

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan menganalisis hasil penelitian dari deteksi cacat bantalan. Penelitian ini dilakukan untuk mendeteksi cacat pada bantalan bola dengan metode analisis spektrum dan envelope pada bantalan kondisi normal dan bantalan kondisi cacat elemen bola.

4.1 Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola bermerk dan motor, yang merupakan sparepart resmi pada sepeda motor vespa. dengan kondisi bantalan normal dan bantalan cacat pada outer race. Dimensi bantalan bola yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 dimensi komponen bantalan bola

Ø Luar	62 mm
Ø Dalam	25 mm
Ø Bola	10 mm
Ø Pitch	48 mm
α (Sudut Kontak)	0
N (Jumlah Bola)	8

Tabel 4.1 di atas digunakan untuk mencari frekuensi cacat bantalan bola pada outer race atau disebut BSFO (*Ball Spin Frequency outer race*) dengan menggunakan persamaan 2.3. Pengujian dilakukan pada kecepatan poros 1500 RPM dan 2000 RPM.

4.2 Analisis domain waktu

Domain waktu merupakan bentuk data mentah yang didapatkan dari proses rekaman pengambilan data menggunakan akselerometer. Grafik domain waktu tidak dapat memberikan hasil analisis secara spesifik dalam mengidentifikasi kerusakan pada komponen lintasan luar bantalan. Grafik domain waktu hanya dapat memberikan informasi tentang adanya kerusakan pada komponen sebuah bantalan

dengan cara mengidentifikasi frekuensi kerusakan bantalan pada grafik domain waktu. Pada putaran poros yang konstan, grafik domain waktu akan memunculkan impuls secara periodik dari frekuensi kerusakan. Sehingga waktu dibagi dengan panjang data dan di kali dengan periode impuls akan didapatkan nilai periode ($T_{(s)}$). Sehingga dapat mencari frekuensinya dengan persamaan (4.1)

$$F = \frac{1}{T_s} \quad (4.1)$$

4.2.1 Grafik domain waktu

Tabel 4.2 dan 4.3 menampilkan perbandingan antara perhitungan frekuensi BPFO dan pengukuran frekuensi masing-masing kerusakan bantalan pada setiap kecepatan porosnya. Pengukuran frekuensi kerusakan bantalan pada domain waktu dapat diidentifikasi dengan cara analisa impuls yang berasal dari kerusakan bantalan. Frekuensi pada domain waktu dapat di tentukan pada persamaan (4.1).

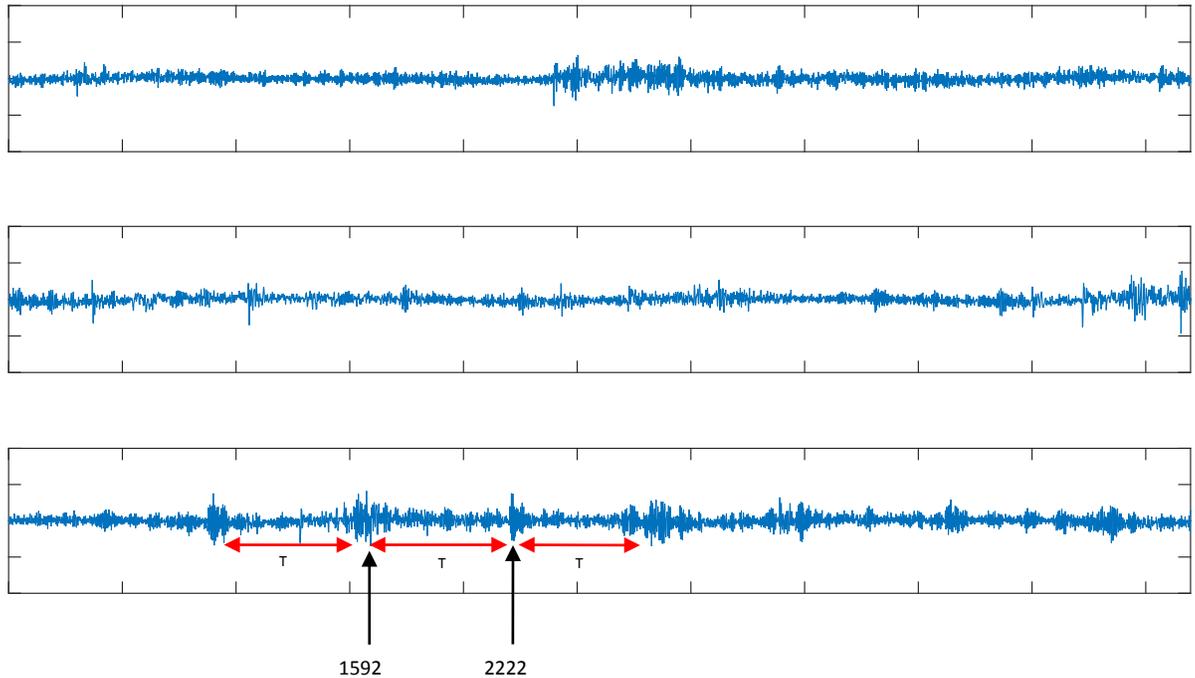
Tabel 4.2 perbandingan hasil perhitungan frekuensi BPFO dan Frekuensi kerusakan pada domain waktu di kecepatan 1500rpm

