



SNTTM XV

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2016

BUKU PROCEEDING

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN KE-15

Institut Teknologi Bandung
5-6 Oktober 2016

DISELenggarakan OLEH



BADAN KERJASAMA TEKNIK MESIN (BKS-TM)
INDONESIA



FAKULTAS TEKNIK MESIN DAN DIRGANTARA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas karunia-Nya Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XV dapat diterbitkan. SNTTM XV dengan tema “Harmonisasi strategi pemerintah, industri, dan perguruan tinggi menghadapi persaingan masyarakat ekonomi ASEAN (MEA)” diselenggarakan di Aula Barat dan Timur Institut Teknologi Bandung pada 5-6 Oktober 2016, dengan penyelenggara Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.

SNTTM XV yang merupakan perhelatan tahunan terbesar Badan Kerjasama Seluruh Teknik Mesin (BKSTM) telah memberikan nuansa baru, karena untuk pertama kalinya, sesi poster diperkenalkan. Sesi poster ini sendiri diadakan dengan maksud memberikan waktu yang lebih panjang bagi pemakalah untuk berdiskusi lebih mendalam dengan peserta lainnya. Dalam penyelenggaraan kali ini, seluruh poster dipresentasikan dan dilombakan, dimana kemudian terpilih poster terbaik dan presenter poster terbaik. Diharapkan konsep poster ini dapat diteruskan pada SNTTM di masa mendatang.

Penyelenggaraan kali ini telah berhasil menjaring 218 karya ilmiah yang berasal dari 64 institusi. Keseluruhan karya ilmiah yang terjaring, dapat dikomposisikan menurut bidang sebagai berikut: 38,5% konversi energi; 2% pendidikan teknik mesin, 10% teknik produksi mesin; 16,5% material; dan 33% perancangan dan mekanika terapan. Perlu diketahui bahwa setiap makalah yang terjaring telah melalui proses *review* yang cukup ketat guna meningkatkan kualitas prosiding SNTTM XV, sekaligus sebagai wadah pembelajaran mengenai pembuatan makalah dan proses *review* makalah yang baik. Beberapa karya ilmiah terpilih juga ditawarkan untuk diterbitkan dalam Jurnal Mesin, hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan level karya ilmiah teknik mesin ke tingkat yang lebih tinggi.

Salam hangat,

Satrio Wicaksono, S.T., M.Eng., PhD.
Ketua Panitia Pelaksana

PROFIL PEMBICARA UTAMA

Pada rangkaian acara SNTTM XV akan diselenggarakan Sesi Pembicara Utama, Hari Rabu 5 Oktober 2016, pukul 09:00-12:00 WIB. Acara tersebut akan diselenggarakan di Aula Barat kampus Institut Teknologi Bandung. Tiga pembicara yang akan hadir dalam Sesi Pembicara Utama SNTTM XV mewakili bidang Pendidikan, Pemerintahan, dan Industri adalah



Prof. Dr. Djoko Suharto

Guru Besar Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung

Prof. Dr. Ir. Djoko Suharto adalah sosok yang familiar di dunia pendidikan Teknik Mesin di Indonesia. Profesor Teknik Mesin di bidang *Fracture Mechanics* lulusan Pennsylvania State University di Amerika Serikat ini, merupakan Guru Besar di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara (FTMD) ITB.

Ir. I Gusti Putu Suryawirawan

Direktur Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi, dan Elektronika, Kementerian Perindustrian RI



Ir. I Gusti Putu Suryawirawan, adalah tokoh yang tidak asing lagi di Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Di Kemenperin, pria asli Surabaya ini pernah menjabat sebagai Direktur Industri Teknologi Informasi dan Elektronika (2001-2004), Direktur Industri Logam (2005-2010), Direktur Industri Material Dasar Logam (2010-2011), serta Direktur Pengembangan Fasilitas Industri Wilayah I (2011-2015). Atas prestasi dan pengabdianya, beliau pernah meraih penghargaan Satyalanana Karya Satya pada Tahun 1998. Saat ini beliau merupakan Direktur Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi, dan Elektronika Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.

Ir. Primo H. Wirasto, M.Eng

Direktur Operasi PT KSB Indonesia



Ir. Primo H. Wirasto, M.Eng, merupakan insinyur lulusan Jerman yang memiliki segudang pengalaman di dunia industri. Ilmu produksi dan kontrol yang diperolehnya selama di Technische Universität Berlin membuatnya menjadi ahli dalam bidang manajemen produksi dan industri. Beliau pernah bekerja untuk Siemens Indonesia dan menjadi peneliti di Siemens AG – Fraunhofer Institute di Jerman dalam bidang otomasi selama 10 tahun. Sejak Tahun 2005, Ia bergabung dengan PT KSB Indonesia dan menjadi Direktur Operasi PT KSB Indonesia

