

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas hasil dari penelitian uji cacat bantalan bola pada prototipe fan industri. Penelitian dilakukan untuk mendeteksi cacat pada bantalan bola dengan tiga kondisi bantalan bola yang uji secara bergantian.

4.1. Data Penelitian

Data yang diperoleh dari penelitian pada pengukuran getaran bantalan bola pada prototipe fan industri dengan kondisi normal, cacat pada lintasan luar, dan cacat pada lintasan dalam. Berikut adalah dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* merk Koyo 1209K yang digunakan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada table 4.1 :

Tabel 4.1 Dimensi Bantalan Bola Koyo 1209K

Diameter Luar	85 mm
Diameter Dalam	45 mm
Diameter Bola	9,45 mm
Diameter Pitch	65 mm
Jumlah Bola	32 Butir
Sudut Kontak (α)	0°

Table 4.1 diatas digunakan untuk mencari frekuensi cacat bantalan bola pada lintasan luar (BPFO) dan lintasan dalam (BPFI).

Hasil perhitungan dari nilai frekuensi pada cacat bantalan bola lintasan bagian luar (BPFO) ditunjukkan pada persamaan 2.1 pada bab 2 di table berikut ini:

Table 4.2 Frekuensi Cacat Pada Bantalan Bola Lintasan Luar

Keterangan	Hasil Perhitungan
1x BPFO	268 Hz
2x BPFO	536 Hz
3x BPFO	804 Hz
4x BPFO	1072 Hz
5x BPFO	1340 Hz

Hasil perhitungan dari nilai frekuensi cacat pada bantalan bola lintasan bagian dalam (BPFI) ditunjukkan persamaan 2.2 pada bab 2 di table berikut ini:

Tabel 4.3 Frekuensi Cacat Pada Bantalan Bola Lintasan Dalam

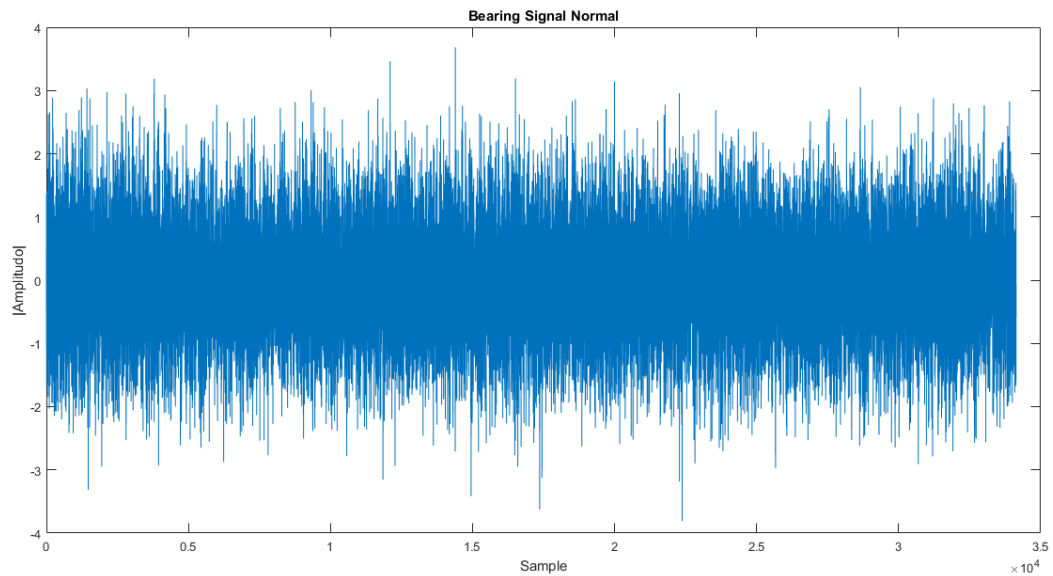
Keterangan	Hasil Perhitungan
1x BPFI	359,19 Hz
2x BPFI	718,38 Hz
3x BPFI	1077,57 Hz
4x BPFI	1436,76 Hz
5x BPFI	1795,95 Hz

4.2 Sinyal Getaran Pada Kondisi Bantalan Normal

Sinyal getaran yang diperoleh dari hasil pengukuran getaran pada bantalan bola prototipe fan industri yang dapat ditampilkan pada tiga bentuk plot grafik diantaranya yaitu plot grafik domain waktu, domain frekuensi, dan spektrum envelope. Berikut adalah grafik dari hasil pengujian bantalan bola normal.

