

## Identifikasi cacat lintasan luar bantalan bola menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) pada *fan* industri

Berli P. Kamiel<sup>1\*</sup>, Wildan T. B. Anggoro<sup>2</sup>, Bambang Riyanta<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta<sup>1,2,3</sup>

Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta

E-mail: [berlikamiel@umy.ac.id](mailto:berlikamiel@umy.ac.id)<sup>1</sup>, [wildtop131@gmail.com](mailto:wildtop131@gmail.com)<sup>2</sup>, [bambangriyanta@umy.ac.id](mailto:bambangriyanta@umy.ac.id)<sup>3</sup>

### Abstract

*Air regulation creates a comfortable and healthy environment for activities in the industry. A fan is a rotary machine that functions to regulate and circulate air in a room or work area. The bearing is an important component of a fan that is potentially damaged during operation. Damage to the bearing will interfere with perform the fan and can even disrupt a whole production process. A bearing condition monitoring method is needed that is effective and easy to use. Conventional methods such as spectrum analysis and sound analysis are not easy to use by operators in the field due to spectrum analysis requires spectrum reading experience while sound analysis is highly dependent on personal experience. This study proposes a vibration-based pattern recognition method that is Support Vector Machine (SVM) to detect damage to a bearing. This method effectively classifies bearing conditions and is easy to use. The study aims to obtain a method of detecting defects in single-row bearing outer paths on industrial fans using SVM. The study uses an industrial fan test rig with two bearing conditions, that is normal conditions (no defects) and external track defects with a depth of 1.4 mm defect and 0.4 mm width. Recording vibration signals using a data acquisition module with a sampling speed of 17066 Hz and a motor rotational speed of 2850 rpm. The SVM classifier is trained using 9 selected statistical parameters which are extracted from 700 sets of vibration signal recordings. The results showed the statistical parameters that were effectively used were Root Mean Square (RMS), Standard Deviation, Kurtosis, Variance, Entropy, Standard Error, Median, Signal-to-Noise and Distortion Ratio (SINAD), and Signal to Noise Ratio (SNR). The most optimal SVM model is obtained by applying combine Median-SINAD statistical parameters, with the same testing accuracy for the RBF, Polynomial and Linear kernels at 100%.*

**Keywords:** *Bearings, external path defects, kernel, statistical parameters, SVM.*

### Abstrak

Pengaturan udara menciptakan lingkungan yang nyaman dan sehat dalam aktivitas di sebuah industri. *Fan* adalah salah satu mesin rotari yang berfungsi mengatur dan mensirkulasikan udara di suatu ruangan atau area kerja. Bantalan adalah komponen penting pada sebuah *fan* yang berpotensi rusak pada saat beroperasi. Kerusakan pada bantalan akan mengganggu kinerja dari *fan* bahkan dapat mengganggu suatu proses produksi secara keseluruhan. Diperlukan metode pemantauan kondisi sebuah bantalan yang efektif dan mudah digunakan. Metode konvensional seperti analisis spektrum dan analisis suara tidak mudah digunakan oleh operator di lapangan karena analisis spektrum membutuhkan keahlian membaca spektrum sedangkan analisis suara sangat tergantung pada pengalaman personal. Penelitian ini mengusulkan metode pengenalan pola (*pattern recognition*) berbasis getaran yaitu *Support Vector Machine* (SVM) untuk mendeteksi kerusakan sebuah bantalan. Metode ini efektif mengklasifikasi kondisi bantalan dan mudah digunakan. Tujuan penelitian adalah untuk menghasilkan metode deteksi cacat bantalan lintasan luar bantalan tipe *single row* pada *fan* industri dengan menggunakan SVM. Penelitian menggunakan *rig* uji *fan* industri dengan

dua kondisi bantalan yaitu kondisi normal (tidak cacat) dan cacat lintasan luar dengan kedalaman cacat 1,4 mm dan lebar 0,4 mm. Perekamannya menggunakan modul akuisisi data dengan kecepatan sampling 17.066 Hz dan kecepatan putar motor 2.850 rpm. *Classifier* SVM dilatih menggunakan 9 parameter statistik terpilih yang diekstrak dari 700 set rekaman sinyal getaran. Hasil penelitian menunjukkan parameter statistik yang efektif digunakan adalah *Root Mean Square (RMS)*, Standar Deviasi, *Kurtosis*, *Variance*, *Entropy*, *Standard Error*, *Median*, *Signal-to-Noise and Distortion Ratio (SINAD)*, dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*. Model SVM paling optimal didapatkan dengan menerapkan kombinasi parameter statistik *Median-SINAD*, dengan akurasi pengujian yang sama untuk *kernel radial basis function (RBF)*, *Polynomial*, dan *Linier* sebesar 100%.