PANITIA

- A. Penanggung Jawab : Dr. Hari Muhammad, Dekan Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
- B. Panitia Pengarah : 1. Prof. Dr. Zainal Abidin
2. Dr. Ignatius Pulung Nurprasetio
3. Dr. Nathanael Panagung Tandian
4. Rachman Setiawan, Ph.D
- C. Panitia Pelaksana
- I. Ketua Panitia : Dr. Satrio Wicaksono
- II. Promosi, Acara, dan Kesekretariatan : Dr. Indria Herman
1. Lomba dan Desain : Budi Heryadi, ST., MT.
: Balthasar Sebastian Lumbautobing, ST
: Yos Yousef Rabung, ST
: Feryadi Buli, ST
2. Konsumsi dan Logistik : Kurnia Fajar, ST
3. Publikasi dan Dokumentasi : Arif Sugiharto, ST
4. Sekretaris dan Perizinan : Adrian Rizqi Irhamna, ST., MT.
- III. Proposal, Call for Paper, e-journal, dan e-seminar : Dr. M. Agus Kariem
1. E-Journal dan e-seminar : Dr. Sri Raharno
: Dr. Eng. Bentang Arief Budiman
: Ilham Arnif, ST.
: Sofian Kurniawan, ST.
: Ignatius Julian Rinaldi, ST.
: Rizky Ilhamsyah, ST., MT.
2. Koordinator Reviewer : Dr. Arief Hariyanto
3. Koordinator Proceeding : Dr. Eng. Pandji Prawisudha
- IV. Bendahara, Dana, dan Sponsorship : Abdul Hakim, ST., MSc.
Sponsorship : Gea Fardias Mu'min, ST., MT.
- V. Tim Pendukung : Suci Ambarwati, S.Sos.
: Sutomo, S.Sos.
: Yanti Nurhayanti, S.Sos
: Kirna Rusmana
: Wowo Warsono, A.Md
: Wikky Arizal, A.Md
: Adita Laila Salam
: Dinah Yuliana
: Jupri
: Riki Didin Hidayat

TOPIK MAKALAH

1. Konversi Energi (**KE**)
2. Material (**MT**)
3. Pendidikan Teknik Mesin (**PD**)
4. Perancangan dan Mekanika Terapan (**PM**)
5. Teknik Produksi (**TP**)

TENTANG BKS-TM

Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia (BKS-TM) adalah suatu organisasi yang dibentuk pada pertemuan ketua jurusan/program studi/departemen Teknik Mesin perguruan tinggi se-Indonesia pada tanggal 29 Mei 2002 di Jurusan Teknik Mesin ITS. Anggota dari BKS-TM adalah lembaga pendidikan tinggi yang menyelenggarakan pendidikan teknik mesin atau yang sejenis.

Tujuan pendirian BKS-TM adalah sebagai:

- 1) Menciptakan kondisi yang kondusif untuk meningkatkan kerja sama antar perguruan tinggi teknik mesin dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi.
- 2) Meningkatkan interaksi perguruan tinggi anggota dengan lembaga lain.
- 3) Meningkatkan sumber daya anggota dalam menjawab tantangan dan persaingan.

Saat ini keanggotan BKS-TM sudah mencapai 30 program studi Teknik Mesin yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



TENTANG SNTTM

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh BKS-TM sebagai sarana untuk berbagi riset dan teknologi terbaru serta berbagi pengalaman terhadap pemecahan permasalahan di bidang keilmuan teknik mesin dalam lingkup nasional. Konferensi ini juga memberi kesempatan kepada para akademisi, pihak industri, komunitas, maupun para penentu kebijakan untuk membahas aktivitas dan kolaborasi di masa depan.

Setelah sebelumnya berhasil diadakan sebanyak empat belas pertemuan, SNTTM yang ke-XV akan diadakan di Institut Teknologi Bandung pada tanggal 5-7 Oktober 2016.

DAFTAR ISI

KONVERSI ENERGI

KE-001	PENGARUH BROWN GAS (HHO) YANG MENGGUNAKAN KATALIS STAINLESS DALAM GENERATOR GAS TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR <i>Wawan Trisnadi Putra, Muh Malyadi</i>	1
KE-002	ANALISA JARAK ANTARA DUA SELINDER BERPENAMPANG ELLIP TERHADAP TEKANAN ALIRAN UDARA PADA DINDINGNYA <i>Dewi Puspitasari, Kaprawi S.</i>	9
KE-003	THERMAL EFFICIENCY IMPROVEMENT TO AN EXISTING 420 MW REHEAT-REGENERATIVE SUB-CRITICAL RANKINE CYCLE BY REARRANGEMENT AND ADDITION OF FEEDWATER HEATER SYSTEM <i>I. 'Aliman*, S. Samnang, T. Hardianto, and H. Riyanto</i>	14
KE-004	STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PEMBUANGAN PANAS KONDENSOR TERHADAP UNJUK KERJA MESIN REFRIGERASI YANG MENGGUNAKAN KOMPRESSOR HERMETIK <i>Budi Santoso *, Budi Kristiawan, dan Fadil Rizkiyanda</i>	22
KE-005	ANALISIS KOMPUTASI PENGARUH GEOMETRI MUKA DAN KONTROL AKTIF HISAPAN TERHADAP KOEFISIEN HAMBATAN PADA REVERSED AHMED MODEL <i>Rustan Tarakka*, A. Syamsul Arifin P. dan Yunus Fa Bate</i>	30
KE-007	SIMULASI PEMBAKARAN SAMPAH KOTA PADA TUNGKU INSINERATOR MINI TRAVELING GRATE DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS <i>Isnain 'Aliman*, Ari Darmawan Pasek</i>	35
KE-008	RANCANG BANGUN MESIN PENERING HYBRID TIPE KONVEYOR OTOMATIS <i>Yefri Chan, Yendi Esye</i>	43
KE-009	INFLUANCE OF POSITION AND SPACE OF SERPENTINE TUBE IN ENCLOSURE TO NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER COEFISIEN <i>I Gusti Ketut Sukadana , I Wayan Nata Septiadi</i>	48
KE-010	PENGARUH VARIASI TEKANAN TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBENTUKAN GAS HIDRAT PROPANA BUTANA <i>Widya Wijayanti</i>	54
KE-011	UNJUK KERJA AC MOBIL DENGAN REFRIGERAN LPG-CO2 PADA BERBAGAI VARIASI KANDUNGAN CO2 DAN BEBAN PENDINGINAN <i>Mega Nur Sasongko*, Andi Pramana, Arif Mukhlisin</i>	61
KE-012	ANALISA TERMAL PADA RUANG TRANSMISI DENGAN PERBANDINGAN SUHU HASIL EKSPERIMEN DAN SIMULASI <i>M. Sabri, Surya , dan Nixon Randy</i>	65

