

DETEKSI CACAT RODA GIGI PADA SISTEM TRANSMISI FAN INDUSTRI MENGGUNAKAN *SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)*

Berli Paripurna Kamiel

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta
Jurusan Teknik Mesin
berlikamiel@umy.ac.id

**Kurniawan Budi
Wicaksono**

Mahasiswa S1
Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta
Jurusan Teknik Mesin
kbwicaksono05@gmail.com

Bambang Riyanta

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta
Jurusan Teknik Mesin
bambangriyanta@umy.ac.id

The fan is a mechanical device that functions to produce flow in a fluid, usually in the form of air. In fan industry, there is a drive system that is a series of gears that serves to reduce rotation. The gears often suffer damage, so the resulting rotation is not optimal. Thus, this study aims to measure the classification with Support Vector Machine (SVM) to examine damage to gears.

This study uses the Support Vector Machine (SVM) method, to classify various variations of conditions from each gear fault. In this study using MATLAB 2018a software. There are 3 types of gear condition variations (normal, fault 1 and fault 2), each recording of 500 files per condition is performed. Each variation of conditions is extracted into a number of time domain statistical parameters and selected using the Relief Feature Selection. SVM classification is done by binary (two classes) and multi classes (many classes), using the Radial Basic Function (RBF) kernel function.

The results of research conducted on several variations of this gear, showed optimal classification with 100% accuracy.

Keywords: *fan industry, gear fault, Support Vector Machine (SVM), Time Synchronous Averaging (TSA), Radial Basic Function (RBF).*

1. PENDAHULUAN

Fan adalah suatu alat mekanika yang berfungsi untuk menghasilkan flow pada suatu jenis fluida, biasanya berupa udara. Pada dunia industri *fan* sangat berperan penting dalam mensirkulasikan udara sesuai tingkat kebutuhannya. *Fan* terdiri dari beberapa komponen yaitu, case, sudu (vane/blade), dan penggeraknya (transmisi). Vane/blade berputar untuk menghasilkan aliran udara yang dibutuhkan. Berbeda dengan fungsi kompresor yang dapat menghasilkan udara bertekanan dengan flow rendah, akan tetapi *fan* menghasilkan aliran udara dengan flow tinggi dan tekanan yang rendah [1].

Salah satu komponen dalam *fan* industri adalah rangkaian sistem transmisi [2]. Kegagalan dalam salah satu komponen roda gigi transmisi dapat menyebabkan turunnya performa pada *fan* [3]. Pendeteksian cacat pada roda gigi ini sangat diperlukan, karena bila terjadi kerusakan akan memakan biaya perbaikan yang cukup mahal. Salah satu pendeteksian cacat adalah dengan memonitoring getaran pada roda gigi secara berkala. Pengukuran getaran diperlukan untuk memantau dan memprediksi cacat pada roda gigi. Setiap roda gigi diuji dan dicatat datanya secara berkala, data yang diperoleh dalam bentuk algoritma akan diolah sehingga dapat menentukan cacat pada roda gigi tersebut [2].

Penelitian menggunakan metode *SVM* dalam mendeteksi cacat roda gigi telah dilakukan, diantaranya Ramahandran dkk., [4] yaitu pendeteksian cacat roda gigi tipe *spur bevel gear* dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network (ANN)* dan *Proximal Support Vector Machine (PSVM)* dengan hasil 97% efisiensi lebih baik untuk *PSVM*, penelitian dilakukan dengan setiap kondisi vektor 100 set nilai fitur dikumpulkan dari percobaan pada 2000rpm. Dejie Yu dkk., [5] melakukan pengujian dengan pemotongan laser pada bagian roda gigi, dengan lebar 0,15-0,25mm, dengan kedalamannya 0,1-0,3mm. Sensor percepatan digunakan memonitoring gear, disampel dengan frekuensi sampel 1024 Hz. Hasilnya *SVM* dapat diterapkan dengan sukses pada pengenalan pola, dan dapat mengklasifikasikan kondisi dua roda gigi secara akurat.

Tao Song dkk., [6] mendeteksi cacat rangkaian roda gigi pada *wind turbine* menggunakan metode *SVM*, menggunakan fungsi karnel dengan *Radial Basis Function (RBF)* dengan parameter kernel RBF, akurasi metode ini dapat mencapai 92%.

Likun Chao dkk., [7] melakukan penelitian dengan menggunakan dataset dari *2009 PHM Conference Data Analysis Competition*. 3 kelompok gigi heliks dengan keadaan normal berbeda dipilih untuk klasifikasi pengenalan pola. Kelompok 1 dalam kondisi baik, kelompok 2 dan kelompok 3 memiliki bagian cacat yang berbeda. Terdapat 816 data sampel yang diekstraksi dan dibagi menjadi dua bagian dan diklasifikasi menggunakan *SVM*, bagian yang memiliki 612 data sampel sebagai dataset pelatihan klasifikasi *SVM* dan bagian lainnya yang memiliki 204 data sampel sebagai dataset pengujian klasifikasi *SVM*. Dengan hasil *SVM* memiliki efek diagnostic yang stabil tingkat akurasi 97%. Meskipun roda gigi berada pada beban dan kecepatan yang berbeda.

