

DETEKSI KERUSAKAN BANTALAN GELINDING PADA POMPA SENTRIFUGAL DENGAN ANALISIS SINYAL GETARAN

Didik Djoko Susilo¹

Abstract : *The aim of the research was to detect the fault of rolling bearing in a centrifugal pump by vibration signal analysis. The investigation was focused on the frequencies of the bearing components, that are: frequency of outer race, inner race, ball, dan cage. The pump with power 5,5 Hp and speed 1495 was used in the experiment. The vibration data was obtain by piezeelectric accelerometer, and a digital storage oscilloscope. The MATLAB software then was used to process the data to get signal spectrum. Analysis of the signal spectrum gaves that good condition rolling bearing have amplitude of 0,8 Volt. While, in defect ball bearings there were increases of amplitude in ball bearing components harmonic frequencies. The increase of amplitude were 1,2 Volt in 4 x Ball Pass Frequency of Inner Race (BPFI), 1,66 Volt in 3 x Ball Pass Frequency oh Outer Race (BPFO), and 2 Volt in 2 x Ball Spin Frequency (BSF). These increases of frequancies indicated the damage of the ball bearing components.*

Kata kunci : *Centrifugal pump, rolling bearing, vibration signal, signal spectrum analysis*

LATAR BELAKANG

Pompa sentrifugal sebagai alat untuk memindahkan fluida telah banyak digunakan oleh masyarakat, baik untuk pelayanan pada rumah tangga, bangunan perkantoran, hotel maupun dunia industri, terutama industri yang melibatkan fluida dalam proses produksinya, seperti industri tekstil, kertas, makanan dan minuman. Sehingga, pompa ini ini menjadi bagian yang penting dalam sebuah bangunan atau industri. Kerusakan pompa akan sangat mengganggu aktifitas pada bangunan atau industri tersebut. Bahkan dapat berakibat fatal, seperti terhentinya proses produksi pada saebuah industri yang pada gilirannya akan menimbulkan kerugian pada industri tersebut.

Oleh karena itu diperlukan sistem perawatan yang baik terhadap pompa sentrifugal ini untuk mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan kegagalan sebuah pompa sentrifugal.. Metode perawatan prediktif dengan cara mendeteksi kerusakan secara dini dapat mencegah kerusakan yang tidak diharapkan, bahkan dapat menurunkan biaya perawatan dan operasional pompa. Perawatan prediktif dilakukan dengan memantau secara terus menerus komponen-komponen yang memiliki kemungkinan rusak dengan menggunakan sensor tertentu.

Konstruksi pompa sentrifugal umumnya terdiri atas sebuah impeler dan motor penggerak. Untuk pompa dengan kapasitas kecil, impeler dipasang menjadi satu bagian dengan poros motor penggerak, sedangkan untuk yang berkapasitas besar, impeler dipasang pada poros tersendiri yang selanjutnya poros impeler ini disambung dengan poros motor penggerak menggunakan sebuah kopling.

Poros impeler dan poros motor penggerak ditumpu menggunakan bantalan, baik bantalan gelinding maupun bantalan luncur. Kerusakan bantalan penumpu poros ini tentu saja akan sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja pompa, bahkan dapat juga mengakibatkan kerusakan yang lain, seperti ketaklurusan dan terbakarnya motor penggerak. Dengan demikian kondisi dari bantalan ini harus senantiasa dipantau.

RUMUSAN MASALAH

Masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

¹ staf pengajar jurusan Teknik Mesin FT UNS

Bagaimana menganalisis sinyal getaran bantalan pompa sentrifugal untuk mendeteksi adanya kerusakan bantalan ?