PD-004	PENDEKATAN PELAKSANAAN PEMBELAJARAN BERDASARKAN LUARAN (OUTCOME BASED EDUCATION) DAN WASHINGTON ACCORD <i>Darwin Sebayang, Haris Wahyudi, Nurato</i>	775
--------	--	-----

PD-005	PENDIDIKAN TINGGI TEKNIK DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI ; <i>ULTRA-MARATHON</i> MENUJU 17000 US DOLLAR PERKAPITA <i>Djoko Suharto*, Arief Haryanto, Satrio Wicaksono, Bentang Arief Budiman</i>	786
--------	--	-----

PERANCANGAN DAN MEKANIKA TERAPAN

PM-002	ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR UNDER FRAME KERETA AKIBAT TABRAKAN <i>Bagus Budiwantoro*, IGN Wiratmaja Puja, Muhammad Agus Kariem dan Henry Rihard Pasaribu</i>	792
--------	---	-----

PM-003	EVALUASI DESAIN TUTUP BEJANA TIPE HEMISPHERICAL BERTEKANAN UDARA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DAN EKSPERIMENTAL <i>Asbar R, Amir Zaki Mubarak, Sabri, Asmanuzar</i>	798
--------	--	-----

PM-004	PENGARUH PENGATURAN ALIRAN UDARA TERHADAP REDUKSI KEBISINGAN PADA KIPAS <i>Rachmat Sriwijaya*, Gusti Pryandaru, Teguh Pudji Purwanto</i>	804
--------	--	-----

PM-005	SINGLE FIBER FRAGMENTATION TEST FOR EVALUATING FIBER-MATRIX INTERFACIAL STRENGTH: TESTING PROCEDURE AND ITS IMPROVEMENTS <i>Bentang Arief Budiman*, Djoko Suharto, Kikuo Kishimoto, Farid Triawan, Kosuke Takahashi, Kazuaki Inaba</i>	809
--------	--	-----

PM-006	ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR UPPER FRAME KENDARAAN METRO KAPSUL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN <i>Faiz Febrianto dan I Wayan Suweca</i>	817
--------	--	-----

PM-007	RANCANG BANGUN MESIN PENUMBUK CANGKANG KALAMBUAI <i>Sobar Ihsan</i>	822
--------	---	-----

PM-008	PENGARUH URUTAN LAS TERHADAP DEFORMASI LAS PADA PENGELASAN CHASSIS MOLINA UGM <i>Subarmono*, Rachmat Sriwijaya, BN Ghupta dan K Yunanto</i>	826
--------	---	-----

PM-009	PENGEMBANGAN PAYUNG PNEUMATIC BERBASIS MIKROKONTROLER. <i>Gusti Rusydi Furqon Syahrillah, ST., MT, , M. Firman ST. MT, Irfan., ST., MT</i>	830
--------	--	-----

PM-010	DETEKSI DINI KERUSAKAN TRANSMISI DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS VIBRASI <i>M. Sabri*, Redman Wijaya dan Harris Kristanto</i>	834
--------	---	-----