Yangdalian dkk., [8] melakukan penelitian getaran roda gigi dilakukan pada simulator gangguan mesin. Memperoleh hasil *SVM* yang dioptimalkan oleh algoritma optimasi berbeda secara terpisah dapat dikenali dengan baik untuk sampel gigi normal, tetapi sedikit lebih rendah untuk sampel gigi serpihan dan sampel gigi rusak. Dengan tingkat akurasi sampel pengujian mencapai 94,67%.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, metode *Support Vector Machine* dapat mengklasifikasikan kondisi cacat atau kerusakan pada komponen, dengan metode pencocokan pola. Namun belum ada penggunaan parameter statistik yang optimal, oleh karena itu masih terbuka penelitian lebih lanjut untuk mengkombinasikan antara parameter statistik sebagai input metode klasifikasi berbasis *SVM*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode klasifikasi *SVM* yang optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Roda Gigi

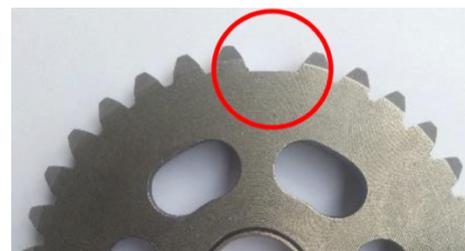
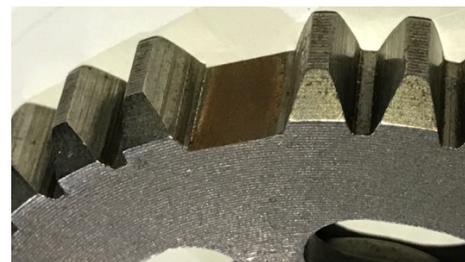
Penelitian ini menggunakan roda gigi tipe *Spurr Gear*. Roda gigi tipe ini dipilih karena dapat optimal dalam mereduksi putaran, itu disebabkan oleh profil gigi yang cenderung lurus dan rata sehingga penyaluran putaran dapat berjalan dengan baik. Roda gigi yang digunakan untuk pengujian ada tiga variasi kondisi yang berbeda, diantaranya roda gigi normal pada Gambar 1, roda gigi kedua merupakan roda gigi yang telah dibuat cacat menggunakan wirecut dengan diameter 1,5mm pada Gambar 2, dan roda gigi ketiga dibuat cacat penuh pada salah satu giginya pada Gambar 3.



Gambar 1. Roda gigi Normal



Gambar 2. Rusak satu buah gigi sebagian ($\frac{1}{2}$ diameter 1,5mm)

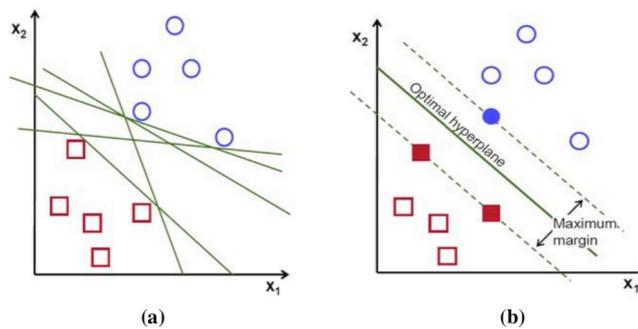


Gambar 3. Rusak satu buah gigi keseluruhan

2.2. Support Vector Machine

SVM merupakan metode yang digunakan untuk klasifikasi biner. Pertama kali *SVM* dikemukakan oleh Vapnik pada tahun 1992 dengan menggabungkan beberapa rangkaian konsep di bidang pattern recognition. Pada dasarnya, metode ini bekerja dengan menemukan hyperplane terbaik yang memisahkan kelompok data pada suatu dimensi dengan sempurna ke dalam dua kelas [9].

Pada Gambar 4(a) menunjukkan beberapa pattern dari dua kelas (pattern dalam kelas a ditandai dengan simbol kotak merah dan pattern dalam kelas b ditandai dengan simbol lingkaran biru) yang selanjutnya akan diproses pencarian hyperplane terbaiknya dengan memunculkan beberapa discrimination boundaries (alternatif garis pisah). Dalam menentukan hyperplane terbaik dilakukan dengan mencari titik maksimal dan mengukur margin nya. Gambar 4(b) memperlihatkan hyperplane terbaik yang terletak ditengah antara kedua kelas, dan pattern yang berada di dekat hyperplane merupakan Support Vector.



Gambar 4. Support Vector Machine

2.3. Parameter Statistik

SVM membutuhkan parameter statistik sebagai input untuk membentuk model klasifikasi. Penelitian ini mengusulkan duabelas parameter statistik domain waktu.