**Kata kunci:** Bantalan, cacat lintasan luar, kernel, parameter statistik, SVM.

---

## Pendahuluan

*Fan* adalah mesin rotari yang berfungsi mengatur sirkulasi udara pada suatu area. Salah satu komponen penting pada sebuah *fan* adalah bantalan yang berfungsi menopang beban radial dan mengurangi gesekan elemen yang berputar. Pembebanan terus menerus menyebabkan bantalan mengalami penurunan kondisi sehingga dapat terbentuk cacat pada elemen bantalan. Cacat tersebut berpotensi menurunkan performa *fan* bahkan dapat mengganggu proses produksi secara keseluruhan. Oleh karena itu pemantauan kondisi bantalan yang mudah dan efektif perlu dilakukan. Deteksi kerusakan/cacat sebuah komponen mesin menggunakan sinyal getaran telah banyak diteliti. Anoi dkk [1] menyatakan bahwa observasi getaran pada peralatan berputar (*rotating equipment*) perlu dilakukan untuk mendeteksi potensi permasalahan pada peralatan tersebut. Menurut Kamiel dkk [2] metode berbasis getaran seperti analisis spektrum efektif mendeteksi cacat bantalan pada sebuah pompa sentrifugal. Namun pada kondisi cacat awal (*early fault*) identifikasi amplitudo pada frekwensi cacat bantalan sulit dilakukan. Hal ini disebabkan energi impak antara elemen bantalan dan lokasi cacat masih sangat kecil yang berakibat amplitudonya sangat rendah. Pada spektrum, amplitudo rendah ini tertutup oleh amplitudo *noise* dan amplitudo lain yang lebih tinggi. Deteksi cacat bantalan pada kondisi ini menjadi tidak mungkin dilakukan oleh spektrum.

Selain itu analisis spektrum membutuhkan operator yang terlatih membaca dan menafsirkan spektrum.

Dibutuhkan metode deteksi cacat bantalan yang efektif dan mudah digunakan oleh operator di lapangan. Metode klasifikasi dengan pengenalan pola (*pattern recognition*) telah banyak diterapkan di berbagai bidang seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Metode ini akurat dan mudah digunakan oleh operator tanpa keahlian khusus tentang karakteristik getaran. Salah satu algoritma metode pengenalan pola adalah SVM. *Classifier* SVM dapat mendeteksi cacat pada bantalan dengan mengklasifikasi sinyal getaran bantalan normal (tanpa cacat) dan sinyal getaran bantalan cacat. Kelebihan dari metode ini adalah kemampuan generalisasi yang baik.

Salah satu tahap penting saat melatih *classifier* SVM adalah pemilihan kernel. Penelitian yang dilakukan oleh Fathurrohman dkk [3] menunjukkan fungsi kernel terbaik adalah *radial basis function (RBF)* dengan akurasi *training* 98,9% dan *testing* 97,5%.

Walaupun SVM telah banyak digunakan dalam mengklasifikasi berbagai objek namun tidak terdapat standar baku dalam menentukan jenis parameter input yang digunakan dalam melatih *classifier* SVM, hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 dimana parameter statistik yang digunakan bervariasi. Terdapat celah penelitian yang masih dapat dieksplorasi yaitu jenis parameter statistik yang efektif untuk melatih *classifier* SVM.

Tabel 1. Parameter statistik yang sering digunakan

Penulis	Objek	Parameter Statistik
Sakhtivel, dkk [4]	Pompa Sentrifugal	<i>Mean, Median, Standard Deviation, Standard Error, Variance, Skewness, Kurtosis, SUM, Range, Minimum, Maximum</i>
Perdana, dkk [5]	Jantung	<i>SNR dan SINAD</i>
Mahendra, dkk [6]	Kayu	<i>mean, skewness, variance, kurtosis, dan entropy</i>
Luo, dkk [7]	Pompa Sentrifugal	<i>RMS, Crest Factor, Peak, PDF</i>
Fathurrohman, dkk [3]	Bantalan Bola	<i>RMS, Standard Deviation, Variance, Crest-Factor, Shape-Factor, Kurtosis, Skewness, Entropy</i>

Tujuan dari penelitian ini adalah mendeteksi cacat bantalan bola lintasan luar pada *fan* industri berbasis *classifier* SVM menggunakan input parameter statistik yang dipilih.

## Tinjauan Pustaka

### Jenis kerusakan bantalan

Kerusakan pada bantalan dapat mengganggu fungsi dan performanya. Kerusakan dapat diakibatkan oleh beban berlebih, kontaminasi material asing, pemasangan yang kurang tepat, keausan, retak, pemberian pelumas yang tidak sesuai, kerusakan saat pembuatan komponen, dan perbedaan diameter bola [8]. Beberapa jenis kerusakan elemen bantalan yang sering dijumpai adalah:

#### 1. Cacat lintasan dalam

Cacat lintasan dalam diakibatkan karena adanya aus maupun kerusakan kecil yang membesar karena beban dan gesekan yang terjadi saat bantalan beroperasi. Cacat lintasan dalam menghasilkan modulasi amplitudo akibat dari berpindahannya lokasi cacat dari dan ke zona pembebanan (*loading zone*).