PM-011	SIMULASI DAN EKSPERIMENTAL PERBEDAAN KEBISINGAN PADA TRANSMISI SEBELUM PERBAIKAN DAN SETELAH PERBAIKAN PADA TAHAP TRANSMISI 3 DAN 4 <i>M.Sabri * , Nordick Huywen dan Willy</i>	844
PM-012	PERANCANGAN ALAT ANGKUT TANDAN BUAH SEGAR UKURAN MINI DI KEBUN KELAPA SAWIT <i>Soeharsono * , Tono Sukarnoto , Jamal M Afiff dan M Ihrom Maulana</i>	851
PM-013	PENGARUH PERUBAHAN JARAK AKSIAL DUA ROTOR TERHADAP DAYA MEKANIK YANG DIHASILKAN DALAM COUNTER ROTATING WIND TURBINE (CRWT) <i>Hermawan dan M. A. Bramantya</i>	859
PM-014	STUDI SIFAT FISIK DAN TRIBOLOGI DARI MINYAK KELAPA DAN MINYAK SAWIT SEBAGAI ZAT ADITIF <i>Dedison Gasni* ,Ismet Hari Mulyadi , Jon Affi dan Muhammad Arif</i>	865
PM-015	VARIASI PISAU POTONG DAN FEEDING PADA MESIN PENCACAH DAN PEMISAH SAMPAH ORGANIK DAN SAMPAH PLASTIK UNTUK MENGHASILKAN SERPIHAN SAMPAH ORGANIK YANG LEBIH KECIL <i>I G.P. Agus Suryawan, I Wayan Widhiada, I Putu Lokantara, A.A. Ngurah Dwi Rendragraha</i>	874
PM-016	PEMODELAN MEKANISME PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) TIPE PELAMPUNG-PIEZOELECTRIC <i>Yabes David L. , Wiwiek Hendrowati</i>	881
PM-017	PERANCANGAN DASAR SISTEM KESELAMATAN PASIF KERETA PENUMPANG KELAS 1 (KERETA K1) <i>I Gede Sattvika Satya Dharma, I Wayan Suweca, Rachman Setiawan</i>	889
PM-018	ANALISA NUMERIK PEMBERIAN SLIP DAN TEKSTUR UNTUK PENINGKATAN PERFORMANSI PELUMASAN PADA BEARING <i>Mohammad Tauviqirrahman*,Eflita Yohana dan Arif Rachman Hakim</i>	897
PM-019	PERANCANGAN KENDARAAN DARAT TANPA AWAK (UNMANNED GROUND VEHICLE) UNTUK MISI PEMANTAUAN BENCANA <i>Naufal Arif Prasetyo dan Herianto</i>	904
PM-020	EFFECT OF TEMPERATURE ON WEAR OF AMORPHOUS CARBON COATED STAINLESS STEEL LUBRICATED BY PALM METHYL ESTER (PME) <i>Z Fuadi * , M Tadjuddin, Mohd. Iqbal, T Takeno, K Adachi</i>	913
PM-021	DETEKSI KERUSAKAN KOMPRESOR TORAK SATU SILINDER DENGAN SINYAL GETARAN <i>Achmad Widodo * , Satrio Budi Prasajo dan Ismoyo Haryanto</i>	916
PM-022	PENGARUH MEDIA DAN KONDISI AGEING PADA KEKUATAN SAMBUNGAN PEREKAT BAJA-KOMPOSIT FIBERGLASS/POLYESTER <i>Sugiman Sugiman* , Paryanto Dwi Setyawan</i>	923

Deteksi Kerusakan Kompresor Torak Satu Silinder Dengan Sinyal Getaran

Achmad Widodo*, Satrio Budi Prasajo dan Ismoyo Haryanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang, 50275, Indonesia. Telp. +62247460059

*email: awidodo2010@gmail.com

Abstrak.

Kompresor torak merupakan jenis kompresor yang paling tua yang didesain untuk produksi secara massal. Hingga saat ini, jenis kompresor torak ini masih menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang karena kelebihanannya yaitu mampu memberikan kompresi udara yang tinggi dan laju aliran rendah. Ada banyak kasus kerusakan pada kompresor torak misalnya, kerusakan pada katup, *wrist pin*, dan *crank pin bore* pada *connecting rod*. Pada makalah ini, deteksi kerusakan kompresor torak satu silinder akibat katup buang yang malfungsi dan kerusakan pada *pin bore* akan dikaji berdasarkan sinyal getaran. Analisis sinyal domain waktu dan frekuensi menjadi dasar utama dilengkapi dengan fitur spektrogram dan auto-korelasi dua dimensi. Pola-pola sinyal hasil getaran dianalisis melalui plot fitur sinyal getaran, kemudian dibandingkan antara kondisi kompresor normal dan kompresor yang mengalami kerusakan sebagaimana disebutkan diatas. Dengan cara perbandingan fitur sinyal getaran tersebut, maka deteksi kerusakan kompresor dapat dilakukan.

Kata kunci : Deteksi kerusakan, kompresor, getaran, *spectrogram*, autokorelasi

Pendahuluan

Kompresor torak merupakan jenis kompresor paling tua yang di desain untuk produksi secara massal. Hingga saat ini, jenis kompresor torak ini masih menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang karena kelebihanannya yang fungsional, terutama pada kebutuhan kompresi udara dengan laju aliran yang rendah.

Kompresor torak memiliki rentang ukuran dari yang kecil hingga 15,000 cfm (25,485 m³/h) dengan tekanan yang dihasilkan hingga 60,000 psig (413,790 kPa). Namun tekanan yang digunakan pada aplikasi umum adalah berkisar antara 10 to 300 psig (690 to 2,069 kPa) dan dengan kapasitas kurang dari 2,500 cfm (4,250 m³/h). Efisiensi kompresi bervariasi antara 0.85 dan 0.95. Sedangkan untuk efisiensi mekanisnya berada pada rentang 0.88 to 0.95. Efisiensi total merupakan hasil dari efisiensi kompresi dengan efisiensi mekanisnya [1].

Ada banyak kasus kerusakan yang terjadi pada kompresor torak. Sekitar 36% dari kasus kerusakan yang sering terjadi adalah karena kerusakan pada katup [2]. Pada tahapan desain katup, parameter yang digunakan adalah *sealing* yang baik, kecepatan katup dalam membuka dan menutup, luas aliran serta tahanan aliran yang rendah, dampak yang rendah, serta kemampuan dalam menahan gaya dampak dan temperatur tinggi. Namun, katup yang tidak mampu menahan beban dalam kondisi operasi yang luas, sering mengalami kebocoran pada rasio tekanan rendah dan akan mengurangi umur katup pada kondisi operasi bertekanan tinggi [3].