1. RMS

Root Mean Square (RMS) adalah sebuah indikator level energi dari sinyal getaran.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

2. Standar Deviation

Standard deviation (σ) menunjukkan seberapa besar fluktuasi sebuah sinyal dari nilai mean-nya. Standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa sampel mendekati mean, sedangkan standar deviasi tinggi menunjukkan bahwa sampel tersebut jauh dari mean-nya. Standar deviasi juga dapat dianggap sebagai ukuran efektif energi atau daya sinyal getaran

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2)$$

3. Variance

Variance merupakan nilai kuadrat dari standar deviasi, σ , yang dirumuskan sebagai

$$Variance = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad (3)$$

4. Kurtosis

Kurtosis menunjukkan apakah bentuk data atau sinyal itu datar atau runcing. Komponen normal (tidak ada kerusakan) ditunjukkan dengan kurtosis yang sangat rendah. Sedangkan komponen yang rusak memiliki kurtosis yang tinggi.

$$Kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N-1)\sigma^4} \quad (4)$$

5. Minimum Value

Minimum value menunjukkan titik minimum dari nilai vibrasi yang dihasilkan

6. Crest Factor

Crest Factor (C_f) merupakan pengukuran statistika yang cukup banyak digunakan dalam analisis sinyal. Parameter ini didefinisikan sebagai rasio nilai absolut maksimum dari nilai RMS sinyal.

$$C_f = \frac{\max(|x(n)|)}{\sigma} \quad (5)$$

7. Peak Value

Nilai puncak (peak value) merupakan analisis yang dilakukan dengan melihat intensitas energi yang dihasilkan oleh getaran pada puncak-puncak data domain waktu maupun domain frekuensi.

$$Peak = \max|x(N)| \quad (6)$$

8. Entrophy

Nilai *entropy* (S) dalam klasifikasi kerusakan menandakan adanya indikasi kerusakan serta turbulensi aliran dalam rentang kecepatan tertentu.

$$S = \sum_{i=1}^N p(x_i) \log_{10} p(x_i) \quad (7)$$

9. Mean

Nilai mean, biasanya dinyatakan dengan \bar{x} , adalah penjumlahan nilai sampel dibagi banyaknya sampel (n). Dapat diartikan bahwa nilai mean umumnya dijadikan sebagai ukuran data yang mendominasi keseluruhan data.

$$Mean = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x(k) \quad (8)$$

10. Skewness

Skewness adalah rumus statistik yang merupakan ukuran dari variabel positif. Perhitungan persamaan *skewness* dilakukan atas dasar rata-rata distribusi, jumlah variabel dan standar deviasi distribusi.

$$Skewness = \frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})^3}{(N-1)\sigma^3} \quad (9)$$

11. Maximum Value

Maximum value menunjukkan titik maksimal dari nilai vibrasi yang dihasilkan

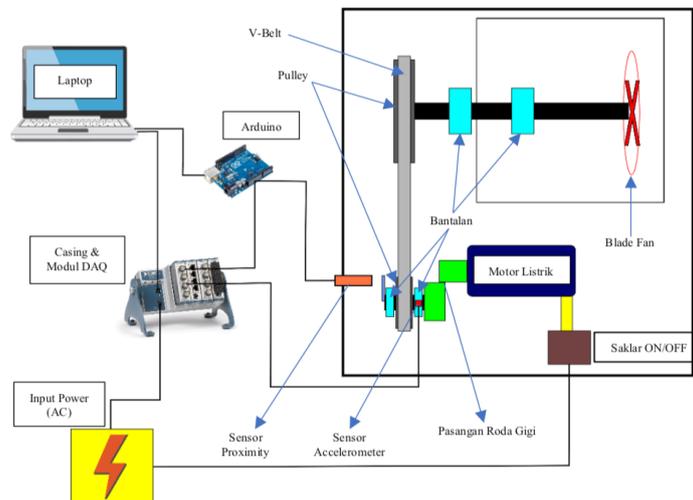
12. Median

Median adalah nilai tengah dari suatu set data statistik. Secara matematis, rumus median seperti berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (10)$$

3. METODE DAN BAHAN

Sinyal getaran diambil dari prototipe *fan* industri dengan skema seperti dapat dilihat pada Gambar 5. Komponen alat uji dan system akuisisi data terdiri dari beberapa komponen yaitu motor listrik, transmisi roda gigi, PC, perangkat data akuisisi, dan accelerometer.



Gambar 5. Skema alat uji

Akuisisi sinyal getaran dilakukan menggunakan akselerometer yang diletakkan pada housing bearing yang berdekatan dengan roda gigi. Akselerometer yang digunakan adalah dari Bruel & Kjaer seri 4507 seperti ditunjukkan pada Gambar 6 yang dihubungkan ke modul akuisisi data dari National Instrument seri NI 9234. Sampling rate di set pada frekwensi 17066 Hz sedangkan kecepatan motor di pertahankan konstan pada 2850 RPM.