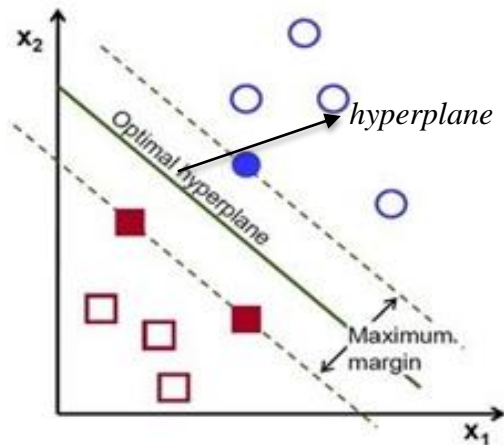
#### 2. Cacat lintasan luar

Cacat lintasan luar terjadi karena adanya kerusakan kecil yang membesar maupun kurangnya pelumasan yang menyebabkan keausan. Kerusakan pada lintasan luar cenderung akan memberi dampak secara cepat pada kondisi elemen lintasan dalam [9]. Cacat lintasan luar menimbulkan gaya eksitasi karena adanya benturan maupun gesekan antara elemen bola dan lokasi cacat bola [10].

### **Support Vector Machine (SVM)**

SVM adalah metode yang berguna dalam klasifikasi biner yang Pertama kali dikenalkan oleh Vapnik ditahun 1992 bersama Isabelle Guyon dan Bernhard Boser dengan menyatukan sejumlah rangkaian konsep dibidang *Pattern Recognition*. *Pattern Recognition* merupakan metode yang digunakan untuk memetakan sejumlah data kedalam konsep yang telah ditentukan sebelumnya. Pada dasarnya SVM bekerja dengan *linear classifier* yang kemudian dikembangkan supaya dapat digunakan dalam persoalan *non-linear* dengan menggabungkan konsep *kernel trick* dalam ruang kerja yang memiliki dimensi tinggi [11]. Penjelasan sederhana dari Konsep SVM adalah mencari *hyperplane* terbaik yang digunakan untuk memisahkan dua buah kelas pada *input space* [12].

*Hyperplane* yang berada ditengah antara dua set objek dari dua kelas merupakan *hyperplane* terbaik seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Mencari *hyperplane* terbaik dilakukan dengan membentuk beberapa batas diskriminasi (alternatif garis pemisah), menemukan titik tertinggi dan mencari marginnya.



Gambar 1. *Hyperplane* Terbaik

### Kernel Function

*Kernel Function* adalah metode yang berfungsi untuk memetakan sejumlah data kedalam kinerja fitur dimensi yang lebih tinggi. Dengan demikian data hasil yang didapatkan tidak memerlukan evaluasi lanjut kedalam ruang kerja berdimensi tinggi, hal tersebut dapat menjadi solusi dalam keterbatasan dimensi. Dengan melakukan pendekatan *Kernel Function* hasil data dalam fitur dimensi tinggi akan ekuivalen dengan data dalam ruang input.

Fungsi kernel yang biasa digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Fungsi Kernel

Fungsi Kernel	Rumus Fungsi
<i>Linier</i>	$x^T x'$
<i>RBF</i>	$\exp\left(-\frac{\ x - x'\ ^2}{2\sigma^2}\right)$
<i>Polynomial</i>	$(x, x')^d$

### Parameter Statistik

Parameter statistik yang diseleksi untuk menjadi input dalam melatih *classifier* SVM adalah:

#### 1. Root Mean Square (RMS)

RMS dirumuskan sebagai akar kuadrat dari rata-rata nilai kuadrat dari gelombang sinyal getaran.

#### 2. Standar Deviasi (SD)

Standar deviasi menunjukkan tingkat energi yang terkandung dalam sinyal getaran. Semakin besar nilai parameter SD, maka energi atau daya yang ditimbulkan semakin tinggi.

#### 3. Variance

*Variance* adalah parameter statistik yang menunjukkan seberapa jauh kumpulan data tersebar yang dirumuskan sebagai nilai kuadrat dari nilai standar deviasinya.

#### 4. Kurtosis

*Kurtosis* adalah parameter yang menunjukkan nilai kelancipan dan kedataran relatif sebuah distribusi dibanding distribusi normal sinyal.