Keterangan	Perhitungan BPFO	Frekuensi cacat pada domain waktu
Normal	80,3Hz	---
0,25	79 Hz	---
0,50	82,42 Hz	74,31 Hz - 82,44 Hz

Tabel 4.3 perbandingan hasil perhitungan frekuensi BPFO dan Frekuensi kerusakan pada domain waktu di kecepatan 2000rpm

Keterangan	Perhitungan BPFO	Frekuensi cacat pada domain waktu
Normal	106,36 Hz	---
0,25	103,45 Hz	103,64 Hz
0,50	100,82 Hz	96,42 Hz - 112,77 Hz

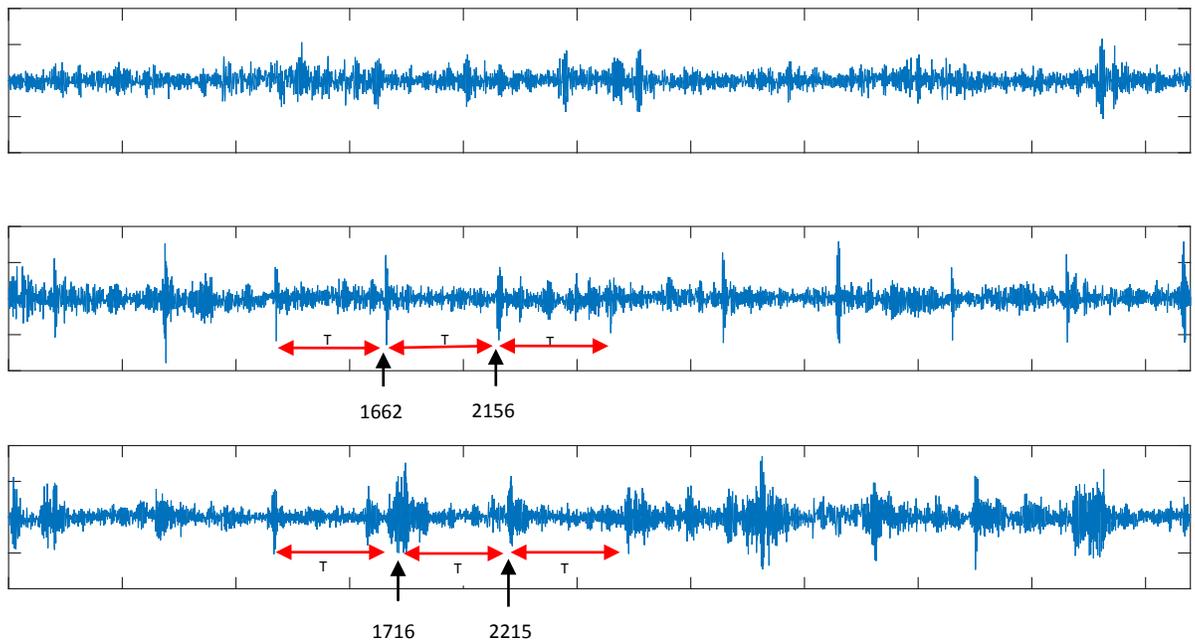
Pada gambar 4.1 menampilkan grafik perbandingan antara kondisi normal, rusak 0,25 dan rusak 0,50 pada kecepatan putar poros 1500rpm. Gambar 4.1(a) merupakan grafik domain waktu kondisi normal. Tidak terlihat peningkatan amplitudo, hal ini dikarenakan data pada grafik tersebut dihasilkan dari bantalan kondisi normal. pada gambar 4.1(b) merupakan grafik domain waktu kondisi cacat 0,25. Peningkatan amplitudo pada frekuensi kerusakan hanya terlihat pada awalnya saja, sehingga tidak dapat dikatakan sebagai frekuensi kerusakan, Pada gambar 4.1(c) merupakan grafik domain waktu kondisi cacat 0,5. Peningkatan amplitudo yang konstan dapat terlihat di sepanjang grafik, hal ini dapat dijadikan acuan untuk mencari frekuensi kerusakan bantalan dengan mencari jarak antara amplitudo impuls tersebut. Impuls yang pertama berada pada sampel 1533 hingga 1592, dan yang kedua berada pada sampel 2213 hingga 2222. Sehingga dapat diketahui periode impulsnya sebesar 639 sampel hingga 689 sampel dan periodenya sebesar 0,0124s hingga 0,013s. Frekuensi kerusakan pada bantalan luar dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan (4.1) sehingga ditemukan nilai frekuensi kerusakan sebesar 74,31 Hz hingga 82,44 Hz. Sedangkan pada perhitungan BPFO cacat bantalan 0,5 kecepatan poros 1500rpm menghasilkan frekuensi sebesar 82,42 Hz.



