



FORTEI

Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia

PROGRAM BOOK EDISI II

KONFERENSI NASIONAL KE-7
Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia
(FORTEI) 2013

PADANG, 26 - 28 SEPTEMBER 2013



Supported By:



Sponsored By:



Organized By:



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS ANDALAS

Panitia Penyelenggara

Dr. Eng. Ariadi Hazmi

Ikhwana Elfitri, Ph.D

Dr. Eng. Rahmadi Kurnia

Refdinal Nazir, Ph.D

Syafii, Ph.D

Zaini, Ph.D

Melda Latif, MT

Fitriлина, MT

Heru DL, MT

Eka Putra Waldi, M. Eng

Abdul Rajab, MT

Syukri Yunus, MSc

Darwison, MT

Mumuh Muharam, MT

Andi Pawawoi, MT

Darmawan, M. Eng

DAFTAR ISI

1.	Sistem Kontrol dan Monitoring Temperatur Berbasis Fuzzy Logic Controller Menggunakan LabVIEW 8.5 <i>Saeful Bahri, Husnibes Muchtar, Erwin Dermawan</i>	1-4
2.	Metode Hibrid PSO-JST untuk Peningkatan Akurasi Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek <i>A. G. Abdullah, G. M. Suranegara, D.L. Hakim</i>	5-9
3.	Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek Berdasarkan Kluster Tipe Beban Hari Libur Menggunakan Algoritma Backpropagation <i>Y. Mulyadi, A. G. Abdullah, U. Harmaen, I. Setiawan</i>	10-13
4.	Analisis Kerusakan Bantalan Pada Berbagai Resolusi Frekuensi <i>L. Sumarno, Tjendro, W. Widyastuti, R.B.D. Wihadi</i>	14-18
5.	Konseptual Desain Aplikasi Sistem Informasi Kebencanaan Online Berbasis Teknologi LBS (ASIK on LBS) <i>Nasaruddin, Yudha Nurdin, Roslidar, M. Dirhamsyah</i>	19-23
6.	Analisis Pengujian Harmonisa Pada Beban Listrik Berdasarkan Standar Ieee 519-1992 <i>Tasma Sucita</i>	24-28
7.	Interferensi Uplink-Downlink pada Sistem Komunikasi Satelit Broadband <i>Syahfrizal Tahcfullloh</i>	29-31
8.	Teknik Proteksi Diferensial Transformator Daya Tiga Fasa Menggunakan Transformasi Wavelet <i>Candra Reza, Wasimudin Surya S, Maman Somantri</i>	32-36
9.	Identifikasi Gangguan Kualitas Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan <i>Fft</i> , <i>Wavelet</i> dan <i>Neural Network</i> <i>I Gede Dyana Arjana, I Nyoman Setiawan, I Nyoman Budiastira</i>	37-41
10.	PENGEMBANGAN SISTEM PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI 3-FASA HUBUNGAN BINTANG PADA SISTEM TENAGA 1-FASA <i>Zuriman Anthony, Erhaneli</i>	42-46
11.	Rekayasa Ulang Proses Perancangan Tata Letak Menggunakan Teknologi Augmented Reality <i>Derisma</i>	47-52
12.	Isolation Coordination Planning of 150 kV Substation Due To Transmission Line Lightning Simulations Using the Electromagnetic Transients Program <i>Yusreni Warmi, Minarni, Dasman.</i>	53-56
13.	Pemanfaatan Sigil Untuk Pembuatan E-Book (<i>Electronic Book</i>) Dengan Format EPup <i>Vitria Ratna Sari, Vide Rawi Purnama Ade, Albar, Erwadi, Rahmat Hidayat</i>	57-61
14.	Rancang Bangun Antena Yagi 6 Elemen Untuk Meningkatkan Penerimaan Sinyal EVDO pada Rentang Frekuensi 800-900 MHz	62-65

