

KAJI EKSPERIMENTAL DIAGNOSIS KERUSAKAN BANTALAN GELINDING MELALUI SINYAL GETARAN

Meifat Rusli¹, Mulyadi Bur¹, Andi Rahmat Yani²

Laboratorium Dinamika Struktur, Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas, Andalas

Abstrak

Bentuk Spektrum getaran akibat cacat pada bantalan dalam sistem poros rotor tergantung pada sifat cacatnya, geometri bantalan dan kecepatan putar. Dari analisis spectrum getaran tersebut dapat diketahui bahwa masing-masing faktor tersebut mempunyai ciri frekuensi dengan karakteristik tertentu [1,2,3], sehingga dapat diketahui faktor penyebab getaran yang lebih dominan. Dan kerusakan pada bantalan dapat diketahui sedini mungkin walaupun dalam kondisi operasi.

Pada penelitian ini dilakukan pengkajian terhadap fenomena getaran pada bantalan gelinding (Self Aligning Ball Bearing) yang mengalami cacat (defect) pada bola, sangkar (cage), cincin dalam dan cincin luar. Data hasil pengujian dalam domain waktu diolah dengan menggunakan perangkat lunak Matlab V 5.3 sehingga diperoleh sinyal dalam domain frekuensi. Dari pengolahan sinyal ini dapat diketahui karakteristik cacat yang terjadi pada bantalan gelinding.

Spektrum getaran dengan frekuensi yang khas akan menunjukkan elemen yang mengalami cacat pada bantalan, yaitu cacat pada sangkar (FTF), pada bola (BSF), jalur pada ring dalam (BPFI) dan cacat pada jalur di ring luar (BPFI). Besarnya cacat pada bantalan tersebut dapat diamati dari besar amplitudo bantalannya. Tetapi hubungan yang pasti antara besar cacat dan tinggi amplitudo masih belum dapat ditentukan dengan baik.

Daftar Simbol

d_b	Diameter bola	m
d_w	Diameter pitch	m
n	Putaran	rpm
n_w	Putaran sangkar	rpm
n_i	Putaran cincin dalam	rpm
n_o	Putaran cincin luar	rpm
r	Jari – jari alur lintasan	m
v	Kecepatan tangensial	m/s
v_w	Kecepatan tangensial sangkar	m/s

¹ Dosen Jurusan Teknik Mesin Univ. Andalas

² Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Univ. Andalas

v_i	Kecepatan tangensial cincin dalam	m/s
v_o	Kecepatan tangensial cincin luar	m/s
α	Sudut kontak	$^\circ$
FTF	Frekuensi sarang	Hz
BSF	Frekuensi bola	Hz
$BPFO$	Frekuensi cincin luar	Hz
$BPFI$	Frekuensi cincin dalam	Hz

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Penggunaan bantalan dalam berbagai kondisi pembebanan dan lingkungan pada banyak sistem permesinan, akan mengakibatkan kerusakan pada bantalan tersebut, baik dalam bentuk cacat maupun keausan. Timbulnya kerusakan pada bantalan sulit untuk dideteksi, hal ini disebabkan kesulitan dalam melakukan pembongkaran dan pemasangan bantalan tersebut pada rumah atau porosnya. Hal ini lebih dipersulit lagi jika mesin harus dioperasikan terus menerus. Pendeteksian dengan melakukan pembongkaran akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu telah dikembangkan berbagai metoda untuk mendeteksi kerusakan tersebut dalam kondisi beroperasi yang dapat dengan mudah dilakukan tanpa harus menghentikan .

Analisis ciri getaran memungkinkan untuk mengetahui kondisi bantalan gelinding yang sedang beroperasi, tanpa harus menghentikan pengoperasian mesin. Analisis getaran dalam domain frekuensi dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya cacat dan keausan yang terjadi pada bantalan [1,2].

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dan manfaat yang hendak dicapai adalah

1. Mengetahui ciri getaran bantalan gelinding pada saat kondisi baik
2. Mendapatkan beberapa ciri getaran bantalan gelinding dalam hal ini self-aligning ball bearing yang mengalami suatu kerusakan dengan memberikan kerusakan buatan (*artificial defect*).

1.3 Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan pada penelitian ini adalah :

1. Bantalan yang diuji gelinding yang diteliti hanyalah *self-aligning ball bearing*.
2. Analisis getaran hanya difokuskan kepada sinyal getaran akibat cacat pada bantalan, sedangkan sinyal getaran yang diakibatkan oleh elemen yang lain diabaikan.