#### 5. Standard Error (SE)

*Standard Error* merupakan standar deviasi dari rata-rata. Bila kita punya sekelompok data, contohnya tiga kelompok, maka kita akan mendapat tiga buah dari nilai rata-rata. jika dihitung nilai standar deviasi dari tiga buah dari nilai rata-rata tersebut, maka nilai standar deviasi dari nilai rata-rata tersebut disebut nilai standar error.

#### 6. Minimum Value

*Minimum Value* menggambarkan titik terendah dari data yang dihasilkan dari suatu kelompok data.

#### 7. Crest Factor

*Crest factor* diartikan sebagai rasio dari nilai tertinggi dari sinyal masukan terhadap nilai RMS

#### 8. Peak Value

*Peak value* merupakan parameter statistik yang digunakan sebagai penunjuk indeks intensitas energi pada sinyal getaran, nilai parameter ini bersifat konstan terhadap laju aliran.

#### 9. Entrophy

*Entrophy* adalah fungsi distribusi suatu sistem pada kondisi mikro. Nilai *entropy* adalah ukuran kuantitatif yang menggambarkan ketidakteraturan dari suatu sistem.

#### 10. Mean

*Mean* adalah nilai yang didapat dari nilai rata-rata kelompok tersebut. Rata-Rata (*mean*) diperoleh dengan menjumlah

seluruh data individu dalam kelompok, kemudian dibagi dengan banyaknya individu yang terdapat kelompok data tersebut.

#### 11. *Skewness*

*Skewness* menunjukkan tingkat kesimetrisan distribusi disekitar daerah rata-ratanya. *Skewness* disebut juga tingkat kemiringan, yaitu bilangan yang dapat menggambarkan bentuk kurva suatu distribusi berdasarkan miring atau tidaknya kurva tersebut.

#### 12. *Maximum Value*

*Minimum Value* menggambarkan titik tertinggi dari data yang dihasilkan dari suatu kelompok data.

#### 13. *SUM*

*SUM* adalah parameter statistik yang menunjukkan nilai penjumlahan dari suatu data. Baik data individu maupun kelompok.

#### 14. *Median*

*Median* merupakan parameter statistik yang menunjukkan nilai tengah dari suatu kelompok data. Jika sekelompok data diurutkan dari data terkecil hingga terbesar atau sebaliknya, maka nilai median didapat dari pengamatan data yang tepat berada di tengah-tengah data ganjil, atau rata-rata dari kedua pengamatan yang berada di tengah data berjumlah genap.

#### 15. *Signal-to-Noise and Distortion Ratio (SINAD)*

*SINAD* adalah ukuran kualitas sinyal dari suatu data.

#### 16. *Signal to Noise Ratio (SNR)*

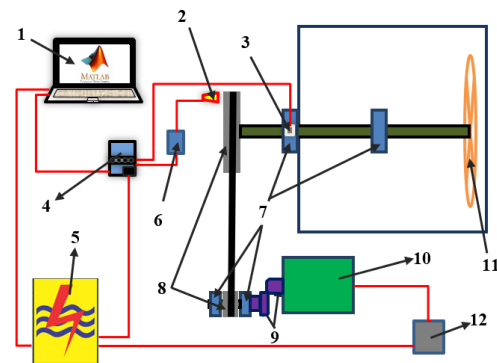
*SNR* adalah perbandingan (ratio) dari kekuatan Sinyal (*signal strength*) terhadap kekuatan derau (*noise level*). Nilai *SNR* digunakan untuk menggambarkan kualitas dari suatu data. Semakin tinggi nilai *SNR*, semakin tinggi kualitas data tersebut.

#### 17. *Range*

Rentang (*range*) atau jangkauan merupakan nilai selisih dari data nilai terbesar dengan data nilai yang terkecil dari suatu kelompok data. Atau dapat diartikan *Range* didapatkan dengan melakukan pengurangan dari data nilai maksimum dengan data nilai minimum.

## Metode Penelitian

Metode yang diusulkan diverifikasi menggunakan *rig* uji yang secara skematik ditunjukkan pada Gambar 2. *Rig* uji terdiri dari komponen-komponen seperti motor listrik AC 1 HP, pasangan roda gigi, sabuk-puli, bantalan, poros dan bilah *fan*. Bantalan yang digunakan adalah tipe bantalan bola *single row* merk ASB tipe 6209. Ada dua kondisi bantalan yang digunakan yaitu kondisi normal (tidak cacat) ditunjukkan pada Gambar 3. dan kondisi cacat lintasan luar, Gambar 4. Bantalan cacat dibuat menggunakan proses EDM dengan lebar cacat 0,4 mm dengan kedalaman 1,4 mm. Perekaman sinyal getaran arah radial dilakukan menggunakan akselerometer uniaksial dari Bruel & Kjaer tipe 4507 B yang diletakkan pada rumah bantalan. Sebuah modul data akuisisi 24 bit dari National Instrument NI 9234 digunakan untuk proses akuisisi dengan kecepatan *sampling* 17066 Hz. Kecepatan bantalan uji dijaga konstan pada 550 RPM (9,16 Hz).



