

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan membahas hasil penelitian dari deteksi cacat bantalan. Penelitian ini melakukan deteksi cacat bantalan lintasan dalam menggunakan metode domain frekuensi (*spektrum*) dan analisis envelope dengan 3 kondisi bantalan yang berbeda yaitu bantalan normal, bantalan cacat sedang, dan bantalan cacat parah. Setelah melakukan pengambilan data dan mengolahnya menggunakan metode spektrum dan envelope maka tahap berikutnya adalah menganalisis grafik yang diperoleh dari sinyal getaran pada masing-masing kondisi bantalan.

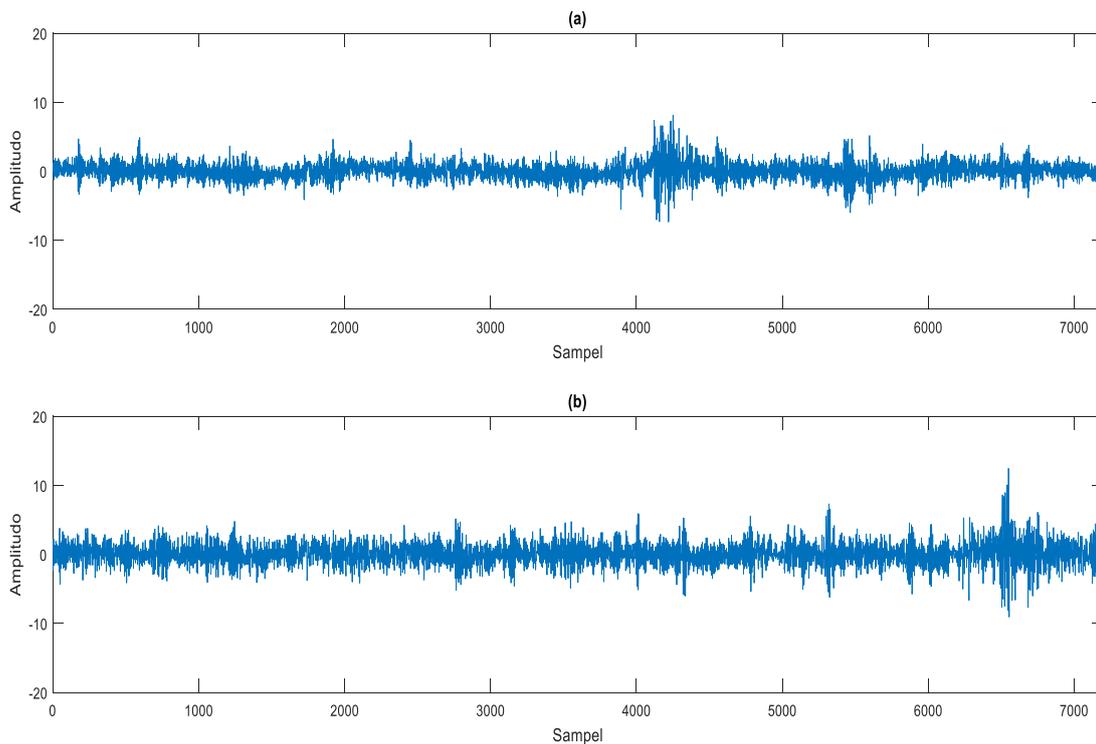
Pada domain frekuensi dan envelope grafik mendiskripsikan amplitudo dan frekuensi. Dari grafik tersebut akan memperlihatkan kerusakan komponen lintasan dalam bantalan dengan mengamati frekuensi BPF (Ball Pass Frequency Inner Race). Pada domain frekuensi BPF tidak terlalu jelas karena masih banyak *noise*. Sedangkan pada analisis envelope frekuensi BPF teridentifikasi dengan jelas mulai dari harmonik pertama sampai ketiga. Hal tersebut dikarenakan pada frekuensi rendah yang memiliki amplitudo tinggi akan di hilangkan.

4.1 Hasil Analisis Domain Waktu

Domain waktu adalah data mentah yang diperoleh dari pengambilan data yaitu perekaman getaran menggunakan sensor acselerometer. Pada grafik domain waktu tidak bisa memberikan hasil spesifik analisis yang jelas untuk mengidentifikasi frekuensi kerusakan pada bantalan. Grafik domain waktu dapat mengetahui adanya kerusakan pada bantalan melalui perbedaan dan perubahan amplitudo antara bantalan normal dan bantalan rusak.

