

ANALISIS ENVELOPE CACAT LINTASAN LUAR BANTALAN BOLA PADA POROS ENKOL (CRANK SHAFT) MESIN VESPA

(The Envelope Analysis of Ball Bearing Outer Race Fault in Vespa Crank Shaft)

GUNAWAN WIBISONO, BERLI P. KAMIEL, SUDARISMAN

ABSTRACT

The motorcycle is widely used by the community one is the VESPA. On a motorbike vespa many rotating parts, such as the crankshaft is resting on the pads. Defective bearings will have an impact on his descent engine performance. To reduce impacts more severe bearing fault, then the bearing fault detection becomes important done. This research method using spectrum domain analysis and envelope to detect fault in the path of the ball bearings. Research by way of comparing both methods aim to know which method is superior to detect ball bearing fault. The bearing are single row Danmotor brands with different conditions, namely bearings normal, flawed 0.25 mm, 0.50 mm and disability. the third condition Of the bearing will be tested using different variations of velocity i.e. 1500 RPM and 2000 RPM. Vibration detection using the Sensor will be on the accelerometer connected with Data Acquisition Modules run with Matlab software. The results show that the time domain can indicate the frequency of bearing fault, but the frequency of bearing fault is difficult to find if the bearing has suffered severe damage resulting in a longer impulse duration. spectrum domain cannot show bearing defect frequency at shaft speed 1500 Rpm or at shaft speed 2000 Rpm. While the envelope method is able to show the frequency of bearing defects followed by 3x harmonics on both bearing defects and both shaft speeds. The envelope method is superior to the frequency domain because low frequencies that have a high amplitude value are eliminated, so they are able to detect bearing defects more specifically even when bearing defects are still early.

Keywords: *envelope Method, frequency domain, time domain, bearing*

PENDAHULUAN

Motor bakar torak adalah mesin yang berfungsi untuk mengkonversikan energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Prinsip kerja motor bakar yaitu menggunakan energi kimia yang di konversikan ke energi termal, sehingga menimbulkan gerakan mekanik berupa gerakan translasi. Gerak translasi torak diubah menjadi gerak rotasi dengan cara meyabungkan torak dan poros engkol. Gerakan rotasi poros engkol di tumpu oleh bantalan (*Bearing*). Bantalan memiliki peranan penting dalam kinerja mesin. Salah satunya terdapat pada poros engkol vespa, apabila bantalan mengalami kerusakan maka kinerja poros engkol menjadi tidak seimbang yang mengakibatkan performa mesin akan menurun dan kerusakan menular pada komponen mesin lainnya, sehingga menyebabkan kerugian.

Untuk mencegah kerugian yang lebih besar perlu melakukan pencegahan sedini

mungkin dengan cara memonitor kondisi bantalan dengan tujuan memberikan gambaran apakah kondisi bantalan tersebut masih dalam kondisi yang baik atau sudah mengalami cacat. Untuk mengetahui sebuah bantalan dalam kondisi baik atau sudah cacat dapat menggunakan pola getaran yang timbul dari mesin itu sendiri. Karena mesin yang tidak bekerja dengan baik dapat meningkatkan getaran mesin tersebut. *Predictive maintenace* merupakan cara terbaik dalam melakukan perawatan mesin, karena dapat memprediksi kapan waktu memperbaiki mesin. Analisis getaran merupakan metode yang efektif untuk mengetahui kondisi mesin dan menanggulangi downtime yang tidak terjadwal. Metode ini memungkinkan untuk memantau kondisi mesin selama beroperasi

Suhardjono (2005) melakukan penelitian tentang bagaimana cara untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan bola dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi yang terjadi pada arah radial. Percobaan untuk mengetahui dan mempelajari

spektrum getaran akibat kerusakan bantalan bola ini dilakukan pada mesin gerinda bangku dengan mengganti beberapa jenis bantalan yang sengaja dirusak. Analisis perbandingan sinyal getaran antara bantalan bola yang berkeadaan baik (normal) dan yang dibuat cacat pada komponennya secara bertingkat sedemikian rupa sehingga dapat ditentukan jenis dan tingkat kerusakan bantalan bola tersebut.