BATASAN MASALAH

Untuk menentukan arah penelitian, maka diberikan pembatasan masalah sebagai berikut :

- a. Pompa sentrifugal menggunakan bantalan jenis bantalan gelinding (*rolling bearing*).
- b. Diasumsikan kerusakan hanya terjadi pada bantalan saja, komponen lainnya dianggap dalam kondisi baik.
- c. Pompa diteliti pada kondisi operasi tanpa beban atau beroperasi tidak dalam kondisi memompa fluida

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi adanya kerusakan pada bantalan gelinding pompa sentrifugal dengan menganalisis sinyal getaran yang dihasilkan oleh pompa tersebut pada saat beroperasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Sinyal atau variabel yang dapat digunakan untuk memantau kondisi sebuah mesin atau peralatan antara lain : getaran, temperatur, suara, pembebanan, dan daya sesaat (Rao, 1996). Diantara variabel tersebut, getaran dan temperatur adalah yang paling banyak digunakan, karena :

- Lebih ekonomis.
- Sensor mudah dipindah-pindahkan.
- Tidak Merusak komponen mesin yang dipantau.
- Dapat dipasang pada permukaan mesin .

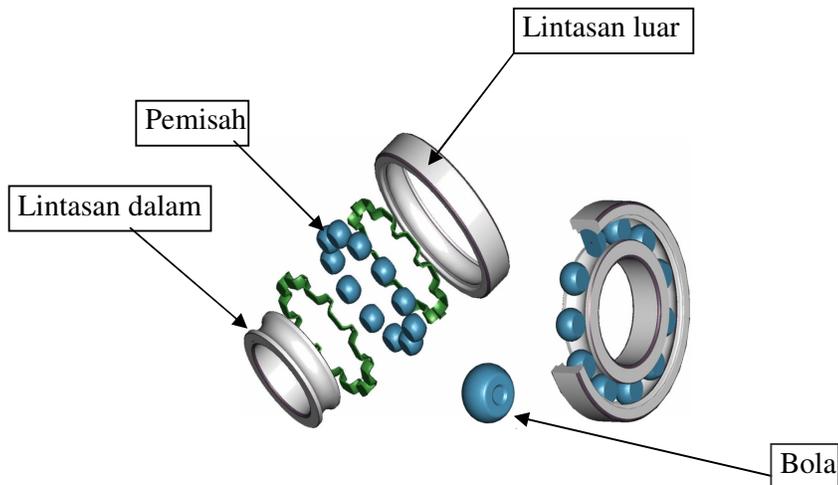
(Contreras et.al., 2002).

Sinyal getaran yang memiliki informasi perilaku dinamik sering dipakai untuk mendeteksi kerusakan komponen mesin. Sinyal ini biasanya tercampur dengan sinyal getaran akibat komponen-komponen lain sehingga diperlukan metode yang tepat untuk memisahkan sinyal komponen yang diamati dengan sinyal yang lain. Lin et. al (2000) mengembangkan teknik denoising didasarkan pada Morlet wavelet untuk diagnosis kerusakan mesin. Penerapannya dilakukan untuk mendiagnosis kerusakan bantalan gelinding yang meliputi kerusakan lintasan cincin dalam dan cincin luar.

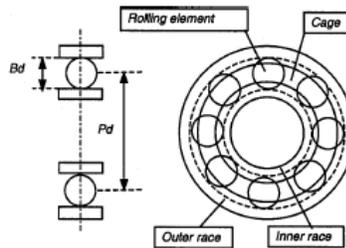
Suhardjono, (2004). Menyebutkan bahwa metode yang paling mutakhir untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan bola adalah dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi yang terjadi pada arah radial. Percobaan untuk mengetahui dan mempelajari spektrum getaran akibat kerusakan bantalan bola ini dilakukan pada mesin gerinda bangku dengan mengganti beberapa jenis bantalan yang rusak. Analisis perbandingan sinyal getaran antara bantalan bola yang berkondisi baik (normal) dan yang cacat pada komponennya secara bertingkat sedemikian rupa sehingga dapat ditentukan jenis dan tingkat kerusakan bantalan bola tersebut. Secara umum hasil percobaannya adalah bahwa sinyal getaran untuk bantalan yang baik mendekati harmonik (sinusoidal), sedangkan yang rusak sinyal getarannya berbentuk stokastik (random).

