

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Klasifikasi Cacat Lintasan Dalam Bantalan Bola Menggunakan Support Vektor Machine (SVM) pada Fan Industri

Judul Naskah Publikasi: Klasifikasi Cacat Lintasan Dalam Bantalan Bola Menggunakan Support Vektor Machine (SVM) pada Fan Industri

Nama Mahasiswa: Arie Joko Wiranto

NIM: 20150130006

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 checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

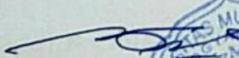
*beri tanda \checkmark di kotak yang sesuai


Tanda Tangan
Arie Joko Wiranto

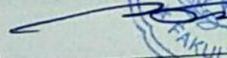
Tanggal 16/10/2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui


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

Tanggal 16/10/2019


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

Tanggal 16/10/2019

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

KLASIFIKASI CACAT LINTASAN DALAM BANTALAN BOLA BERBASIS SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) PADA FAN INDUSTRI

(Classification of Track Defects in Support Vector Machine (SVM) Ball Bearing on Industrial Fan)

BERLI P KAMIEL, ARIE JOKO WIRANTO, BAMBANG RIYANTA

ABSTRAK

Fan industri merupakan mesin yang dibutuhkan sebuah industri untuk mensirkulasikan udara di dalam ruangan dengan udara luar. Salah satu komponen dari *fan* yang sering rusak adalah bantalan. Metode *spectrum* merupakan salah satu metode yang berbasis getaran namun metode ini memiliki kekurangan yaitu tidak mudah dipahami oleh operator di lapangan. Metode pengenalan pola (Pattern Recognition) adalah metode yang mudah digunakan karena tidak perlu menterjemahkan grafik *spectrum*. Metode pengenalan pola yang digunakan pada penelitian ini adalah *Support Vector Machine* (SVM). Tujuan penelitian ini untuk mendeteksi cacat lintasan dalam pada bantalan bola. Penelitian ini menggunakan dua kondisi bantalan yang berbeda yaitu Bantalan normal, dan bantalan cacat. Cacat pada bantalan dibuat dengan metode *Electrical Discharge Machine* (EDM) pada lintasan dalam dengan kedalaman 1.4 mm dan lebar 0.4 mm. Pengujian dilakukan pada *test rig fan* industri dengan menggunakan software MATLAB dan merekam data sebanyak 700 file untuk setiap kondisi. Data tersebut diekstraksi ke 17 parameter statistik yang kemudian diseleksi secara visual. Klasifikasi SVM dilakukan dengan variasi kernel *Radial Basis Function* (RBF), *Polynomial* dan *Linear*. Hasil penelitian menunjukkan parameter statistik Entropy dengan Standart Error menggunakan variasi kernel *Radial Basis Function* (RBF), *Polynomial* dan *Linear* adalah rekomendasi untuk klasifikasi cacat pada bantalan lintasan dalam karena menghasilkan akurasi sebesar 100%.

Kata kunci: *kernel function* , parameter statistik, pengenalan pola, *spectrum*.

ABSTRACT

Industrial fan is a machine needed by an industry to circulate indoor air with outside air. One component of the *fan* that is often damaged is the bearing. The *spectrum* method is one of the vibration-based methods but this method has a disadvantage that is not easily understood by operators in the field. The pattern recognition method is an easy method to use because it does not need to translate spectrum graphs. The pattern recognition method used in this study is *Support Vector Machine* (SVM). The purpose of this study was to detect fault in inner race ball bearings. This study uses two different bearing conditions, namely normal bearings and defective bearings. Defects on the bearing are made by the method of *Electrical Discharge Machine* (EDM) on the inner race with a depth of 1.4 mm and width of 0.4 mm. The test done on an industrial fan test rig using the MATLAB software and recording data of 700 files for each condition. The data is extracted to 17 statistical parameters which are then visually selected. SVM classification is done by variations of the *Radial Basis Function* (RBF), *Polynomial* and *Linear* kernels. The results showed that the statistical parameters of Entropy with Standard Error using variations of the *Radial Basis Function* (RBF), *Polynomial* and *Linear* kernels are recommendations for the classification of fault in inner race bearings because it produces an accuracy of 100%.

Keywords: *kernel function*, statistical parameters, pattern recognition, *spectrum*

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, perawatan sangat dibutuhkan untuk mengetahui masalah-masalah pada mesin dan untuk mempermudah dalam pemeliharaan mesin. Salah satu metode yang digunakan untuk perawatan adalah *breakdown maintenance*, dimana perawatan ini dilakukan setelah terjadi kerusakan. *Breakdown maintenance* tidak bisa memprediksi kapan komponen mesin akan terjadi kerusakan, oleh karena itu pemilik industri menggunakan perawatan jenis *Predictive Maintenance* (Latuny, 2013). Kelebihan metode *Predictive Maintenance* adalah dapat mengetahui kerusakan dan dapat mengurangi kerugian dari berhentinya mesin secara tiba-tiba yang dapat mengganggu proses produksi (Adistya, 2014). *Predictive Maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan dengan cara menganalisa kondisi mesin sebelum terjadi kerusakan. Analisis vibrasi merupakan metode yang digunakan pada *Predictive Maintenance* untuk menganalisis komponen mesin yang menghasilkan getaran. *Fan* adalah salah satu mesin yang banyak digunakan di dunia industri yang berfungsi untuk mengeluarkan udara di dalam ruangan ke keluar ruangan dan menjaga sirkulasi udara didalam ruangan. Salah satu komponen penting dari *fan* adalah bantalan.