Komponen lain dari kompresor torak yang rawan mengalami kerusakan adalah pada *crank pin bore* dan *wrist pin*. Komponen tersebut rentan mengalami aus karena gesekan yang terjadi secara terus menerus dengan komponen lain, pada kasus ini dengan *crankshaft* dan dengan piston.

Pendeteksian secara dini dilakukan untuk mencegah level kerusakan yang lebih parah pada kompresor torak.

Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, pendeteksian kerusakan pada katup, *wrist pin* dan *crank pin bore* akan dipelajari dengan melihat karakteristik getaran kompresor. Dengan membandingkan fitur getaran pada kompresor dalam keadaan baik dengan kompresor yang mengalami kerusakan, maka kerusakan akan dapat terdeteksi pada frekuensi getaran yang dengan amplitudo yang tinggi.

Untuk menghindari kesalahan pendeteksian kerusakan, fungsi autokorelasi digunakan dalam pereduksian sinyal noise yang terbaca pada *transducer*. Dengan demikian, hasil akhir fitur getaran yang disajikan dalam domain waktu dan frekuensi akan lebih akurat.

Dasar Teori

Short Time Fourier Transform

Analisis waktu-frekuensi menggabungkan sinyal dalam domain waktu dan frekuensi sehingga metode ini memungkinkan untuk dapat mengetahui fitur transien seperti peristiwa impak yang terjadi pada waktu yang sangat singkat. Analisis ini memungkinkan untuk memantau sebuah kejadian tertentu pada mesin pada frekuensi dan waktu tertentu. Metode ini dikenal dengan nama *short-time fourier transform* (STFT).

Analisis STFT dilakukan dengan cara memindahkan *time windowing* sepanjang pengukuran dan mendapatkan *fourier spectrum* sebagai fungsi dari pergeseran waktu (*time shift*). Namun STFT mempunyai masalah dengan resolusi karena adanya ketidakpastian dalam suatu *time window*. Rumus dari STFT ditunjukkan di bawah ini [4] :

$$S(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - \tau)e^{-j2\pi f\tau} dt \quad (1)$$

Dimana $w(t)$ merupakan *windowing* yang berjalan sepanjang waktu pengukuran. *Window* dapat berupa *finite length* seperti *Hanning window* atau *infinite length* seperti *Gaussian window*.

Amplitudo atau spektra daya diperlihatkan dalam *decibel* (dB) untuk memudahkan melihat sinyal kecil dibandingkan yang besar [4].

$$x(t) = 10 \log \frac{P}{Pr} \quad (2)$$

dimana P adalah daya terukur dan Pr adalah referensi daya. Konvensi yang digunakan sebagai referensi adalah $1 V_{rms}$ untuk 0 dB. Plot dari besarnya nilai STFT disebut sebagai *spectrogram*.

Autokorelasi

Autokorelasi didefinisikan korelasi yang terjadi antar observasi satu atau lebih variable. Autokorelasi merupakan korelasi dari sebuah data *time series* untuk selang waktu (*lag*) yang berlainan. Dalam pendeteksian pola dan gambar, autokorelasi digunakan untuk melihat ada atau tidaknya *periodicity* dari sinyal getaran [5].

Metodologi Penelitian

Metode penelitian disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan penelitian sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Gambar 1 menunjukkan diagram alir proses penelitian yang dilakukan dalam rangka deteksi kerusakan kompresor torak berdasarkan ekstraksi sinyal getaran.

Ekstraksi fitur sinyal getaran dilakukan pada kompresor torak pada kondisi normal dan kondisi abnormal (*faults*) baik dari sinyal domain waktu dan frekuensi. Metode STFT dilakukan pada sinyal getaran dari kompresor dengan beberapa kondisi tersebut di atas. Selanjutnya, dilakukan analisis perbedaan spektrogram dari masing-masing kondisi kompresor. Setelah itu, analisis autokorelasi 2d dilakukan dengan memperhatikan perbedaan pola-pola yang terjadi. Perbedaan signifikan masing-

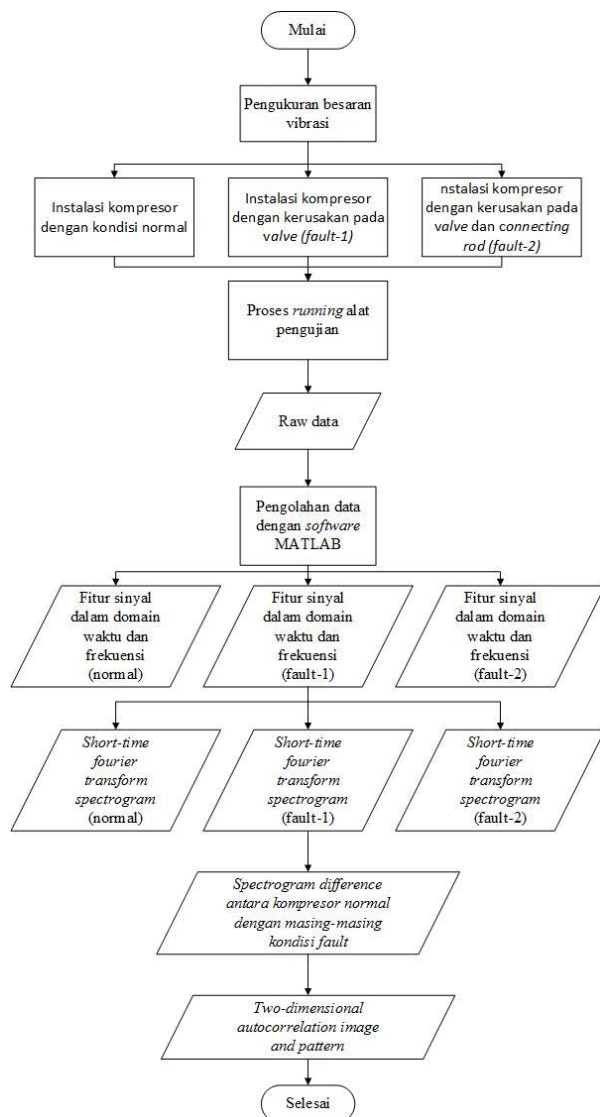
masing pola menunjukkan keberhasilan deteksi kerusakan yang dilakukan.