Bantalan sebagai pendukung gerakan poros, sangat besar perannya dalam operasi kerja pompa. Jenis bantalan yang banyak digunakan untuk menumpu poros pompa baik poros impeler maupun motor penggerak adalah bantalan gelinding.

Bantalan gelinding adalah salah satu jenis bantalan yang memungkinkan gerakan relatif secara radial pada sumbu geraknya. Elemennya terdiri dari bola, pemisah (cage), lintasan dalam (inner race), lintasan luar (outer race).



Gambar 1. Elemen Bantalan gelinding



Gambar 2. Sket Komponen komponen Bantalan gelinding

Beberapa penyebab kerusakan bantalan diantaranya adalah keretakan bantalan, keausan, pemasangan yang tidak sesuai, pelumasan yang tidak cocok, kerusakan dalam pembuatan komponen, diameter bola yang tidak sama. Dan getaran yang timbul tentu saja disebabkan oleh adanya gaya kontak pada kerusakan tersebut. Pada bantalan ideal, besarnya gaya kontak akan sama pada setiap bola dan pada setiap posisi bola. Bila pada bantalan bola terdapat kerusakan maka besarnya gaya kontak tidak lagi seragam. Hal inilah yang menimbulkan getaran yang tidak beraturan.

Cacat pada bantalan bola dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu cacat lokal dan cacat terdistribusi. Jenis cacat yang termasuk dalam cacat lokal adalah adanya goresan, keausan ataupun pecah pada lintasan dalam, lintasan luar dan bola. Sinyal yang dibangkitkan akibat cacat lokal ini berupa impuls, yaitu pada saat elemen rotasi bersentuhan dengan cacat lokal tersebut. Masing-masing kerusakan ini akan mengeksitasi frekuensi komponennya sebagai berikut:

A. Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (Inner Race)

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

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

dimana :

Nb = Jumlah bola (Number of balls),

fr = Frekuensi relatif antara inner race dan outer race (Hz),

Bd = Diameter bola (Ball diameter) mm,

Pd = Diameter Pitch (Pitch diameter) mm,
 α = Sudut kontak (Contact angle) derajat. (0° pada ball bearing)

B. Cacat Lokal pada Lintasan Luar (Outer Race)

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

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

C. Cacat Lokal pada Bola (Rolling Element)

Bila terdapat cacat pada bola, maka frekuensi impuls yang terjadi disebut Ball Spin Frequency (BSF). Besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

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

D. Cacat Lokal pada Pemisah (Cage)

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

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

Fundamental Train Frequency ini sama dengan kecepatan putar cage atau sama dengan kecepatan sumbu putar bola terhadap sumbu poros.

Jika geometri bantalan tidak diketahui, tetapi jumlah bola dan kecepatan putar mesin diketahui maka dapat digunakan pendekatan sebagai berikut:

$$FTF \approx f_r \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1,2}{Nb} \right)$$

$$BPFI \approx f_r \times \left(\frac{Nb}{2} + 1,2 \right)$$

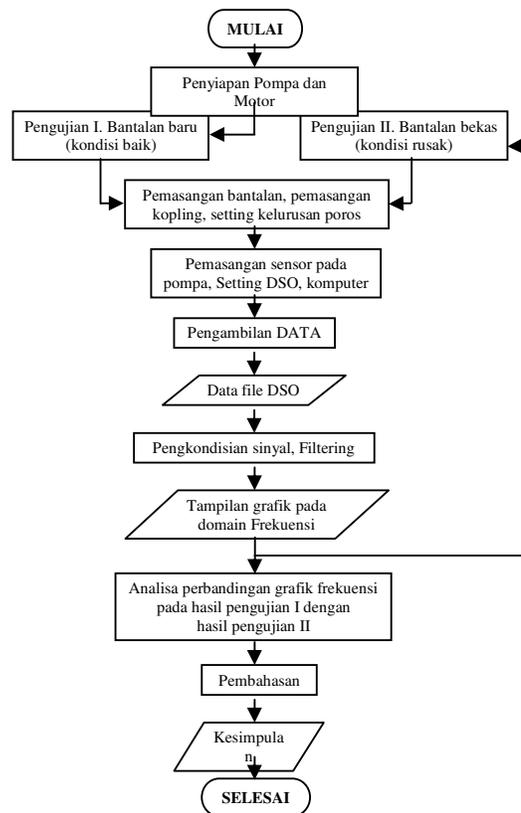
$$BPFO \approx f_r \times \left(\frac{Nb}{2} - 1,2 \right)$$