Gambar 4.1 (a) domain waktu kondisi normal 1500 RPM; (b) domain waktu kondisi rusak 0,25 1500 RPM; (c) domain waktu kondisi rusak 0,50 1500 RPM

Pada gambar 4.2 menampilkan grafik perbandingan antara kondisi normal, rusak 0,25 dan rusak 0,50 pada kecepatan putar poros 2000rpm. Gambar 4.2(a) merupakan grafik domain waktu kondisi normal. Terlihat peningkatan amplitudo di sepanjang grafiknya. Namun hal itu tidak dapat dikatakan sebagai frekuensi kerusakan karena impuls yang dihasilkan tidak muncul dalam periode tertentu. pada gambar 4.2(b) merupakan grafik domain waktu kondisi cacat 0,25. Peningkatan amplitudo yang konstan dapat terlihat dengan jelas. Pada perhitungan BPFO cacat bantalan 0,25 kecepatan poros 2000rpm menghasilkan frekuensi sebesar 103,45 Hz, sedangkan untuk mengetahui frekuensi kerusakan lintasan bantalan bola dapat diketahui melalui impulsnya, untuk sampel yang pertama sebesar 1662, dan yang kedua sebesar 2156, sehingga periode impulsnya ditemukan dengan nilai 494 sampel dan periodenya sebesar 0,0096 s. perhitungan pada grafik domain waktu menggunakan persamaan (4.1) menghasilkan frekuensi sebesar 103,64 Hz. Pada gambar 4.2(c) merupakan grafik domain waktu kondisi cacat 0,5. Peningkatan amplitudo yang konstan dapat

terlihat di grafik. pada perhitungan BPFO cacat bantalan 0,5 kecepatan poros 2000rpm menghasilkan frekuensi sebesar 100,82 Hz, sedangkan perhitungan pada grafik menghasilkan frekuensi sebesar 96,42 Hz hingga 112,77 Hz, frekuensi tersebut bisa ditemukan melalui periode impulsnya. Terdapat perbedaan karakter impuls yang terjadi pada grafik domain waktu antara kerusakan 0,25 dan 0,50. Dimana pada kerusakan 0,25 yang dapat dilihat pada gambar 4.2(b) terlihat impuls yang dihasilkan memiliki bentuk lebih ramping, sedangkan pada kerusakan 0,50 pada gambar 4.2(c) impuls yang dihasilkan lebih lebar dan memiliki banyak amplitudo tinggi di kiri dan kanannya. Hal ini dikarenakan kerusakan pada bantalan 0,25 memiliki lebar kerusakan yang lebih kecil dibandingkan kerusakan 0,50, sehingga durasi impuls yang dihasilkan pada kerusakan bantalan 0,50 lebih lama jika di bandingkan dengan kerusakan bantalan 0,25.



Gambar 4.2(a) domain waktu kondisi normal 2000 RPM; (b) domain waktu kondisi rusak 0,25 2000 RPM; (c) domain waktu kondisi rusak 0,50 2000 RPM

Dari gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa grafik domain waktu dapat menunjukkan kerusakan pada sebuah bantalan, hal ini disebabkan grafik domain waktu merupakan data mentah yang didapatkan dari proses perekaman data

menggunakan akselerometer, sehingga menunjukkan bentuk alamiah dari sinyal getaran keseluruhan pada mesin. Akan tetapi domain waktu memiliki kekurangan, kerusakan pada bantalan yang parah mengakibatkan durasi impuls yang lebih lama, sehingga terdapat banyak amplitudo yang bernilai tinggi, hal ini akan berdampak sulitnya menentukan periode impulsnya, sehingga perlu dilakukan perhitungan berulang ulang untuk menemukan frekuensi kerusakan bantalan yang dihasilkan dari grafik.

