh Besaran Energi Inisiasi Bridge-Wire Detonator terhadap Karakteristik Perambatan Gelombang Detonasi dari Pembakaran Hidrogen-Oksigen (Danardono Agus Sumarsono, Jayan Sentanuhady, Mitra Wisnu Hargono, Yulianto Sulistyo Nugroho)	3
AM-04	Kesalahan Puncak Spektrum akibat Penggunaan Fungsi Window untuk Kasus Sinyal Sinusoidal Kontinu (Budi Heryadi, Zainal Abidin, Ignatius Pulung Nurprasetyo)	12
AM-05	Evaluasi Performa Mobil Listrik Ezzy ITS I dan Ezzy ITS II pada Tour De Java (M. Nur Yuniarto, Indra Sidharta, Alief Wikarta)	18
AM-06	Pemodelan Dan Analisa Energi Yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Dengan Eksitasi Getaran Engine (Wiwiek Hendrowati, Harus Laksana Guntur, Yunarko Triwinarno)	22
AM-08	Studi Karakteristik Dinamik Komposit Hybrid Serat Karbon dan Serat Gelas sebagai Bahan Komponen Mobil Listrik Nasional (Molina) UNS (Didik Djoko Susilo, Nur Hafid, Yon Afif Hidayat, D. Danardono)	30
AM-09	Kaji Eksperimental Penerapan Metode Ibrahim Time Domain Untuk Identifikasi Model Bangunan Dua Lantai Dengan Gangguan Pada Tumpuan (Mulyadi Bur, Meifal Rusli, Adriyan, Lovely Son)	34
AM-10	Analisis Getaran pada Model Rotor dengan Pendekatan Disk Tipis/Tebal (Jhon Malta, Getar Elba Perjaka, Mulyadi Bur)	44
AM-11	Pengaruh Pattern pada Sepatu Kopling Sentrifugal Terhadap Daya dan Torsi Sepeda Motor Matic (Ahmad Kholil, Riza Wirawan, Haris Dharmawan)	49
AM-12	Pemodelan Hexapod Robot untuk Sistem Monitoring Keamanan (Munadi, Joga Dharma S, Elang Priyangga P, Jalu Rahmadi M)	56
AM-13	Model Sederhana Tanggul Pemanen Energi dengan Mekanisme Getaran dan Induksi Elektromagnetik Linier (Meifal Rusli, M Taufik Esman)	61
AM-14	Perancangan Sistem Dudukan Senjata dan Sistem Isolasi Getaran pada Kendaraan Tempur Darat (I Wayan Suweca, Rianto Adhy Sasongko, Muhammad Nanda Setiawan)	67
AM-15	Perancangan Lutut Buatan Untuk Kemudahan Gerak pada Siklus Berjalan dan Jongkok bagi Penderita Cacat Amputasi (Masrizal, Syamsul Huda)	76
AM-16	Diagnosa Kerusakan Roda Gigi Dengan Sinyal Getaran (A. Widodo, Dj. Satrijo, I. Haryanto)	82
AM-17	Pengembangan Model Benda Jamak 7 Batang untuk Analisis Kinematik dan Kinetik Gerak Berjalan Manusia (Sandro Mihradi, Wahid L. Buana, Tatacipta Dirgantara, Andi Isra Mahyuddin)	87
AM-18	Pengaruh Variasi Sudut Redundant terhadap Pergeseran Titik Pusat Putar (Uncompensatable Error) Mekanisme Paralel 3-dof Rotasi Murni URU. (Syafri, Syamsul Huda, Mulyadi Bur)	93
AM-19	Pengaruh Variasi Ketebalan Pipa Terhadap Kekuatan Papan Reklame Tipe Single Pole (Norman Iskandar, Achmad Ridwan Hakiki, Rifky Ismail, Rusnaldy)	101

AM-20	Perbaikan Metode Perancangan Struktur Atap pada Daerah Rawan Gempa (Eka Satria , Shiro Kato , Yutaka Niho)	105
AM-22	Penerapan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Turbin Air Tipe Cross Flow (Kasda,Rachman Setiawan)	113
AM-23	Investigasi Unjuk Kerja Handling pada Bentuk Geometri Rangka Kendaraan Roda Tiga (Wibowo, Lutfianto, Triyono, Sinki, Nurul Muhayat)	121
AM-24	Analisis Tegangan pada Tangki Penyimpan Berkapasitas 3000 kL dengan Cacat Geometri Ketidakbulatan (Rachman Setiawan, Kasda)	126
AM-25	Perancangan dan Pengembangan Bogie Monorel : Analisa Respon Dinamik dan Tingkat Kenyamanan (Gatot Prayogo, Danardono A.S, Riduan Akbar Siregar, Sugiharto)	132
AM-26	Perancangan Sistem Penyaringan Air Bersih (Ahmad Seng, Muh Musni Herbalubun)	143
AM-27	Unjuk Kerja Instalasi Sistem Untuk Menaikkan Air Dengan Tenaga Hidro Berbasis Teknologi Pipa Kayu dan Pompa Sebagai Turbin (Suhanan, Arif Budi Wicaksono, Octavianus)	148
AM-28	Analisa Reliabilitas dan Simulasi Reliability Block Diagram pada Sistem Straight Run Motor-Gas Compressor (Hafid Budiman, Irnanda Rizki M, Yudan Whulanza, Warjito)	155
AM-29	Analisa Kerusakan Crack pada Bushing Rear Suspension (Ngatiman, Bakhrul Ulum, Sultoni, Suherman, Sumadi)	161
AM-30	Analisis Disability Void Pada Produk Polivinilorida (PVC) Pelindung Pedal Seat Kendaraan Roda Dua (Alfian Cahya Nugraha, Chandra Macharij, Adzri Arya Dwi Herdika, Muhamad Setiawan, Sumadi)	166
AM-32	Aplikasi Fuzzy Logic Pada Prediksi Ukuran Rangka Sepeda Gunung (Rafiuddin Syam, La Ode Asman Muriman)	172
AM-33	Evaluasi Desain Bogie Monorel Jenis straddle Produksi Industri Nasional Untuk Sarana Transportasi Massal Perkotaan di Indonesia (Danardono A.S., Gatot Prayogo, Sugiharto, Teguh Nugraha , Kusnan Nuryadi)	178
AM-34	Analisis Kerusakan <i>Cylinder Hydraulic</i> Kapasitas 30 Ton Akibat Effect Arus Listrik Proses Welding (Albar Ramdhani, Agus Firman Syah, Noval Al Hudah, Sumadi)	188
AM-35	Analisa Implementasi Reliability Centred Maintenance (RCM) Pada Industri Kertas yang Beroperasi Kontinyu (Sumadi)	192
AM-36	Studi Kelayakan Operasi Pipa Furnace A335 P5 Menggunakan Metode <i>Fitness for Services</i> (Pratiwi DK, Karuana, Feri, Farizal)	199
AM-37	Analisis Pengaruh Sambungan Kombinasi Las dan Baut terhadap Kekuatan Material (Saripuddin. M, Hammada Abbas, Herman Parung, Wahyu H. Piarah)	205
AM-38	Penggunaan Plat Diafragma (PLD) Mempengaruhi Defleksi Baja Ringan Profil <i>Hat Section</i> (Onny S Sutresman)	212
AM-39	Analisis Kerusakan Damper Penahan Sproket pada Sepeda Motor (Lutfi Ramdhani Budimansyah, Irvan Fadillah , Fahmi Andriadi, Sumadi)	220
AM-40	Analisis Kegagalan Daerah Lasan Pipa Stainless Steel Sebagai Media Reboiler Pabrik Pupuk (Husaini, Mirza , Masri Ali, M. Nizar Mahmud)	223
AM-41	Pemodelan Pengaruh Pemberian Kanopi dan Kabut Tirai Air terhadap Pergerakan dan Densitas Asap pada Lantai Penyelamatan (<i>Refuge Floor</i>) Bangunan Gedung Sangat Tinggi (Ilham Ramdani, Muhammad Zilvan Bey, Yulianto S. Nugroho)	229
AM-42	Kajian Keandalan <i>Axle Lining</i> Lokal Lokomotif CC201 dan CC203 (Angki A. Rachmat, I Wayan Suweca, Rieske Hadiani)	236