Cacat yang terjadi pada masing-masing komponen penyusun bantalan akan mengeksitasi frekuensi dari masing-masing komponen penyusun bantalan tersebut.

Untuk mengamati frekuensi dari masing-masing komponen maka sinyal getaran yang diukur oleh sensor getaran yang berupa sinyal pada domain waktu perlu diubah menjadi sinyal pada domain frekuensi

PELAKSANAAN PENELITIAN

Rangkaian kegiatan penelitian secara garis besar dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

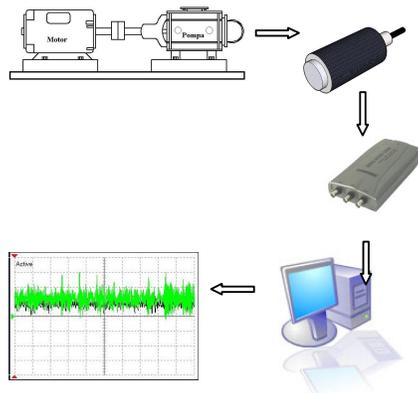
Alat dan Bahan

Pengujian dilakukan pada mesin Pompa Sentrifugal yang ada di Laboratorium Getaran Mekanis Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS. Rincian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Pompa Sentrifugal Merk SIHI (Motor 3 phase 5,5 HP)
- b. Bantalan Gelinding Seri 6305 (kondisi baik)
- c. Bantalan Gelinding Seri 6305 (kondisi rusak)
- d. Vibration Meter LUTRON VB 8200
- e. Dua buah Piezoelectric Accelerometer Sensor
- f. DSO-2100 USB AUTOTEK 2 Channel 100MS/s
- g. Komputer Dekstop dengan Software MATLAB Versi 7.0.1
- h. Dial Indicator dengan Magnetic Base
- i. Tachometer DT-2236

Pengambilan Data

Proses pengambilan data dalam penelitian ini secara skematis terlihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar.4. Skema proses pengambilan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

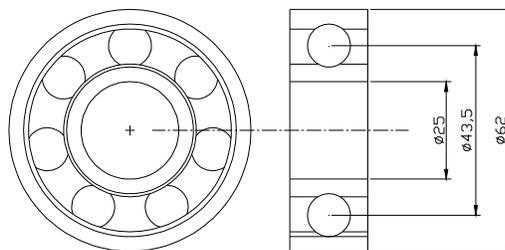
Data Penelitian

Spesifikasi pompa adalah sebagai berikut:

Tabel .1. Spesifikasi Pompa

Jenis pompa	Sentrifugal
Produsen	SIHI
Penggerak pompa	Motor 3 Phase
Daya Motor	5,5 HP
Putaran kerja	1495 rpm (24,91 Hz)

Bantalan yang diteliti adalah jenis bantalan gelinding dengan nomor seri 6305. Dimensi bantalan adalah sebagai berikut :



