

Pengenalan Kerusakan Mekanis Pompa Air Berbasis Sinyal Getaran pada Ranah Frekuensi

Linggo Sumarno¹, R.B. Dwiseno Wihadi², Tjendro³, Wiwien Widyastuti⁴

Abstract— One way in recognizing mechanical faults of electrical machines is using the vibration signals. This paper studies the recognition of mechanical faults of electrical machines which have faulty bearing, faulty impeller, and faulty foot valve. Electrical machines studied in this paper are household water pumps. The recognition of mechanical faults is conducted using the vibration signals at the frequency domain at various frequency resolution. The recognition method used is template matching for pattern classes. Euclidean distance function is used in this template matching. Based on the results, the highest recognition rate of 100% is optimally obtained using the vibration signal at frequency resolution of 5,9 Hz, and the number of 5 samples/classes in the water pump database. The 5,9 Hz frequency resolution was obtained using a 256 point FFT, where the number of 128 FFT coefficients are used as the feature extraction.

Intisari— Salah satu cara pengenalan kerusakan mekanis mesin listrik adalah dengan menggunakan sinyal getaran. Tulisan ini membahas pengenalan kerusakan mekanis mesin listrik yang mempunyai kerusakan bantalan, *impeller*, atau pun katup kaki. Mesin listrik yang dibahas dalam tulisan ini adalah pompa air skala rumah tangga. Pengenalan kerusakan mekanis dilakukan menggunakan sinyal getaran pada ranah frekuensi, pada berbagai resolusi frekuensi. Metode pengenalan yang digunakan adalah pencocokan *template* pada kelas-kelas pola. Fungsi jarak Euclidean digunakan dalam pencocokan *template* ini. Berdasarkan hasil pengujian, tingkat pengenalan tertinggi 100% secara optimal diperoleh menggunakan sinyal getaran pada resolusi frekuensi 5,9 Hz, dan sejumlah 5 sampel/kelas pada basis data pompa air. Resolusi frekuensi 5,9 Hz ini diperoleh menggunakan FFT 256 titik dengan sejumlah 128 koefisien FFT yang digunakan sebagai ekstraksi cirinya.

Kata Kunci— pompa air, kerusakan mekanis, sinyal getaran, ranah frekuensi, resolusi frekuensi.

I. PENDAHULUAN

Dalam hal pengenalan kerusakan mesin listrik, biasanya, seseorang yang ahli hanya mengandalkan indera pendengarannya. Apabila pada mesin listrik tersebut ada

komponen mekanis yang mengalami kerusakan, akan ada suara-suara tertentu yang terdengar. Karena suara-suara tertentu tersebut pada dasarnya berasal dari getaran, maka dapat dikatakan bahwa pengenalan kerusakan mekanis mesin listrik dapat dilaksanakan melalui pengenalan getarannya.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan deteksi kerusakan mekanis dalam mesin listrik, pada dasarnya menggunakan penginderaan sinyal-sinyal suhu, suara, atau getaran. Penelitian deteksi kerusakan mekanis pompa air dengan mengindera suhu dapat dilakukan dengan *thermography* infra merah [1]. Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan *thermography* menggunakan kamera infra merah pada komponen pompa air yang sedang diamati. Hasilnya adalah suatu pola suhu pada permukaan benda. Melalui interpretasi tertentu, bila ada penyimpangan tertentu pola suhu tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat komponen pompa air yang rusak.

Penelitian lain tentang deteksi kerusakan mekanis motor listrik adalah dengan mengindera sinyal suara. Sinyal suara yang diperoleh dianalisis menggunakan Analisis Komponen Independen (ICA) pada ranah frekuensi [2]. Berdasarkan penelitian ini, diketahui sebaran frekuensi saat motor listrik dalam keadaan normal, *unbalance*, *misalignment*, atau *bearing fault*.

Penelitian yang lain lagi tentang deteksi kerusakan mekanis motor listrik adalah dengan mengindera sinyal getaran. Sinyal getaran yang diperoleh dapat dianalisis dalam ranah frekuensi [3]. Berdasarkan analisis ranah frekuensi tersebut, dapat diketahui empat tingkat kerusakan bantalan dari yang paling ringan hingga yang paling berat. Pada tingkat yang paling berat ini, kondisi bantalan sudah sangat mendekati kegagalan.

Selain menggunakan analisis ranah frekuensi di atas, sinyal getaran pada motor listrik juga dapat dianalisis menggunakan analisis waktu-frekuensi [4]. Berdasarkan analisis waktu-frekuensi tersebut, kerusakan bantalan dalam hal kelonggaran, kerusakan bola bantalan, atau pun kerusakan silinder bantalan dapat dideteksi.

Sinyal getaran pada pompa air dapat juga dianalisis pada ranah frekuensi, dengan berbagai resolusi frekuensi [5][6]. Berdasarkan analisis tersebut, pada resolusi-resolusi tertentu, secara visual terlihat secara jelas perbedaan antara sinyal-sinyal yang mengindikasikan pompa air yang baik dan yang mengalami kerusakan bantalan, *impeller*, atau katup kaki.