ENERGY CONVERSION (EC)

EC-01	Produksi Bahan Bakar Gas Melalui Dekomposisi Bioetanol (Andi Erwin Eka Putra)	245
EC-02	Studi Pemanfaatan Batubara Indonesia Peringkat Rendah dengan Metode Gasifikasi Entrained Flow pada Sistem PLTGU di Indonesia (Toto Hardianto, Muhammad Rusviandi, Adrian R Irhamna, Pandji Prawisudha)	249
EC-03	Analisis dan Pemilihan Fluida Kerja Organic Rankine Cycle (ORC) untuk Panas Bumi Temperatur Rendah (Nathanael P. Tandian, Ridho Muntaha)	256
EC-04	Penggunaan Bahan Bakar Gas pada Sepeda Motor Bermesin Karburator (Arijanto, Heri Purnadi)	261
EC-05	Adsorpsi Isotermal Menggunakan Gas Alam dari Compressed Natural Gas Storage Dengan Laju Aliran Massa Gas 10 SLPM dan 20 SLPM Untuk Adsorbed Natural Gas Storage (Awaludin Martin, Nasruddin, Senoadi, Irfandi Pratama)	268

EC-06	Optimasi dan Pengujian Sistem Fixed-bed Downdraft Gasifikasi Biomassa Sekam Padi (Adi Surjosatyo, Gendipatih, Harist Qashtari, Zulfikar Achirudin)	274
EC-07	Studi Eksperimental Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Bersudu Loopwing untuk Pembangkit Daya Generator 100W (Jhon A. Wabang, M. Agung Bramantya, Hermawan)	279
EC-08	Rancang Bangun Alat Pendingin Buah dengan Metoda Siklus Refrigerasi Absorpsi Tenaga Surya (Dendi Adi Saputra M, Adjar Pratoto, Endriyani, Fachri Rozi Afandi)	285
EC-10	Efek Thermosyphon pada Pemanas Air Surya terhadap Beda Ketinggian Permukaan Air Penampung dan Outlet Pemanas (Caturwati NK, Ipick S, Islamy Z)	290
EC-11	Performansi Mesin Pendingin Adsorpsi Tenaga Matahari Dengan Adsorben Campuran Karbon Aktif dan Alumina Aktif (Tulus Burhanuddin Sitorus, Farel H. Napitupulu, Himsar Ambarita)	294
EC-12	Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dan Alumina Aktif sebagai adsorben terhadap beberapa Refrigeran pada Siklus Adsorpsi (Himsar Ambarita)	300
EC-13	Pemodelan Numerik Hasil Pertemuan Arus Laut dan Sungai di Teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia (Parabelem Rompas, Jenly Manongko)	307
EC-14	Studi Tentang Kinerja Pengeringan Biji Kakao Menggunakan Sistem Terintegrasi dari Energi Panas Matahari dan Energi Termokimia (Farel H. Napitupulu, Himsar Ambarita, Tulus B.Sitorus, Sari Farah Dina)	314
EC-15	Kinerja Roda Air Arus Bawah 6 Sudu Plat Datar Dengan Variasi Debit Aliran Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik (Luther Sule, Mukhtar Rahman)	325
EC-16	Penentuan Diameter Pipa Header Pompa Tersusun Paralel (Made Suarda)	330
EC-17	Analisa Konfigurasi Arah Aliran Udara untuk Mendapatkan Kenyamanan Termal di Dalam Kabin SmarT EV 2 dengan Menggunakan Ansys CFX (Daniel P. Simaremare, Dominicus Danardono , Eko P. Budiana)	336
EC-18	Tinjauan Penerapan Teknik Olah Citra untuk Mempelajari Perilaku Antarmuka pada Fenomena Dua-Fase Gas-Cairan (Hadiyan Yusuf Kuntoro, Okto Dinaryanto, Akhmad Zidni Hudaya, Windy Hermawan Mitrakusuma, Deendarlianto, Indarto)	343
EC-19	Perancangan Dasar Runner Turbin Francis Menggunakan Persamaan Empirik-Analitik, Metode Numerik, Conformal Mapping dan Simulasi CFD (Gusriwandi)	349
EC-20	Analisis Pengaruh Gradien Medan Magnet Terhadap Karakteristik Nyala Api Difusi Bahan Bakar LPG (I Made Kartika Dhiputra, Mokhammad Is Subekti , Ahmad Syihan Auzani)	358
EC-21	Pengaruh Sudut Tee Pipa Header dan Panjang Pipa Hisap Terhadap Performansi Pompa Booster (Anak Agung Adhi Suryawan, Made Suarda)	370
EC-22	Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Angin Horizontal NACA 0012 pada Pitch Angle 56° (Badrawada I Gusti Gde)	376
EC-23	Performa dan Emisi Jelaga Mesin Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Campuran Biosolar dan Minyak Jatropa dengan Sistem EGR Dingin (Syaiful)	381
EC-24	Studi Eksperimen Mengenai Perilaku Aliran Stratified Air Udara pada Pipa Horizontal (Akhmad Zidni Hudaya, Rianto Wibowo, Masruki Kabib, Deendarlianto, Adhika Widyaparaga)	389
EC-25	Pengaruh Diameter Pipa Terhadap Sifat-Sifat Aliran Slug Air-Udara pada Pipa Horizontal. (Okto Dinaryanto, Yuli Purwanto, Deendarlianto, Indarto)	395
EC-26	Analisa Prestasi Alat Pengering Pompa Kalor Berbantuan Tenaga Surya untuk Mengeringkan Bahan yang Sensitif terhadap Panas (Tanaman Obat "Temulawak") (M. Yahya, Hendriwan Fahmi)	401
EC-27	Optimasi Turbin Mikrohidro untuk Daerah Terpencil : Openflume (Budiarsa, Anindio Prabu Harsarapama, Muhammad Ridho, Reza Dianofitra)	406
EC-28	Perbandingan Karakteristik Penyalaan Partikel Batubara Di Dalam Drop Tube Furnace (DTF) dan One Dimensional Furnace (1D Furnace) (Yulianto Sulisty Nugroho, Dwika Budianto)	412
EC-29	Studi Visualisasi terhadap Fenomena Flooding Air-udara pada Pipa Kompleks (Apip Badarudin, Indarto, Deendarlianto, Hermawan, Aji Saka, M. Fikri Haykal Syarif , Aditya Wicaksono)	418
EC-30	Investigasi Pola Aliran Dua-Fasa Gas-Cairan Di Dalam Pipa Berukuran Mini Pada Aliran Horizontal (Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Raditia Noverdi, Aldrin Gutama)	423