Eksperimen

Seperangkat alat *machine fault simulator* (MFS) digunakan untuk eksperimen deteksi kerusakan kompresor torak. Spesifikasi kompresor yang digunakan pada eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kompresor torak

Model	MSI 5.2 ML Schulz of America, Inc.
Tekanan Maksimal	120 psig
Daya	1 HP



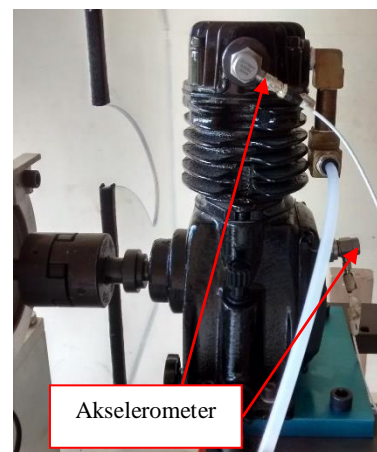
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Kompresor tersebut digerakkan oleh motor listrik dengan daya 1 HP melalui sebuah kopling tetap seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Udara bertekanan sebagai hasil kompresi ditampung dalam tabung.



Gambar 2. Setup kompresor torak pada MFS

Data akuisisi getaran dilakukan dengan memasang dua buah sensor akselerometer pada silinder torak dan poros engkol dengan posisi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Proses data akuisis getaran dilakukan dengan SpectraPad 8 channel i/o melalui software VibraQuest dengan setting frekuensi limit 3600 Hz dan sampling rate 9.216 selama 2,2 detik. Jumlah data sinyal getaran adalah sebesar 20480 baris.



Gambar 3. Lokasi sensor akselerometer

Simulasi kondisi kompresor dengan kerusakan katup dilakukan menutup katup dengan baut pemberat sehingga menghalangi bukaan penuh katup tersebut. Pengkondisian katup ditunjukkan pada Gambar 4.

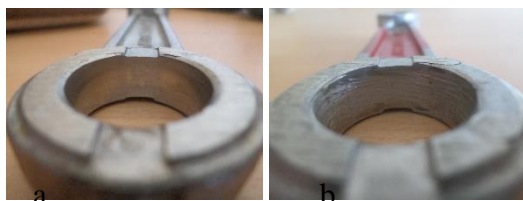


Gambar 4. Katup kompresor torak. (a) normal (b) kondisi rusak

Untuk kondisi kerusakan pada *connecting rod*, poros yang menghubungkan *connecting rod* dengan piston mengalami aus sehingga menghasilkan *clearance*. Sementara pada sisi *crank pin bore* permukaannya dibuat kasar. Kondisi kerusakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



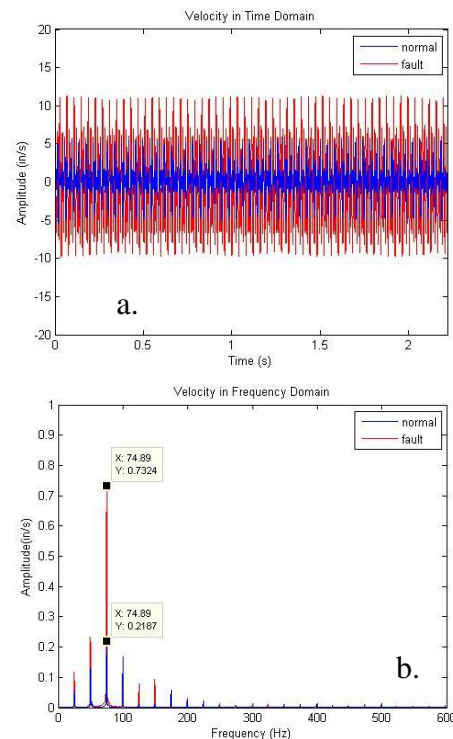
Gambar 5. Wrist pin: a. normal; b. Aus



Gambar 5. Crankpin bore: a. normal; b. aus

Hasil dan Analisis

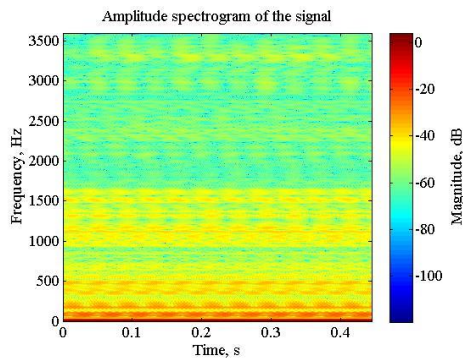
Hasil pengukuran getaran kompresor torak diolah menggunakan *software* MATLAB. Gambar 7 menunjukkan perbedaan sinyal getaran antara kompresor normal dengan kompresor rusak pada domain waktu dan frekuensi.