4.2.1 Hasil Dari Plot Domain Waktu

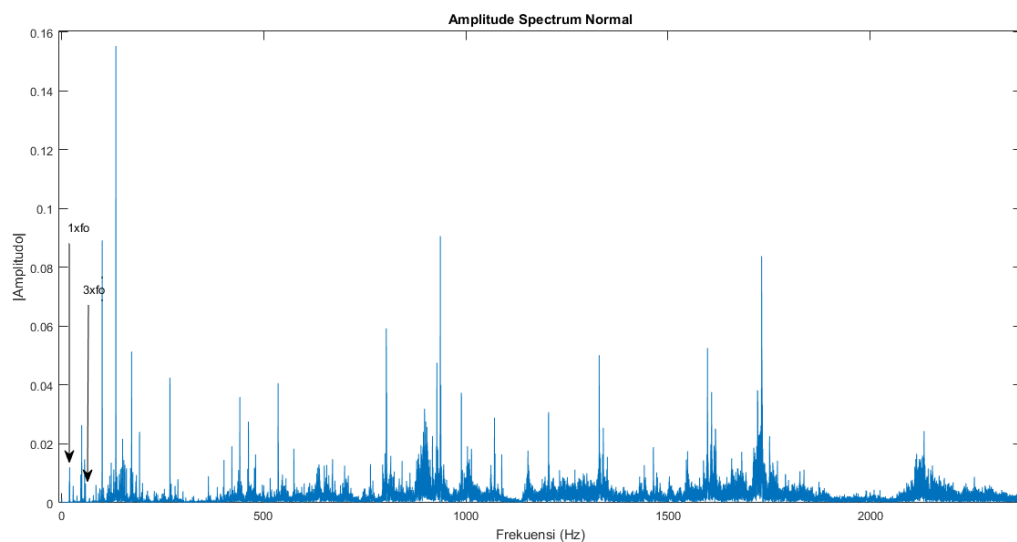
Berikut ini adalah hasil plot domain waktu pada pengujian kondisi bantalan normal diambil dalam waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan sampling ratenya 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Plot Domain Waktu Bantalan Bola Kondisi Normal

4.2.2 Hasil Plot Domain Frekuensi

Berikut ini adalah hasil plot domain frekuensi pada pengujian kondisi bantalan normal (tanpa cacat) diambil dengan waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan sampling rate 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut ini.

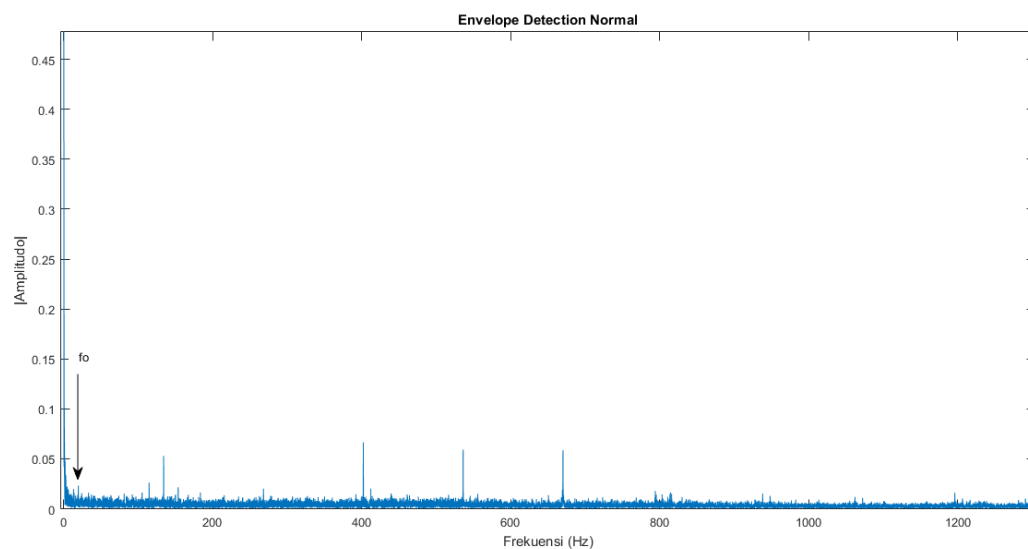


Gambar 4.2 Plot Domain Frekuensi Bantalan Bola Kondisi Normal

Pada plot domain frekuensi diatas menunjukkan bahwa spektrum yang muncul yaitu pada frekuensi poros $1xfo$ diperoleh 19,53 Hz dengan amplitudo 0,012 dan $3xfo$ diperoleh 58,59 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0064 dan amplitudo yang tinggi yaitu dari komponen-komponen yang bergetar lainnya. Sedangkan frekuensi kerusakan (cacat) pada bantalan tersebut tidak terlihat dikarenakan bantalan tersebut kondisi normal.

4.2.3 Hasil Plot Spektrum Envelope

Berikut ini merupakan hasil dari plot spektrum envelope pada pengujian bantalan kondisi normal (tanpa cacat) diambil dengan waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan sampling rate 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Plot Spektrum Envelope Bantalan Bola Kondisi Normal

