

Deteksi Cacat Multi Jenis Pada Bantalan Tipe *Double Row* Menggunakan Sinyal Vibrasi

(Multi Faults Detection On Double Row Bearing With Vibration Signal)

GUSNANDAR A. NEGARA

ABSTRACT

Bearing is a rotating machine element that keeps the machine performance in good condition. Bearing enables the shaft to rotate without excessive friction. Bearing faults may reduce machine performance, stop operation machine, decrease production, and increase maintenance costs. The purpose of this research was to detect bearing fault inner race and outer race based on vibration analysis using frequency domain and envelope spectrum. Vibration analysis is the most popular and widely used method in CBM (Condition Based Maintenance) especially for analyzing bearing condition with features such as frequency domain and envelope analysis. Measurements were made on a simple model of rotor shaft system. The bearing on the system was divided into two conditions, bearings with multi-type defects and normal bearing conditions with 4 shaft speed variation (1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, 1600 RPM). Bearing used Self-aligning ball bearing type, SKF, 1207, 1207 EKTN9/ C3 Series. Multi-type bearing faults were inner race and outer race. In frequency domain, normal bearing did not show the frequency of bearing faults. The multi-type faults condition on bearing occur 1X to 2X harmonic, but frequency which had low amplitude value with the frequency of other components that were around the bearing. The envelope analysis method caused the impacts with very low energy. It also brought up the frequency amplitude of bearing faults that closed or immersed in frequency domain analysis. Multi-type faults condition on bearing of each shaft speed variation showed the frequency of inner race faults (BPFI) and outer race faults (BPFO) with different amplitude values. The higher speed of shaft caused the higher amplitude of faulty bearing frequency.

Keywords: Bearing Faults, Vibration Analysis, Envelope Spectrum.

PENDAHULUAN

Bantalan (*bearing*) merupakan salah satu bagian dari elemen mesin rotasi yang memegang peranan sangat penting yaitu menjaga kinerja mesin tetap dalam kondisi baik. Bantalan berfungsi sebagai penunpu beban sebuah poros agar poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Beban tersebut dapat berupa beban aksial dan beban radial. Bantalan harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Cacat pada bantalan akan berakibat fatal pada kinerja mesin seperti menurunnya performa mesin,

berhentinya mesin beroperasi, menurunnya jumlah produksi dan membengkaknya biaya perawatan. Oleh karena itu, penting untuk menjaga bantalan tetap dalam kondisi baik. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan mendeteksi cacat pada bantalan sebelum terjadi kerusakan yang lebih fatal. Dengan mendeteksi cacat bantalan, suatu industri dapat meminimalisir dan mencegah kerugian yang ditimbulkan. Oleh karena itu akan sangat membantu dan menguntungkan jika tanda awal cacat pada bantalan dapat dideteksi sebelum terjadinya kerusakan yang berakibat fatal.

CBM (*Condition Based Maintenance*) merupakan metode yang paling efektif dalam memantau kondisi bantalan dan banyak digunakan karena lebih efisien. Ada beberapa metode yang digunakan CBM dalam memantau kondisi mesin seperti, *vibration monitoring*, *acoustic monitoring*, *electric current monitoring*, *lubricant condition* dll. *Vibration monitoring* merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam CBM khususnya untuk mendeteksi kondisi bantalan. Hal ini terjadi karena pengukuran dan analisa pada respon getaran memberikan banyak data informasi yang relevan terkait kondisi cacat pada tipe mesin yang berbeda-beda (Khwaja, Gupta, & Kumar, 2010). Cacat yang biasa terjadi pada bantalan adalah cacat lintasan dalam (*inner race*), lintasan luar (*outer race*), bola (*ball*), dan sangkar (*cage*).

Analisis sinyal getaran merupakan metode yang handal dalam menemukan cacat pada mesin. Ada serangkain metode pendukung yang digunakan untuk mengolah data sinyal getaran dalam menganalisis cacat pada bantalan bola. Seperti penelitian yang dilakukan Susilo (2009) dalam jurnal penelitian yang berjudul "Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran" merumuskan bahwa setiap pemantauan kondisi bantalan mempunyai hasil data yang berbeda-beda. Jika bantalan dalam kondisi normal, frekuensi cacat bantalan tidak terlihat sedangkan jika kondisi dalam keadaan rusak/cacat, frekuensi cacat bantalan akan muncul sesuai dengan kondisi cacat. Metode yang digunakan adalah domain waktu, domain frekuensi, statistik sinyal dan transformasi wavelet.

Wahyudi, dkk (2016) dalam jurnal yang berjudul "Mendeteksi Kerusakan Bantalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi" melakukan analisis cacat pada bantalan seri 2205-K-2RS-TVH-C3 dengan 4 macam kondisi yaitu 1 bantalan dengan kondisi normal

dan 3 bantalan dengan cacat 30% (*outer race*, *inner race*, *roll*). Metode yang digunakan adalah domain frekuensi dan statistik domain waktu dengan fitur RMS. Hasil yang didapat adalah bantalan cacat 30% pada *outer race* dan *rolling element* memberikan nilai amplitudo cenderung bervariasi. Bantalan yang cacat 30% pada *outer race* dan *rolling* akan menghasilkan spektrum FFT dengan garis puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF.

Sedangkan, penelitian cacat bantalan yang terjadi secara simultan atau multi jenis telah dilakukan oleh Sukendi, dkk (2016) pada penelitian yang berjudul "Analisa Karakteristik Getaran dan *Machine Learning* Untuk Deteksi Dini Kerusakan *Bearing*". Bantalan yang digunakan adalah jenis *bearing unit pillow block* NTN UCP 204 DI, dengan melakukan variasi putaran (400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm dan 1200 rpm). Metode yang digunakan adalah domain frekuensi dengan *coding* dari program Matlab. Bantalan yang digunakan berjumlah 8 dengan 2 macam kondisi, yaitu 4 bantalan (A, B, C dan D) dengan kondisi baru dan 4 bantalan (1, 2, 3 dan 4) dengan kondisi cacat/rusak, dimana bantalan yang mengalami cacat multi jenis adalah bantalan no. 3 dan no. 4. Bantalan no. 3 mengalami cacat lintasan luar (BPFO) dengan frekuensi 200,5667 Hz (4xBPFO) akibat cacat dari bolanya (6xBSF) dan cacat sangkar (FTF), sedangkan bantalan no. 4 mengalami cacat lintasan dalam (BPFI) dengan frekuensi 167,7667 Hz (2xBPFI) dan cacat bola (5xBSF) terlihat dari grafik frekuensi yang muncul.