- Tommi Hariyadi, Zanjuma Saretra, Iwan Kustiawan*
15. Perbandingan Pelacakan Wayang Menggunakan MSER dan MSER Efisien 66-70
Dodi Sudiana, Aneta
16. Evaluasi Kestabilan Dan Kekokohan Tanggapan Tegangan Sistem Eksitasi Generator dengan Metoda Penempatan Kutub Menggunakan Algoritma Ackerman 71-75
Heru Dibyo Laksono, Noris Fredi Yulianto
17. Analisis Kinerja Jaringan Wireless Distribution System Menggunakan Access Point 802.11g 76-79
Rizal Munadi, Ridha Wahyudi, Fardian, Ardiansyah
18. Akselerasi dan Geomagnetik Berkaitan dengan Gempa Bumi 80-82
Ariadi Hazmi
19. Perencanaan dan Simulasi Optimasi Lokasi Antena Wireless LAN di Gedung Kuliah Universitas Andalas 83-87
D. Harinitha, L. A. Asri, Fitrilina
20. Breakdown Strength of Biodegradable Dielectric Liquid: *The effect of Contaminant* 88-92
Rudi Kurnianto, Kresna D. J, Managam R, and Zainuddin Nawawi
21. Computation Time Comparison of Fast Decoupled Load Flow Solving in Dual-Core Processors Computer 93-97
Syafii
22. Perancangan Thermogeneratorsederhana Sebagai Pembangkit Energi Alternatif 98-103
Melda Latif, Mumuh Muharam, Andika Nugraha Putra
23. Objective Difference Grade (ODG) Scores of Closed-loop Spatial Audio Coding 104-108
Ikhwana Elfitri
24. Meningkatkan Keanekaragaman Produk Batubara Kualitas Rendah Untuk Energi Listrik 109-111
Hasmawaty. AR, Nina Paramyta IS
25. Perancangan Alat Ukur Daya Listrik Dan Cosphi Meter Digital Satu Fasa Berbasis Mikrokontroller 112-114
Arnita, Patria Perdana Putra
26. Investigasi protokol OBD-II dengan Picoscope dan Aplikasi Hyperterminal 115-119
Zaini, Astri Rezti R
27. Prototipe Alat Deteksi Dini Dan Mandiri Penyakit Jantung Menggunakan Sistem Pakar Vcirs, Arduino Dan Handphone 120-124
Fadilla Zennifa, Fitrilina, Husnil Kamil
28. Breakdown Strength of Biodegradable Dielectric Liquid: The effect of Contaminant 125-128
Rudi Kurnianto, Kresna D. J, Managam R, Zainuddin Nawawi

29.	Studi Komparatif Qos POTS dan VoIP Di Tangerang Dari Parameter Delay dan Respons Spektral <i>William Andreas, H. P. Uranus, dan Junita</i>	129-133
30.	Inverter HEPWM 1-Fasa dengan Indeks Modulasi Positif dan Negatif <i>Rudi Kurnianto, Ayong Hiendro</i>	134-137
31.	PENGARUH WAVELET TRANSFORM DAN BLOCK MATCHING ALGORITHM (BMA) PADA KOMPRESI BERKAS VIDEO <i>Silvester Tena</i>	138-143
32.	Fabrikasi dan Karakterisasi Solar Sel Sederhana menggunakan Oksida Tembaga <i>S. Basuki, H. P. Uranus, dan J. Pangaribuan</i>	144-147
33.	Co-Channel and Co-Polar Interference in Satellite Mobile Communication Systems <i>Syahfrizal Tahcfullloh</i>	148-150
34.	Pengukuran Kinerja Metode Histogram Ekualisasi untuk Binerisasi Citra Dokumen Sintetis Secara Objektif dan Subjektif <i>Fitri Arnia, Afkar, Sayed Muchallil, Fardian, Khairul Munadi</i>	151-155
35.	Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) Tegangan Tinggi Bermedia Gas Sulphur Hexafluoride (SF6) Berdasarkan Kualitas Gas, Keserempakan Operasi Titik-titik Kontak, dan Nilai-nilai Resistansi <i>Arief Goeritno, Syofyan Rasiman</i>	156-166
36.	Breakdown on Low Density Poly Ethylene film due to Partial Discharge in Air Gap and Its Correlation with Electrical Properties and Surface Degradation <i>Darwison, Eka Putra Waldi, Ariadi Hazmi, Syukri Arief, Hairul Abral, Z. Nawawi, N Hozumi</i>	167-170
37.	Perencanaan dan Simulasi Optimasi Lokasi Antena Wireless LAN di Gedung Kuliah Universitas Andalas <i>D. Harinitha, L. A. Asri, Fitrilina</i>	171-174
38.	Model Publikasi Pariwisata dan Industri Kreatif Berbasis Peta Interaktif Online (Studi Kasus Sumatera Barat) <i>Erwadi Bakar, Roswaldi SK, Hendyawan A Mooduto</i>	175-179