Aji (2007) melakukan penelitian tentang kerusakan bantalan bola, penelitian ini dilakukan pada mesin pompa sentrifugal. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sinyal getaran bantalan baik dengan bantalan rusak. Metode yang digunakan adalah analisa frekuensi. Hasil penelitian menunjukkan cacat bantalan lintasan luar, amplitudo getaran yang dominan pada daerah frekuensi sebesar (197,5 Hz). Cacat bantalan lintasan dalam, amplitudo getaran yang dominan pada daerah frekuensi sebesar (435 Hz). Sedangkan kerusakan pada elemen bola, amplitudo getaran yang dominan pada daerah frekuensi sebesar (197,5 Hz).

Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis spektrum memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mendeteksi dengan jelas amplitudo spektrum cacat bantalan, karena frekuensi tertutup oleh amplitudo dari frekuensi yang lain. Salah satu cara mengatasi kelemahan tersebut adalah menggunakan metode analisis envelope, Analisis envelope adalah metode yang difokuskan pada wilayah spektrum tinggi dengan menghilangkan spektrum rendah dengan cara di filter menggunakan *high pass filter*. Sehingga dengan menghilangkan spektrum rendah dapat mempermudah proses analisa apakah terjadi kerusakan atau tidak.

LANDASAN TEORI

Bantalan merupakan komponen yang sangat penting untuk mendukung sebuah mesin beroperasi. Fungsi bantalan adalah untuk menahan beban baik berupa beban aksial maupun beban radial dan juga sebagai peredam gesekan yang terjadi antar komponen mesin, dimana hal ini akan banyak mempengaruhi efisiensi kinerja mesin saat beroperasi.

Jenis Cacat pada Bantalan Bola

Cacat pada bantalan merupakan hal yang sering terjadi dalam dunia pemesinan.

Untuk itu perlu untuk dilakukan penanganan yang lebih terkait hal ini. Para peneliti sudah melakukan klasifikasi kerusakan bantalan bola dengan definisi menggunakan rumus-rumus getaran, sehingga mempermudah analisis untuk menemukan kerusakan pada elemen mesin secara detail. Dengan adanya metode yang handal dalam menganalisis getaran, maka akan mengurangi kontak manusia dengan mesin secara langsung, sehingga tingkat keselamatan dalam proses perawatan akan menjadi lebih terjaga dengan baik. Keuntungan lainnya yang dihasilkan dari metode baru ialah, semakin menghindari ketidakakuratan hasil pengamatan yang disebabkan oleh panca indra yang minim dalam membedakan getaran yang bervariasi serta memiliki kecepatan yang tinggi. Cacat yang terdapat pada komponen bantalan tersebut dapat didefinisikan menggunakan rumus getaran, yang akan dijelaskan sebagai berikut:

A. Cacat lokal yang terjadi pada bagian lintasan luar.

Informasi terkait cacat yang terjadi pada lintasan luar, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi implus yang disebut dengan *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), dimana dinyatakan sebagai berikut:

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \times f_r \times \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha \right) \dots (1)$$

Dimana:

- Nb = Jumlah bola (*Number of ball*).
- Fr = Frekuensi relatif antara lintasan luar dan lintasan dalam (Hz).
- Bd = Diameter bola (*Ball diameter*) mm.
- Pd = Diameter pitch (*Pitch diameter*) mm.
- α = Sudut kontak (*contact angle*) derajat.