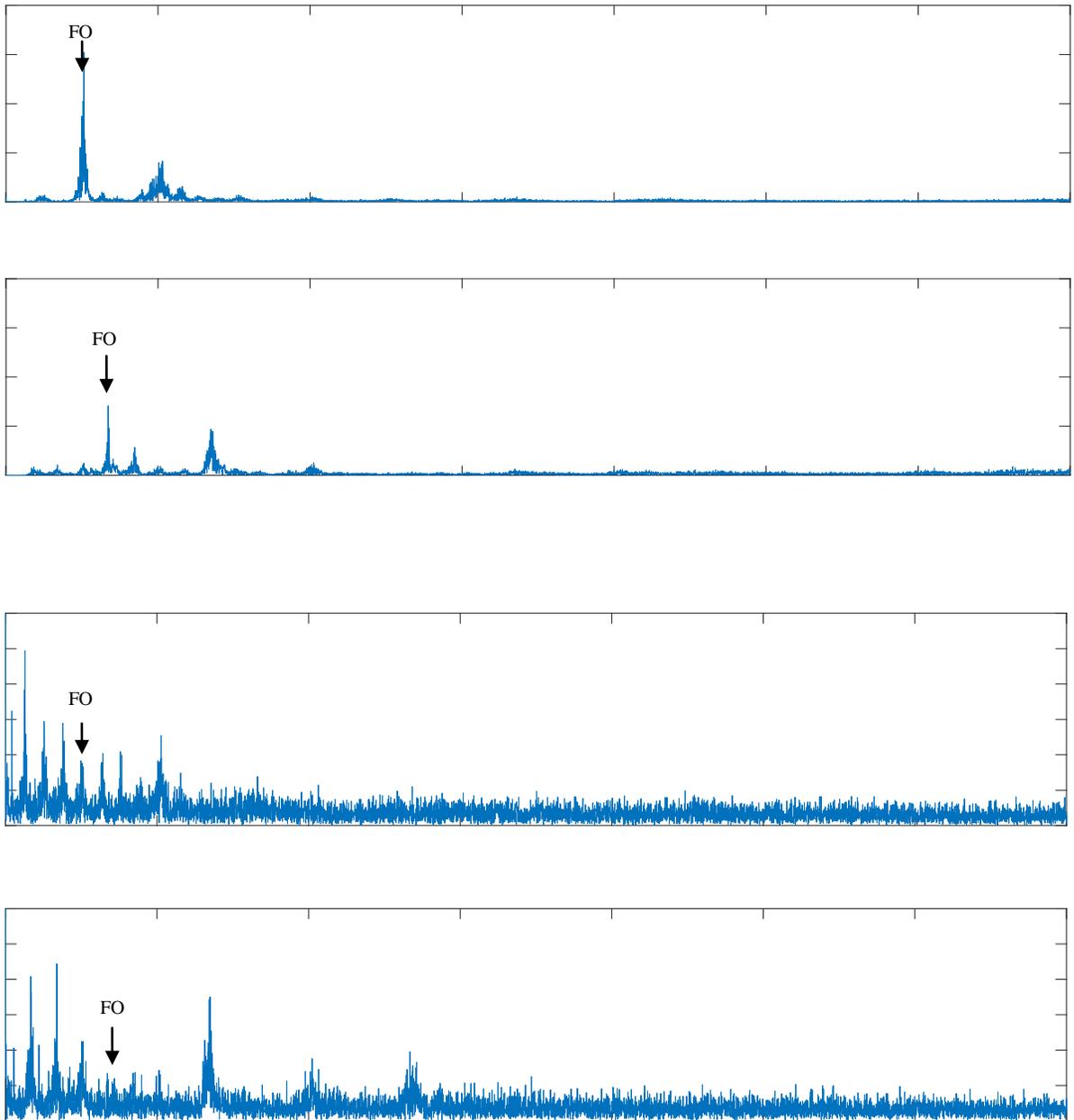
4.3 Spektrum dan envelope

Sebagaimana yang telah diketahui, bahwa spektrum dan *envelope* merupakan grafik yang mendeskripsikan frekuensi versus amplitudo. Analisis menggunakan metode spektrum dan *envelope* dapat dengan akurat mendeteksi lokasi komponen bantalan yang rusak seperti halnya lintasan luar bantalan. Dalam hal ini, metode *envelope* memiliki kualifikasi yang lebih akurat dalam mendeteksi frekuensi BPFO daripada spektrum. Karena metode *envelope* melakukan penyaringan terhadap frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo tinggi. Dimana frekuensi rendah tersebut menutupi frekuensi BPFO.

Untuk menemukan frekuensi kerusakan bantalan, maka perlu dilakukan proses identifikasi frekuensi perhitungan menggunakan persamaan 2.1 BPFO (*Ball Pass Frequency Outer Race*) dengan frekuensi pengukuran pada grafik. Untuk menggunakan rumus BPFO, maka perlu diketahui nilai dari variabel persamaanya. Nilai variabel tersebut berupa ukuran dimensi dari komponen bantalan yang digunakan, seperti dapat dilihat pada tabel 4.1.

4.3.1 Domain frekuensi dan envelope bantalan normal kecepatan 1500rpm dan 2000rpm

Gambar 4.3 adalah perbandingan grafik antara spektrum dan envelope kondisi bantalan normal, pada masing masing kecepatan porosnya.



Gambar 4.3 Grafik domain spektrum kondisi normal, (a) kecepatan 1500rpm; (b) kecepatan 2000rpm. Grafik Envelope kondisi normal, (c) kecepatan 1500rpm; (d) kecepatan 2000rpm

Pada gambar 4.3(a), (b), (c), dan (d) keseluruhan grafik tidak terdapat informasi yang dapat dikatakan sebagai kerusakan bantalan, hal ini dikarenakan data

pada grafik didapatkan dari bantalan kondisi normal. Pada setiap grafik hanya terdapat informasi berupa frekuensi dari putaran poros, grafik domain spektrum yang ditunjukkan pada gambar 4.3(a) dan 4.3 (b) masing masing memiliki frekuensi putaran poros sebesar 25,63 Hz dan 33,59 Hz. Sedangkan pada grafik domain envelope yang ditunjukkan pada gambar 4.3(c) dan 4.3(d) memiliki frekuensi poros masing-masing sebesar 25,65 Hz dan 33,59 Hz.

