

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menganalisis hasil penelitian deteksi kerusakan bantalan menggunakan sinyal getaran. Analisis menggunakan metode statistik domain waktu, spektrum dan *envelope*. Grafik akan menunjukkan perbedaan sinyal kondisi normal dan kondisi rusak serta frekuensi kerusakan pada komponen lintasan luar.

Setelah melakukan serangkaian pengolahan data menggunakan metode statistik domain waktu, spektrum dan analisis *envelope*, tahap selanjutnya adalah menganalisis grafik yang dihasilkan oleh sinyal getaran bantalan kondisi normal dan rusak. Dari analisis tersebut akan menunjukkan kualitas hasil dari masing-masing metode tersebut. Hal ini akan menghasilkan kesimpulan pada penggunaan metode yang cocok dalam menganalisis kerusakan pada lintasan luar bantalan.

Pada metode statistik domain waktu, beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini tidak semuanya dapat memberikan informasi yang akurat terhadap kondisi kerusakan lintasan luar bantalan. Dari keenam parameter statistik domain waktu yang digunakan yaitu *mean*, standar deviasi (STD), rms, kurtosis, *variance* dan *skewness*, hanya 4 yang dapat digunakan. Keempat parameter tersebut adalah standar deviasi (STD), rms, kurtosis dan *variance*. Sedangkan dua lainnya *mean* dan *skewness*, secara umum tidak menunjukkan perbedaan kondisi normal dan rusak, sehingga tidak dapat mengidentifikasi kondisi kerusakan lintasan luar bantalan..

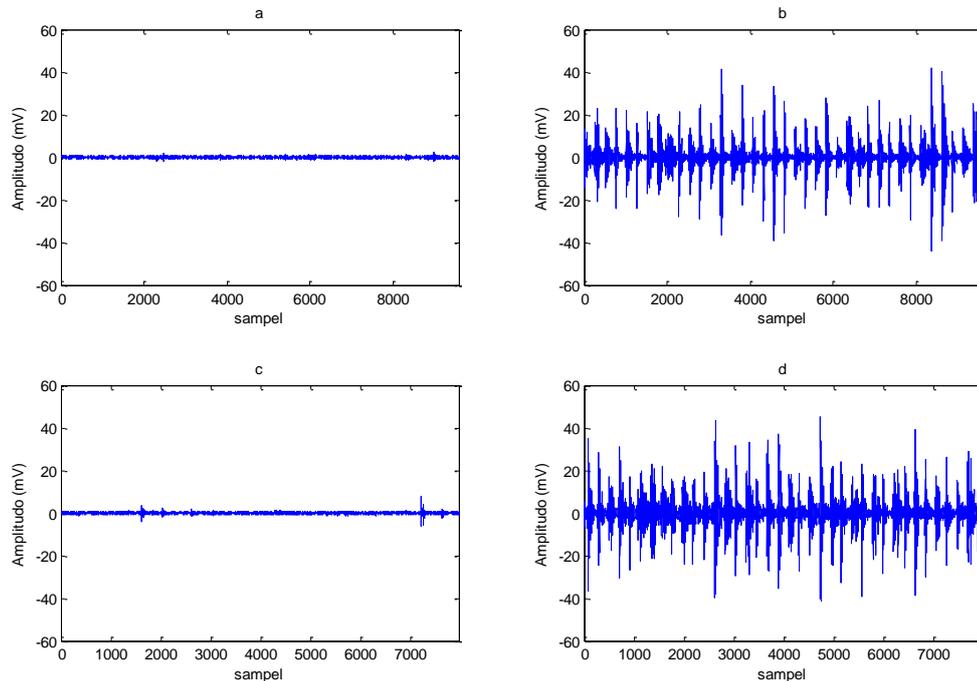
Pada metode analisis spektrum dan *envelope*, grafik mendiskripsikan frekuensi versus amplitudo. Dari grafik tersebut, dapat diidentifikasi kerusakan komponen lintasan luar bantalan dengan mengamati kemunculan frekuensi BPFO. Pada spektrum, frekuensi BPFO tidak begitu jelas teridentifikasi. Sedangkan pada *envelope*, frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo yang tinggi dihilangkan, sehingga frekuensi BPFO teridentifikasi dengan jelas mulai dari harmonik pertama hingga harmonik kelima.