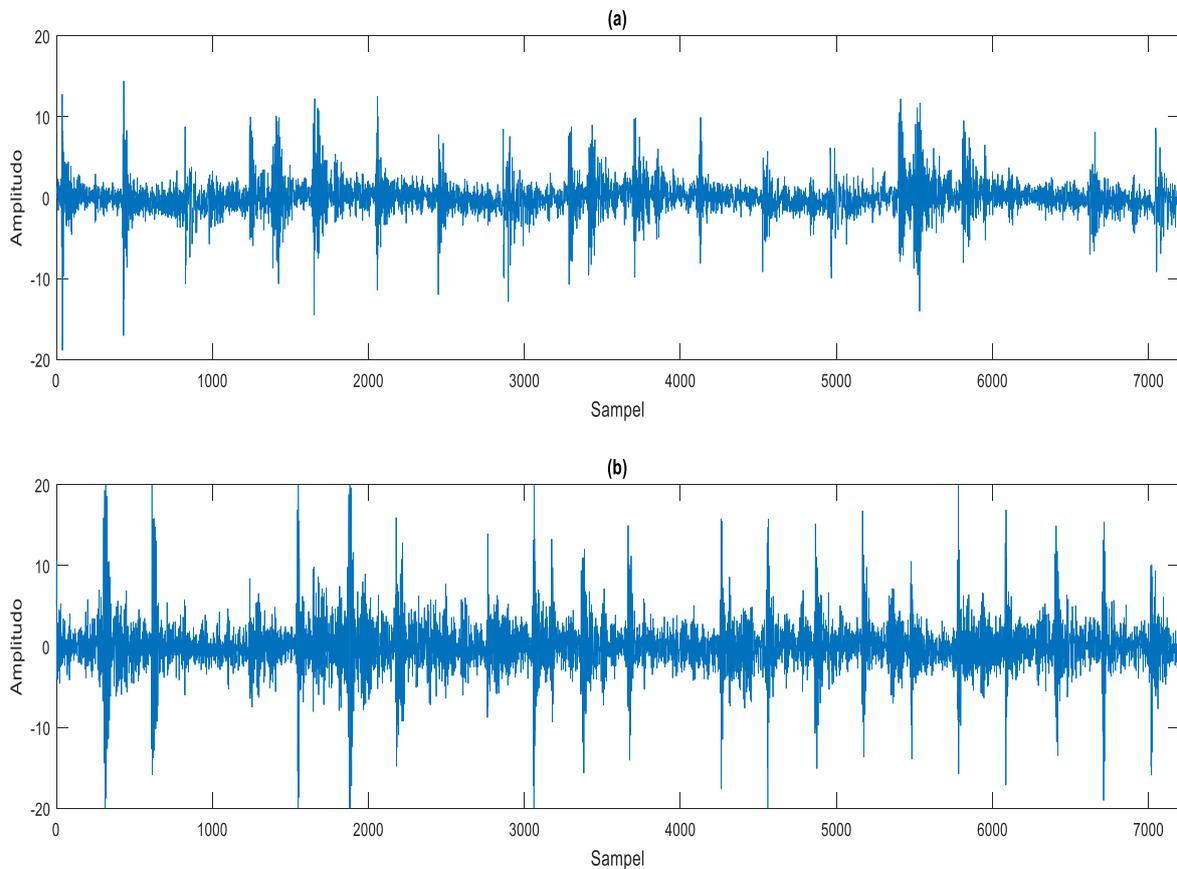
4.1.1 Plot Domain Waktu

Pada gambar 4.1, adalah Grafik domain waktu dari kondisi bantalan normal yang terdiri dari 2 grafik dengan 2 variasi kecepatan yaitu 1500 RPM dan 2000 RPM. Gambar 4.1 (a) merupakan grafik dari bantalan kondisi normal dengan kecepatan 1500 RPM. Sedangkan gambar 4.1 (b) adalah grafik bantalan kondisi normal kecepatan 2000 RPM.



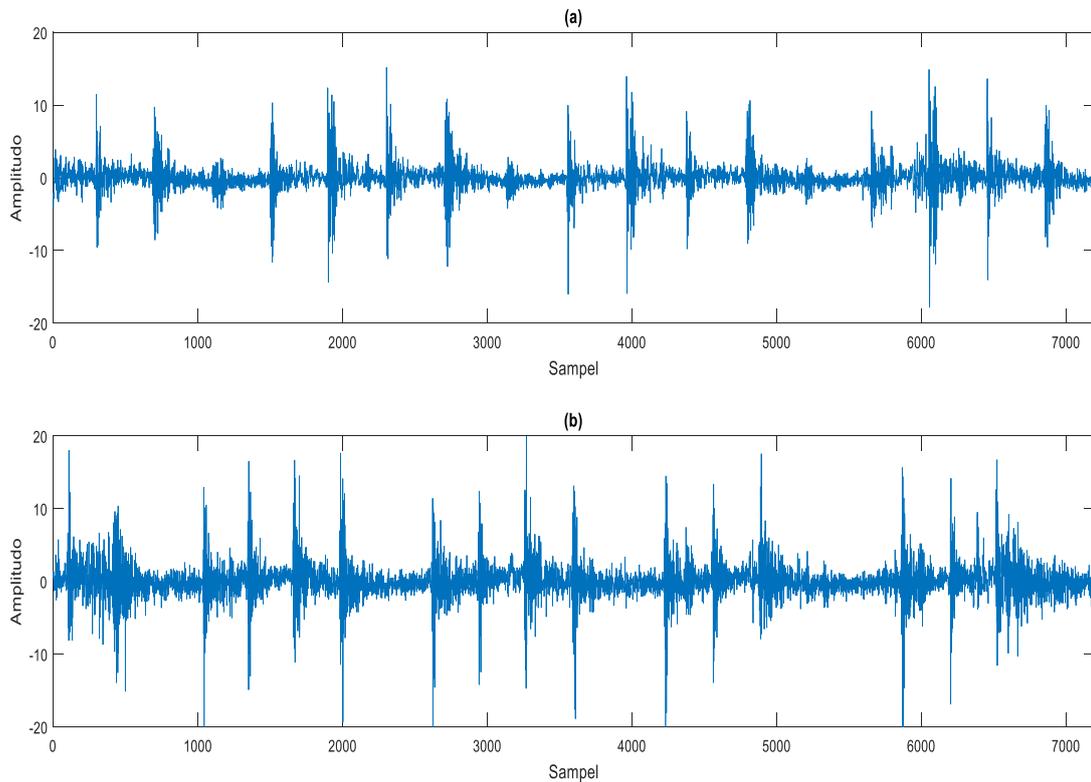
Gambar 4.1 (a) grafik domain waktu kondisi normal kecepatan 1500 RPM; (b) kecepatan 2000 RPM