4.3.2 Spektrum dan Envelope bantalan cacat 0,25 kecepatan 1500rpm dan 2000rpm

Perbandingan frekuensi dari perhitungan BPFO dan pengukuran pada domain spektrum dan domain envelope di masing masing kecepatan putar porosnya dapat dilihat pada tabel 4.4 dan 4.5

Tabel 4.4 Hasil perhitungan frekuensi BPFO pada cacat bantalan lintasan luar 0,25 kecepatan 1500rpm

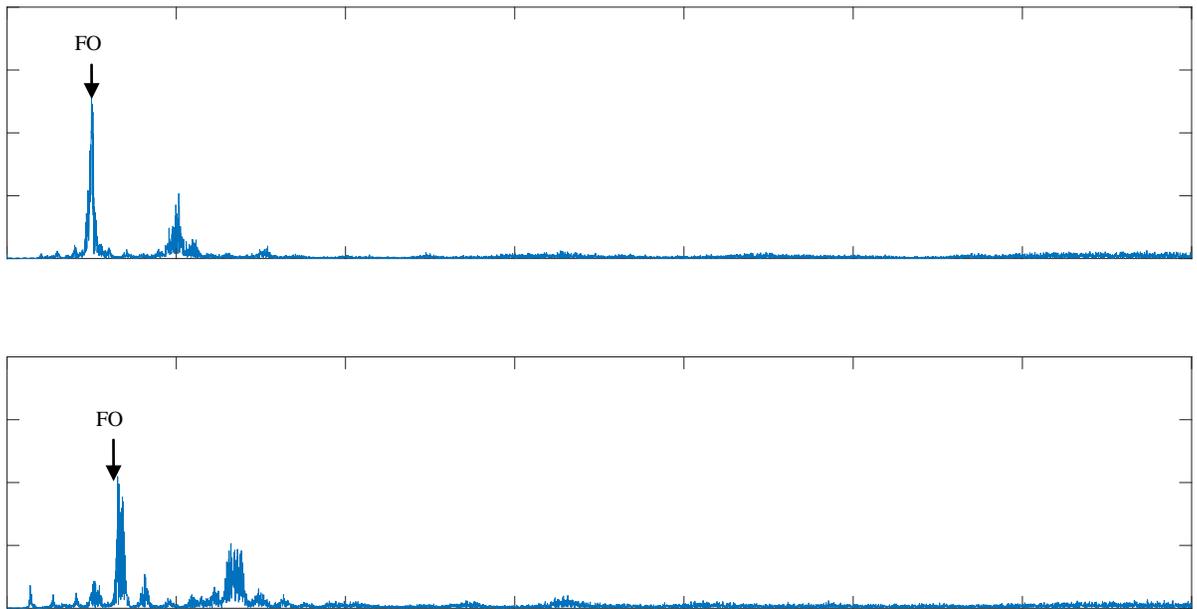
Keterangan	Perhitungan BPFO	Frekuensi cacat pada domain frekuensi	Frekuensi cacat pada Envelope
1xBPFO	79 Hz	----	78,05 Hz
2xBPFO	158,01 Hz	----	157,6 Hz
3xBPFO	237,02 Hz	----	231,3 Hz

Tabel 4.5 Hasil perhitungan frekuensi BPFO pada cacat bantalan lintasan luar 0,25 kecepatan 2000rpm

Keterangan	Perhitungan BPFO	Frekuensi cacat pada domain frekuensi	Frekuensi cacat pada Envelope
1xBPFO	103,45 Hz	----	102,3 Hz
2xBPFO	206,91 Hz	----	206,3 Hz
3xBPFO	310,36 Hz	----	302,5 Hz

Gambar 4.4 adalah perbandingan grafik antara domain frekuensi dan envelope kondisi bantalan cacat 0,25, pada masing masing kecepatan porosnya, dimana gambar 4.4 (a) merupakan Frekuensi pada kecepatan putar poros 1500 Rpm, gambar 4.4 (b)