Contoh lain dari penelitian cacat bantalan secara simultan atau multi jenis adalah penelitian yang dilakukan Surojit dan Madan (2015) dalam jurnal yang berjudul "*Ball Bearing Fault Detection Using Vibration Parameter*". Bantalan yang digunakan adalah jenis MB ER-10K. Metode yang digunakan

adalah domain frekuensi, dimana cacat bantalan yang diuji sebanyak 4 jenis, bantalan cacat pertama mengalami cacat lintasan dalam, yang kedua mengalami cacat lintasan luar, yang ketiga mengalami cacat bola dan yang keempat mengalami cacat secara simultan atau cacat multi jenis. Grafik FFT pada bantalan cacat yang keempat memunculkan 3 frekuensi cacat bantalan, yaitu pada frekuensi 50,30 Hz menandakan cacat lintasan luar (BPFO), 65,90 Hz menandakan cacat bola (2XBSF), dan 81,60 Hz menandakan cacat lintasan dalam (BPFI).

Dilihat dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa deteksi cacat pada bantalan berdasarkan sinyal getaran sangat bermanfaat dan memberikan informasi data yang relevan, namun dari penelitian yang sudah dilakukan hanya berdasarkan metode domain frekuensi. Kelemahan dari analisis domain frekuensi adalah kemungkinan tertutupnya frekuensi bantalan yang memiliki amplitudo yang rendah dengan frekuensi dari getaran komponen yang lain. Untuk menghindari kemungkinan tertutupnya frekuensi bantalan yang memiliki amplitudo rendah maka dalam penelitian ini diusulkan penggunaan analisis *envelope*. Metode analisis *envelope* dapat mengekstrak dampak dengan energi yang sangat rendah dan yang tersembunyi oleh sinyal getaran lain.

LANDASAN TEORI

Bantalan bola adalah jenis bantalan elemen rol yang menggunakan bola untuk mempertahankan pemisahan antara sisi bantalan. Tujuan bantalan bola adalah untuk mengurangi gesekan radial dan aksial. Terdapat dua sisi pada sebagian besar aplikasi dalam bantalan yaitu, satu sisi yang bersifat stasioner atau diam dan yang lainnya terpasang pada unit yang berputar.

Double row self aligning ball bearing mempunyai dua baris bola, masing-masing

baris mempunyai alur sendiri-sendiri pada cincin bagian dalamnya. Pada umumnya terdapat alur bola pada cincin luarnya. Cincin bagian dalamnya mampu bergerak sendiri untuk menyesuaikan posisinya. Inilah kelebihan dari jenis ini, yaitu dapat mengatasi masalah poros yang kurang sebaris atau *misalignment*. Bantalan *double row* banyak digunakan untuk mesin putar yang mempunyai poros panjang, karena poros yang panjang sangat rawan terhadap masalah poros tak sejajar (*misalignment*).

Frekuensi adalah banyaknya periode getaran yang terjadi dalam satu putaran waktu. Besarnya frekuensi yang timbul pada saat terjadinya vibrasi dapat mengidentifikasi jenis-jenis gangguan yang terjadi. Gangguan yang terjadi pada mesin sering menghasilkan frekuensi yang jelas atau menghasilkan contoh frekuensi yang dapat dijadikan sebagai bahan pengamatan. Dengan diketahuinya frekuensi pada saat mesin mengalami vibrasi, maka peneliti atau pengamatan secara akurat dapat dilakukan untuk mengetahui penyebab atau sumber dari permasalahan.

Dalam komponen yang berputar, pasti menghasilkan frekuensi pada komponennya masing-masing. Terdapat rumus-rumus frekuensi getaran yang dapat digunakan untuk mengetahui cacat yang terjadi pada bantalan tersebut, diantaranya:

Cacat Lokal pada Linatasan Dalam (*Inner Race*)

Frekuensi ekstensi impuls akibat adanya cacat local pada lintasan dalam bantalan disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), yang dinyatakan dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \times f_r \times \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha \right) \dots \dots \dots (1)$$

Cacat Lokal pada Lintasan Luar (*Outer Race*)

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat local pada lintasan luar bantalan disebut *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), yang dinyatakan dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \times f_r \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots\dots (2)$$

Cacat Lokal pada Bola (*rolling Element*)

Frekuensi impuls yang terjadi disebut *Ball Spin Frequency* (BSF). Besarnya dapat dihitung dengan persamaan 3 berikut ini:

$$BSF = \frac{Nb}{2Bd} \times f_r \times \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right)^2\right) \dots\dots\dots (3)$$

Cacat Lokal pada Pemisah (*Cage*)