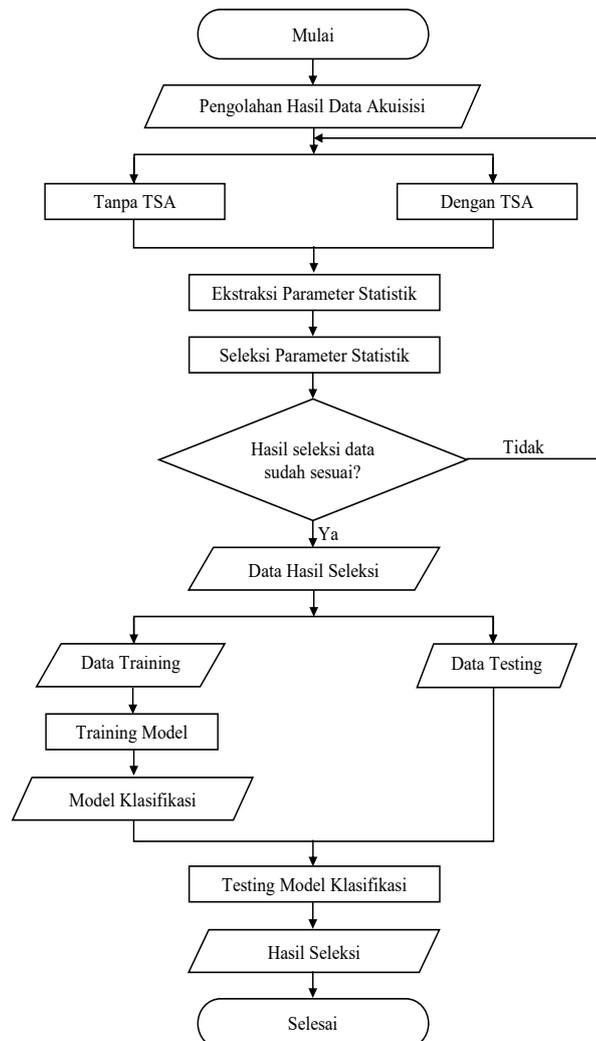
Gambar 6. Accelerometer Bruel & Kjaer tipe 4507

Akuisisi data sinyal vibrasi yang dilakukan terdiri dari tiga kondisi yang berbeda yakni, roda gigi normal, satu buah roda gigi rusak sebagian (cacat 1,5mm), dan satu buah roda gigi rusak keseluruhan. Untuk setiap kondisinya perekaman dilakukan sebanyak 500 *file*, dengan waktu 10 detik setiap *file* nya dan jeda selama 2 detik. Skematika perekaman sinyal getaran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skematika perekaman sinyal getaran

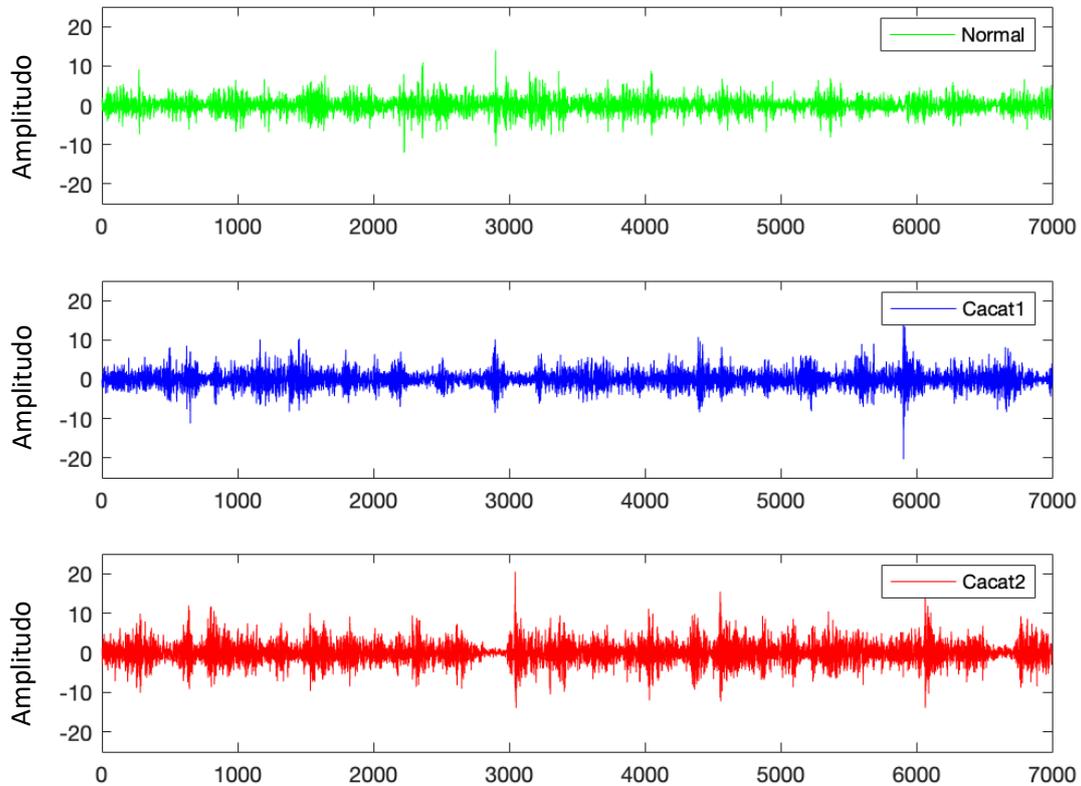
Diagram alir pada Gambar 8 menunjukkan prosedur klasifikasi kondisi cacat roda gigi yang dimulai dengan melakukan ekstraksi parameter statistik. Setiap parameter akan memberikan sebuah hasil plot dari tiga kondisi. Plot karakteristik parameter statistik digunakan untuk input pada tahap berikutnya.