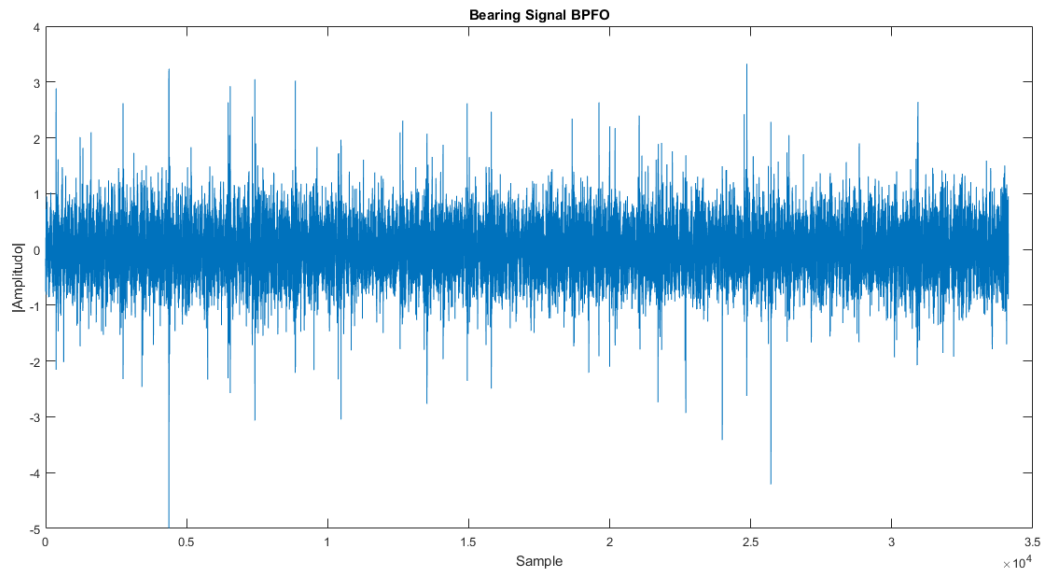
Pada gambar diatas setelah di FFT menggunakan metode envelope hanya diperoleh frekuensi porosnya saja sebesar 19,53 Hz dengan amplitudo sebesar 0,023 sedangkan pada frekuensi bantalan tidak ada indikasi kerusakan dikarenakan bantalan tersebut kondisi normal.

4.3 Sinyal Getaran Pada Kondisi Bantalan Cacat Bagian Lintasan Luar

Sinyal getaran ini diperoleh dari hasil pengujian pada kondisi bantalan bola cacat lintasan luar (*outer race*) diambil dengan waktu 10 detik jeda 2 detik dengan sampling rate 17066 Hz.

4.3.1 Hasil Plot Domain Waktu

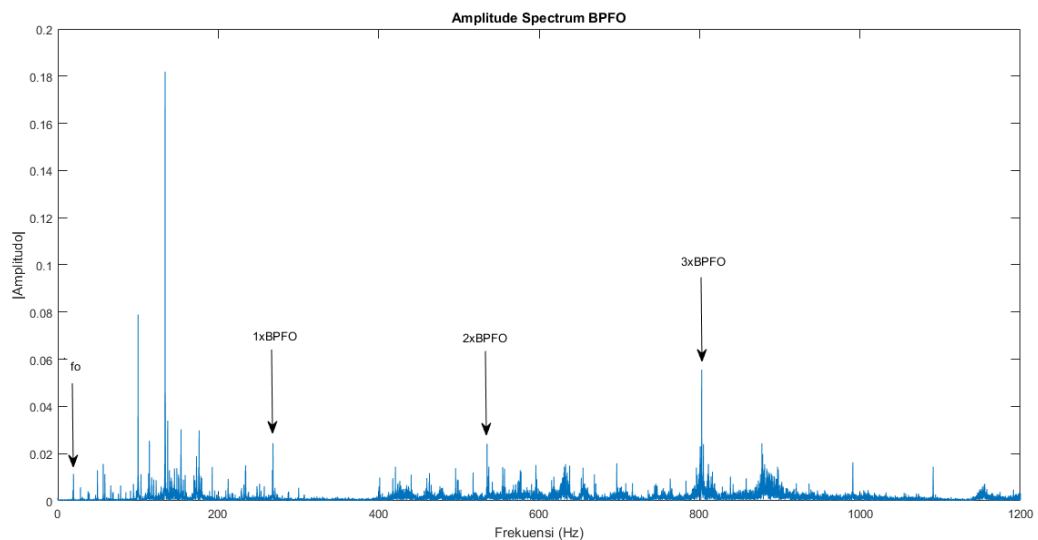
Berikut ini adalah hasil plot domain waktu pada pengujian bantalan cacat bagian lintasan luar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.berikut ini.



Gambar 4.4 Plot Domain Waktu Kondisi Cacat Bantalan Bola Lintasan Luar

2.3.2 Hasil Plot Domain Frekuensi

Berikut ini merupakan hasil plot domain frekuensi dari pengujian cacat bantalan pada bagian lintasan luar yang ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut ini.

