

# KARAKTERISTIK GETARAN PADA BANTALAN BOLA MENYELARAS SENDIRI KARENA KERUSAKAN SANGKAR

Muhamad Tesar Setiyadi dan Parno Raharjo

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung  
parno\_raharjo@yahoo.com

## Abstrak

Pengukuran getaran merupakan teknik inspeksi yang cukup handal untuk menentukan karakteristik getaran pada bantalan gelinding yang mengalami kerusakan. Kerusakan bantalan gelinding terdiri dari kerusakan pada outer ring, inner ring, bola dan sangkar (*cage*). Karakteristik getaran pada bantalan gelinding yang mengalami kerusakan *cage* dapat diketahui dengan percobaan pada test rig. Parameter pengukuran getaran yaitu variasi putaran dan tingkat kerusakan pada *cage* (kerusakan ringan, sedang dan berat). Analisa yang digunakan adalah analisa comparative, trending dan descriptive dari amplitudo, sinyal (*time domain*) dan spektrum (*frequency domain*). Berdasarkan hasil pengukuran dan analisa diketahui bahwa terjadi korelasi positif antara tingkat kerusakan *cage* terhadap amplitudo getaran. Fundamental train frequency pada bantalan gelinding 1207K dengan kerusakan *cage* yang diputar 1200 rpm adalah 8.4 Hz.

**Kata Kunci :** “*cage*”, “*frequency domain*”, “*time domain*”, “*fundamental train frequency*”.

## 1. Pendahuluan

Industri menggunakan mesin-mesin rotari yang di dalam mesin tersebut terdapat suatu komponen mesin yang sangat penting yaitu bantalan (*bearing*). Bantalan adalah suatu elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu beban mesin melalui sebuah poros. Bantalan memiliki fungsi yang sangat penting dalam keberhasilan dan keefektifitasan mesin tersebut. Apabila bantalan terjadi kerusakan maka mesin tersebut akan mengalami penurunan kinerja sehingga akan berdampak buruk terhadap fungsi dan keselamatan kerja.

Bantalan memiliki berbagai jenis dan bentuk sesuai dengan fungsinya yaitu bantalan gelinding dan bantalan luncur. Salah satu jenis bantalan gelinding adalah *self aligning ball bearing*. Bantalan ini terdiri dari cincin luar yang meliputi lintasan luar dan cincin dalam yang meliputi lintasan dalam, bola dan sangkar (*cage*). Bagian-bagian itulah yang sering kerusakan pada *rolling bearing*. Kerusakan-kerusakan pada bantalan tidak akan terjadi secara tiba-tiba namun akan berlangsung secara bertahap dari kerusakan yang ringan menjadi kerusakan sedang dan akhirnya menjadi kerusakan yang berat.

Teknik pengukuran dan analisa getaran pada bantalan dapat mengetahui kerusakan awal dan penyebab kerusakannya

Salah satu kerusakan pada *self aligning ball bearing* adalah kerusakan sangkar atau *cage*. Untuk mengetahui karakteristik getaran pada *self aligning ball bearing* karena kerusakan diperlukan suatu percobaan. Karakteristik getaran karena kerusakan *cage* dilakukan dengan cara membandingkan ciri-ciri dan karakteristik getaran pada bantalan dengan kondisi normal (tidak mengalami kerusakan pada *cage*) dengan bantalan yang telah mengalami kerusakan pada *cage*. Oleh karena itu diperlukan pengukuran dan analisis getaran pada bantalan menyelaras sendiri dengan kondisi normal dan bantalan menyelaras sendiri yang mengalami kerusakan. Analisa amplitudo sinyal getaran dan analisa spektrum getaran pada bantalan gelinding dapat digunakan untuk mengetahui ciri-ciri dan karakteristik getaran pada bantalan menyelaras sendiri dengan kerusakan *cage*.

## 2. Tinjauan Teori

Pengukuran getaran dapat digunakan untuk mengetahui gejala kerusakan suatu mesin dan

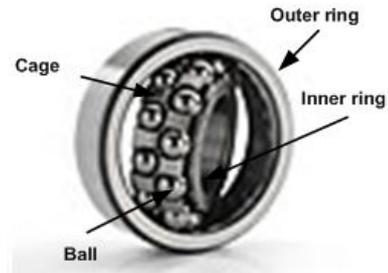
karakteristik suatu kerusakan. Salah satu cara yang paling handal untuk mendeteksi awal gejala kerusakan mekanik, elektrik pada peralatan adalah dengan analisa getaran, sehingga analisa getaran saat ini menjadi pilihan teknologi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan (Scheffer and Girdhar, 2004).

Metode yang paling mutakhir untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan bola adalah dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam domain waktu maupun dalam domain frekuensi yang terjadi pada arah radial (Suhardjono, 2005).

Percobaan untuk mengetahui dan mempelajari spektrum getaran akibat kerusakan bantalan bola ini dilakukan pada meja uji dengan mengganti jenis bantalan yang rusak. Analisa perbandingan sinyal getaran antara bantalan bola yang berkondisi baik (normal) dan yang cacat pada komponen secara bertingkat sedemikian rupa sehingga dapat ditentukan jenis dan tingkat kerusakan bantalan bola tersebut.

Monitoring getaran yaitu memeriksa, mengukur parameter getaran secara rutin dan terus menerus. Getaran dapat terjadi karena adanya kerusakan pada poros, bantalan, roda gigi, kurang kekencangannya sambungan, kurang lancarnya pelumasan, kurang tepatnya pemasangan transmisi dan juga disebabkan karena ketidak-seimbangannya elemen mesin yang berputar (Raharjo, 2014)

Bantalan gelinding berfungsi sebagai penumpu beban pada poros dan sebagai penerus daya dan putaran dengan gesekan yang kecil. Bantalan gelinding terdiri dari elemen-elemen yaitu lintasan dalam (*inner ring*), lintasan luar (*outer ring*), elemen gelinding (*ball*) dan sangkar (*cage*).



**Gambar 1. Elemen-elemen bantalan.**

Bantalan bola dapat rusak karena operasi yang salah, melampaui batas umur dan kelebihan beban. Kerusakan pada bantalan gelinding dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu kerusakan lokal dan kerusakan terdistribusi. Adapun beberapa cacat lokal yaitu adanya goresan atau lubang pada bagian-bagian bantalan. Sedangkan contoh cacat terdistribusi antara lain ketidakbulatan lintasan luar maupun lintasan dalam, ketidakseamaan sumbu antara sumbu lintasan luar dan sumbu lintasan dalam, serta ketidakseamaan dimensi bola. (Suhardjono, 2004).

Pada kerusakan lokal, mekanisme terjadinya getaran adalah adanya impuls pada saat elemen rotasi tumbukan dengan cacat lokal. Harga frekuensi impuls yang digunakan tergantung pada letak cacat lokal pada bantalan. Setiap kerusakan yang terjadi pada bantalan gelinding memiliki frekuensi yang spesifik.

Frekuensi kerusakan pada *cage* disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF), yang besarnya dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Felten, 2003) :

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

*fr* adalah frekuensi putaran motor (Hz), *Bd* diameter bola (mm), *Pd* Pitch diameter (mm) dan  $\alpha$  adalah Sudut kontak (derajat),  $8,76^\circ$  untuk seri 1207.

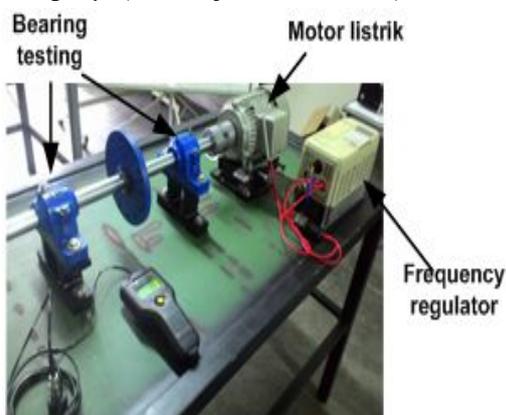
Saruhan dan kawan-kawan melakukan studi tentang analisa getaran pada *bearing* yang mengalami kerusakan pada *rolling* elemennya dan berhasil mengidentifikasi *Ball Pass Frequency for Outer race* (BPFO), *Ball Pass Frequency for Inner race* (BPFI) dan *Ball Spin Frequency* (BSF) baik secara teori dan terukur serta terdapat perbedaan nilai tetapi kecil (Saruhan *et al*, 2014).

Chebil dan kawan-kawan melakukan monitoring kondisi *bearing* dengan menggunakan analisa getaran yang didasarkan pada *time domain*, *frequency domain* atau *time frequency domain* pada *outer race*, *inner race* dan *ball pass frequency*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *discrete wavelet transform (integer power of two)* yang didasarkan pada *time frequency analysis* menunjukkan hasil yang terbaik (Chebil *et al*, 2011).

Studi-studi seperti yang telah disebutkan di atas belum menyelidiki tentang *Fundamental Train Frequency* pada *bearing* dengan kerusakan *cage*.

### 3. Metode Pengujian

*Test rig* digunakan untuk mengukur besar getaran yang terjadi dan karakteristik getaran pada bantalan gelinding.. *Test rig* terdiri dari motor listrik, kopling, poros, rumah bantalan, cakeram, *frequency regulator*, data akusisi dan *display* (Gunanjar *et al*, 2014).



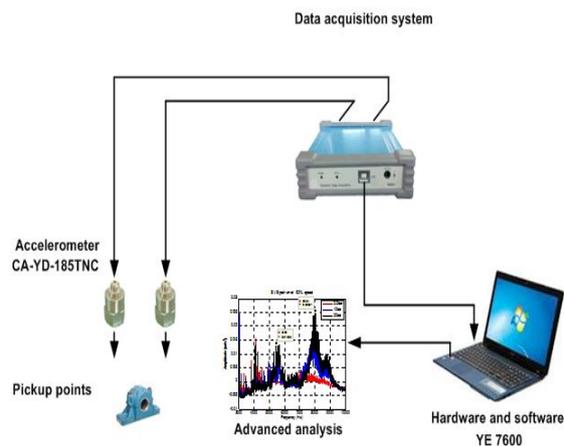
**Gambar 2. Meja Test Rig**

Motor listrik yang digunakan 380/220 V; 1.5 HP; 50 Hz; 2830 rpm yang dilengkapi dengan *frequency regulator* 2.2 kW, 200 V, 3 fasa, frekuensi maksimum 120 Hz

Data akuisisi yang digunakan Sinocera YE 6231B, *Dynamic Signal Analyzer 4 Channels* dengan *sampling rate* 96.0 kHz setiap *channel*, EPCE supply 4mA dan 24 Volt DC, *maximal sampling rate* 100 kHz per *channel*, *input voltage* -10V to 10V, *operating temperature* 0-60°C (GST, 2005).

*Accelerometer* yang digunakan Sinocera CA-YD-185TNC dengan rentang frekuensi 0.5 Hz-5000 Hz sensitivitas 4.96 mV/ms<sup>2</sup> dan rentang temperatur -20-120°C (GST, 2010).

Skematik pengukuran dan penyimpanan data ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



**Gambar 3. Skematik pengukuran dan penyimpanan**

Penyimpanan dan pengolahan data dasar menggunakan YE 7600. Pengolahan data selanjutnya menggunakan Mathlab<sup>TM</sup>. Titik pengukuran diletakkan pada motor dan rumah bantalan dengan arah arah horisontal dan vertikal.

Analisa yang digunakan adalah analisa komparatif, *trending*, dan deskriptif. Analisa komparatif adalah membandingkan amplitudo yang terjadi pada bantalan normal dengan bantalan yang mengalami kerusakan

pada *cage*. Analisa komparatif juga dapat dilakukan pada *time domain* dan *frequency domain*.

Pengambilan data dilakukan pada kondisi bantalan gelinding normal dan kondisi bantalan gelinding yang mengalami variasi kerusakan *cage* dengan variasi kecepatan putaran motor 300 rpm (5 Hz), 450 rpm (7,5 Hz), 600 rpm (10 Hz), 750 rpm (12,5 Hz), dan 900 rpm (15 Hz). Bantalan yang digunakan adalah bantalan dengan tipe NTN 1207K.

Kerusakan *cage* pada bantalan dibuat dengan cara menekuk *cage*, yang diharapkan akan terjadinya perubahan *clearance* pada bagian *cage*. Kerusakan bantalan karena *cage* dibuat dengan variasi ringan, sedang dan berat. Kecacatan buatan pada bagian *cage* ditunjukkan pada gambar berikut.

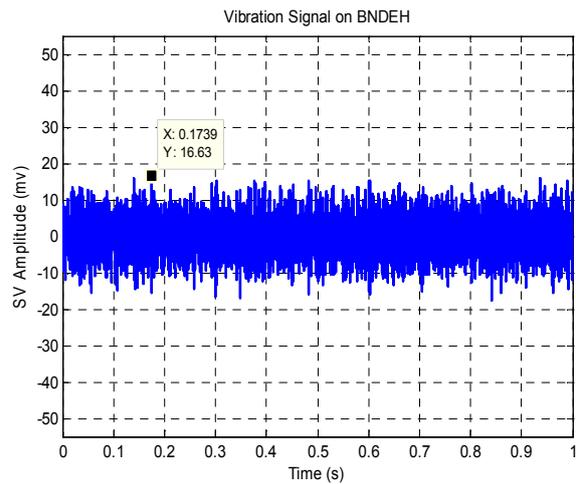


**Gambar 4. Kerusakan tiruan pada bagian *cage***

#### 4. Hasil dan Pembahasan

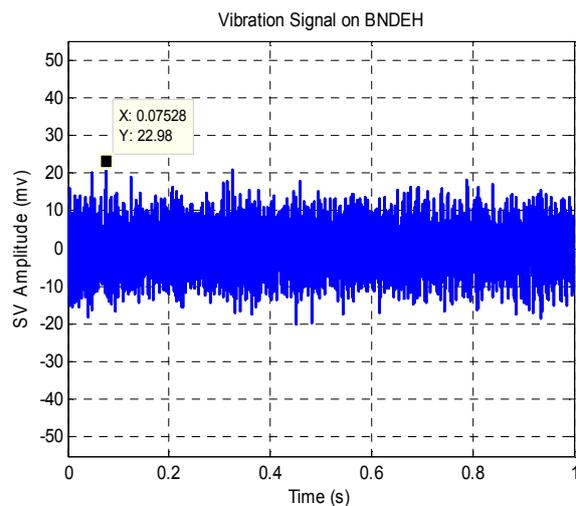
##### 4.1. *Time domain* berdasarkan variasi kerusakan *cage*.

Hasil pengukuran sinyal getaran atau *time domain* getaran yang terjadi pada posisi BNDE horisontal dengan kondisi *cage* normal pada frekuensi putaran 20 Hz ditunjukkan seperti gambar berikut.



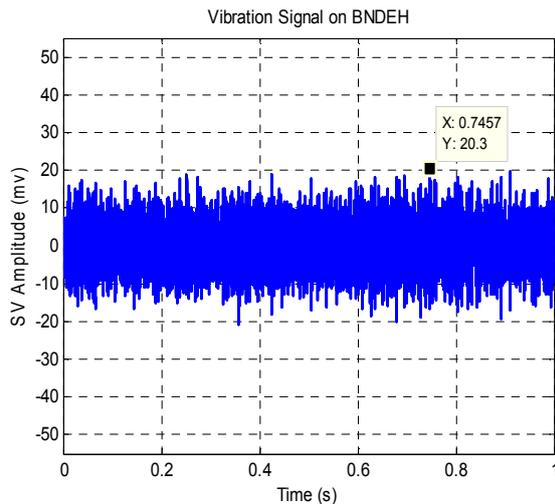
**Gambar 5. Sinyal getaran pada bantalan dengan *cage* normal**

Sinyal getaran atau *time domain* getaran yang terjadi pada posisi BNDE horisontal dengan kondisi kerusakan *cage* ringan pada frekuensi 20 Hz ditunjukkan seperti gambar berikut.



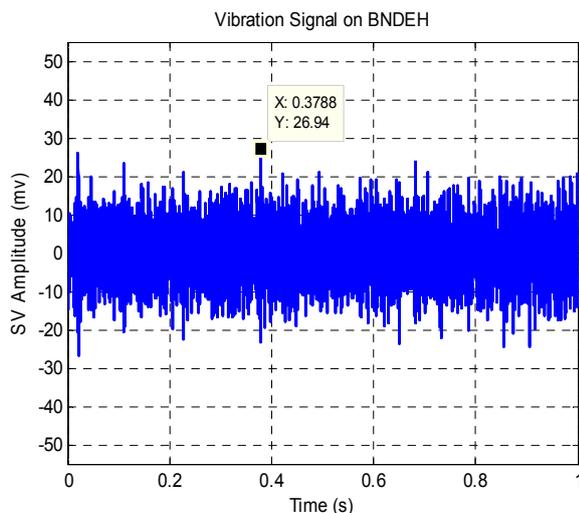
**Gambar 6. Sinyal getaran pada bantalan dengan kerusakan *cage* ringan**

Gambar 5 dan 6 di atas menunjukkan *time domain* pada bantalan dengan kondisi normal dan kerusakan *cage* ringan. Amplitudo yang tinggi pada kondisi normal 16.63 mv dan 22.96 mv pada kerusakan *cage* ringan.



**Gambar 7. Sinyal getaran pada bantalan dengan kerusakan cage sedang**

Gambar 7 di atas menunjukkan *time domain* pada bantalan dengan kerusakan *cage* sedang. Amplitudo tertinggi yang terjadi 20.3 mv.



**Gambar 8. Sinyal getaran pada bantalan dengan kerusakan cage berat.**

Gambar 8 di atas menunjukkan *time domain* pada bantalan dengan kerusakan *cage* berat. Terlihat amplitudo tertingginya 26.94 mv. Dari *time domain* terlihat bahwa amplitudo maksimum yang terjadi mulai dari kondisi *cage* normal, ringan, sedang dan berat menunjukkan kenaikan yang berarti. Semakin tinggi tingkat kerusakan *cage*, maka semakin

tinggi pula amplitudo maksimum yang terjadi.

#### 4.2. Frequency domain berdasarkan variasi kerusakan

Hasil pengukuran spektrum getaran yang terjadi pada bantalan dengan *cage* normal, kerusakan ringan, sedang dan berat pada posisi BNDE horisontal dengan kecepatan putar 20 Hz ditunjukkan pada gambar 10, 11, 12 dan 13

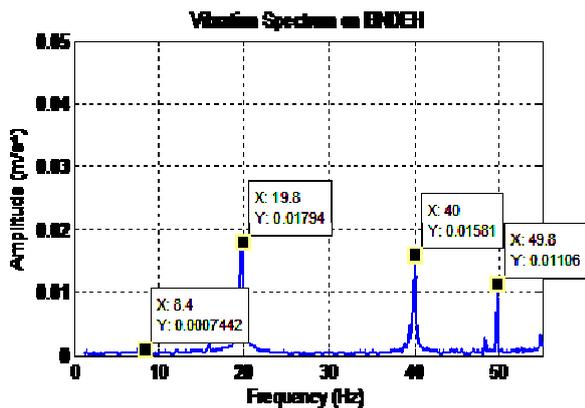
Menurut ATLAS SKF *Bearing Map*, standar frekuensi kerusakan atau FTF (*Fundamental Train Frequency*), untuk bantalan dengan kode 1207K dengan putaran 20 Hz (1200 rpm) ditunjukkan seperti gambar berikut.

09.00.15 2015-07-13		ATLAS		v1.0 (c) SKF	
P1-Help		SKF BEARING MAP		(891210)	
→ Bearing designation	:	1207			
Pitch diameter	(mm)	53			
Rolling element diameter	(mm)	7.94			
Number of rolling elements	:	16			
Contact angle	(degrees)	8.76			
Inner ring speed	(RPM)	1188.00			
Bearing type code	:	2			
Bearing type	:	Self-aligning ball			
Outer, housing, diameter	(mm)	72			
Inner, bore, diameter	(mm)	35			
Number of rows	:	2			
Inner ring defect frequency	(Hz)	181.98			
Outer ring defect frequency	(Hz)	134.98			
Rolling element defect frequency	(Hz)	129.00			
Inner ring rotational speed	(Hz)	19.88			
Cage rotational speed	(Hz)	8.43			
Rolling element rotational speed	(Hz)	64.58			

**Gambar 9. Bearing Map (ATLAS, 1989)**

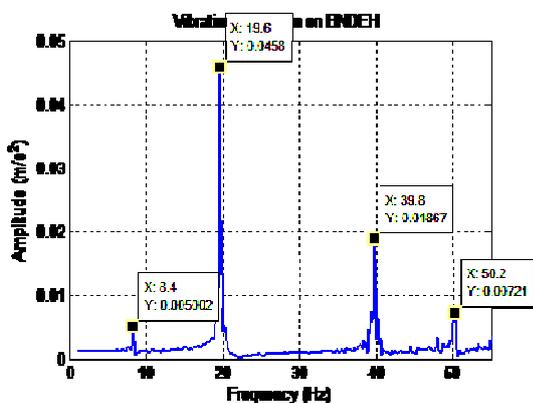
Berdasarkan persamaan *Fundamental Train Frequency* (FTF) dan ATLAS SKF didapat FTFnya adalah 8,4 Hz.

Hasil pengukuran spektrum getaran yang terjadi pada bantalan dengan dengan kondisi normal pada posisi BNDE (*Bearing Non Drive End*) horisontal ditunjukkan pada gambar spektrum berikut.



Gambar 10. Spektrum bantalan normal

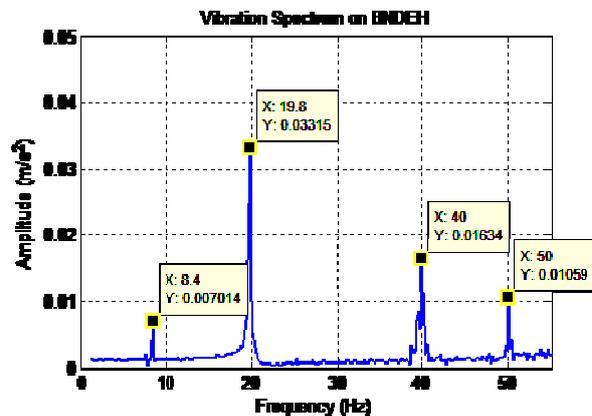
Gambar 10 memperlihatkan spektrum bantalan dengan kondisi normal, dimana timbul harmonik pada frekuensi fundamental 19.8 Hz (1FF), dan harmonik kedua pada frekuensi 40 Hz (2FF). Amplitudo pada harmonik pertama 0.01794 mm/s<sup>2</sup> dan 0.01581 m/s<sup>2</sup>, hal ini menunjukkan amplitudo *unbalance* karena cakram. Amplitudo tinggi yang lain 0.011 mm/s<sup>2</sup> terjadi pada frekuensi 49.8 Hz, frekuensi ini menunjukkan *electrical line frequency*. Sedangkan pada frekuensi 8.4 Hz yang menunjukkan *cake frequency* atau FTF amplitudonya sangat kecil 0.0007 m/s<sup>2</sup>, karena pada *cake* tidak terjadi kerusakan. Hasil pengukuran spektrum getaran yang terjadi pada bantalan dengan dengan kerusakan *cake* ringan posisi pengukuran BNDE (*Bearing Non Drive End*) horisontal ditunjukkan pada gambar spektrum berikut.



Gambar 11. Spektrum bantalan dengan kerusakan *cake* ringan

Gambar 11 terlihat bahwa amplitudo pada frekuensi 8.4 Hz yang merupakan FTF (*Fundamental Train Frequency*) adalah 0.0050 m/s<sup>2</sup>. Amplitudo pada frekuensi harmonik pertama 19.8 Hz adalah 0.0458 m/s<sup>2</sup> dan amplitudo pada frekuensi harmonik ke dua 39.8 Hz adalah 0.0187 m/s<sup>2</sup>, hal ini menunjukkan *unbalance* cakram. Amplitudo pada *electrical line frequency* 0.0072 m/s<sup>2</sup>.

Spektrum getaran yang terjadi pada bantalan dengan posisi pengukuran BNDE (*Bearing Non Drive End*) horisontal karena kerusakan *cake* sedang ditunjukkan pada gambar spektrum berikut.

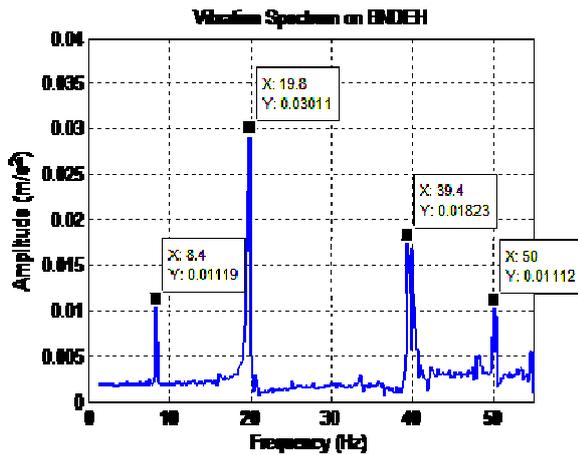


Gambar 12. Spektrum bantalan dengan kerusakan *cake* sedang

Gambar 12 terlihat bahwa amplitudo pada FTF (*Fundamental Train Frequency*) 8,4 Hz adalah 0,007 m/s<sup>2</sup>.

Amplitudo pada frekuensi harmonik pertama 19.8 Hz adalah 0.033 m/s<sup>2</sup> dan amplitudo pada frekuensi harmonik ke dua 39.8 Hz adalah 0.0163 m/s<sup>2</sup>, hal ini menunjukkan *unbalance* cakram. Amplitudo pada *electrical line frequency* 0.0106 m/s<sup>2</sup>.

Spektrum getaran yang terjadi pada bantalan dengan posisi pengukuran BNDE (*Bearing Non Drive End*) horisontal yang mengalami kerusakan *cake* berat ditunjukkan pada gambar spektrum berikut.



Gambar 13. Spektrum bantalan dengan kerusakan *cage* berat

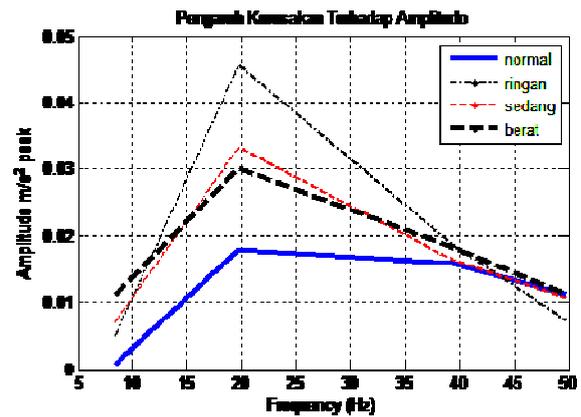
Gambar 13 menunjukkan bahwa amplitudo pada FTF 8.4 Hz adalah 0.0112 m/s<sup>2</sup>. Amplitudo pada frekuensi harmonik pertama 19.8 Hz adalah 0.0301 m/s<sup>2</sup> dan amplitudo pada frekuensi harmonik ke dua 39.8 Hz adalah 0.0182 m/s<sup>2</sup>, hal ini menunjukkan *unbalance* cakeram. Amplitudo pada *electrical line frequency* 0.0111 m/s<sup>2</sup>.

Apabila nilai amplitudo pada FTF pada bantalan dengan setiap kondisi dibandingkan, maka terlihat adanya kenaikan amplitudo pada frekuensi kerusakan *cage* atau FTF seperti ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 1. Amplitudo peak kondisi bantalan pada frekuensi FTF (8.4 Hz)

Kondisi Bantalan	Amplitudo Peak (m/s <sup>2</sup> )
Normal	0.0007
Kerusakan ringan	0.0050
Kerusakan sedang	0.0070
Kerusakan berat	0.0112

Perbandingan kenaikan amplitudo pada frekuensi 8,4 Hz, 19,8 Hz, 39,4 Hz dan 49,8 Hz pada kondisi *cage* normal, kerusakan ringan, sedang dan berat ditunjukkan seperti gambar berikut.



Gambar 14. Pengaruh kerusakan *cage* terhadap amplitudo pada FTF dan Harmonik

Gambar 14 adalah pengaruh tingkat kerusakan *cage* terhadap perubahan amplitudo pada FTF, 1ff dan 2ff, menunjukkan bahwa pengaruh tingkat kerusakan terhadap perubahan amplitudo pada 1ff dan 2ff tidak konsisten. Sedangkan pengaruh tingkat kerusakan *cage* terhadap perubahan amplitudo pada FTF konsisten. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa salah satu karakteristik *self aligning ball bearing* yang mengalami kerusakan pada bagian *cage* adalah munculnya perubahan amplitudo pada FTF (8.4 Hz).

## 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan data dan analisa amplitudo, *time domain* dan *frequency domain* pada bantalan dengan kondisi normal dan bantalan dengan kerusakan *cage* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Dengan meningkatnya tingkat kerusakan pada bantalan maka terjadi kenaikan amplitudo pada *time domain*.
- Terjadi perubahan amplitudo antara bantalan kondisi normal dengan bantalan yang mengalami kerusakan *cage* pada frekuensi 8,4 Hz dimana frekuensi tersebut adalah frekuensi kerusakan *cage* atau disebut FTF (*Fundamental Train Frequency*)

- c) Pada spektrum amplitudo tinggi juga terjadi pada harmonik pertama yang menunjukkan *unbalance* pada cakram.
- d) Amplitudo tinggi juga terjadi pada frekuensi mendekati 50 Hz, yang menunjukkan frekuensi jaringan listrik.

## 6. Daftar Pustaka

- Scheffer. C. and Girdhar. P, 2004, *Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*, Elsevier, Netherland.
- Suhardjono, 2005, *Analisa Sinyal Getaran Untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing)*, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya.
- Raharjo, P, 2014, *Teknik Pemeliharaan Mesin, Teknik Monitoring Kondisi Mesin*, UPT Penerbit Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Felten, D, 2003, *Understanding Bearing Vibration Frequencies*, EASA Current, September.
- Saruhan, H, Sandemir, S, Cicek, A, Uygur, I, 2014, *Vibration Analysis of Rolling Element Bearings Defects*, Journal of Applied Research and Technology, Volume 12, June.
- Chebil, J, Hrairi, M, Abushikhah, A, 2011, *Signal analysis of vibration measurement for condition monitoring of bearings*, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(1), 70-78.
- Gunanjar, Lukman , Zulfikar, R, 2014, *Pemeriksaan Kerusakan Bantalan Gelinding Penyelarasan Sendiri Menggunakan Pengukuran Getaran*, Tugas Akhir: Politeknik Negeri Bandung,
- GST, 2005, *USB Data Acquisition System*, YE6231B, Unit 1, 26 Fairholme Rd, Manchester, M20 4NT, UK
- GST, 2010, *General Purpose Piezoelectrics*, YD-5 4251, Unit 1, 26 Fairholme Rd, Manchester, M20 4NT, UK
- ATLAS, SKF Bearing Map, 1989.