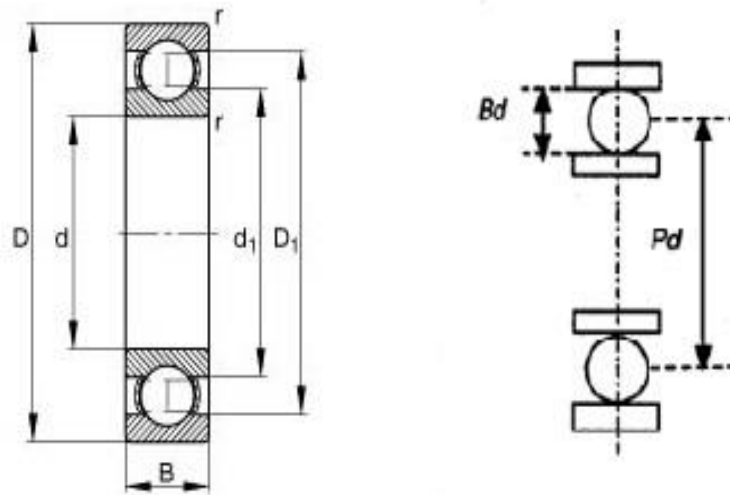


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan metode deteksi dari hasil penelitian uji cacat bantalan. Analisa dilakukan menggunakan kombinasi metode domain waktu, domain frekuensi dan analisis *envelope*. Grafik akan menunjukkan perubahan amplitudo frekuensi antara bantalan dengan kondisi normal dan bantalan dalam kondisi cacat multi jenis.

### 4.1 Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola jenis *Self-Aligning Ball Bearing*, merk SKF seri 1207 EKTN9/C3 dengan kondisi bantalan normal dan bantalan yang sengaja di buat cacat. Cacat bantalan dibuat secara simultan atau multi jenis dimana cacat terjadi pada 2 sisi yaitu cacat lintasan dalam (*inner race*) dan cacat lintasan luar (*outer race*) pada bantalan. Dimensi bantalan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Dimensi Bantalan  
Sumber : Suharjono, 2004

Tabel 4.1 Dimensi Komponen Bantalan

Komponen Bantalan	Dimensi
Ø Luar (D)	72 mm
Ø Dalam (d)	35 mm
Ø Bola (Bd)	8,5 mm
Ø Pitch (Pd)	53.95 mm
Sudut Kontak ( $\alpha$ )	0
Jumlah Bola (N)	30

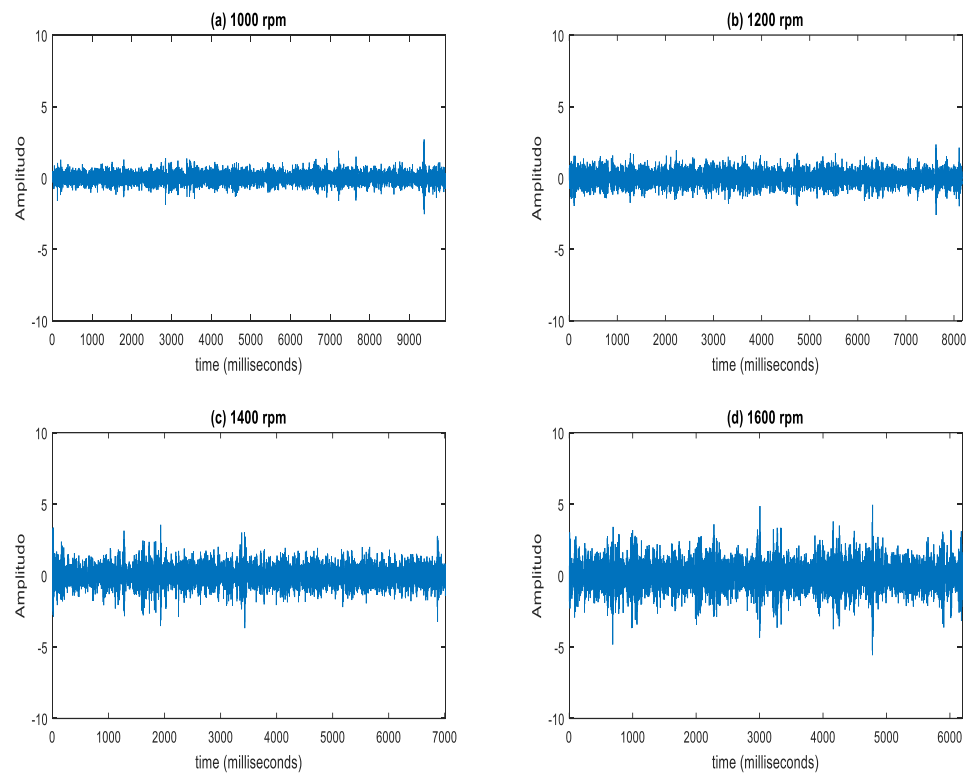
Tabel 4.1 digunakan untuk mencari frekuensi cacat bantalan lintasan dalam atau disebut BPFI (*Ball Pass Frequency Inner Race*) dan cacat lintasan luar atau disebut BPFO (*Ball Pass Frequency Outer race*). Proses pengolahan data dilakukan menggunakan 4 variasi kecepatan yaitu 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm dan beban dari poros.

## 4.2 Sinyal Getaran Pada Bantalan Normal

Sinyal getaran yang didapat dari hasil pengukuran getaran pada bantalan normal (tanpa cacat) ditampilkan dalam 3 bentuk grafik yaitu domain waktu, domain frekuensi dan spektrum *envelope*. Pada setiap plot terdiri dari 4 grafik masing-masing pada variasi kecepatan poros 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm dan 1600 rpm dengan *sampling rate* 51200 Hz

### 4.2.1 Hasil Plot Domain Waktu

Domain waktu merupakan data mentah yang diperoleh dari akuisisi data getaran menggunakan sensor *accelerometer*. Hasil grafik domain waktu pada pengujian bantalan normal dapat dilihat pada Gambar 4.2 dengan 4 variasi putaran.

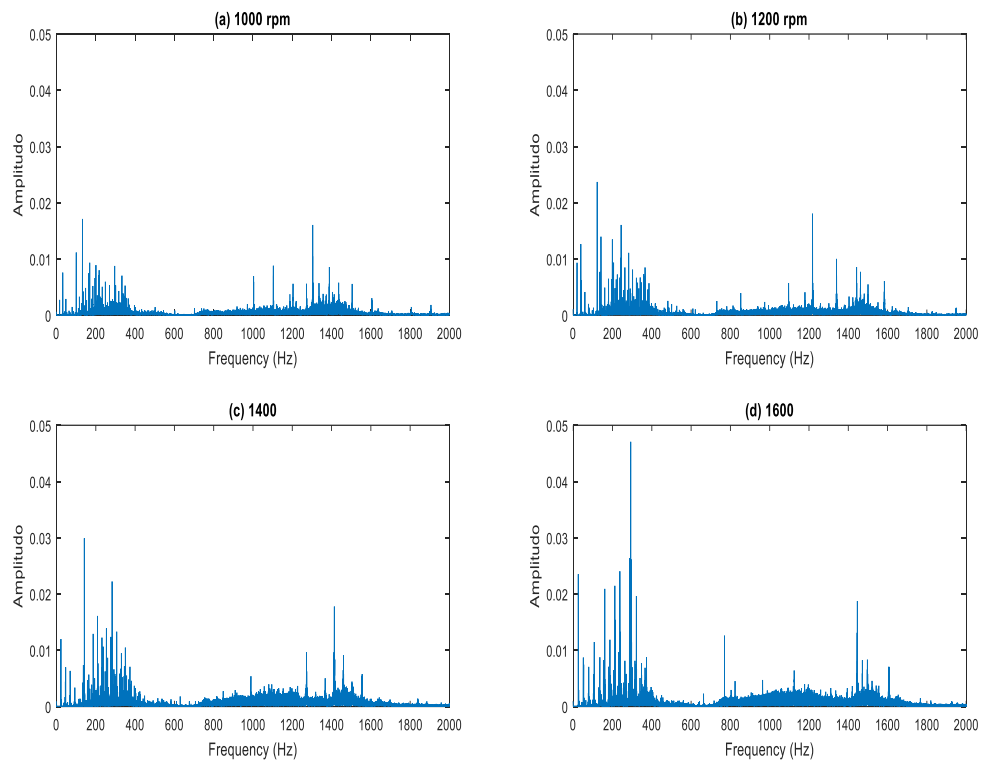


Gambar 4.2 Grafik Domain Waktu Bantalan Normal (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM.