Pada gambar 4.2 (a) merupakan grafik domain waktu bantalan kondisi cacat lintasan dalam dengan lebar luka 0,25 mm dengan kecepatan 1500 RPM. Adapun pada gambar 4.2 (b) adalah grafik domain waktu bantalan cacat dengan lebar 0,25 mm dan kecepatan 2000 RPM. Kedua grafik tersebut terlihat memiliki ukuran amplitudo yang lebih besar dibandingkan dengan gambar 4.1 (a) dan gambar 4.1 (b) yang menunjukkan bantalan normal tanpa cacat.



Gambar 4.2 (a) grafik domain waktu kondisi cacat 0,25 mm kecepatan 1500 RPM; (b) kecepatan 2000 RPM

Pada gambar 4.3 (a) adalah grafik dari domain waktu cacat bantalan 0,50 mm pada bagian lintasan dalam dengan kecepatan 1500 RPM. Gambar 4.3 (b) cacat bantalan 0,50 mm kecepatan 2000 RPM. dapat dilihat pada gambar tersebut tidak jauh berbeda dengan grafik domain waktu cacat bantalan 0,25 mm dengan masing-masing kecepatan, dimana grafik sama-sama memiliki frekuensi dengan nilai amplitudo yang lebih tinggi.



Gambar 4.3 (a) grafik domain waktu kondisi cacat 0,50 mm kecepatan 1500 RPM; (b) kecepatan 2000 RPM

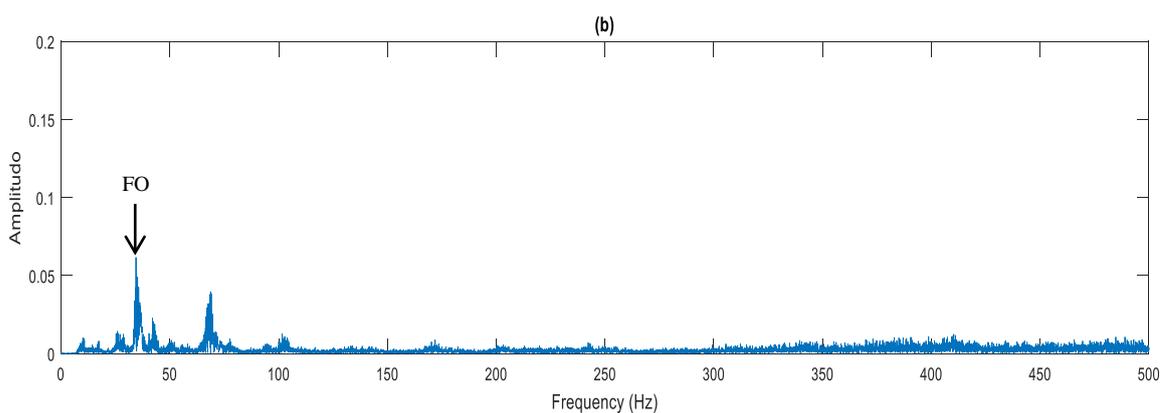
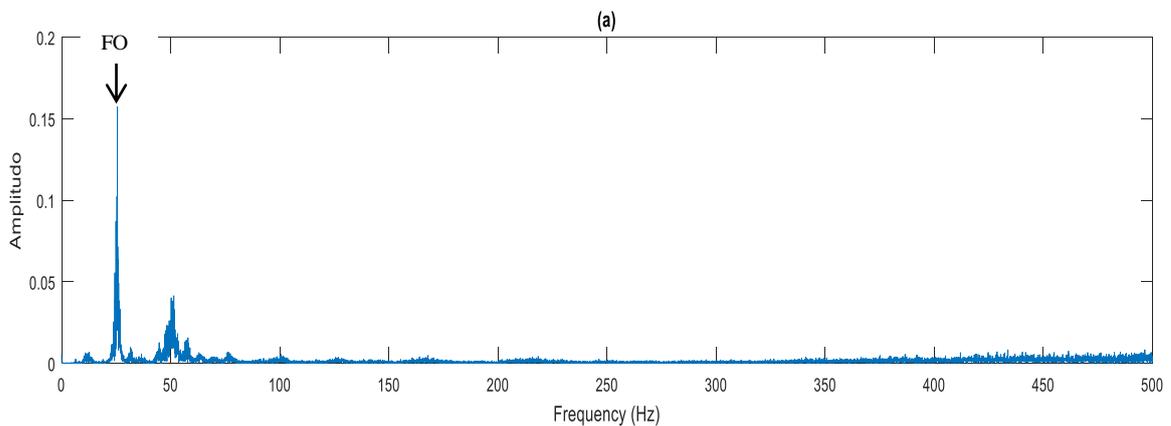
4.2. Hasil Domain Frekuensi dan Envelope