- |                     |               |
|---------------------|---------------|
| 1. Laptop           | 7. Bantalan   |
| 2. Sensor Proximity | 8. Puli       |
| 3. Akselerometer    | 9. Roda gigi  |
| 4. Modul DAQ        | 10. Motor AC  |
| 5. Sumber Listrik   | 11. Bilah Fan |
| 6. Arduino UNO      | 12. Saklar    |

Gambar 2. Skema Alat Uji



Gambar 3. Bantalan Normal



Gambar 4. Bantalan Cacat Lintasan Luar

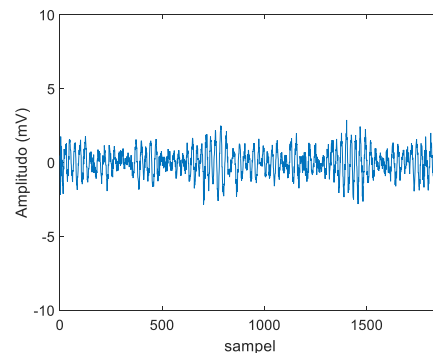
Akuisisi data sinyal getaran dilakukan untuk masing-masing kondisi bantalan selama 10 detik dengan kecepatan *sampling* 17066 Hz. Hasil rekaman adalah 700 set data untuk masing-masing kondisi yang dibagi menjadi 2 bagian yaitu untuk proses *training* sebanyak 500 set data dan untuk proses *testing* adalah 200 set data.

Secara umum analisis sinyal getaran dilakukan menggunakan dua metode yaitu domain waktu dan domain frekuensi (spektrum). Plot domain waktu untuk 2x putaran poros dapat dilihat pada Gambar 5 sedangkan plot spektrum ditunjukkan pada Gambar 6. *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk mentransformasikan sinyal domain waktu menjadi spektrum dimana secara teori frekwensi karakteristik bantalan cacat seperti BPFO dan BPFI dapat diidentifikasi. Namun demikian seperti dapat dilihat pada Gambar 6, relatif sulit mengidentifikasi bantalan normal dan cacat dari spektrumnya.

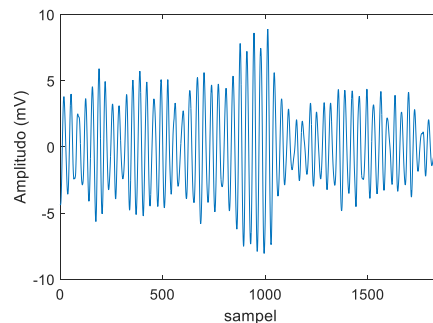
### Classifier SVM

*Classifier SVM* memerlukan input parameter statistik untuk mengklasifikasi kondisi bantalan. Tujuh belas parameter statistik 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) diekstrak dari domain waktu. Sebelum diputuskan untuk menjadi input SVM, ketujuhbelas parameter statistik tersebut diseleksi secara visual. Seleksi visual dilakukan dengan cara membuat *scatter plot* masing-masing nilai parameter statistik kondisi normal dan kondisi cacat. *Scatter plot* yang secara visual terlihat batas yang jelas antara data dari bantalan normal dan cacat dipilih sebagai input SVM. Hasil seleksi visual dirangkum pada Tabel 3.

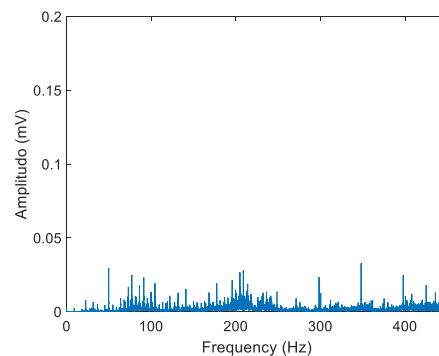


(a)



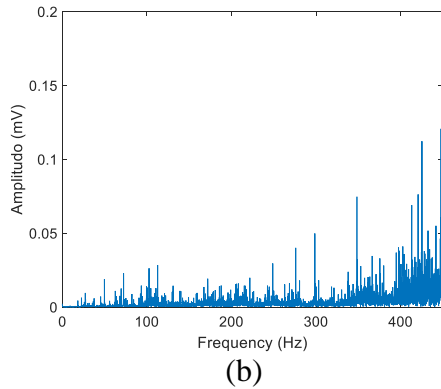
(b)

Gambar 5. Domain waktu (a) bantalan normal (b) bantalan cacat Lintasan Luar



(a)