Gambar 4.2 merupakan grafik domain waktu bantalan normal pada putaran poros (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Pada plot tersebut diambil *sampling* sebanyak 3X putaran poros. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah waktu (milliseconds).

#### 4.2.2 Hasil Plot Domain Frekuensi

Hasil grafik domain frekuensi pada pengujian bantalan normal dapat dilihat pada Gambar 4.3 dengan 4 variasi putaran yaitu (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah frekuensi (Hz). Plot tersebut diambil *sampling* sebesar 2000 (Hz).

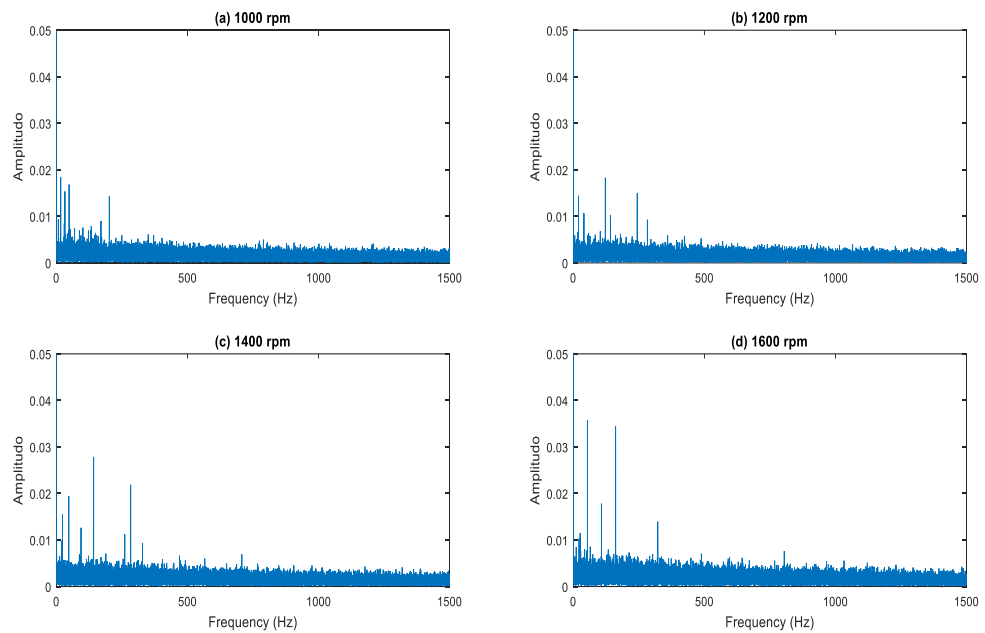


Gambar 4.3 Grafik Domain Frekuensi Bantalan Normal (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM.

Pada Gambar 4.3 grafik domain frekuensi menunjukkan banyaknya amplitudo tinggi yang muncul, namun amplitudo tinggi tersebut tidak menunjukkan frekuensi dari cacat bantalan. Amplitudo tinggi tersebut merupakan frekuensi dari komponen yang berada di sekitar bantalan.

#### 4.2.3 Hasil Plot Analisis *envelope* (*Envelope Analysis*)

Hasil spektrum *envelope* pengujian bantalan normal dapat dilihat pada Gambar 4.4 dengan 4 variasi putaran yaitu (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah frekuensi (Hz).



Gambar 4.4 Plot Spektrum *Envelope* Bantalan Normal (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM.

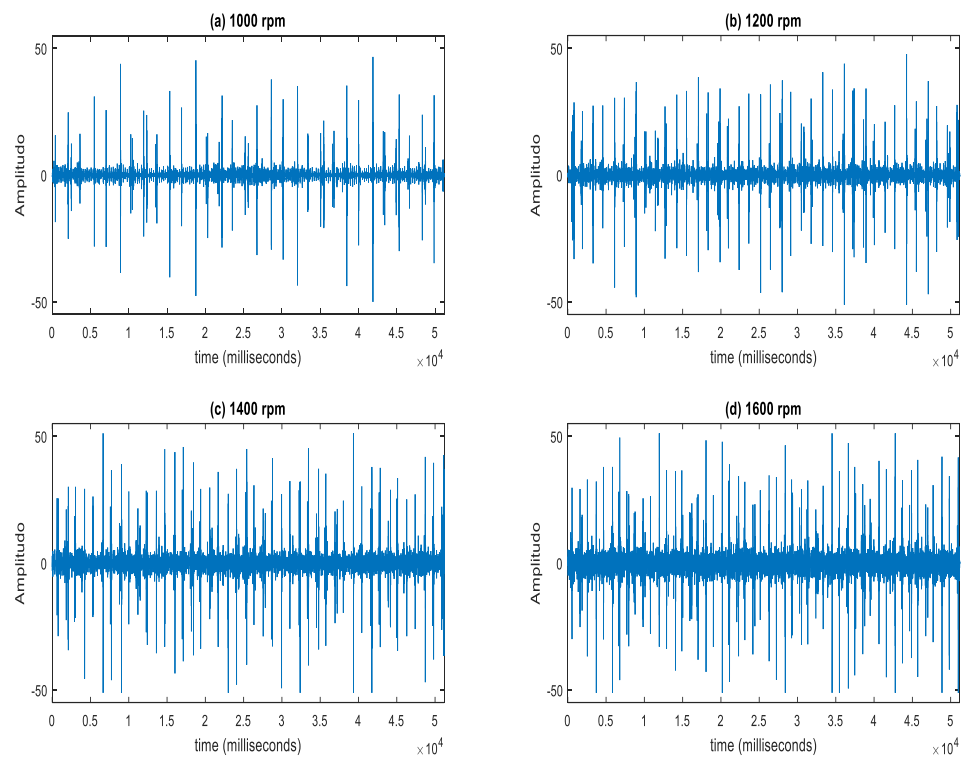
Pada Gambar 4.4 spektrum *envelope* menunjukkan kondisi bantalan dalam keadaan normal atau tanpa cacat. Amplitudo tinggi pada spektru *envelope* bantalan normal pada 4 macam variasi putaran tersebut merupakan frekuensi putaran poros. Pada plot tersebut diambil *sampling* sebesar 1500 (Hz).

### 4.3 Sinyal Getaran Pada Bantalan Cacat Multi Jenis

Hasil pengukuran sinyal getaran dari bantalan cacat secara simultan atau multi jenis ditampilkan dalam 3 bentuk plot yaitu domain waktu, domain frekuensi dan analisis *envelope*. Pada setiap plot terdiri dari 4 grafik masing-masing pada variasi kecepatan poros 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm dan 1600 rpm dengan *sampling rate* 51200 Hz.

