

## Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Motor Listrik Dengan Analisa Sinyal Getaran

Riyan Ariyansah<sup>1</sup>, dan Nicky Yongkimandalan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Akademi Teknologi Bogor, Bogor

E-mail: riyan\_ariyansah@uhamka.ac.id

**Abstrak--** Preventive maintenance motor listrik diperlukan untuk menekan biaya perawatan dan biaya produksi karena mesin berhenti mendadak. Metode perawatan masa lalu dengan cara mendengarkan suara mesin dan menyentuh atau meraba tidak lagi handal untuk mesin-mesin modern saat ini. Metode tersebut digantikan dengan metode mendeteksi keadaan kondisi mesin secara langsung. Motor listrik banyak digunakan dalam dunia industri sebagai sumber penggerak mesin-mesin, komponen utama atau terpenting salah satunya adalah bantalan untuk mendukung putaran poros. Metode pendeteksian bantalan mengacu pada karakteristik sinyal getarannya. Penelitian ini dititik beratkan pada Analisa getaran yang terjadi pada bantalan motor listrik tipe single row deep groove ball bearing SKF 6202 RS pada kondisi lingkungan normal dan berdebu. Diagnosis kerusakan bantalan gelinding melalui sinyal getaran yang diperoleh berdasarkan ciri frekuensi khusus yang menandai timbulnya cacat, berupa Fundamental Train Frequency (FTF) yang terjadi pada sangkar, Ball Spin Frequency (BSF) pada bola, Ball Pass Frequency Outer (BPFO) pada lintasan luar, dan Ball Pass Frequency Inner (BPFI) pada lintasan dalam, sesuai dengan geometri bantalan dan kecepatan putar poros motor. Dari hasil eksperimen dan analisis data yang dilakukan, dapat diketahui bahwa peningkatan kerusakan yang terjadi pada bearing berdasarkan kemunculan getaran pada frekuensi FTF, BSF, BPFO dan BPFI mendekati nilai frekuensi per komponen bantalan yang dihitung manual. Bantalan yang mengalami kerusakan pada lintasan dalam menghasilkan amplitudo dominan pada 123,03 Hz (1xBPFI), kerusakan lintasan luar menghasilkan amplitudo dominan pada 228,92 Hz (3xBPFO), kerusakan bola akan menghasilkan amplitudo dominan pada 31,1 Hz (1xBSF) serta kerusakan sangkar akan menghasilkan amplitudo dominan pada 9,34 Hz. Selain itu kerusakan yang paling pertama muncul adalah pada lintasan dalam dikarenakan kontaminasi debu yang dimasukkan ke bantalan langsung bergesekan dengan lingkaran dalam bantalan sehingga kenaikan laju amplitudonya lebih tinggi dibandingkan kenaikan laju amplitude elemen bantalan bola lainnya.

**Kata kunci:** Bantalan SKF 6202 RS, FTF, BSF, BPFO, BPFI

**Abstract--** Preventive maintenance of electric motors is needed to reduce maintenance costs and production costs because the engine stops suddenly. The past maintenance methods of hearing to machine sounds and touching are no longer reliable for today's modern machines. This method was replaced by the method of detecting the state of the engine condition directly. Electric motors are widely used in the industrial world as a source of driving machines, the main or most important component, one of which is a bearing to support the rotation of the shaft. The method of detecting bearings refers to the characteristics of their vibration signals. This research focuses on the analysis of vibrations that occur in the electric motor bearing type single row deep groove ball bearing SKF 6202 RS under normal and dusty environmental conditions. Diagnosis of rolling bearing damage through vibration signals obtained based on special frequency characteristics that mark the occurrence of defects, in the form of Fundamental Train Frequency (FTF) that occurs in the cage, Ball Spin Frequency (BSF) on the ball, Ball Pass Frequency Outer (BPFO) on the outer track, and Ball Pass Frequency Inner (BPFI) on the inner track, according to bearing geometry and motor shaft rotational speed. From the results of experiments and data analysis conducted, it can be seen that the increase in damage that occurs to bearings based on the appearance of vibrations at the FTF, BSF, BPFO, and BPFI frequencies is close to the frequency value per bearing component calculated manually. Bearings that are damaged on the inner track produce dominant amplitude at 123.03 Hz (1x BPFI), damaged outer track produce dominant amplitude at 228.92 Hz (3x BPFO), ball damage will produce dominant amplitude at 31.1 Hz (1xBSF) as well as cage damage will produce a dominant amplitude at 9.34 Hz. In addition, the damage that appears first is on the inner track due to dust contamination that

is inserted into the bearing directly rubbing against the inner circle of the bearing so that the increase in the amplitude rate is higher than the increase in the amplitude rate of other ball bearing elements.