Frekuensi akibat adanya cacat pada pemisah (*cage*) disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat dihitung dengan persamaan 4 sebagai berikut:

$$FTF = \frac{f_r}{2} \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

Nb = Jumlah bola (*Number of ball*),

f_r = Frekuensi putaran kerja pompa (Hz),

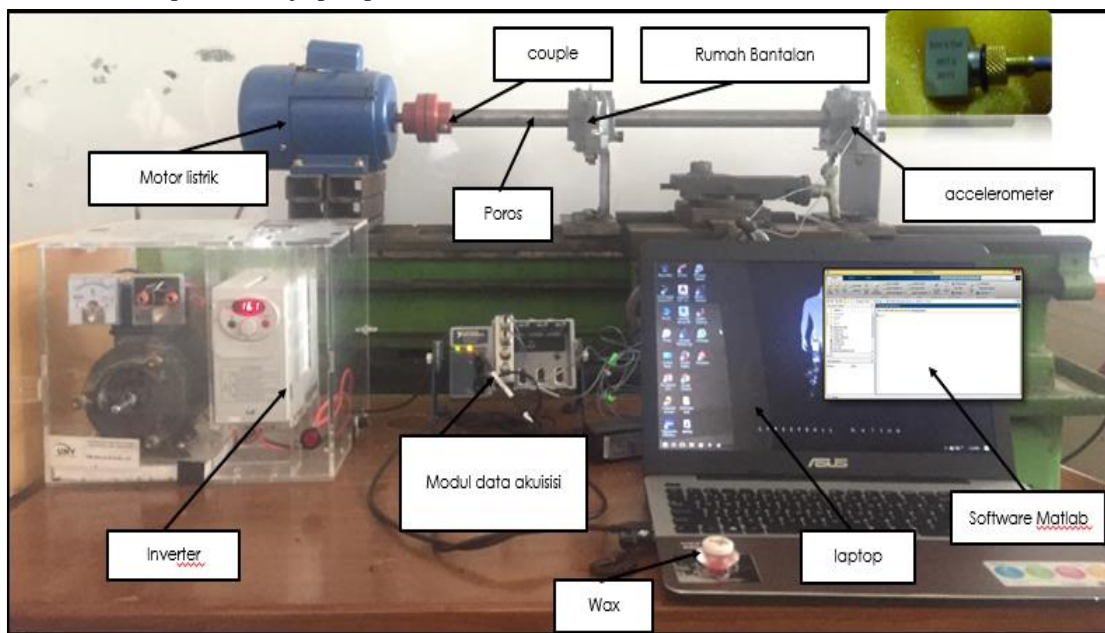
Bd = Diameter bola (*Ball diameter*) mm,

Pd = Diameter Pitch (*Pitch diameter*) mm dan

α = Sudut kontak (*Contact angle*) derajat.

ALAT UJI DAN METODE PENGAMBILAN DATA

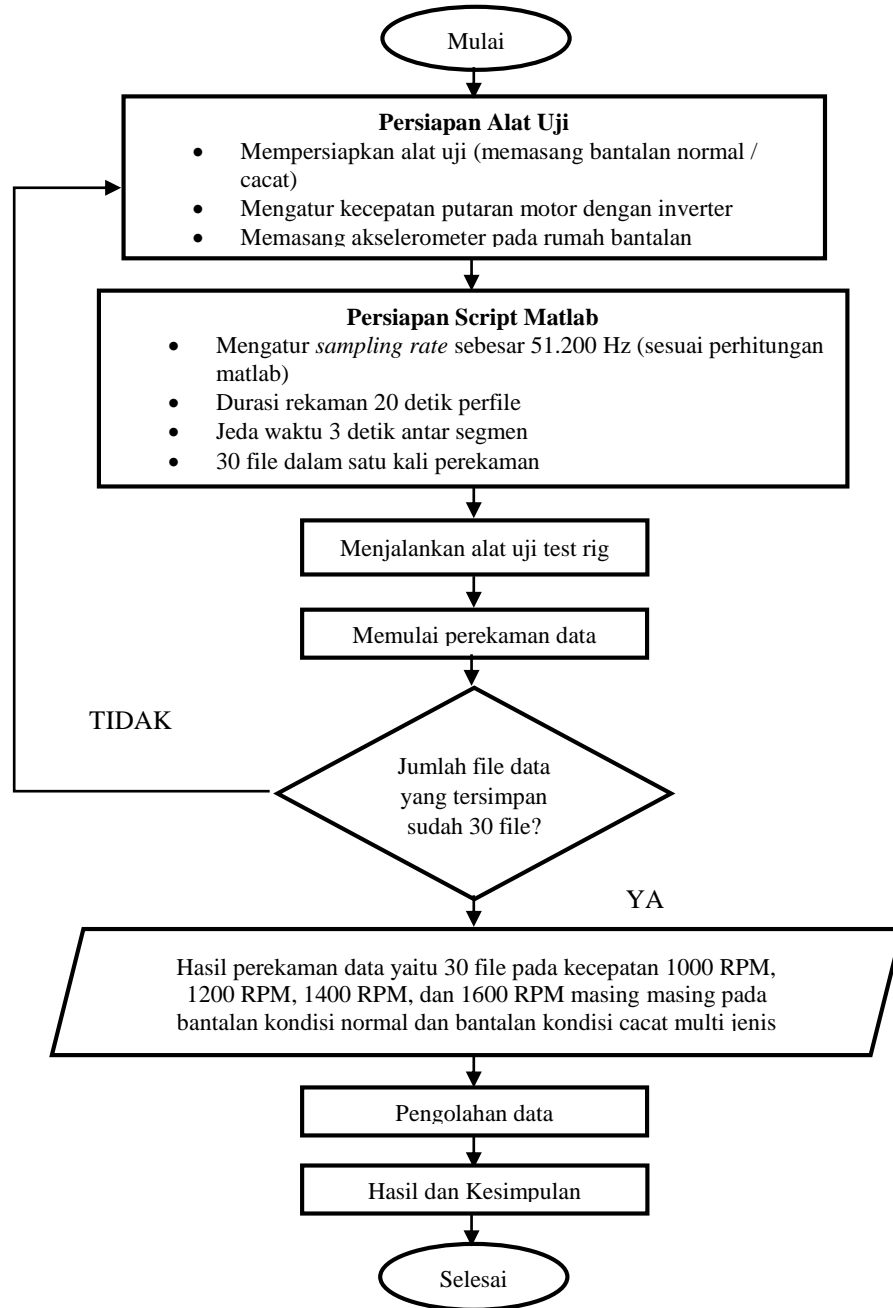
Alat uji yang digunakan adalah alat uji *test rig* yang digerakkan menggunakan sebuah motor dan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat melakukan pengujian getaran pada bantalan. Alat uji *test rig* dirancang menggunakan beberapa komponen, adapun komponen pendukung alat uji yang digunakan adalah bantalan (*bearing*), rumah bantalan (*housing bearing*), poros besi pejal, plat baja, baja kanal, U, kopel tetap, dan inverter. Alat uji pada penelitian ini juga didukung dengan perangkat perekam data sinyal getaran yang terdiri dari sensor akselerometer dan instrument akuisisi data. Mekanisme kerja alat uji ini adalah dengan cara memutar poros besi pejal yang dipasangkan 2 buah bantalan bola pada dua sisi poros sebagai penopang. Bentuk dari alat uji dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Skema Alat uji.