Gambar 5. Spektrum (a) bantalan normal  
(b) bantalan cacat lintasan luar

### Hasil dan Pembahasan

Meningkatnya level getaran menyebabkan meningkatnya amplitudo pada domain waktu. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan Gambar 5(a) bantalan normal dengan Gambar 5(b) bantalan cacat. Amplitudo yang dihasilkan oleh bantalan cacat terlihat jelas lebih tinggi dibandingkan dengan amplitudo bantalan normal. Menurut Susilo [13] bantalan cacat lintasan luar menimbulkan benturan dari permukaan lintasan dengan bola yang berputar sehingga menghasilkan dampak yang besarnya sebanding dengan lebar cacat sedangkan frekuensi dampak dapat ditentukan dengan menghitung BPFO. Dampak juga akan mengeksitasi frekuensi natural bantalan dan menghasilkan frekuensi tinggi. Namun demikian identifikasi cacat bantalan sulit dilakukan di domain waktu karena peningkatan amplitudo dapat disebabkan oleh banyak sebab, tidak hanya disebabkan oleh cacat bantalan.

Tabel 3 Seleksi Visual Parameter Statistik

Parameter Statistik	Hasil Analisis Visual
<i>RMS</i> , Standar Deviasi, <i>Kurtosis</i> , <i>Variance</i> , <i>Entropy</i> , <i>Standard Error</i> , <i>Median</i> , <i>SINAD</i> , <i>SNR</i>	Dapat memisahkan data getaran bantalan normal dengan data getaran bantalan cacat dengan baik
<i>Peak Value</i> , <i>Crest Factor</i> , <i>Minimum</i> , <i>Skewness</i> , <i>Maximum</i> , <i>Range</i>	Terdapat tumpang tindih data ( <i>overlap</i> )
<i>Mean</i> , <i>SUM</i>	Tidak dapat memisahkan data

Cacat bantalan akan menghasilkan frekuensi karakteristik yang disebut BPFO untuk cacat lintasan dalam. Amplitudo BPFO akan tinggi pada spektrum jika terjadi cacat lintasan luar pada bantalan. Namun demikian amplitudo BPFO tidak selalu terlihat jelas, seperti ditunjukkan pada Gambar 6(a) dan 6(b). Hal ini sering terjadi pada mesin-mesin rotari yang mempunyai *gearbox* dimana amplitudo *gear mesh frequency* (GMF) beserta harmonik dan *sidebands*-nya jauh lebih besar sehingga amplitudo BPFO terbenam dan sulit diobservasi.

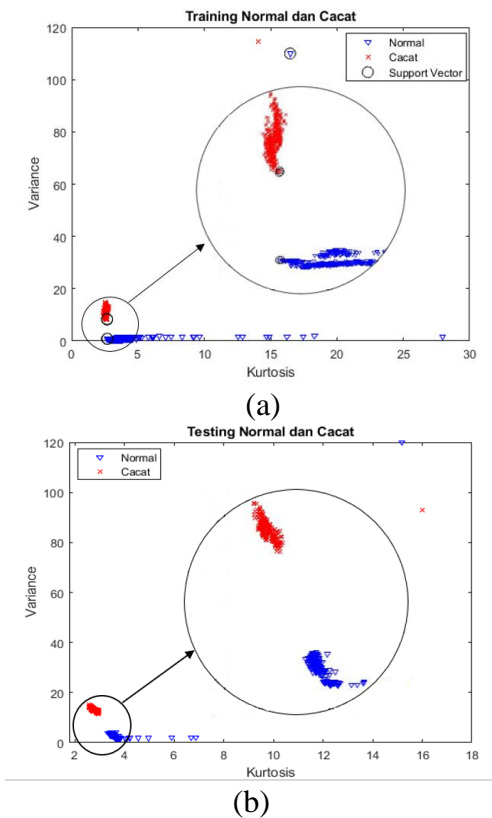
SVM menggunakan pendekatan pengenalan pola yang tidak memerlukan observasi amplitudo BPFO pada spektrum. Metode ini relatif lebih mudah digunakan oleh operator yang tidak mempunyai keterampilan dan pengalaman membaca spektrum.

*Classifier* SVM dilatih menggunakan 9 parameter statistik yang dipilih berdasarkan seleksi visual terbaik. Lima ratus set data digunakan pada proses *training* ini. Hasil *training* kesembilan parameter tersebut kemudian dipilih dua parameter yang menghasilkan kombinasi terbaik dalam memisahkan data getaran bantalan normal dengan data getaran bantalan cacat. Kombinasi tersebut adalah: *Kurtosis-Variance*, *Entropy-Standard Error*, dan *Median-SINAD*. Tiga kernel yaitu RBF, linier dan polinomial digunakan dalam proses *training classifier* SVM untuk masing-masing kombinasi parameter tersebut.