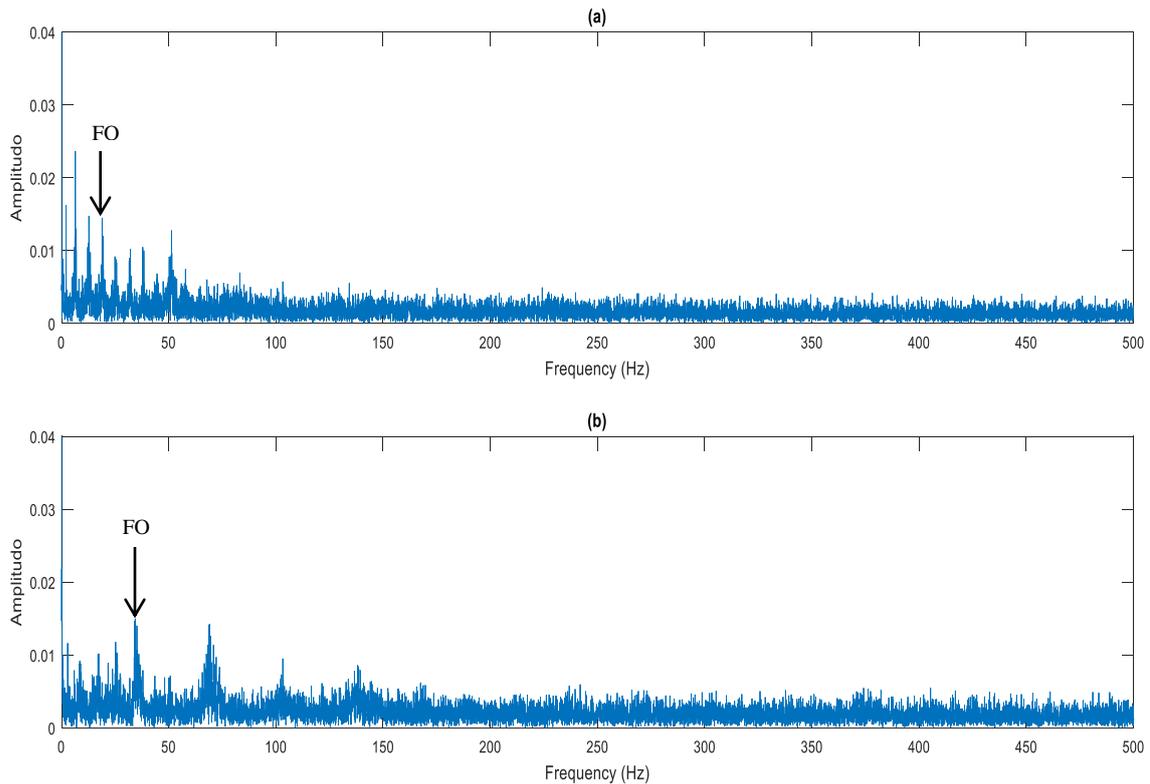
Pada domain frekuensi dan envelope merupakan grafik yang mendeskripsikan frekuensi dan amplitudo, metode analisis tersebut mendapatkan hasil yang lebih akurat untuk mendeteksi kerusakan bantalan seperti halnya pada lintasan dalam bantalan. Pada analisis envelope memiliki hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan domain frekuensi. Dikarenakan pada analisis envelope dapat menyaring frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo tinggi yang dapat menghalangi munculnya frekuensi BPF1.

Untuk dapat mengetahui frekuensi cacat lintasan dalam perlu dilakukan perhitungan frekuensi cacat secara teoritis menggunakan persamaan 2.2 dan kemudian dibandingkan dengan hasil dari pengukuran. Jika nilai yang diperoleh dari perhitungan mendekati nilai pengukuran maka dapat disimpulkan bahwa adanya kerusakan pada lintasan dalam.

4.2.1 Domain Frekuensi dan Envelope Bantalan Normal Kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM

Gambar 4.4 (a) merupakan grafik domain frekuensi pada kecepatan poros 1500 RPM dan gambar 4.4 (b) adalah grafik domain frekuensi kecepatan 2000 RPM. gambar 4.4 (c) adalah grafik envelope kondisi bantalan normal kecepatan 1500 RPM dan gambar 4.4 (d) merupakan grafik envelope pada kondisi normal kecepatan 2000 RPM. Pada perhitungan BPFI kecepatan poros 1500 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 122,71 Hz sedangkan pada kecepatan 2000 RPM sebesar 163,46 Hz. Gambar 4.4 (a), (b), (c) dan (d) tidak ditemukan frekuensi kerusakan BPFI.