Gambar 2 merupakan alur atau langkah yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil dari

penelitian ditutup dengan kesimpulan dan saran.

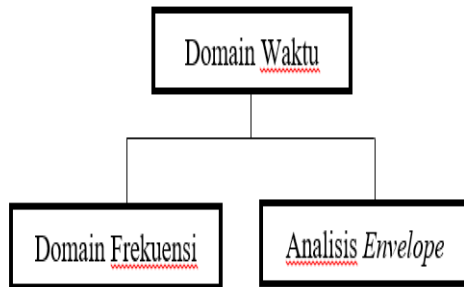


Gambar 2 Diagram Alir Proses Pengambilan Data

Metode pengolahan data sinyal getaran merupakan proses puncak dalam hal

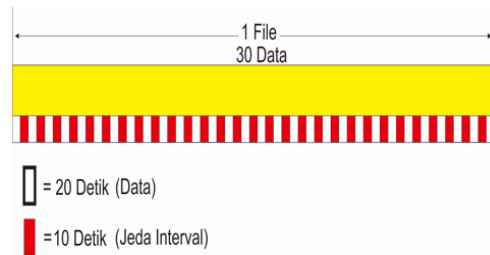
mengidentifikasi kerusakan pada bantalan. Setelah data sinyal getaran yang di peroleh dari

instrument berupa domain waktu, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data menggunakan metode domain frekuensi, dan analisis *envelope*. Untuk penjelasan urutan pengolahan data sinyal getaran dapat dilihat skema pada Gambar 3.



Gambar 3 Metode Pengolahan Data

Proses pengolahan data yang dimulai dari sinyal mentah yang didapat dari rekaman akselerometer dalam bentuk domain waktu. Selanjutnya, pengolahan data dimulai dengan mengolah data domain waktu menjadi data domain frekuensi, dengan cara mentransformasikannya menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). Metode kedua adalah menganalisis data domain waktu menggunakan analisis *envelope*. Setelah dilakukan serangkaian proses pengolahan data domain waktu, tahap selanjutnya adalah menganalisis hasil dari kedua metode tersebut untuk dibandingkan satu dengan yang lainnya. Analisis dilakukan pada grafik yang didapat dari masing-masing metode. Setiap metode menunjukkan informasi tentang kondisi bantalan. Setiap metode memiliki kekurangan dan keuntungan dalam menunjukkan kondisi bantalan, sehingga dengan menganalisis grafik setiap metode, maka akan mempermudah menganalisis kerusakan pada setiap bantalan.

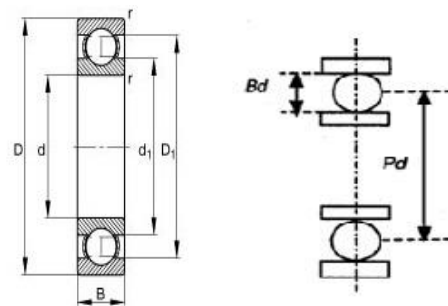


Gambar 4 Skema Waktu Pengambilan Data Dalam 1 Set.

Dalam penelitian ini bentuk data rekaman yang didapat berjumlah 8 set, terdiri dari 4 variasi kecepatan pada bantalan normal dan 4 variasi kecepatan pada bantalan rusak. Pada setiap set terdiri dari 30 data rekaman dengan durasi waktu rekam 20 detik per data. Diberikan jeda waktu interval 3 detik sebagai jarak antara set satu dengan set selanjutnya. Skema waktu pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola jenis *Self-Aligning Ball Bearing*, merk SKF seri 1207 EKTN9/C3 dengan kondisi bantalan normal dan bantalan yang sengaja di buat cacat. Cacat bantalan dibuat secara simultan atau multi jenis dimana cacat terjadi pada 2 sisi yaitu cacat lintasan dalam (*inner race*) dan cacat lintasan luar (*outer race*) pada bantalan. Dimensi bantalan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 1.



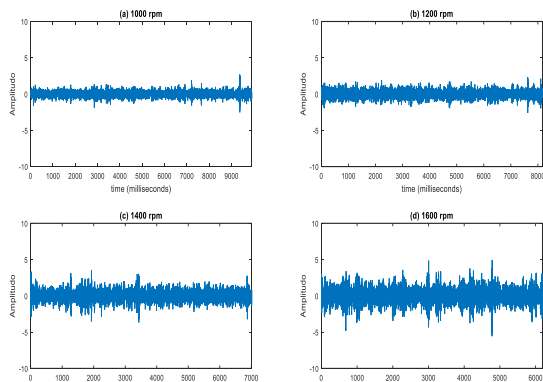
Gambar 5 Dimensi Bantalan

Tabel 1 Dimensi Komponen Bantalan

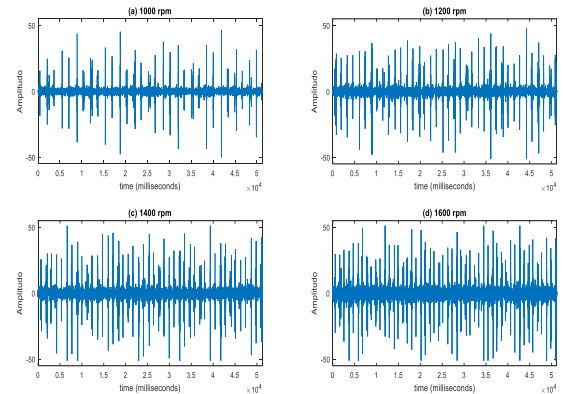
Komponen Bantalan	Dimensi
Ø Luar (D)	72 mm
Ø Dalam (d)	35 mm
Ø Bola (Bd)	8,5 mm
Ø Pitch (Pd)	53.95 mm
Sudut Kontak (α)	0
Jumlah Bola (N)	30

Hasil Plot Domain Waktu

Domain waktu merupakan data mentah yang diperoleh dari akuisisi data getaran menggunakan sensor *accelerometer*. Hasil grafik domain waktu pada pengujian bantalan normal dan cacat multi jenis dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 dengan 4 variasi putaran poros pada masing-masing kondisi bantalan, (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah waktu (*milliseconds*)..