Hasil klasifikasi data menggunakan kombinasi *Kurtosis-Variance* ditunjukkan pada Gambar 7. Klasifikasi data *training* dapat dilihat pada Gambar 7(a) dan klasifikasi data *testing* ditunjukkan pada Gambar 7(b). Kombinasi *Entropy-Standard Error (SE)* ditunjukkan pada Gambar 8 sedangkan kombinasi *Median-SINAD* dapat dilihat pada Gambar 9.

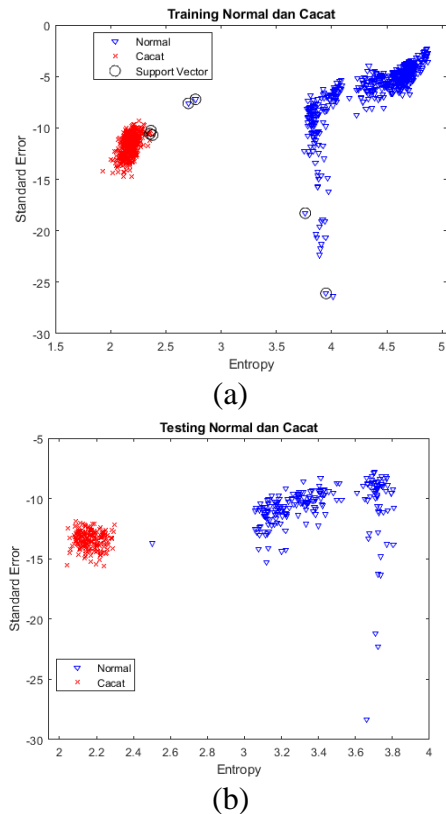
Semua kombinasi parameter statistik menunjukkan bahwa pola pemisahan kondisi normal dan kondisi cacat adalah identik antara data *training* dan data *testing*.

Hal tersebut dikarenakan proses *testing* tidak membangun model baru tetapi menempati model yang sudah dibuat dalam proses *training*.



Gambar 7. (a) Klasifikasi data *training* (b) klasifikasi data *testing* kombinasi *Kurtosis-Variance*

Kombinasi *Kurtosis-Variance* menggunakan kernel RBF menghasilkan klasifikasi yang efektif dimana kondisi normal dan cacat terpisah dengan jelas tanpa terjadi *overlap*, sedangkan penggunaan kernel linier dan polinomial terjadi sedikit salah klasifikasi. Akurasi SVM dengan kernel RBF adalah 100% yang bermakna tidak terjadi kesalahan klasifikasi untuk semua (200 data) testing, sedangkan dua kernel lainnya terjadi kesalahan klasifikasi yaitu sebesar 0,25%. Namun demikian dapat dinyatakan bahwa ketiga kernel tersebut memberikan akurasi klasifikasi yang tinggi untuk *classifier* SVM yang menggunakan input kombinasi parameter *Kurtosis-Variance*.



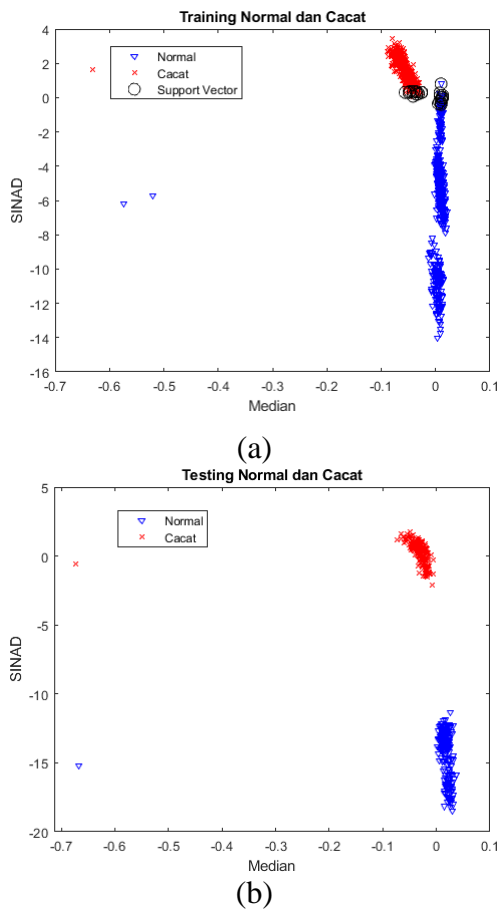
Gambar 8. (a) Klasifikasi data *training* (b) klasifikasi data *testing* kombinasi *Entropy* dan *Standard Error*.

Hasil klasifikasi SVM menggunakan kombinasi *Entropy-Standard Error* pada Gambar 8 menunjukkan efek *clustering* yang nyata dimana data bantalan normal dan data bantalan cacat dipisahkan dengan jelas. Kombinasi parameter ini memberikan tingkat akurasi tertinggi pada penggunaan kernel polinomial yaitu 100%. Kesalahan klasifikasi yang relatif kecil yaitu 0,25% terjadi pada kernel RBF dan linier.