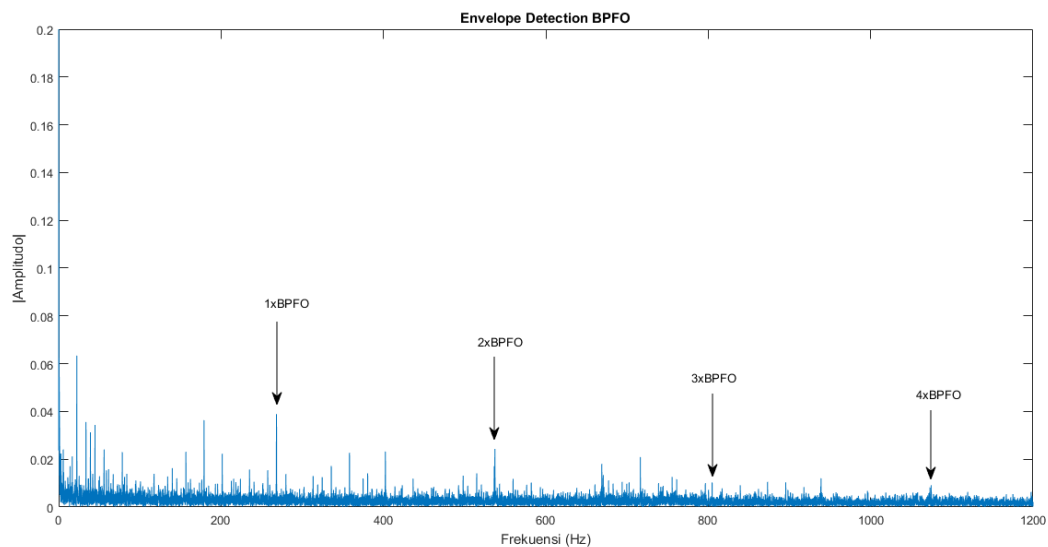


Gambar 4.5 Plot Domain Frekuensi Kondisi Cacat Bantalan Bola Lintasan Luar

Pada gambar diatas setelah di FFT menggunakan domain frekuensi didapatkan hasil yaitu frekuensi yang terlihat yaitu frekuensi pada poros sebesar 19,6 Hz dengan amplitudo sebesar 0,011, sedangkan frekuensi cacat pada bantalan tersebut terlihat hingga diikuti 3x harmoniknya yang muncul, yaitu 1xBPFO diperoleh 268,3 Hz dengan amplitudo sebesar 0,024, 2xBPFO diperoleh 535,1 Hz dengan amplitudo sebesar 0,024, dan 3xBPFO diperoleh 802,7 Hz dengan amplitudo sebesar 0,055.

4.3.3 Hasil Plot Spektrum Envelope

Berikut ini adalah hasil dari plot spektrum envelope pada pengujian bantalan bola dengan kondisi cacat bagian lintasan luar yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat Bantalan Bola Lintasan Luar

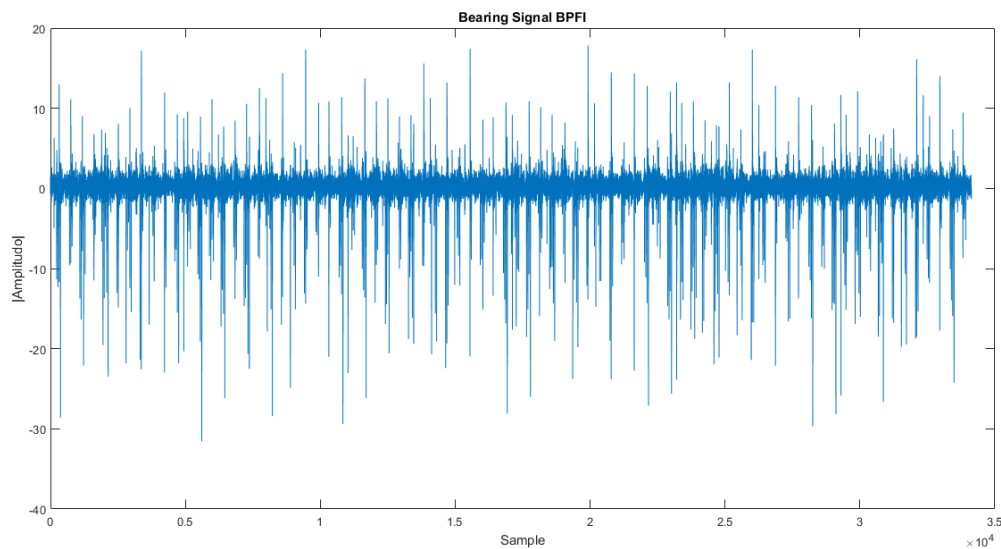
Pada gambar diatas setelah di FFT menggunakan metode envelope frekuensi cacat pada bantalan lintasan luar terlihat hingga diikuti 4x harmoniknya yaitu 1xBPFO diperoleh 268,3 Hz dengan amplitudo sebesar 0,038, 2xBPFO diperoleh 537,3 Hz dengan amplitudo sebesar 0,024, 3xBPFO diperoleh 804,8 Hz dengan amplitudo 0,010, dan 4xBPFO diperoleh 1075 Hz dengan amplitudo sebesar 0,009.

4.4 Sinyal Getaran Pada Kondisi Bantalan Cacat Bagian Lintasan Dalam

Sinyal getaran ini didapatkan dari hasil pengujian bantalan bola kondisi cacat pada bagian lintasan dalam (*inner race*) dengan waktu pengambilan 10 detik jeda 2 detik dengan sampling rate 17066 Hz.