#### 4.3.1 Hasil Plot Domain Waktu

Hasil grafik domain waktu pada pengujian cacat multi jenis pada bantalan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

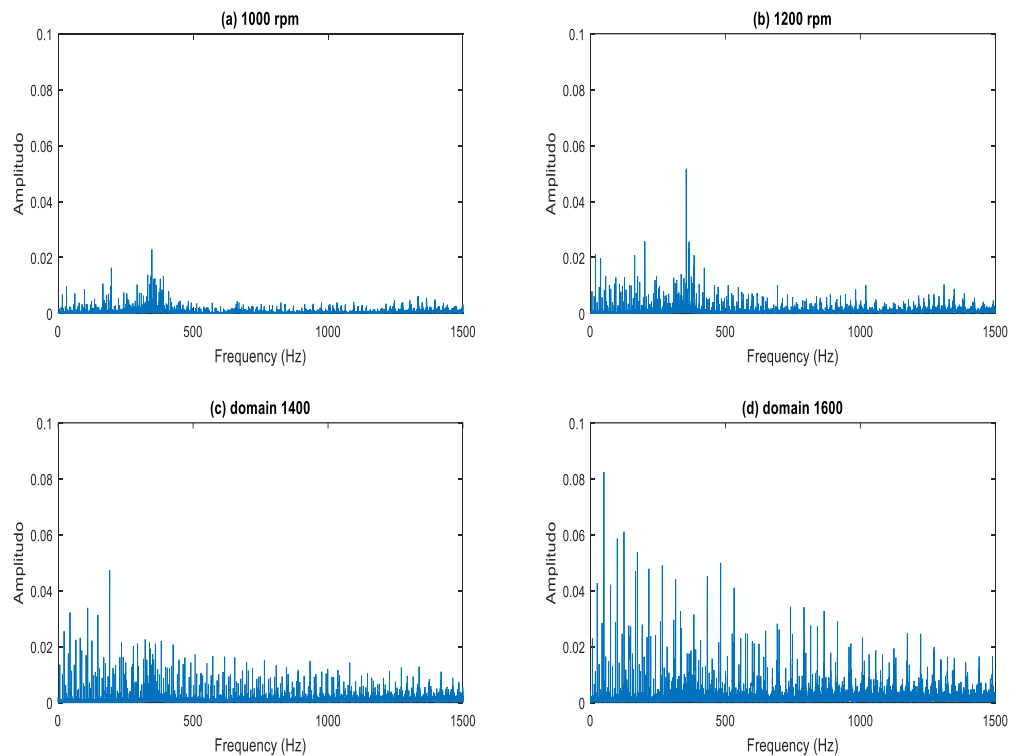


Gambar 4.5 Grafik Domain Waktu Cacat Multi Jenis pada Bantalan (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM.

Gambar 4.5 merupakan plot domain waktu cacat multi jenis bantalan pada putaran poros (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah waktu (milliseconds).

### 4.3.2 Hasil Plot Domain Frekuensi

Hasil grafik domain frekuensi pada pengujian cacat multi jenis pada bantalan dapat dilihat pada Gambar 4.6 dengan 4 variasi putaran yaitu (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah frekuensi (Hz). Pada plot tersebut diambil *sampling* sebesar 1500 Hz.

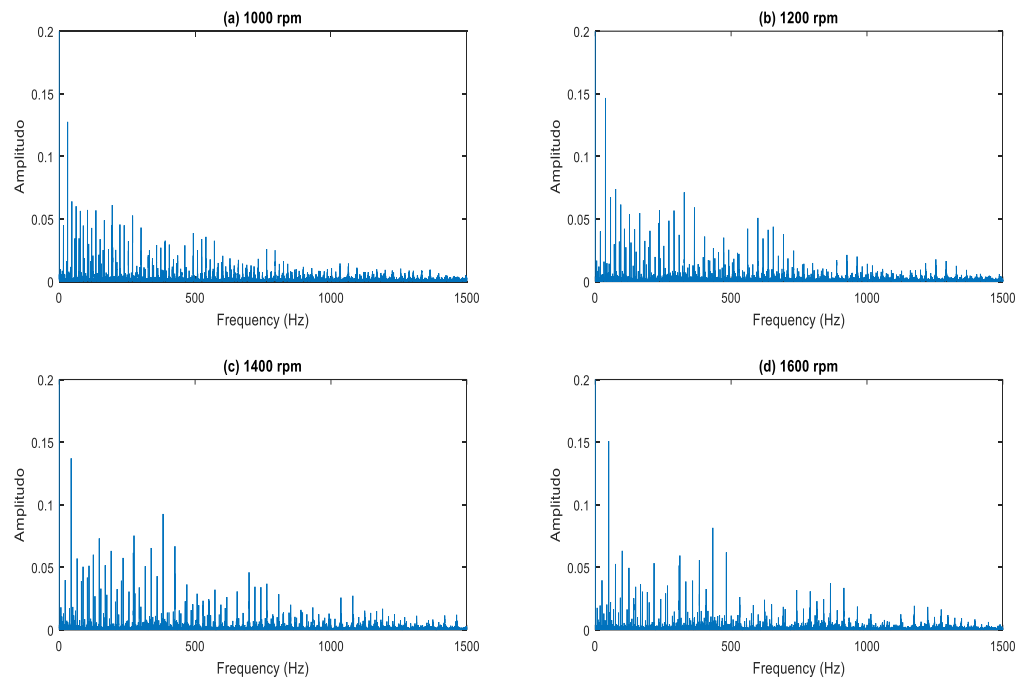


Gambar 4.6 Grafik Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis pada Bantalan (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM.

Pada Gambar 4.6 grafik domain frekuensi cacat multi jenis pada bantalan menunjukkan adanya indikasi cacat. Semakin besar putaran poros, semakin besar juga nilai amplitudo yang muncul.

#### 4.3.3 Hasil Plot Analisis Envelope (*Envelope Analysis*)

Hasil spektrum *envelope* cacat multi jenis bantalan dapat dilihat pada Gambar 4.7 dengan 4 variasi putaran yaitu (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM. Sumbu y adalah nilai amplitudo, sedangkan sumbu x adalah frekuensi (Hz). Spektrum *envelope* semakin memperjelas adanya cacat multi jenis pada bantalan. Salah satu cacat yang terlihat dari plot tersebut adalah cacat lintasan dalam pada bantalan. Plot spektrum *envelope* pada 4 variasi putaran tersebut muncul *side band*, dimana *side band* merupakan karakteristik dari cacat lintasan dalam pada bantalan.



Gambar 4.7 Plot Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis pada Bantalan (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM, dan (d) 1600 RPM.

#### 4.4 Hasil Perhitungan Analisis Domain Frekuensi dan Analisis *Envelope*

Suatu bantalan dapat dikatakan cacat secara multi multi jenis jika terdapat lebih dari satu cacat pada elemen bantalan tersebut. Cacat multi jenis pada bantalan dapat diketahui dengan melakukan perhitungan frekuensi secara teoritis yang kemudian dibandingkan dengan hasil yang ada di plot pengukuran. Jika hasil perhitungan secara teoritis berhimpit atau mendekati frekuensi hasil pengukuran, maka mengindikasikan terjadinya cacat pada bantalan secara simultan atau multi jenis. Cacat simultan atau multi jenis penelitian ini terdapat pada lintasan dalam (*inner race*) dan lintasan bola (*outer race*) bantalan. Dibawah ini akan dijelaskan mengenai perhitungan hasil plot dari domain frekuensi dan analisis *envelope* dengan 4 variasi kecepatan yaitu 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm dan 1600 rpm dengan kondisi bantalan normal dan bantalan cacat multi jenis. Hasil perhitungan cacat bantalan lintasan dalam atau *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) dan cacat lintasan luar atau *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3