4.1. Hasil 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 frekuensi kerusakan pada komponen lintasan luar bantalan. Grafik domain waktu hanya dapat mengidentifikasi adanya kerusakan pada komponen sebuah bantalan, sehingga informasi yang didapat hanya berupa perbedaan dan peningkatan amplitudo antara kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak.

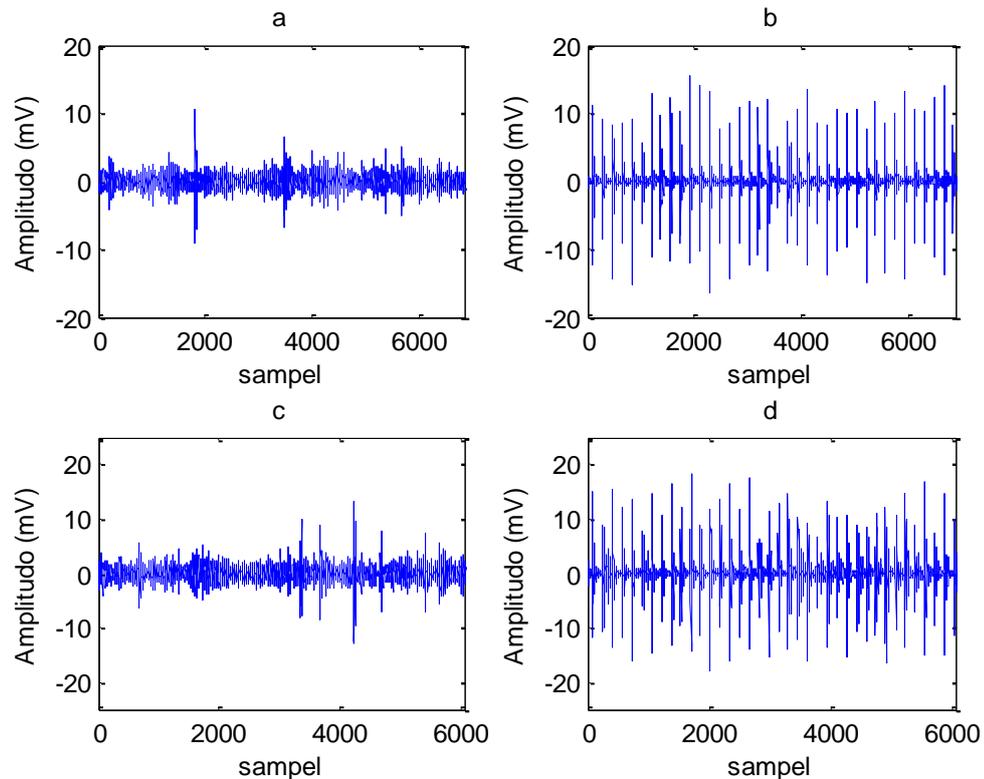
4.1.1. Grafik domain waktu

Pada gambar 4.1, grafik yang ditampilkan merupakan perbedaan antara kondisi normal dan rusak pada masing-masing kecepatan. Gambar 4.1 (a) merupakan grafik domain waktu kondisi normal pada kecepatan 1000 RPM. Sedangkan gambar 4.1 (b) merupakan grafik domain waktu kondisi rusak pada kecepatan 1000 RPM. Dengan melihat perbedaan dari kedua grafik tersebut, cukup jelas bahwa identifikasi kerusakan terlihat pada gambar 4.1 (b). Adapun pada gambar 4.1 (c) dan (d) yang merupakan bentuk dari grafik domain waktu pada kecepatan 1200 RPM. Dimana gambar 4.1 (c) merupakan grafik pada kondisi normal dan gambar 4.1 (d) merupakan grafik pada kondisi rusak.