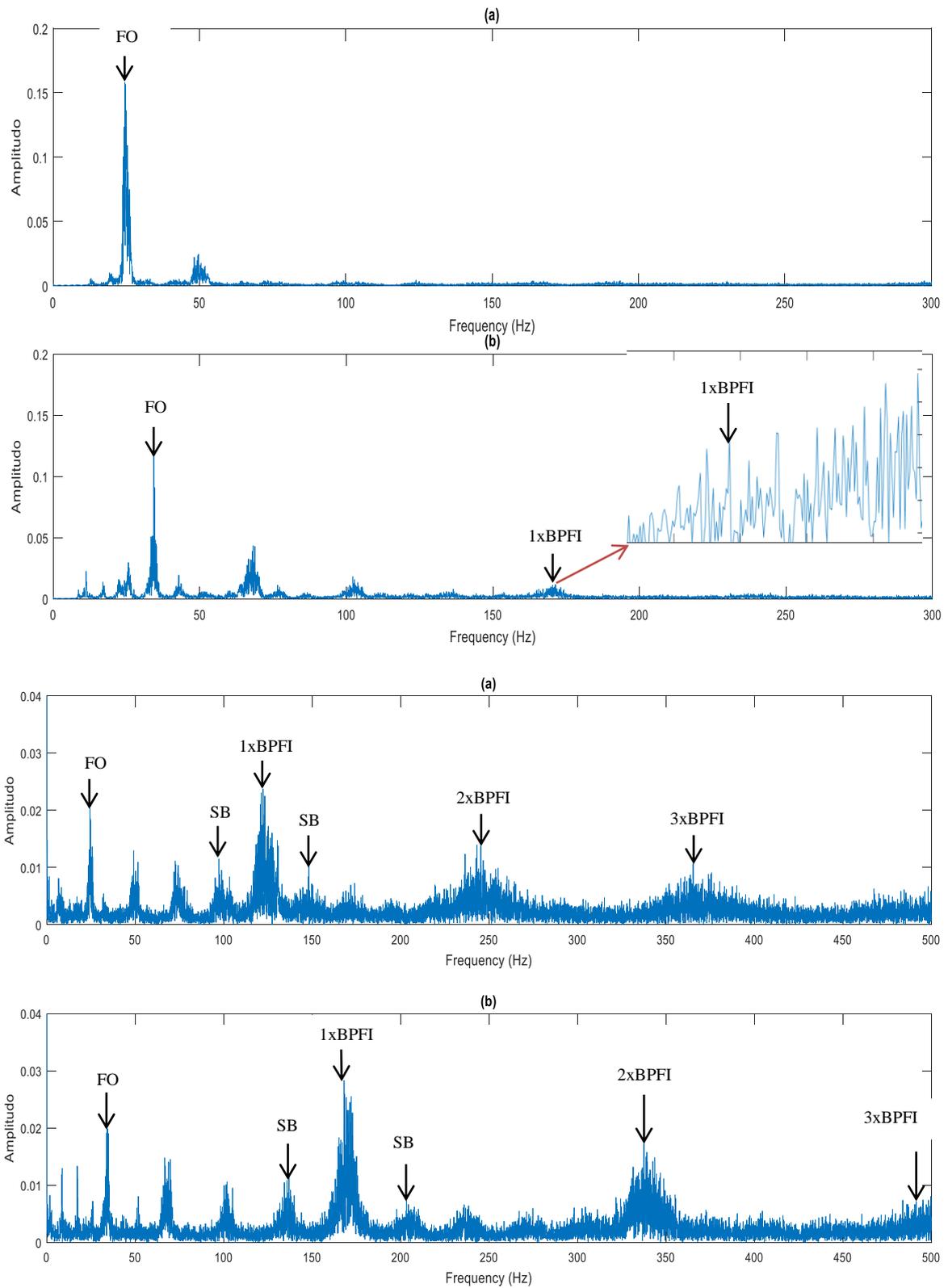


Gambar 4.4 (a) grafik domain frekuensi kondisi normal kecepatan 1500 RPM; (b) grafik domain frekuensi kecepatan 2000 RPM; (c) grafik envelope kondisi normal kecepatan 1500 RPM; (d) grafik envelope kecepatan 2000 RPM

Gambar diatas dapat dilihat pada hasil plot domain frekuensi pada gambar 4.4 (a) dan (b) kondisi bantalan normal, tidak muncul frekuensi yang dapat diindikasikan sebagai frekuensi cacat pada bantalan. Hasil plot envelope pada gambar 4.4 (c) dan (d) pada masing-masing kecepatan juga tidak memunculkan frekuensi yang dapat dikatakan frekuensi dari cacat bantalan. Pada plot domain frekuensi dan envelope hanya memunculkan frekuensi dari kecepatan poros.

4.2.2 Domain Frekuensi dan Envelope Bantalan Cacat 0,25 Kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM

Pada gambar 4.5 merupakan grafik domain frekuensi dan envelope, dimana gambar 4.5 (a) adalah grafik domain frekuensi kondisi bantalan cacat 0,25 kecepatan 1500 RPM dan gambar 4.5 (b) domain frekuensi kecepatan 2000 RPM. Gambar 4.5 (c) dan (d) merupakan grafik envelope pada kondisi bantalan cacat 0,25 mm, kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM. Pada gambar 4.5 (c) dan (d) muncul frekuensi BPFi diikuti 3 harmonik.



Gambar 4.5 (a) grafik plot domain frekuensi kondisi cacat 0,25 kecepatan 1500 RPM; (b) domain frekuensi kecepatan 2000 RPM; (c) grafik plot envelope kondisi cacat 0,25 mm kecepatan 1500 RPM; (d) envelope kecepatan 20000 RPM.

Pada gambar 4.5 (a) dari plot domain frekuensi bantalan cacat 0,25 mm kecepatan 1500 RPM tidak muncul frekuensi BPFI yang dapat diindikasikan sebagai kerusakan bantalan, Gambar 4.5 (b) plot domain frekuensi kecepatan 2000 muncul frekuensi 1xBPFI dimana pada perhitungan teoritis memiliki nilai frekuensi sebesar 163,46 Hz, sedangkan pada plot spektrum mendapatkan nilai frekuensi sebesar 165,7 dan amplitudo sebesar 0,0077mV.

Gambar 4.5 (c), (d) merupakan grafik plot envelope kondisi cacat 0,25 mm, Hasil plot envelope pada masing-masing kecepatan dapat menunjukkan 3 harmonik frekuensi BPFI. Pada gambar 4.5 (c) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 122,3 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,02374 mV , 2xBPFI sebesar 245,4 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01379 mV , 3xBPFI sebesar 365,4 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01068 mV. Gambar 4.5 (d) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 168,3 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,0283 mV, 2xBPFI sebesar 337,6 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01728 mV, 3xBPFI sebesar 483,9 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,007387 mV.