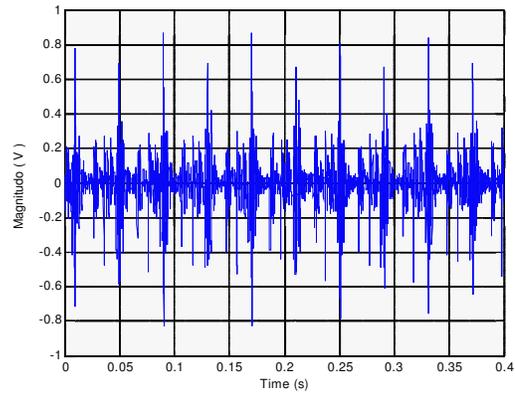
Gambar 5 Dimensi Bantalan Gelinding

Tabel 2. Dimensi Komponen Bantalan Gelinding

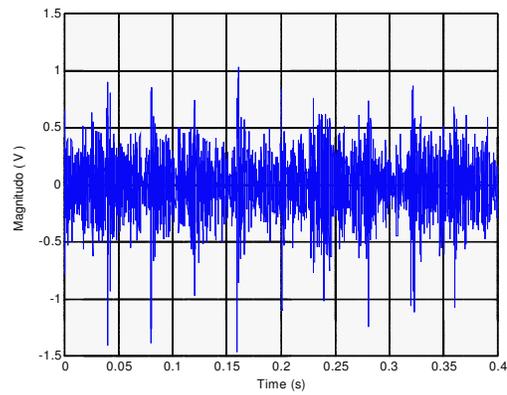
Ø luar	62 mm
Ø dalam	25 mm
Ø pitch	43,5 mm
Ø bola	11 mm
N (jumlah bola)	7
α (sudut kontak)	0°

Sinyal Getaran

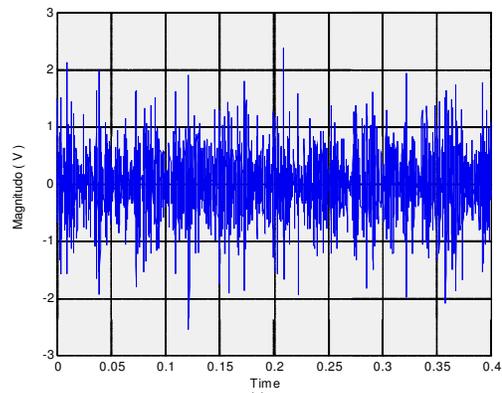
Berikut adalah sinyal hasil pengukuran getaran:



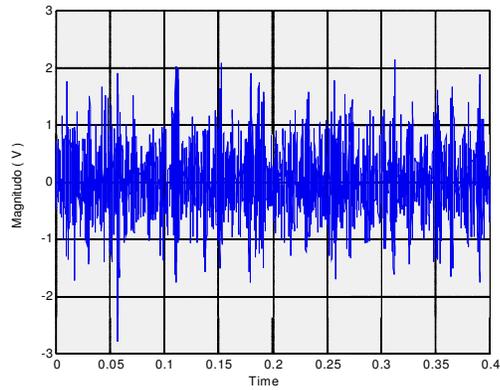
Gambar 6. Sinyal getaran bantalan baru



Gambar 7 Sinyal getaran bantalan rusak lintasan luar



Gambar 8 Sinyal getaran bantalan rusak lintasan dalam



Gambar 9. Sinyal getaran bantalan rusak pada bola

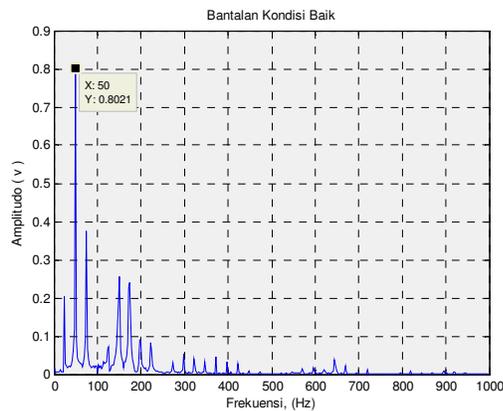
Analisa

Frekuensi putar masing masing komponen bantalan:

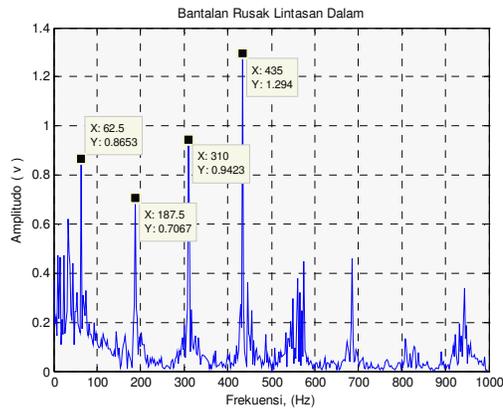
Tabel 2. Frekuensi Putar Masing-Masing Elemen Bantalan (Hz)

	1x	2x	3x	4x
BPFO	65.15	130.31	195.46	260.62
BPMFI	109.96	218.52	327.78	437.04
BSF	46.11	62.23	138.35	184.46
FTF	9.30	18.61	27.92	37.23

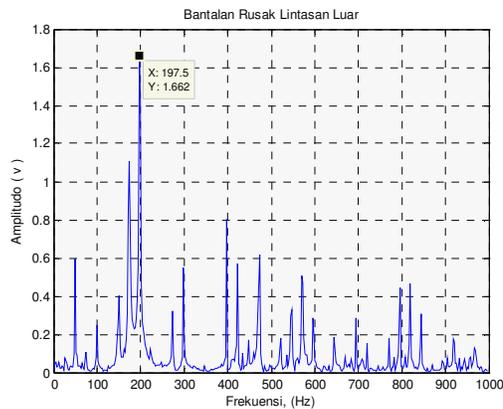
Spektrum sinyal getaran untuk berbagai kondisi bantalan ditampilkan pada gambar berikut:



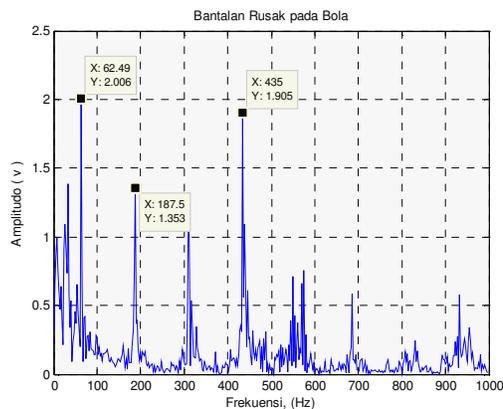
Gambar 10. Spektrum sinyal getaran bantalan kondisi baik.



Gambar 11. Spektrum sinyal getaran bantalan rusak lintasan dalam



Gambar 12. Spektrum sinyal getaran bantalan rusak lintasan luar.

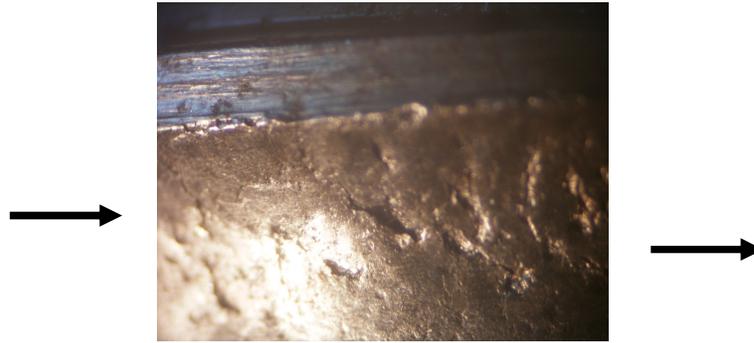


Gambar 13. Spektrum sinyal getaran bantalan rusak pada bola.