Gambar 9 menunjukkan hasil klasifikasi kombinasi parameter *Median-SINAD* dimana data bantalan normal dan data bantalan cacat terpisah jelas dengan margin paling lebar dibandingkan dua kombinasi sebelumnya. Tingkat akurasi untuk tiga buah kernel pada kombinasi *Median-SINAD* adalah 100%, yang artinya tidak terjadi kesalahan klasifikasi untuk semua data *testing*. Margin yang lebar membuat *classifier* relatif lebih kebal terhadap variasi data sehingga kesalahan klasifikasi menjadi minimal. Rangkuman tingkat akurasi *classifier* untuk masing-



masing kombinasi parameter statistik dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 9. (a) Klasifikasi data *training* (b) klasifikasi data *testing* kombinasi *Median* dan *SINAD*

Tabel 4 Akurasi klasifikasi kombinasi parameter statistik

Kombinasi	Akurasi (%)		
	RBF	Linier	Polinomial
Variance – Kurtosis	100	99,75	99,75
Standard Error – Entropy	99,75	99,75	100
Median – SINAD	100	100	100

### Kesimpulan

Penelitian ini memilih 9 dari 17 parameter statistik secara visual berdasarkan *scatter plot* nilai statistik data bantalan normal dengan data bantalan cacat lintasan luar. Tiga kombinasi parameter

statistik yaitu *Kurtosis-Variance*, *Entropy-Standard Error* dan *Median-SINAD* dipilih dari 9 parameter tersebut untuk dijadikan input *classifier SVM*. Kombinasi *Median-SINAD* menghasilkan tingkat akurasi paling tinggi untuk semua kernel (RBF, linier dan polinomial) yaitu 100% dengan lebar margin yang paling besar. Lebar margin berkontribusi pada kehandalan *classifier* terhadap variasi data sehingga potensi kesalahan klasifikasi menjadi minimal.

### Referensi

- [1]. Anoi, Y. H., Yani, A., & Seto, B. A. (2019). Analisis Penyebab dan Perbaikan Vibrasi pada Fin Fan Blower F1-Ek-9D1 Milik PT. Badak LNG Bontang. *TURBO*, 48-55.
- [2]. Kamiel, B. P., Mulyani, & Sunardi. (2017). Deteksi Cacat Bantalan Bola Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 204-215
- [3]. Fathurrohman, M., H, R. L., & Susilo, D. D. (2019). Diagnosa Kerusakan Bantalan Bola Menggunakan Metode Support Vector Machine. *Jurnal Mekanika*, 14-21
- [4]. Sakthivel, N., Sugumaran, V., & Babudevasenapati, S. (2010). Vibration Based Fault Diagnosis of Monoblock Centrifugal Pump Using Decision Tree. *Elsevier*, 4040–4049
- [5]. Perdana, R. M., Widodo, T. S., & Litasari. (2010). Perancangan Sistem Pengolahan Isyarat ECG Untuk Diagnosis Menggunakan LabVIEW 2009 Berbasis Wavelet. *Jurnal Penelitian Teknik Elektro*, 231-236
- [6]. Mahendra, I. G., Novamizanti, L., & Atmaja, R. D. (2015). Deteksi Ada Tidaknya Cacat pada Kayu Menggunakan Metode Ekstraksi Ciri Statistik. *e-Proceeding of Engineering*, 58-68.
- [7]. Luo, Y., Sun, H., Yuan, S., & Yuan, J. (2015). Research on Statistical

- Characteristics of Vibration in Centrifugal Pump. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia.*, 49-61.
- [8]. Suhardjono. (2004). Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing). *Jurnal Teknik Mesin*, 39-48
- [9]. Adi, F. R., & Suwarmin. (2017). Identifikasi Keausan Bantalan Tirus (Tapered Bearing) Berbasis Analisis Vibrasi dengan Metode Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Teknik ITS*, 768-771
- [10]. Apriansyah, J. A., Suryadi, D., & Suryono, A. F. (2017). Kajian Eksperimental Cacat pada Bantalan Berdasarkan Level Getaran. *Teknosia*
- [11]. Damayanti, F., Arifin, A. Z., & Soelai, R. (2010). Pengenalan Citra Wajah Menggunakan Metode Two-Dimensional Linier Discriminant Analisis dan Support Vector Machine. *Jurnal Ilmiah Kursor*, 147-156.
- [12]. Honakan, Adiwijaya, & Faraby, S. A. (2018). Analisis Dan Implementasi Support Vector Machine Dengan String Kernel Dalam Melakukan Klasifikasi Berita Berbahasa Indonesia. *e-Proceeding of Engineering*, 1701-1710
- [13]. Susilo, D. D. (2008). Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal dengan Analisis Sinyal Getaran. *Mekanika*, 42-53