**Keywords:** Bearing SKF 6202 RS, FTF, BSF, BPFO, BPF1

**1. PENDAHULUAN**

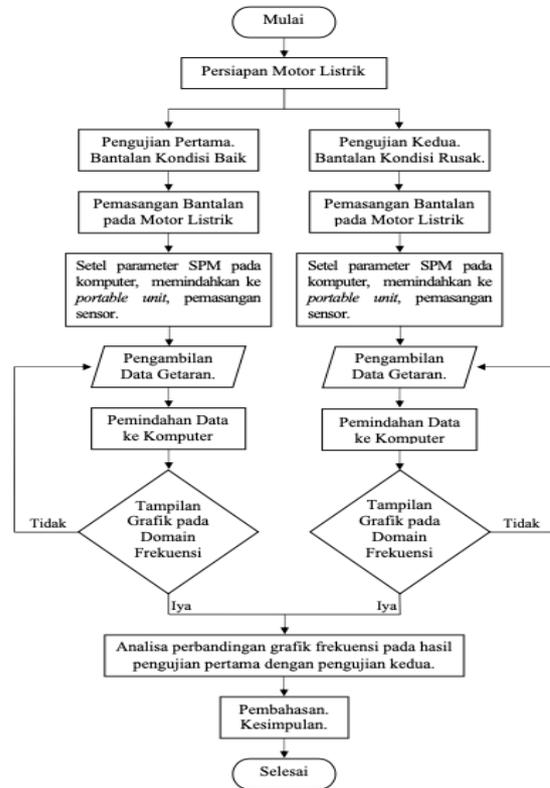
Elektrik motor merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan beroperasi pada putaran tinggi. Salah satu elemen mesin yang digunakan pada elektrik motor untuk menunjang putaran tinggi adalah bantalan. Seiring perubahan teknologi, maka diperlukan suatu metode untuk dapat memprediksi kerusakan mesin sebelum terjadinya kerusakan. Hal ini dikenal dengan *preventive maintenance*. Indikasi adanya permasalahan permesinan pada bantalan yaitu dapat ditentukan dari pola getaran yang ditimbulkannya. Hal ini, karena kerusakan atau keausan serta deformasi dari elemen bantalan akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran. Jenis dan tingkat kerusakan dengan mengacu pada karakteristik sinyal getarannya.

Metode ini banyak diaplikasikan sebagai pemantauan kondisi mesin yang ekonomis, yaitu manajemen perawatan yang didasarkan pada pemantauan kondisi mesin secara langsung. Dari uraian tersebut, bagaimana mendeteksi adanya kerusakan bantalan pada motor listrik berdasarkan karakteristik sinyal getarannya. Bertujuan melakukan deteksi terhadap kerusakan yang terjadi pada motor listrik, mengetahui karakteristik sinyal getaran yang dihasilkan, dan mengetahui jenis kerusakan bantalan yang terjadi. Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah motor listrik menggunakan jenis bantalan gelinding, diasumsikan kerusakan hanya terjadi pada bantalan saja sedangkan komponen lain dalam kondisi baik dan motor listrik diteliti dalam kondisi operasi tanpa beban. 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 [1].

**2. METODOLOGI**

**2.1 Diagram Alir Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian yaitu pengujian pertama dengan kondisi bantalan (*bearing*) yang baik dan pengujian kedua dengan kondisi bantalan (*bearing*) yang telah rusak. Kedua pengujian tersebut dilakukan terhadap motor listrik yang sama. Rangkaian kegiatan penelitian dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 1) di bawah ini.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

**2.2 Alat dan Bahan Penelitian**

**2.2.1 Bantalan Gelinding 6202 RS**

Bantalan yang diteliti berjenis *deep groove ball bearing* dengan nomor seri 6202 RS. Artinya bantalan (*bearing*) memiliki spesifikasi diameter dalam (*bore diameter*) 15 mm, diameter luar 35 mm, tebal 11 mm serta menggunakan penutup sil karet (*rubber seal*) pada sisi bantalan (*bearing*). Bantalan ini memiliki jumlah bola sebanyak delapan buah dengan sudut kontak nol derajat. Dalam penelitian ini digunakan dua jenis kondisi bantalan yaitu kondisi baik (baru) dan kondisi bekas (rusak). Bantalan dengan kondisi baik dapat dilihat pada Gambar 2. Bantalan dengan kondisi rusak dapat dilihat pada Gambar 3. Penelitian untuk bantalan rusak adalah bantalan yang mengalami kerusakan dengan sengaja. Bantalan dalam kondisi baik diberikan kontaminasi berupa pasir sehingga diharapkan akan terbentuk kerusakan pada beberapa bagian dari bantalan. Dalam prakteknya, kerusakan sering terjadi karena aus, korosi dan baret-baret karena kontak-minasi kotoran.



Gambar 2. Bantalan dengan kondisi baik (baru)



Gambar 3. Bantalan dengan kondisi rusak (bekas).