B. Cacat lokal yang terjadi pada bagian lintasan dalam.

Informasi yang berhubungan dengan cacat yang terjadi pada lintasan dalam, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi *impuls* yang disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \times f_r \times \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha \right) \dots (2)$$

C. Cacat lokal yang terjadi pada bagian bola.

Jika terdapat kerusakan pada bola, maka kemunculan frekuensi *impuls* yang terjadi

dinamakan Ball Spin Frequency (BSF). Sehingga persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

D. Cacat lokal yang terjadi pada bagian sangkar (Cage).

Cacat yang muncul pada sangkar (Cage), munculnya dengan adanya frekuensi yang disebut dengan *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

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

METODE PENELITIAN

Deteksi cacat bantalan lintasan luar pada poros engkol dilakukan pada alat uji berupa mesin vespa, Penelitian ini menggunakan analisis envelope untuk mendeteksi kerusakan lintasan luar bantalan bola menggunakan tiga kondisi yang berbeda. Kondisi pertama bantalan normal, kondisi kedua bantalan cacat sedang dan kondisi ketiga bantalan cacat parah. Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak bagian lintasan luar menggunakan *Wire Cut* dari ketiga kondisi bantalan yang berbeda akan diuji menggunakan variasi kecepatan yaitu 1500 rpm dan 2000 rpm. Untuk dapat dilihat respon getarannya menggunakan *accelerometer* (sensor getaran). Sensor *accelerometer* ditempelkan menggunakan magnet dengan arah sumbu vertikal di lokasi terdekat pada bantalan poros engkol. Respon getaran dari sensor *accelerometer* akan direkam oleh data akuisisi yang terpasang pada *chassis* modul data akuisisi yang kemudian akan disimpan dan ditampilkan di laptop pada *software* matlab. Sinyal getaran dari bantalan normal dan bantalan cacat elemen bola dianalisis menggunakan *software* matlab.

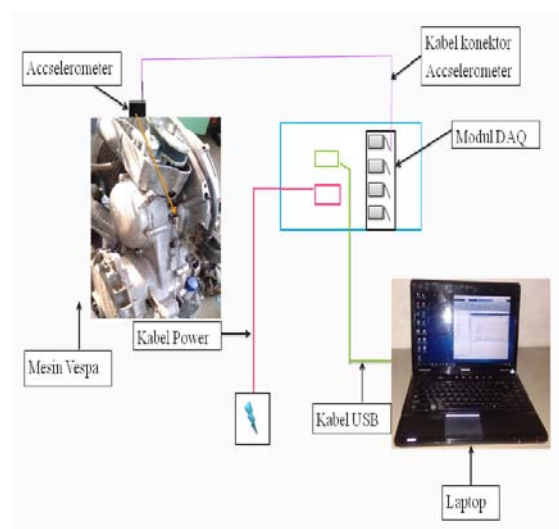
Tahapan Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan pada saat menganalisis data yaitu sebagai berikut :

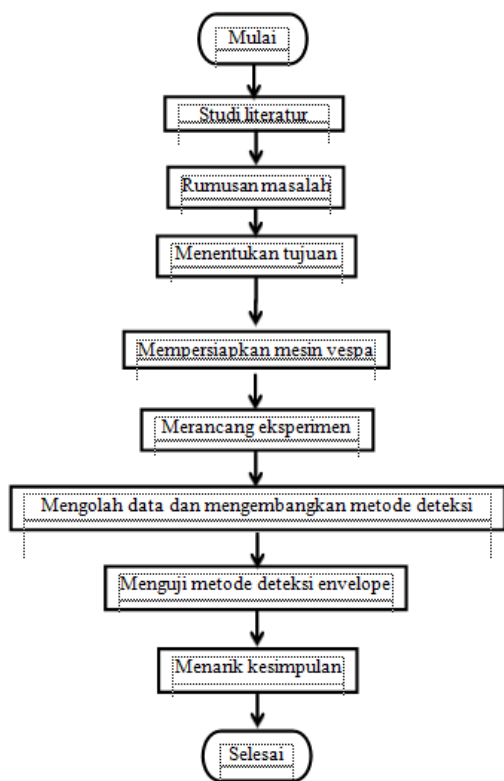
1. Mempersiapkan data sinyal getaran bantalan bola dengan kondisi yang berbeda dan sudah terekam pada data akuisisi sebanyak 30 file dengan ekstensi matlab. Menggunakan script matlab yang sudah diteliti dengan benar.