Gambar 6 Grafik Domain Waktu Bantalan Normal (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d)



Gambar 7 Grafik Domain Waktu Cacat Multi Jenis pada Bantalan (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400

Terlihat perbedaan nilai amplitudo pada grafik domain waktu yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7, grafik domain waktu pada bantalan normal tidak memunculkan frekuensi dengan nilai amplitudo yang tinggi, ini menunjukkan bahwa bantalan tersebut dalam kondisi normal. Berbeda dengan grafik domain waktu bantalan kondisi cacat multi jenis, terlihat nilai amplitudo tinggi yang muncul, ini menunjukkan bahwa bantalan tersebut mengalami cacat.

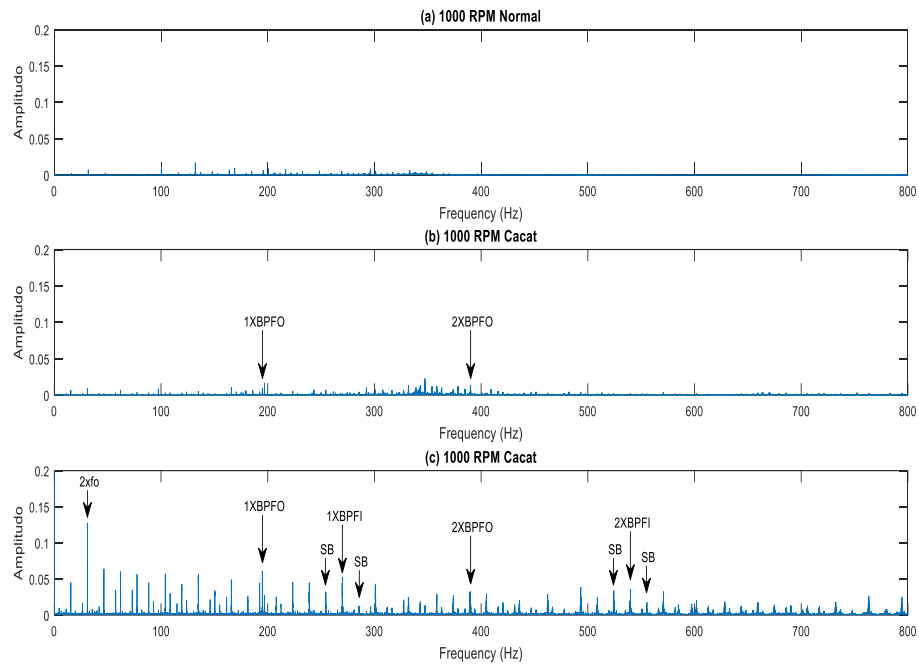
Hasil Plot Domain Frekuensi dan Analisis *Envelope* pada Masing-masing Kecepatan

Hasil plot domain frekuensi dan analisis *envelope* dapat dilihat pada penjelasan dibawah. Dari hasil plot domain frekuensi bantalan normal masing-masing kecepatan menunjukkan tidak adanya tanda nilai amplitudo tinggi dari frekuensi cacat bantalan, oleh karena itu pada bantalan normal tidak digunakan metode analisis *envelope* untuk menganalisa kondisi bantalan lebih lanjut. Plot domain frekuensi bantalan cacat multi jenis menunjukkan adanya cacat pada bantalan, terlihat dari frekuensi cacat yang muncul baik pada 1X sampai 2X harmonic pada BPFI dan BPFO, namun nilai amplitudonya masih sangat kecil dan sulit untuk dianalisa, hal ini

disebabkan karena tertutupnya frekuensi cacat bantalan oleh komponen lain yang berada disekitar bantalan. Oleh karena itu, digunakan metode analisis *envelope* untuk menganalisa cacat bantalan lebih lanjut. Analisis *envelope* dapat mengekstrak dampak dari energi yang

sangat rendah dan yang tersembunyi dari komponen lain. Hasil plot pada analisis *envelope* kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan BPFi dan BPFO pada tabel perhitungan.