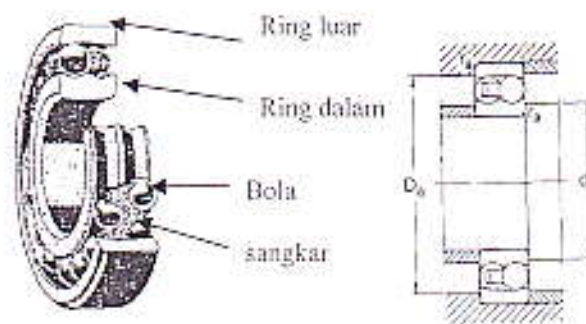
2 ANALISIS TEORITIK KERUSAKAN PADA BANTALAN

2.1 Bantalan Gelinding

Secara umum bantalan gelinding terdiri atas empat bagian utama yaitu cincin luar (*outer ring*) dan cincin dalam (*inner ring*), elemen gelinding yang terpasang diantara kedua ring, semuanya oleh suatu sangkar (*cage*) dipisahkan satu sama lain dan diikat bersama-sama. Elemen gelinding bisa berupa bola, rol atau jarum.

2.2 *Self-Aligning Ball Bearing*

Salah satu jenis bantalan gelinding adalah *Self-aligning ball bearing*, yang mempunyai dua baris bola dengan dua lintasan bola pada ring dalam dan satu lintasan pada ring luar. Konstruksi ini memberikan sifat dapat menyesuaikan diri terhadap ketidaksesumbuan (*self-aligning*) poros dengan bantalan. Oleh karena itu sangat cocok digunakan untuk mengantisipasi berbagai masalah ketidaksesumbuan pada untuk sistem poros-rotor. Konstruksi umum bantalan ini dapat diamati pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Konstruksi umum dari *self-aligning ball bearing*

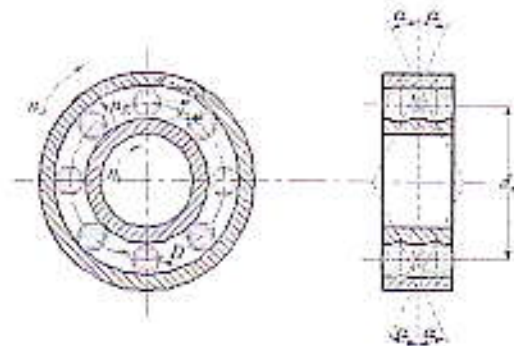
2.3 Karakteristik Cacat pada *Self Aligning Ball Bearing*

Bantalan gelinding biasanya mengalami cacat ringan yang lazim. Dapat dikatakan bahwa pada saat awal kerusakan, getaran yang ditimbulkannya tidak dapat dideteksi. Frekuensi khusus yang ditimbulkan oleh bantalan yang cacat tergantung pada sifat cacatnya, geometri bantalan dan kecepatan putar. Parameter bantalan yang menentukan frekuensi tersebut adalah diameter bola, jumlah bola, diameter pitch dan sudut kontak. Intensitas sinyal getaran yang dibangkitkan pada bantalan sangat rendah, sehingga terkubur oleh sinyal lain yang lebih kuat. Bila pemantauan dilakukan dalam domain waktu, maka sinyal ini tidak akan terdeteksi. Penyelesaian yang baik adalah dengan melakukan pemantauan dalam domain frekuensi. Kerusakan pada bantalan gelinding ini antara lain :

1. Cacat pada sangkar (*cage*).
2. Cacat pada bola
3. Cacat pada alur luar (*outer race*)
4. Cacat pada alur dalam (*inner race*)

2.3.1 Cacat pada Sangkar (*cage*)

Secara kinematik kecepatan elemen-elemen rotasi dijabarkan pada paragraf berikut.



Gambar 2.2 Putaran dan kecepatan pada bantalan gelinding

Untuk kasus yang umum, diasumsikan bahwa antara ring luar (*outer ring*) dan ring dalam (*inner ring*) yang berotasi pada bantalan gelinding mempunyai sudut kontak yang umum α . Lihat Gambar 2.2. Untuk rotasi pada sumbu kecepatan tangensial adalah

$$v = \omega r \quad \dots\dots(2.1)$$

dimana ω adalah dalam radian per detik. Dengan demikian kecepatan tangensial pada lintasan bola pada ring dalam dan ring luar masing-masing adalah