4.4.1 Hasil Plot Domain Waktu

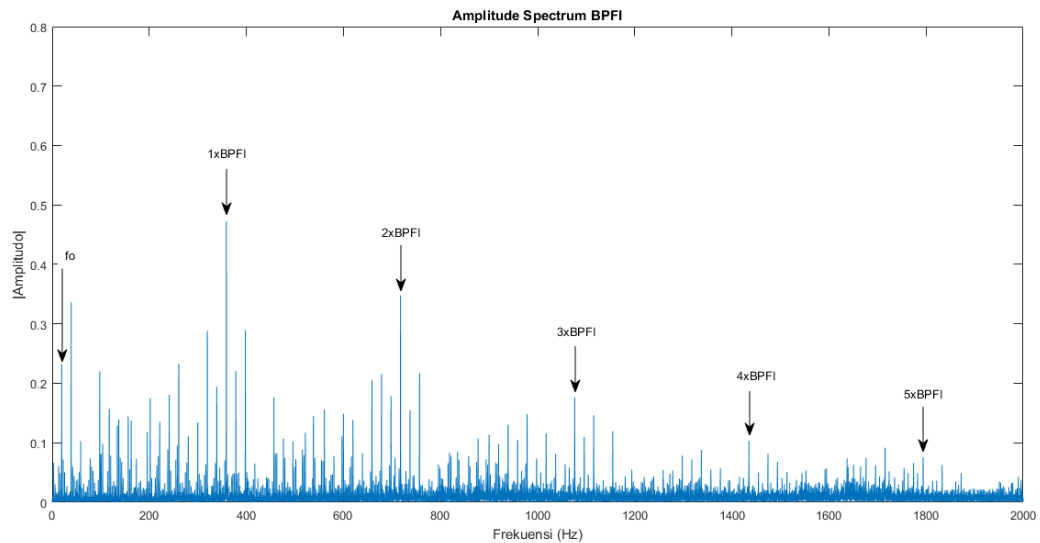
Berikut ini adalah hasil dari plot domain waktu pada pengujian bantalan bola pada kondisi cacat lintasan dalam, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Plot Domain Waktu Kondisi Cacat Bantalan Bola Lintasan Dalam

4.4.2 Hasil Plot Domain Frekuensi

Berikut ini adalah hasil plot domain frekuensi pada pengujian bantalan bola dengan kondisi cacat lintasan dalam seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8.

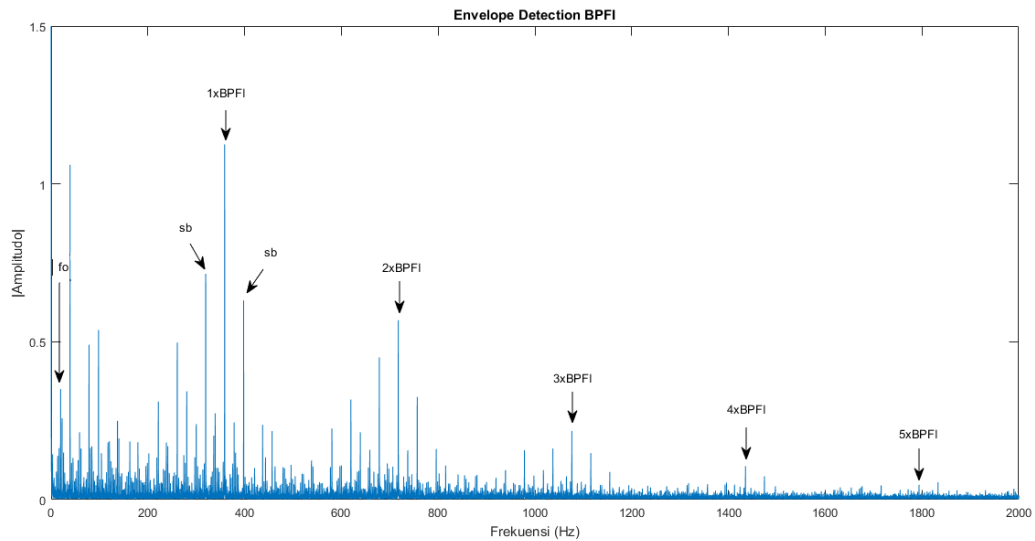


Gambar 4.8 Plot Domain Frekuensi Kondisi Cacat Bantalan Bola Lintasan Dalam

Pada gambar diatas setelah di FFT dengan domain frekuensi hasil yang diperoleh yaitu frekuensi pada poros sebesar 19,6 Hz dengan amplitudo sebesar 0,23, sedangkan frekuensi cacat pada bantalan lintasan dalam terlihat hingga diikuti 5x harmoniknya yang muncul yaitu 1xBPFI diperoleh 358,8 Hz dengan amplitudo 0,47, 2xBPFI diperoleh 717,6 Hz dengan amplitudo 0,34, 3xBPFI diperoleh 1076 Hz dengan amplitudo 0,17, 4xBPFI diperoleh 1435 Hz dengan amplitudo 0,10, dan 5xBPFI diperoleh 1794 dengan amplitudo 0,07.

4.4.3 Hasil Plot Spektrum Envelope

Berikut ini adalah bentuk dari hasil plot spektrum envelope pada pengujian bantalan kondisi cacat lintasan dalam, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9.