Pada hasil plot envelope terdapat *side band* pada sisi samping kiri dan kanan dari frekuensi cacat bantalan. Hal ini pasti dijumpai pada kerusakan bantalan pada komponen lintasan dalam karena pada saat bantalan berputar keatas maka amplitudo akan naik tapi sedikit, ketika sampai ke titik paling bawah maka amplitudo yang muncul akan semakin tinggi. *Side band* yang terbentuk pada envelope akan membentuk amplitudo modulasi pada hasil plot time domain. Jarak *side band* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan pada kecepatan 1500 RPM, 1 kali harmoniknya yaitu sebesar 25,39 hz, sedangkan pada kecepatan 2000 RPM sebesar 33,82 dimana hasil tersebut sama dengan kecepatan poros yang digunakan.

Tabel dibawah ini pada masing-masing kecepatan poros terdapat selisih antara hasil dari perhitungan menggunakan rumus BPFi dengan hasil dari grafik domain frekuensi dan envelope. Selisih antara hasil perhitungan dengan hasil pada grafik 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 pada grafik spektrum dan envelope.

Tabel 4.1 Hasil frekuensi BPFi dari perhitungan dan pengukuran cacat bantalan lintasan dalam 0,25 mm kecepatan 1500 RPM.

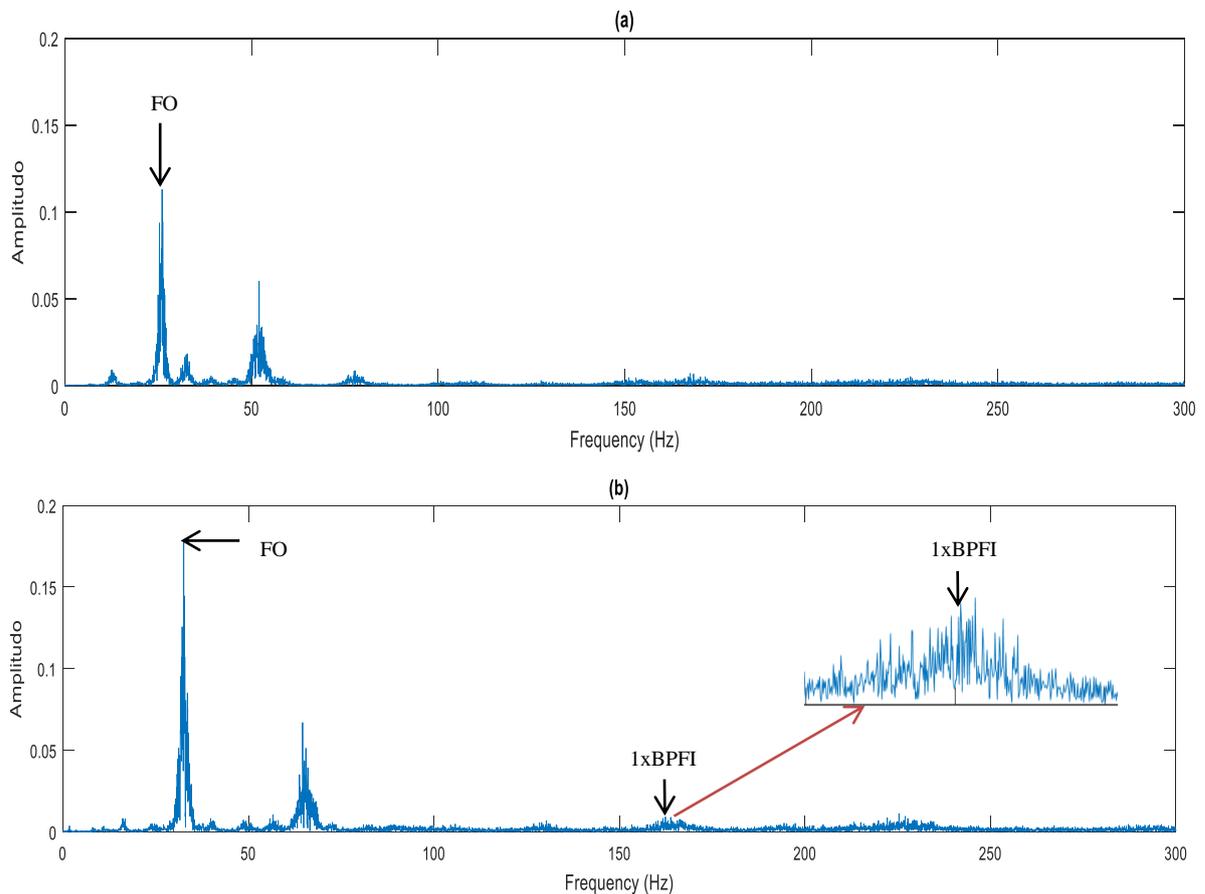
Keterangan	Perhitungan BPFi	Frekuensi Cacat pada Domain Frekuensi	Frekuensi Cacat pada Envelope
1xBPFi	122,71 Hz	-----	122,3 Hz
2xBPFi	245,45 Hz	-----	245,4 Hz
3xBPFi	368,14 Hz	-----	365,4Hz