$$v_i = \frac{\pi n_i d_m}{60} (1 - \gamma) \quad \dots\dots(2.2)$$

$$v_o = \frac{\pi n_o d_m}{60} (1 + \gamma) \quad \dots\dots(2.3)$$

dengan
$$\gamma = \frac{d_r}{d_m} \cos \alpha \quad \dots\dots(2.4)$$

dimana n adalah dalam rpm. Jika tidak terjadi slip saat kontak dengan lintasan (*raceway*), maka kecepatan tangensial pada sangkar (*race*) adalah

$$v_m = \frac{\pi d_m}{120} [n_i (1 - \gamma) + n_o (1 + \gamma)] \quad \dots\dots(2.5)$$

atau dalam bentuk kecepatan putar bola mengelilingi sumbu bantalan menjadi

$$n_m = \frac{1}{2} [n_i (1 - \gamma) + n_o (1 + \gamma)] \quad \dots\dots(2.6)$$

Jika hanya ditinjau dari ring dalam (*inner ring*), Pers. (2.6) menjadi

$$n_m = \frac{1}{2} n_i (1 - \gamma) \quad \dots\dots(2.7)$$

Dengan demikian frekuensi sangkar / *Fundamental Train Frekuensi* (FTF) adalah

$$FTF = \frac{n_m}{2\pi} = \frac{1}{4\pi} n_i (1 - \gamma) \quad \dots\dots(2.8)$$

2.3.2 Cacat pada Bola

Kecepatan sudut relatif sangkar terhadap lintasan dalam (*inner raceway*) adalah

$$n_{mr} = n_m + n_i \quad \dots\dots(2.9)$$

Asumsikan tidak terjadi slip pada kontak antara lintasan dalam dan bola. Kecepatan bola identik dengan lintasan pada titik kontak.

$$v_R = v_m \quad \dots\dots(2.9)$$

kecepatan putar bola dapat dihitung kemudian dengan menggunakan persamaan berikut

$$n_R = \frac{1}{2} \frac{d_m}{D} n_i (1 - \gamma^2) \quad \dots\dots(2.10)$$

Dengan demikian Frekuensi bola (*Ball Spin Frekuensi*,BSF) adalah

$$BSF = \frac{n_R}{2\pi} = \frac{1}{4\pi} \frac{d_m}{D} n_i (1 - \gamma^2) \quad \dots\dots(2.11)$$

2.3.3 Cacat pada Ring Luar (*Outer Race*)

Dari Gambar 2.3a, bila hanya ditinjau ring luar, maka kecepatan tangensial ring luar sama dengan kecepatan tangensial bola.

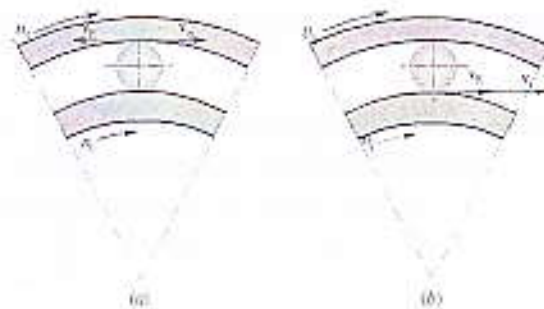
$$v_o = v_R \quad \dots\dots(2.12)$$

Substitusikan Pers. (2.3) ke (2.12)

$$\frac{\pi d_m n_o}{60} (1 + \gamma) = \frac{\pi d_m n_{mi}}{60} (1 - \gamma)$$

$$n_o (1 + \gamma) = (n_m - n_i)(1 - \gamma)$$

$$n_o = \frac{n_i}{2} (1 - \gamma) \quad \dots\dots(2.13)$$



Gambar 2.3 Putaran dan kecepatan
 (a) bila hanya ditinjau ring luar
 (b) bila hanya ditinjau ring dalam.

Maka frekuensi suatu titik pada ring luar dilewati bola (*Ball Pass Frekuensi Outer*, BPFO) adalah

$$\text{BPFO} = N \frac{n_o}{2\pi} = N \frac{n_i}{4\pi} (1 - \gamma)$$

atau

$$\text{BPFO} = N \cdot \text{FTF} \quad \dots\dots(2.14)$$

2.3.4 Cacat Pada Ring Dalam (*Inner Race*)

Dari Gambar 2b, Bila hanya ditinjau ring dalam, maka kecepatan tangensial ring dalam sama kecepatan tangensial bola,

$$v_i = v_R \quad \dots\dots(2.15)$$

$$\frac{\pi d_m n_i}{60} (1 - \gamma) = \frac{\pi d_m n_m}{60} (1 - \gamma)$$

$$n_i = n_m - \text{FTF} \quad \dots\dots(2.16)$$

Maka frekuensi suatu titik pada ring dalam dilewati bola (*Ball Pass Frekuensi Inner*, BPFI) pada satu jalur adalah

$$\text{BPFI} = \frac{n_i N}{2\pi} = \frac{N}{4\pi} (n_m - \text{FTF}) \quad \dots\dots(2.17)$$

Jika cacat terdapat pada kedua jalurnya, maka BPFI adalah

$$\text{BPFI} = 2 \frac{n_i N}{2\pi} = \frac{N}{2\pi} (n_m - \text{FTF}) \quad \dots\dots(2.18)$$

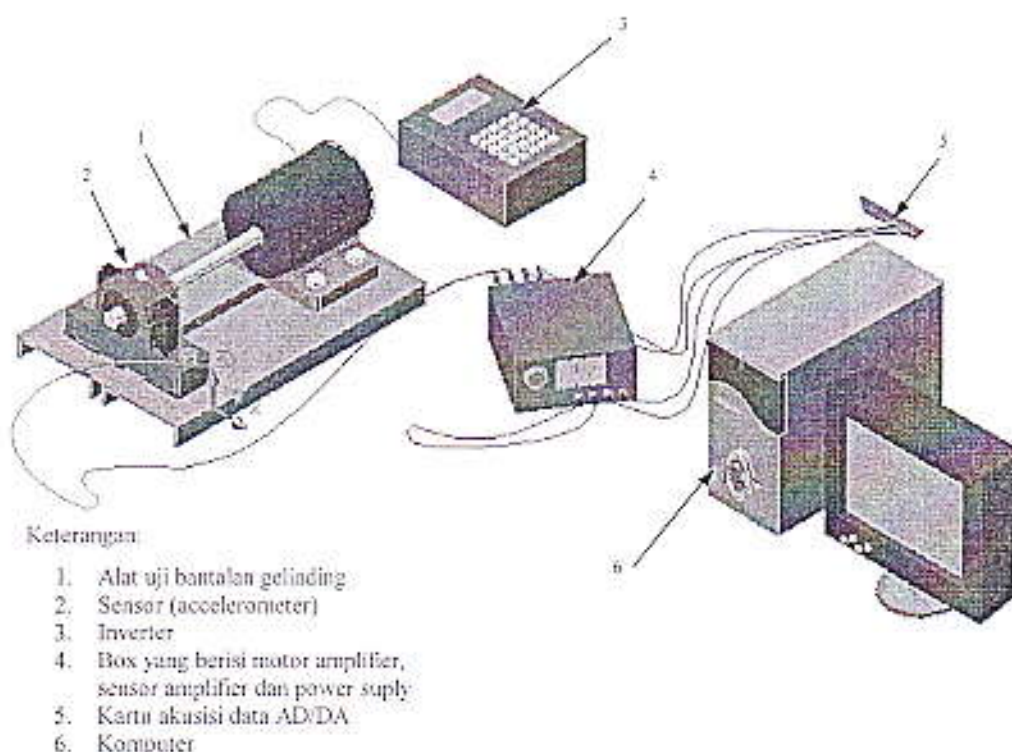
3 PERANGKAT PENGUJIAN

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini tersusun atas tujuh komponen utama, yaitu *driver motor*, profil landasan (*base profile*), kopleng, poros, rumah bantalan, bantalan uji, dan *adapter sleeve*. Dalam kondisi terpasang, seluruh komponen pengujian dapat diamati pada gambar 3.1.

Pada perangkat uji ini, rumah bantalan adalah SKF jenis SNH 209. Dengan rumah bantalan ini bantalan uji dapat dengan mudah dibongkar pasang, untuk melakukan pengujian bantalan dengan cacat yang berbeda. Bantalan uji adalah jenis *Self Aligning Ball Bearing* SKF 1209 EK. Selanjutnya, pengambilan sinyal getaran akan dilakukan pada rumah bantalan bagian tengah, yang dilakukan pada saat poros dalam keadaan berputar.

Data dalam bentuk digital dapat *display* dalam domain waktu dan domain frekuensi. Untuk menghasilkan sinyal dalam domain frekuensi, maka menghindari terjadinya *leakage*, sinyal dalam domain waktu dikalikan dengan suatu fungsi *window*. Sampai laporan ini dibuat, hasil kajian eksperimental belum dapat diberikan, karena penelitian

ini masih terkendala dengan instrumentasi dan sampai saat ini penelitian masih dalam tahap pengujian.



Gambar 3.1 Susunan Alat Uji

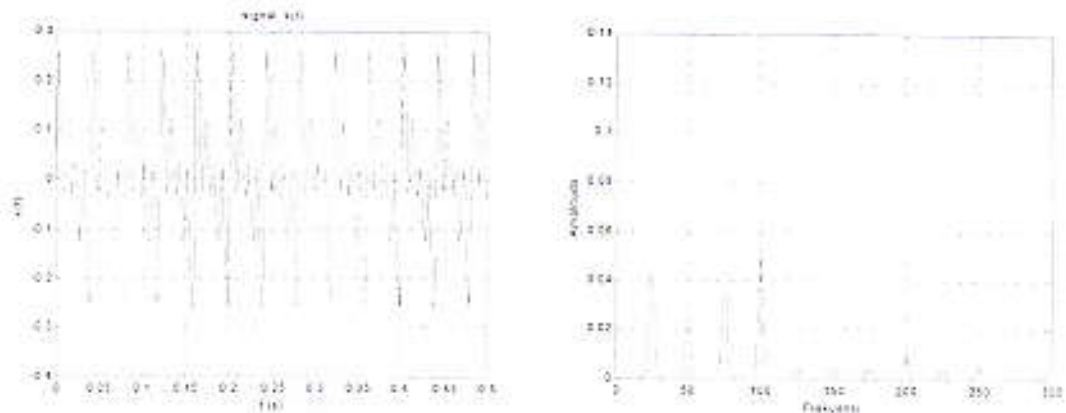
4 PEMBAHASAN

Sebagai contoh kasus pada pembahasan ini, ditampilkan simulasi program dengan menggunakan bantalan SKF 1209 EK, dengan spesifikasi geometri sebagai berikut :

- Diameter pitch : 72.5 mm
- Diameter bola : 9 mm
- Jumlah bola : 17 x 2 jalur

Pada saat bantalan dalam kondisi baik sinyal getaran bantalan pada kecepatan putar 1500 rpm dapat diamati pada gambar 4.1. Pada gambar tersebut terlihat adanya sinyal getaran yang muncul pada 1x, 2x, 3x, nx dari frekuensi putarnya (25 Hz). Semua sinyal tersebut bukanlah sinyal yang terjadi akibat adanya cacat, tetapi merupakan harmonik dari kecepatan putar bantalan [1,2].

Selanjutnya jika diberikan cacat pada bantalan ini, maka akan muncul sinyal getaran pada frekuensi-frekuensi seperti yang terdapat pada tabel 4.1. Sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya, pada self-aligning ball bearing, jumlah elemen rotasi berjumlah cukup banyak yang disusun dalam 2 jalur. Hal ini mengakibatkan jika terjadi cacat pada *inner race* dan *outer race* pada kedua jalurnya, akan mengakibatkan munculnya spektrum pada frekuensi yang cukup tinggi.



Gambar 4.1 Sinyal getaran pada saat bantalan pada kondisi baik

Sinyal getaran pada kondisi cacat ini dapat diamati pada gambar 4.2. Pada gambar tersebut dapat dilihat munculnya puncak-puncak baru pada spektrum getaran dalam domain frekuensi. Frekuensi sinyal merupakan frekuensi FTF, BSF, BPFO dan BPFI bantalan. Dalam domain waktu juga akan terlihat beberapa sinyal impuls. Tinggi amplitudo pada frekuensi masing-masing cacat akan sangat tergantung kepada besarnya cacat. Akan tetapi hubungan langsung antara keduanya belum dapat dijelaskan dengan baik.

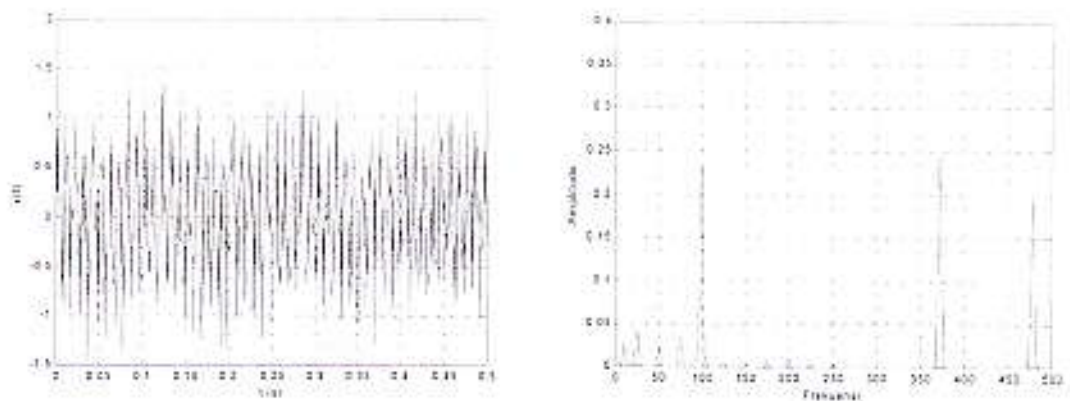
Tabel 2.1 Frekuensi yang timbul akibat adanya cacat

Jenis cacat	Frekuensi yang muncul pada kecepatan putar 1500 rpm
FTF	10.9 Hz
BSF	99.14 Hz
BPFO	372.73 Hz
BPFI	477.76 Hz

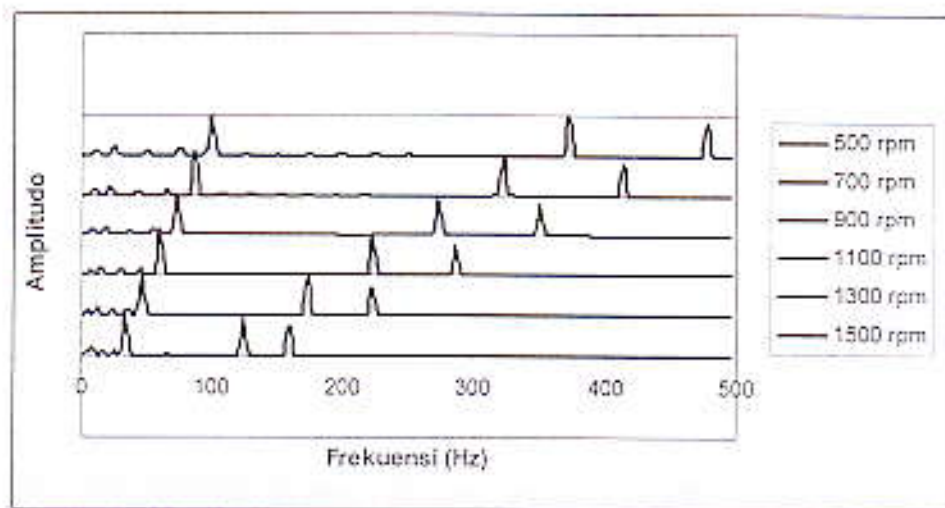
Sinyal-sinyal impuls muncul karena adanya kontak antara elemen-elemen bantalan yang sudah mengalami kerusakan. Sinyal impuls ini muncul terutama pada BPFO dan BPFI yang merupakan kontak antara bola dengan lintasan gerakanya yang mengalami kerusakan.

Selanjutnya pada gambar 4.3 ditampilkan *spektral map* dari bantalan. Pada gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa sinyal-sinyal yang muncul akibat kerusakan pada bearing merupakan puncak harmonik yang aktif, dengan kata lain frekuensi yang muncul berhubungan dengan kecepatan putar bantalan. Semakin tinggi kecepatan putar bantalan maka frekuensi yang mengidentifikasi kerusakan akan semakin bergeser ke

kanan. Kondisi ini harus diperhitungkan dalam menganalisis kerusakan pada sistem secara keseluruhan. Jika salah satu puncak yang muncul kemudian ikut mengeksitasi sistem pada frekuensi pribadinya, atau dengan kata lain jika salah satu frekuensi tersebut sama dengan frekuensi pribadi sistem, maka ini dapat menjadi salah satu sumber kerusakan pada sistem.



Gambar 4.2 Sinyal getaran pada bantalan dalam kondisi cacat



Gambar 4.3 Spektral map bantalan

Pada kenyataannya di lapangan, sinyal getaran yang terukur di bantalan tidak hanya getaran yang dieksitasi oleh kerusakan bantalan. Akan tetapi juga akan terakumulasi oleh beberapa penyebab lain, seperti ketidakseimbangan, ketidak lurusan poros, misalignment, cacat pada elemen lain, seperti kopling, roda gigi dan sebagainya. Sebagian dari sinyal tersebut juga mencirikan sinyal dengan frekuensi harmonik aktif.