Bantalan adalah komponen dari *fan* yang berfungsi untuk menahan beban poros, dirancang untuk menerima beban aksial dan radial akibat pergerakan poros, salah satu jenis bantalan yang sering digunakan pada bantalan adalah jenis *ball bearing* yang memiliki kelebihan yaitu minim gesekan dibanding jenis lainnya. Ada beberapa metode yang banyak digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan diantaranya metode berbasis getaran seperti *spectrum* dan *envelope*. *Spectrum* adalah cara untuk mendeteksi kerusakan bantalan dengan metode berbasis getaran (Setyawan dkk, 2018). Selain itu ada metode *envelope*, dimana metode *envelope* adalah penyempurnaan dari metode *spectrum* dengan cara menghilangkan amplitudo tinggi di frekuensi rendah menggunakan high-pass filter (Girdhar, 2004). Kamiel dkk. (2017) melakukan penelitian mendeteksi cacat pada bantalan bola pompa sentrifugal dengan menggunakan metode analisis spektrum frekuensi dan *spectrum envelope*.

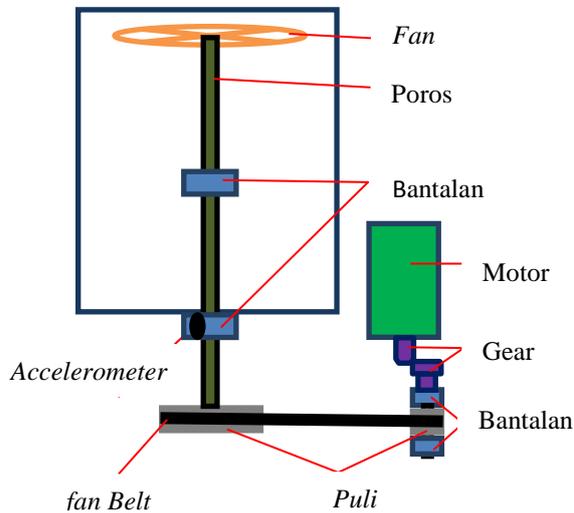
Hasil dari penelitian ini spektrum envelope menghasilkan frekuensi cacat bantalan luar yang dapat terlihat lebih jelas dibanding spektrum frekuensi. Untuk cacat dibagian lintasan dalam, akan terdapat side-band sebagai konsekuensi dari modulasi amplitudo. Selain metode berbasis getaran terdapat metode berbasis pengenalan pola (*Pattern Recognition*). Salah satu jenis algoritma metode pengenalan pola (*Pattern Recognition*) yang banyak digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan adalah *support vector machine* (SVM). SVM adalah suatu metode untuk menemukan hyperplane terbaik yang bisa memisahkan dua kelas yang berbeda (Vapnik, 1999). Menurut Santoso, (2007) *support vector machine* adalah cara yang digunakan untuk memprediksi, baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi. Amadi, (2015) melakukan penelitian tentang diagnosis kerusakan pada bantalan gelinding dengan metode *support vector machine* pada penelitian ini menggunakan tiga kernel sebagai fungsi dasar *Support Vector Machine* yaitu kernel RBF, linear dan polynomial, memiliki akurasi diatas 95%. Menurut Suwarmin dkk, (2017) metode *support vector machine* yang digunakan untuk mengidentifikasi keausan pada bantalan tirus (*tapered bearing*). Dengan menggunakan metode *K-fold* =10 menghasilkan keakurasian tertinggi yaitu 83%. Data diambil dari hasil pengukuran vibrasi antara bantalan yang normal dengan bantalan yang aus.

Dari hasil penelitian diatas, analisis berbasis *spectrum* dapat mendeteksi cacat bantalan dengan baik namun memiliki kekurangan yaitu tidak semua operator mampu mengetahui karakteristik sebuah *spectrum*. Oleh karena itu, metode *Support Vector Machine* dipilih karena mudah digunakan oleh operator. Karena itu, pada penelitian ini menggunakan metode *Support Vector Machine* untuk mendeteksi cacat pada bantalan. Diharapkan penelitian ini dapat membantu dalam mendeteksi cacat pada bantalan dengan lebih mudah.

METODE PENELITIAN

Sinyal getaran bantalan pada *fan* diambil pada sebuah *test rig* dengan dua kondisi bantalan yang berbeda. Kondisi pertama yaitu pada bantalan bola normal (tanpa cacat), kondisi dua yaitu bantalan cacat (rusak) pada bagian lintasan dalam (*inner race*). *Test rig fan* industri terdiri dari beberapa komponen yaitu *fan*,

poros, bantalan, motor, gear, puli, fan belt. Cara kerja alat ini dari motor memutar gear lalu gear meneruskan ke puli kemudian ke fan belt lalu ke puli dan diteruskan ke poros yang menggerakkan fan. Gambar 1. Adalah skema test rig fan industri