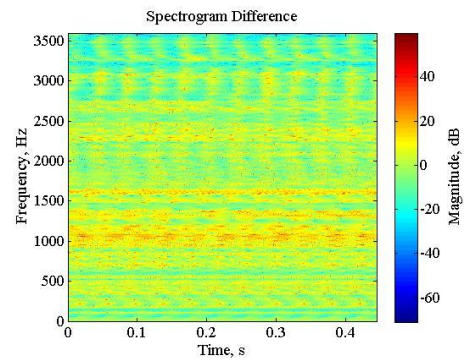
Gambar 7. Sinyal getaran kompresor: a. domain waktu; b. domain frekuensi

Sinyal getaran pada Gambar 7 diambil pada kecepatan putar 1500 rpm dengan pembebanan 100%. Pada gambar tersebut terlihat bahwa terjadi perbedaan amplitudo getaran secara signifikan antara kondisi normal dan *fault*. Kerusakan terjadi pada kompresor dibuktikan dengan munculnya frekuensi harmonik 3X dengan peningkatan amplitudo yang relatif tinggi yaitu dari 0,21 in/det menjadi 0.73 in/det.

Pada analisis spektrogram, digunakan spektrogram pada kondisi normal sebagai referensi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Spektrogram ini menjadi dasar untuk pendeteksian kerusakan pada kompresor torak.

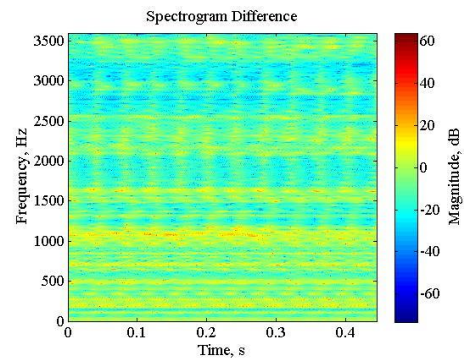


Gambar 8. Spektrogram kondisi normal, 1500 rpm, full load

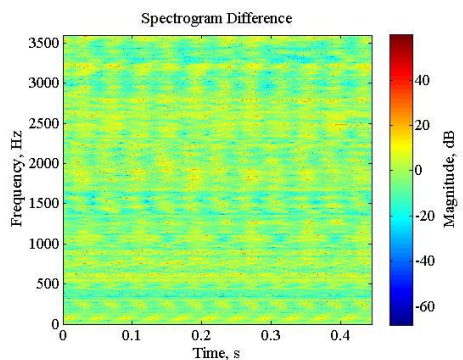


Gambar 11. Matrik beda spektrogram dengan kondisi katup rusak

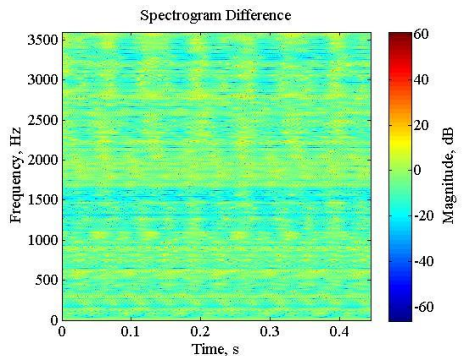
Selanjutnya spektrogram dari berbagai kondisi rusak, akan dibandingkan dengan spektrogram acuan dengan variasi pembebanan dan kecepatan putar (rpm). Terdapat selisih nilai antara spektrogram kondisi rusak dengan spektrogram acuan yang disebut dengan matrik beda spektrogram [6]. Matrik beda spektrogram ini disajikan pada Gambar 9 sampai dengan 12.



Gambar 12. Matrik beda spektrogram dengan kondisi connecting rod rusak



Gambar 9. Matrik beda spektrogram kondisi beban berbeda 50%

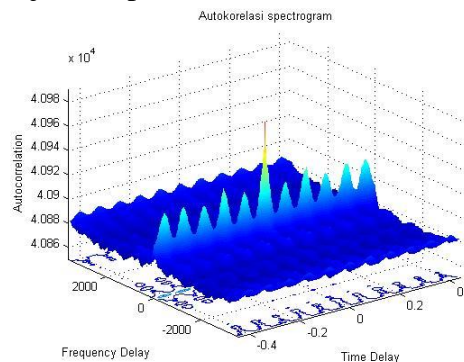


Gambar 10. Matrik beda spektrogram kondisi putaran operasi 1500 dan 900 rpm

Analisa Autokorelasi

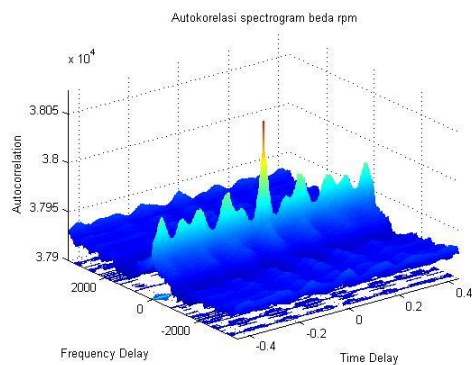
Perbedaan spektrogram yang telah didapat antara acuan dan spektrogram berbagai kondisi dianalisis dengan fungsi autokorelasi. Fungsi autokorelasi akan memberikan informasi tentang hubungan korelasi suatu sinyal dengan dirinya sendiri pada *delay* waktu-frekuensi.