2. Pendekatan pertama dilakukan plot domain spektrum dan harus dilakukan FFT terlebih dahulu untuk merubah dari time domain ke domain spektrum. Data yang diperoleh dengan pendekatan spektrum masih berpotensi tertutup oleh noise terutama pada bantalan dengan kondisi cacat dini. Pendekatan kedua menggunakan plot domain envelope juga harus dilakukan FFT terlebih dahulu.
3. Setiap kondisi bantalan (normal, cacat sedang, cacat parah) ditampilkan dengan plot grafik pada domain waktu.
4. Setiap kondisi bantalan (normal, cacat sedang, cacat parah) ditampilkan dengan plot grafik pada domain spektrum.
5. Setiap kondisi bantalan (normal, cacat sedang, cacat parah) ditampilkan dengan plot grafik pada domain envelope.
6. Identifikasi cacat bantalan bola pada spektrum untuk masing-masing kondisi bantalan bola. Bantalan bola yang cacat akan menunjukkan amplitudo yang tinggi.
7. Melakukan analisis hasil yang diperoleh dari masing-masing kondisi cacat bantalan .

Skema Alat Uji Penelitian



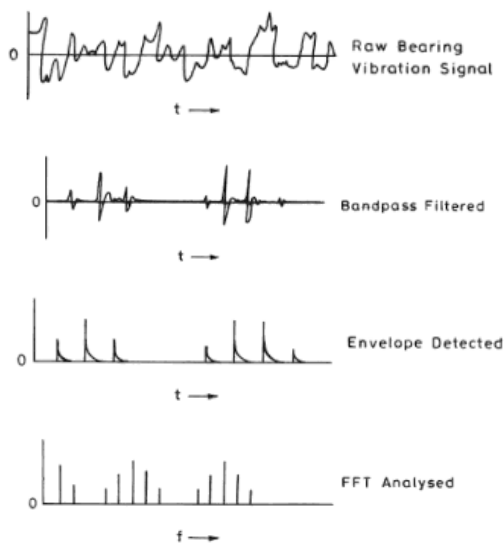
Gambar 1 Alat Uji Bantalan Cacat pada mesin vespa



Gambar 2 Diagram Alir

METODE YANG DIGUNAKAN

Analisa envelope merupakan teknik yang terkenal untuk mengekstrak dampak periodik dari sinyal getaran mesin. Metode ini mampu mengekstrak dampak dengan frekuensi rendah dan yang tersembunyi dari sinyal getaran lainnya. Oleh karena itu metode ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan metode lain. Berikut adalah skema dari envelope:



Gambar 3 Skema Envelope

Metode ini juga khusus digunakan pada analisis cacat pada bantalan dan *gearboxes*. Metode ini fokus pada wilayah spektrum yang memiliki frekuensi tinggi, dengan filter yang digunakan yaitu *high pass filter* atau *band pass filter* (Scheffer dan Girdhar, 2004). Band pass filter hanya menyaring frekuensi tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah, dan juga menghilangkan amplitudo rendah terlebih dahulu. Hal ini bertujuan agar dalam pembacaan sinyal data frekuensi dapat terlihat lebih jelas. Karena pada umumnya data frekuensi yang tidak dilakukan proses penyaringan dan filtrasi, menunjukkan hasil spektrum yang rumit dan menumpuk untuk diamati dimana hal ini akan mempersulit proses analisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