Tabel 4.2 Frekuensi Cacat Lintasan Dalam Pada Bantalan

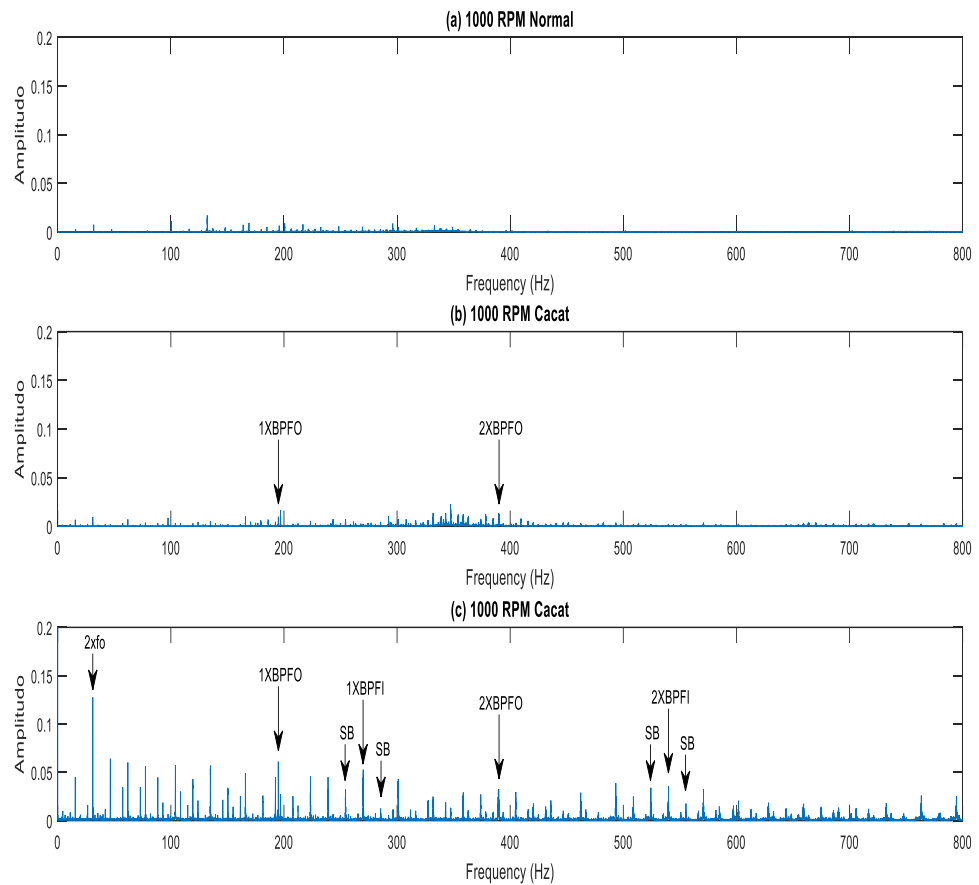
Keterangan	Hasil Perhitungan Cacat Lintasan Dalam pada Bantalan dengan 4 Variasi Putaran			
	1000 rpm	1200 rpm	1400 rpm	1600 rpm
	15.5	18.8	21.9	24.8
1xBPFI	269.13	326.43	380.26	430.61
2xBPFI	538.26	652.86	760.51	861.22
3xBPFI	807.39	979.29	1140.77	1291.83

Tabel 4.3 Frekuensi Cacat Lintasan Luar Pada Bantalan

Keterangan	Hasil Perhitungan Cacat Lintasan Luar pada Bantalan dengan 4 Variasi Putaran			
	1000 rpm	1200 rpm	1400 rpm	1600 rpm
	15.5	18.8	21.9	24.8
1xBPFO	195.87	237.57	276.74	313.39
2xBPFO	391.74	475.14	553.49	626.78
3xBPFO	587.61	712.71	830.23	940.17

#### 4.4.1 Hasil Plot Pada Kecepatan Poros 1000 RPM

Gambar 4.8 (a) merupakan hasil plot domain frekuensi bantalan normal. Hasil plot domain frekuensi tidak menunjukkan adanya frekuensi cacat pada bantalan sehingga tidak perlu dilakukan analisis *envelope* untuk menganalisa cacat pada bantalan.



Gambar 4.8 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1000 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Pada hasil plot domain frekuensi bantalan cacat multi jenis Gambar 4.8 (b), muncul frekuensi cacat bantalan lintasan luar pada 1X dan 2X harmonik, akan tetapi frekuensi yang muncul masih memiliki amplitudo yang kecil dan masih tercampur dengan *noise* dari frekuensi komponen lain yang ada di sekitar bantalan, sehingga dibutuhkan metode yang lebih handal dalam mendeteksi cacat bantalan tersebut yaitu dengan analisis *envelope*.

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 (c) merupakan spektrum *envelope* cacat multi jenis, dimana frekuensi cacat yang muncul terdapat pada frekuensi cacat lintasan dalam dan frekuensi cacat lintasan luar bantalan. Terdapat frekuensi dari cacat bantalan lintasan dalam pada 1X dan 2X harmonik, sama halnya dengan

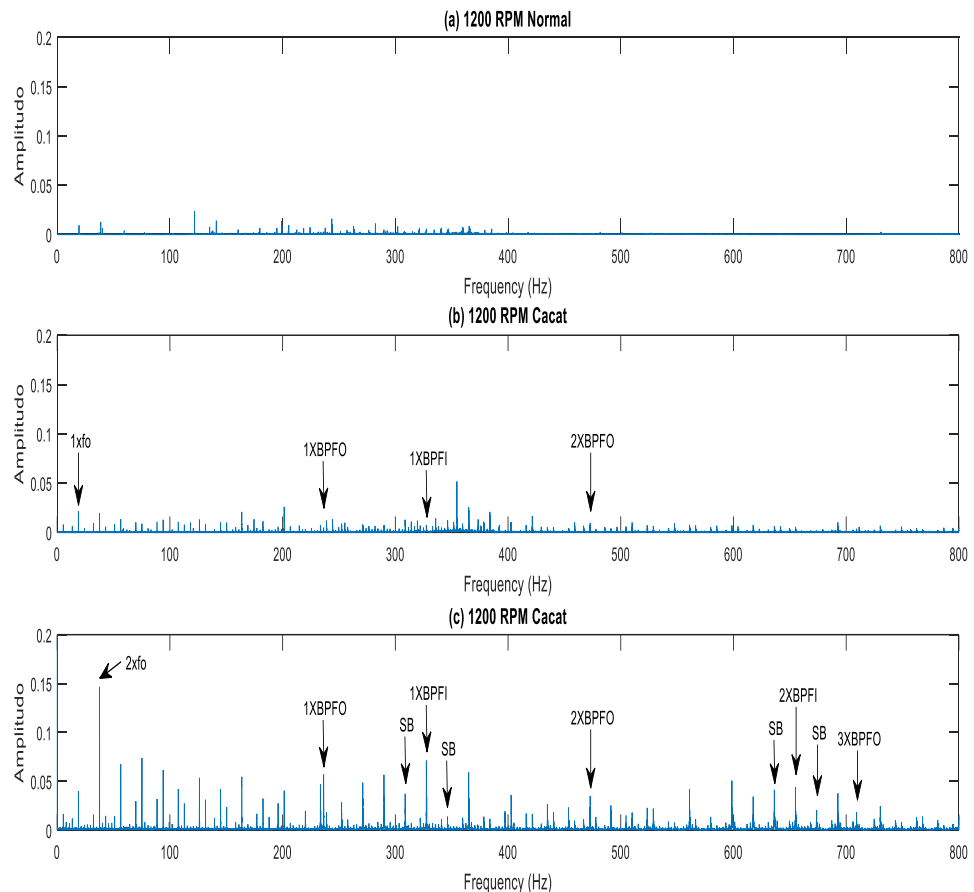
frekuensi dari cacat bantalan lintasan luar yaitu pada 1X dan 2X harmonik. Pada Tabel 4.2 hasil perhitungan cacat lintasan dalam diperoleh frekuensi cacat lintasan dalam 1X harmoniknya sebesar 269,13 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot didapatkan frekuensi sebesar 270,10 Hz dengan amplitudo 0,052. Pada perhitungan 2X kali harmonik diperoleh frekuensi cacat lintasan dalam sebesar 538,26 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot diperoleh frekuensi sebesar 539,90 Hz dengan amplitudo 0,035. Pada Tabel 4.3 perhitungan cacat lintasan luar diperoleh frekuensi cacat lintasan luar pada 1X harmoniknya sebesar 195,87 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot didapatkan frekuensi sebesar 194,90 Hz dengan amplitudo 0,061. Pada perhitungan 2X harmoniknya diperoleh frekuensi sebesar 391,74 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot diperoleh 389,90 Hz dengan amplitudo 0,032.

Hasil spektrum *envelope* muncul *side bands* yang merupakan ciri khas dari frekuensi cacat bantalan lintasan dalam (BPFI), seperti yang telah dijelaskan di bab II. *Side bands* terjadi karena pada saat bantalan berputar, posisi cacat bantalan lintasan dalam ikut berputar sesuai dengan putaran poros. Saat cacat bantalan lintasan dalam berputar keatas, beban yang ditumpu akan semakin ringan sehingga amplitudo yang muncul akan semakin rendah. Berbeda saat posisi cacat bantalan lintasan dalam berputar turun kebawah, beban yang ditumpu akan semakin besar sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang meningkat dan semakin tinggi. Hal ini akan menggambarkan bentuk sinyal yang muncul pada domain waktu pada bantalan cacat lintasan dalam berbentuk amplitudo modulasi (AM). Sehingga hasil pada FFT amplitudo modulasi ini akan memunculkan *side bands* pada samping kiri dan kanan frekuensi cacat bantalan pada spektrum envelope seperti Gambar 4.7 (d). Jarak *side band* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan pada 1X harmonik poros yaitu sebesar 15,5 Hz.