Grafik autokorelasi sinyal getaran dari matrik beda spektrogram pada Gambar 9 ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik autokorelasi sinyal getaran dari Gambar 9

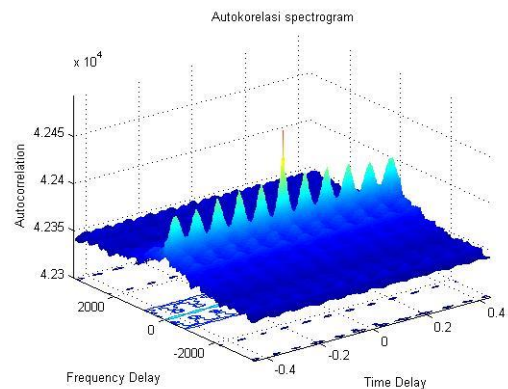
Sinyal getaran dengan variasi pembebanan berbeda 50% memiliki autokorelasi yang relatif tinggi pada pusat sumbu waktu-frekuensi. Terdapat 11 titik puncak autokorelasi yang besarnya relatif seragam kecuali pada pusat sumbu waktu-frekuensi.



Gambar 14. Grafik autokorelasi sinyal getaran dari gambar 10

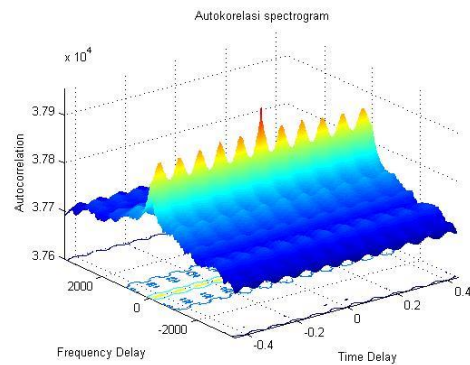
Gambar 14 menunjukkan autokorelasi sinyal getaran pada kecepatan 1500 rpm dan 900 rpm. Terdapat nilai puncak-puncak autokorelasi yang cukup tinggi tetapi cenderung tidak seragam. Besarnya harga autokorelasi lebih kecil dibandingkan dengan kondisi autokorelasi beda pembebanan pada Gambar 13.

Autokorelasi sinyal getaran acuan dan kondisi katup rusak ditampilkan pada Gambar 15. Autokorelasi menunjukkan nilai yang tertinggi dibandingkan dengan dua kondisi sebelumnya. Terdapat puncak-puncak yang relatif seragam pada seluruh sumbu waktu yang dianalisis.



Gambar 15. Grafik autokorelasi sinyal getaran dari Gambar 11

Grafik autokorelasi kondisi kerusakan ganda (katup dan connecting rod) dengan sinyal acuan ditunjukkan pada Gambar 16. Jenis kerusakan ganda (relatif lebih parah) memberikan pola autokorelasi yang lebih menonjol berbentuk gunung yang lebih curam dari kondisi sebelumnya. Namun demikian, distribusi nilai-nilai puncak sepanjang sumbu waktu cukup tinggi dan relatif seragam.



Gambar 17. Grafik autokorelasi sinyal getaran dari Gambar 12

Kesimpulan

Kondisi kerusakan pada kompresor torak secara umum menyebabkan kenaikan amplitudo getaran yang terlihat dari presentasi sinyal domain waktu maupun domain frekuensi.

Pada domain frekuensi, sinyal getaran pada kompresor yang rusak akan tinggi pada frekuensi harmonik 3X, yang

merupakan karakteristik kerusakan pada kompresor torak.

Grafik autokorelasi dari beberapa variasi pengukuran menghasilkan karakter yang berbeda. Variasi pembebanan menghasilkan distribusi nilai puncak yang relatif seragam sedangkan variasi kecepatan menghasilkan variasi nilai-nilai puncak yang cenderung tidak seragam namun dengan pola teratur. Autokorelasi dengan kerusakan ganda (relatif parah) menghasilkan pola autokorelasi berbentuk gunung yang lebih curam daripada kondisi-kondisi sebelumnya. Namun demikian, distribusi nilai-nilai puncaknya relatif seragam.

Referensi

- [1] T.L. Henshaw, Fans Pumps and Compressors, in: A.A. Eugene, Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, McGraw Hill, New York, 1996.
- [2] S. Foreman, Compressor Valves and Unloaders for Reciprocating Compressors -An OEM's Perspective. Dresser-Rand, New York, 2002.
- [3] K. Brun, Valve Performance And Life Of Reciprocating Compressors, Proceedings of the Forty-First Turbomachinery Symposium, Texas, 2012.
- [4] S.W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, second ed., California, 1999.
- [5] J.P. Lewis, Fast template matching, In: Vision Interface, vol. 95, Canadian Image Processing and Pattern Recognition Society (1995) 120–123
- [6] K. Pichler, et al., Fault Detection In Reciprocating Compressor Valves Under Varying Load Conditions, Mechanical Systems and Signal Processing 70-71 (2015) 104-119.