Analisis Kerusakan Bantalan Pada Berbagai Resolusi Frekuensi

L. Sumarno¹, Tjendro¹, W. Widyastuti¹, R.B.D. Wihadi²

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

Abstrak— Pada suatu mesin listrik yang mengalami kerusakan bantalan, akan terdengar adanya suara-suara tertentu. Karena suara-suara tersebut asalnya dari getaran, maka pada dasarnya dengan berdasarkan getaran, dapat dideteksi bilamana ada bantalan pada suatu mesin listrik yang mengalami kerusakan. Tulisan ini membahas tampilan visual (dalam bentuk pola-pola grafis), getaran mesin listrik (yang dalam hal ini adalah pompa air skala rumah tangga) pada tiga sumbu, yaitu X, Y, dan Z. Getaran tersebut secara visual dapat ditampilkan pada ranah waktu, atau pun pada ranah frekuensi. Pada ranah frekuensi, getaran dapat ditampilkan pada berbagai resolusi frekuensi. Berdasarkan hasil pengamatan, untuk resolusi frekuensi yang makin besar, didapatkan gambaran ranah frekuensi yang makin kurang detil. Walau pun gambaran ranah frekuensinya kurang detil, pada contoh resolusi frekuensi 46,9 Hz di sumbu X, secara subyektif masih dapat dilihat dengan jelas, perbedaan antara pola-pola grafis pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan bantalan.

Kata kunci— Bantalan, mesin listrik, resolusi frekuensi

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan teknologi, khususnya teknologi komputer sangat pesat. Makin lama, komputer yang dikembangkan manusia makin canggih. Adanya kecanggihan tersebut memungkinkan untuk dibuat suatu sistem yang mampu meniru kemampuan manusia, yaitu kemampuan dalam mendeteksi kerusakan dalam suatu mesin listrik.

Biasanya, kemampuan orang yang ahli dalam mendeteksi kerusakan mekanis dalam mesin listrik, adalah dengan menggunakan telinga, yaitu bila ada komponen-komponen mekanis (bantalan (*bearing*), poros, dan atau sudu) yang rusak, maka akan terdengar suara-suara tertentu. Pada dasarnya suara-suara yang terdengar tersebut asalnya dari adanya getaran. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa dengan mendeteksi getaran mesin listrik, akan dapat dideteksi kerusakan mekanis yang terjadi.

Penelitian-penelitian terhadap deteksi kerusakan mekanis mesin listrik yang terkait dengan kerusakan bantalan telah banyak dilakukan. Umumnya penelitian yang dilakukan pada dasarnya mengindera sinyal-sinyal suhu [1], suara [2] [3], atau getaran [4] [5] [6], yang selanjutnya sinyal-sinyal tersebut ditampilkan pada suatu penampil, untuk dianalisis lebih lanjut. Secara lebih detil, Janjarasjitt [4] melakukan analisis getaran dalam ranah waktu, sedangkan Ebrahimi [5] dan Purwanto [6]

melakukan analisis dalam ranah frekuensi, dengan menggunakan satu resolusi frekuensi yang tetap.

Pada tulisan ini akan dibahas analisis kerusakan bantalan pada mesin listrik, dengan berbasiskan sinyal getaran, pada berbagai resolusi frekuensi. Mesin listrik yang digunakan dalam tulisan ini adalah pompa air skala rumah tangga.

II. TEORI

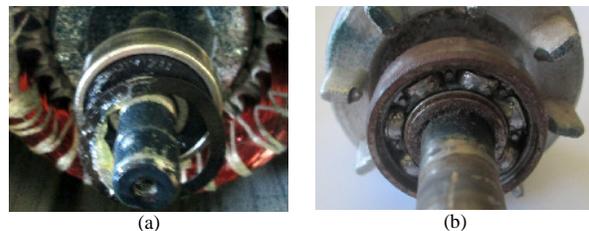
A. Bantalan

Bantalan merupakan suatu komponen mekanis yang berputar pada mesin listrik. Dalam pengoperasian mesin listrik, bantalan tersebut dapat mengalami kerusakan. Kerusakan ini dapat disebabkan oleh beban berlebihan, panas berlebihan, korosi, ketidaksejajaran (*misalignment*), atau karena sebab-sebab yang lain. Gambar 1 memperlihatkan contoh bantalan yang baik dan yang rusak karena korosi, dari suatu mesin listrik (yang dalam hal ini adalah pompa air).

B. Ranah Frekuensi

Ranah frekuensi adalah suatu ranah yang biasanya digunakan untuk mengamati sinyal-sinyal pada frekuensi-frekuensi tertentu. Sinyal-sinyal pada ranah frekuensi dapat diperlihatkan dengan menggunakan transformasi Fourier atas sinyal-sinyal pada ranah waktu. Bila sinyal-sinyal pada ranah waktu berupa sinyal-sinyal diskrit, maka transformasi Fourier yang digunakan adalah DFT (*Discrete Fourier Transform*). Secara matematis, transformasi Fourier dari suatu sinyal diskrit $x(n)$ dengan menggunakan N titik DFT dirumuskan berikut

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$



Gambar 1. Contoh bantalan; (a) Bantalan yang masih baik; (b) Bantalan yang sudah rusak karena korosi.

dengan

$$W_N = e^{-j2\pi/N} \quad (2)$$

Secara numeris, beban komputasi DFT cukup berat, karena memerlukan sejumlah N^2 perkalian kompleks. Supaya beban komputasinya lebih ringan, dapat digunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) yang hanya memerlukan sejumlah $N/2 \log_2 N$ perkalian kompleks. Sebagai catatan, FFT dengan beban komputasi tersebut adalah untuk FFT jenis *radix-2* [7].

