

# METODE DETEKSI CACAT BANTALAN BOLA PADA POMPA SENTRIFUGAL MENGUNAKAN SPEKTRUM GETARAN

Mulyani<sup>1</sup>, Berli Paripurna Kamiel<sup>2</sup>, Sunardi<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55183  
[mulyani0096@gmail.com](mailto:mulyani0096@gmail.com)

## Intisari

Salah satu kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal adalah kerusakan pada elemen bantalan. Bantalan pada pompa berperan sangat penting dalam kelancaran putaran poros. Dengan demikian kondisi bantalan harus senantiasa dipantau untuk menjaga kinerja dari sebuah pompa. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode untuk mendeteksi cacat bantalan. Salah satu metode yang banyak digunakan pada saat ini adalah dengan analisis getaran (*vibration analysis*). Analisis getaran dapat mengidentifikasi cacat pada sebuah komponen tanpa harus membongkar serta penggunaannya yang mudah dan cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode deteksi cacat pada bantalan bola menggunakan analisis spektrum dengan menerapkan metode analisis envelope (*analysis envelope*).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan kondisi bantalan normal, bantalan cacat dibagian lintasan luar, dan bantalan cacat dibagian lintasan dalam. Tiga kondisi bantalan tersebut diuji secara bergantian dengan jenis bantalan bola yang digunakan adalah *Self Aligning Double Row*. Sinyal getaran bantalan bola pada pompa sentrifugal diukur dengan menggunakan sensor akselerometer yang diakuisisi langsung dengan DAQ dan kemudian diproses kedalam Matlab. Analisis dilakukan pada hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa munculnya amplitudo yang berhimpit dengan frekuensi *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) dan *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) menjadikan indikasi kerusakan pada bantalan bola pompa sentrifugal. Plot spektrum envelope mendapatkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil plot spektrum frekuensi. Hal ini dipengaruhi oleh munculnya amplitudo pada frekuensi rendah yang dihasilkan dari komponen lain akan diblok dan dihilangkan menggunakan *high-pass filter*. Sehingga dapat memudahkan untuk mendeteksi atau mengetahui cacat yang terjadi pada bantalan bola.

Kata kunci : pompa sentrifugal, cacat bantalan, analisis spektrum, analisis envelope

## 1. Pendahuluan

Pompa sentrifugal merupakan peralatan mekanik yang digunakan untuk memindahkan suatu fluida dari tempat satu ke tempat yang diinginkan. Pompa sentrifugal telah banyak digunakan dalam dunia industri. Hampir semua industri saat ini menggunakan jenis pompa sentrifugal sebagai sarana penunjang proses produksi yang ada. Menurut sebuah survei yang dilakukan oleh *Persistence Market Research*, New York, pada akhir tahun 2016 pompa sentrifugal melibatkan 90.2% pasar pompa baru dengan total pengeluaran US\$32.18 dan nilai ini diprediksi akan terus meningkat. Pompa sentrifugal ini berperan sangat penting dalam bidang industri antara lain bidang energi, perminyakan, perairan, dan industri umum. Kerusakan pompa sentrifugal dalam beberapa industri tersebut dapat menghambat aktifitas produksi yang ada. Bahkan dapat berakibat fatal seperti berhentinya proses produksi dan menjaral pada kerugian tersendiri di sebuah industri. Menurut analisis yang dilakukan *ABB Service*, Argentina pada industri NGL, kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal dapat mengakibatkan total kerugian US\$590.450.

Kerusakan yang terjadi pada pompa dapat berupa kavitasi, misalignment, unbalance, kerusakan pada impeller dan kerusakan pada bantalan. Bantalan (*bearing*) pada pompa merupakan salah satu komponen yang berperan sangat penting dalam kelancaran putaran poros. Bantalan juga berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros baik berupa beban radial maupun aksial. Jika bantalan

mengalami cacat maka akan berpengaruh terhadap kinerja pompa, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen yang lainnya. Cacat pada bantalan biasanya terjadi dibagian lintasan dalam, lintasan luar, bola dan sangkar. Dengan demikian kondisi bantalan ini harus senantiasa dipantau untuk menjaga kondisi pompa agar tetap baik dan optimal.

Ada beberapa metode yang sudah digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan antara lain adalah *oil analysis*. Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan dengan menganalisis oli pada sebuah komponen yang digunakan. Metode selanjutnya adalah analisis getaran (*vibration analysis*). Menurut Girdhar (2004) salah satu cara yang efektif untuk mendeteksi awal gejala kerusakan mekanik, elektrik, pada peralatan adalah dengan analisis getaran, sehingga analisis getaran saat ini menjadi pilihan strategi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan. Keuntungannya adalah dapat mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum menjadi terlalu serius dan menyebabkan *downtime* tidak terjadwal. Hal ini dapat tercapai dengan melakukan pemantauan dari getaran mesin yang dimonitor baik secara terus menerus atau pada interval yang telah dijadwalkan. Analisis getaran ini memungkinkan untuk mengetahui kondisi bantalan tanpa harus menghentikan pompa yang sedang beroperasi. Sinyal getaran diambil dengan menggunakan *accelerometer* yang terpasang pada bantalan pompa. Dengan menggunakan perhitungan (*fast fourier transform*) FFT, gelombang berbasis waktu (*time domain*) dirubah menjadi gelombang

sebagai fungsi dari frekuensi (spektrum).

Suhardjono (2005), melakukan penelitian tentang analisis sinyal getaran untuk mengetahui jenis dan tingkat kerusakan bantalan bola (*ball bearing*). Metode yang digunakan adalah 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. Hasil pengukuran pada bantalan cacat akan menghasilkan sinyal getaran yang berbentuk stokastik (random). Secara teoritik frekuensi cacat bantalan pada *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) sebesar 240,3 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 242 Hz, Nilai ini merupakan frekuensi harmonik dari 1xBPFI. Sedangkan hasil pengukuran secara teoritik frekuensi cacat bantalan pada *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) sebesar 157,33 Hz, dan hasil pengukuran didapat 159 Hz, frekuensi ini merupakan harmonik dari 1xBPFO. Masing-masing frekuensi ini mengindikasikan bahwa adanya cacat yang terjadi pada bantalan bola dibagian lintasan luar dan lintasan dalam.

Dari penelitian yang sudah dilakukan analisis spektrum memiliki kekurangan yaitu tidak dapat mendeteksi dengan jelas amplitudo frekuensi cacat bantalan, karena frekuensi cacat bantalan bisa jadi tertutup (tertutup) oleh amplitudo dari frekuensi yang lain. Salah satu cara menghilangkan kelemahan itu adalah menghilangkan amplitudo yang besar di frekuensi rendah dengan menggunakan *filter* yaitu *high-pass filter*. Dimana, *high-pass filter* merupakan teknik pengolahan sinyal dari analisis envelope yang telah banyak digunakan pada analisis kerusakan bantalan dan gearboxes (Girdhar, 2004). Analisis envelope (*envelope analysis*) adalah metode yang difokuskan pada wilayah spektrum untuk menghilangkan frekuensi yang rendah. Analisis ini merupakan teknik yang dapat menghasilkan dampak periodik kebisingan acak termodulasi dari bantalan cacat. Proses ini akan menghilangkan amplitudo besar di frekuensi rendah yang tertutup oleh frekuensi-frekuensi dari komponen yang bukan dimonitor (Patidar dan Soni, 2013).

Berdasarkan uraian diatas deteksi cacat bantalan bola bisa dilakukan dengan menggunakan metode analisis spektrum. Namun, analisis spektrum mempunyai kekurangan-kekurangan yang berpotensi akan mengurangi akurasi analisis. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan menerapkan metode lain yang dapat menutupi kekurangan dari analisis spektrum tersebut yaitu analisis envelope. Pada penelitian ini diusulkan untuk melakukan rekonstruksi (demonstrasi) ulang uji kerusakan bantalan bola pada pompa sentrifugal dengan menggunakan demodulasi signal envelope analisis berbasis spektrum getaran. Objek penelitian bantalan bola pada pompa sentrifugal menggunakan jenis *Self Aligning Double Row* pada kondisi normal dan kondisi cacat. Kondisi cacat pada bantalan bola disimulasikan dengan merusak bagian di lintasan dalam dan lintasan luar serta memvariasikan kecepatan operasi pompa. Harapannya dengan simulasi tersebut dapat mendeteksi dan mengetahui tingkat getaran yang dihasilkan dari cacat bantalan bola pada pompa sentrifugal.

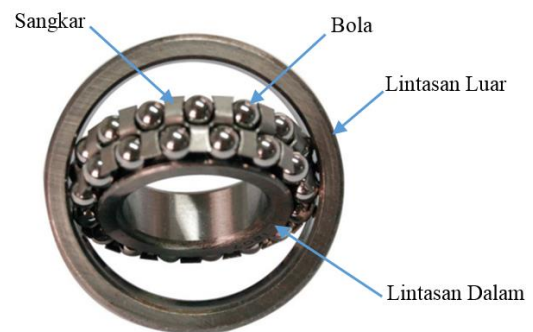
## 2. Dasar Teori

### 2.1. Bantalan (*bearing*)

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.

### 2.2. Bantalan Bola Jenis *Self Aligning Double Row*

Bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* mempunyai dua baris yang masing-masing baris mempunyai alur tersendiri pada cincin bagian dalamnya. Pada umumnya terdapat alur bola pada cincin luarnya. Cincin bagian dalamnya mampu bergerak sendiri untuk menyesuaikan posisinya. Kelebihan dari bantalan jenis ini yaitu dapat mengatasi masalah poros yang kurang sebaris. Bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* terdiri dari beberapa komponen elemen didalamnya yaitu: bola (*ball*), lintasan luar (*outer race*), lintasan dalam (*inner race*), sangkar (*cage*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.1 Bantalan *Self Aligning Double Row*

### 2.3. Cacat Pada Bantalan

Cacat pada bantalan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah keretakan, keausan, pemasangan, dan penggunaan minyak pelumas yang tidak sesuai. Jika suatu bantalan mengalami kerusakan/cacat maka akan timbul getaran yang disebabkan oleh adanya gaya kontak pada cacat tersebut. Cacat pada bantalan bola dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu cacat terdistribusi dan cacat lokal. Getaran akibat cacat lokal pada bantalan tersebut akan menghasilkan frekuensi dari masing-masing elemennya, dan dapat dihitung menggunakan rumus getaran yang akan dijelaskan sebagai berikut:

- kerusakan yang terjadi pada lintasan luar, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi impuls yang disebut *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), dimana dinyatakan pada persamaan berikut:

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \times f_r \times \left( 1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

- kerusakan yang terjadi pada lintasan dalam, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi impuls yang disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$BPFf = \frac{Nb}{2} \times f_r \times \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

c. kerusakan yang terjadi pada bola, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi impuls yang dinamakan Ball Spin Frequency (BSF). Sehingga persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$BSF = \frac{Nb}{2Bd} \times f_r \times \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right)^2\right) \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Kerusakan yang muncul pada pemisah (Cage), dimunculkan dengan adanya frekuensi yang disebut Fundamental Train Frequency (FTF). Besarnya FTF dapat ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$FTF = \frac{f_r}{2} \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots\dots (2.4)$$

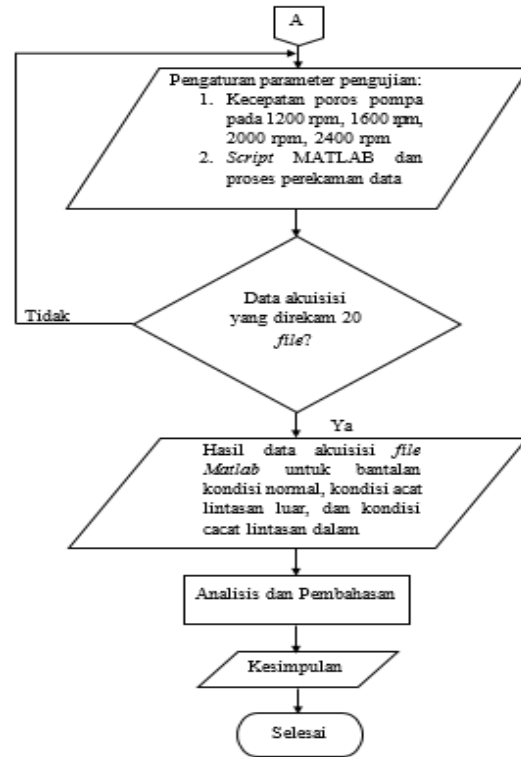
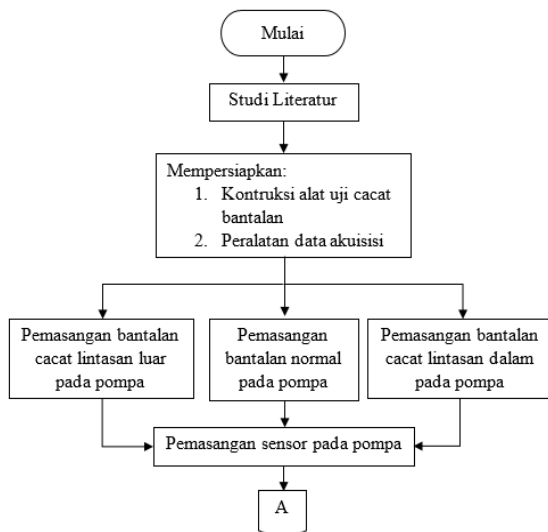
Dimana:

- Nb = Jumlah bola (*Number of balls*)
- $f_r$  = Frekuensi putaran kerja poros (Hz)
- Bd = Diameter bola (*Ball diameter*) mm
- Pd = Diameter pitch (*Pitch diameter*) mm
- $\alpha$  = Sudut kontak (*Contact angle*) derajat

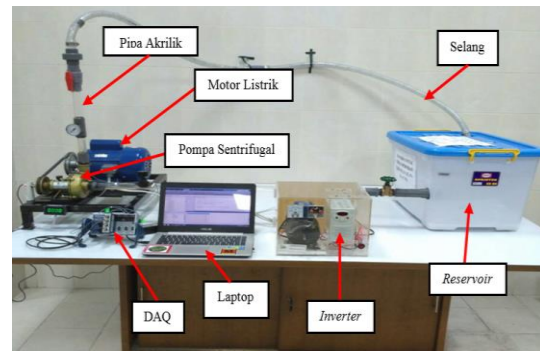
### 3. Metode Penelitian

Penelitian cacat bantalan pada pompa sentrifugal dilakukan pada sebuah alat uji dengan tiga kondisi bantalan. Kondisi pertama adalah bantalan bola normal (tanpa cacat), kondisi dua adalah bantalan bola cacat (rusak) pada bagian lintasan luar, dan kondisi tiga adalah bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam. Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak pada bagian lintasan luar dan lintasan dalam menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) dengan kedalaman 2 mm dan lebar 0,8 mm untuk bagian lintasan dalam, dan 2,5 mm dengan lebar 0,8 mm untuk lintasan luar. Bantalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Self Aligning Double Row IJK 1203*.

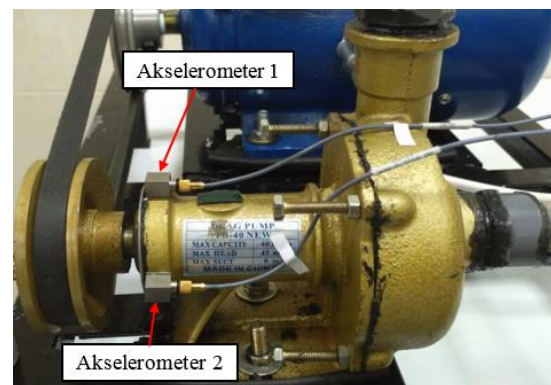
#### 3.1. Diagram Alir Penelitian



#### 3.2. Skema Alat Uji Penelitian



Gambar 2.1 Instalasi Ekperimen Bantalan Cacat Pada Pompa Sentrifugal



Gambar 2.2 Lokasi Penempatan Akselerometer

Pemasangan akselerometer dilakukan pada posisi bantalan pompa sentrifugal yang diletakan pada arah horizontal dan vertikal. Akselerometer 1 terpasang pada arah vertikal yang tersambung dengan chanel 1 pada modul DAQ melalui kabel

konektor akselerometer, sedangkan akselerometer 2 terpasang pada arah horizontal yang tersambung dengan chanel 2 pada modul DAQ melalui kabel konektor akselerometer. Pada penelitian ini data sinyal getaran yang digunakan untuk proses analisis cacat pada bantalan bola hanya dilakukan pada posisi peletakan akselerometer arah vertikal yang tersambung dengan chanel 1.

### 3.3. Prosedur Penelitian

Ada beberapa tahapan dan persiapan yang perlu dilakukan sebelum pelaksanaan penelitian, yaitu pengecekan pada peralatan dan perlengkapan alat uji. Hal ini sangat membantu dalam kelancaran pelaksanaan penelitian serta menghindarkan dari hal-hal yang tidak diinginkan seperti terjadinya kecelakaan pada saat pengambilan data atau kurangnya peralatan uji yang akan digunakan. Berikut ini persiapan dan tahap pengujian yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1. Persiapan Alat Uji

1. Melakukan persiapan perlengkapan alat seperti *reservoir*, motor listrik, *test rig* dan pompa sentrifugal.
2. Melakukan persiapan perlengkapan seperti kunci *pas ring*, *inverter*, dan *tachometer*.
3. Melakukan persiapan 3 sampel bantalan bola yang akan diuji secara bergantian pada pompa sentrifugal.
4. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti peralatan data akuisisi, dan *software MATLAB R2015a* dan *NI cDAQ-9174*.

#### 3.3.2. Tahap Pengujian

1. Pemasangan bantalan bola yang akan diuji pada pompa sentrifugal.
2. Pemasangan motor listrik dan pompa ke *test rig* bersamaan dengan pemasangan *belt* dan *pulley* pada motor dan pompa sentrifugal.
3. Pemasangan pipa akrilik dan selang yang disambungkan pada pompa dengan *reservoir*.
4. Pemasangan *inverter* dan *tachometer*.
5. Pemasangan perlengkapan data akuisisi
6. Pemeriksaan dan pengecekan pada konstruksi alat uji agar tidak terjadi kesalahan sebelum proses pengambilan data.
7. Memberikan aliran listrik pada motor listrik melalui *inverter* dan peralatan data akuisisi.

### 3.4. Proses Pengambilan Data

Setelah peralatan uji disiapkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan data sinyal getaran, pengujian yang pertama menggunakan bantalan dengan kondisi baik, pengujian kedua menggunakan bantalan dengan kondisi cacat di bagian lintasan luar, dan pengujian ketiga menggunakan bantalan dengan kondisi cacat di bagian lintasan dalam. Dari ketiga kondisi bantalan yang akan diuji pengambilan data getaran dilakukan dengan kecepatan putar yaitu 1200 rpm, 1600 rpm, 2000 rpm, dan 2400 rpm yang diatur menggunakan *inverter*. Ketiga tahapan proses pengambilan data getaran bantalan bola menggunakan parameter yang sama, yaitu:

1. Menghidupkan motor listrik melalui *inverter*.
2. Mengatur putaran pompa sentrifugal sesuai dengan rpm yang telah ditentukan
3. Mengukur putaran pompa sentrifugal dengan menggunakan *tachometer*.
4. Merekam data sinyal getaran pada pompa sentrifugal menggunakan *software MATLAB R2015a* dengan proses perekaman sebagai berikut:
  - a. Jumlah file 20 untuk per kecepatan.
  - b. Waktu perekaman 10 detik untuk setiap file.
  - c. Jeda waktu perekaman 5 detik untuk setiap file.
  - d. *Sampling rate* 52066 Hz.
5. Menyimpan file hasil rekaman sinyal getaran dari DAQ dalam bentuk *file* dengan ekstensi *.mat*.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola pada pompa sentrifugal dengan tiga kondisi. Adapun dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Dimensi Bantalan Bola

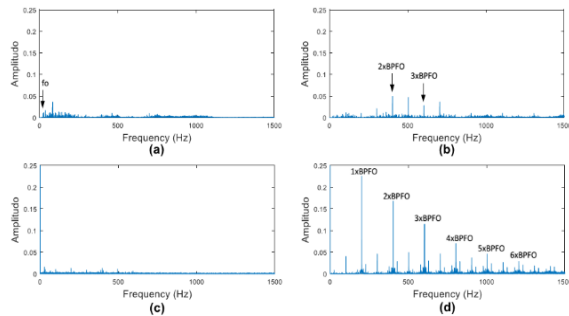
Diameter Luar	40 mm
Diameter Dalam	17 mm
Diameter Bola	5,5 mm
Diameter Pitch	30,5 mm
Jumlah Bola	24
Sudut Kontak ( $\alpha$ )	0°

### 4.2. Perbandingan Spektrum Antara Kondisi Normal Dengan Kondisi Cacat dibagian Lintasan Luar (Outer Race)

Cacat pada bantalan dibagian lintasan luar dapat dilakukan dengan membandingkan hasil secara teoritik dengan hasil pengukuran. Perbandingan dilakukan pada hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope dengan mencari nilai frekuensi *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) dari hasil perhitungan. Frekuensi pada spektrum yang berhimpit dengan frekuensi yang dihitung menggunakan rumus BPFO menunjukkan terjadinya cacat (kerusakan) pada lintasan luar.

#### 4.2.1. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 1200 rpm

Gambar 4.10 merupakan hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dengan kondisi bantalan cacat dibagian lintasan luar. Munculnya amplitudo yang berhimpit dengan frekuensi cacat bantalan pada hasil plot kondisi cacat baik pada spektrum frekuensi maupun spektrum envelope mengindikasikan bahwa terjadi cacat pada bantalan bola pompa sentrifugal.

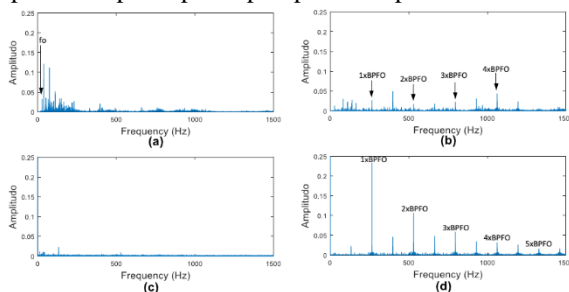


Gambar 4.10 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 3).

Terdapat amplitudo yang muncul pada frekuensi cacat bantalan dibagian lintasan luar. Namun amplitudo pada frekuensi cacat bantalan ini terlihat jelas pada harmonik ke 2 dan 3. Sedangkan pada spektrum envelope puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan semakin terlihat jelas diikuti dengan 6 kali harmoniknya. Secara teoritik/perhitungan frekuensi cacat bantalan pada 1xBPFO diperoleh sebesar 200,98 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 201 Hz dengan nilai amplitudo 0,226. Perhitungan pada 2xBPFO diperoleh sebesar 401,97 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 402 Hz dengan nilai amplitudo 0,168. Perhitungan pada 3xBPFO diperoleh sebesar 602,95 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 603 Hz dengan nilai amplitudo 0,114. Perhitungan pada 4xBPFO diperoleh sebesar 803,93 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 804 Hz dengan nilai amplitudo 0,070. Perhitungan pada 5xBPFO diperoleh sebesar 1004,92 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1005 Hz dengan nilai amplitudo 0,046. Perhitungan pada 6xBPFO diperoleh sebesar 1205,90 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1206 Hz dengan nilai amplitudo 0,028.

#### 4.2.2. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 1600 rpm

Hasil plot dalam spektrum frekuensi maupun spektrum envelope pada kondisi normal digunakan sebagai perbandingan antara bantalan kondisi normal (tanpa cacat) dengan bantalan kondisi cacat pada kecepatan poros pompa 1600 rpm.



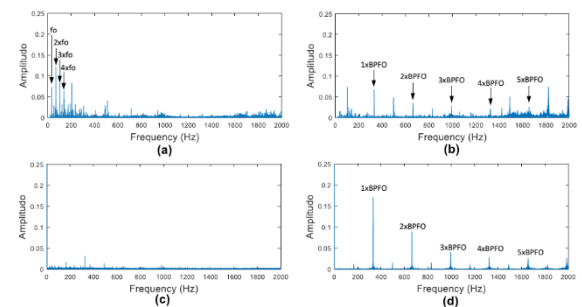
Gambar 4.11 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 10).

Jika dilihat dari spektrum frekuensi kondisi cacat terdapat amplitudo pada frekuensi cacat

bantalan yang muncul, namun puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalannya ini tidak terlihat jelas dan tercampur dengan frekuensi dari komponen lain. Sedangkan pada spektrum envelope puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan semakin terlihat jelas diikuti dengan 5 kali harmoniknya. Secara teoritik frekuensi cacat aktif bantalan pada 1xBPFO diperoleh sebesar 264,75 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 265,7 Hz dengan nilai amplitudo 0,234. Perhitungan pada 2xBPFO diperoleh sebesar 529,51 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 531,4 Hz dengan nilai amplitudo 0,106. Perhitungan pada 3xBPFO diperoleh sebesar 794,26 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 797 Hz dengan nilai amplitudo 0,058. Perhitungan pada 4xBPFO diperoleh sebesar 1059,02 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1063 Hz dengan nilai amplitudo 0,031. Perhitungan pada 5xBPFO diperoleh sebesar 1323,77 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1328 Hz dengan nilai amplitudo 0,015.

#### 4.2.3. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 2000 rpm

Berikut ini merupakan hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dengan kondisi bantalan cacat dibagian lintasan luar yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



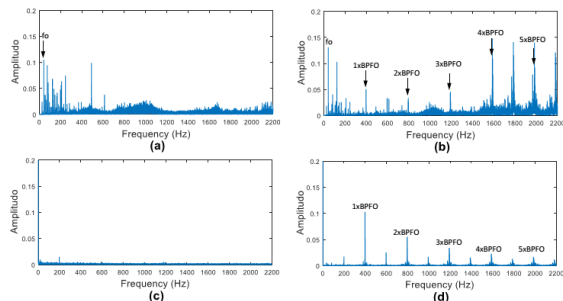
Gambar 4.12 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 10).

Dapat dibandingkan bahwa pada kondisi normal spektrum frekuensi tidak menunjukkan satupun amplitudo pada frekuensi cacat bantalan, hal sebaliknya ditunjukkan pada Gambar 4.12 (b) bahwa terdapat kenaikan amplitudo pada frekuensi cacat bantalan diikuti dengan 5 kali harmoniknya. Sedangkan pada spektrum envelope puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan semakin terlihat jelas diikuti dengan 6 kali harmoniknya. Secara teoritik/perhitungan frekuensi cacat aktif bantalan pada 1xBPFO diperoleh sebesar 330,33 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 331,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,170. Perhitungan pada 2xBPFO diperoleh sebesar 660,66 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 662,7 Hz dengan nilai amplitudo 0,089. Perhitungan pada 3xBPFO diperoleh sebesar 990,98 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 993,4 Hz dengan nilai amplitudo 0,040. Perhitungan pada 4xBPFO diperoleh sebesar 1321,31 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1325 Hz dengan nilai amplitudo 0,028. Perhitungan pada 5xBPFO diperoleh sebesar 1651,64 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat

1657 Hz dengan nilai amplitudo 0,025.

#### 4.2.4. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 2400 rpm

Hasil plot ini akan dilakukan perbandingan antara bantalan kondisi normal (tanpa cacat) dengan bantalan kondisi cacat pada kecepatan poros pompa 2400 rpm.



Gambar 4.13 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 10).

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 (b) terdapat peningkatan puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan diikuti dengan 5 kali harmoniknya. Namun, pada spektrum frekuensi ini puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan tidak terlihat jelas, bahkan amplitudo pada frekuensi cacat bantalan yang muncul di harmonik ke 4 dan 5 tertutupi dengan amplitudo yang lebih tinggi yang berasal dari komponen lainnya. Sedangkan jika dibandingkan pada hasil plot spektrum envelope puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan semakin terlihat lebih jelas diikuti dengan 5 kali harmonik BPFO. Secara teoritik frekuensi cacat aktif bantalan pada 1xBPFO diperoleh sebesar 395,08 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 397,4 Hz dengan nilai amplitudo 0,093. Perhitungan pada 2xBPFO diperoleh sebesar 790,16 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 793,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,054. Perhitungan pada 3xBPFO diperoleh sebesar 1185,23 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1190 Hz dengan nilai amplitudo 0,033. Perhitungan pada 4xBPFO diperoleh sebesar 1580,33 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1587 Hz dengan nilai amplitudo 0,022. Perhitungan pada 5xBPFO diperoleh sebesar 1975,41 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 1983 Hz dengan nilai amplitudo 0,041.

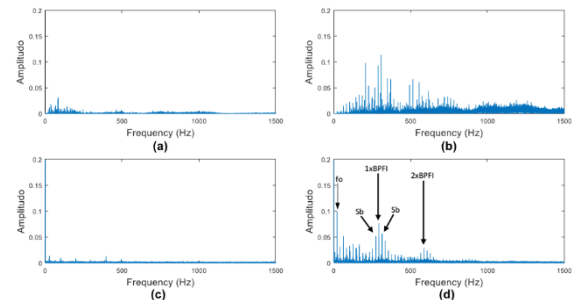
### 4.3. Perbandingan Spektrum Antara Kondisi Normal Dengan Kondisi Cacat dibagian Lintasan Dalam (Inner Race)

Frekuensi yang muncul yang mendekati hasil frekuensi yang menggunakan rumus perhitungan BPFI menunjukkan bahwa terjadinya cacat (kerusakan) pada bantalan bola dibagian lintasan dalam.

#### 4.3.1. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 1200 rpm

Apabila bantalan mengalami cacat pada lintasan luarnya, maka akan terjadi gesekan (benturan) antara permukaan lintasan dalam dengan bola saat berputar. Hal ini akan meningkatkan gaya eksitasi pada elemen tersebut, sehingga akan menghasilkan amplitudo tinggi pada frekuensi cacat

bantalan.

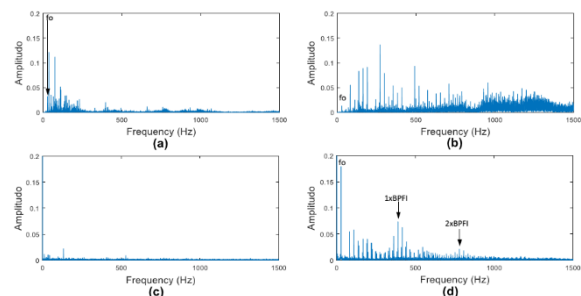


Gambar 4.14 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 13).

Pada Gambar 4.14 (d) peningkatan amplitudo pada frekuensi cacat bantalan yang secara teoritik merupakan amplitudo pada frekuensi cacat bantalan dapat terlihat jelas diikuti dengan 2 kali harmoniknya. Dengan menggunakan rumus perhitungan BPFI frekuensi cacat aktif bantalan pada 1xBPFI diperoleh sebesar 290,36 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 293,1 Hz dengan nilai amplitudo 0,076. Perhitungan pada 2xBPFI diperoleh sebesar 580,72 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 586 Hz dengan nilai amplitudo 0,029.

#### 4.3.2. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 1600 rpm

Gambar 4.15 dibawah ini merupakan hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dengan kondisi bantalan cacat dibagian lintasan dalam.



Gambar 4.15 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 10).

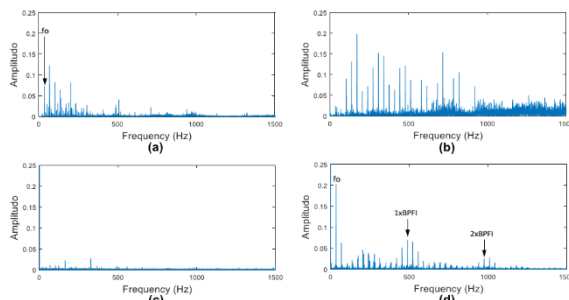
Dengan menggunakan rumus perhitungan BPFI frekuensi cacat aktif bantalan pada 1 kali harmonik diperoleh sebesar 386,68 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 389,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,073. Perhitungan pada 2 kali harmonik diperoleh sebesar 773,35 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 778,5 Hz dengan nilai amplitudo 0,021.

Dari hasil plot spektrum frekuensi dengan spektrum envelope kondisi cacat amplitudo pada cacat bantalan dapat terlihat lebih jelas dengan

menggunakan metode envelope diikuti dengan munculnya *sideband* pada kedua sisi amplitudo pada frekuensi cacat bantalan. Hal ini tidak dijumpai pada spektrum envelope untuk BPF0 karena pada BPF1 ada amplitudo modulasi, fenomena kemunculan *sideband* pada spektrum itu merupakan konsekuensi dari sinyal yang mengalami modulasi amplitudo (AM).

#### 4.3.3. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 2000 rpm

Spektrum frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi normal ini dijadikan perbandingan dengan hasil plot kondisi cacat.

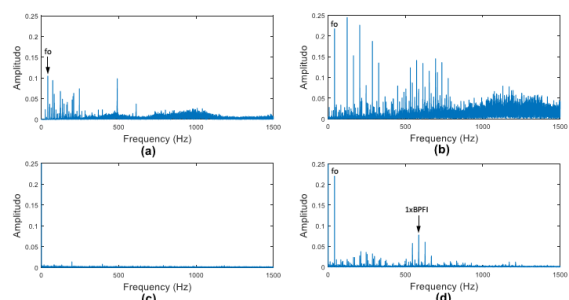


Gambar 4.16 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 2).

Jika dilihat pada hasil plot spektrum envelope yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 (d) bahwa peningkatan amplitudo pada frekuensi cacat bantalan dapat terlihat jelas yang diikuti sampai 2 harmoniknya, selain puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan juga munculnya *sideband* pada kedua sisi puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan. Dengan menggunakan rumus perhitungan BPF0 frekuensi cacat aktif bantalan pada 1 kali harmonik diperoleh sebesar 482,99 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 487,7 Hz dengan nilai amplitudo 0,073. Perhitungan pada 2 kali harmonik diperoleh sebesar 965,98 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 975,2 Hz dengan nilai amplitudo 0,025.

#### 4.3.4. Hasil Plot Pada Kecepatan Poros Pompa 2400 rpm

Berikut ini merupakan hasil plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope kondisi normal dengan kondisi cacat.



Gambar 4.17 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Cacat, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat, (File Data # 18).

Pada hasil plot spektrum kondisi cacat yang ditunjukkan dalam Gambar 4.18 (b) terjadi peningkatan amplitudo pada frekuensi tertentu jika dibandingkan dengan hasil plot spektrum frekuensi kondisi normal. Amplitudo yang muncul tersebut jika dilakukan perhitungan menggunakan rumus BPF1 maka akan muncul amplitudo pada frekuensi cacat bantalan. Namun amplitudo pada frekuensi cacat bantalan tersebut tertutupi dengan *nois* dan amplitudo tinggi pada frekuensi lain yang muncul. Dengan menggunakan metode envelope seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.17 (d) selain *fundamental* poros ( $f_0$ ) pompa yang muncul amplitudo pada frekuensi cacat bantalan akan muncul lebih jelas pada harmonik ke 1 yang secara teoritik frekuensi cacat bantalan diperoleh sebesar 579,30 Hz, sedangkan pada hasil pengukuran didapat 584,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,078 dan diikuti dengan munculnya *sideband*.

Jika lihat dari spektrum envelope dibagian lintasan luar akan memunculkan *peak-peak* atau puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan yang terlihat dengan jelas sampai 5 kali harmoniknya, sebaliknya jika pada spektrum envelope dibagian lintasan dalam munculnya amplitudo pada frekuensi cacat bantalan hanya terlihat sampai 2 kali harmonik dan diikuti dengan munculnya *sideband* pada sisi sebelah kiri dan kanannya. Hal ini dikarenakan pada saat bantalan berputar memasuki area *loading zone* maka amplitudo mulai naik tetapi sedikit, ketika sampai kepalang bawah maka amplitudonya akan semakin tinggi. Sehingga akan menghasilkan bentuk amplitudo modulasi (AM) pada hasil plot domain waktu bantalan cacat dibagian lintasan dalam.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Cacat pada bantalan bola pompa sentrifugal dapat dideteksi dengan menggunakan metode analisis spektrum frekuensi dan spektrum envelope dengan membandingkan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran pada bantalan bola dibagian lintasan luar dan lintasan dalam pompa sentrifugal.
- Frekuensi yang muncul dengan amplitudo tinggi yang mendekati hasil perhitungan frekuensi menggunakan rumus perhitungan BPF0 dan BPF1 berturut-turut menunjukkan terjadinya cacat (kerusakan) pada lintasan luar dan lintasan dalam bantalan bola pompa sentrifugal.
- Pada spektrum frekuensi, amplitudo frekuensi cacat bantalan dapat terlihat yang diikuti dengan harmoniknya, namun amplitudo pada frekuensi tersebut sering tertutupi oleh amplitudo pada frekuensi lain yang lebih tinggi.
- Pada spektrum envelope, amplitudo frekuensi cacat bantalan luar dapat terlihat lebih jelas diikuti dengan harmoniknya. Khusus untuk cacat dibagian lintasan dalam, akan terdapat *sideband* sebagai akibat dari modulasi amplitudo.

## Daftar Pustaka

- Adistya, Irman Supriadi. 2014. Pengembangan Sistem Monitoring Vibrasi Pada Kipas Pendingin Menggunakan Accelerometer ADXL345 Dengan Metode FFT Berbasis Labview. Jakarta: Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Syarif Hidayatullah.
- Aji, Kunto. 2007. Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinyal Getaran. Surakarta: Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret.
- Betea, Bogdan dkk. 2013. Comparison between envelope detection methods for bearing defects diagnose. Workshop on Convergence of Information Technologies and Control Methods with Power Systems. Cluj-Napoca, Romania.
- Courrech, J. 1990. Machine Health Monitoring Using Vibration Analysis. Bruel & Kjaer, Lecture Note.
- Global Market Study on Pumps: Sales of Centrifugal Pumps to Remain Disproportionately High Throung 2024. New York: 2016.
- Girdhar, Cornelius Scheffer Paresh. 2004. "Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance.
- Latuny, Jonny. 2013. A Sensitivity Comparison of Neuro-fuzzy Feature Extraction Methods from Bearing Failure Signals. Curtin University: Departemen of Mechanical Engineering.
- Patidar, Shyam dan Soni, Pradeep Kumar. 2013. An Overview on Vibration Analysis Techniques for the Diagnosis of Rolling Element Bearing Faults. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Volume 4 Nomor 5, May 2003, ISSN: 2231-5381.
- Setiyadi, Muhammad Tesar dan Raharjo, Parno. 2016. Karakteristik Getaran Pada Bantalan Bola Menyelaras Sendiri Karena Kerusakan Sangkar. Bandung: Skripsi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung.
- Suhardjono. 2005. Analisis Sinyal Getaran Untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing). Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Sularso dan Tahara, Haruo. 2000. Pompa dan Kompresor. Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Susilo, Didik Djoko. 2008. Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisis Sinyal Getaran. Jurnal Teknik Mesin FT UNS Vol. 7 No. 1,
- Tan, Chek Zin dan Leong, M Salman. 2008. An Experimental Study of Cavitation Detection in a Centrifugal Pump Using Envelope Analysis. Vol. 2 No. 1, 2008. Institute of Nois & Vibration, Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Vicente, Fernando. 2010. Realiability Analysis of Centrifugal Pumps System Justifies Improvements in Gas Plant. Argentina: Maintenance and Realiability Integrity Engineer ABB Service.