Gambar 4.1 (a) time domain kondisi normal 1000 RPM; (b) time domain kondisi rusak 1000 RPM; (c) time domain kondisi normal 1200 RPM; (d) time domain kondisi rusak 1200 RPM

Pada gambar 4.2 (a), merupakan bentuk dari grafik domain waktu kondisi normal kecepatan 1400 RPM. Grafik tersebut memiliki ukuran amplitudo yang lebih kecil dibandingkan gambar 4.2 (b) yang menunjukkan grafik domain waktu kondisi rusak kecepatan 1400 RPM. Adapun pada gambar 4.2 (c), merupakan grafik domain waktu kondisi normal kecepatan 1600 RPM dan gambar 4.2 (d) yang menunjukkan grafik domain waktu kondisi rusak kecepatan 1600 RPM.



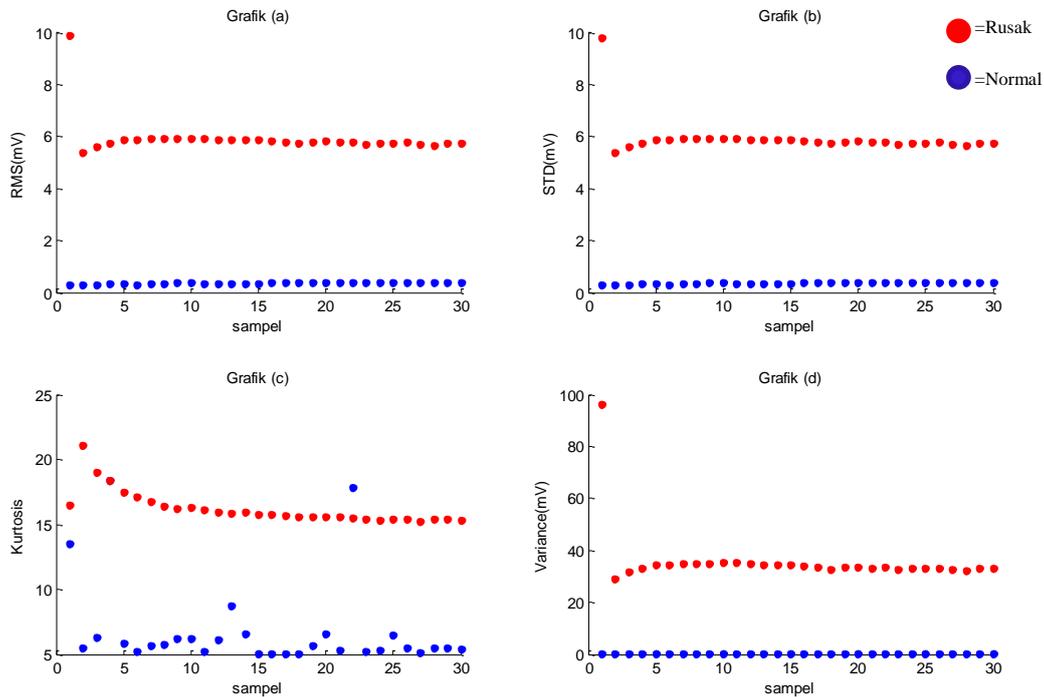
Gambar 4.2 (a) domain waktu kondisi normal 1400 RPM; (b) domain waktu kondisi rusak 1400 RPM; (c) domain waktu kondisi normal 1600 RPM; (d) domain waktu kondisi rusak 1600 RPM

4.2. Hasil Analisis Statistik Domain Waktu

Hasil analisis statistik domain waktu yang ditampilkan, merupakan grafik dari mean, standar deviasi (STD), rms, *kurtosis*, *variance*, *skewness* pada masing-masing variasi kecepatan. Pada setiap grafik tersebut menunjukkan perbedaan bantalan kondisi normal dan bantalan kondisi rusak.