Gambar 8. Diagram alir pengolahan data

4. HASIL DAN DISKUSI

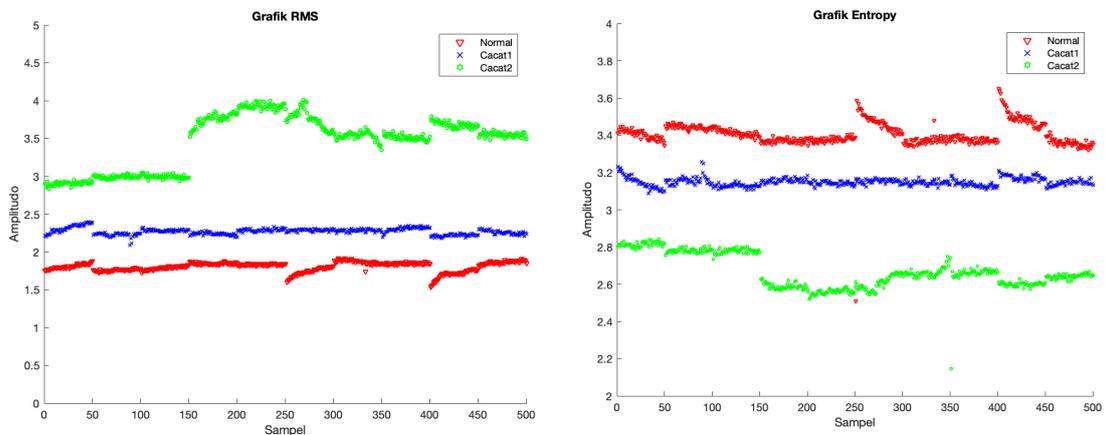
Sinyal getaran domain waktu untuk semua kondisi roda gigi pada Gambar 9 menunjukkan bahwa besar amplitudo getaran menunjukkan meningkatnya level kerusakan. Hal ini disebabkan oleh semakin besar tingkat kerusakan pada roda gigi semakin besar pula amplitudo getaran yang terjadi, begitupula sebaliknya.

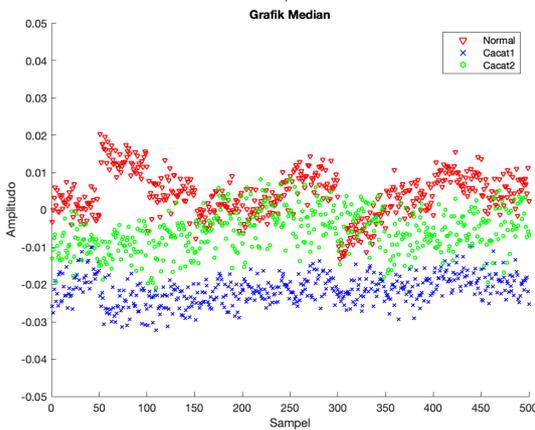
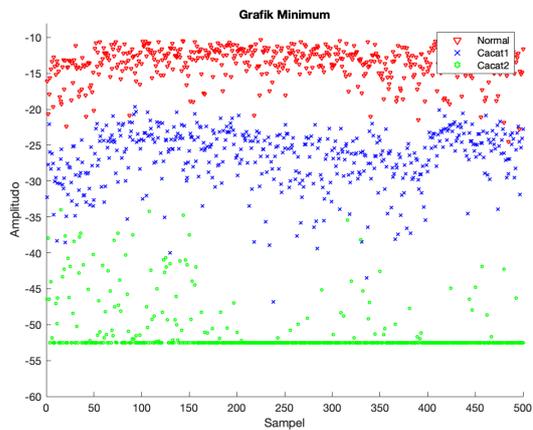
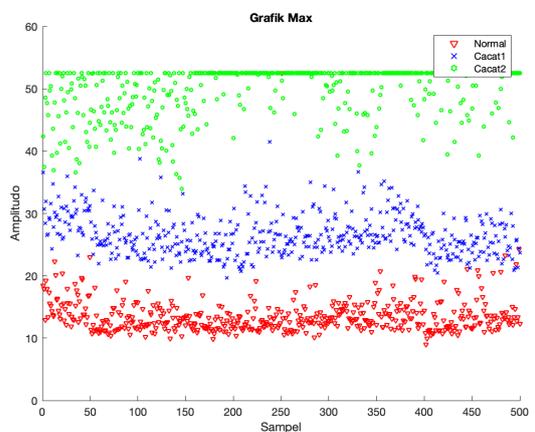
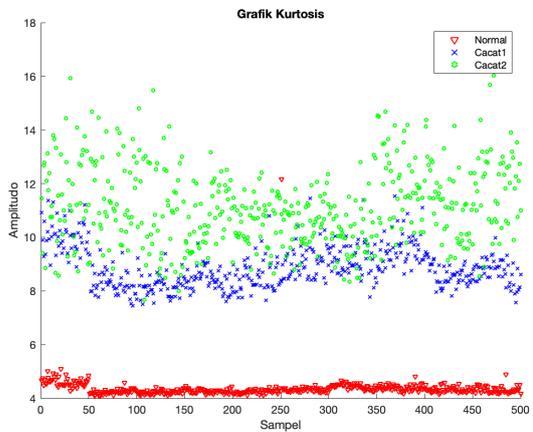
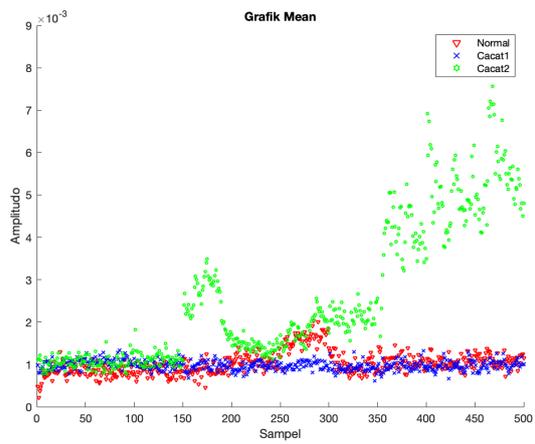
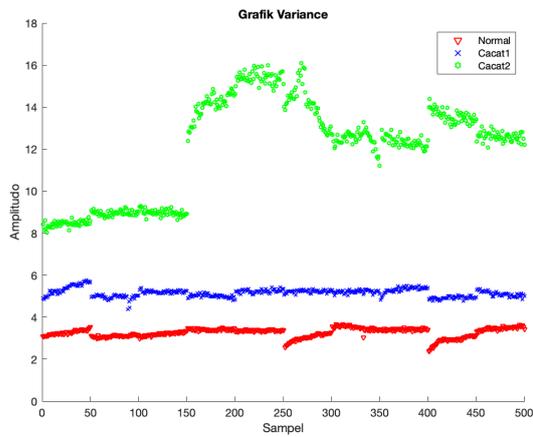
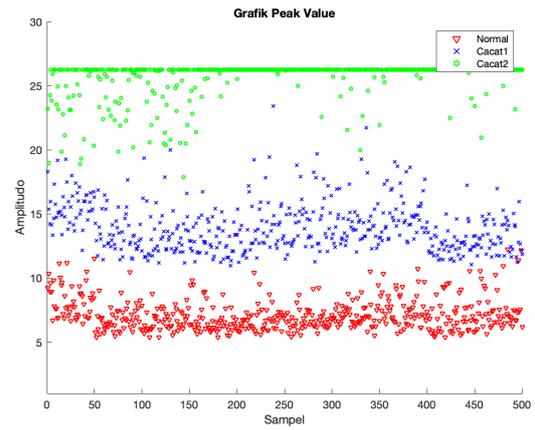
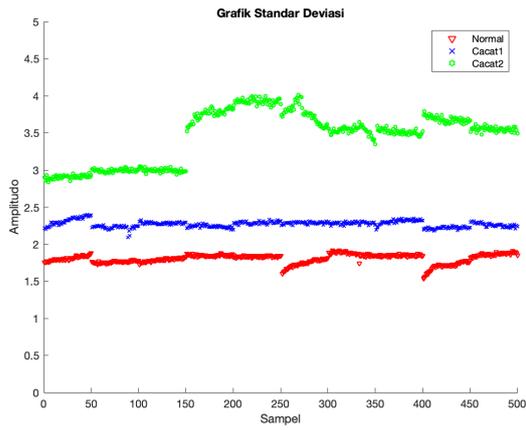