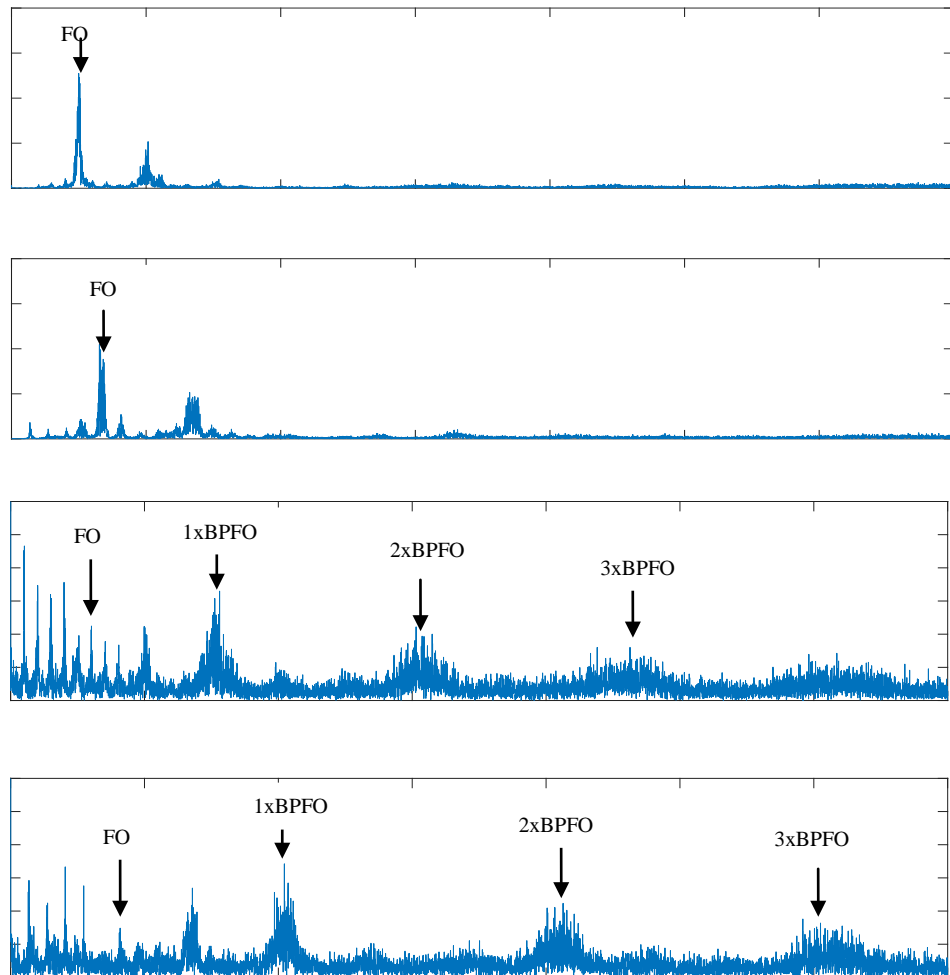
Data penelitian diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola bermerk dan motor, yang merupakan sparepart resmi pada sepeda motor vespa. dengan kondisi bantalan normal dan bantalan cacat pada outer race. Dimensi bantalan bola yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Dimensi Bantalan Bola

Ø Luar	62 mm
Ø Dalam	25 mm
Ø Bola	10 mm
Ø Pitch	48 mm
α (Sudut Kontak)	0
N (Jumlah Bola)	8

CACAT BANTALAN LINTASAN LUAR

Deteksi cacat bantalan lintasan luar dilakukan dengan melihat keberadaan *peak* amplitudo BPFO pada spektrum dan spektrum *envelope*. Spektrum yang berasal dari sinyal getaran bantalan yang cacat pada lintasan luar akan menghasilkan *peak* amplitudo pada frekuensi yang berhimpit atau mendekati BPFO. Pada umumnya *peak* amplitudo ini juga terjadi pada frekuensi-frekuensi harmoniknya. Namun demikian *peak* amplitudo BPFO pada spektrum kadangkala tertutup atau tersamarkan oleh amplitudo tinggi yang berasal dari frekuensi-frekuensi komponen lainnya seperti frekuensi poros, sudu pompa atau kutub motor listrik. Hal ini sering menyebabkan proses identifikasi *peak* amplitudo BPFO menjadi sulit dan berpotensi tidak akurat.