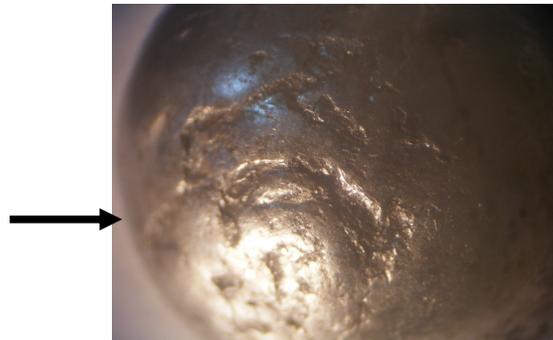
Pembahasan

Gambar 10 di atas yang merupakan spektrum sinyal getaran pompa dengan kondisi bantalan yang baik terlihat adanya amplitudo sebesar 0,8 V pada daerah frekuensi 50 Hz, ini adalah frekuensi kerja 2x harmonik dari frekuensi kerja pompa, yakni 24,9 Hz. Selain itu muncul juga puncak-puncak kecil pada frekuensi lain dengan amplitudo yang relatif kecil sehingga kondisi bantalan dapat diasumsikan dalam keadaan baik.

Pada gambar 11, terlihat adanya frekuensi dengan amplitudo tinggi dan dominan, pada frekuensi sekitar 435 Hz, dengan amplitudo sebesar 1,2 V. Ini adalah frekuensi harmonik pada 4xBPFI. Selain itu juga muncul frekuensi dengan amplitudo 0,9 V pada 187,5 Hz yang merupakan frekuensi putaran bola (*Ball Spin Frequency*). Munculnya frekuensi pada 4xBPFI dan 4xBSF adalah akibat adanya kerusakan pada komponen lintasan dalam dan permukaan bola sekaligus. Setelah bantalan dibongkar maka pada lintasan dalam dijumpai adanya lubang akibat korosi (*pitting*), dan adanya lubang pada bola gelinding seperti terlihat pada gambar 14 dan 15.berikut:



Gambar 14. Cacat pada Lintasan Dalam.



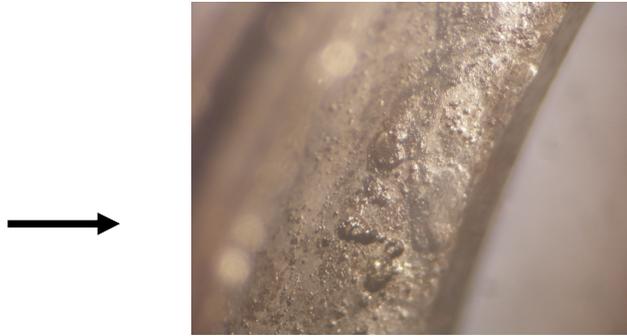
Gambar 15. Cacat pada Bola.

Adanya cacat ini mengakibatkan bola gelinding saat berputar akan berbenturan dengan permukaan cacat ini, sehingga terjadi gesekan dan akan meningkatkan gaya eksitasi pada bantalan. Hal ini akan membuat amplitudo getaran menjadi naik.

Pada gambar 12, terlihat adanya puncak amplitudo yang tinggi yakni 1,66 V pada frekuensi 197,5 Hz. Frekuensi ini merupakan fekuensi harmonik pada 3 x BPFO, artinya dapat disimpulkan pada bantalan ini terjadi kerusakan pada lintasan luarnya. Apabila bantalan mengalami cacat pada lintasan luarnya, maka akan terjadi gesekan (benturan) antara permukaan lintasan luar dengan bola ataupun pemisah (*cake*) saat berputar. Hal ini akan meningkatkan gaya eksitasi pada elemen yang tersebut, sehingga getaran akan bertambah besar.