GAMBAR 1. Skema test rig fan industri

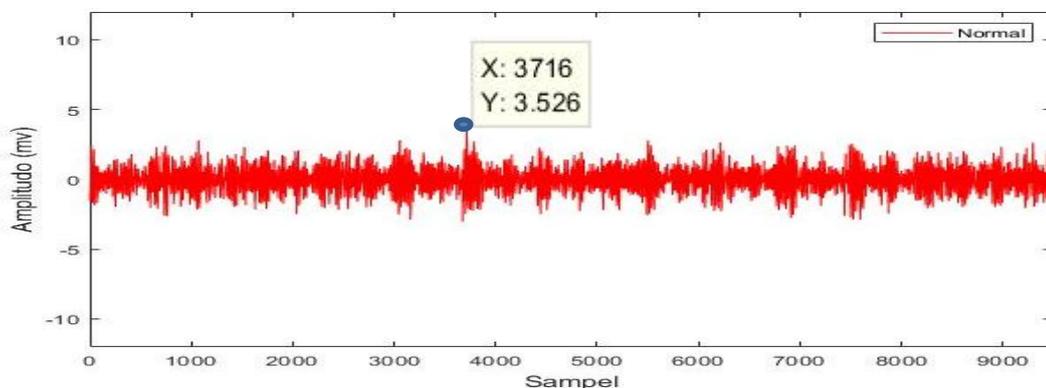
Sinyal getaran dari masing-masing kondisi bantalan direkam oleh sebuah akselerometer yang diletakkan di atas rumah bantalan. Perekaman sinyal getaran dilakukan dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz. Akuisisi sinyal getaran dilakukan sebanyak 700 file data untuk masing-masing kondisi bantalan yang setiap potongnya berdurasi rekaman 10 detik; terdapat jeda 2 detik di antara rekaman dua potong data. 700 data diekstraksi ke 17 parameter

yaitu *Standard Deviation (SD)*, *Root Mean Square (RMS)*, *Peak Value*, *Kurtosis*, *Crest Factor*, *Variance*, *Mean*, *Entropy*, *Minimum Value*, *Standard Error (SE)*, *Skewness*, *Maximum Value*, *Range*, *Sum*, *Median*, *Signal to Noise and Distortion Ratio (SINAD)*, dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*. Hasil plot dari 17 parameter tersebut diseleksi secara visual agar dapat memisahkan kedua kelas dengan baik. Sebelum dilakukan klasifikasi pada 700 data tersebut, 500 data untuk proses *training* sedangkan 200 data untuk proses *testing*. pada proses *testing* bisa untuk mengetahui tingkat akurasi dengan menggunakan *kernel function*.

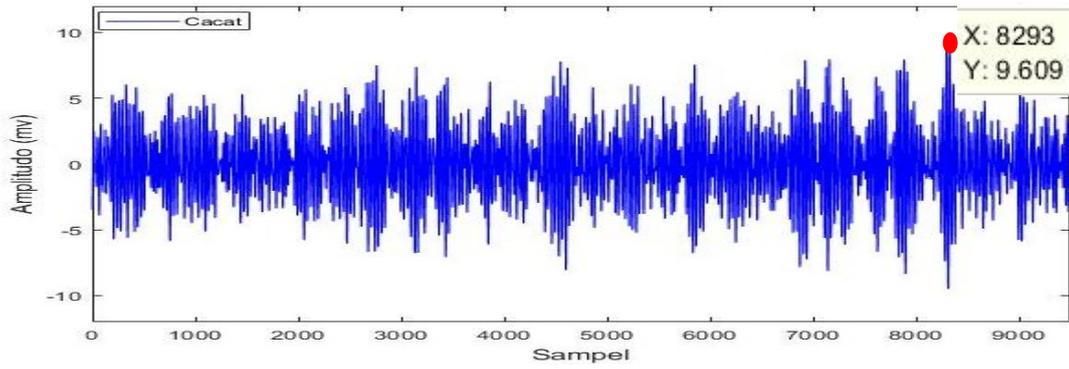
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 (a) adalah Plot sinyal getaran domain waktu dari bantalan normal. Nilai amplitudo pada bantalan normal 3,526 mv sedangkan pada Gambar 2 (b) adalah Plot sinyal getaran domain waktu bantalan cacat memiliki amplitudo yang lebih tinggi yaitu 9.525 mv dikarenakan ada dampak yang terjadi pada bantalan yang mengakibatkan naiknya nilai amplitudonya.

Gambar 3 menunjukkan hasil plot dari 17 parameter statistik. Metode yang digunakan untuk memilih parameter statistik yaitu diseleksi secara visual dengan membedakan antara yang dapat memisahkan dua kondisi dengan baik dan yang tidak dapat memisahkan dua kondisi atau masih bercampur antar dua kondisi. Hasil seleksi dari 17 parameter seperti pada Tabel 1