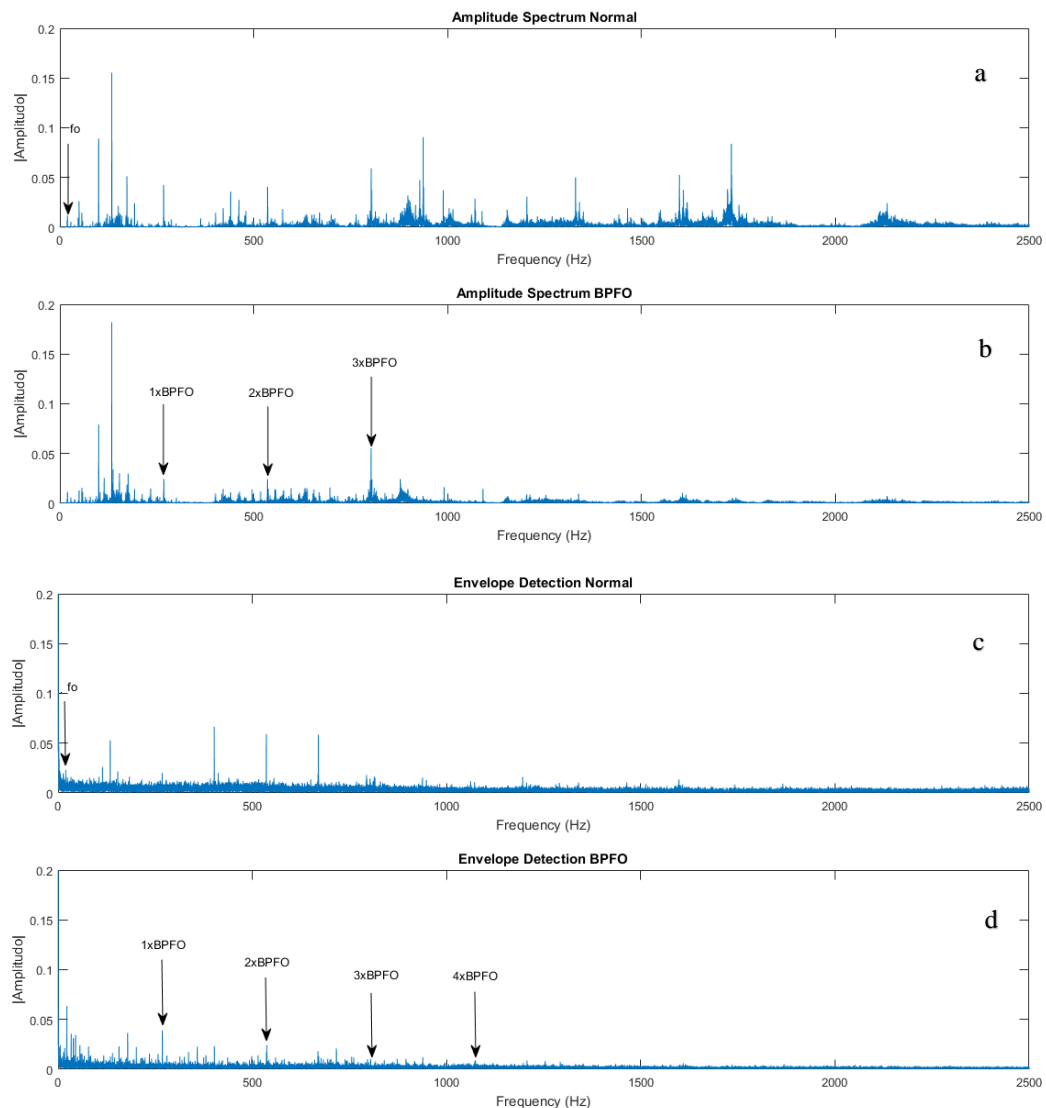


Gambar 4.9 Plot Spektrum Envelope Kondisi Cacat Bantalan Bola Lintasan
Dalam

Pada gambar diatas setelah di FFT menggunakan spektrum envelope hasil yang didapat yaitu frekuensi pada poros sebesar 19,6 Hz dengan amplitudo 0,35, sedangkan pada frekuensi cacat bantalan lintasan dalam terlihat hingga diikuti 5x harmoniknya yang muncul yaitu 1xBPFI diperoleh 358,8 Hz dengan amplitudo 1,12 dan pada puncak amplitudo cacat ini didampingin oleh adanya *side band* (sb) pada kanan dan kiri amplitudo cacat tersebut , 2xBPFI diperoleh 717,6 Hz dengan amplitudo 0,56, 3xBPFI diperoleh 1076 Hz dengan amplitudo 0,21, 4xBPFI diperoleh 1435 Hz dengan amplitudo 0,10, dan 5xBPFI diperoleh 1794 Hz dengan amplitudo 0,047.

4.5 Perbandingan Spektrum Frekuensi dan Spektrum Envelope Antara Kondisi Bantalan Normal Dengan Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Luar.

Gambar 4.10 merupakan hasil plot dari domain frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan cacat pada bagian lintasan luar munculnya amplitude yang berhimpit dengan frekuensi cacat bantalan pada hasil plot kondisi cacat baik pada spektrum frekuensi maupun spektrum envelope mengindikasikan bahwa terjadinya cacat pada bantalan bola pada prototipe fan industri.



Gambar 4.10 (a) Plot Domain Frekuensi Pada Kondisi Bantalan Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Pada Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Luar, (c) Plot Spektrum Envelope Pada Kondisi Bantalan Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Pada Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Luar. (#Data ke-5 File ke-15)

Plot pada kondisi normal menunjukkan kenaikan amplitudo baik pada spektrum frekuensi maupun pada spektrum envelope, sedangkan plot pada kondisi cacat menunjukkan penurunan amplitudo.