**2.2.2 Motor Listrik**

Motor listrik yang digunakan pada penelitian ini memiliki merek dagang modern. Berjenis motor induksi AC (*Alternating Current*) 1 phase, berdaya ¼ HP dengan putaran kerja 1400 rpm. Gambar motor listrik ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Motor listrik 1 phase, ¼ HP.

**2.2.3 Piezoelectric Accelerometer Sensor**

Sensor *accelerometer* memanfaatkan sifat kristal *piezoelectric* yang mampu mengeluarkan muatan saat terkena tekanan maupun sebaliknya dan berfungsi untuk mengubah sinyal getaran menjadi sinyal tegangan listrik. Sensor ini dipasang pada sisi luar rumah bantalan. Penggunaan sensor untuk mengukur percepatan getaran dalam arah axial dan radial. Sensor *piezoelectric* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sensor piezoelectric.

**2.2.4 Portable Unit Leonova Emerald - EME405**

SPM (*Shock Pulse Meter*) unit digunakan untuk mengetahui bentuk gelombang, amplitudo dan beda fasa dari sinyal-sinyal yang masuk ke alat ini. Sistem SPM memiliki frekuensi resonansi sekitar 32 KHz. Sensor *accelerometer* dihubungkan ke *portable unit* ini kemudian data dapat dipindahkan ke Komputer. Alat ini dihubungkan dengan computer untuk menampilkan sinyal-sinyal ter-sebut selama motor listrik bekerja. Penghubung antara SPM unit ini dengan komputer adalah *port USB*.

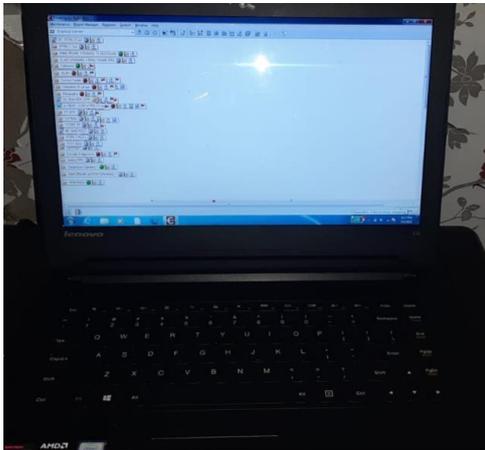


Gambar 6. Portable unit SPM

**2.2.5 Komputer Dekstop dengan Software SPM Condmaster**

Komputer berfungsi untuk menyimpan data sinyal dari SPM *portable* dengan menggunakan *port USB*, yang sudah dilengkapi dengan *software* untuk menampilkan sinyal getaran dan sinyal

yang diterima oleh *portable unit*. Aplikasi ini juga sudah mendukung perhitungan untuk FFT sinyal getaran. Rekam data dalam file dapat ditransfer dan dilihat pada software SPM Condmaster. Hasil data dapat diexport ke word dengan ekstensi .doc. Komputer dengan software SPM Condmaster dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Komputer dengan Software SPM Condmaster.

### 2.2.6 Tachometer TM-7000

Alat ini dilengkapi dengan dua jenis sensor putaran yaitu jenis foto sensor dan sensor kecepatan permukaan (langsung disentuhkan pada poros). Alat ini juga mampu mengukur putaran dalam berbagai keluaran satuan, seperti dalam satuan *rpm*, *mm/min* dan *ft/min*. Alat ini memiliki tingkat akurasi ±0,01% Tachometer TM-7000 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Tachometer TM-7000

### 2.3 Jenis Kerusakan Bantalan (*bearing*)

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 karena cacat lokal ini berupa *impuls*, yaitu pada saat elemen

rotasi bersentuhan dengan cacat lokal tersebut. Jenis-jenis cacat lokal pada bantalan adalah 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:

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

(1)

Dimana:

- Nb = Jumlah bola.
- fr = Frekuensi putaran mesin (Hz).
- Bd = Diameter bola (mm).
- Pd = Diameter *pitch* (mm).
- α = Sudut kontak (derajat), bernilai nol derajat untuk bantalan seri 6xxx).

- 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:

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

(2)

Dimana:

- Nb = Jumlah bola.
- fr = Frekuensi putaran mesin (Hz).
- Bd = Diameter bola (mm).
- Pd = Diameter *pitch* (mm).
- α = Sudut kontak (derajat), bernilai nol derajat untuk bantalan seri 6xxx).

- 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:

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

(3)

Dimana:

- Nb = Jumlah bola.
- fr = Frekuensi putaran mesin (Hz).
- Bd = Diameter bola (mm).
- Pd = Diameter *pitch* (mm).
- α = Sudut kontak (derajat), bernilai nol derajat untuk bantalan seri 6xxx).