#### **4.4.2 Hasil Plot Pada Kecepatan Poros 1200 RPM**

Gambar 4.9 (a) merupakan hasil plot domain frekuensi bantalan normal, sedangkan Gambar 4.9 (b) dan (c) merupakan hasil plot domain frekuensi dan

pektrum *envelope* dari bantalan kondisi cacat multi jenis yaitu cacat lintasan dalam dan cacat lintasan luar pada kecepatan poros 1200 rpm.



Gambar 4.9 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1200 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Pada Gambar 4.9 (a), hasil plot domain frekuensi dan analisis *envelope* bantalan normal tidak menunjukkan adanya indikasi frekuensi cacat pada bantalan. Hasil plot juga menunjukkan bentuk yang bagus atau tidak ada frekuensi bantalan yang muncul dengan amplitudo tinggi, sehingga tidak perlu dilakukan analisis *envelope* untuk menganalisa cacat pada bantalan normal.

Hasil plot domain frekuensi dan spektrum *envelope* cacat multi jenis pada Gambar 4.9 (b), menunjukkan adanya frekuensi cacat bantalan lintasan luar pada 1X

dan 2X harmonik, plot juga menunjukkan adanya frekuensi cacat lintasan dalam pada lintasan dalam pada 1X harmonik. Akan tetapi, frekuensi yang muncul masih memiliki nilai amplitudo yang kecil dan masih berhimpit dengan frekuensi elemen lain yang tidak diketahui. Sehingga masih sulit untuk mengetahui apakah muncul frekuensi pada cacat bantalan atau tidak. Sedangkan, hasil dari analisis *envelope* pada Gambar 4.9 (c) terlihat berbeda, dimana muncul frekuensi yang sangat jelas sehingga mengindikasikan muncul frekuensi cacat pada bantalan.

Plot hasil analisis *envelope* seperti pada Gambar 4.8 (c), menunjukkan adanya frekuensi cacat multi jenis yaitu cacat lintasan dalam dan lintasan luar pada bantalan. Terdapat frekuensi dari cacat bantalan lintasan dalam pada 1X dan 2X harmonik, sedangkan frekuensi cacat bantalan lintasan luar memunculkan frekuensi ada 1X diikuti 3X harmonik. Dengan menggunakan rumus BPFi seperti hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 didapatkan frekuensi cacat lintasan dalam 1X harmonik yaitu sebesar 326,43 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 327,5 Hz dengan nilai amplitudo 0,071. Pada hasil perhitungan 2X harmonik didapat frekuensi sebesar 652,86 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 655 Hz dengan nilai amplitudo 0,043. Pada hasil perhitungan frekuensi cacat lintasan luar (BPFo) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 didapatkan frekuensi cacat pada 1X harmonik yaitu sebesar 237,57 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 236,4 Hz dengan nilai amplitudo 0,057. Pada hasil perhitungan 2X harmoniknya didapat frekuensi sebesar 475,15 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 472,9 Hz dengan nilai amplitudo 0,035. Pada hasil perhitungan 3X harmonik didapat frekuensi sebesar 712,71 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 709,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,018.

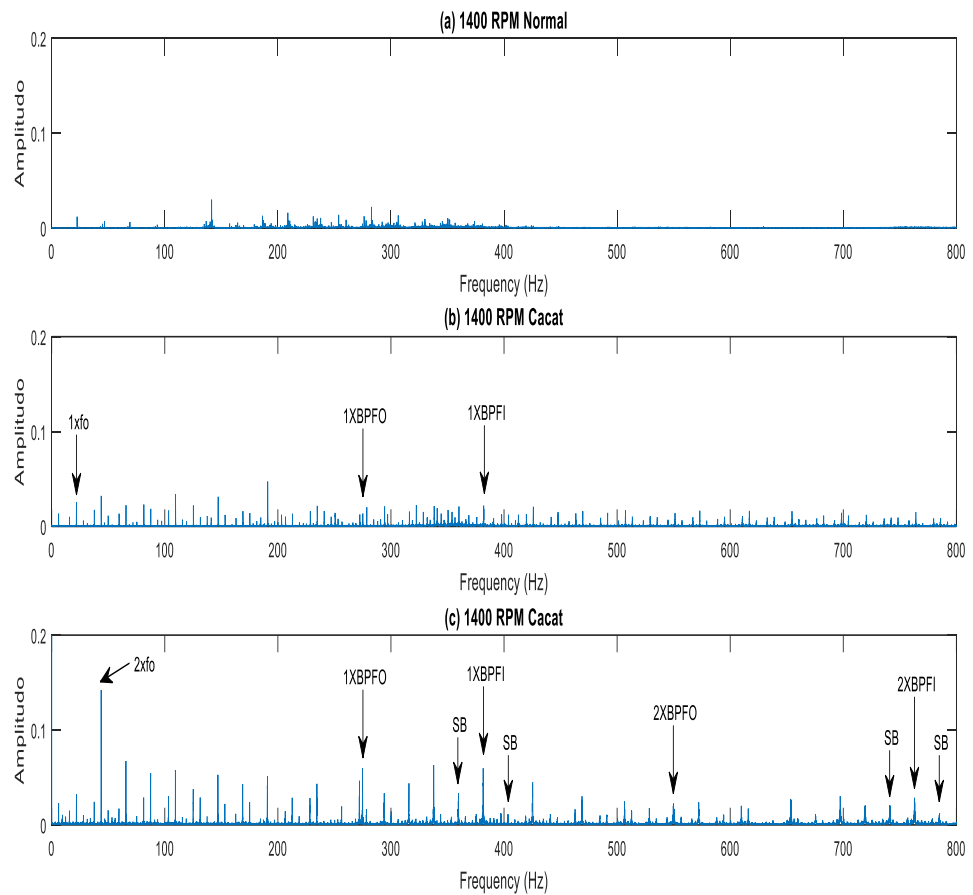
Pada hasil plot spektrum *envelope* cacat multi jenis 1200 rpm muncul *side bands* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat lintasan dalam pada bantalan. *Side bands* muncul pada semua harmoniknya, baik pada 1X, 2X dan 3X harmoniknya. Hal ini terjadi karena pada saat bantalan berputar melalui loading zone amplitudo akan naik tapi sedikit, ketika sampai paling bawah maka amplitudo

yang muncul akan semakin tinggi. *Side band* yang terbentuk pada spektrum *envelope* akan membentuk amplitudo modulasi pada hasil plot domain waktu. Jarak *side band* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan lintasan dalam pada 1X harmonik yaitu sebesar 18,8 Hz, dimana hasil tersebut sama dengan kecepatan poros yang digunakan.

#### **4.4.3 Hasil Plot Pada Kecepatan Poros 1400 RPM**

Gambar 4.10 (a), merupakan hasil plot domain frekuensi bantalan normal, sedangkan Gambar 4.10 (b) dan (c) merupakan hasil plot domain frekuensi dan spektrum *envelope* dari bantalan kondisi cacat multi jenis yaitu cacat lintasan dalam dan cacat lintasan luar pada kecepatan poros 1400 rpm. Gambar (a), (b) dan (c) dapat dilihat di halaman sebelah.

Pada Gambar 4.10 (a), hasil plot domain frekuensi kondisi bantalan normal tidak muncul frekuensi cacat pada bantalan, bahkan dapat memiliki hasil plot yang bersih dan ideal sehingga tidak perlu dilakukan analisis *envelope* untuk menganalisis cacat pada bantalan tersebut. Pada Gambar 4.10 (b), plot domain frekuensi cacat bantalan lintasan dalam dan cacat lintasan luar terlihat pada 1X harmonik, namun masih menunjukkan hasil yang tidak terlihat dengan jelas. Hal ini disebabkan karena frekuensi cacat bantalan tertutup atau terbenam oleh frekuensi getaran dari komponen lain. Karena frekuensi cacat bantalan pada hasil plot domain frekuensi tidak terlihat dengan jelas maka dilakukan metode yang lebih handal yaitu analisis *envelope*.