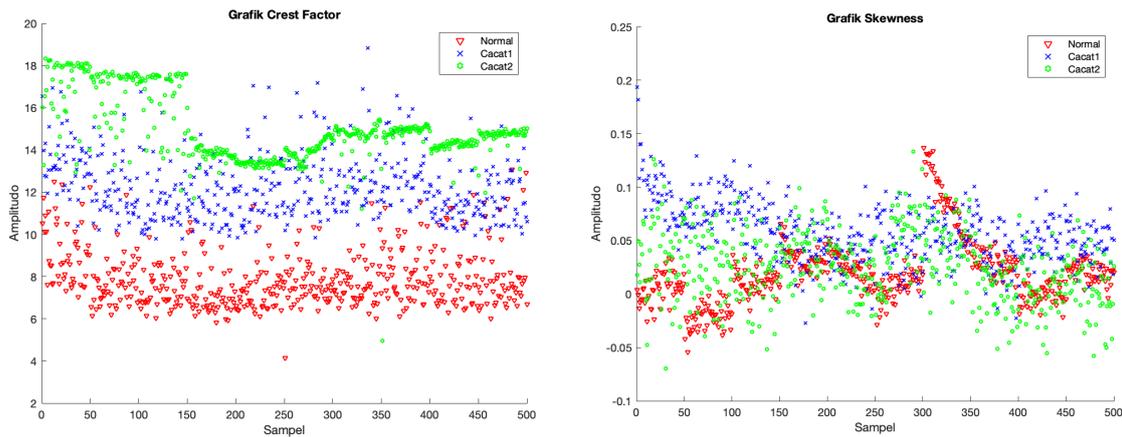
Gambar 9. Plot domain waktu

Plot domain waktu seperti pada Gambar 9 menunjukkan perbedaan yang mendasar dari setiap variasi kondisi. Plot domain waktu kondisi Cacat 2 memiliki nilai amplitudo yang tinggi, sehingga ketajaman puncak yang ditampilkan lebih besar dibandingkan kondisi variasi lainnya. Hasil plot domain waktu dari setiap variasi kondisi berbanding lurus terhadap tingkat kerusakan yang terjadi pada roda gigi.

Untuk melakukan suatu klasifikasi *SVM* diperlukan beberapa parameter statistik untuk membantu dalam pengelompokan berdasarkan karakteristik dari data yang direkam. Pada Gambar 10 menunjukkan plot parameter statistik domain waktu.