C. Resolusi Frekuensi

Resolusi frekuensi berhubungan dengan sampai seberapa detil sinyal-sinyal dalam ranah frekuensi akan direpresentasikan. Bila resolusinya makin kecil, maka sinyal-sinyal yang ditampilkan makin detil. Sebaliknya, jika resolusinya makin besar, maka sinyal-sinyal yang ditampilkan makin kurang detil. Secara matematis, resolusi ini dirumuskan oleh

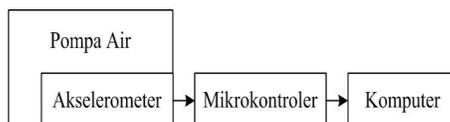
$$\Delta f = \frac{f_s}{N_{FFT}} \quad (3)$$

dengan f_s adalah frekuensi pencuplikan dan N_{FFT} adalah panjang FFT yang digunakan.

III. METODOLOGI

Untuk melakukan analisis getaran, dibuat rancangan sistem yang diperlihatkan secara diagram blok pada Gambar 2. Pompa air yang digunakan adalah pompa air skala rumah tangga dengan rating daya keluaran 125 watt. Ada dua pompa air yang diuji yaitu pompa air yang baik dan yang mengalami kerusakan pada bantalan. Sensor yang digunakan adalah akselerometer digital tiga sumbu ADXL 345. Sensor ini ditempelkan pada pompa air seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATMEGA 328 yang diprogram menggunakan bahasa C. Komputer yang digunakan menggunakan prosesor T7500 (2,26 GHz) dan RAM 4 GB.

Berdasarkan Gambar 2, akselerometer mendapatkan sinyal getaran dari pompa air. Sinyal getaran yang mulanya merupakan sinyal analog diubah ke sinyal digital dengan frekuensi pencuplikan 1500Hz. Frekuensi pencuplikan ini merupakan frekuensi pencuplikan *default* dari akselerometer. Selanjutnya sinyal getaran dari akselerometer (yang sudah berupa sinyal digital) dikirimkan ke mikrokontroler melalui komunikasi I2C.



Gambar 2. Diagram blok rancangan sistem.

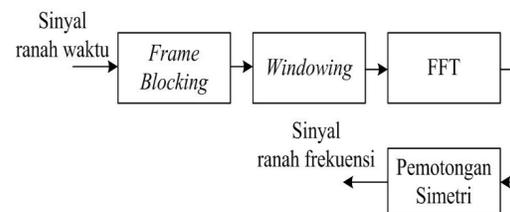


Gambar 3. Penempelan akselerometer pada pompa air. Diperlihatkan juga arah getaran pada sumbu X, Y, dan Z.

Mikrokontroler pada Gambar 2 bertugas melakukan proses *data formatting*, supaya data tersebut dapat diteruskan ke komputer melalui *port* USB. Dalam hal ini, pada dasarnya mikrokontroler berfungsi sebagai antarmuka antara akselerometer dengan komputer. Dalam komputer, sinyal getaran yang awalnya merupakan merupakan sinyal ranah waktu dikonversi menjadi sinyal ranah frekuensi, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

Langkah-langkah konversi sinyal ranah waktu ke ranah frekuensi pada Gambar 4, diawali dengan proses *frame blocking*. Pada proses ini dilakukan pengambilan sejumlah data (yang disebut juga *data frame*) dari runtunan data yang masuk [8]. Banyaknya data yang diambil tergantung dari titik FFT yang digunakan. Pada penelitian ini, yang digunakan (dievaluasi) adalah 16, 32, 64, 128, 256, dan 512 titik-titik FFT. Berikutnya, proses *windowing* dilakukan untuk mengurangi diskontinyu tepi-tepi sinyal. Pengurangan ini diperlukan untuk mengurangi munculnya sinyal-sinyal harmonis pada proses FFT. Dalam penelitian ini, proses *windowing* menggunakan *Hamming window*, yang merupakan suatu jenis *window* berbentuk bel (*bell shape*) yang sederhana.