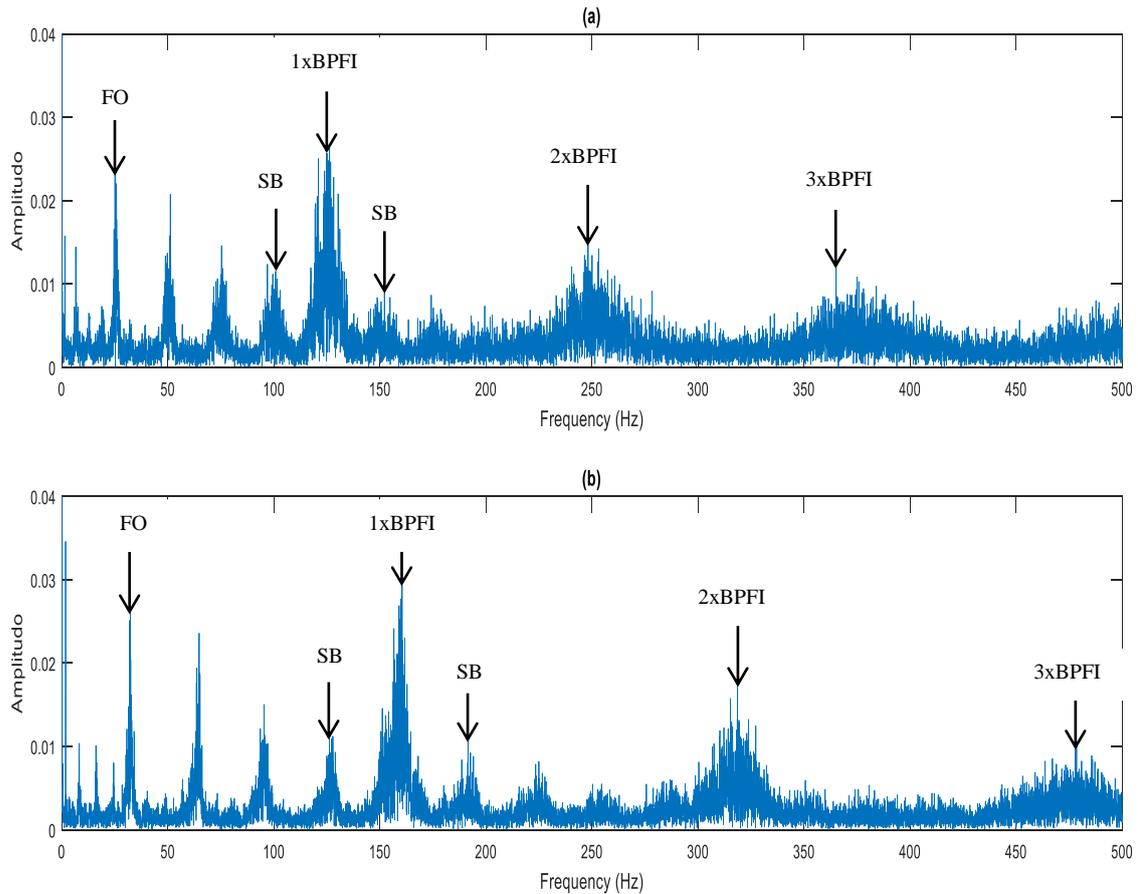
Tabel 4.2 Hasil frekuensi BPFi dari perhitungan dan pengukuran cacat bantalan lintasan dalam 0,25 mm kecepatan 2000 RPM.

Keterangan	Perhitungan BPFi	Frekuensi Cacat pada Domain Frekuensi	Frekuensi Cacat pada Envelope
1xBPFi	163,46 Hz	165,7 Hz	168,2 Hz
2xBPFi	326,92 Hz	-----	337,6 Hz
3xBPFi	490,38 Hz	-----	483,9 Hz

4.2.3 Domain Frekuensi dan Envelope Bantalan Cacat 0,50 Kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM

Pada gambar 4.5 merupakan grafik domain frekuensi dan envelope, dimana gambar 4.5 (a) adalah grafik domain frekuensi kondisi bantalan cacat 0,50 kecepatan 1500 RPM dan gambar 4.5 (b) domain frekuensi kecepatan 2000 RPM. Gambar 4.5 (c) dan (d) merupakan grafik envelope pada kondisi bantalan cacat 0.50 mm, kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM. Pada gambar 4.5 (c) dan (d) muncul frekuensi BPFi diikuti 3 harmonik, pada perhitungan BPFi kecepatan poros 1500 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 124,36 Hz, dan kecepatan 2000 sebesar 161,62 Hz .





Gambar 4.6 (a) grafik plot domain frekuensi kondisi cacat 0,50 mm kecepatan 1500 RPM; (b) domain frekuensi kecepatan 2000 RPM; (c) grafik plot envelope kondisi cacat 0,50 mm kecepatan 1500 RPM; (d) envelope kecepatan 20000 RPM.

Gambar 4.6 (a) Pada plot domain frekuensi bantalan cacat 0,50 mm menggunakan kecepatan 1500 RPM tidak muncul frekuensi BPF1 yang mengindikasikan sebagai kerusakan bantalan. Gambar 4.6 (b) menggunakan kecepatan 2000 RPM memunculkan frekuensi 1xBPFI, yang memiliki nilai perhitungan teoritis sebesar 161,62 Hz, sedangkan pada grafik domain frekuensi memunculkan 1 harmonik dengan nilai sebesar 162,4 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,0093 mV.

Pada gambar 4.6 (c) dan (d) merupakan plot envelope dari bantalan cacat 0,50 kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM, Hasil plot envelope pada masing-masing kecepatan dapat menunjukkan 3 harmonik frekuensi BPF1. Pada gambar 4.5 (c) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 124,8 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,02569 mV, 2xBPFI sebesar 248,2 Hz dan nilai amplitudo sebesar

0,01472 mV, 3xBPFI sebesar 375 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01083 mV. Gambar 4.5 (d) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 160,2 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,02934 mV, 2xBPFI sebesar 318,6 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01744 mV, 3xBPFI sebesar 478,5 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01009 mV.

Selain muncul frekuensi cacat bantalan terdapat juga *side band* pada samping kiri dan kanan pada frekuensi cacat bantalan. *Side band* muncul karena pada saat bantalan berputar naik ke titik atas, amplitudonya akan naik namun sedikit, ketika sampai ke titik bawah maka amplitudo yang muncul akan semakin tinggi. Hal ini akan menggambarkan bentuk sinyal yang muncul pada domain waktu pada bantalan cacat lintasan dalam berbentuk amplitudo modulasi (AM). Jarak *side band* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan pada kecepatan 1500 RPM 1 kali harmoniknya yaitu sebesar 25,73 Hz, dan pada kecepatan 2000 RPM sebesar 33,44 Hz dimana hasil tersebut sama dengan kecepatan poros yang digunakan.

Tabel 4.3 Hasil frekuensi BPFI dari perhitungan dan pengukuran cacat bantalan lintasan dalam 0,50 mm kecepatan 1500 RPM.

Keterangan	Perhitungan BPFI	Frekuensi Cacat pada Domain Frekuensi	Frekuensi Cacat pada Envelope
1xBPFI	124,36 Hz	-----	124,8 Hz
2xBPFI	248,72 Hz	-----	248,2 Hz
3xBPFI	373,08 Hz	-----	375 Hz

Tabel 4.4 Hasil frekuensi BPFi dari perhitungan dan pengukuran cacat bantalan lintasan dalam 0,50 mm kecepatan 2000 RPM.

Keterangan	Perhitungan BPFi	Frekuensi Cacat pada Domain Frekuensi	Frekuensi Cacat pada Envelope
1xBPFi	161,62 Hz	162,4Hz	160,4 Hz
2xBPFi	323,25 Hz	-----	318,6 Hz
3xBPFi	484,87 Hz	-----	478,5 Hz

4.3. Perbandingan Domain Frekuensi dan Envelope

Frekuensi cacat bantalan lintasan dalam tidak dapat dilihat pada domain frekuensi pada kecepatan 1500 RPM, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 (a) dan 4.6 (a). Frekuensi kerusakan bantalan lintasan dalam 0,25 mm dan 0,50 mm dapat terlihat pada kecepatan 2000 RPM, masing-masing kerusakan menunjukkan frekuensi 1xBPFi. Pada cacat 0,25 mm muncul nilai frekuensi sebesar 165,7 Hz dan amplitudo sebesar 0,0077 mV, sedangkan cacat 0,50 mm menunjukkan nilai frekuensi sebesar 162,4 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,0093 mV. Kedua cacat memberikan hasil yang berbeda pada kecepatan yang sama, dimana hasil plot domain frekuensi pada cacat 0,50 mm mendapatkan frekuensi BPFi dengan nilai amplitudo yang lebih tinggi sehingga frekuensi kerusakan lintasan dalam lebih terlihat dibandingkan pada cacat 0,25 mm. Hal tersebut dikarenakan pada cacat bantalan 0,25 mm mendapatkan tumbukan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan cacat bantalan 0,50 mm. Domain frekuensi hanya dapat menunjukkan 1xBPFi dikecepatan 2000 RPM pada masing-masing kondisi cacat. Domain frekuensi cenderung tidak dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan dini pada bantalan, hal ini dikarenakan frekuensi lain yang memiliki amplitudo tinggi masih tercampur sehingga menutupi frekuensi cacat bantalan.

Metode envelope lebih baik dan lebih unggul dibandingkan dengan domain frekuensi, karena frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo tinggi akan dihilangkan menggunakan *High-pass filter*, sehingga pada grafik envelope puncak

frekuensi cacat bantalan dapat terlihat dengan jelas dan mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pada metode envelope kedua kondisi cacat bantalan menggunakan masing-masing kecepatan poros dapat menunjukkan frekuensi cacat bantalan diikuti 3xharmonik yang tidak dapat dimunculkan oleh domain frekuensi. Kedua cacat bantalan memiliki hasil yang berbeda pada kecepatan poros yang sama, dimana cacat 0,25 mm memiliki hasil amplitudo yang lebih rendah dibandingkan dengan cacat bantalan 0,50 mm. Perbedaan nilai amplitudo pada kedua cacat disebabkan oleh tumbukan antar komponen bantalan, dimana cacat 0,50 mm lebih lebar sehingga menimbulkan tumbukan yang lebih besar dibandingkan tumbukan yang dihasilkan oleh cacat 0,25 mm. Pada plot envelope selain terdapat frekuensi BPF1 dan *side band* juga terdapat frekuensi pendamping di sisi kanan dan kiri, hal tersebut disebabkan oleh impak dari proses pembakaran yang terjadi karena ledakan pada ruang bakar sehingga menghasilkan getaran, selain itu getaran mesin juga ditimbulkan dari komponen mesin yang bergerak translasi dan rotasi (djatmiko,2015).