Pada penelitian-penelitian yang telah dideskripsikan di atas, umumnya penelitian-penelitian tersebut dilakukan dengan mengindera sinyal-sinyal suhu, suara, atau getaran, yang selanjutnya sinyal-sinyal tersebut ditampilkan pada suatu penampil, untuk dianalisis lebih lanjut. Kemudian masih diperlukan orang yang ahli dalam menganalisis sinyal-sinyal

¹Dosen, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma, Kampus III Paingan Maguwoharjo, Yogyakarta 55282, INDONESIA (telp: 0274-883037; fax: 0274-886529; email: lingsum@usd.ac.id)

²Dosen, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Kampus III Paingan Maguwoharjo, Yogyakarta 55282, INDONESIA (telp: 0274-883037; fax: 0274-886529; email: kangwihadi@gmail.com)

^{3,4}Dosen, Program Studi Teknik Elektro Universitas Sanata Dharma, Kampus III Paingan Maguwoharjo, Yogyakarta 55282, INDONESIA (telp: 0274-883037; fax: 0274-886529; email: tjendro@usd.ac.id dan wiwien@usd.ac.id)

yang ditampilkan tersebut, untuk mengetahui apakah ada kerusakan mekanis yang terjadi pada mesin listrik yang diuji. Dengan kata lain, penelitian-penelitian tersebut hanya sampai pada taraf menganalisis sinyal-sinyal untuk mendeteksi kerusakan mekanis yang terjadi, belum sampai pada taraf mengenali kerusakan yang menggunakan metode-metode pengenalan pola tertentu, yang mempunyai tingkat pengenalan tertentu.

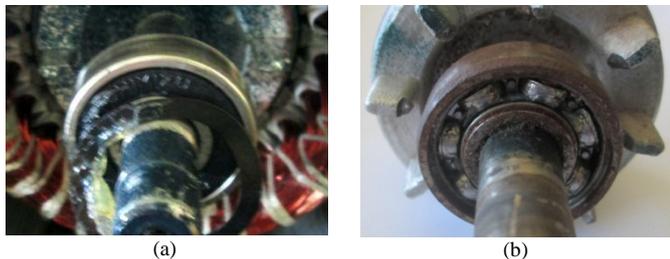
Pada tulisan ini akan dibahas bagaimana pola-pola kerusakan mekanis bila dilihat berdasarkan sinyal getaran pada berbagai resolusi ranah frekuensi. Selanjutnya, berdasarkan pola-pola kerusakan tersebut akan dibahas pula pengembangan suatu sistem pengenalan kerusakan mekanis menggunakan metode pencocokan *template* pada kelas-kelas pola. Fungsi jarak Euclidean digunakan dalam metode pencocokan *template* ini.

II. KOMPONEN MEKANIS POMPA AIR

Pada pompa air skala rumah tangga, ada tipe komponen mekanis yang berpengaruh terhadap kinerja pemompaan yaitu bantalan, *impeller*, dan katup kaki. Berikut ini akan dijelaskan lebih lanjut ketiga komponen mekanis tersebut.

A. Bantalan

Bantalan berfungsi untuk mengurangi gesekan pada sumbu pompa air. Ketika bantalan mengalami kerusakan, putaran pompa air menjadi ketat (*tight*). Kerusakan bantalan dapat disebabkan oleh beban yang berlebihan, panas yang berlebihan, korosi, atau ketidak-sejajaran (*misalignment*) [5]. Gbr. 1 memperlihatkan contoh bantalan yang baik dan yang rusak karena korosi.



Gbr. 1 Contoh bantalan; (a) Bantalan baik; (b) Bantalan rusak karena korosi [5]

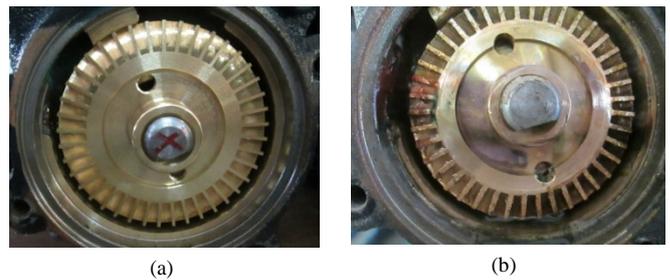
B. Impeller

Impeller berfungsi untuk menyedot air dari dalam tanah dan menaikannya ke atas. *Impeller* yang rusak akan menyebabkan berkurangnya aliran air dalam pipa. Kerusakan *impeller* dapat disebabkan oleh gesekan antara *impeller* dengan partikel-partikel pasir yang ada dalam air [6]. Gbr. 2 memperlihatkan contoh *impeller* yang baik dan yang rusak karena gesekan.