Proses FFT pada Gambar 4, merupakan jantung dari konversi sinyal ranah waktu ke ranah frekuensi. Pada penelitian ini digunakan FFT *radix-2*, yang merupakan FFT yang telah umum dipakai dalam banyak keperluan. Proses pemotongan simetri merupakan pemotongan separuh sisi kanan dari hasil FFT. Pemotongan ini diperlukan karena pada dasarnya FFT akan memberikan hasil yang simetri, sehingga bila yang digunakan hanya separuhnya saja sudah mencukupi.



Gambar 4. Diagram blok langkah-langkah konversi sinyal dari ranah waktu ke ranah frekuensi.

IV. HASIL

Hasil pengujian untuk getaran pompa air yang baik dan pompa air yang mengalami kerusakan bantalan, pada ranah waktu, diperlihatkan pada Gambar 5. Untuk setiap pompa diperlihatkan grafik getaran ranah waktu untuk sumbu X, Y, dan Z. Lihat Gambar 3 untuk gambaran sesungguhnya arah sumbu X, Y, dan Z.

Berdasarkan data getaran pada Gambar 5, gambaran ranah frekuensi untuk getaran pompa air yang baik dan pompa air yang mengalami kerusakan bantalan, diperlihatkan pada Gambar 6. Untuk setiap pompa air diperlihatkan grafik getaran ranah frekuensi untuk Sumbu X, Y, dan Z.

Gambaran ranah frekuensi, untuk resolusi frekuensi yang beragam, diperlihatkan pada Gambar 7. Gambaran tersebut diambil dari data getaran pada Sumbu X, baik untuk pompa air yang baik maupun yang mengalami kerusakan bantalan. Sebagai catatan, data getaran pada Sumbu X ini dipilih karena mempunyai rerata amplitudo yang lebih besar dibandingkan dengan sumbu Y dan Z.

V. PEMBAHASAN

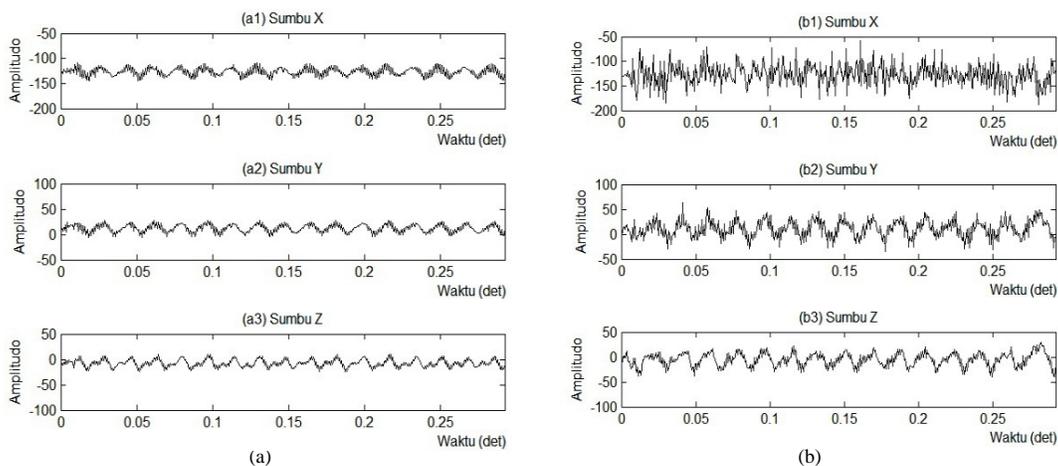
Gambar 5 memperlihatkan getaran pompa air pada pada ranah waktu. Terlihat pada Gambar 5(a) adanya bentuk-bentuk gelombang yang menyerupai gelombang sinus. Bentuk-bentuk gelombang ini disebabkan oleh penggunaan listrik PLN yang bentuknya merupakan gelombang sinus. Pada Gambar 5(b) bentuk-bentuk gelombang sinus pada Gambar 5(a) menjadi rusak karena adanya kerusakan bantalan. Kerusakan gelombang sinus yang paling parah ada pada arah sumbu X, sedangkan yang paling ringan ada pada arah sumbu Z. Dengan kata lain, kerusakan bantalan akan menghasilkan getaran yang paling kuat pada arah sumbu X dan yang paling lemah pada arah sumbu Z.