- d) Cacat lokal pada pemisah (*cage*).  
 Frekuensi akibat adanya cacat pada pemisah (*cage*) disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF). FTF ini sama dengan kecepatan putar *cage* atau sama dengan kecepatan sumbu putar bola terhadap sumbu poros. Besarnya FTF dapat dihitung dengan persamaan:

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

Apabila pada bantalan bola terdapat cacat terdistribusi, maka gaya kontak akan berubah secara periodik. Jenis cacat yang termasuk dalam kategori cacat terdistribusi ini adalah ketidak-bulatan lintasan luar dan lintasan dalam, ketidak-samaan sumbu (*misalignment*) antara sumbu lintasan luar dan lintasan dalam, serta ketidak-samaan dimensi bola.

**2.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini dapat dibagi dalam beberapa tahap, yaitu persiapan motor listrik, pengambilan data, pengolahan data dan analisa data.

**2.4.1 Tahap Penyiapan motor listrik**

Dalam penelitian ini, motor listrik bekerja tanpa beban. Pengaturan untuk motor listrik adalah sebagai berikut:

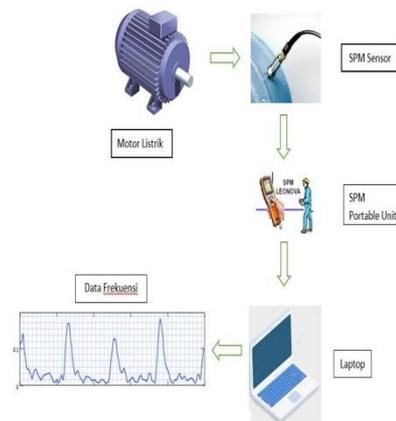
- a. Pertama-tama memeriksa dan memastikan kondisi motor listrik dalam kondisi sesuai yang diinginkan.
- b. Setelah itu memasang bantalan baru (untuk percobaan I) pada rumah bantalan.

**2.4.2 Tahap Pengambilan Data**

Setelah motor listrik disiapkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan data, pengujian yang pertama menggunakan bantalan baru, dan pengujian kedua menggunakan bantalan bekas. Kedua tahap percobaan tersebut adalah sama, yaitu:

- a. Menghidupkan motor.
- b. Mengukur putaran poros dengan menggunakan *tachometer*.
- c. Memasang sensor *accelerometer* pada rumah bantalan sejajar posisi sumbu x dan sumbu y.
- d. Kemudian merekam data sinyal getaran dengan SPM *portable unit*.
- e. Memindahkan data yang telah diambil ke laptop

Gambaran proses pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Proses Pengambilan Data.

**2.4.3 Tahap Pengolahan Data**

Metode analisa pertama yaitu dengan mencari frekuensi dengan persamaan BPF1, BPFO, BSF, FTF.

*Ball Pass Frequency Inner* (BPF1) akan muncul dengan amplitudo tinggi apabila bantalan mengalami kerusakan pada lintasan dalamnya. *Ball Pass Frequency Outer* (BPFO) akan muncul dengan amplitudo tinggi apabila bantalan mengalami kerusakan pada lintasan luarnya. *Ball Spin Frequency* (BSF) akan muncul dengan amplitudo tinggi apabila bantalan mengalami kerusakan pada bolanya. *Fundamental Train Frequency* (FTF) akan muncul dengan amplitudo tinggi apabila bantalan mengalami kerusakan pada elemen pemisahannya (*cage*). Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, nilai frekuensi yang sesuai/mendekati pada hasil pengolahan sinyal dapat dicari. Data yang direkam oleh SPM *portable unit* akan diproses dengan menggunakan program *Condmaster*, dengan algoritma sebagai berikut:

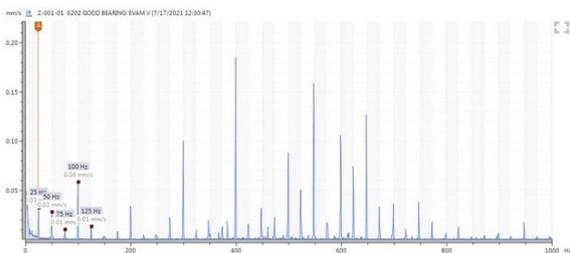
- a. *Load data SPM.*  
Menentukan *filter* untuk menghilangkan *noise*. Melakukan proses FFT.
- b. *Plot data output.*  
Setelah hasil plot grafik didapatkan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap grafik tersebut.