C. Katup kaki

Katup kaki berfungsi untuk menahan air yang ada di dalam pipa supaya tidak mengalir ke bawah. Katup kaki yang rusak (dalam hal ini bocor) akan menyebabkan bocornya air dalam pipa, yang akhirnya mengakibatkan tidak ada lagi air di dalam pipa. Kerusakan katup kaki dapat disebabkan oleh kualitas

katup kaki yang buruk, sehingga mudah bocor dimakan usia[6]. Gbr. 3 memperlihatkan contoh katup kaki yang baik dan yang rusak karena bocor.



Gbr. 2 Contoh *impeller*; (a) *Impeller* baik; (b) *Impeller* rusak karena gesekan [6]



Gbr. 3 Contoh katup kaki; (a) Katup kaki baik; (b) Katup kaki rusak karena bocor [6]

III. RANAH FREKUENSI DAN RESOLUSI FREKUENSI

Ranah frekuensi adalah suatu ranah untuk menampilkan komponen-komponen frekuensi suatu sinyal. Agar suatu sinyal dapat ditampilkan komponen-komponen frekuensinya pada ranah frekuensi, digunakan transformasi Fourier. Jika sinyal yang akan ditampilkan komponen-komponen frekuensinya adalah sinyal diskret, maka transformasi Fouriernya menggunakan *discrete fourier transform* (DFT). DFT suatu sinyal diskret $x(n)$, secara matematis dirumuskan dengan (1)

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

dengan

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

dan N adalah banyaknya data.

Beban komputasi DFT, secara numeris, cukup berat, karena diperlukan sejumlah N^2 perkalian kompleks. Untuk meringankannya, dapat digunakan *fast fourier transform* (FFT). Ada beragam struktur FFT, salah satunya, yang banyak digunakan, adalah FFT dengan struktur *radix-2*, yang hanya memerlukan sejumlah $N/2 \log_2 N$ perkalian kompleks [7].

Resolusi frekuensi berkaitan dengan penampakan detail sinyal dalam ranah frekuensi. Jika resolusi frekuensi makin kecil, maka sinyal akan tampak makin detail. Sebaliknya, jika resolusi frekuensi makin besar, sinyal akan tampak kurang detail. Secara matematis, resolusi ini dirumuskan oleh (3),

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

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

IV. PENCOCOKAN TEMPLATE DAN JARAK EUCLIDEAN

Pencocokan *template* merupakan suatu metode yang dapat digunakan dalam pengenalan pola [9]. Pada dasarnya metode ini berupaya mencari derajat kesamaan antara dua vektor dalam ruang ciri. Salah satu cara untuk mencari derajat kesamaan tersebut adalah dengan menggunakan fungsi jarak. Pedoman umum dalam penggunaan fungsi jarak adalah, dua vektor dalam ruang ciri akan mempunyai derajat kesamaan yang makin besar (makin mirip) jika nilai fungsi jarak mendekati nol. Sebaliknya derajat kesamaan makin kecil (makin tidak mirip) jika nilai fungsi jarak makin menjauhi nol.

Jarak Euclidean merupakan suatu fungsi jarak yang umum digunakan dalam pengenalan pola [8]. Jarak Euclidean ini dirumuskan oleh (4)

$$E(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

dengan \mathbf{x} dan \mathbf{y} adalah dua vektor yang panjangnya sama (salah satu vektor adalah vektor yang akan diklasifikasi, serta vektor yang lain adalah vektor yang disimpan, yang digunakan sebagai pembanding), dan m adalah jumlah elemen variabel masukan (panjang vektor \mathbf{x} atau \mathbf{y}).

V. METODOLOGI

Bahan utama pada penelitian ini adalah pompa air skala rumah tangga. Pompa air tersebut memiliki *rating* daya keluaran 125 W. Ada empat pompa air yang digunakan, yaitu yang kondisinya baik, serta yang mengalami kerusakan mekanis bantalan, *impeller*, dan katup kaki. Bahan berikutnya yang berfungsi sebagai pendukung adalah akselerometer tiga sumbu ADXL 345 dan mikrokontroler AVR ATMEGA 328. Selanjutnya, alat yang digunakan pada penelitian ini adalah komputer dengan prosesor Intel T7500 yang dilengkapi dengan RAM 2GB.

Gbr. 4 memperlihatkan diagram blok perangkat keras sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini. Sebagaimana diperlihatkan, ada akselerometer yang ditempelkan pada pompa air. Penempelan akselerometer tersebut diperlihatkan pada Gbr. 5.

Pompa air pada Gbr. 5 digunakan untuk menyedot air dari suatu sumur yang kedalamannya sekitar tujuh meter, yang merupakan sumur terbuka dan terdalam di kampus USD Paingan. Sebagai catatan, berdasarkan spesifikasinya, pompa air yang digunakan dapat menyedot air hingga kedalaman maksimum sembilan meter. Selanjutnya, air yang disedot tersebut, dinaikkan ke atas setinggi delapan meter, yaitu setinggi kemampuan rangka besi yang ada di atas sumur untuk menegakkan pipa air ke atas. Sebagai catatan lagi, berdasarkan spesifikasinya, pompa air yang digunakan dapat menaikkan air hingga ketinggian 33 m. Gbr. 6 memperlihatkan instalasi pompa air yang dibuat.



Gbr. 4 Diagram blok perangkat keras sistem [5]



Gbr. 5 Penempelan akselerometer pada pompa air.

Berdasarkan Gbr. 4, pompa air menghasilkan sinyal getaran yang merupakan sinyal analog. Sinyal tersebut kemudian diubah oleh akselerometer menjadi sinyal digital, dengan frekuensi pencuplikan 1500 Hz. Frekuensi pencuplikan ini merupakan frekuensi pencuplikan *default* akselerometer.

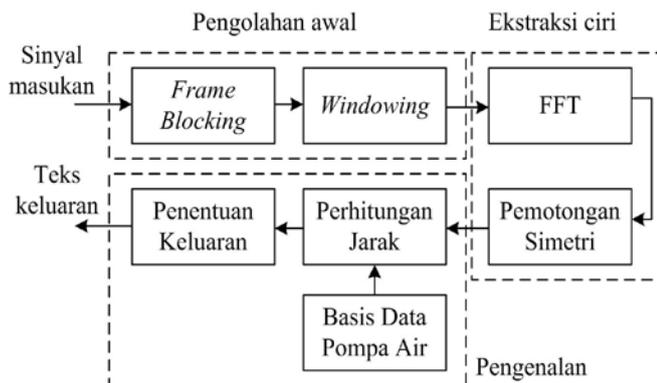
Mikrokontroler pada Gbr. 4 berfungsi sebagai *interface*, sehingga sinyal dari akselerometer dapat diterima oleh komputer. Selanjutnya, sinyal yang diterima oleh komputer diolah oleh sistem pengenalan berbasis komputer, agar jenis kerusakan mekanis pompa air dapat dikenali. Diagram blok sistem pengenalan berbasis komputer ini diperlihatkan pada Gbr. 7.

Bagian pengolahan awal pada Gbr. 7 pada dasarnya berfungsi untuk menyiapkan sinyal yang akan dicari ekstraksi cirinya. Suatu syarat agar sinyal tersebut dapat dicari ekstraksi cirinya adalah sinyal tersebut merupakan sinyal berhingga. Untuk mendapatkan sinyal yang berhingga dilakukan *frame blocking* [10]. Ukuran *frame blocking* tersebut bergantung pada panjang FFT yang digunakan dalam proses ekstraksi ciri. Pada penelitian ini dievaluasi panjang FFT 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 titik.

Windowing pada bagian pengolahan awal digunakan untuk mengurangi diskontinuitas pada tepi-tepi sinyal [10]. Adanya pengurangan ini diperlukan untuk mengurangi munculnya sinyal-sinyal harmonis pada langkah FFT dalam proses ekstraksi ciri. Pada penelitian ini, *window* yang digunakan pada *windowing* adalah *window* Hamming [11]. *Window* ini merupakan suatu *window* yang banyak digunakan dalam bidang pengolahan sinyal.



Gbr. 6 Instalasi pompa air



Gbr. 7 Diagram blok sistem pengenalan berbasis komputer

FFT pada bagian ekstraksi ciri berfungsi mengubah sinyal dari ranah waktu ke ranah frekuensi. Pada penelitian ini digunakan FFT *radix-2* [7], yang juga banyak digunakan dalam bidang pengolahan sinyal. Pemotongan simetri pada langkah ekstraksi ciri adalah pemotongan separuh sisi kanan hasil FFT. Pemotongan ini diperlukan karena pada dasarnya FFT akan memberikan hasil yang simetri, sehingga penggunaan salah satu dari separuh sisi (kanan atau kiri) saja sudah mencukupi. Pada penelitian ini dipilih separuh sisi kiri.

Pengenalan pada Gbr. 7 bertujuan mengenali kerusakan mekanis pompa air berdasarkan hasil ekstraksi ciri sinyal masukan. Pada penelitian ini digunakan metode pencocokan *template* [9]. Dalam melaksanakan metode ini, dilakukan perhitungan jarak menggunakan jarak Euclidean antara data ekstraksi ciri sinyal masukan dengan semua data ekstraksi ciri

yang disimpan dalam basis data pompa air. Pada penelitian ini, basis data pompa air terbagi dalam empat kelas kondisi pompa air yaitu baik, bantalan rusak, *impeller* rusak, dan katup kaki rusak. Setiap kelas tersebut berisi sejumlah sampel hasil ekstraksi ciri kondisi pompa air yang bersangkutan. Dalam penelitian yang dilaksanakan, dievaluasi sejumlah 1, 5, 10, 15, dan 20 sampel hasil ekstraksi ciri dalam setiap kelas.

Penentuan keluaran pada Gbr. 7 dilakukan dengan prinsip pencarian jarak terkecil pada hasil perhitungan jarak di kelas-kelas kondisi pompa air. Secara matematis hal ini dirumuskan pada (5)

$$k_{out} = \min(d_A, d_B, d_C, d_D) \quad (5)$$

dengan:

- $A, B, C,$ dan D adalah kelas kondisi pompa air yang masing-masing adalah baik, bantalan rusak, *impeller* rusak, dan katup kaki rusak.
- $d_A = (d_{A1}, d_{A2}, \dots, d_{An})$, $d_B = (d_{B1}, d_{B2}, \dots, d_{Bn})$, $d_C = (d_{C1}, d_{C2}, \dots, d_{Cn})$, dan $d_D = (d_{D1}, d_{D2}, \dots, d_{Dn})$, masing-masing adalah himpunan hasil perhitungan jarak antara data ekstraksi ciri sinyal masukan dengan sejumlah n data ekstraksi ciri kelas $A, B, C,$ dan D dalam basis data pompa air. Sebagai catatan, n disebut juga jumlah sampel/kelas.
- $k_{out} = (A, B, C,$ atau $D)$ adalah kelas kondisi pompa air yang terkait dengan kelas tempat jarak terkecil ditemukan.

Untuk mengetahui buruknya suatu sistem pengenalan perlu diuji tingkat pengenalannya. Persamaan (6) memperlihatkan suatu rumusan untuk menghitung tingkat pengenalan yang dimaksud.

$$\text{Tingkat pengenalan} = \frac{\text{Jumlah data uji yang dikenali dengan benar}}{\text{Jumlah keseluruhan data uji}} \times 100\% \quad (6)$$

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Visual

Hasil pengujian secara visual getaran pompa air pada berbagai resolusi ranah frekuensi, yang merupakan keluaran proses ekstraksi ciri pada Gbr. 7, diperlihatkan pada Gbr. 8 dan Gbr. 9. Gambar-gambar tersebut hanya memperlihatkan getaran pada arah Y, karena pada arah tersebut amplitudo getaran lebih besar, dibandingkan arah X, dan Z. Gbr. 5 menunjukkan arah sumbu-sumbu X, Y, dan Z tersebut.

Sebagai catatan, pada dasarnya amplitudo getaran pada arah sumbu X dan Y relatif lebih besar daripada sumbu Z. Hal ini disebabkan amplitudo getaran pompa air terjadi akibat adanya *impeller* yang berputar pada arah sumbu X dan Y. Selanjutnya, pada arah sumbu X dan Y, amplitudo getaran pada arah sumbu Y relatif lebih besar daripada arah sumbu X, karena pada arah sumbu X terdapat tekanan dari pipa yang dipasang di bagian atas pompa air, yang mengalirkan air ke atas.

Gbr. 8 dan Gbr. 9 menggambarkan sinyal-sinyal yang merepresentasikan pompa-pompa air yang baik serta yang mengalami kerusakan. Dengan mengamati puncak-puncak sinyal, dapat dilihat dengan jelas perbedaan antara pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan bantalan, *impeller*, atau katup kaki.

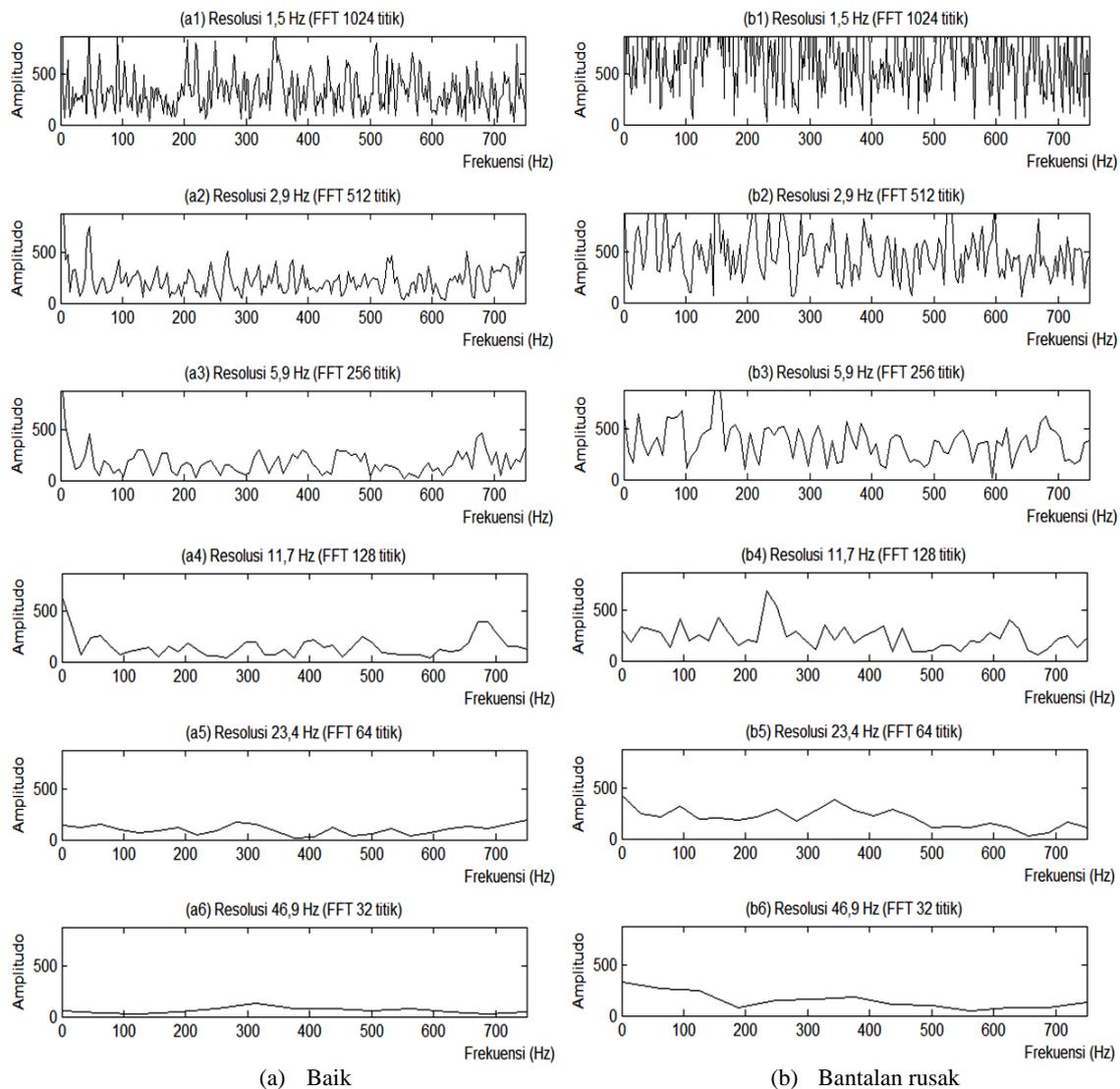
Gbr. 8 dan Gbr. 9 juga memperlihatkan getaran pompa air pada sumbu Y pada berbagai resolusi frekuensi. Terlihat adanya kecenderungan naiknya tingkat tampilan detail jika resolusi frekuensinya makin rendah. Berdasarkan pengamatan, jika tampilan detail makin tinggi, perbedaan antara pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan bantalan, *impeller*, atau katup kaki makin mudah dikenali.

B. Pengujian Sistem Pengenalan

Hasil pengujian sistem pengenalan, pada berbagai resolusi frekuensi dan jumlah sampel/kelas, diperlihatkan pada Tabel I. Catatan yang pertama untuk Tabel I adalah, hasil yang

diperoleh mengacu pada (6), dengan jumlah data uji adalah 100 runtun data getaran dari sumbu Y, yang terdiri atas masing-masing 25 runtun data pompa air yang kondisinya baik, dan yang mengalami kerusakan bantalan, *impeller*, dan katup kaki. Sejumlah 100 runtun data ini secara statistik sudah mencukupi. Sedangkan sumbu Y dipilih karena berdasarkan penjelasan sebelumnya, sumbu Y mempunyai rerata amplitude getaran yang relatif lebih besar daripada sumbu X dan Z.

Berdasarkan Tabel I, dapat diketahui bahwa resolusi frekuensi yang semakin besar secara umum akan menyebabkan turunnya tingkat pengenalan. Tabel II memperlihatkan suatu contoh untuk menjelaskan penyebab terjadinya penurunan tingkat pengenalan tersebut. Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel II, resolusi frekuensi yang semakin besar menyebabkan makin sedikitnya jumlah koefisien ekstraksi ciri yang digunakan untuk membedakan antara kerusakan yang satu dengan kerusakan yang lain.



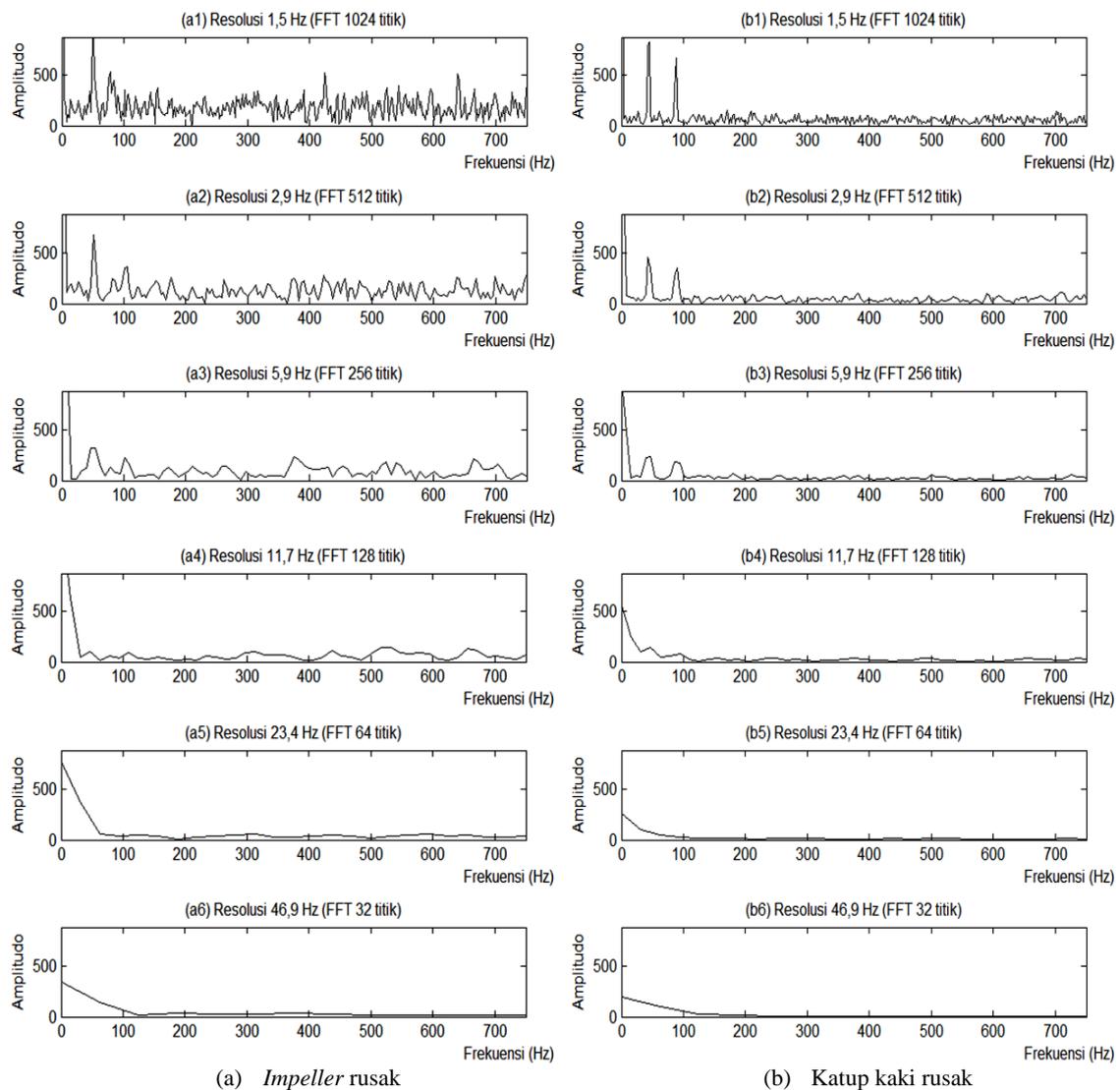
Gbr. 8 Tampilan grafis getaran pada ranah frekuensi untuk sumbu Y, untuk pompa air yang baik dan yang mengalami kerusakan bantalan

Akibat hal tersebut juga diperlihatkan pada Tabel II, yaitu makin kecilnya jarak Euclidean jika jumlah koefisien ekstraksi ciri yang digunakan makin sedikit. Adanya jarak Euclidean yang makin kecil tersebut akan menyebabkan derajat kesamaan antara kerusakan yang satu dengan kerusakan yang lain makin besar. Hal ini berarti perbedaan antara kerusakan yang satu dengan kerusakan yang lainnya akan semakin sulit dikenali. Kejadian ini menyebabkan makin turunnya tingkat pengenalan.

Tabel I juga memperlihatkan, secara umum, dimulai dari resolusi frekuensi yang terendah 5,9 Hz, jika jumlah sampel/kelas semakin tinggi, tingkat pengenalan akan meningkat. Penyebab hal tersebut diperlihatkan contohnya pada Tabel III. Pada dasarnya, meningkatnya jumlah sampel/kelas akan memperbesar kemungkinan suatu data masukan untuk mendapatkan suatu data yang derajat

kesamaannya makin besar (makin mirip), pada basis data pompa air. Sebagai catatan, kemungkinan yang semakin besar ini diperlihatkan pengaruhnya dengan makin kecilnya jarak Euclidean jika jumlah sampel/kelas semakin naik. Adanya kemungkinan yang semakin besar ini, menyebabkan makin naiknya tingkat pengenalan.

Berdasarkan Tabel I, dapat dilihat juga bahwa tingkat pengenalan tertinggi 100% secara optimal diperoleh dengan menggunakan resolusi frekuensi 5,9 Hz dan sejumlah 5 sampel/kelas pada basis data pompa air. Resolusi frekuensi 5,9 Hz ini diperoleh menggunakan FFT 256 titik dengan sejumlah 128 koefisien FFT yang digunakan sebagai ekstraksi ciri. Hasil tersebut diperoleh untuk satu macam tingkat kerusakan pada bantalan, *impeller*, dan katup kaki. Untuk tingkat kerusakan yang beragam pada bantalan, *impeller*, dan katup kaki tidak dibahas dalam penelitian ini.