Gambar 6 memperlihatkan getaran pompa air pada ranah frekuensi. Terlihat pada Gambar 6(a) adanya puncak-puncak sinyal disekitar 50 Hz, 100 Hz, dan 600

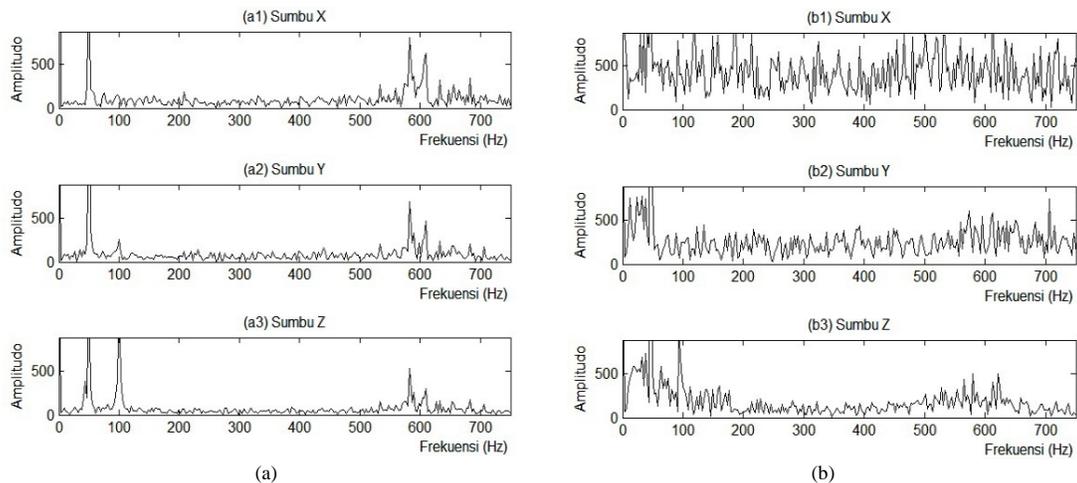
Hz. Untuk puncak sinyal yang disekitar 50 Hz, disebabkan oleh listrik PLN yang digunakan frekuensinya 50 Hz. Untuk puncak sinyal yang disekitar 100 Hz, disebabkan oleh multiplikasi getaran (pada poros pompa air) dari getaran disebabkan oleh frekuensi listrik PLN pada arah Sumbu Z (hal ini merupakan efek dari desain mekanis pompa air). Untuk puncak-puncak sinyal yang disekitar 600 Hz, disebabkan oleh adanya gesekan antara poros dengan bantalan (hal ini juga merupakan efek dari desain mekanis pompa air). Ini berarti, dengan mengamati puncak-puncak sinyal tersebut, dapat dikenali pola-pola yang terkait dengan pompa air yang baik.

Pada Gambar 6(b) puncak-puncak sinyal pada Gambar 6(a) menjadi tidak begitu jelas lagi, karena terkubur oleh puncak-puncak sinyal yang lain. Terlihat bahwa pada pada Gambar 6(b1) arah Sumbu X, benar-benar tidak kelihatan lagi daerah puncak-puncak sinyal yang ada pada Gambar 6(a1) arah Sumbu X. Namun demikian, pada Gambar 6(b3) arah sumbu Z, kelihatan samar-samar daerah-daerah puncak sinyal pada Gambar 6(a3) arah sumbu Z. Ini berarti, pada arah sumbu X, pengamatan daerah-daerah puncak sinyal untuk mengenali kondisi pompa air tidak dapat dilaksanakan, karena tidak jelasnya daerah-daerah puncak sinyal tersebut.

Gambar 7 memperlihatkan getaran pompa air pada arah Sumbu X, pada resolusi frekuensi yang beragam. Secara umum terlihat adanya kecenderungan, untuk resolusi frekuensi yang makin besar, akan menghasilkan gambaran ranah frekuensi yang makin kurang detil. Bila resolusi frekuensinya cukup besar, akan memperlihatkan pola (gambaran) yang hampir mirip antara pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan bantalan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7(a6) dan (b6). Akan tetapi, bila resolusi frekuensinya terlalu kecil, akan didapatkan pola yang sangat detil, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7(b1). Pola yang sangat detil ini terlihat seperti pola yang acak, yang merupakan pola yang sulit untuk dikenali.



Gambar 5. Grafik ranah waktu untuk getaran pompa air pada tiga sumbu X, Y, dan Z; (a) Pompa air yang baik; (b) Pompa air yang mengalami kerusakan bantalan.



Gambar 6. Grafik ranah frekuensi untuk getaran pompa air pada tiga sumbu X, Y, dan Z; (a) Pompa air yang baik; (b) Pompa air yang mengalami kerusakan bantalan. Sebagai catatan, grafik ranah frekuensi di atas didapatkan dari penggunaan FFT 512 titik.

Apabila resolusi frekuensinya tidak terlalu besar, dan juga tidak terlalu kecil, seperti misalnya pada Gambar 7 (a5) dan (b5) pola-pola yang didapatkan memang kurang detil. Namun terlihat jelas perbedaan pola (lihat gambaran bukit-bukit dan lembah-lembah) antara pompa air yang baik dan yang mengalami kerusakan bantalan. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa, dengan menggunakan resolusi frekuensi yang tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil, secara visual dapat dikenali secara jelas perbedaan antara pola-pola yang menggambarkan pompa air yang baik dan yang mengalami kerusakan bantalan.