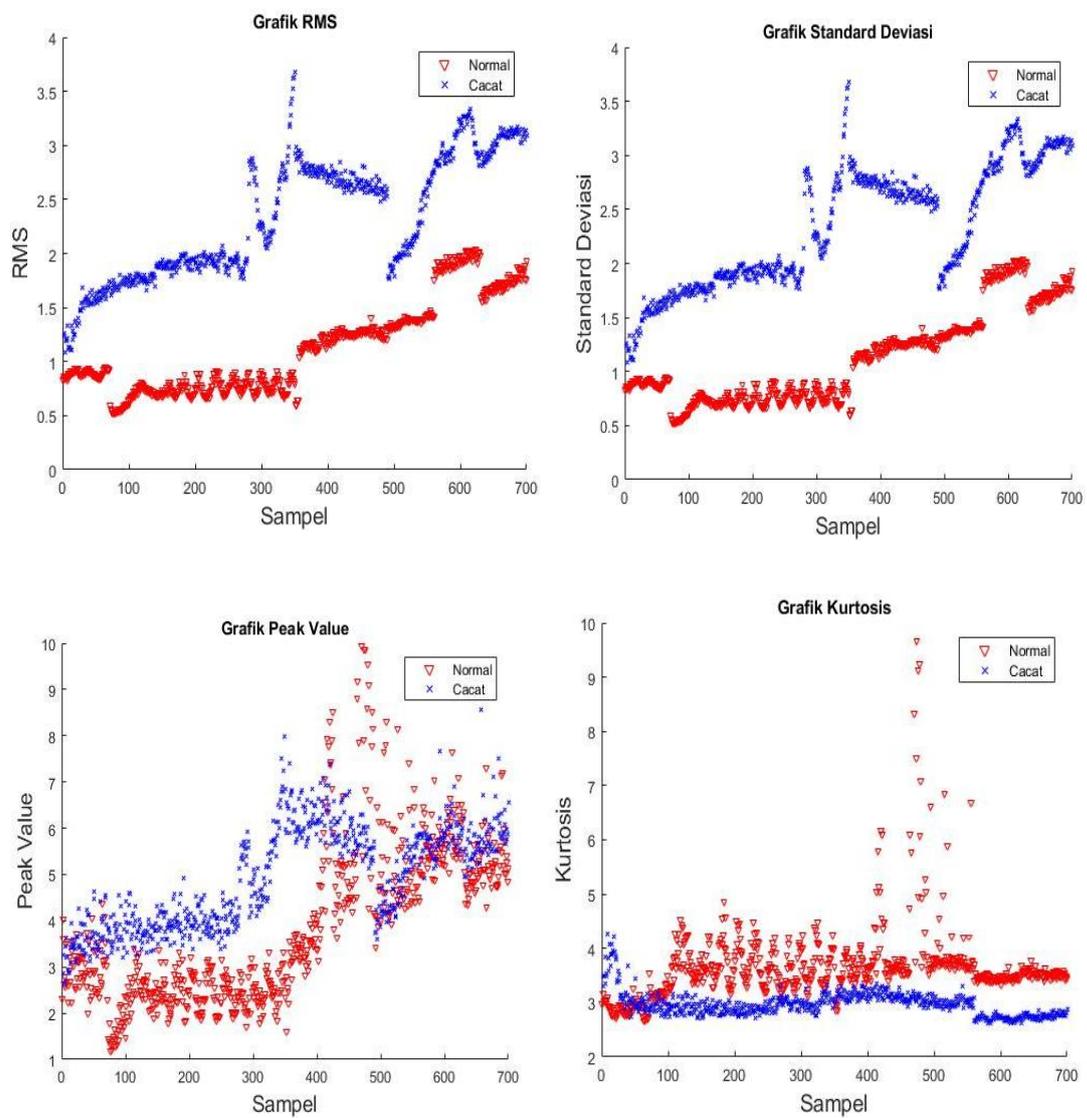


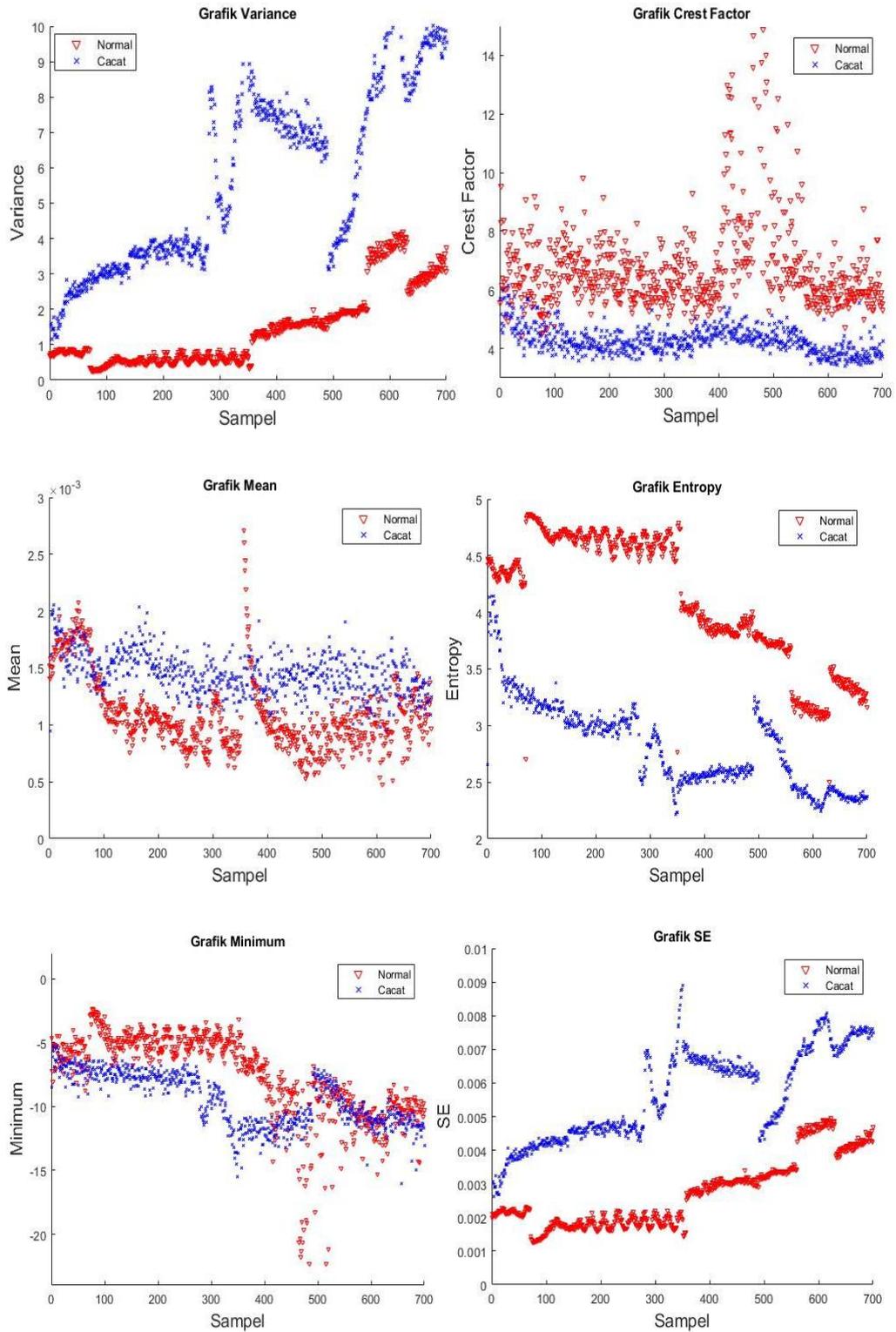
(a)