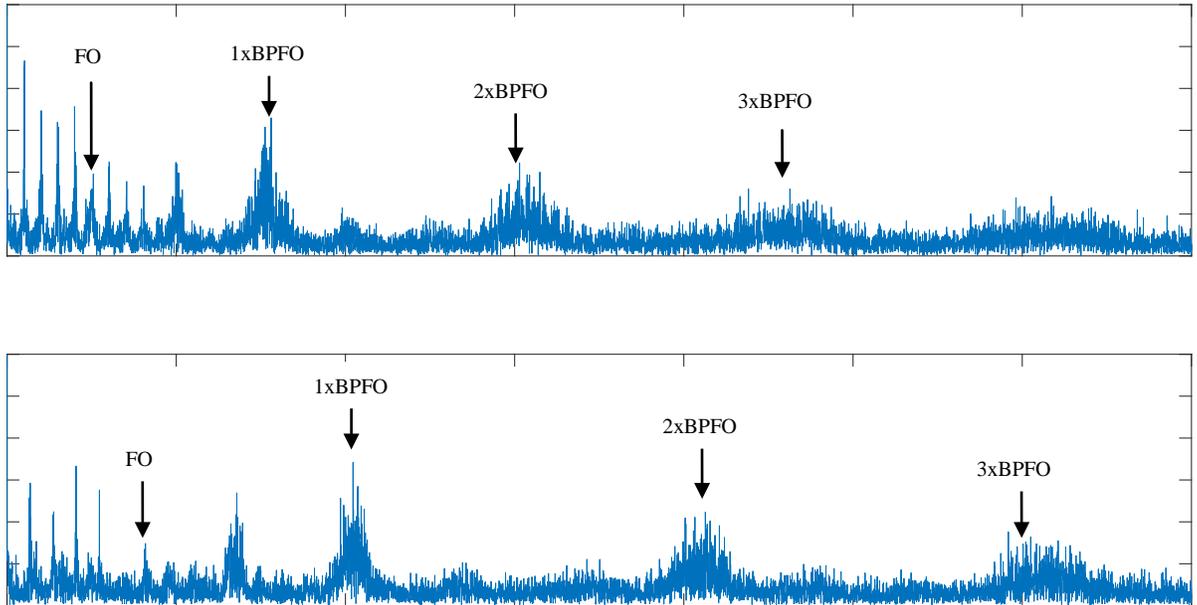
merupakan Frekuensi pada kecepatan putar poros 2000. Pada perhitungan BPFO kecepatan poros 1500 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 79 Hz, dan kecepatan poros 2000 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 103,45 Hz. Pada grafik 4.4 (a) dan (b) hanya ditemukan frekuensi putaran porosnya saja, tanpa diikuti oleh frekuensi BPFO dan harmoniknya. Frekuensi BPFO tidak dapat terlihat, hal ini dikarenakan frekuensi BPFO tertutup oleh frekuensi rendah yang lainnya.



Gambar 4.4 Grafik spektrum, kondisi cacat 0,25, (a) kecepatan 1500rpm; (b) kecepatan 2000rpm.

Sedangkan untuk grafik envelope dapat dilihat pada gambar 4.5 (c) grafik envelope pada kecepatan putar poros 1500, dan gambar 4.5 (d) grafik envelope pada kecepatan putar poros 2000. Pada gambar 4.5 (c) dan (d) dapat ditemukan frekuensi BPFO masing masing sebanyak 3 harmonik, hal ini disebabkan oleh kemampuan metode envelopedalam menyaring frekuensi rendah yang tidak dibutuhkan dalam proses deteksi frekuensi BPFO. Pada gambar 4.5 (c) menunjukam nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 78,05, 2xBPFO sebesar 157,6, 3xBPFO sebesar 231,3. Sedangkan

pada gambar 4.5 (d) menunjukam nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 102,3, 2xBPFO sebesar 206,3, 3xBPFO sebesar 302,5.



Gambar 4.5 Grafik Envelope, kondisi cacat 0,25, (c) kecepatan 1500rpm; (d) kecepatan 2000rpm

Dari gambar 4.4 dan 4.5, masing-masing grafik menunjukkan kemampuan mendeteksi kerusakan bantalan dengan tingkat keakuratan yang berbeda. Spektrum tidak mampu mendeteksi frekuensi BPFO, hal ini disebabkan hasil grafik yang masih bercampur dengan frekuensi selain BPFO. Sedangkan envelope mampu mendeteksi hingga 3 harmonik frekuensi BPFO, serta dapat menyaring frekuensi rendah selain BPFO. Tabel 4.2 dan 4.3 menunjukkan frekuensi dari perhitungan BPFO pada masing masing kecepatan putar poros.

4.3.2 Spektrum dan envelope bantalan cacat 0,5 kecepatan 1500rpm dan 2000rpm

Tabel 4.6 dan 4.7 menunjukkan perbandingan frekuensi dari perhitungan BPFO dan pengukuran pada masing masing kecepatan putar poros. Perbedaan frekuensi yang cukup besar disebabkan oleh nilai resolusi pada proses FFT.