Berdasarkan Gambar 7, ada hubungan antara resolusi frekuensi dengan jumlah koefisien FFT. Pada dasarnya, jumlah koefisien FFT adalah separuh dari panjang FFT yang digunakan. Hal ini mengingat bahwa hasil FFT dari suatu sinyal, akan menghasilkan menghasilkan sejumlah koefisien FFT yang memperlihatkan gambaran yang simetris. Dengan demikian, kalau yang diambil hanya separuhnya saja sudah cukup. Tabel 1 memperlihatkan hubungan antara resolusi frekuensi dengan jumlah koefisien FFT yang digunakan, dengan berdasarkan pada Gambar 7.

Ada suatu keuntungan dengan penggunaan resolusi frekuensi yang tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1. Sebagai contoh, untuk resolusi frekuensi 46,9 Hz (seperti terlihat pada Gambar 7 a(5) dan b(5)), gambaran ranah waktunya hanya direpresentasikan dengan sejumlah 16 koefisien FFT. Berdasar pembahasan di atas, sejumlah 16 koefisien ini sudah mencukupi untuk digunakan dalam membedakan pompa air yang baik dan yang mengalami kerusakan bantalan. Dengan kata lain, sejumlah 16 koefisien tersebut merupakan suatu contoh hasil ekstraksi ciri FFT (yang menggunakan FFT 32 titik) dari sinyal ranah waktu pada Gambar 5 (a1) dan (b1).

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hal-hal yang telah disampaikan di atas, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

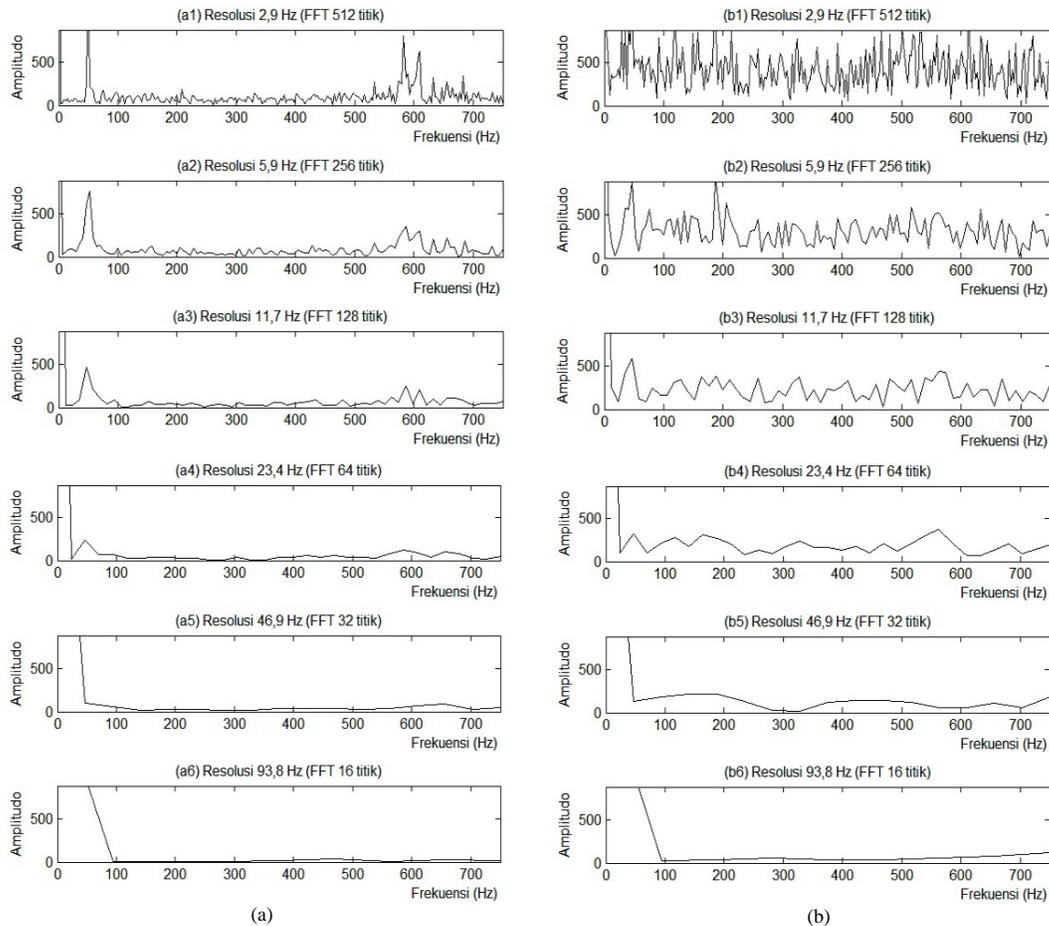
1) Berdasar pengujian terlihat bahwa kerusakan bantalan menimbulkan getaran pada Sumbu X, Y, maupun Z. Dalam hal ini getaran pada Sumbu X memperlihatkan amplitudo yang relatif lebih besar daripada Sumbu Y maupun Z.