Hasil Plot Domain frekuensi dan Analisis Envelope pada Kecepatan 1000 RPM

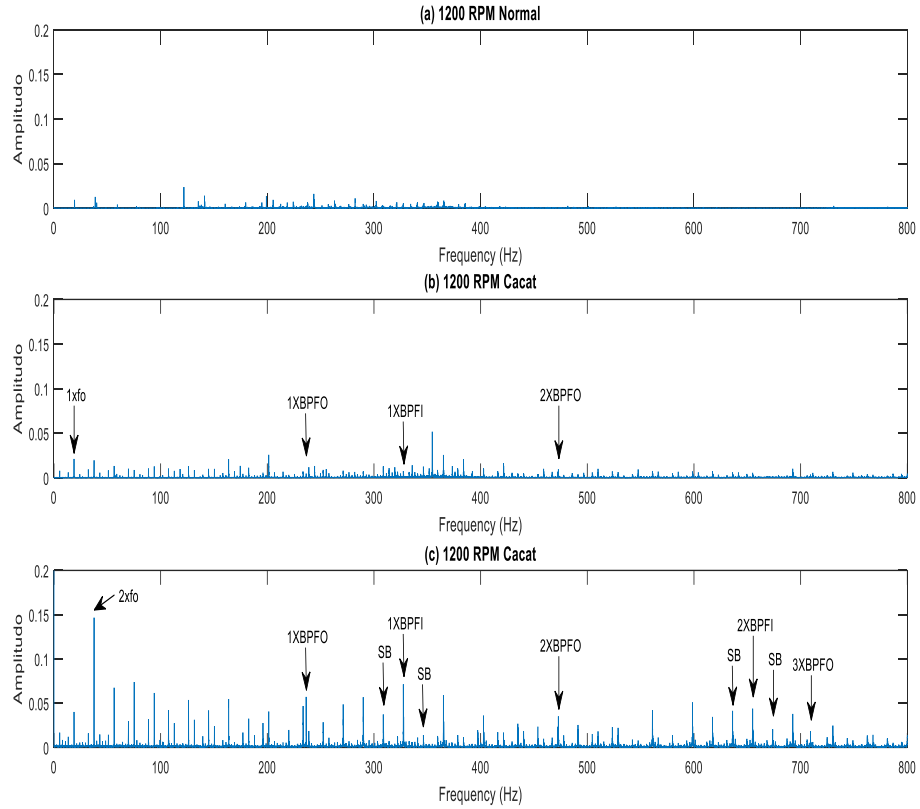


Gambar 1 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1000 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Tabel 5 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Pada Kecepatan 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM

1000 RPM	Harmonik	BPFi		Selisih	BPFO		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	269.13	270.1	0.97	195.87	194.9	0.97
2x	538.26	539.9	1.64	391.74	389.9	1.84	
3x	807.39	-	-	587.61	-	-	

Hasil Plot Domain frekuensi dan Analisis Envelope pada Kecepatan 1200 RPM

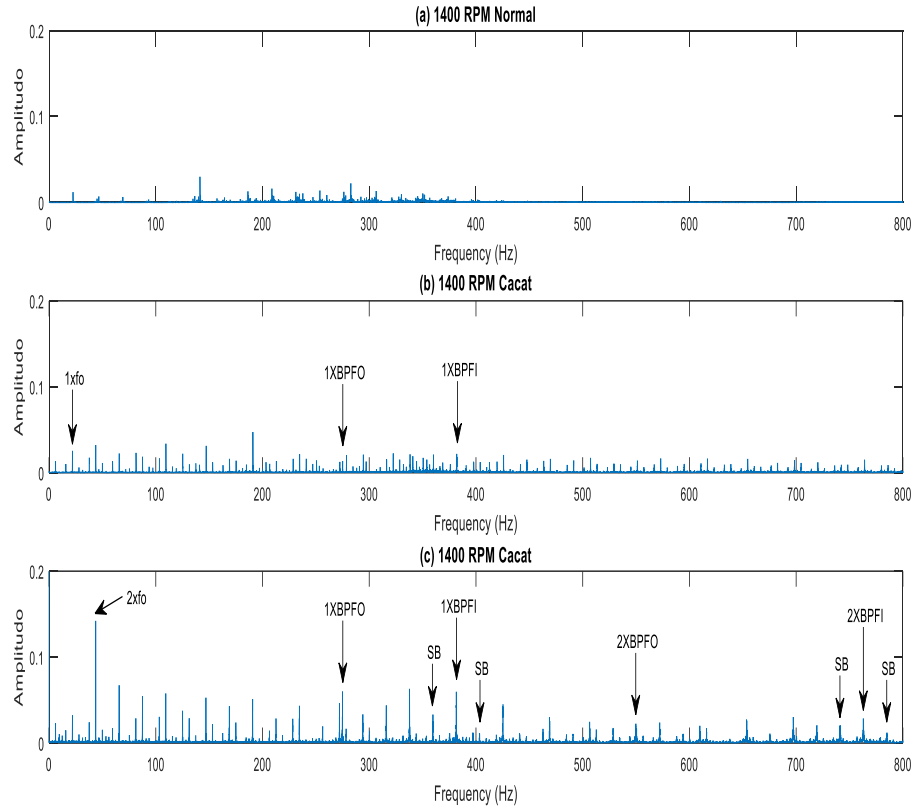


Gambar 9 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1200 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Tabel 6 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Pada Kecepatan 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM

1200 RPM	Harmonik	BPFI		Selisih	BPFO		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	326.43	327.5	1.07	237.57	236.4	1.17
	2x	652.86	655	2.14	475.14	472.9	2.24
	3x	979.29	-	-	712.71	709.3	3.41

Hasil Plot Domain frekuensi dan Analisis Envelope pada Kecepatan 1400 RPM

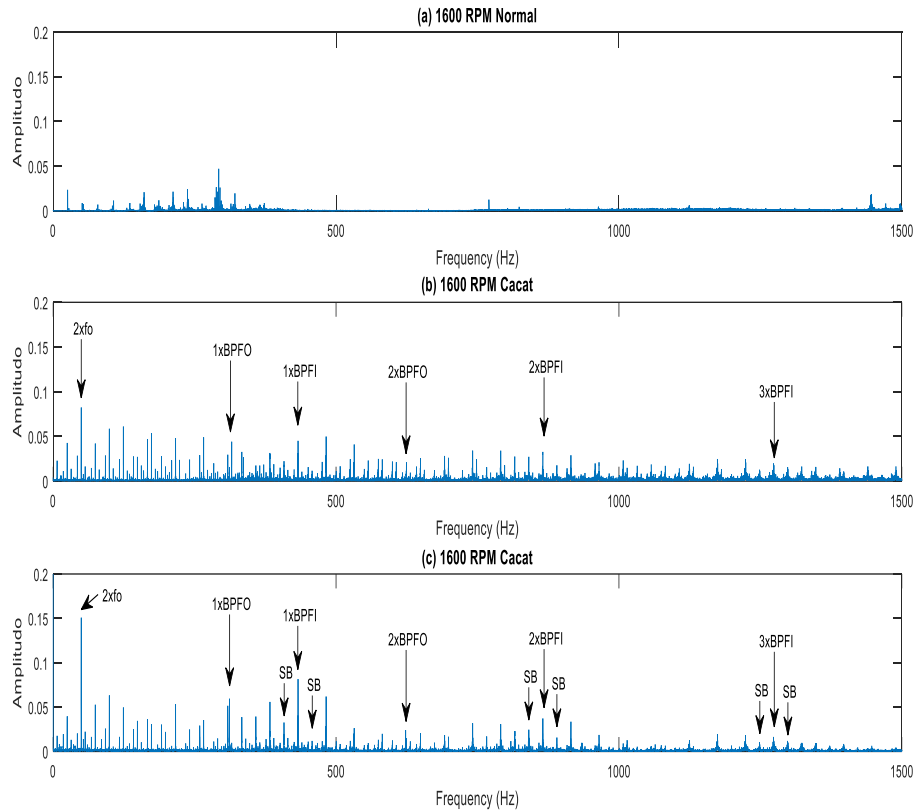


Gambar 10 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1400 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Tabel 7 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Pada Kecepatan 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM

1400 RPM	Harmonik	BPFI		Selisih	BPFO		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	380.26	381.6	1.34	276.74	274.9	1.84
	2x	760.51	762.9	2.39	553.49	550.3	3.19
	3x	1140.77	-	-	830.23	-	-

Hasil Plot Domain frekuensi dan Analisis Envelope pada Kecepatan 1600 RPM

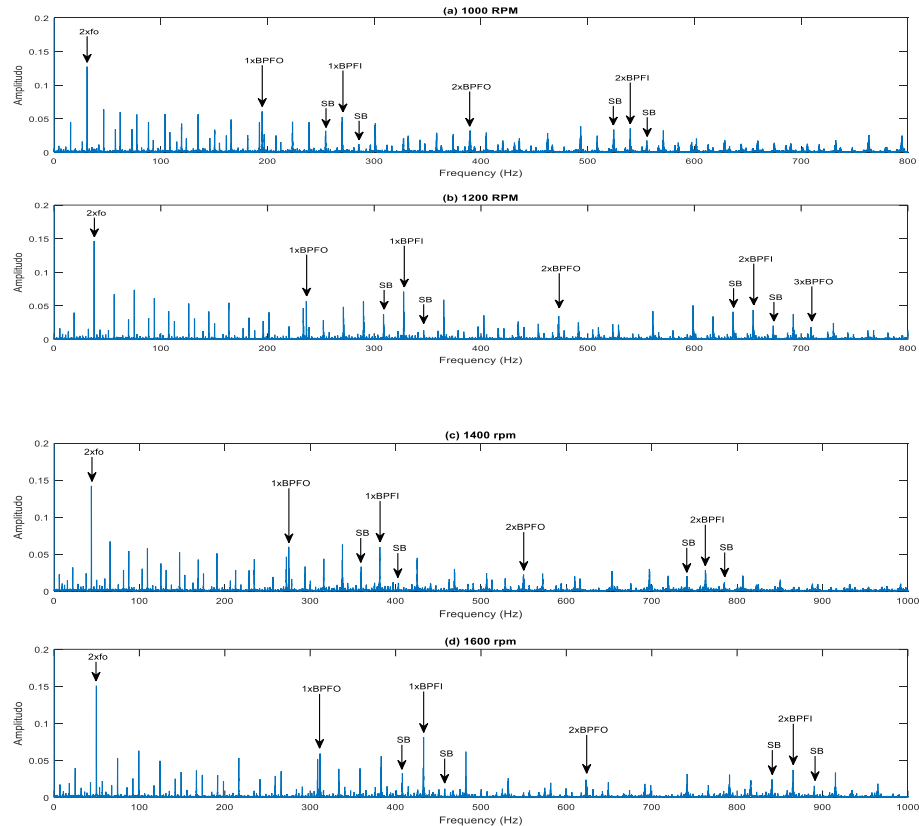


Gambar 11 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1600 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Tabel 8 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Pada Kecepatan 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM

1600 RPM	Harmonik	BPFI		Selisih	BPFO		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	430.61	432.8	2.19	313.39	311.6	1.79
	2x	861.22	865.6	4.38	626.78	623	3.78
	3x	1291.83	1298	6.17	940.17	-	-

Perbandingan Grafik Envelope Pada Semua Kecepatan Poros



Gambar 2 Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis Bantalan pada Putaran (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM dan (d) 1600 RPM.

Gambar 12 adalah spektrum *envelope* cacat multi jenis bantalan pada putaran 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM. Hasil perbandingan grafik *envelope* pada masing-masing variasi kecepatan poros menunjukkan adanya perbedaan nilai amplitudo. Semakin tinggi kecepatan putaran poros semakin besar energi atau gaya gesek yang terjadi, sehingga membuat kenaikan nilai amplitudo pada frekuensi cacat bantalan. Cacat bantalan lintasan luar dan lintasan dalam 1X harmonik pada kecepatan 1000 RPM muncul amplitudo sebesar 0,052 dan 0,061, pada kecepatan 1200 RPM muncul amplitudo sebesar 0,057 dan 0,071, pada kecepatan 1400 RPM muncul nilai

amplitudo sebesar 0,075 dan 0,092 akan tetapi, penurunan amplitudo terjadi pada kecepatan 1600 RPM, muncul nilai amplitudo sebesar 0,059 dan 0,081, penurunan amplitudo ini kemungkinan besar disebabkan gaya gesek yang terjadi antara komponen relatif kecil. Dilihat dari analisis *envelope* cacat bantalan lintasan dalam muncul 1X sampai 2X harmoniknya diikuti dengan munculnya *side bands* pada sisi sebelah kanan dan kirinya. *Side bands* muncul disamping kanan dan kiri dari frekuensi cacat menandakan bahwa komponen lintasan dalam pada bantalan merupakan bagian yang berputar sesuai putaran poros, saat cacat bantalan lintasan dalam berputar keatas, makan

beban yang ditumpu akan semakin ringan sehingga amplitudo yang muncul akan semakin rendah. Berbeda saat posisi cacat bantalan lintasan dalam berputar turun kebawah, beban yang ditumpu akan semakin besar sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang meningkat dan semakin tinggi. Hal ini akan menggambarkan bentuk sinyal yang muncul pada domain waktu pada bantalan cacat lintasan dalam berbentuk amplitudo modulasi (AM).