Gbr. 9 Tampilan grafis getaran pada ranah frekuensi untuk sumbu Y, untuk pompa air yang mengalami kerusakan *impeller* dan katup kaki

TABEL I

HASIL PENGUJIAN SISTEM PENGENALAN KERUSAKAN MEKANIS POMPA AIR, PADA BERBAGAI KOMBINASI RESOLUSI FREKUENSI, DAN JUMLAH SAMPEL/KELAS. DATA DIAMBIL DARI GETARAN PADA SUMBU Y. HASIL YANG DITAMPILKAN ADALAH: TINGKAT PENGENALAN (%).

Jumlah sampel/kelas	Resolusi Frekuensi (Hz)					
	1,5	2,9	5,9	11,7	23,4	46,9
1	100	100	96	91	73	73
5	100	100	100	95	90	79
10	100	100	100	96	91	82
15	100	100	100	98	94	87
20	100	100	100	98	95	86

TABEL II

CONTOH PERHITUNGAN JARAK EUCLIDEAN ANTARA MASUKAN POMPA AIR NORMAL DENGAN BASIS DATA POMPA AIR PADA KELAS *IMPELLER* RUSAK, PADA BERBAGAI RESOLUSI FREKUENSI.

Resolusi frekuensi (Hz)	Jumlah koefisien ekstraksi ciri	Jarak Euclidean
1,5	512	6.195,8
2,9	256	3.169,3
5,9	128	1.663,0
11,7	64	721,9
23,4	32	303,8
46,9	16	220,9

TABEL III

CONTOH PENGUJIAN PERHITUNGAN RERATA JARAK EUCLIDEAN ANTARA DATA MASUKAN KONDISI POMPA AIR NORMAL DENGAN BASIS DATA POMPA AIR, PADA RESOLUSI FREKUENSI 46,9 HZ.

	Jumlah sampel/kelas				
	1	5	10	15	20
Rerata jarak Euclidean	189,4	148,9	112,6	112,6	103,1

VII. KESIMPULAN

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan di atas, dapat disimpulkan bahwa representasi sinyal-sinyal getaran secara visual pada ranah frekuensi memperlihatkan perbedaan-perbedaan antara pompa-pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan. Dengan mengamati puncak-puncak sinyal, dapat dibedakan antara pompa-pompa air yang baik dengan yang mengalami kerusakan bantalan, *impeller*, atau katup kaki.

Sistem pengenalan kerusakan mekanis pompa air yang dikembangkan dapat mencapai tingkat pengenalan 100%. Tingkat pengenalan tersebut, secara optimal diperoleh dengan menggunakan resolusi frekuensi 5,9 Hz dan sejumlah 5 sampel/kelas pada basis data pompa air. Resolusi frekuensi 5,9 Hz ini diperoleh menggunakan FFT 256 titik dengan sejumlah 128 koefisien FFT yang digunakan sebagai ekstraksi cirinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Sanata Dharma Yogyakarta yang telah membantu pendanaan 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, pp. 403-408, 2008.
- [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, pp. 9-14, 2010.
- [3] T. P. Purwanto, dan J. Sianipar, "Spektrum Getaran Pada Bantalan Elemen Gelinding Tanpa Pelumasan dan Mengalami Misalignment", *Jurnal Mesin Industri*, vol. 6, no. 1, pp. 47-58, 2009.
- [4] E. Ebrahimi, "Vibration Analysis for Fault Diagnosis of Rolling Element Bearing", *Journal of American Science*, vol. 8, no. 2, pp. 331-336, 2012.
- [5] L. Sumarno, Tjendro, W. Widyastuti, dan D. Wihadi, "Analisis Kerusakan Bantalan pada Berbagai Resolusi Frekuensi", *Prosiding Seminar Nasional FORTEI 2013*, Universitas Andalas, Padang, pp. 14-18, 2013.
- [6] L. Sumarno, Tjendro, W. Widyastuti, dan D. Wihadi, "Water Pump Mechanical Faults Display at Various Frequency Resolutions". *Telkommika*. vol. 12. no. 1, pp. 97-106, 2014.
- [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. R. Wilson, dan T. R. Martinez, "Improved Heterogeneous Distance Function", *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 6, pp. 1-34, 1997.
- [9] A. K. Jain, R. P. W. Duin, dan J. Mao, "Statistical Pattern Recognition: A Review", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 1, pp. 4-37, 2000.
- [10] N. A. Meseguer, "Speech Analysis for Automatic Speech Recognition", MSc Thesis, NTNU, Trondheim, 2009.
- [11] F. J. Harris, "On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform", *Proceedings of the IEEE*, vol. 66, no.1, pp. 51-83, 1978.