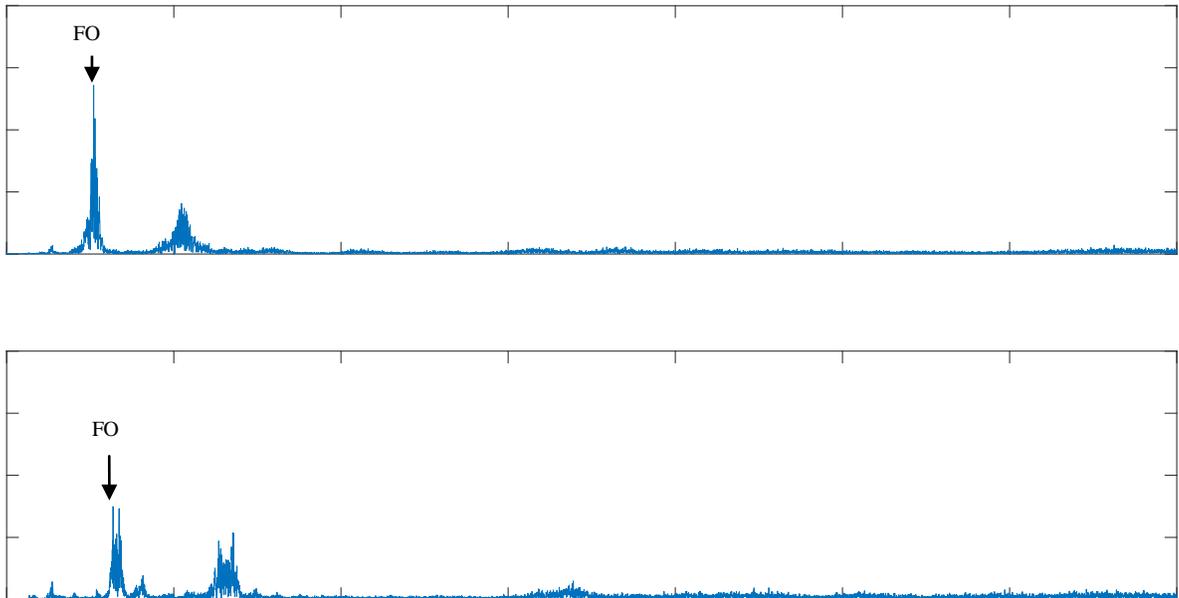
Tabel 4.6 Hasil perhitungan frekuensi BPFO pada cacat bantalan lintasan luar 0,5 kecepatan 1500rpm

Keterangan	Perhitungan BPFO	Frekuensi cacat pada domain frekuensi	Frekuensi cacat pada Envelope
1xBPFO	82,42 Hz	----	81,25 Hz
2xBPFO	164,85 Hz	----	161,3 Hz
3xBPFO	247,28 Hz	----	244,7 Hz

Tabel 4.7 Hasil perhitungan frekuensi BPFO pada cacat bantalan lintasan luar 0,5 kecepatan 2000rpm

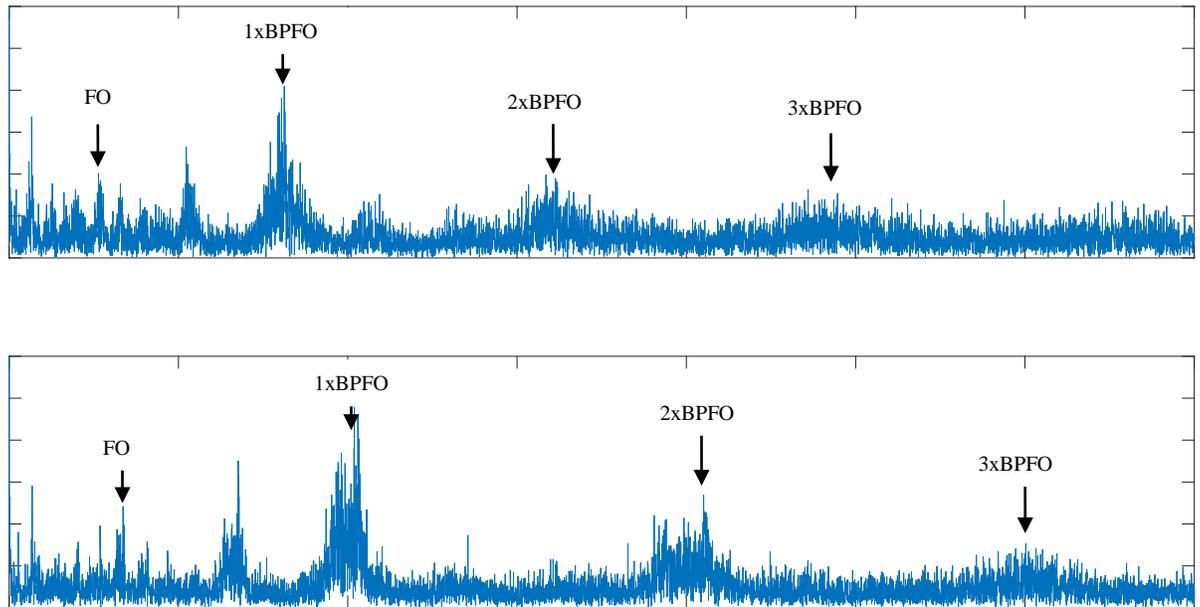
Keterangan	Perhitungan BPFO	Frekuensi cacat pada domain spektrum	Frekuensi cacat pada Envelope
1xBPFO	100,82 Hz	----	102 Hz
2xBPFO	201,65 Hz	----	205,1 Hz
3xBPFO	302,47 Hz	----	300,3 Hz

Gambar 4.6 adalah perbandingan grafik antara spektrum dan envelope kondisi bantalan cacat 0,5, pada masing masing kecepatan porosnya, dimana gambar 4.6 (a) merupakan spektrum pada kecepatan putar poros 1500 Rpm, gambar 4.6 (b) merupakan spektrum pada kecepatan putar poros 2000. Pada perhitungan BPFO kecepatan poros 1500 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 82,42 Hz, dan kecepatan poros 2000 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 101,27 Hz. Pada grafik 4.6 (a) dan (b) hanya ditemukan frekuensi putaran porosnya saja. Frekuensi BPFO beserta harmoniknya masih belum dapat terlihat jelas pada grafik. Frekuensi BPFO tidak dapat terlihat dikarenakan frekuensi BPFO tertutup oleh frekuensi rendah yang lainnya.