Gambar 4 Grafik spektrum, kondisi cacat 0,25, (a) kecepatan 1500rpm; (b) kecepatan 2000rpm. Grafik Envelope, kondisi cacat 0,25, (c) kecepatan 1500rpm; (d) kecepatan 2000rpm

Spektrum dan Envelope bantalan cacat 0,25 kecepatan 1500rpm dan 2000rpm

Gambar 4.4 adalah perbandingan grafik antara domain frekuensi dan envelope kondisi bantalan cacat 0,25, pada masing masing kecepatan porosnya, dimana gambar 4.4 (a) merupakan Frekuensi pada kecepatan putar poros 1500 Rpm, gambar 4.4 (b) merupakan Frekuensi pada kecepatan putar poros 2000. Pada perhitungan BPFO kecepatan poros 1500 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 79 Hz, dan kecepatan poros 2000 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 103,45 Hz. Pada grafik 4.4 (a) dan (b) hanya ditemukan frekuensi putaran porosnya saja, tanpa diikuti oleh frekuensi BPFO dan harmoniknya. Frekuensi BPFO tidak dapat terlihat, hal ini dikarenakan frekuensi BPFO tertutup oleh frekuensi rendah yang lainnya.

Sedangkan untuk grafik envelope dapat dilihat pada gambar 4.5 (c) grafik envelope pada

kecepatan putar poros 1500, dan gambar 4.5 (d) grafik envelope pada kecepatan putar poros 2000. Pada gambar 4.5 (c) dan (d) dapat ditemukan frekuensi BPFO masing masing sebanyak 3 harmonik, hal ini disebabkan oleh kemampuan metode envelope dalam menyaring frekuensi rendah yang tidak dibutuhkan dalam proses deteksi frekuensi BPFO. Pada gambar 4.5 (c) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 78,05, 2xBPFO sebesar 157,6, 3xBPFO sebesar 231,3. Sedangkan pada gambar 4.5 (d) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 102,3, 2xBPFO sebesar 206,3, 3xBPFO sebesar 302,5.

Dari gambar 4.4 dan 4.5, masing-masing grafik menunjukkan kemampuan mendeteksi kerusakan bantalan dengan tingkat keakuratan yang berbeda. Spektrum tidak mampu mendeteksi frekuensi BPFO, hal ini disebabkan hasil grafik yang masih bercampur dengan frekuensi selain BPFO. Sedangkan envelope mampu mendeteksi hingga 3