EC-31	Kajian Perpindahan Kalor Pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Kapsul PCM Pipa-banyak Susunan Segaris (Muhammad Nadjib, Suhanan)	430
EC-32	Kaji Eksperimental Unjuk Kerja Pengering Surya Tipe Lorong Untuk Mengeringkan Ikan (Syamsul Bahri Widodo, Muhammad Amin, Hamdani)	436
EC-33	Analisis Pengaruh Swirl Number Terhadap Peningkatan Stabilitas Nyala Premix Dan Karakteristik Lift-Up Flame Pada Modifikasi Bunsen Burner Menggunakan Rotating Swirl Fan (I Made Kartika Dhiputra, Ridho Ernandi, Shahwardhana Iskandar Siregar)	442
EC-34	Metode Pengeringan Non-termal untuk Meminimalisasi Kebutuhan Panas Proses Torefaksi Sampah Kota menjadi Bahan Bakar Padat (Budi Herwanto, Adrian R Irhamna, Pandji Prawisudha, Toto Hardianto)	450
EC-35	Efek Orientasi Sudut Rectangular-Winglet Vortex generator Terhadap Performa Termal dan Hidrodinamik Penukar Kalor Jenis Fin-Tube dengan Susunan Pipa Sejajar (Rahmat Purnomojati, Syaiful)	458
EC-36	Kinerja Liquid-Gas Ejector: Efek dari Diffuser Ratio (Daru Sugati, Indarto, Purnomo, Sutrisno)	466
EC-37	Studi Numerik 2D-URANS Pengaruh Jarak Gap antara Inlet Disturbance Body dan Permukaan Silinder Upstream terhadap Karakteristik Aliran melintasi Dua Silinder Sirkular Tersusun Tandem (Aida Annisa Amin Daman, Wawan Aries Widodo)	470
EC-38	Kajian Perilaku Droplet Saat Menumbuk Permukaan Panas dengan Pengolahan Citra (Windy Hermawan Mitrakusuma, Hadiyan Yusuf Kuntoro, Deendarlianto, Samsul Kamal, M. Dyan Susila)	475
EC-39	Kajian Eksperimental Aplikasi Air Kondensat Sebagai Evaporative Cooling Pada Kondensor AC Split (I Nengah Ardita, I Nyoman Suamir, Sudirman)	480
EC-40	Life Cycle Analysis pada Pembangkit Tenaga Listrik Mini Hidro di Lhoksandeng, Meuruedu, Pidie Jaya (Teuku Azuar Rizal, Nasruddin, Hamdani)	485
EC-41	Optimasi Sistem Pembangkit Daya Kogenerasi dengan Metode Algoritma Genetika (Ronald Sukianto, I Made Astina)	489
EC-42	Kajian Pengaruh Ketinggian Dinding Kolektor Surya Pemanas Udara dengan Pengganggu Aliran Udara Tipe Melintang (Made Surya Pandita, Ketut Astawa, Sucipta, I Putu)	496
EC-43	Rancang Bangun Vertical Axis Wind Turbine dengan Simulasi Numerik dan Studi Eksperimen (Prabowo)	501
EC-44	Kaji Eksperimental Produksi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Proses Hidrotermal (Achmad Rofi Irsyad, Pandji Prawisudha, Ari Darmawan Pasek)	507
EC-45	Studi Karakteristik Garam Hidrat Sebagai Kandidat Refrigeran Sekunder Pada Sistem Pengkondisian Udara Jenis Chiller (M Irsyad, A Suwono, YS Indartono, AD Pasek, WC Mahendra)	513
EC-46	Kaji Eksperimental Pemisahan Lapisan Logam dalam Bungkus Plastik Berlapis Aluminium Menggunakan Proses Hidrotermal (Gea Fardias Mu'min, Pandji Prawisudha, Ari Darmawan Pasek)	518
EC-47	Pengaruh Ukuran Serbuk Sekam dan Kecepatan Putar terhadap Kinerja Rotating Filter yang Menggunakan Filter Keramik (Prajitno, Rialino)	524
EC-48	Gasifikasi Limbah Tongkol Jagung Pada Reaktor Updraft Ditinjau Dari Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Dan Kadar Air Terhadap Gas Producer Yang Dihasilkan (Imron Rosyadi, Endang Suhendi, Raden Wirawan Iskandar)	531
EC-49	Kaji Eksperimental Performansi Bahan Bakar Campuran Premium 92 Dengan Bioetanol Sagu (Yovial Mahyoedin, Suryadimal, Roberto)	538
EC-50	Studi Eksperimen Konveksi Bebas Aliran Unsteady Pada Permukaan Atas Plat Miring Vertikal Non-Isotermal Menggunakan Interferometer Differensial (Aldo Tri Oktamettio, Jooned Hendrarsakti)	543
EC-51	Performansi Mesin Pengkondisian Udara Hibrida dengan Penambahan Kondensor Dummy Sebagai Water Heater (Azridjal Aziz, Iwan Kurniawan, Hardianto Ginting)	552
EC-52	Pengaruh Penggunaan Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler terhadap Efisiensi Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap (Azridjal Aziz, Boby Hary Hartanto)	558
EC-53	Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Evaporasi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigerant R134a dan MC134 (Hendri, Prayudi, Roswati Nurhasanah)	565