Gambar 4.6 Grafik domain spektrum kondisi cacat 0,5, (a) kecepatan 1500rpm; (b) kecepatan 2000rpm.

Sedangkan untuk grafik envelope dapat dilihat pada gambar 4.7 (c) grafik envelope pada kecepatan putar poros 1500, dan gambar 4.7 (d) grafik envelope pada kecepatan putar poros 2000. Pada gambar 4.7 (c) dan (d) dapat ditemukan frekuensi BPFO masing masing sebanyak 3 harmonik, hal ini disebabkan oleh kemampuan metode envelopedalam menyaring frekuensi rendah yang tidak dibutuhkan dalam proses deteksi frekuensi BPFO. Pada gambar 4.7 (c) menunjukam nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 82,42, 2xBPFO sebesar 164,85, 3xBPFO sebesar 247,28. Sedangkan pada gambar 4.7 (d) menunjukam nilai frekuensi 1xBPFO sebesar 100,82, 2xBPFO sebesar 201,65, 3xBPFO sebesar 302,47.



Gambar 4.7 Grafik Envelope kondisi cacat 0,5, (c) kecepatan 1500rpm; (d) kecepatan 2000rpm

Dari gambar 4.6 dan 4.7, masing-masing grafik menunjukkan kemampuan mendeteksi kerusakan bantalan dengan tingkat keakuratan yang berbeda. Spektrum tidak mampu mendeteksi frekuensi BPFO, hal ini disebabkan hasil grafik yang masih bercampur dengan frekuensi selain BPFO. Sedangkan envelope mampu mendeteksi hingga 3 harmonik frekuensi BPFO, serta dapat menyaring frekuensi rendah selain BPFO.

4.4. Perbandingan Ketiga Metode Analisis

Setelah melakukan serangkaian proses analisis untuk mengidentifikasi kerusakan pada bantalan, ketiga metode analisis yaitu domain waktu, spektrum dan envelope, saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Pada tabel 4.8 di tampilkan perbedaan hasil analisis dari grafik dan perhitungan BPFO pada ketiga metode tersebut.

Tabel 4.8 Perbandingan selisih antara Perhitungan BPFO dan ketiga metode analisis

Keterangan		Perhitungan BPFO	Domain waktu	Domain spektrum	Envelope 1XBPFO
Normal	1500Rpm	80,3 Hz	---	---	---
	2000Rpm	106,36 Hz	---	---	---
0,25	1500Rpm	79 Hz	---	---	78,05 Hz
	2000Rpm	103,45 Hz	103,64 Hz	---	102,3 Hz
0,50	1500Rpm	82,42 Hz	74,31 Hz-82,44Hz	---	81,25 Hz
	2000Rpm	100,82 Hz	96,42 Hz - 112,77Hz	---	102 Hz

Pada metode analisis domain waktu, kerusakan bantalan dapat diidentifikasi. Nilai dari frekuensi kerusakan bantalan pada grafik domain waktu menghasilkan frekuensi yang mendekati frekuensi BPFO, hal ini disebabkan oleh grafik domain waktu merupakan hasil data mentah yang di dapatkan dari proses perekaman getaran menggunakan sensor akselerometer, sehingga grafik yang di tampilkan pada domain waktu adalah grafik alamiah dari getaran yang dihasilkan pada mesin vespa. Akan tetapi domain waktu memiliki kekurangan, yaitu sulitnya mencari titik impuls yang tepat untuk bantalan yang memiliki kerusakan parah, sehingga diperlukan perhitungan berkali kali untuk mencari frekuensi yang mendekati dengan frekuensi BPFO.

Pada metode spektrum, kerusakan pada komponen bantalan tidak dapat terlihat. Hal ini disebabkan oleh frekuensi yang terlihat pada grafik spektrum adalah yang memiliki nilai amplitudo yang tinggi. Sehingga frekuensi kerusakan komponen

lintasan luar bantalan yang umumnya memiliki amplitudo rendah tidak terlihat, akibat didominasi oleh kemunculan amplitudo tinggi.

Pada grafik envelope, frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo tinggi akan dibuang dan menyisakan frekuensi kerusakan bantalan. Pada tahap ini kerusakan pada bantalan sudah dapat terlihat, tetapi pada motor bakar memiliki banyak komponen-komponen yang bergerak dan mengakibatkan banyak sumber getaran yang terjadi. sehingga kemunculan noise dengan nilai amplitudo tinggi masih terlihat.

Dengan melihat hasil analisis dari masing-masing metode, maka ketiga metode tersebut saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Dimulai dengan metode domain waktu yang mengidentifikasi kerusakan secara umum, hingga metode spektrum dan envelope yang mengidentifikasi letak kerusakan bantalan lebih spesifik.