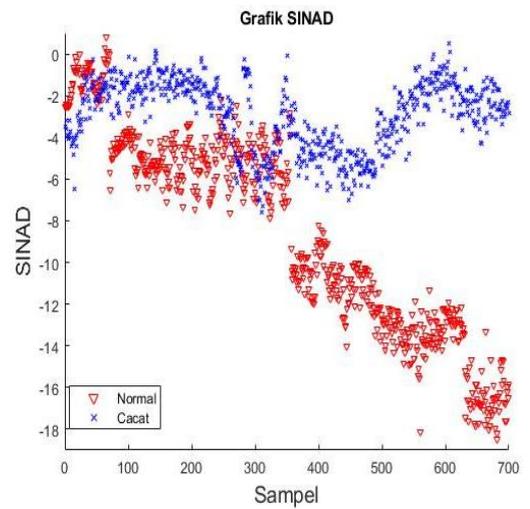
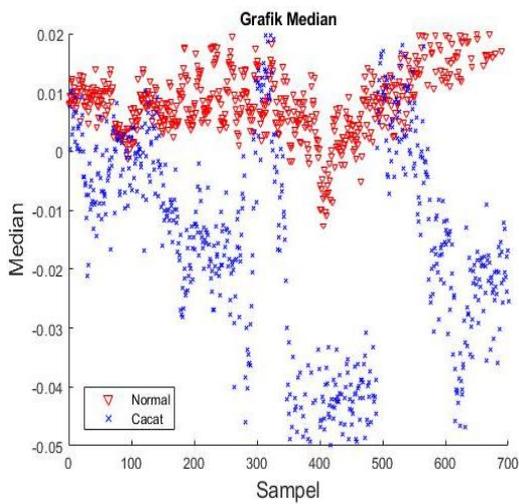
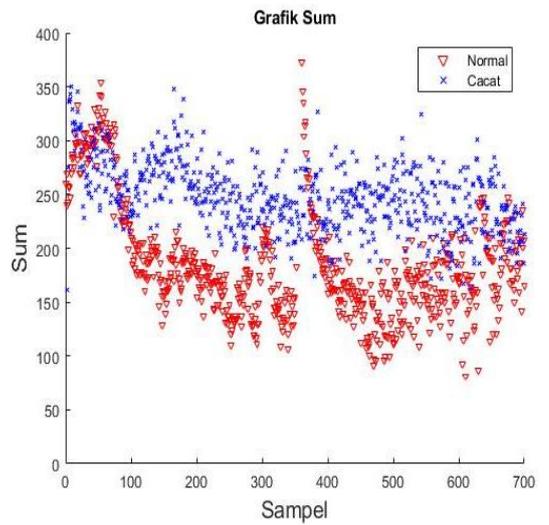
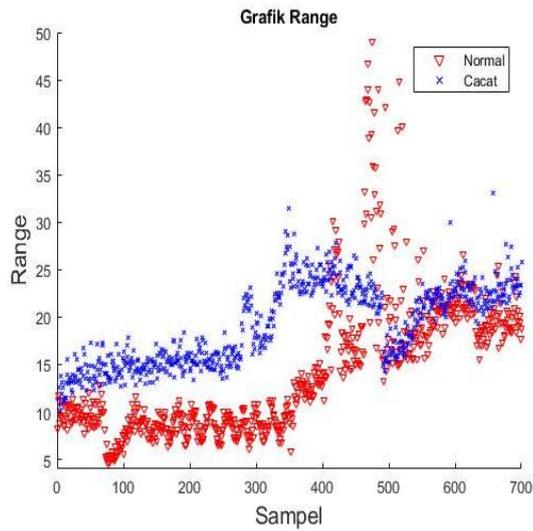
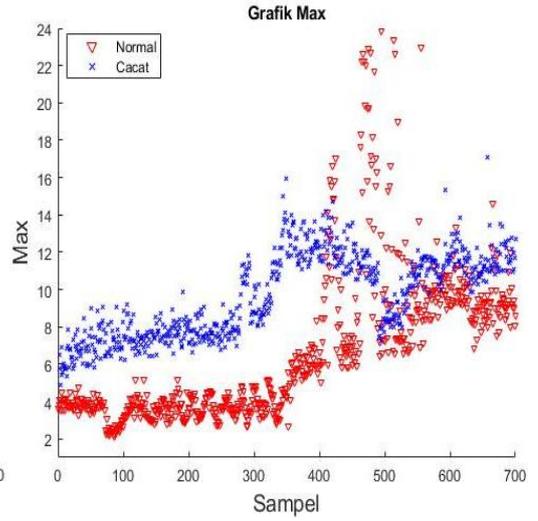
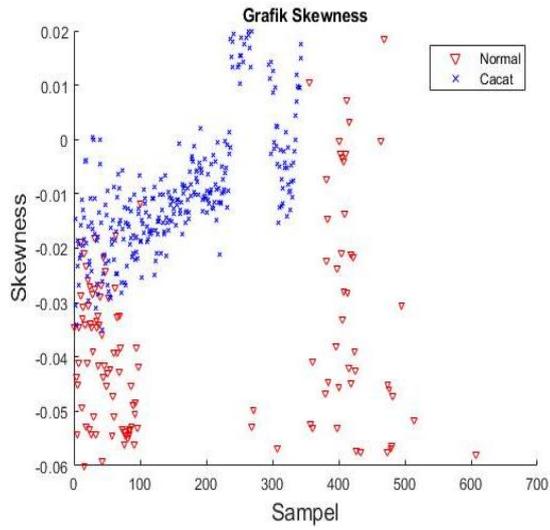