Gambar 4.10 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1400 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Pada gambar 4.10 (c) merupakan hasil plot analisis *envelope* dapat terlihat dengan jelas muncul frekuensi cacat multi jenis dari bantalan, pada cacat bantalan lintasan dalam, cacat terlihat pada 1X diikuti 2X harmonik, sedangkan pada cacat bantalan lintasan luar terlihat cacat pada 1X dan 2X harmoniknya. Dari hasil perhitungan menggunakan rumus BPFI pada Tabel 4.2 didapat frekuensi 1X harmonik yaitu sebesar 380,26 Hz, sedangkan frekuensi dari hasil pengamatan pada plot yang muncul adalah sebesar 381,60 Hz dengan nilai amplitudo 0,092. Pada hasil perhitungan 2X harmonik didapat frekuensi sebesar 760,51 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 762,90 Hz dengan nilai

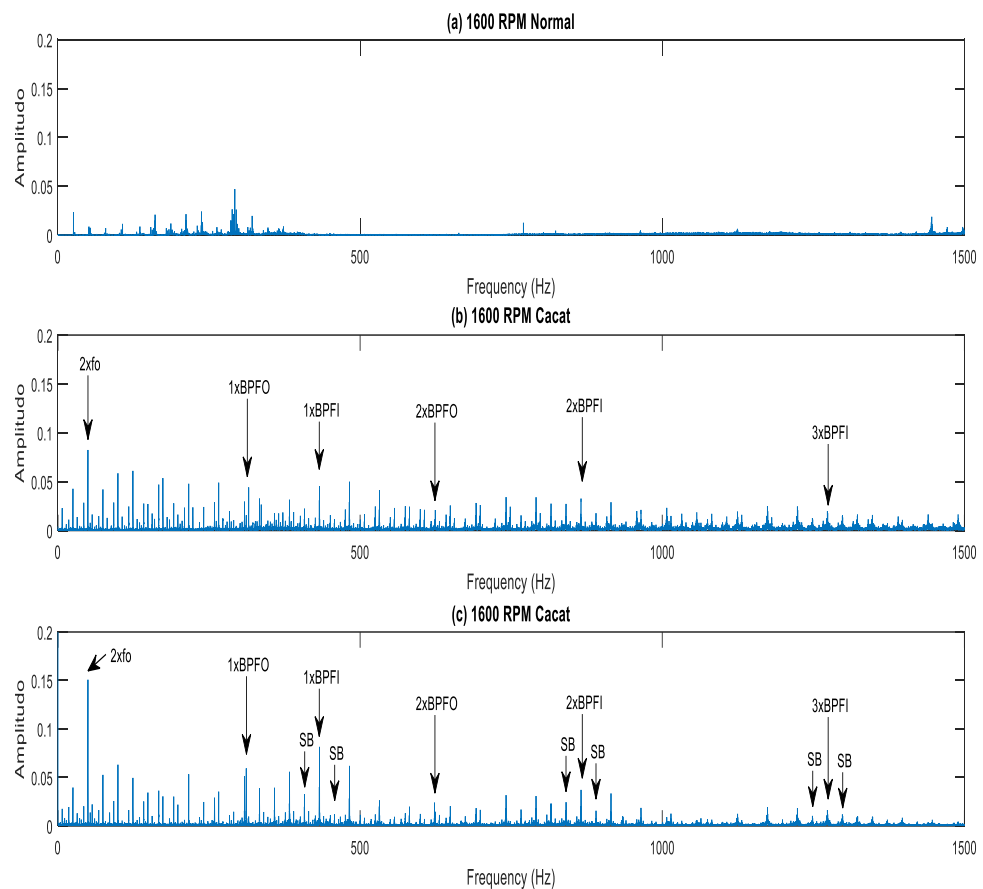
amplitudo 0,036. Terlihat *side bands* yang muncul di samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan lintasan dalam pada 1X harmonik. Munculnya *side bands* merupakan ciri khas dari cacat lintasan dalam, dimana pada plot domain waktu frekuensi yang dihasilkan berbentuk amplitudo modulasi (AM), sehingga hasil plot analisis envelope muncul *side bands* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 (c). *Side bands* muncul menandakan bahwa komponen lintasan dalam pada bantalan merupakan bagian yang berputar sesuai putaran poros, saat cacat bantalan lintasan dalam berputar keatas, maka beban yang ditumpu akan semakin ringan sehingga amplitudo yang muncul akan semakin rendah. Berbeda saat posisi cacat bantalan lintasan dalam berputar turun kebawah, beban yang ditumpu akan semakin besar sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang meningkat dan semakin tinggi. Jarak *side band* pada samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan dalam sama dengan kecepatan poros yang digunakan yaitu sebesar 21,9 Hz pada 1X harmoniknya.

Hasil perhitungan cacat bantalan lintasan luar (BPFO) Tabel 4.3 didapat frekuensi cacat 1X harmoniknya sebesar 276,74 Hz, sedangkan frekuensi dari hasil pengamatan pada plot sebesar 274,90 Hz dengan nilai amplitudo 0,075. Pada hasil perhitungan 2X harmoniknya didapat frekuensi cacat sebesar 553,49 Hz, sedangkan frekuensi dari hasil pengukuran sebesar 550,30 Hz dengan nilai amplitudo 0,022. Frekuensi cacat lintasan luar (BPFO) pada bantalan tidak memunculkan *side bands*, ini terjadi karena tipe fiksasi pada bantalan yang diuji, dimana bantalan lintasan luar merupakan bantalan yang diam atau tidak berputar.

#### **4.4.4 Hasil Plot Pada Kecepatan Poros 1600 RPM**

Gambar 4.11 (a) merupakan hasil plot domain frekuensi bantalan normal, sedangkan Gambar 4.11 (b) dan (c) merupakan hasil plot domain frekuensi dan spektrum *envelope* dari bantalan kondisi cacat multi jenis yaitu cacat lintasan dalam dan cacat lintasan luar pada kecepatan poros 1600 rpm. Pada gambar 4.11 (a) hasil plot domain frekuensi kondisi bantalan normal tidak muncul frekuensi cacat pada bantalan, bahkan dapat memiliki hasil plot yang bersih dan ideal sehingga tidak perlu dilakukan analisis *envelope* untuk menganalisis cacat pada bantalan tersebut.





Gambar 4.11 Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1600 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Cacat Multi Jenis, dan (c) Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis.

Pada Gambar 4.11 (b) plot domain frekuensi cacat bantalan lintasan dalam terlihat pada 1X sampai 3X harmonik, sedangkan frekuensi cacat bantalan lintasan luar terlihat pada 1X dan 2X harmonik. Namun, masih banyak frekuensi dengan amplitudo tinggi dari getaran komponen lain yang bukan merupakan frekuensi cacat bantalan, sehingga dapat mengganggu dalam menganalisa cacat bantalan tersebut. Oleh karena itu digunakan metode analisis *envelope* yang dapat menyaring frekuensi tinggi yang dimiliki bantalan dan menghilangkan frekuensi rendah yang memiliki amplitudo tinggi.