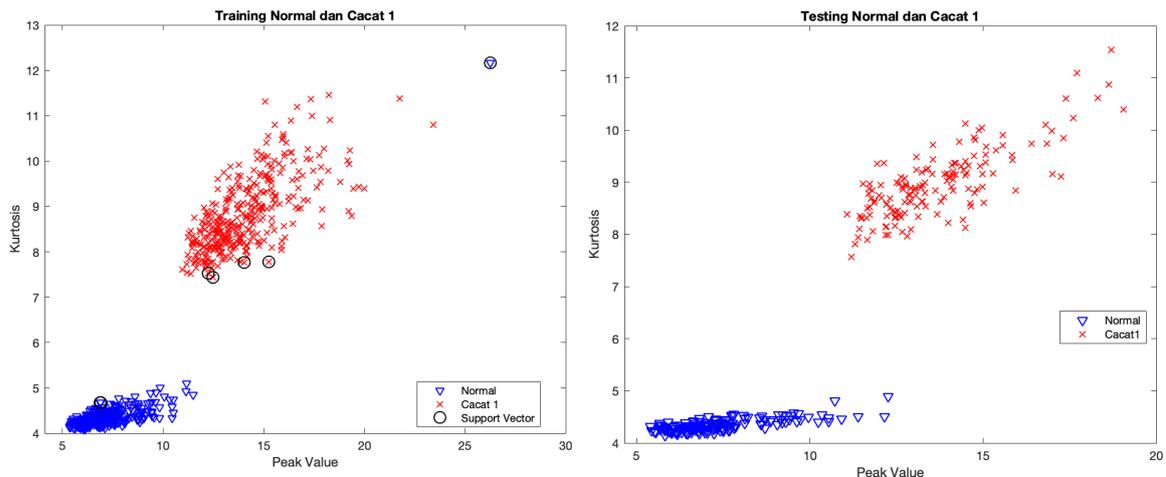
Gambar 10. Plot parameter statistik domain waktu

Data yang telah diekstraksi ke dalam 12 parameter statistik masing – masing merepresentasikan nilai dan hal yang berbeda terhadap sinyal *vibrasi* yang dihasilkan. Setiap parameter statistik yang digunakan mengandung informasi yang dibutuhkan sebagai input klasifikasi. Apabila input klasifikasi memiliki banyak data dengan kandungan informasi yang sama, maka hasil klasifikasi secara visual akan mengalami penumpukan dan menjadi tidak optimal. Oleh karena itu metode seleksi parameter statistik sangat dibutuhkan dalam proses persiapan data sebelum klasifikasi.

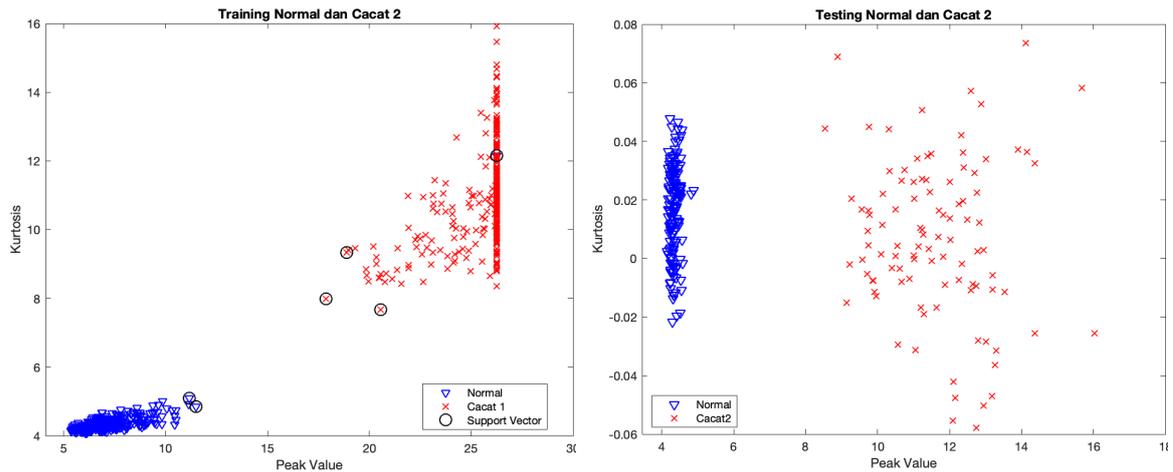
Proses seleksi data dilakukan dengan menggunakan algoritma *Relief Feature Selection*. Algoritma *Relief Feature Selection* memberikan urutan *ranked* (peringkat) dan *weight* (bobot) dari parameter statistik. Sistem urutan *ranked* pada *Relief Feature Selection* didasarkan pada pemilihan parameter statistik yang memiliki informasi penting untuk proses klasifikasi. Nilai *weight* merupakan hal penting pada proses ini karena semakin besar nilai ini maka semakin penting parameter tersebut.

Proses *training* adalah proses pembuatan model yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan klasifikasi. Pembentukan model ini memetakan hyperplane optimal menggunakan kernel *function RBF*. Output yang dihasilkan berupa *support vector*, yang berupa pola dengan jarak terdekat terhadap *hyperplane optimal*.