Plot spektrum *envelope* juga menunjukkan adanya cacat yang terjadi diluar rencana penelitian. Mulanya cacat yang disengaja adalah cacat bantalan lintasan dalam dan cacat bantalan lintasan luar. Sementara hasil plot spektrum *envelope* menunjukkan adanya frekuensi cacat dengan nilai amplitudo tinggi yang diidentifikasi adalah cacat *parallel misalignment*. Cacat tersebut merupakan cacat yang tidak disengaja. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 (a), (b), (c), dan (d), muncul frekuensi putaran poros dengan amplitudo yang lebih dominan pada 2X harmoniknya. Cornelius Scheffer dan Paresh Girdhar dalam buku "*Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*" merumuskan, jika frekuensi putaran poros dengan amplitudo yang lebih dominan pada 2X harmoniknya, frekuensi 2X harmonik tersebut menunjukkan adanya indikasi *parallel misalignment*. *Parallel misalignment* terjadi karena kondisi motor dan alat uji tidak sejajar, atau kondisi motor sedikit lebih tinggi dari alat uji sehingga mengakibatkan konstruksi *coupling* terganggu.

KESIMPULAN

1. Secara teoritis, frekuensi pada bantalan cacat lintasan dalam dan cacat lintasan luar dapat diketahui dengan menggunakan rumus persamaan BPFi dan BPFO. Hasil perhitungan BPFi dan BPFO 1X harmonik, pada kecepatan

1000 RPM sebesar 269,13 Hz dan 195,87 Hz, pada kecepatan 1200 RPM sebesar 326,43 Hz dan 237,57 Hz, pada kecepatan 1400 RPM sebesar 380,26 Hz dan 276,74 Hz, sedangkan pada 1600 RPM sebesar 430,61 Hz dan 313,39 Hz. Kemudian dari hasil perhitungan BPFi dan BPFO pada masing-masing kecepatan poros tersebut dijumlahkan kelipatannya untuk mendapatkan 2X sampai 3X harmoniknya.

2. Analisis *envelope* mempunyai kelebihan dalam mendeteksi cacat bantalan dibandingkan dengan domain frekuensi, yaitu mampu memunculkan amplitudo dari frekuensi cacat bantalan yang tertutup atau terbenam oleh frekuensi komponen lain yang berada di sekitar bantalan. Hasil plot analisis *envelope* pada masing-masing variasi kecepatan putaran poros menunjukkan adanya cacat multi jenis pada bantalan. Bantalan dengan kondisi cacat multi jenis akan muncul frekuensi dengan nilai amplitudo tinggi pada masing-masing tipe cacat. Cacat multi jenis yang muncul adalah cacat lintasan dalam (BPFi) dan cacat lintasan luar (BPFO) diikuti 2X sampai 3X harmoniknya. Kemudian hasil dari pengamatan dari hasil plot analisis *envelope* dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis
3. Hasil perbandingan grafik *envelope* pada masing-masing variasi kecepatan poros menunjukkan adanya perbedaan nilai amplitudo. Semakin tinggi kecepatan putaran poros semakin besar energi atau gaya gesek yang terjadi, sehingga membuat kenaikan nilai amplitudo pada frekuensi cacat bantalan. Cacat bantalan lintasan luar dan lintasan dalam 1X harmonik pada kecepatan 1000 RPM muncul amplitudo sebesar 0,052 dan 0,061, pada kecepatan 1200 RPM muncul amplitudo sebesar 0,057 dan 0,071, pada kecepatan 1400 RPM muncul nilai amplitudo sebesar 0,075 dan 0,092 akan tetapi, penurunan amplitudo terjadi pada kecepatan 1600 RPM, muncul nilai amplitudo sebesar 0,059 dan 0,081, penurunan amplitudo ini kemungkinan besar disebabkan gaya gesek yang terjadi antara komponen relatif kecil.

TINJAUAN PUSTAKA

- Aji, K. 2007. Skripsi “Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinyal Getaran”.
- Arnold, T. 2016. “Condition-Based Maintenance (CBM)”. Southwest Research Institute 2501 Liberty Parkway, Suite 302 Midwest City, OK 73110, <http://www.swri.org/3pubs/brochure/d09/CBM/Condition-Based-Maintenance.pdf>
- Girdhar, P. 2004. “Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance”. India: ELSEVIER.
- Khwaja, H.A., S.P. Gupta & Vinod, K. 2010. “A Statistical Approach For Fault Diagnosis In Electrical Machines”. IETE JOURNAL OF RESEARCH Vol-56 ISSUE 3.
- Rusli, M., Agus, A., Lovely, S., & Mulyani, B. 2015. “Kaji Banding Prediksi Kerusakan Pada Bantalan Gelinding Melalui Sinyal Getaran Dan Sinyal Suara”. Jurnal Penelitian Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)
- Suhardjono. 2004. “Analisis Sinyal Getaran Untuk Menentukan jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing)”. Jurnal Penelitian Teknik Mesin Vol-6 No.2.
- Sukendi, Ikhwanasyah, I., & Suherman. 2015. “Analisa Karakteristik Getaran dan Machine Learning Untuk Deteksi Dini Kerusakan Bearing”. Jurnal Penelitian Widya Teknika Vol-23 No.23 ISSN 1411-0660: 41-49. Teknik Mesin USU.
- Surojit, P dan Madan, L, C. 2013. Skripsi “Ball Bearing Fault Detection Using Vibration Parameter”. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 2 Issue 12.
- Susilo, D.D. 2009. “Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran”. Jurnal Penelitian Mekanika Vol-8 No.1 hal. 130-134.
- Wahyudi, T., Soeharsono & Noor, E. 2016. “Mendeteksi Kerusakan Bantalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi”. Jurnal Penelitian Sinergi Vol-20 No.2.

PENULIS:

Gusnandar A. Negara

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta