

Deteksi Cacat Bantalan Bola Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran

(Ball Bearing Fault Detection of Centrifugal Pumps Based on Vibration Spectrum)

BERLI P KAMIEL, MULYANI, SUNARDI

ABSTRACT

One of the common fault in the centrifugal pump is faulty bearing. Bearings play a very important role for smooth rotation of a shaft. A bearing condition must be constantly monitored to ensure top performance of a pump. Therefore, a method is needed to detect an early defect in the bearings. One of the most widely used methods for bearing faults detection is based on the vibration analysis. Vibration analysis can detect a defect in a bearing without having to disassemble the machine. Furthermore, and it is fast and easy to be implemented. This study aims to develop a fault detection method on the ball bearing using spectrum analysis by applying envelope analysis. This research uses experimental method with three bearings conditions i.e. normal (no fault), outer race fault, and inner race fault. The type of ball bearings used are self aligning double row bearings. The vibration signal from each of bearing condition is taken from the centrifugal pump vibration test rig and measured using accelerometer sensor which is acquired directly with DAQ and then processed into Matlab. The analysis gives the result of frequency spectrum and envelope spectrum. This study concludes that the high amplitude on the frequency that coincide with the frequency of Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO) and Ball Pass Frequency Inner Race (BPFI) make an indication of damage to the bearing on the outer and inner race respectively. The envelope spectrum gives better results as compared to the result of the frequency spectrum. This is because the high amplitude of low frequency generated from other components is blocked and removed using a high-pass filter. Consequently, it becomes easier to detect a low amplitude of high frequency vibration signal from a faulty bearing.

Keywords: centrifugal pump, bearing defect, spectrum analysis, envelope analysis

PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal merupakan peralatan mekanik yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain yang diinginkan. Hampir semua industri saat ini menggunakan jenis pompa sentrifugal sebagai sarana penunjang proses produksinya. 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 juta dan nilai ini diprediksi akan terus meningkat. Kerusakan pompa sentrifugal dapat menghambat aktifitas produksi yang ada. Bahkan dapat berakibat fatal seperti berhentinya proses produksi yang berpotensi mengakibatkan

kerugian yang besar. Menurut analisis yang dilakukan *ABB Service*, Argentina pada industri NGL, kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal dapat mengakibatkan total kerugian US\$590.450 (Vicente, 2010).

Kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal dapat berupa kavitasi, *misalignment*, *unbalance*, cacat impeller dan cacat bantalan.

Ada beberapa metode yang telah digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan antara lain adalah *oil analysis*. Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan dengan menganalisis kondisi oli setelah jangka waktu tertentu. Metode lainnya adalah analisis berbasis getaran. Menurut Girdhar (2004) salah satu cara yang efektif untuk mendeteksi awal gejala kerusakan mekanik, elektrik pada peralatan

adalah dengan analisis getaran yang menjadi pilihan strategi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan (Latuny, 2013). Keuntungannya adalah dapat mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum menjadi parah yang dapat menyebabkan *downtime* tidak terjadwal (Adisty, 2014). Hal ini dapat tercapai dengan melakukan pemantauan dari getaran mesin yang dilakukan 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 mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (Aji, 2007). Accelerometer pada umumnya diletakkan sedekat mungkin dengan bantalan pompa dalam arah radial atau aksial. Dengan menggunakan FFT, sinyal dalam domain waktu diubah menjadi domain frekuensi atau spektrum. Frekuensi cacat bantalan pada spektrum ditunjukkan dengan amplitudo yang tinggi.

Suhardjono (2005), melakukan penelitian tentang kerusakan bantalan bola (*ball bearing*). Metode yang digunakan adalah dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi pada arah radial. Penelitian ini dilakukan pada mesin gerinda bangku dengan variasi beberapa jenis bantalan yang sengaja dirusak. Hasil pengukuran pada bantalan cacat menunjukkan sinyal getaran yang berbentuk stokastik (random). Secara teoritik frekuensi cacat bantalan lintasan dalam, *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), didapat sebesar 240,3 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 242 Hz. Hasil pengukuran secara teoritik frekuensi cacat bantalan lintasan luar, *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), sebesar 157,33 Hz, dan hasil pengukuran didapat 159 Hz. Masing-masing frekuensi ini mengindikasikan bahwa adanya cacat yang terjadi pada bantalan bola berturut-turut dibagian lintasan luar dan lintasan dalam.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan, analisis spektrum memiliki kekurangan yaitu

tidak dapat mendeteksi dengan jelas amplitudo frekuensi cacat bantalan, karena frekuensi cacat bantalan tertutup oleh amplitudo dari frekuensi yang lain. Salah satu cara mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan menghilangkan amplitudo tinggi di frekuensi rendah dengan menggunakan *filter* yaitu *high-pass filter* yang merupakan prosedur dari analisis *envelope* yang telah banyak digunakan pada analisis kerusakan bantalan dan *gearboxes* (Girdhar, 2004). Analisis *envelope* adalah metode yang difokuskan pada wilayah spektrum tinggi dengan menghilangkan frekuensi rendah (Tan dan Leong, 2008). Analisis ini merupakan teknik yang dapat menghasilkan dampak periodik termodulasi dari bantalan cacat. Proses ini menghilangkan amplitudo tinggi di frekuensi rendah yang menutup amplitudo rendah yang berasal dari frekuensi cacat bantalan yang dimonitor (Patidar dan Soni, 2013).

Berdasarkan uraian diatas deteksi cacat bantalan bola dapat dilakukan dengan menggunakan metode analisis spektrum. Namun analisis spektrum mempunyai sebuah kelemahan yaitu tertutupnya amplitudo frekuensi tinggi oleh amplitudo frekuensi rendah. Pada kasus cacat bantalan kelemahan tersebut berpotensi menimbulkan kesalahan deteksi cacat yang dapat berakibat terlambatnya aksi perawatan. Oleh karena itu penting untuk menerapkan analisis *envelope* yang dapat mengatasi kekurangan dari analisis spektrum tersebut. Penelitian tentang deteksi cacat bantalan pada pompa sentrifugal masih jarang dilakukan sehingga pada penelitian ini diusulkan untuk melakukan investigasi metode deteksi cacat bantalan pada pompa sentrifugal menggunakan analisis *envelope*. Objek penelitian adalah bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* pada kondisi normal dan kondisi cacat. Kondisi cacat pada dua buah bantalan bola berturut-turut dilakukan dengan merusak bagian lintasan dalam dan lintasan luarnya.

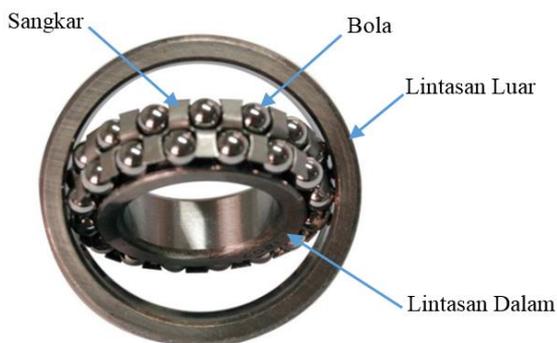
LANDASAN TEORI

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.

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 (Setiyadi dan Raharjo, 2016). Kelebihan dari bantalan jenis ini yaitu dapat mengatasi masalah poros yang kurang sebaris (Susilo, 2016). Bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* terdiri dari beberapa elemen didalamnya yaitu: bola (*ball*), lintasan luar (*outer race*), lintasan dalam (*inner race*), sangkar (*cage*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



GAMBAR 1 Bantalan *Self Aligning Double Row*

Cacat Pada Bantalan

Cacat pada bantalan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah keretakan, keausan, pemasangan, dan penggunaan minyak pelumas yang tidak sesuai. Jika sebuah 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 yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

- a. cacat yang terjadi pada lintasan luar, menghasilkan frekuensi eksitasi impuls yang disebut *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) yang dapat dihitung dengan persamaan

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

- b. kerusakan yang terjadi pada lintasan dalam, menghasilkan frekuensi eksitasi impuls yang disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), yang dapat dinyatakan dalam persamaan

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

- c. kerusakan yang terjadi pada bola, menghasilkan frekuensi eksitasi impuls yang dinamakan *Ball Spin Frequency* (BSF). Persamaannya dapat dinyatakan sebagai

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

- d. Kerusakan pemisah (*Cage*), menghasilkan frekuensi yang disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat dihitung dengan persamaan

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

Dimana:

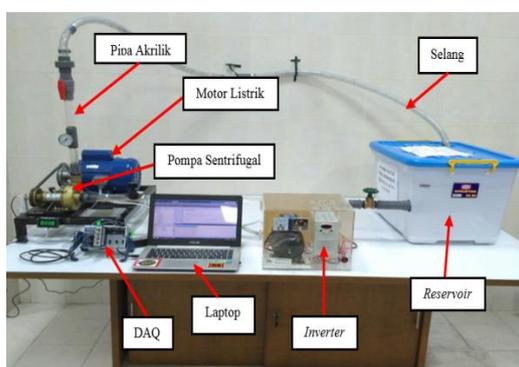
- Nb = Jumlah bola (*Number of balls*)
- f_r = Frekuensi putaran kerja poros (Hz)
- Bd = Diameter bola (*Ball diameter*) mm
- Pd = Diameter pitch (*Pitch diameter*) mm
- α = Sudut kontak (*Contact angle*) derajat

METODE PENELITIAN

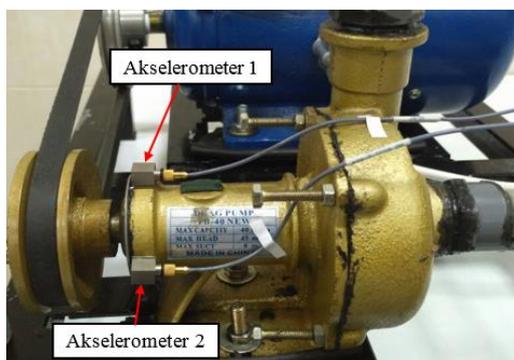
Deteksi cacat bantalan pada pompa sentrifugal dilakukan pada sebuah alat uji yang ditunjukkan pada Gambar 2. dengan tiga kondisi bantalan. Kondisi pertama adalah bantalan bola normal (tanpa cacat), kondisi dua adalah bantalan bola

cacat pada bagian lintasan luar, dan kondisi tiga adalah bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam. Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak 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*.

Skema Alat Uji Penelitian



GAMBAR 2 Alat Uji Bantalan Cacat Pada Pompa Sentrifugal



GAMBAR 3 Lokasi Akselerometer

Dua buah akselerometer diletakkan pada lokasi terdekat dari bantalan pompa sentrifugal arah radial seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Akselerometer 1 terpasang pada posisi vertikal yang tersambung dengan kanal 1 pada modul DAQ melalui kabel konektor akselerometer, sedangkan akselerometer 2 terpasang pada posisi horizontal yang tersambung dengan kanal 2. Pada penelitian ini sinyal getaran yang

digunakan untuk deteksi cacat bantalan bola adalah yang berasal dari akselerometer 1.

Tahap Persiapan 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 yang menggunakan DAQ dari National Instrument tipe NI 9234
6. Pemasangan akselerometer Bruel&Kjaer 4507 B
7. Pemeriksaan dan pengecekan pada konstruksi alat uji agar tidak terjadi kesalahan sebelum proses pengambilan data.
8. Memberikan aliran listrik pada motor listrik melalui *inverter* dan peralatan data akuisisi.

Proses Pengambilan Data

Setelah peralatan uji disiapkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan data sinyal getaran, pengujian yang pertama menggunakan bantalan dengan kondisi normal, 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 putaran poros pompa 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 DAQ dan *software MATLAB R2015a* dengan proses perekaman sebagai berikut:

- a. Merekam 20 segmen data untuk tiap kecepatan putaran poros pompa.
 - b. Waktu perekaman tiap segmen adalah 10 detik.
 - c. Jeda waktu perekaman antar segmen adalah 5 detik.
 - d. *Sampling rate* 52066 Hz.
5. Menyimpan file hasil rekaman sinyal getaran dari DAQ dalam bentuk *file MATLAB* dengan ekstensi *.mat*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal getaran diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola pada pompa sentrifugal dengan tiga kondisi bantalan yaitu normal, cacat lintasan luar dan cacat lintasan dalam. Dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 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 (α)	0°

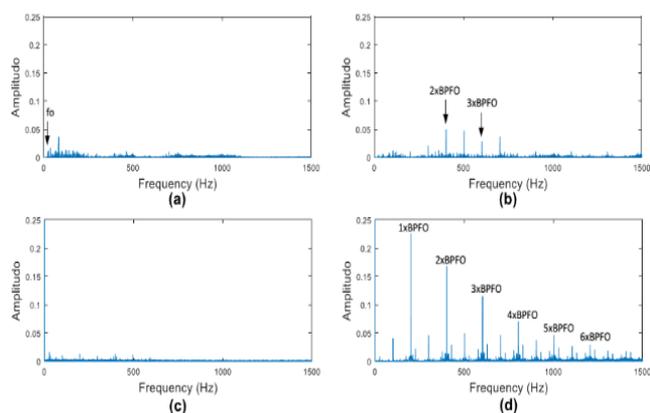
Cacat Bantalan Lintasan Luar

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.

Spektrum Pada Kecepatan Poros Pompa 1200 rpm

Gambar 4. menunjukkan spektrum frekuensi dan spektrum *envelope* bantalan normal dan bantalan cacat lintasan luar. Spektrum-spektrum yang berasal dari sinyal getaran bantalan normal (Gambar 4.a dan 4.c) tidak menunjukkan keberadaan *peak* amplitudo pada frekuensi cacat. Sedangkan *peak* amplitudo dapat terlihat pada spektrum frekuensi dan spektrum *envelope* yang berasal dari sinyal getaran bantalan cacat lintasan luar (Gambar 4.b dan 4.d). Namun demikian pada spektrum frekuensi, tidak terlihat *peak* amplitudo pada 1xBPFO melainkan hanya terlihat pada 2xBPFO dan 3xBPFO. Hal ini dapat disebabkan oleh energi getaran yang dihasilkan oleh cacat lintasan luar masih dalam level rendah pada kecepatan poros 1200 RPM sehingga amplitudo cacat juga rendah sehingga tidak dapat terlihat. Sedangkan pada spektrum *envelope* frekuensi cacat bantalan terlihat jelas mulai dari frekuensi 1x sampai dengan 6x.



GAMBAR 4 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 1200 RPM)

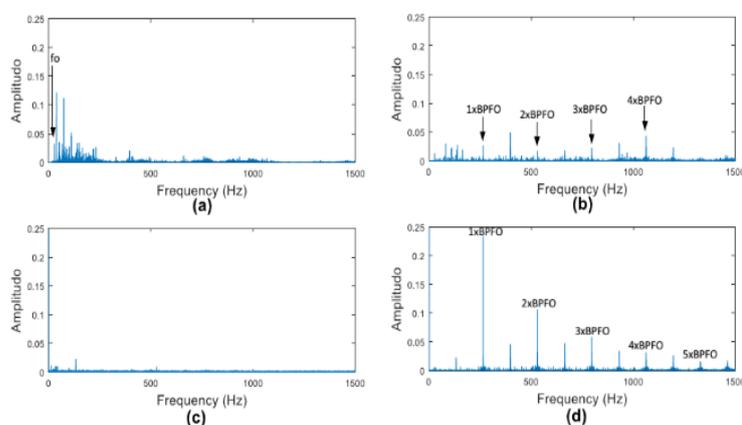
Spektrum *envelope* menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal mengidentifikasi *peak* amplitudo pada frekuensi cacat lintasan dalam. Ditunjukkan dengan *peak* amplitudo yang tinggi dan sangat mudah diidentifikasi. Hal ini dikarenakan spektrum *envelope* menyaring keluar frekuensi rendah yang pada umumnya memiliki amplitudo tinggi yang berpotensi menutup amplitudo rendah berfrekuensi tinggi dari cacat bantalan.

Perhitungan BPFO menggunakan persamaan 1 adalah 200,98 Hz sedangkan harmoniknya yang meliputi 2xBPFO sampai dengan 6xBPFO berturut-turut adalah 401,97 Hz, 602,95 Hz, 803,93 Hz, 1004,92 Hz dan 1205,90 Hz. Sedangkan *peak* amplitudo pada spektrum *envelope* terlihat pada frekuensi-frekuensi 201

Hz, 402 Hz, 603 Hz, 804 Hz, 1005 Hz dan 1206 Hz. Dapat dilihat bahwa frekuensi-frekuensi pada spektrum *envelope* tersebut tepat berhimpit dengan frekuensi-frekuensi hasil perhitungan BPFO dan harmoniknya.

Spektrum Pada Kecepatan Poros Pompa 1600 rpm

Pada kecepatan 1600 RPM *peak* amplitudo pada spektrum frekuensi dapat terlihat pada 1xBPFO sampai dengan 4xBPFO seperti ditunjukkan pada Gambar 5b, walaupun tinggi *peak* tersebut tidak terlalu jauh berbeda dengan *peak* amplitudo lain di sekitarnya. Namun demikian keberadaan *peak* tersebut lebih jelas dibandingkan dengan *peak* pada kecepatan 1200 RPM.



GAMBAR 5 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat,

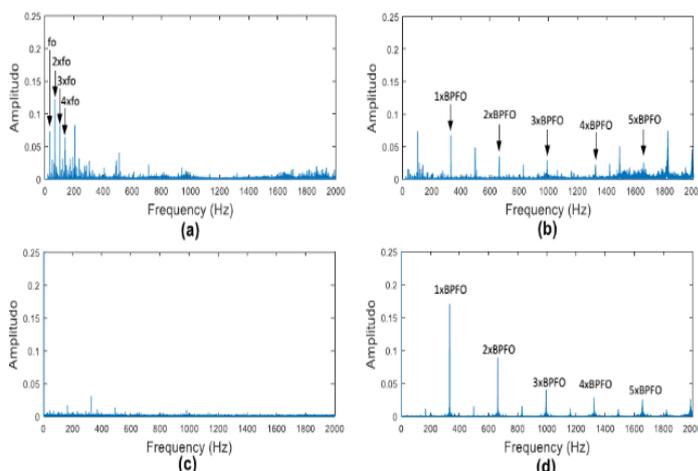
(c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 1600 RPM)

Sementara itu spektrum *envelope* pada Gambar 5d, *peak* amplitudo pada frekuensi cacat bantalan terlihat jelas beserta dengan 5 kali harmoniknya. Secara teoritik frekuensi cacat bantalan pada 1xBPFO diperoleh sebesar 264,75 Hz, sedangkan pada spektrum *envelope* terlihat amplitudo sebesar 0,234 di frekuensi 265,70 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa indikasi cacat bantalan dapat dideteksi dengan jelas dan baik pada spektrum *envelope*.

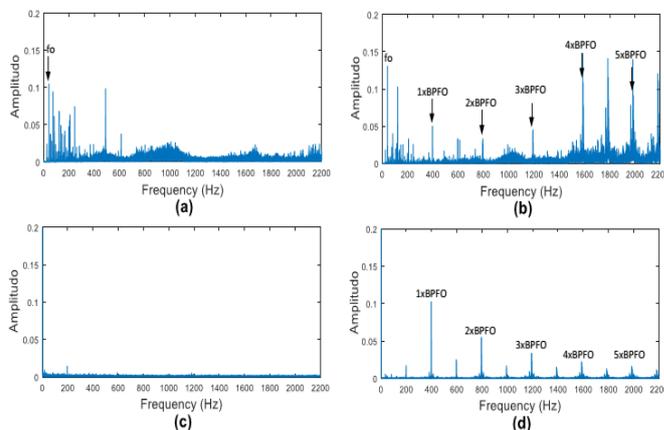
Spektrum Pada Kecepatan Poros Pompa 2000 rpm

Pada pengujian dengan kecepatan poros yang

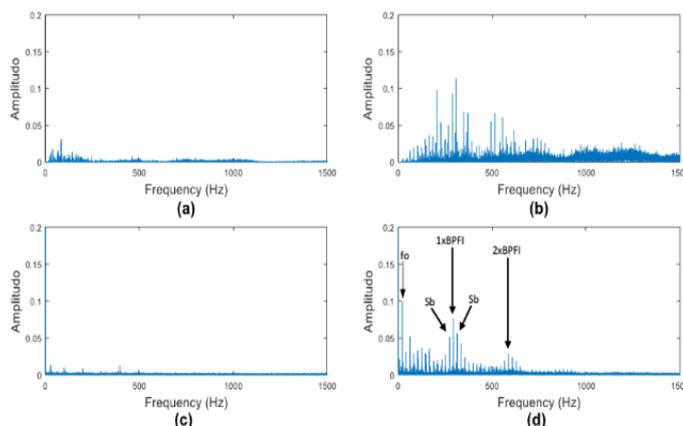
lebih tinggi yaitu 2000 RPM dan 2400 RPM seperti dapat dilihat pada Gambar 6a dan 7a, spektrum dari bantalan normal mulai menunjukkan *peak* pada frekuensi poros dan beberapa harmoniknya tanpa terlihat *peak* pada frekuensi cacat bantalan. Energi yang semakin besar pada kecepatan tinggi menyebabkan amplitudo frekuensi poros menjadi semakin jelas terlihat. Gambar 6b dan 7b menunjukkan bahwa spektrum dari bantalan cacat lintasan luar menunjukkan *peak* yang tinggi dan jelas pada frekuensi BPFO dan beberapa harmoniknya. Namun demikian *peak* dari *noise* turut meningkat yang berpotensi mengganggu identifikasi *peak* pada frekuensi BPFO.



GAMBAR 6 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 2000 RPM)



GAMBAR 7 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 2400 RPM)



GAMBAR 8 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 1200 RPM)

Berbeda halnya dengan spektrum *envelope* pada Gambar 6d dan 7d dimana *peak* amplitudo pada BPFO terlihat sangat jelas tanpa terlihat amplitudo yang berasal dari *noise* dan komponen-komponen lainnya. Pada kecepatan poros yang tinggi ini spektrum *envelope* memberikan *peak* amplitudo pada frekuensi BPFO yang tinggi dan lebih jernih dibandingkan dengan yang diberikan pada spektrum frekuensi. Hal ini menyebabkan identifikasi *peak* amplitudo pada frekuensi cacat pada spektrum *envelope* menjadi lebih mudah dan akurat.

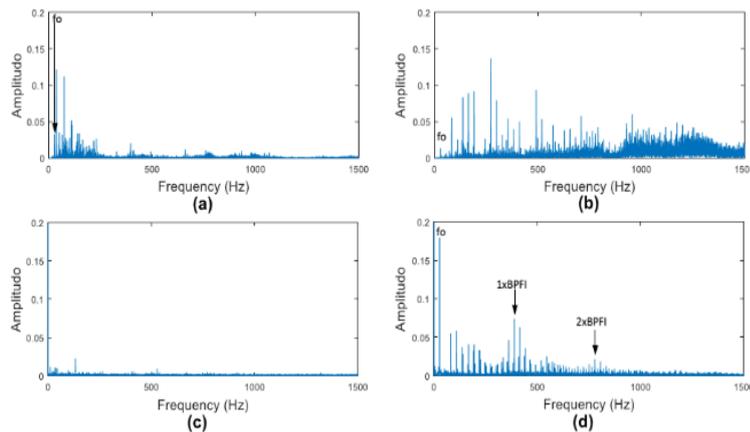
Cacat Bantalan Lintasan Dalam

Amplitudo tinggi pada frekuensi yang berhimpit atau mendekati BPFI menunjukkan terjadi cacat pada bantalan bola dibagian lintasan dalam.

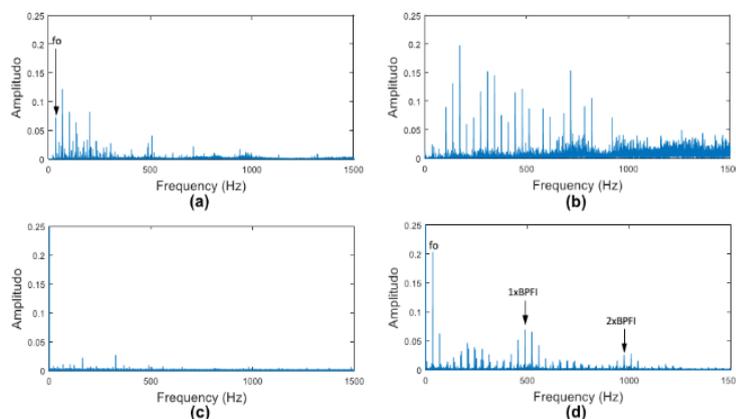
Spektrum Pada Kecepatan Poros Pompa 1200 RPM

Apabila bantalan mengalami cacat pada lintasan dalam, maka akan terjadi benturan antara permukaan lintasan dalam dengan bola saat bantalan berputar dimana lokasi terjadinya benturan dapat terjadi pada *loading zone* atau di

luar *loading zone*. Variasi lokasi terjadinya benturan tersebut menghasilkan sinyal yang amplitudonya termodulasi. Hal ini disebabkan energi benturan pada *loading zone* lebih tinggi dibandingkan dengan yang terjadi di luar *loading zone*. Representasi modulasi amplitudo pada domain frekuensi adalah keberadaan *side-band* di antara frekuensi sentral. Frekuensi sentral adalah frekuensi cacat bantalan lintasan dalam (BPFI) seperti dapat dilihat spektrum *envelope* pada Gambar 8d dimana disebelah kiri dan kanannya adalah *side-band*. Harmonik ke-2 juga dapat diamati pada Gambar 8d. 1xBPFI dan 2xBPFI berturut-turut sebesar 293,1 Hz dan 586,0 Hz dimana frekuensi-frekuensi tersebut berdekatan dengan frekuensi cacat bantalan lintasan dalam yang didapat dari perhitungan teoritik. Pada spektrum frekuensi yang ditunjukkan pada Gambar 8b frekuensi cacat BPFI tidak terlihat jelas demikian pula *side-band* tidak dapat diidentifikasi. Sehingga pada kasus cacat bantalan lintasan dalam, spektrum *envelope* memberikan hasil yang jauh lebih baik dibandingkan dengan hasil dari spektrum frekuensi.



GAMBAR 9 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 1600 RPM)



GAMBAR 10 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 2000 RPM)

Spektrum Pada Kecepatan Poros Pompa 1600 RPM

Gambar 9 merupakan spektrum frekuensi dan spektrum *envelope* untuk bantalan normal dan bantalan cacat lintasan dalam pada kecepatan 1600 RPM. Pada kecepatan ini spektrum frekuensi pada Gambar 9b menunjukkan *noise* yang tinggi yang berpotensi menutup amplitudo dari frekuensi bantalan sehingga mengganggu poses identifikasi.

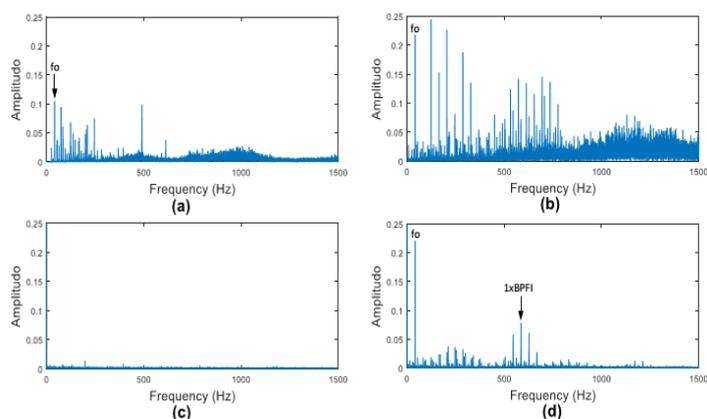
Sebaliknya pada spektrum *envelope* pada Gambar 9d, 1xBPFI (389,3 Hz) dan 2xBPFI (778,5) beserta masing-masing *side-band* nya teridentifikasi dengan jelas. Tidak terlihat perbedaan yang nyata antara tinggi amplitudo

pada frekuensi cacat di kecepatan 1200 RPM dan dengan yang di kecepatan 1600 RPM. Hal ini disebabkan energi benturan pada lokasi cacat yang tidak terlalu jauh berbeda diantara dua kecepatan tersebut.

Spektrum Pada Kecepatan Poros Pompa 2000 RPM dan 2400 RPM

Pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 2000 RPM dan 2400 RPM yang berturut-turut ditunjukkan pada spektrum frekuensi pada Gambar 10b dan 11b, *noise* tampak semakin tinggi yang mengakibatkan identifikasi amplitudo BPFI semakin sulit. Pada kecepatan yang relatif tinggi ini, spektrum frekuensi tidak efektif digunakan untuk menunjukkan indikasi

cacat bantalan.



GAMBAR 11 (a) spektrum frekuensi kondisi normal, (b) kondisi cacat, (c) spektrum envelope kondisi normal, (d) kondisi cacat. (Kecepatan poros 2400 RPM)

Namun demikian, seperti dapat dilihat pada Gambar 10d dan 11d, spektrum *envelope* dapat menunjukkan amplitudo tinggi pada frekuensi BPFI. *Side-band* juga terlihat jelas disertai dengan harmonik ke-2 pada kecepatan poros 2000 RPM. Pada kecepatan 2400 RPM, hanya terlihat 1xBPFI tanpa ada harmonik ke-2. Namun hal ini tidak menghilangkan akurasi deteksi cacat pada spektrum *envelope* karena keberadaan 1xBPFI saja sudah menunjukkan bahwa terjadi cacat pada bantalan di lintasan dalamnya.

Perhitungan teoritik BPFI pada kecepatan poros 2000 RPM dan 2400 RPM mengkonfirmasi peak amplitudo pada frekuensi BPFI di spektrum frekuensi dan spektrum *envelope*. Hasil perhitungan memberikan angka 482,99 Hz dan 579,30 Hz berturut-turut untuk 1xBPFI di kecepatan 2000 dan 2400 RPM. Frekuensi cacat hasil perhitungan tersebut berhimpit dengan frekuensi yang memiliki amplitudo tinggi di spektrum *envelope*, namun tidak berhimpit dengan yang di spektrum frekuensi.

Pada kecepatan tinggi ini, spektrum *envelope* memberikan hasil yang baik dimana peak amplitudo pada frekuensi cacat teridentifikasi dengan jelas. *Side-band* selalu teramati pada

spektrum *envelope* sebagai konsekuensi dari modulasi amplitudo sinyal getaran pada kasus cacat bantalan lintasan dalam.

Deteksi cacat bantalan menggunakan spektrum *envelope* menunjukkan hasil akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh dengan menggunakan spektrum. Hal ini ditunjukkan dengan level amplitudo yang lebih tinggi pada spektrum *envelope* sehingga deteksi cacat bantalan lebih mudah dilakukan. Hasil penelitian ini mengkonfirmasi hasil dari beberapa penelitian sebelumnya oleh Geropp (1997), Tiwari dan Jatola (2013), dimana spektrum *envelope* memberikan hasil yang superior dibandingkan spektrum

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- Cacat pada bantalan bola pompa sentrifugal dapat dideteksi dengan menggunakan metode analisis spektrum frekuensi dan spektrum *envelope*.
- Frekuensi yang muncul dengan amplitudo tinggi yang mendekati hasil perhitungan frekuensi menggunakan rumus perhitungan

BPFO dan BPF1 berturut-turut menunjukkan terjadinya cacat pada lintasan luar dan lintasan dalam bantalan.

- c. 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.
- d. Pada spektrum envelope, amplitudo frekuensi cacat bantalan luar dapat terlihat lebih jelas diikuti dengan harmoniknya. Khusus untuk cacat di bagian lintasan dalam, akan terdapat *side-band* sebagai konsekuensi dari modulasi amplitudo.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisty, 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.
- Geropp, Berod. 1997. Envelope Analysis – A Signal Analysis Technique for Early Detection and Isolation of Machine Faults. IFAC Proceedings Volumes. Vol. 30. No. 18
- 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 No. 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.
- 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. Institute of Nois & Vibration, Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Tiwari, Ashesh dan Jatola, Ravi. Fault Detection in Bearing Using Envelope Analysis. 2013. Paripex, Indian Journal of Research, Vol. 3. No. 5.
- Vicente, Fernando. 2010. Realiability Analysis of Centrifugal Pumps System Justifies Improvements in Gas Plant. Argentina: Maintenance and Realiability Integrity Engineer ABB Service.

PENULIS:

Berli P Kamiel

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan

Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta 55183.

Email: berlikamiel@umy.ac.id

Mulyani

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta 55183.

Email: mulyani.2013@ft.umy.ac.id

Sunardi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta 55183.

Email: sunardi@umy.ac.id