Dapat dilihat pada kondisi normal spektrum frekuensi menunjukkan amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi cacat, namun pada kondisi cacat ini menunjukkan adanya puncak amplitudo yang mengindikasikan bahwa adanya frekuensi cacat pada bantalan yang diikuti 3x harmoniknya. Hal tersebut

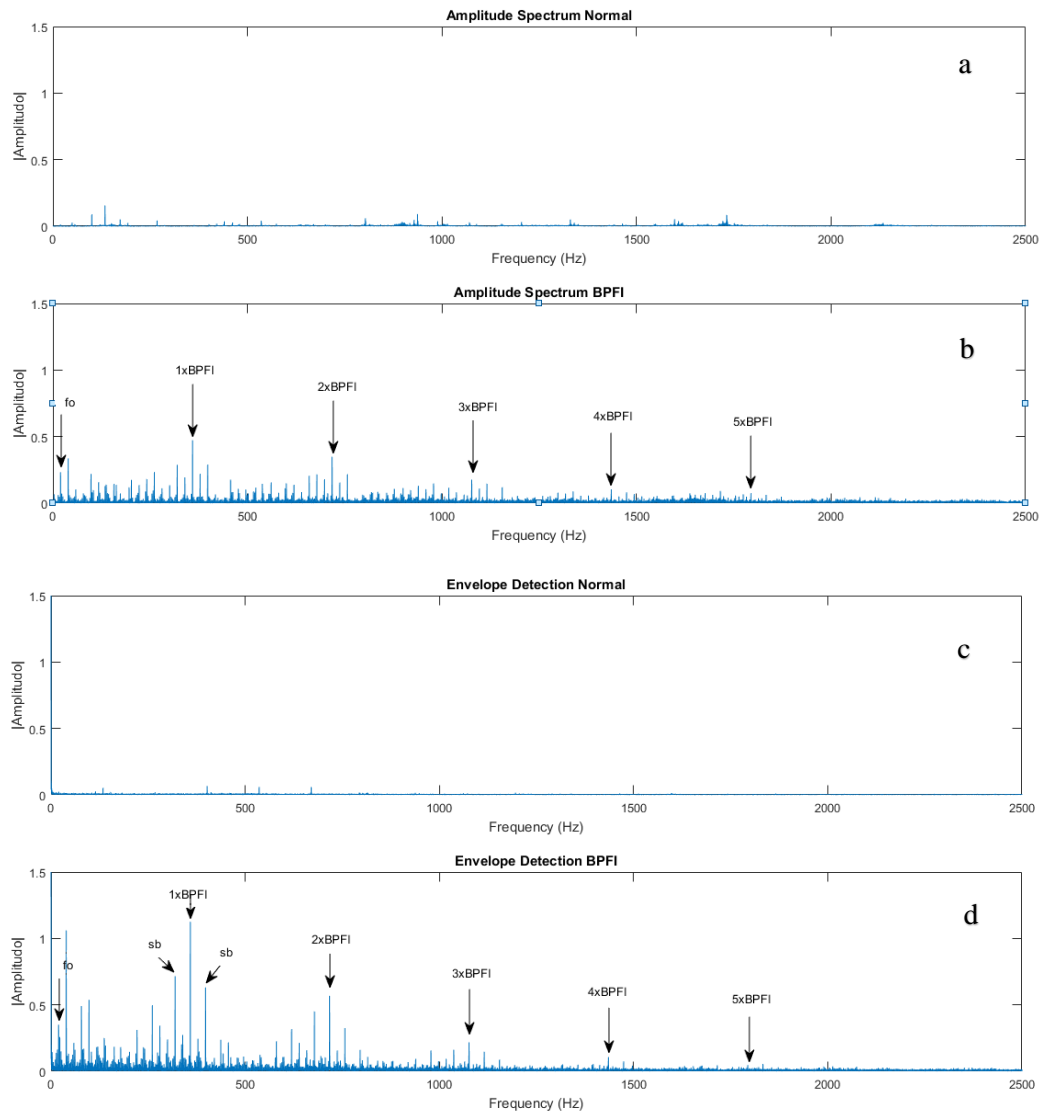
juga terjadi pada spektrum envelopenya. Secara teoritik frekuensi cacat bantalan terlihat hingga diikuti 4x harmoniknya yaitu pada 1x BPFO diperoleh sebesar 268 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 268,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,038. Perhitungan pada 2x BPFO diperoleh sebesar 536 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 437,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,024. Pada perhitungan 3xBPFO diperoleh 804 Hz sedangkan hasil pengukuran 804,8 Hz dengan nilai amplitudo 0,010. Perhitungan pada 4xBPFO 1072 Hz sedangkan hasil pengukuran 1075 Hz dengan nilai amplitudo 0,009.

Dari hasil perbandingan antara spektrum frekuensi dengan spektrum envelope, pada spektrum frekuensi cacat bantalan lintasan luar terdapat 3x harmoniknya yang muncul. Dengan menggunakan metode envelope seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 (d) munculnya amplitudo pada frekuensi cacat bantalan terlihat jelas sampai 4xBPFO. Sedangkan pada kondisi normal yang ditunjukkan pada gambar 4.10 (a) amplitudo yang muncul tidak hanya dari frekuensi poros (f_o) *fan* melainkan ada amplitudo dari frekuensi lainnya.

4.6 Perbandingan Spektrum Frekuensi dan Spektrum Envelope Antara Kondisi Bantalan Normal Dengan Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Dalam.

Cacat pada bantalan bola bagian lintasan dalam dapat dilakukan dengan membandingkan hasil secara teoritik dengan hasil pengukuran. Perbandingan ini dilakukan pada hasil plot domain frekuensi dan *spektrum envelope* dengan mencari nilai frekuensi *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) dari hasil perhitungan. Frekuensi pada spektrum yang terhimpit dengan frekuensi yang dihitung dengan rumus BPFI menunjukkan terjadinya cacat pada lintasan dalam.