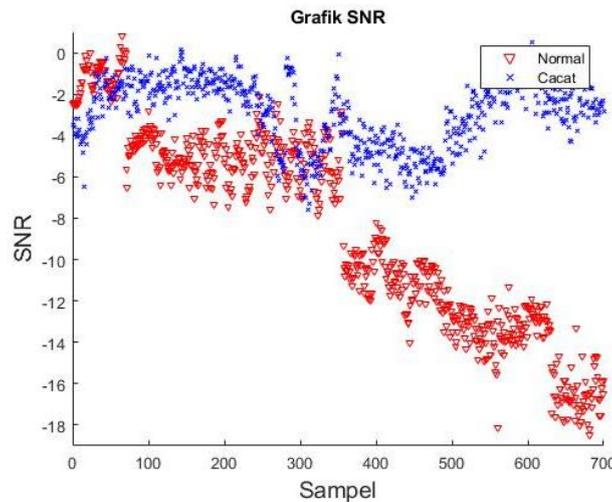
(b)

GAMBAR 2. (a) sinyal getaran normal dan (b) sinyal getaran cacat dalam domain waktu









GAMBAR 3. Parameter statistik domain waktu

TABEL 1. Hasil analisa parameter statistik

Nama Parameter Statistik	Hasil Analisa Parameter
RMS, Standar Deviasi, <i>Variance</i> , <i>Entropy</i> , <i>Standard Error</i>	Dapat memisahkan data getaran bantalan normal dengan bantalan cacat lintasan dalam dengan baik
<i>Peak Value</i> , <i>Kurtosis</i> , <i>Crest Factor</i> , <i>Minimum</i> , <i>Skewness</i> , <i>Median</i> , <i>SINAD</i> , <i>Maximum</i> , <i>Range</i> , <i>Mean</i> , <i>SUM</i>	Dapat digunakan untuk memisahkan data bantalan normal dan bantalan cacat tetapi belum sempurna karena masih terdapat data yang jauh dari kelompok sebaran data sejenisnya.

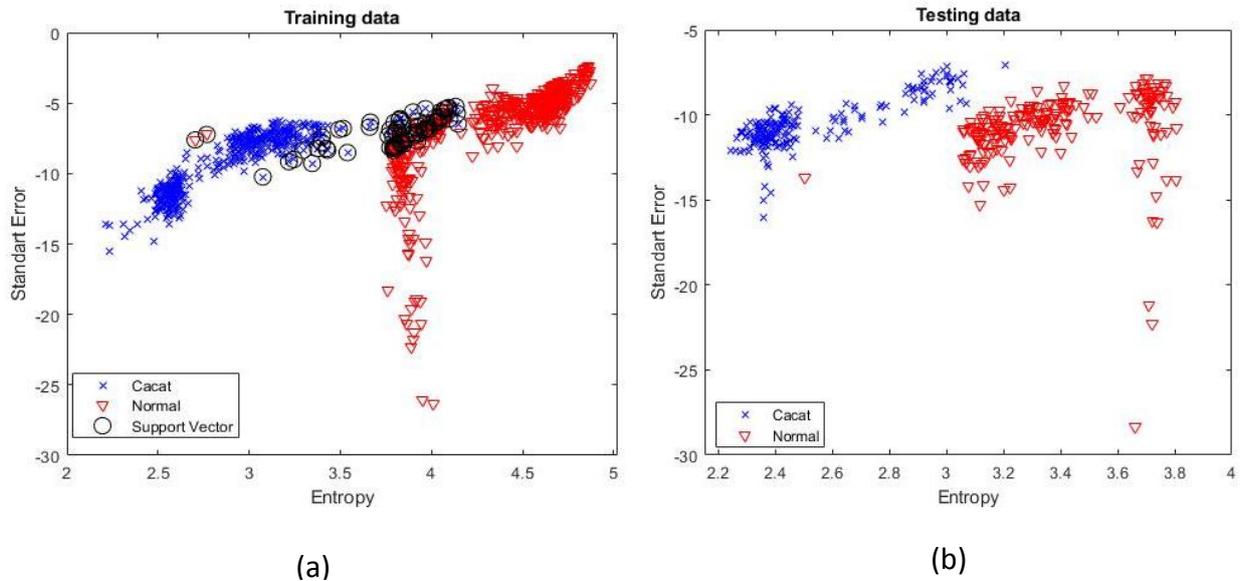
Setelah di dapat hasil seleksi parameter statistik kemudian dilakukan proses training dan testing. Proses training adalah proses dimana tahap pembentukan model klasifikasi. Proses ini menghasilkan model berupa support vector. Proses testing adalah proses dimana data testing di evaluasi terhadap model klasifikasi yang dibuat. Selain itu data testing digunakan untuk menghitung tingkat akurasi dengan variasi Kernel Fuction Radial Basis Function (RBF), Polynomial dan Linear. Gambar 4 parameter statistik Entropy dengan Standart Error perbedaan antara dua kelas kelihatan jelas karena Entropy adalah fungsi untuk menyatakan besaran keadaan mikroskopis sedangkan Standart Error adalah nilai rata-rata dari standard deviasi. Pada dasarnya Gambar 4 memiliki pola yang sama, karena pada proses testing SVM tidak membentuk model baru melainkan menempati model yang telah dibentuk pada proses training. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rapur dkk.