Gambar 4.11 (c) merupakan hasil plot analisis *envelope*, dengan metode ini terlihat jelas adanya indikasi cacat multi jenis pada bantalan. Cacat lintasan dalam

(BPFI) terlihat pada 1X diikuti 3X harmoniknya, sedangkan cacat lintasan luar (BPFO) terlihat pada 1X dan 2X harmonik. Dari hasil perhitungan menggunakan rumus BPFI Tabel 4.2. Frekuensi cacat pada 1X harmonik didapat 430,61 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot sebesar 432,80 Hz dengan nilai amplitudo 0,081. Hasil perhitungan pada 2X harmonik didapat frekuensi sebesar 861,22 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot sebesar 865,60 Hz dengan nilai amplitudo 0,037. Hasil perhitungan 3X harmonik didapat frekuensi sebesar 1291,83 Hz, sedangkan hasil pengamatan pada plot sebesar 1298,00 Hz. Pada 1X harmonik cacat lintasan dalam muncul *side bands* dan harmoniknya yang dapat terlihat dengan jelas. *side bands* merupakan karakteristik dari cacat lintasan dalam (BPFI). *Side bands* muncul menandakan bahwa komponen lintasan dalam pada bantalan merupakan bagian yang berputar sesuai putaran poros, saat cacat bantalan lintasan dalam berputar keatas, makan beban yang ditumpu akan semakin ringan sehingga amplitudo yang muncul akan semakin rendah. Berbeda saat posisi cacat bantalan lintasan dalam berputar turun kebawah, beban yang ditumpu akan semakin besar sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang meningkat dan semakin tinggi. Jarak *side band* pada samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan dalam sama dengan kecepatan poros yang digunakan yaitu sebesar 24,8 Hz pada 1X harmoniknya.

Hasil perhitungan cacat bantalan lintasan luar (BPFO) Tabel 4.3 didapat frekuensi cacat 1X harmonik sebesar 313,39 Hz, sedangkan frekuensi dari hasil pengamatan pada plot sebesar 311,60 Hz dengan nilai amplitudo 0,059. Hasil perhitungan pada 2X harmonik didapat frekuensi cacat sebesar 626,78 Hz, sedangkan frekuensi dari hasil pengamatan pada plot sebesar 623,00 Hz dengan nilai amplitudo 0,024.

Berikut ini merupakan tabel perbandingan antara hasil perhitungan secara teoritis dengan hasil pengamatan pada plot cacat bantalan lintasan dalam dan lintasan luar pada masing-masing kecepatan poros.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Pada Kecepatan 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM

1000 RPM	Harmonik	BPM		Selisih	BPM		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	269.13	270.1	0.97	195.87	194.9	0.97
	2x	538.26	539.9	1.64	391.74	389.9	1.84
	3x	807.39	-	-	587.61	-	-
1200 RPM	Harmonik	BPM		Selisih	BPM		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	326.43	327.5	1.07	237.57	236.4	1.17
	2x	652.86	655	2.14	475.14	472.9	2.24
	3x	979.29	-	-	712.71	709.3	3.41
1400 RPM	Harmonik	BPM		Selisih	BPM		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	380.26	381.6	1.34	276.74	274.9	1.84
	2x	760.51	762.9	2.39	553.49	550.3	3.19
	3x	1140.77	-	-	830.23	-	-
1600 RPM	Harmonik	BPM		Selisih	BPM		Selisih
		Perhitungan	Pengamatan		Perhitungan	Pengamatan	
	1x	430.61	432.8	2.19	313.39	311.6	1.79
	2x	861.22	865.6	4.38	626.78	623	3.78
	3x	1291.83	1298	6.17	940.17	-	-

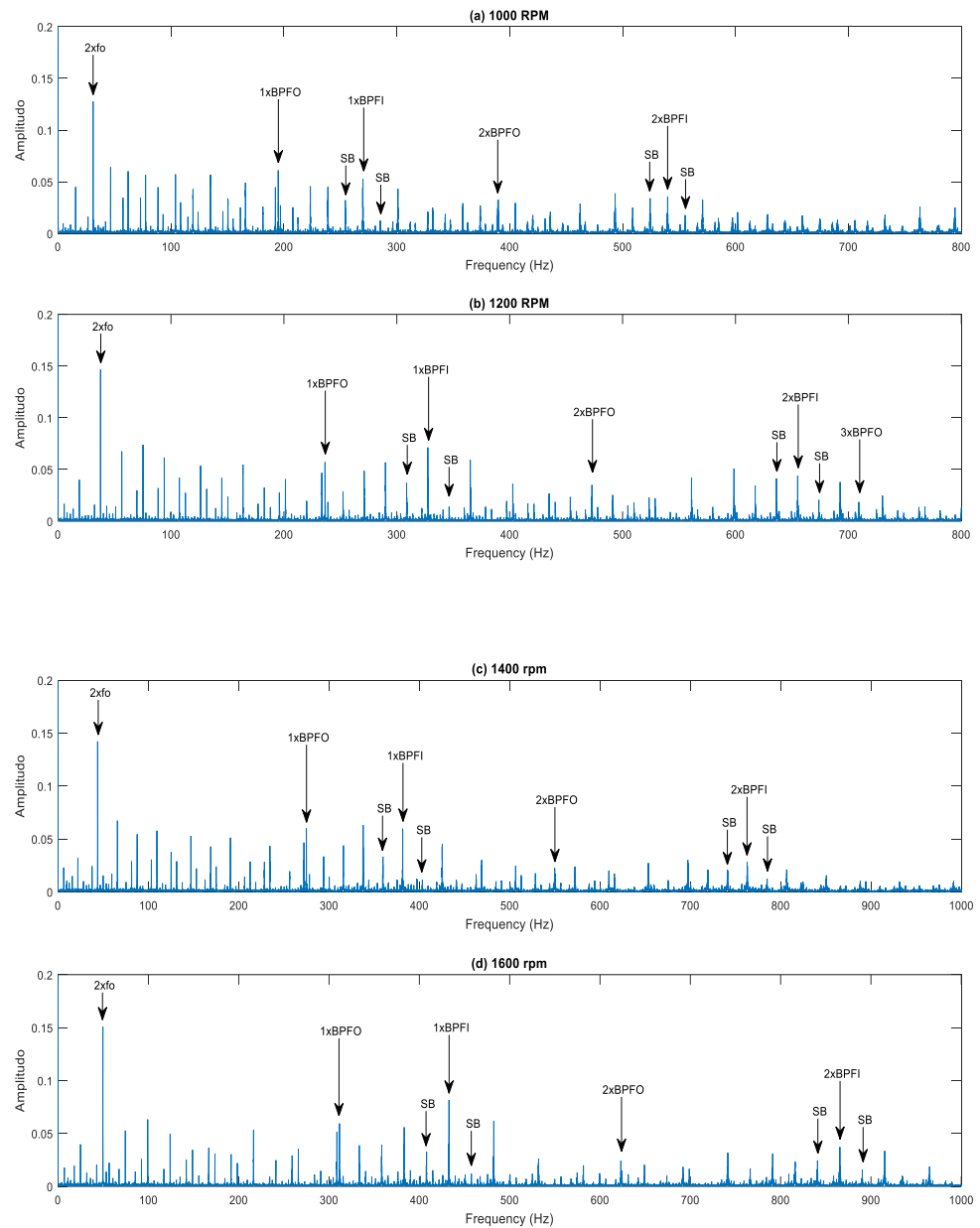
Pada tabel perbandingan antara hasil perhitungan menggunakan rumus BPM dan BPM dengan hasil pengamatan pada plot cacat bantalan pada masing-masing kecepatan poros diatas terdapat selisih perhitungan. Selisih antara hasil perhitungan dengan hasil pengamatan pada plot disebabkan oleh frekuensi kecepatan poros yang berubah-ubah pada saat proses pengujian, sehingga dalam menentukan frekuensi poros harus diambil nilai rata-ratanya. Hal ini yang menyebabkan frekuensi poros yang diinginkan tidak sesuai, dan menyebabkan adanya selisih antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran. Selisih dari masing-masing poros memiliki nilai yang berbeda, dimana semakin tinggi

kecepatan poros yang digunakan maka semakin tinggi juga selisih yang dihasilkan dari hasil pengukuran.