EC-54	Analisis Simulasi dan Eksperimental Karakteristik Termodinamika Refrigerasi Adsorpsi Karbon Aktif Ammonia (Suhengki, Prayudi, Roswati Nurhasanah)	572
EC-55	Simulasi Numerik Proses Pembakaran pada Prototype Mesin Sinjai Biofuel 650 cc Sistem Injeksi Langsung (Bambang Sudarmanta, Giri Nugroho, I Nyoman Sutantra)	579
EC-56	Perbandingan Kenyamanan Termal dalam Ruang Kantor yang Menggunakan Sistem Ceiling Air Conditioning (CAC), Floor Air Conditioning (FAC), dan Ceiling Fan (Yunita A Sabtalistia, Luluk Mawardah, Esty Poedjoetami)	588
EC-57	Pengembangan Alat Terapi Benign Prostatic Hyperplasia (BPH) Berbasis Pipa Kalor (Abraham TP Lingga, Ardiles E F, Wayan Nata Septiadi, Nandy Putra)	597
EC-58	Rancang Bangun dan Uji Unjuk Kerja Alat Pendingin Dalam Proses Penambalan Gigi Berbasis Mini Heat Pipe (Handi Rizkinugraha, Bambang Ariantara, Kristofer Haliansyah, Nandy Putra)	604
EC-59	Adsorpsi Isotermal Bertekanan Tinggi Hidrogen pada Karbon Aktif Granular Berbahan Dasar Batubara pada Temperatur 283 K dan 298 K (Awaludin Martin, Nasruddin, Jossy Kolata)	610
EC-60	Kaji Eksperimental Pengaruh Massa Jenis Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Generator Gasifikasi Tipe Power Pallet 10 kW (Novi Caroko)	616
EC-62	Pengaruh Variasi Dimensi Spraying Nozzle terhadap Pengurangan Kelembaban Udara Menggunakan Larutan Calcium Chloride (CaCl ₂) (Eflita Yohana, Yohanes Aditya Wisnu A)	619
EC-64	Studi Numerik Pengaruh Laju Umpan Kiln terhadap Rugi Tekanan dan Efisiensi Pemisahan Top Siklon Suatu Pabrik Semen (Daniel Ikun Paa, Prihadi Setyo Darmanto)	625
EC-65	Analisa Pengaruh Glycerid Pada Biodiesel Dengan Kadar B50 Dan B100 Terhadap Pembentukan Deposit Di Injektor Menggunakan Siklus Cecf98-08 (Bambang Sugiarto, Mokhtar, M. Taufik S)	631
EC-66	Kajian Sistem Pendinginan Udara Masuk Turbin Gas Untuk Menaikan Daya Keluaran Turbin Gas PLTG Gilimanuk Yang Beroperasi Pada Waktu Beban Puncak (Muhammad Hizbullah, Agung Subagio, Budihardjo)	640
EC-67	Analisis Konsumsi Energi Pada Gedung Perkantoran Di Jakarta (Rizki Akhadiprasetyo, Budihardjo)	648
EC-68	Unjuk Kerja Compact Distillator Low Grade Bioetanol dengan Memanfaatkan Gas Buang Sepeda Motor (Bambang Sugiarto, Dedi Suntoro)	655
EC-69	Pengembangan Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) Separator untuk Pemisahan Campuran Minyak-Air (Irfan Aditya Dharma, Wiesnu Ardyta Wirayoga, Adhika Widyaparaga, Indro Pranoto, Khasani)	660
EC-71	Optimasi Jaringan Pipa Air Ber-loop Menggunakan Metode Simulated Annealing (Samuel Theodore, Warjito)	666
EC-73	Simulasi unjuk kerja termal kolektor surya pelat datar dengan pendekatan temperatur fluida kerja (Amrizal)	672
EC-74	Studi Pengembangan Siklonik Gas Burner Di Sistem Gasifikasi Sekam Padi (Adi Surjosatyo, Duago Pijar)	676
EC-75	Pengaruh Laju Aliran, Kelembaban dan Temperatur Udara Pengeri terhadap Kinerja Pengeri Semprot pada Tekanan Udara Nozel Pneumatik 2 bar Absolut (Engkos Achmad Kosasih, Jefrie Ronald)	685
EC-76	Laju perpindahan Panas Pemanas Air dengan Kolektor Matahari Melalui Laju perpindahan panas pemanas air dengan kolektor matahari melalui pengaturan ΔT 20C OFF 60C ON dan 40C OFF 80C ON (Dyah Arum Wulandari, Supria Wiganda, Rizky Ardi Nugroho)	690

MECHANICAL ENGINEERING EDUCATION (MEE)

MEE-01	Peragaan Pembelajaran Mekanisme Kinematika Sederhana Dengan Mainan Mekanikal (Dwi Basuki Wibowo, Samuel, Bambang Singgih Hardjono)	699
MEE-02	Perencanaan Tata Kelola Laboratorium (Yatna Yuwana Martawirya, Sri Raharno, Wowo Warsono)	708
MEE-03	Metode Penilaian Hasil Studi untuk Kelas Paralel dengan Menggunakan NEAK (Zainal Abidin, Budi Heryadi)	718

MANUFACTURE (MN)

MN-01	Surface Finishing pada Steel BJ DD1 dan BJ DD2 dari PT. Krakatau Steel (Sugeng Supriadi, Bagaskara Aji)	727
-------	---	-----

MN-03	Rancang Bangun "Opera" Model Penilaian Kinerja Operasional Mesin Perkakas (Sally Cahyati, Triyono, M Sjahrul Annas, A.Sumpena)	733
MN-04	Pengaruh Aspek Desain Leadscrew Sebagai Komponen Mekanisme Gerak Modular Terhadap Surface Finish Produk Pemotongan (Susilo Adi Widyanto, Achmad Widodo, Sri Nugroho)	739
MN-05	Pengembangan Computerized Numerical Controller berbasis Personal Computer untuk Mesin Perkakas dengan Teknologi High Speed Machining (Nasril)	744
MN-06	Analisis Order untuk Deteksi On-Line Kondisi Pahat CNC Milling Menggunakan MEMS Accelerometer (Herianto, Anis Arendra)	749
MN-07	Perancangan dan Pembuatan Electrochemical Machine untuk Pabrikasi Microchannel (T. Sriani, Sadiwan, M.T. Firdaus1, Sarjito, Feriyanta, G.S. Prihandana, M. Mahardika)	756
MN-08	Pengendalian Alat Penghapus Whiteboard Menggunakan Sistem Fuzzy Logic (Rafiuddin Syam, Dedy Harianto)	760
MN-09	Pengembangan Metode Evaluasi untuk Penilaian Tingkat Ramah Lingkungan Proses Manufaktur (Sri Raharno, Yatna Yuwana M., Muhammad Imaduddin)	767
MN-10	Karakterisasi Profil Permukaan Nikel dalam Proses Biomachining dengan Menggunakan Bakteri <i>Acidithiobacillus Feroxidans</i> NBRC 14262 (Jos Istiyanto, Mohamad Taufiqurrakhman, Pragistyo Machmud, Gandjar Kiswanto, Imam Santoso, Tae Jo Ko)	774
MN-12	<i>Microcellular Injection Molding</i> Sebagai Alternatif Dalam Pembuatan Produk Plastik (Dinny Harnany, I Made Londen Batan, Ajun Hakiki)	778
MN-13	Aplikasi Metode Design for Assembly (DFA) dalam Rangka Perancangan dan Pengembangan Produk Studi Kasus pada Pengembangan Body Mobil Berbahan Komposit (I Made Londen Batan, P. Rangga S., Kholiq D.Radyanto)	782
MN-14	Pengaruh Kebulatan Benda Kerja Hasil Proses Mesin Agma A-8 (Suhaeri, Udink Aulia, Aidil Putra)	788
MN-20	Pembuatan Arang Aktif Limbah Serbuk Gergajian Industri Rumah Kayu di Kelurahan Woloan Kota Tomohon (Jenly D.I. Manongko)	792
MN-21	Perhitungan Kompleksitas Proses <i>Sand Casting</i> dengan Pembuatan Core secara Otomatis melalui Perangkat Lunak Sederhana berbasis Labview untuk Otomasi Perhitungan; Studi kasus: Komponen Pompa (Ridani Faulika, Hendri Dwi Saptioratri Budiono)	797
MN-23	Pengembangan Pengenalan Gerak-Isyarat Tangan untuk operasi <i>Virtual Assembly</i> menggunakan <i>Motion Glove</i> (Gandjar Kiswanto, Arya Senna Abdul Rachman, Albert Koto Indardyo)	804
MN-24	Pelapisan Listrik Khrom pada Produk Kuningan Industri Rumah Tangga di Sumatera Barat dengan Sumber Energi Baterai 60 A 12 V (Asfarizal Saad, Nurzal)	810
MN-25	Perancangan <i>Micro Mold</i> dalam Pembuatan <i>Wax Pattern</i> pada Proses <i>Investment Casting</i> Untuk Aplikasi Bracket Orthodontic (Sugeng Supriadi, Tito Winnerson Sitanggang, Gandjar Kiswanto, Tjokro Prasetyadi)	815
MN-26	Pengembangan Sistem Antarmuka pada Aplikasi Pendeteksi Persentuhan antara Mata Pahat dan Benda Kerja menggunakan Piezoelektrik Pasif (Gandjar Kiswanto, Teguh Santoso)	821

MATERIAL (MT)

MT-01	Perbaikan Sifat Mekanik Komposit Lempung Silika RHA untuk Aplikasi Bata Merah yang Berkualitas (Ade Indra, Nurzal, Hendri Norfianto)	829
MT-02	Kaji Eksperimental Efek Prilaku Briket Kokas Dengan Menggunakan Material Perekat Berbasis Dapat Diperbaharui (Khairil, Mahidin, Iskandar, Ibrahim)	836
MT-03	Pengaruh Pendinginan Cepat pada Baja Karbon Medium yang di Histerisis Terhadap Perubahan Sifat Mekanik (Pratiwi DK, Fusito HY ,Sampurno RD, Farizal SH)	841
MT-04	Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Menggunakan Perekat Damar (Akram Akram, Samsul Rizal, Syifaul Huzni)	845
MT-05	Pengaruh Campuran Epoksi Resin (Er) terhadap Hardener Resin (Hr) Pada Sifat Mekanis Matriks Komposit (Zulkifli Djafar, Jamasri, Heru S.B. Rochardjo, J.P. Gentur Sutapa)	853
MT-06	Pengaruh <i>Post Weld Heat Treatment</i> (PWHT) T6 Pada Aluminium Alloy 6061-O Dan Pengelasan Longitudinal Tungsten Inert Gas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro (Gunawan Dwi Haryadi, Yusuf Umardani, Agy Randhiko, Agus Tri Hardjuno)	858
MT-08	Pengaruh Jumlah Lapisan Material Target Terhadap Ketahanan Balistik Lembaran Baja (Rusnaldy, Ismoyo Haryanto, Norman Iskandar, Binar Ade Anugra, Ahmad Zaedun)	864

MT-09	Karakteristik Mekanik dan Struktur Mikro Kawat Titanium sebagai Fungsi Tingkat Deformasi untuk Aplikasi Restorasi Gigi (Gunawarman, Ilhamdi, Victor Martin, Jon Affi, Lanang Aidil)	870
MT-10	Mikrostruktur dan Kekerasan Baja Karbon Rendah Setelah Uji Tarik terhadap Metoda Perlakuan Panas (Nofriady Handra, Ismet Eka Putra)	876
MT-11	Korosivitas Isolat Bakteri Bahan Bakar Minyak Terhadap Baja Karbon dalam Lingkungan Kelautan (Johannes Leonard)	881
MT-12	Kajian Eksperimental Sifat Gesek dan Keausan Lapisan Diamond Like Carbon (DLC) dalam Lingkungan Biodiesel (Zahrul Fuadi, Rian Satrizan, M. Tadjuddina, Irwansyaha)	887
MT-13	Unjuk Kerja Fiber Metal Laminate Aluminium-Fiberglass-Bambu Terhadap Impak Berkecepatan Rendah (L. Rhangga Aditya Warman, Sugiman, Agus Dwi Catur)	892
MT-14	Karakteristik Perbaikan Retak Blok Mesin dengan Las Oksi-Asetilen (Triyono, Nurul Muhayat, Zuhri Nurisna)	899
MT-15	Pengaruh Waktu Sinter terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Aluminium yang Diperkuat Serbuk Limbah Geothermal (Sulardjaka, C. Wahyudianto)	906
MT-16	Studi Eksperimental Fenomena Kapilaritas pada Beton Bertulang Sehubungan dengan Korosi Baja Tulangan (Helena Carolina Kis Agustin, Ika Dewi Wijayanti)	910
MT-17	Pengaruh Perlakuan Panas Austempering Pada Besi Tuang Nodular FCD 600 Non Standar (Indra Sidharta, Putu Suwarta, Moh Sofyan, Wahyu Wijanarko, Sutikno)	915
MT-19	Penelitian Sifat Termal dan Mekanik Komposit Serat Karbon (Fadhil, Muhammad Andira Mulia Siregar, Sugeng Supriadi, Yulianto S Nugroho)	920
MT-20	Mekanisme Aus Baja Karbon (C 0.65%) Akibat Beban Kontak Gelinding-Luncur Dua Arah Berlawanan (I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Made Gatot Karohika, I Putu Lokantara, I Putu Adi Wahyudi)	928
MT-21	Pengaruh Karburisasi Padat dengan Katalisator Cangkang Kerang Darah (CaCO ₂) Terhadap Sifat Mekanik dan Keausan Baja St. 37 (Ilyas Jamal, Mukhtar Rahman, Arsyad Abdullah)	933
MT-22	Peningkatan Ketahanan Korosi Load Bearing Medical Implant SS304 pada Media Simulated Body Fluid (SBF) dengan Metode Shot-peening (Sunardi, Priyo Tri Iswanto)	937
MT-25	Studi Pengaruh Palm Oil Fly ash Terhadap Sifat Mekanis dan Mikrostruktur pada Pembuatan Metal Matrix Composite dengan Metode Casting (Tugiman, Suprianto)	943
MT-26	Biomimetik Struktur Lotus Untuk Aplikasi Permukaan Hidrofobik Menggunakan Polydimethylsiloxane Sebagai Bahan Cetakan (Taufiq Andrianto, Sugeng Supriadi)	949
MT-27	Proses Pembriketan Binderless Temperatur Rendah pada Batubara Muda Indonesia (Adrian R Irhamna, Pandji Prawisudha, Toto Hardianto, Aryadi Suwono)	956
MT-28	Studi Karakteristik Termal Briket Cangkang Biji Karet (Dwi Irawan, Agus Surandono)	964
MT-29	Pengaruh Komposisi Briket Biomassa Kulit Kacang Tanah Dan Arang Tongkol Jagung Terhadap Karakteristik Briket (Nurchayati, Purnawarman, Yesung Allo Padang)	970
MT-30	Pengaruh Penambahan Fe terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Paduan Aluminium 7% Silikon (Al-7%Si) (Is Prima Nanda)	976

NAVAL TECHNOLOGY (NVL)

NVL-01	Peningkatan Efisiensi Pelayanan Peti Kemas Ekspor Pada Pelabuhan Terminal Petikemas Dengan Pendekatan Define, Measure, Analyze, Improve, And Control (Sunaryo, Handika Sembiring)	983
NVL-02	Model Estimasi Anggaran dan Biaya Konstruksi Pembangunan Kapal (Studi Kasus : Hull Construction pada Kapal Tanker 6500 DWT) (Dendi Adi Saputra M, Triwilaswandio WP, Adjar Pratoto)	990

AUTHOR INDEX996

Diagnosa Kerusakan Roda Gigi Dengan Sinyal Getaran

A. Widodo^{a*}, Dj. Satrijo^b dan I. Haryanto^c

Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang 50275 Indonesia
Email: ^{a*}awid@undip.ac.id, ^bdjsatrijo@gmail.com, ^cismoyo2001@yahoo.de