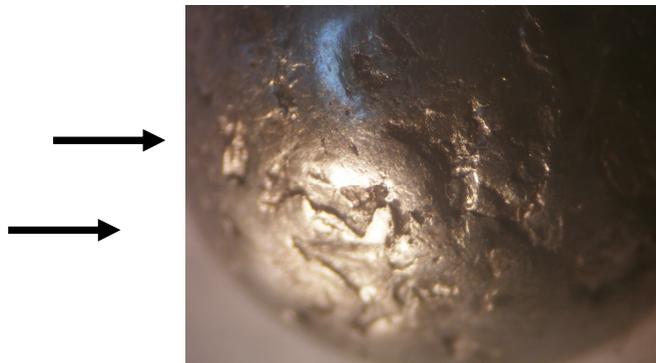
Selain itu amplitudo tinggi juga masih terlihat pada 2x RPM , artinya pompa yang diteliti kemungkinan masih mengalami *misalignment* pada porosnya. Walaupun amplitudo akibat *misalignment* ini tidak begitu tinggi.

Setelah dibuka, ternyata bantalan tersebut mengalami cacat pada permukaan lintasan luarnya. Kemungkinan besar, cacat ini disebabkan oleh korosi. Seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 16. Foto cacat Lintasan Luar

Pada gambar 13 terlihat adanya puncak-puncak amplitudo seperti 2 V pada frekuensi 62,49 Hz, 1,3 V pada frekuensi 187,5 Hz dan 1,9 V pada frekuensi 435 Hz. Puncak pada 62,5 Hz adalah akibat adanya cacat pada komponen bola, sehingga muncul frekuensi dengan amplitudo tinggi pada 2 x BSF nya. Selain itu, kerusakan bola juga akan menambah gesekan pada semua elemen bantalan, sehingga akan muncul beberapa puncak pada frekuensi tertentu. Gambar berikut ini menunjukkan adanya kerusakan yang terjadi pada permukaan elemen bola. Terlihat adanya cekungan pada permukaan bola.



Gambar 17. Foto Cacat pada Permukaan Bola

Elemen bola adalah bagian yang berhubungan langsung dengan semua elemen pada bantalan. Sehingga apabila terjadi kerusakan pada bola, maka gesekan (benturan) akan terjadi pada semua elemen. Dengan adanya kerusakan pada bantalan ini maka akan menaikkan semua komponen frekuensi pada masing-masing elemen. Hal inilah yang membuat terjadinya puncak pada frekuensi 4 x BPFI maupun 3 x BPFO.

KESIMPULAN dan SARAN

Kesimpulan

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

1. Adanya kerusakan pada komponen bantalan mengakibatkan peningkatan amplitudo pada sinyal getaran.
2. Peningkatan amplitudo yang terjadi pada frekuensi harmonik masing-masing komponen bantalan gelinding dapat mengindikasikan adanya kerusakan pada komponen bantalan gelinding.
3. Analisis frekuensi pada sinyal getaran dapat mendeteksi adanya gangguan pada komponen bantalan.

Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut untuk mendekati kondisi kerja pompa yang sebenarnya, misal penelitian dilakukan pada kondisi pompa beroperasi dengan beban.
2. Perlu dikembangkan metode untuk menganalisis sinyal getaran secara langsung sehingga dapat dimanfaatkan untuk memantau kondisi mesin secara on-line

DAFTAR PUSTAKA

- Contreras L., R., Modi, C., Pennathur, A., 2002, "Integrating Simulation modeling and Equipment Condition Diagnostig for Preidctive Maintenance", *Proceedings of The 2002 Winter Simulation Conferenæ*, hal. 1289 – 1296.
- Kreyszig, E., 1999, *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley and Sons Inc. New York.
- Lin J., Qu, L., 2000, "Future Extraction based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis", *Journal of Sound and Vibration*, Vol 234 (1), hal. 135-148.
- Rao, B.K.N., *Handbook of Condition Monitoring*, Elsevier Advanced Technology.
- Smith, S., W., 1999, *Digital Signal Processing*, Calofornia Technical Publishing, San Diego.
- Suhardjono, 2005, "Analisis Sinyal getaran Untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Banatalan Bola", *Jurnal Teknik Mesin* , FTI, Universitas Kristen Petra, Volume 7, April 2005.