**2.4.4 Tahap Analisa Data**

Membandingkan karakteristik getaran antara bantalan kondisi baik dengan bantalan kondisi rusak, pada domain frekuensi. Parameter yang di-bandingkan adalah amplitudo dan frekuensi. Karena amplitudo sebanding dengan besarnya gaya eksitasi yang terjadi pada komponen bantalan. Apabila terjadi kerusakan pada komponen bantalan, maka timbul amplitudo tinggi pada frekuensi tertentu.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal frekuensi dari bantalan baru diambil sampai dengan 100 order. Sinyal amplitudo hanya diambil pada beberapa titik awal untuk membuktikan bah-wa nilai yang terdeteksi adalah nilai 1450 rpm atau 24,92 Hz. Grafik sinyal amplitudo dan frekuensi pada bantalan baik dapat dilihat pada Gambar 10. Pada grafik terlihat adanya frekuensi pada daerah frekuensi 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz, 125 Hz dan seterusnya ini adalah frekuensi kerja 2x, 3x, 4x, 5x harmonik dan seterusnya. Kemungkinan akan muncul puncak amplitude pada frekuensi tersebut atau pada harmoniknya karena motor listrik yang diteliti berputar pada 24,92 Hz. Walaupun puncak dengan frekuensi berbeda seperti pada 75 Hz dan 100 Hz juga terlihat. Frekuensi lainnya ini bisa berasal dari gejala *misalignment*, *clearance* atau-pun dari komponen bantalan. Namun tidak me-miliki amplitudo yang tinggi artinya tidak terjadi kerusakan pada komponen tersebut dan bisa diabaikan.



**Gambar 10.** Sinyal amplitudo vs frekuensi pada bantalan baik.

Nilai masing-masing frekuensi putar (*rotational frequency*) elemen bantalan dapat dihitung dengan persamaan (1) sampai dengan (4). Dari spesifikasi motor listrik dan bantalan 6202RS diketahui:

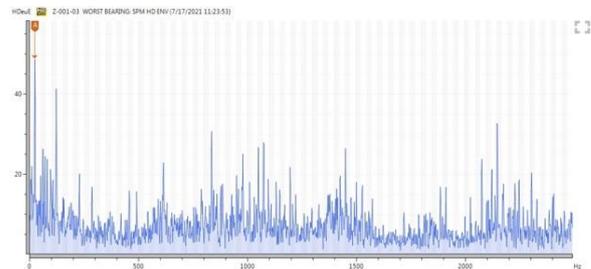
- a)  $f_r = 24,92$  Hz
- b)  $B_d = 6$  mm
- c)  $P_d = 25,26$  mm
- d)  $\alpha = 0^\circ$
- e)  $N_b = 8$

Untuk satu kali frekuensi putar, didapat nilai BPF1 sebesar 123,31 Hz, BPFO sebesar 75,95 Hz, BSF sebesar 15,51 Hz dan FTF sebesar 9,49 Hz. Untuk dua kali frekuensi putar, nilai dari masing-masing BPF1, BPFO, BSF dan FTF dikalikan dua. Untuk tiga dan empat frekuensi putar pun sama yaitu nilai dari masing-masing BPF1, BPFO, BSF dan FTF dikalikan saja tiga dan empat. Nilai dari BPF1, BPFO, BSF dan FTF untuk ke empat frekuensi putar dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai masing-masing frekuensi bantalan.

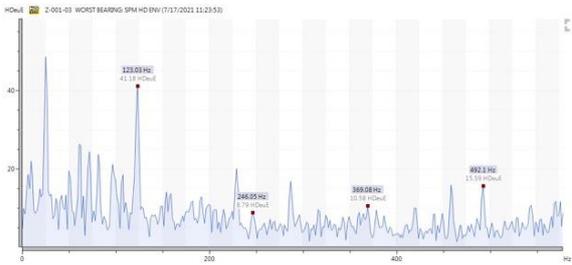
Jenis Frekuensi bantalan.	Frekuensi Putar			
	1x	2x	3x	4x
BPF1	123,31	246,62	369,93	493,24
BPFO	75,95	151,90	227,85	303,80
BSF	15,51	31,02	46,53	62,04
FTF	9,49	18,98	28,47	37,96

Sinyal frekuensi dari bantalan rusak diambil sampai dengan 100 order. Grafik sinyal amplitudo dan frekuensi pada bantalan rusak dapat dilihat pada Gambar 11. Untuk mendapatkan sinyal frekuensi yang lebih jelas, maka dalam pengukuran pada bantalan kondisi rusak menggunakan teknik HD *enveloping* yang ada pada *software cond-master* sehingga hasil spektrum frekuensi menjadi lebih jelas. Hal ini dikarenakan bahwa kerusakan bantalan yang terjadi masih dalam tahap awal sehingga dengan pengukuran vibrasi biasa akan menghasilkan sinyal frekuensi yang tidak tajam dan jelas.



**Gambar 11.** Sinyal amplitudo vs frekuensi pada bantalan rusak.

Apabila bantalan mengalami cacat pada lintasan dalamnya, maka akan terjadi gesekan antar permukaan lintasan dalam dengan bola ataupun pemisah (*cage*) saat berputar. Hal ini meningkatkan gaya eksitasi pada elemen tersebut, sehingga amplitudo getaran akan bertambah besar. Ber-tambahnya getaran ini akan terlihat pada ampli-tudo yang mengalami kenaikan pada kisaran BPF1-nya. Data sinyal frekuensi kerusakan sudah dilakukan proses pembesaran dari grafik Gambar 11. Sehingga bisa didapatkan sinyal frekuensi ke-rusakan yang lebih jelas. Pembesaran dilakukan hingga area 700 Hz. Terlihat grafik menjadi lebih halus, sinyal yang bersih dari noise akan me-mudahkan proses FTF dan menghindari adanya frekuensi tidak dikenal yang muncul setelah per-hitungan FTF. Hasil pembesaran untuk frekuensi BPF1 dapat dilihat pada grafik Gambar 12. Terlihat adanya frekuensi dengan amplitudo tinggi dan dominan pada kisaran 246,05 Hz, 369,08 Hz dan 492,1 Hz. Ini adalah frekuensi untuk 2x sampai dengan 4x harmonik dari BPF1.



**Gambar 12.** Sinyal frekuensi BPFI *bearing* rusak.

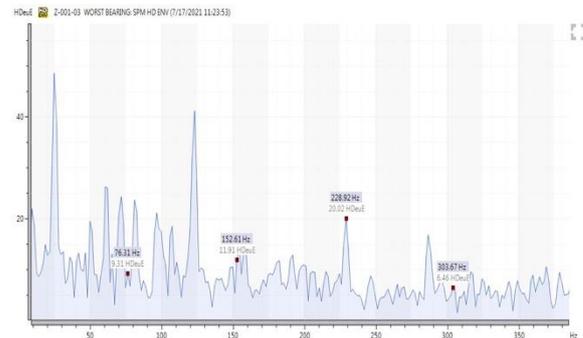
Grafik Gambar 12 terlihat bentuk gelombang yang tidak harmonik. Pada frekuensi tinggi juga muncul amplitudo yang bervariasi. Hal ini mengindikasikan kerusakan pada komponen dalam bantalan. Jika dibandingkan hasil pada Tabel 1 terlihat kesamaan pada frekuensi BPFI yang muncul pada 123,31 Hz, 246,62 Hz, 369,93 Hz serta 493,24 Hz. Setelah data diolah, maka bantalan tersebut dibongkar. Dari hasil pengamatan terbukti bahwa bantalan tersebut mengalami kerusakan yang parah pada lintasan dalamnya, yang dapat dilihat pada Gambar 13. Cacat lintasan dalam yang paling sering muncul adalah adanya goresan (*scratch*) dan terkelupas (*peeling*).



**Gambar 13.** Lintasan dalam *bearing* yang rusak.

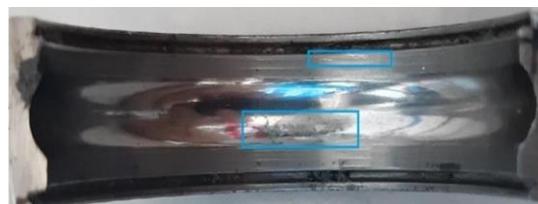
Apabila *bearing* mengalami cacat pada lintasan luarnya, maka terjadi gesekan antar permukaan lintasan luar dengan bola ataupun *cage* saat berputar. Hal ini meningkatkan gaya eksitasi pada elemen tersebut, sehingga amplitudo getaran akan bertambah besar. Bertambahnya getaran ini akan terlihat pada amplitudo yang mengalami kenaikan pada kisaran BPFO-nya. Data sinyal frekuensi kerusakan sudah dilakukan proses pembesaran dari grafik Gambar 11. Sehingga bisa didapatkan sinyal frekuensi ke-*rusakan* yang lebih jelas. Pembesaran dilakukan hingga area 400 Hz. Terlihat grafik menjadi lebih halus, sinyal yang bersih dari noise akan memudahkan proses FTF dan menghindari adanya frekuensi tidak dikenal yang muncul setelah per-*hitungan* FTF. Hasil pembesaran untuk frekuensi BPFO dapat dilihat pada grafik

Gambar 14. Terlihat adanya frekuensi dengan amplitudo tinggi dan dominan pada kisaran 152,61 Hz, 228,92 Hz dan 303,67 Hz. Ini adalah frekuensi untuk 2x sampai dengan 4x harmonik dari BPFO.



**Gambar 14.** Sinyal frekuensi BPFO *bearing* yang rusak.

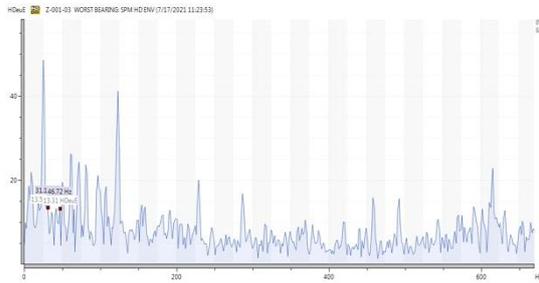
Grafik Gambar 14 terlihat bentuk gelombang yang tidak harmonik. Pada frekuensi tinggi juga muncul amplitudo yang bervariasi. Hal ini mengindikasikan kerusakan pada komponen dalam bantalan. Jika dibandingkan hasil frekuensi BPFO pada Tabel 1 terlihat kesamaan frekuensi yang muncul pada 75,95 Hz, 151,90 Hz, 227,85 Hz serta 303,80 Hz. Setelah data diolah, maka bantalan tersebut dibongkar. Dari hasil pengamatan terbukti bahwa bantalan tersebut mengalami kerusakan yang parah pada lintasan dalamnya, yang dapat dilihat pada Gambar 15. Cacat lintasan dalam yang paling sering muncul adalah adanya goresan (*scratch*) dan terkelupas (*peeling*).



**Gambar 15.** Lintasan dalam *bearing* yang rusak.

Ketika satu atau lebih bola mengalami kerusakan seperti lecet, tergores. Maka pengaruh cacat akan berlipat, sehingga frekuensi getaran akibat cacat lebih terlihat pada 2x BSF daripada frekuensi BSF fundamentalnya. Bertambahnya getaran ini akan terlihat pada amplitudo yang mengalami kenaikan pada kisaran BSFnya. Data sinyal frekuensi kerusakan sudah dilakukan proses pembesaran dari grafik Gambar 11. Sehingga bisa didapatkan sinyal frekuensi kerusakan yang lebih jelas. Pembesaran dilakukan

hingga area 700 Hz. Terlihat grafik menjadi lebih halus, sinyal yang bersih dari noise akan memudahkan proses FTF dan menghindari adanya frekuensi tidak dikenal yang muncul setelah perhitungan FTF. Hasil pembesaran untuk frekuensi BSF dapat dilihat pada Grafik Gambar 16.



**Gambar 16.** Sinyal frekuensi BSF *bearing* rusak.

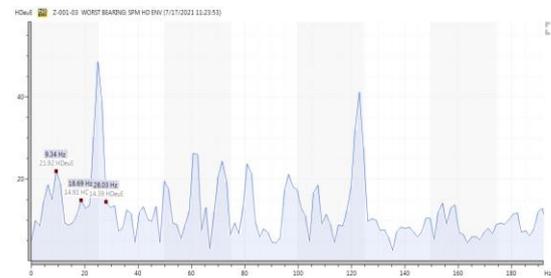
Grafik Gambar 16 terlihat adanya frekuensi dengan amplitudo tinggi dan dominan pada kisaran 31,10 Hz dan 46,72 Hz. Ini adalah frekuensi dari 1x dan 2x harmonik dari BSF. Sinyal frekuensi ini terdeteksi dikarenakan adanya kerusakan pada komponen elemen gelinding bantalan. Jika dibandingkan hasil frekuensi BSF pada Tabel 1 terlihat kesamaan frekuensi yang muncul pada 31,02 Hz, dan 46,53 Hz. Setelah data diolah, maka bantalan tersebut dibongkar. Dari hasil pengamatan terbukti bahwa bantalan tersebut mengalami kerusakan yang parah pada lintasan dalamnya, yang dapat dilihat pada Gambar 17. Cacat lintasan luar yang muncul adalah terkelupas (*pealing*). Saat berputar, lintasan dalam serta luar akan berbenturan dengan permukaan cacat ini, sehingga terjadi gesekan dan akan meningkatkan gaya eksitasi pada *bearing*.



**Gambar 17.** Cacat sangkar pada *bearing* rusak.

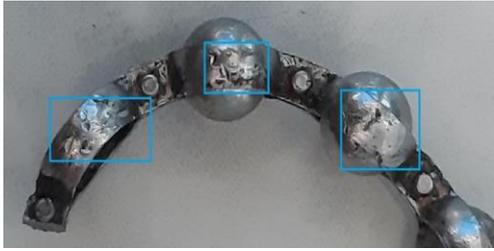
Apabila *bearing* mengalami cacat pada sangkarnya, maka terjadi gesekan antar

permukaan lintasan luar atau dan lingkaran dalam dengan bola ataupun *cage* saat berputar. Hal ini meningkatkan gaya eksitasi pada elemen ter-sebut, sehingga amplitudo getaran akan bertambah besar. Bertambahnya getaran ini akan terlihat pada amplitudo yang mengalami kenaikan pada kisaran FTF-nya. Data sinyal frekuensi kerusakan sudah dilakukan proses pembesaran dari grafik Gambar 11. Sehingga bisa didapatkan sinyal frekuensi kerusakan yang lebih jelas. Pembesaran dilakukan hingga area 200 Hz. Terlihat grafik menjadi lebih halus, sinyal yang bersih dari noise akan memudahkan proses FTF dan menghindari adanya frekuensi tidak dikenal yang muncul setelah perhitungan FTF. Hasil pembesaran untuk frekuensi BPFO dapat dilihat pada grafik Gambar 18. Terlihat adanya frekuensi dengan amplitudo tinggi dan dominan pada kisaran 18,69 Hz, serta 28,03 Hz. Ini adalah frekuensi 3x FTF dan 2x harmonik dari FTF.



**Gambar 18.** Sinyal frekuensi FTF *bearing* rusak.

Grafik Gambar 18 terlihat bentuk gelombang yang tidak harmonik. Pada frekuensi tinggi juga muncul amplitudo yang bervariasi. Hal ini mengindikasikan kerusakan pada komponen dalam bantalan. Jika dibandingkan hasil frekuensi FTF pada Tabel 1 terlihat kesamaan frekuensi yang muncul pada 9,49 Hz, 18,98 Hz dan 28,47 Hz. Setelah data diolah, maka bantalan tersebut dibongkar. Dari hasil pengamatan terbukti bahwa bantalan tersebut mengalami kerusakan yang parah pada lintasan dalamnya, yang dapat dilihat pada Gambar 19. Cacat lintasan luar yang muncul adalah terkelupas (*pealing*). Saat berputar, lintasan dalam serta luar akan berbenturan dengan permukaan cacat ini, sehingga terjadi gesekan dan akan meningkatkan gaya eksitasi pada *bearing*.



**Gambar 19.** Cacat sangkar pada *bearing* rusak.

#### 4. KESIMPULAN

Dari Analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a) Pada domain frekuensi, karakteristik frekuensi sinyal getaran pada bantalan kondisi baik adalah mendekati harmonik dimana akan terdeteksi spektrum getaran pada 1x rotasi (25 Hz) serta kelipatannya. Sedangkan bantalan rusak memiliki karakteristik frekuensi yang acak (*random*).
- b) Pada domain frekuensi, indikasi pertama kerusakan bantalan dapat diamati pada daerah kisaran frekuensi tinggi.
- c) Bantalan yang mengalami kerusakan pada lintasan dalam menghasilkan amplitudo dominan pada 123,03 Hz (1x BPFI), kerusakan lintasan luar menghasilkan amplitudo dominan pada 228,92 Hz (3x BPFO), kerusakan bola akan menghasilkan amplitudo dominan pada 31,1 Hz (1xBSF) serta kerusakan sangkar akan menghasilkan amplitudo dominan pada 9,34 Hz.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suhardjono S. (2005). Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing). *Jurnal Teknik Mesin, Petra Christian University*. 6(2): 39-48.
- [2]. Wibowo T, Isranuri I, Abda S, dkk. (2018). Studi Eksperimental Sinyal Vibrasi Untuk Mendeteksi Jenis Kerusakan Bearing UCP-204. *Jurnal Dinamis*. 6(2): 35-48.
- [3]. Riva'i M, Pranandita N. (2018). Analisa Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing) Berdasarkan Signal Getaran. *Jurnal Manutech*. 10(2): 41-46.
- [4]. Kamiel B.P, Mulyani, Sunardi. (2017). Deteksi Cacat Bantalan Bola Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. 20(2): 204-215.
- [5]. Setiyadi M.T, Raharjo P. (2016). Karakteristik Getaran Pada Bantalan Bola

- Menyelaras Sendiri Karena Kerusakan Sangkar. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 11(1): 1-8.
- [6]. Taribuka S.M. (2011). Analisa Penyebab Getaran Yang Terjadi Pada Mesin Gerinda Bangku (*Bench Grinding Machine*). *Jurnal Teknologi*. 8(2): 921-926.
  - [7]. Malta J, Wahyudi B.I, Bur M. (2014). Analisis Getaran Bantalan Rotor Skala Laboratorim untuk Kondisi Lingkungan Normal dan Berdebu. *TeknikA*, 21(3): 36-49.
  - [8]. Mobley R.K, Lindley R, Higgins dan Darwin J, Wikoff. (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. Seventh Edition. NewYork: McGraw-Hill Book Company.
  - [9]. Bagia I.N, Parsa I.M. (2018). *Motor-motor Listrik*. Bandung: Rasi Terbit.
  - [10]. Thomson W.T, Prasetyo L. (1981). *Teori Getaran dengan Penerapan*. Edisi ke 2. Cetakan ke 2. Jakarta: Erlangga.
  - [11]. Goldman S. (1999). *Vibration Spectrum Analysis A Practical Approach*. Second Edition. NewYork: Industrial Press Inc.