Abstrak

Artikel ini membahas deteksi dan diagnosa kerusakan roda gigi dengan menggunakan sinyal getaran. Deteksi dan diagnosa kerusakan roda gigi dilakukan dengan memakai metode pendekatan waktu-frekuensi (*time-frequency*) dan analisis transformasi wavelet kontinyu (*continuous wavelet transform*) kemudian hasilnya dibandingkan dengan penggunaan metode analisis *cepstrum*. Studi eksperimen dilakukan dengan pengujian roda gigi pada kondisi normal, aus dan patah satu gigi. Sinyal getaran diakuisisi dari *test-rig* menggunakan tiga buah akselerometer, sedangkan data putaran poros diambil dengan sensor *tachometer* optik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa analisis sinyal domain frekuensi dengan *fast-fourier transform* (FFT) kurang sensitif terhadap kondisi roda gigi aus maupun patah. Namun demikian, metode *short-time fourier transform* (STFT) dapat memonitor adanya kerusakan pada roda gigi. Metode transformasi wavelet terbukti cukup baik untuk mendeteksi adanya cacat atau kerusakan pada roda gigi. Pada penelitian ini, metode wavelet dilakukan pada sinyal getaran roda gigi yang sebelumnya sudah dilakukan proses *time synchronous averaging* (TSA).

Kata kunci: Roda gigi, Getaran, Diagnosis, Wavelet, *Time synchronous averaging*, *Cepstrum*.

Pendahuluan

Teknik untuk mendiagnosa kerusakan roda gigi yang paling populer adalah dengan mengambil sinyal getaran dari roda gigi melalui sensor akselerometer yang dipasang pada rumah roda gigi tersebut. Target yang akan dituju dari kegiatan diagnosa adalah untuk mendeteksi adanya kerusakan serta jenis kerusakan yang terjadi pada tahap awal kerusakan yang selanjutnya digunakan untuk memantau perkembangan kerusakan tersebut sehingga bisa diperkirakan sisa umurnya. Pada metode diagnosa menggunakan sinyal getaran, komponen sinyal yang paling utama adalah frekuensi *mesh* (*gear mesh frequency*-GMF) beserta komponen harmoniknya serta sinyal *sidebands* yang terletak di kiri dan kanan frekuensi-frekuensi dominan. Jumlah dan besarnya amplitudo *sidebands* dapat menunjukkan indikasi adanya kerusakan pada roda gigi beserta sumber penyebabnya [1].

Analisis *cepstral* sudah banyak dipakai untuk pemantauan kondisi roda gigi. Metode *cepstrum* merupakan metode yang sesuai untuk mendeteksi *sidebands* pada spektrum getaran serta merupakan fitur yang dapat merepresentasikan kondisi roda gigi. *Cepstrum* dapat memperkirakan rerata spasi *sidebands* pada rentang frekuensi yang lebar sehingga mampu menentukan periodisitas

sidebands dengan cukup akurat. Karena itulah metode *cepstrum* bisa diterapkan untuk deteksi dan diagnosa roda gigi [2].

Analisis spektral yang lain adalah *spectral correlation density* (SCD) pada sinyal getaran untuk mencari korelasi antara frekuensi harmonik pada saat meshing dengan *sidebands* yang dihasilkan. SCD ini merupakan karakteristik spektrum primer yang dihasilkan oleh roda gigi cacat. Oleh karenanya, SCD bisa diterapkan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi kecacatan pada roda gigi [3].

Kecacatan pada roda gigi, misalnya retak, akan memberikan sinyal eksitasi impak (*transient*) pada saat meshing dengan roda gigi pasangannya. Karena itu, sinyal tersebut bisa dianggap sebagai sinyal non-stasioner. Kebanyakan metode sistem pengolah sinyal didasarkan pada asumsi bahwa sinyal yang ditinjau adalah stasioner. Oleh sebab itu, sistem pengolah sinyal biasa kurang sesuai untuk mendeteksi fenomena dinamik yang berlangsung singkat (*short-duration*) seperti sinyal impak. Sebaliknya, aplikasi metode pendekatan distribusi waktu-frekuensi melalui STFT maupun WT lebih cocok digunakan untuk menganalisis fenomena sinyal karena impak [4-5].

Sudah dijelaskan di depan bahwa analisa spektrum sederhana biasanya tidak mampu untuk mendeteksi adanya kerusakan pada roda gigi pada

tahap awal, oleh sebab itu banyak peneliti mengajukan teknik diagnosa roda gigi yang lebih akurat dalam mendeteksi kerusakan yang terjadi.

Makalah ini bertujuan untuk memeriksa dan membandingkan beberapa metode deteksi dan diagnosa kerusakan roda gigi dengan tujuan memperoleh metode yang paling efektif berdasarkan data eksperimen.

Dasar Teori

1. Time synchronous averaging (TSA)

TSA adalah sebuah teknik pengolahan sinyal dimana komponen periodik sinyal diekstrak dari sinyal yang mengandung derau (*noisy signal*). Penggunaan TSA sesuai untuk analisis sinyal roda gigi, dimana metode ini memisahkan fitur sinyal getaran roda gigi terhadap sinyal-sinyal lain beserta sumber derau yang tidak sinkron dengan sinyal roda gigi tersebut.

Rumus TSA dapat dinyatakan sebagai berikut [6]

$$y_{av}(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(t+nT) \quad (1)$$

dimana N adalah besarnya putaran (rpm), n menyatakan jumlah sampling data tiap putaran dan T adalah perioda.

2. Short-time fourier transform (STFT)

Metode STFT dilakukan dengan cara memindahkan *time windowing* sepanjang pengukuran dan mendapatkan *fourier spectrum* sebagai fungsi dari pergeseran waktu (*time-shift*). Rumus dari STFT ditunjukkan di bawah ini [7]

$$x(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\omega(t-\tau)e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

dimana ω adalah fungsi jendela dan $x(t)$ adalah sinyal yang akan ditransformasi.

3. Transformasi wavelet

Transformasi wavelet merupakan sebuah fungsi konversi yang dapat digunakan untuk membagi suatu fungsi atau sinyal ke dalam komponen frekuensi yang berbeda, yang selanjutnya komponen-komponen tersebut dapat dipelajari sesuai dengan skalanya. Wavelet merupakan sebuah fungsi variabel real x , diberi notasi ψ dalam ruang fungsi $L^2(\mathbb{R})$. Fungsi ini dihasilkan oleh parameter skala dan translasi, yang dinyatakan dengan persamaan berikut [8]

$$x(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (3)$$

dimana a dan b masing-masing adalah faktor skala dan parameter translasi, sedangkan ψ adalah fungsi kontinu yang dinyatakan dengan persamaan

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j x - k) ; j, k \in Z \quad (4)$$

Eksperimen

Data akuisisi sinyal getaran dilakukan pada sebuah *back-to-back* test rig roda gigi hasil rancangan sendiri. Sebelumnya roda gigi diberi beban berupa sudut puntir (*twist*) pada poros. Terdapat tiga buah roda gigi yang diambil data getarannya yaitu kondisi normal, aus dan patah satu gigi. Tiga buah sensor akselerometer digunakan untuk mengambil data getaran melalui perangkat DAQ SpectraPad. Sampling rate yang diambil sebesar 5 kHz dengan rentang frekuensi maksimum 6 kHz, jumlah data yang dihasilkan sebesar 40960 data point. Sebuah sensor kecepatan putaran juga digunakan berupa sensor optik dari Lattice Instr., guna keperluan akuisisi sinyal putaran poros untuk proses TSA.

Proses data akuisisi sinyal getaran disajikan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1 Data akuisisi getaran roda gigi

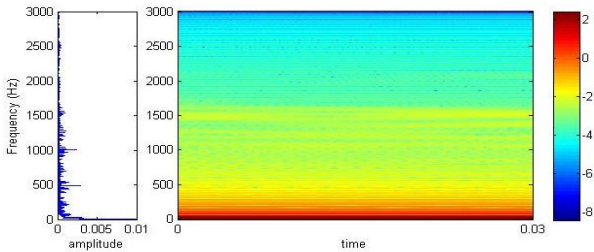


Gambar 2 Posisi sensor akselerometer

Hasil dan Diskusi

STFT sinyal getaran roda gigi kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 3, dimana parameter frekuensi getaran diplot terhadap waktu.

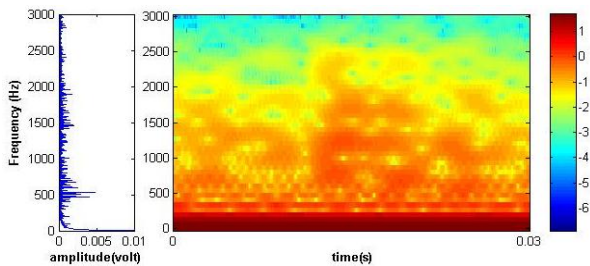
Amplitudo getaran direpresentasikan dengan degradasi warna merah (amplitudo besar) menuju warna biru muda (amplitudo kecil). Untuk roda gigi normal, kondisi degradasi amplitudo yang dihasilkan cenderung teratur dari warna merah, kuning menuju warna biru.



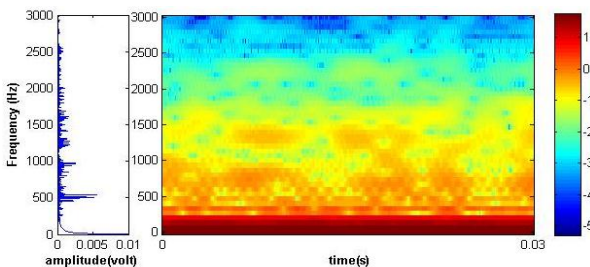
Gambar 3 Plot STFT roda gigi normal

STFT sinyal getaran untuk roda gigi aus dan patah satu gigi ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa amplitudo getaran bertambah besar dan terdistribusi pada sepanjang frekuensi 0-3000 Hz.

Pada roda gigi aus distribusi amplitudo getaran dapat dikatakan cukup tinggi merata ada rentang frekuensi yang diambil. Hal ini terlihat pada dominasi warna merah pada baik frekuensi rendah ataupun tinggi.



Gambar 4 Plot STFT roda gigi aus



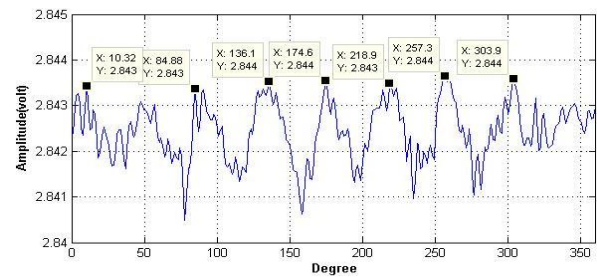
Gambar 5 Plot STFT roda gigi patah

Pada roda gigi yang patah, kondisi STFT dengan amplitudo tinggi secara signifikan dicapai pada frekuensi di sekitar 500 Hz beserta kelipatannya. Jika dibandingkan dengan kondisi roda gigi aus, distribusi warna merah (amplitudo tinggi) tidak merata pada seluruh rentang frekuensi pengambilan data, tetapi hanya pada

spot tertentu, serta amplitudo mengecil (warna biru) pada daerah frekuensi tinggi.

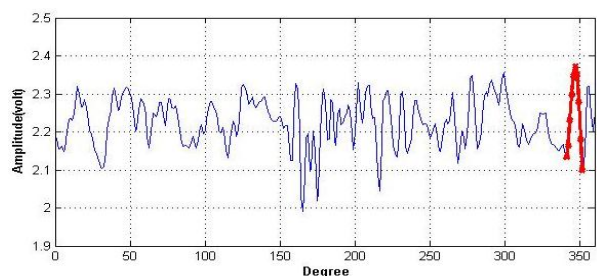
Kondisi TSA untuk roda gigi normal memiliki pola yang cukup beraturan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Amplitudo getaran pada seluruh daerah sudut putaran roda gigi relatif sama.

Namun demikian pada roda gigi aus, pola sinyal getarannya berubah menjadi tidak beraturan pada seluruh daerah sudut putaran, demikian juga besar amplitudo getarannya. Keausan dapat dikatakan dimulai pada sudut putar 160° dari referensi yang mana ditunjukkan oleh naiknya frekuensi getaran pada daerah tersebut sampai pada sudut 300°. Amplitudo getaran yang signifikan ditunjukkan dengan tanda merah pada sinyal TSA (Gambar 7).

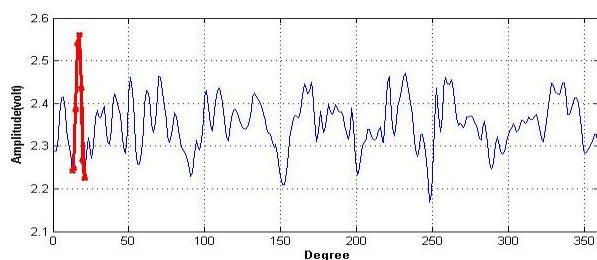


Gambar 6. TSA getaran roda gigi normal

Roda gigi dengan kondisi patah satu gigi juga memberikan pola sinyal getaran yang berbeda sepanjang sudut putarannya. Gambar 8 menunjukkan adanya daerah cacat patah gigi terjadi pada sudut putar sekitar 20°, ditandai dengan adanya peningkatan frekuensi getaran serta naiknya amplitudo (warna merah) pada daerah tersebut.



Gambar 7. TSA getaran roda gigi aus

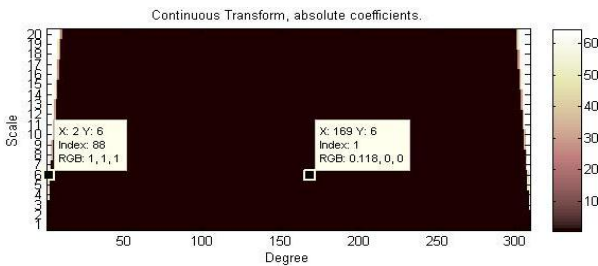


Gambar 8. TSA getaran roda gigi patah

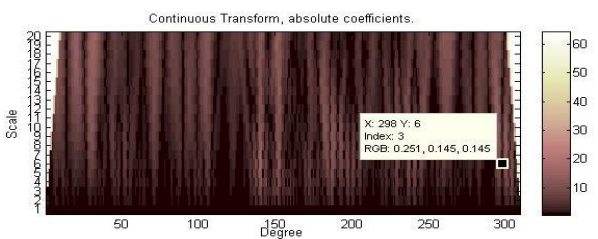
Analisis sinyal getaran roda gigi kondisi normal, aus dan patah satu gigi dengan menggunakan wavelet ditampilkan pada Gambar 9-11. Presentasi transformasi wavelet kontinu (CWT) untuk sinyal getaran kondisi normal menunjukkan skala koefisien yang relatif seragam (Gambar 9). Sedangkan untuk kondisi roda gigi aus menampilkan distribusi koefisien wavelet kontinu yang berbeda terutama pada sudut putar 160° (dari referensi) dimana kondisi aus berada (Gambar 10).