Proses *testing* adalah proses pengujian terhadap data *training* yang telah dibuat untuk menjamin generalisasi suatu model, dilakukan sebagai tahapan evaluasi terhadap model klasifikasi yang dibangun. Hasil dari proses ini adalah menghitung tingkat akurasi yang diberikan dari pengelompokan data tersebut. Pada proses *training* dan *testing* dilakukan dengan cara membandingkan *one vs one*, yakni data Normal dengan Cacat 1 dan Normal dengan Cacat 2, seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Hasil klasifikasi data Normal dengan Cacat 1



Gambar 12. Hasil klasifikasi data Normal dengan Cacat 2

Pengukuran performa hasil klasifikasi SVM pada umumnya dapat dilihat pada visualisasi hasil klasifikasi. Namun untuk menentukan seberapa baik hasil klasifikasi dan tingkat akurasinya tidak cukup hanya dilakukan melalui pengamatan secara visual. Oleh karena itu, proses *testing* berfungsi sebagai indikator keberhasilan sebuah klasifikasi yang diinginkan. Pada proses *testing*, hal yang paling utama dilakukan adalah memberikan hasil analisa dan perhitungan tingkat akurasi. Nilai ini diukur berdasarkan bagaimana set data yang digunakan dalam proses *testing* dapat menempati posisinya sesuai pengelompokkan kelas pada model klasifikasi.

No	Model Klasifikasi	Tingkat Akurasi
1	Normal dengan Cacat 1	100%
2	Normal dengan Cacat 2	100%

Pengukuran performa klasifikasi multi class SVM dihitung berdasarkan tingkat akurasi klasifikasinya. Selain itu jumlah kesalahan klasifikasi yang dilakukan juga merupakan tolak ukur keberhasilan klasifikasi. Hal ini secara jelas dapat ditunjukkan pada confusion matrix seperti yang terdapat pada Gambar 13.



Gambar 13. Confusion matrix multiclass SVM

Pada model multi class SVM yang mengklasifikasikan kelompok data dalam tiga kelas memiliki tingkat akurasi sebesar 100%. Hal ini menunjukkan model klasifikasi yang dibangun pada proses training serta proses pemetaannya optimal. Terlihat hasil data testing sudah sesuai menempati pola tiap kondisi normal, cacat 1, dan cacat 2.

5. KESIMPULAN

Metode analisa sinyal vibrasi berbasis Support Vector Machine (SVM) dapat digunakan dalam mendeteksi fenomena cacat roda gigi pada transmisi fan industri. Metode ini lebih unggul dibandingkan analisa berbasis parameter statistik dengan perolehan tingkat akurasi sebesar 100% terhadap data dalam semua kondisi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kim Won, Jae. (2000). Vortex Flow from Centrifugal Fan, Department of Mechanical Engineering Sun Moon University, South Korea
- [2] Alsalaet, J. (2012, Desember 5). Vibration Analysis and Diagnostic Guide. Basrah:University of Basrah.
- [3] Praveenkumar, T., Saimurugan, M., Krishnakumar, P., & Ramachandran, K. I. (2014). Fault Diagnostic of Automobile Gearbox Based on Machine Learning Techniques. *Procedia Engineering* (97), 2092-2098
- [4] Saravanan, N., Kumar Siddabatuni, V. N. S., & Ramachandran, K. I. (2009). Fault Diagnosis of Spur Bevel Gear Box Using Artificial Neural Network (ANN), and Proximal Support Vector Machine (PSVM). *Applied Soft Computing* (10), 344-360.
- [5] Cheng, J., Dejie Yu, & Yu Yang. (2007). A Fault Diagnosis Approach for Gears Based on IMF AR Model and SVM. *EURASIP Journal*, Article ID 647135.
- [6] Tang, B., Tao Song, Feng Li, & Lei Deng. (2012). Fault Diagnosis for a Wind Turbine Transmission System Based on Manifold Learning and Shannon Wavelet Support Vector Machine. *Renewable Energy* (62), 1-9.
- [7] Chao, L., Lu, C., & Ma, J. (2017). An Approach to Fault Diagnosis for Gearbox Based on Reconstructed Energy and Support Vector Machine. *Vibroengineering Procedia* (14), 2345-0533.
- [8] Dalian, Y., Yilun, L., Li Songbai, Li Xuejun, & Ma Liyong. (2015). Gear Fault Diagnosis Based on Support Vector Machine Optimized by Artificial Bee Colony Algorithm. *Mechanism and Machine Theory* (90), 219-229.
- [9] Brown, M., Gunn, R., & Lewiss, G. (1999). Support vector machines for optimal classification and spectral unmixing. *Ecological Modelling*, Volume 120, Issues 2–3, 17, Pages 167-179

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA : Deteksi Cacat Roda Gigi Pada Sistem Transmisi Fan Industri Menggunakan Support Vector Machine (SVM)

Judul Naskah Publikasi : Gear Fault Detection on Transmission System in Fan Industry using Support Vector Machine (SVM)

Nama Mahasiswa: Kurniawan Budi Wicaksono

NIM : 20150130154

Pembimbing 1: Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

Pembimbing 2: Dr. Bambang Riyanta, S.T., M.T

Hal yang dimintakan persetujuan *:

<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai



Tanda Tangan

Kurniawan Budi Wicaksono

Tanggal

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan

Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

Tanggal

Tanda Tangan

Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

Tanggal

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.