harmonik frekuensi BPFO, serta dapat menyaring frekuensi rendah selain BPFO

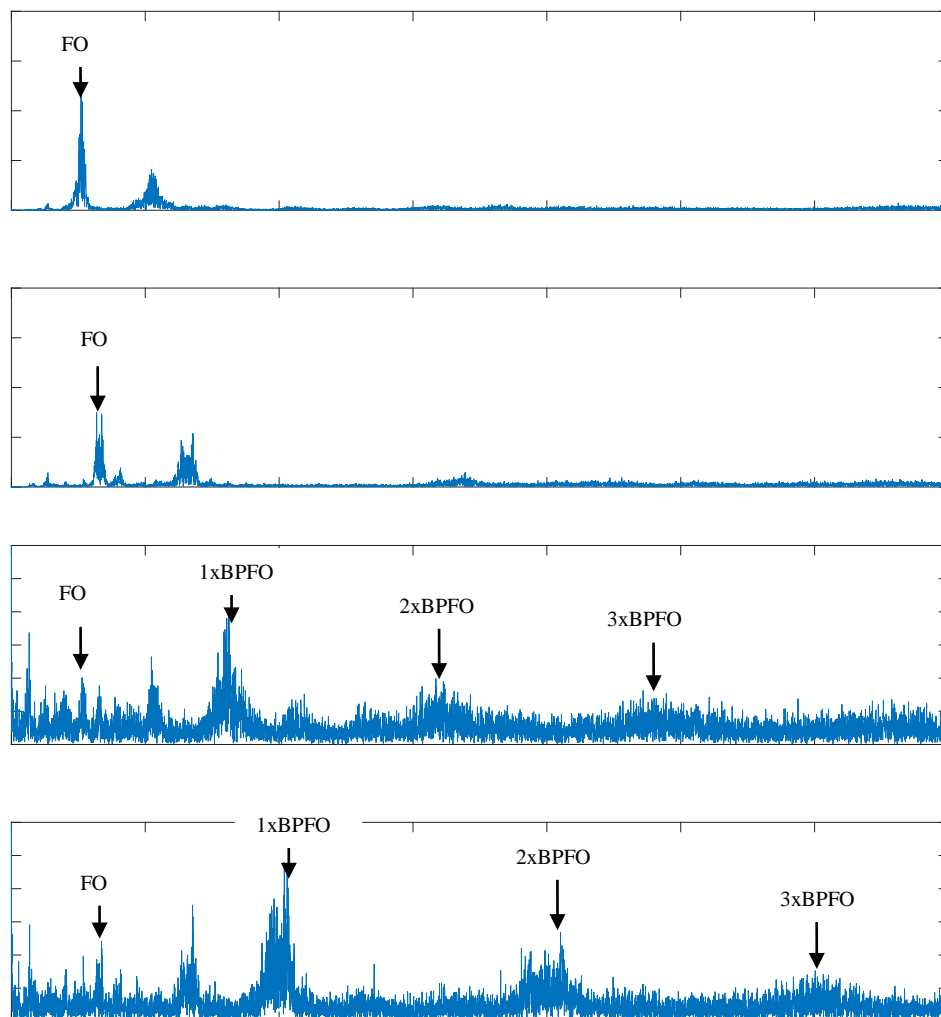
Spektrum dan Envelope bantalan cacat 0,25 kecepatan 1500rpm dan 2000rpm

Gambar 4.6 adalah perbandingan grafik antara spektrum dan envelope kondisi bantalan cacat 0,5, pada masing masing kecepatan porosnya, dimana gambar 4.6 (a) merupakan spektrum pada kecepatan putar poros 1500 Rpm, gambar 4.6 (b) merupakan spektrum pada kecepatan putar poros 2000. Pada perhitungan BPFO kecepatan poros 1500 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 82,42 Hz, dan kecepatan poros 2000 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 101,27 Hz. Pada grafik 4.6 (a) dan (b) hanya ditemukan frekuensi putaran porosnya saja. Frekuensi BPFO beserta harmoniknya masih belum dapat terlihat jelas pada grafik. Frekuensi BPFO tidak dapat

terlihat dikarenakan frekuensi BPFO tertutup oleh frekuensi rendah yang lainnya.

Sedangkan untuk grafik envelope dapat dilihat pada gambar 4.7 (c) grafik envelope pada kecepatan putar poros 1500, dan gambar 4.7 (d) grafik envelope pada kecepatan putar poros 2000. Pada gambar 4.7 (c) dan (d) dapat ditemukan frekuensi BPFO masing masing sebanyak 3 harmonik, hal ini disebabkan oleh kemampuan metode envelope dalam menyaring frekuensi rendah yang tidak dibutuhkan dalam proses deteksi frekuensi BPFO. Pada gambar 4.7 (c) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 82,42, 2xBPFO sebesar 164,85, 3xBPFO sebesar 247,28. Sedangkan pada gambar 4.7 (d) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 100,82, 2xBPFO sebesar 201,65, 3xBPFO sebesar 302,47.