Gambar 11 menunjukkan kondisi koefisien wavelet untuk sinyal roda gigi patah. Pada sudut putar sekitar 20° menunjukkan pola yang berbeda yaitu adanya frekuensi getaran yang relatif tinggi dibandingkan dengan daerah sudut putar yang lain.

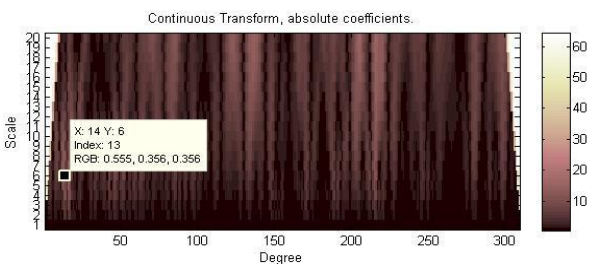
Observasi dari presentasi STFT, TSA maupun CWT menunjukkan kemampuan metode tersebut mendeteksi adanya kecacatan yang terdapat pada roda gigi secara jelas berdasar frekuensi, amplitudo serta lokasi (relatif) daerah cacat.



Gambar 9 CWT sinyal roda gigi normal

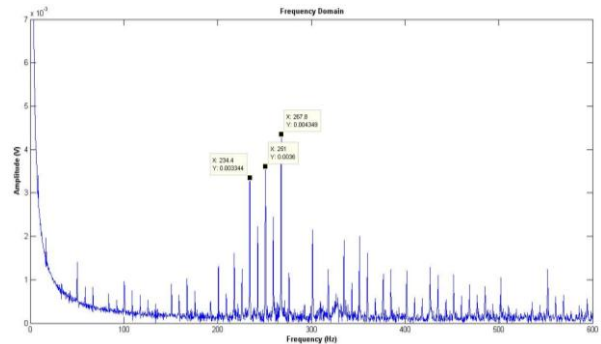


Gambar 10 CWT sinyal roda gigi aus



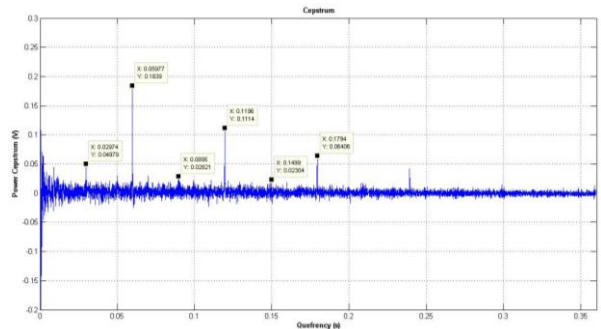
Gambar 11 CWT sinyal roda gigi patah

Sebagai perbandingan antara metode di atas dengan metode FFT dan *cepstrum*, maka ditunjukkanlah (sebagai contoh kasus) hasil FFT serta *cepstrum* untuk kondisi roda gigi aus. Gambar 12 menyajikan hasil FFT sinyal getaran roda gigi pada kondisi aus. Dari Gambar 12 tersebut terlihat banyak sekali puncak-puncak amplitudo yang muncul beserta *sidebands*-nya, sehingga deteksi kerusakan cukup sulit dilakukan meskipun *gear mesh frequency* (GMF) dapat ditentukan sebelumnya, yaitu sebesar 250 Hz.



Gambar 12 FFT sinyal getaran roda gigi aus

Tampilan *cepstrum* untuk sinyal getaran roda gigi aus ditunjukkan pada Gambar 13. Munculnya puncak-puncak yang sangat dominan pada *cepstrum* tersebut sangat memudahkan deteksi kecacatan pada roda gigi. Namun demikian, metode FFT dan *cepstrum* tidak mampu untuk mengestimasi lokasi relatif kecacatan berada menurut sudut putarnya.



Gambar 13 Cepstrum getaran roda gigi aus

Kesimpulan

Artikel ini membahas beberapa metode untuk mendeteksi dan mendiagnosa kecacatan roda gigi berdasarkan sinyal getaran. Kasus deteksi roda gigi yang dibahas pada artikel ini adalah normal, aus dan patah satu gigi.

Penggunaan STFT mampu menampilkan perbedaan distribusi amplitudo getaran terhadap

frekuensinya. Namun, lokasi relatif kecacatan tidak bisa ditampilkan dengan STFT. Penggunaan TSA dan CWT mampu menentukan lokasi relatif kecacatan berdasarkan sudut putar, serta perubahan frekuensi pada saat melewati daerah cacat.

Metode FFT bisa digunakan untuk mendeteksi adanya kecacatan pada roda gigi berdasarkan munculnya *sidebands* di sekitar GMF. Namun demikian, seringkali ditemui banyaknya derau (*noise*) yang muncul sehingga menutupi puncak dominan dan *sidebands* tersebut, karena itu deteksi menjadi sulit. Metode *cepstrum* cukup bagus untuk deteksi kecacatan pada roda gigi karena dapat memunculkan puncak cepstrum yang sangat dominan pada *quefreny* tertentu beserta rahmoniknya. Baik metode FFT maupun cepstrum tidak bisa menentukan lokasi relatif kecacatan menurus sudut putar roda gigi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Universitas Diponegoro dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI), Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas dukungan pendanaan pada penelitian ini melalui program hibah Penelitian Kompetensi dengan Nomor Kontrak 188-3/UN7.5.1/PG/2014.

Referensi

- [1] R.B. Randall, A new method of modelling gear faults, *J. Mech. Design.* 104 (1982) 259-267.
- [2] R.B. Randall, *Frequency Analysis*, 3rd ed., Bruel&Kjaer Publ., Naerum, Denmark, 1987.
- [3] R. Rubini, M. Sidahmed, Diagnostics of gear system using the spectral correlation density of the vibration signal, *Proceedings of the Symposium on Fault Detection, Supervision, and Safety for Technical Process*, Hull, UK, 1997, pp. 977-982.
- [4] W.J. Staszewski, G.R. Tomlinson, Application of the wavelet transform to fault detection in spur gear, *Mech. Sis. and Signal Proc.* 8(3) (1994) 289-307.
- [5] P.D. McFadden, Application of the wavelet transform to early detection of gear failure by vibration analysis, *Proceeding of an International Conference on Condition Monitoring*, Swansea, UK, 1994, pp. 172-183.
- [6] P.D. McFadden, A revised model for the extraction of periodic waveforms by time domain averaging, *Mech. Sis. and Signal Proc.* 1(1) (1987) 83-95.

[7] J.B. Allen, Short-time spectral analysis, synthesis and modification by discrete fourier transform, *IEEE Trans. On Acoustic, Speech and Signal Proc.* 25(3) (1977) 235-238.

[8] C.K. Chui, *An introduction to wavelets*, Academic Press, San Diego, 1992.