Gambar 4.11 adalah hasil dari plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan cacat lintasan dalam. Untuk mengetahui cacat bantalan pada bagian lintasan dalam dapat dilakukan dengan membandingkan hasil teoritik dengan hasil pengukuran. Frekuensi yang muncul dan mendekati hasil frekuensi dari rumus perhitungan BPFI menunjukkan bahwa terjadinya cacat pada bantalan bola tersebut.



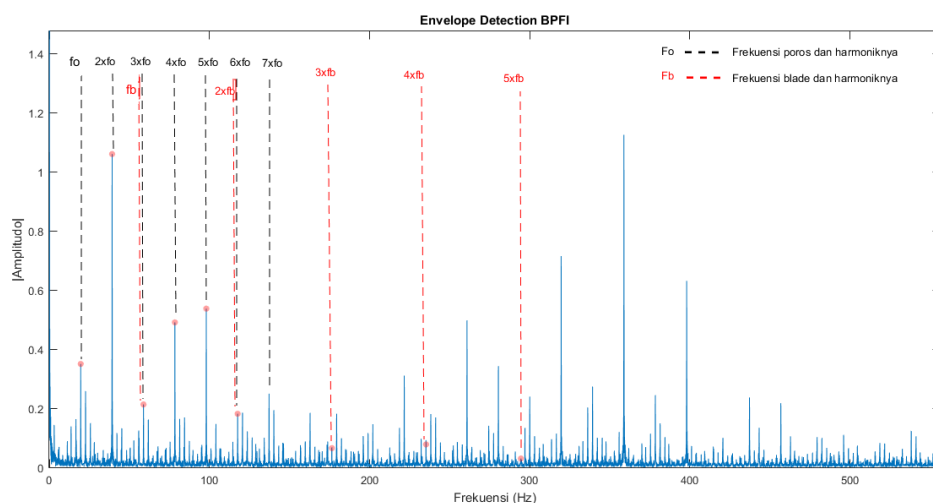
Gambar 4.11 (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Bantalan Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Dalam, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Bantalan Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Dalam. (#Data ke-5 File ke-15)

Jika dilihat pada hasil plot spektrum frekuensi kondisi normal seperti pada gambar 4.11 (a) tidak menunjukkan satupun amplitude pada frekuensi cacat bantalan bola, sedangkan pada hasil plot spektrum frekuensi pada kondisi cacat bantalan lintasan dalam menunjukkan adanya peningkatan pada frekuensi cacat bantalan lintasan dalam yang diikuti 5x harmoniknya. Gambar 4.11 (d) terlihat semakin jelas peningkatan pada amplitudo frekuensi cacat bantalan lintasan dalam yang diikuti dengan 5x harmoniknya yang muncul. Dengan menggunakan rumus perhitungan

BPFI frekuensi cacat aktif bantalan pada 1x BPFI diperoleh 359,19 Hz sedangkan pada hasil pengukuran yang didapat 358,8 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 1,12. Perhitungan pada 2x BPFI diperoleh sebesar 718,38 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 717,6 Hz dengan nilai amplitudo 0,56. Perhitungan pada 3x BPFI diperoleh sebesar 1077,57 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 1076 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,21. Perhitungan pada 4x BPFI diperoleh sebesar 1436,76 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 1435 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,10. Perhitungan pada 5x BPFI diperoleh 1795,95 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 1794 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,047.

Dari hasil perbandingan antara spektrum frekuensi dengan spektrum envelope diperoleh bahwa hasil plot spektrum frekuensi cacat bantalan amplitudonya muncul dan jelas akan tetapi masih bercampur dengan *noise*. Dengan menggunakan metode envelope seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 (d) amplitudo pada frekuensi cacat bantalan ini terlihat jelas dan diikuti dengan adanya *side band* (sb) pada kanan dan kiri puncak amplitudo pada frekuensi cacat bantalan ini. Side band itu sendiri merupakan ciri khas dari cacat bantalan lintasan dalam (BPFI) karena adanya amplitudo modulasi.

Akan tetapi pada penelitian ini harmonik yang banyak muncul pada spektrum envelope yaitu pada bagian poros dan blade seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 4.12 Plot Spektrum Envelope Cacat Bantalan Lintasan Dalam

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa adanya harmonik pada frekuensi poros yang berwarna merah sebanyak 7x fo yaitu pada 1x fo senilai 19,6 Hz dengan amplitudo 0,35. 2x fo senilai 39,19 Hz dengan amplitudo 1,06. 3x fo senilai 58,79 Hz dengan amplitudo 0,21. 4x fo senilai 78,38 Hz dengan amplitudo sebesar 0,49. 5x fo senilai 97,98 Hz dengan amplitudo sebesar 0,53. 6x fo senilai 117,6 Hz dengan amplitudo sebesar 0,18. 7x fo senilai 137,2 Hz dengan amplitudo sebesar 0,24. Adapun peak amplitudo yang muncul selain dari harmonik poros yaitu harmonik pada frekuensi *blade* yaitu garis yang berwarna hitam muncul 5x fb dengan nilai 1x fb adalah 58,79 Hz dengan amplitudo sebesar 0,21. 2x fb senilai 117,6 Hz dengan amplitudo 0,18. 3x fb senilai 176,4 Hz dengan amplitudo sebesar 0,068. 4x fb senilai 235,2 Hz dengan amplitudo 0,077 dan 5x fb senilai 294,5 dengan amplitudo sebesar 0,029.