(2016) menggunakan parameter stastistik Entropy dengan Standart Error dapat memisahkan dua kelas dengan baik. Hal ini sesuai dengan metode yang diusulkan oleh peneliti. Gambar 5 parameter statistik Standart Deviasi dengan Variance perbedaan antara dua kelas kelihatan jelas karena Standart Deviasi adalah daya yang terkandung dalam sinyal getaran sedangkan Variance adalah adalah parameter statistik yang menunjukkan seberapa jauh kumpulan data tersebar yang dirumuskan sebagai nilai kuadrat dari nilai standar deviasinya. Hal ini sesuai dengan metode yang sebelumnya digunakan oleh Rapur dkk. (2016) bahwa parameter statistik *Standart Deviasi* dengan *Variance* dapat digunakan untuk klasifikasi cacat pada bantalan.

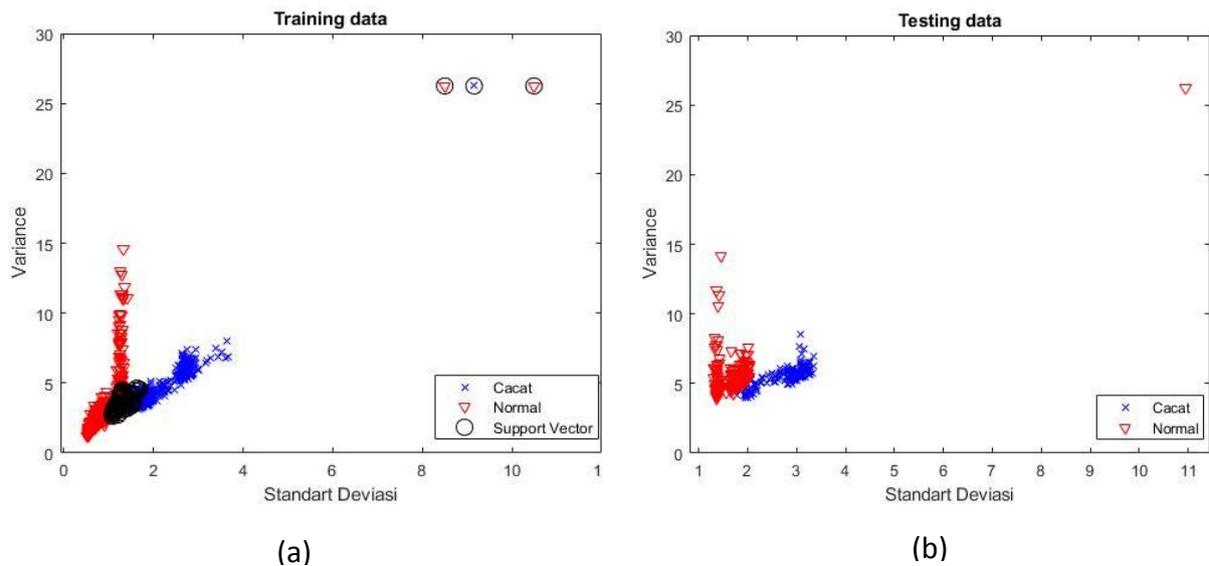
Gambar 6 parameter statistic RMS dengan Standart Deviasi perbedaan antara dua kelas kelihatan jelas tapi masih ada sedikit data yang bercampur karena RMS adalah akar kuadrat

dari rata-rata nilai kuadrat dari gelombang sinyal getaran. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fathurrohman dkk. (2017) menunjukkan parameter statistik RMS dengan Standart Deviasi dapat memisahkan dua kelas dengan baik. Hal ini sesuai dengan yang di usulkan peneliti yang ingin membuktikan parameter tersebut baik digunakan untuk klasifikasi cacat pada bantalan.