Dari gambar 4.6 dan 4.7, masing-masing grafik menunjukkan kemampuan mendeteksi kerusakan bantalan dengan tingkat keakuratan yang berbeda. Spektrum tidak mampu



Gambar 4 Grafik spektrum, kondisi cacat 0,25, (a) kecepatan 1500rpm; (b) kecepatan 2000rpm. Grafik Envelope, kondisi cacat 0,25, (c) kecepatan 1500rpm; (d) kecepatan 2000rpm

mendeteksi frekuensi BPFO, hal ini disebabkan hasil grafik yang masih bercampur dengan frekuensi selain BPFO. Sedangkan envelope mampu mendeteksi hingga 3 harmonik frekuensi BPFO, serta dapat menyaring frekuensi rendah selain BPFO.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

Setelah melakukan serangkaian proses analisis kerusakan pada lintasan luar bantalan bola, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Domain waktu dapat menunjukkan kerusakan pada bantalan, tetapi tidak dapat menunjukkan kerusakan secara spesifik pada bantalan yang mengalami kerusakan parah .
2. Spektrum tidak dapat menunjukan frekuensi cacat dini pada seluruh kondisi bantalan. Karena frekuensi cacat bantalan masih tertutupi oleh frekuensi lain yang memiliki nilai amplitudo tinggi.
3. Spektrum envelope dapat menunjukan kerusakan pada bantalan hingga 3x harmoniknya. Pada spektrum envelope, frekuensi yang memiliki nilai amplitudo tinggi telah dihilangkan menggunakan high-pass filter

DAFTAR PUSTAKA

- Aji,k. 2007. “Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisis Sinyal Getaran”. Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Girdhar, P. 2004. “Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance”. India: ELSEVIER.Pondicherry Hal 15-57.
- Kamiel, B. Mulyani. Sunardi. 2017 “Deteksi Cacat Bantalan Bola Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran” Jurnal ilmiah semesta teknika. Vol 20,No.2, 204-215, November 2017.
- Putra, I. 2016 “ Analisis Getaran Poros pada Motor dan Pompa yang Mengalami Misalignment” Jurnal ilmiah jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Rusli, M., Agus, A., Lovely, S., &Mulyani, B. 2015. “Kaji Banding Prediksi Kerusakan Pada Bantalan Gelinding Melalui Sinyal Getaran Dan Sinyal Suara”. Jurnal Penelitian Proceeding Seminar NasioalTahunanTeknik Mesin XIV (SNTTM XIV) Jurusan Teknik mesin, fakultas teknik, universitas andalas.
- Setiawan, F. 2017 “ Metode Deteksi Kerusakan Elemen Bola pada Bantalan Bola Tipe Double Row Berbasis SinyalGetaran” Skripsi Skripsi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 2017.
- Suhardjono. 2004. “Analisis Sinyal Getaran Untuk Menentukan jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing)”. Jurnal Penelitian teknik mesin Vol-6 No.2, halm. 39-48.
- Sujana, I. & Abidin. 2014 “Deteksi Kerusakan Bearing Pada Condensate Pump Dengan Analisis Sinyal Vibrasi” Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang 2014.
- Sukendi, I.& Suherman. 2015. “Analisa Karakteristik Getaran dan Machine Learning Untuk Deteksi Dini Kerusakan Bearing”. Jurnal Penelitian Widya Teknika Vol-23 No.23 Hal 41-49.
- Susilo, D. 2009. “Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran”. Jurnal Penelitian Mekanika Vol-8 No.1,halm. 130-134.
- Susilawati, I. 2009. Kuliah 3 “Teknik Telekomunikasi Dasar”. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Mercubuana Yogyakarta.
- Wahyudi, T., Soeharsono & Noor, E. 2016. “Mendeteksi Kerusakan Bantalan

Dengan Menggunakan Sinyal
Vibrasi”. Jurnal Penelitian Sinergi
Vol-20 No.2: 123-128. Teknik mesin.

Wilda,M. 2017 “ Deteksi Kerusakan Cacat
Lintasan Luar Pada Bantalan Tipe
Double Row Menggunakan Sinyal
Vibrasi” Skripsi Universitas
Muhammadiyah Yogyakarta 2017.

PENULIS:

Gunawan Wibisono

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
Bantul.

Email: Gnwibisono20@gmail.com