2) Untuk resolusi frekuensi yang makin besar, akan didapatkan gambaran ranah frekuensi yang makin kurang detil. Walau pun gambaran ranah frekuensi kurang detil, pada contoh resolusi frekuensi 46,9 Hz, secara subyektif, masih dapat dibedakan antara pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan bantalan.

3) Untuk resolusi frekuensi yang makin besar, akan didapatkan jumlah koefisien FFT yang makin kecil. Dalam hal ini, koefisien-koefisien FFT tersebut merupakan ekstraksi ciri dari sinyal yang ditransformasi menggunakan FFT. Dengan demikian, untuk resolusi frekuensi yang makin besar, akan didapatkan jumlah koefisien ekstraksi ciri yang makin kecil.

TABEL I
HUBUNGAN ANTARA RESOLUSI FREKUENSI DENGAN JUMLAH KOEFISIEN FFT YANG DIGUNAKAN, DENGAN BERDASARKAN PADA GAMBAR 7.

Resolusi frekuensi (Hz)	FFT (titik)	Jumlah koefisien FFT yang digunakan
2,9	512	256
5,9	256	128
11,7	128	64
23,4	64	32
46,9	32	16
93,8	16	8



Gambar 7. Grafik ranah frekuensi pada berbagai tingkat resolusi, untuk getaran pompa air pada Sumbu X;
 (a) Pompa air yang baik; (b) Pompa air yang mengalami kerusakan bantalan.

Berikut ini beberapa saran, untuk melanjutkan penelitian tentang kerusakan mekanis pada pompa air.

1) Kerusakan mekanis pada pompa air tidak hanya kerusakan pada bantalan, akan tetapi ada juga kerusakan kipas dan poros. Untuk itu, penelitian ini dapat dilanjutkan lagi untuk dapat mendeteksi kerusakan-kerusakan tersebut.

2) Untuk dapat mendeteksi lebih banyak macam kerusakan mekanis, dapat dipertimbangkan untuk tidak hanya menggunakan informasi getaran pada sumbu X saja, namun juga pada sumbu Y dan Z.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari Penelitian Hibah Bersaing 2013. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

REFERENSI

[1] A. Satmoko, "Analisis Kualitatif Teknik Thermography Infra Merah dalam Rangka Pemeliharaan Secara Prediktif pada Pompa", *Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir 2008*, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta 25-26 Agustus 2008, hal. 403-408.

[2] B. T. Atmaja, A.S. Aisyah, dan D. Arifianto, "Pemisahan Banyak Sumber Suara Mesin Menggunakan Analisis Komponen Independen (ICA) untuk Deteksi Kerusakan", *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, Vol. 3, No. 3, hal. 9-14, 2010.

[3] M. Yadav, dan S. Wadhvani, "Vibration Analysis for Bearing Fault Detection using Time Domain Features and Neural Network", *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*, Vol. 1, Issue 1, hal. 69-74, 2011.

[4] V. S. Janjarasjitt, H. Ocak, dan K.A. Loparo, "Bearing Condition Diagnosis and Prognosis using Applied Nonlinear Dynamical Analysis of Machine Vibration Signal", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 317, hal 112-126, 2008.

[5] E. Ebrahimi, "Vibration Analysis for Fault Diagnosis of Rolling Element Bearing", *Journal of American Science*, Vol. 8 No. 2, hal. 331-336, 2012.

[6] T. P. Purwanto, dan J. Sianipar, "Spektrum Getaran Pada Bantalan Elemen Gelinding Tanpa Pelumasan dan Mengalami Misalignment", *Jurnal Mesin Industri*, Vol. 6, No. 1, hal. 47-58, 2009.

[7] J. G. Proakis, dan D. G. Manolakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithm, and Applications*, 4th Edition, Prentice Hall Inc, New Jersey, 2007.

[8] D. E. Surya, dan L. Sumarno, "Pengenalan Nada Pianika Menggunakan Jendela Kaiser, FFT, dan Korelasi", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (RETH) 2012*, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta 15 Desember 2012, hal. 151-157.