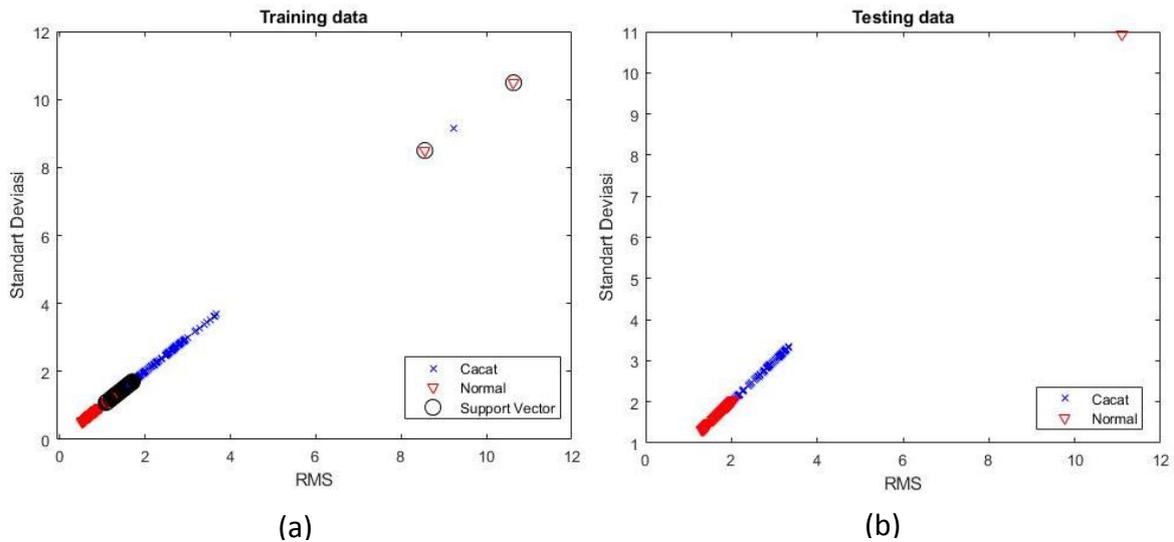
Pada Tabel 4.2 adalah hasil akurasi menggunakan *Kernel Fuction* seperti *Radial Basis Function (RBF)*, *Polynomial* dan *Linear*. Nilai ini diukur berdasarkan bagaimana set data yang digunakan dalam proses testing dapat menempati posisinya sesuai penggolongan kelas yang ada pada model klasifikasi. Semakin banyak data yang berada di dalam kelasnya maka tingkat akurasi klasifikasi semakin besar



GAMBAR 4. (a) Training data normal dan cacat (b) Hasil testing data normal dan cacat



GAMBAR 5. (a) Training data normal dan cacat (b) Hasil testing data normal dan cacat



GAMBAR 6. (a) Training data normal dan cacat (b) Hasil testing data normal dan cacat

TABEL 2. Hasil tingkat akurasi dari kombinasi parameter dengan fungsi kernel

No	Kombinasi Parameter Statistik	Akurasi Kernel Linear	Akurasi Kernel RBF	Akurasi Kernel Polynomial
1	Entropy dengan Standart Error	100%	100 %	100 %
2	Standart Deviasi dengan Variance	99,75%	100%	100 %
3	RMS dengan Standart Deviasi	99,50 %	99,25 %	99,50 %

KESIMPULAN

Metode *Support Vector Machine* (SVM) dapat digunakan dalam mendeteksi cacat bantalan. Metode ini menggunakan parameter statistik *Entropy* dengan *Standart Error*, menggunakan kernel *Radial Basis Function* (RBF), *Polynomial* dan *Linear* memperoleh akurasi sebesar 100%. Sehingga metode SVM mampu mengklasifikasikan dengan jelas kondisi normal dan cacat

Setiap parameter statistik domain waktu menghasilkan karakteristik dan informasi spesifik terhadap distribusi data sinyal vibrasi, yaitu:

- RMS, SD, *Variance*, *Entropy*, dan SE dapat memisahkan kelas dengan baik.
- Peak value*, *kurtosis*, *Crest factor*, *Mean*, *Skewness*, *Maximum Value*, *Minimum Value*, *Range*, *Sum*, *Median*, *Signal to*

Noise and Distortion Ratio (SINAD), dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) tidak dapat memisahkan secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dapat menuliskan ucapan terima kasih kepada Irawan, Fahri, Wildan, Iwan, dan Agus yang telah membantu dalam penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, F., & suwarmin. (2017). Identifikasi Keausan Bantalan Tirus (Tapered Bearing) Berbasis Analisis Vibrasi dengan Metode Support Vector Machine. *Jurnal Teknik ITS*, 768-771.
- Adistya, I. S. (2014). Pengembangan Sistem Monitoring Vibrasi pada Kipas

Pendingin Menggunakan Accelerometer Adxl345 dengan Metode FFT Berbasis Labview. Jakarta: Universitas Islam Syarif Hidayatullah Jakarta.

Amandi, d. n. (2015). Diagnosis Kerusakan pada Bantalan Gelinding dengan Metode Support Vector Machine. *AGRI-TEK*, 62-73.

Fathurrohman, M. (2017). Diagnosa Kerusakan Bantalan Bola Menggunakan Metode Support Vector Machine. *Jurnal Mekanika*, 14-21.

Kamiel, B. P. (2017). Pengaruh Kecepatan Operasi Pompa Sentrifugal Terhadap Sensitifitas Metode Deteksi Fenomena Kavitasi Berbasis Parameter Statistik Domain Waktu. *Semesta Teknika*, XX(1),51-66.

Latuny, J. (2013). A Sensitivity Comparison of Neuro-fuzzy Feature Extraction Methods from Bearing Failure Signals. 253-256.

Rapur, J. S. (2016). Experimental Time-domain Vibration Based Fault Diagnosis of Centrifugal Pumps using SVM. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*.

Scheffer, C.& Girdhar, P. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Burlington: Elsevier Ltd.

Setyawan, H. P.;& Suryadi, D. (2018). Analisis Karakteristik Vibrasi pada Paper Dryer Machine untuk Deteksi Dini Kerusakan Spherical Roller Bearing. *ROTASI*, 110-117.

Vapnik, V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer Verlag.

Email : berlikamiel@umy.ac.id

Arie Joko Wiranto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.

Email : ariejokowiranto@gmail.com

Bambang Riyanta

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.

PENULIS:

Berli P Kamiel

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.