Hasil plot dari domain frekuensi dan analisis *envelope* pada semua kecepatan poros menunjukkan adanya cacat multi jenis pada bantalan (cacat lintasan dalam dan cacat lintasan luar). Hal ini ditunjukkan dengan munculnya frekuensi dari cacat bantalan dan juga hasil pengukuran mendekati hasil yang didapat pada hasil perhitungan menggunakan rumus BPF<sub>I</sub> dan BPF<sub>O</sub>. Dari hasil plot kondisi bantalan cacat dibagian lintasan dalam (*inner race*) dapat dilihat bahwa domain frekuensi memiliki ciri khas sendiri. Jika dilihat dari analisis *envelope* cacat bantalan dalam hanya muncul 2X sampai 3X harmoniknya diikuti dengan munculnya *side bands* pada sisi sebelah kanan dan kirinya. *Side bands* muncul menandakan bahwa komponen lintasan dalam pada bantalan merupakan bagian yang berputar sesuai putaran poros, saat cacat bantalan lintasan dalam berputar keatas, maka beban yang ditumpu akan semakin ringan sehingga amplitudo yang muncul akan semakin rendah. Berbeda saat posisi cacat bantalan lintasan dalam berputar turun kebawah, beban yang ditumpu akan semakin besar sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang meningkat dan semakin tinggi. Hal ini akan menggambarkan bentuk sinyal yang muncul pada domain waktu pada bantalan cacat lintasan dalam berbentuk amplitudo modulasi (AM). Sehingga hasil pada FFT amplitudo modulasi ini akan memunculkan *side band* pada samping kiri dan kanan frekuensi cacat bantalan pada spektrum *envelope*.

#### **4.5 Perbandingan Grafik Envelope Pada Semua Kecepatan Poros**

Gambar 4.12 seperti yang ditunjukkan dibawah merupakan perbandingan hasil plot analisis *envelope* pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm dan 1600 rpm.

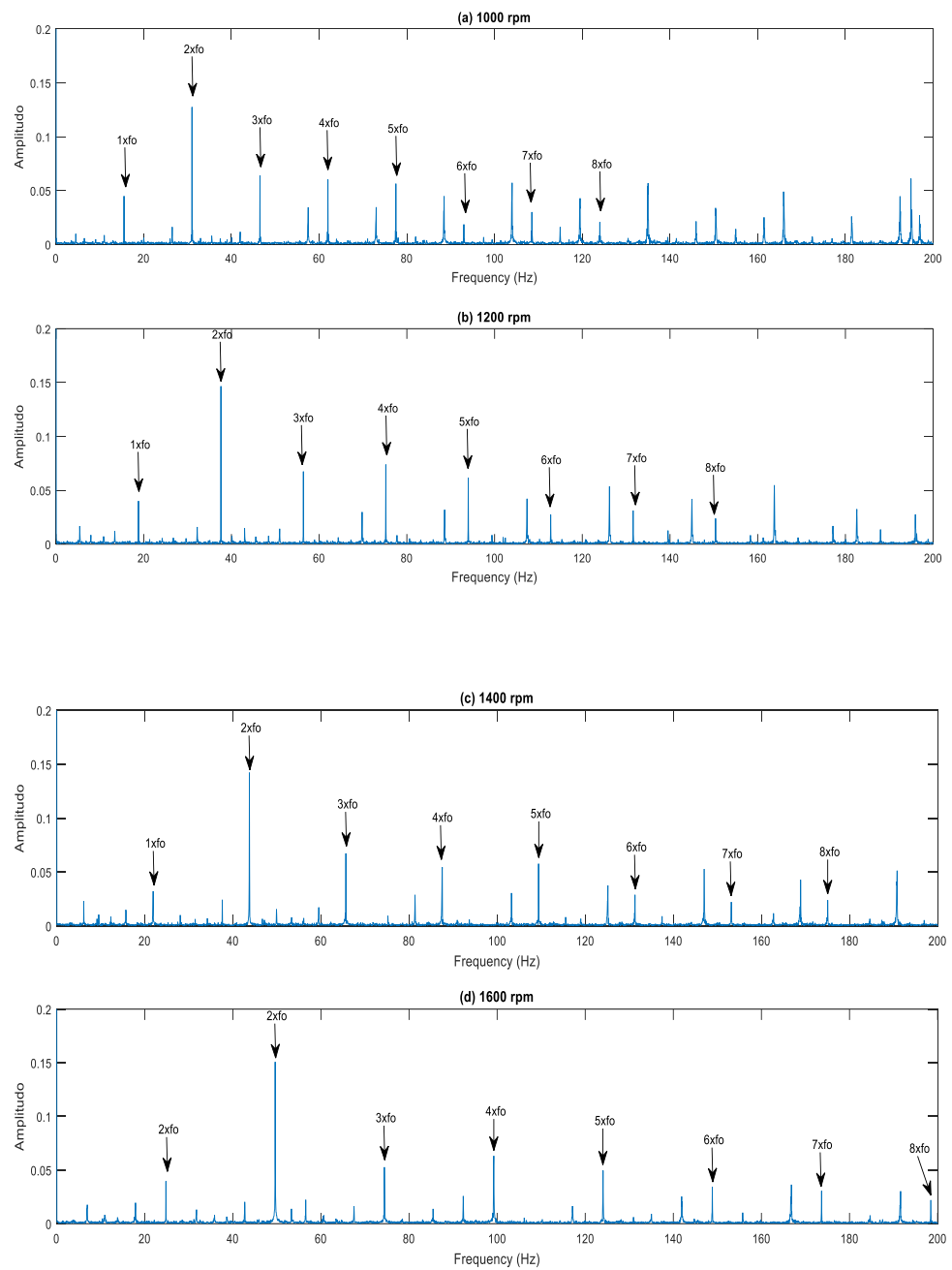


Gambar 4.12 Spektrum *Envelope* Cacat Multi Jenis Bantalan pada Putaran (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM dan (d) 1600 RPM.

Pada Gambar 4.12 spektrum *envelope* cacat multi jenis bantalan pada putaran 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM. Pada Gambar 4.12 (b) yang merupakan kecepatan 1200 RPM mengalami kenaikan nilai amplitudo pada frekuensi cacat multi jenis dibandingkan Gambar 4.12 (a) kecepatan 1000 RPM. Begitu juga yang terjadi pada Gambar 4.12 (c) yang merupakan kecepatan 1400

RPM, nilai amplitudo juga mengalami kenaikan dibandingkan dengan kecepatan 1000 RPM dan 1200 RPM. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan kecepatan pada putaran motor (RPM), semakin tinggi kecepatan putaran motor semakin besar energi atau gaya gesek yang terjadi pada komponen cacat. Sehingga besar kemungkinan membuat kenaikan nilai amplitudo pada frekuensi cacat bantalan. Akan tetapi, penurunan amplitudo terjadi pada putaran 1600 RPM, penurunan amplitudo ini kemungkinan besar disebabkan gaya gesek yang terjadi antara komponen relatif kecil.

Plot spektrum *envelope* juga menunjukkan adanya cacat yang terjadi diluar rencana penelitian. Mulanya cacat yang disengaja adalah cacat bantalan lintasan dalam dan cacat bantalan lintasan luar. Sementara hasil plot spektrum *envelope* menunjukkan adanya frekuensi cacat dengan nilai amplitudo tinggi yang diidentifikasi adalah cacat *parallel misalignment*. Cacat tersebut merupakan cacat yang tidak disengaja. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 (a), (b), (c), dan (d), muncul frekuensi putaran poros dengan amplitudo yang lebih dominan pada 2X harmoniknya. Cornelius Scheffer dan Paresh Girdhar dalam buku "*Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*" merumuskan, jika frekuensi putaran poros dengan amplitudo yang lebih dominan pada 2X harmoniknya, frekuensi 2X harmonik tersebut menunjukkan adanya indikasi *parallel misalignment*. *Parallel misalignment* terjadi karena kondisi motor dan alat uji tidak sejajar, atau kondisi motor sedikit lebih tinggi dari alat uji sehingga mengakibatkan konstruksi *coupling* terganggu. Ketika *Parallel misalignment* menjadi semakin parah, plot pada spektrum *envelope* dapat menghasilkan amplitudo tinggi pada kelipatan harmonik (3X sampai 8X) atau bahkan keseluruhan rangkaian harmonik pada frekuensi tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 (a), (b), (c), dan (d).



Gambar 4.13 Spektrum *Envelope* Putaran (a) 1000 RPM, (b) 1200 RPM, (c) 1400 RPM dan (d) 1600 RPM.