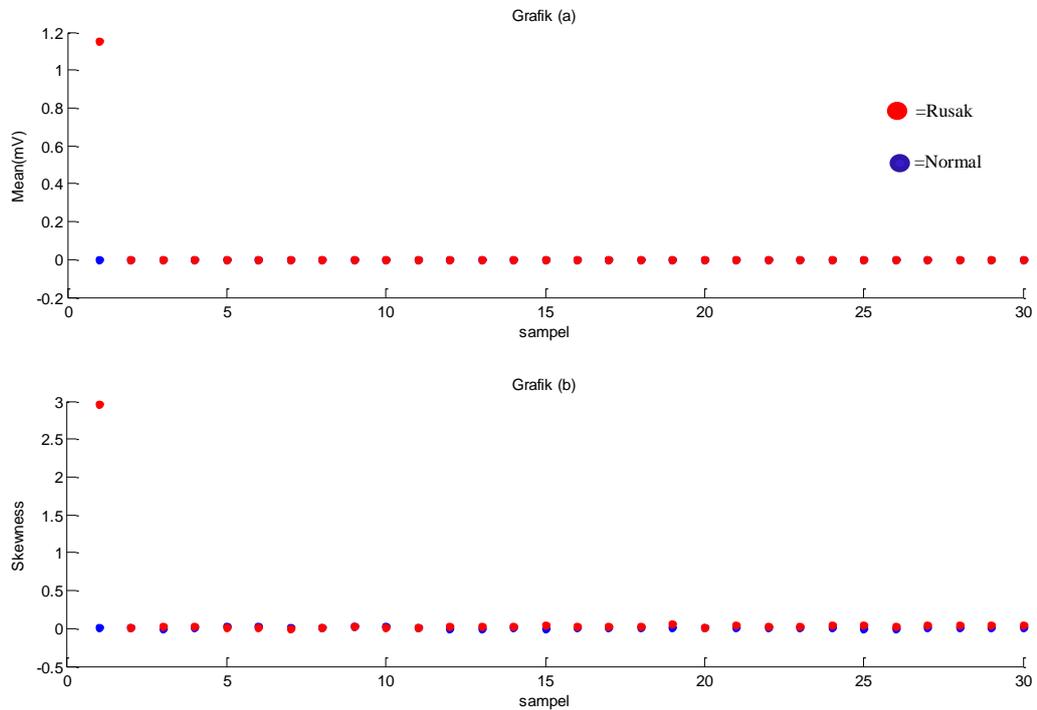
4.2.1. Grafik statistik pada kecepatan 1000 RPM

Gambar 4.1 menunjukkan perbedaan grafik statistik kondisi normal dan kondisi rusak pada variasi kecepatan 1000 RPM. Pada grafik statistik terdapat kotak berwarna biru yang menunjukkan data kondisi rusak, sedangkan bintang yang berwarna merah menunjukkan data kondisi normal.



Gambar 4.3 (a) grafik rms 1000 RPM; (b) grafik STD 1000 RPM; (c) grafik kurtosis 1000 RPM; (d) grafik *variance* 1000 RPM

Pada gambar 4.3 (a) merupakan grafik dari rms. Bentuk tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan dari data kondisi rusak dan kondisi normal sebagaimana dilihat dari titik-titik biru yang memiliki nilai rms yang lebih tinggi daripada titik-titik merah. Gambar 4.3 (b) menunjukkan grafik dari standar deviasi (STD). Perbedaan nilai STD kondisi rusak dan normal pada grafik sebagaimana ditunjukkan pada titik-titik biru yang memiliki nilai lebih tinggi daripada titik-titik merah. Hal ini menunjukkan peningkatan nilai STD pada bantalan kondisi rusak. Pada gambar 4.3 (c), grafik menunjukkan perbedaan nilai kurtosis pada kondisi normal dan rusak. Titik-titik biru pada grafik tersebut menunjukkan nilai kurtosis yang lebih tinggi dari pada titik-titik merah. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai yang signifikan dari kondisi normal menuju kondisi rusak. Pada gambar 4.3 (d), merupakan bentuk dari grafik nilai *variance*. Peningkatan nilai pada kondisi rusak (titik biru) sangat signifikan terhadap kondisi normal (titik merah).



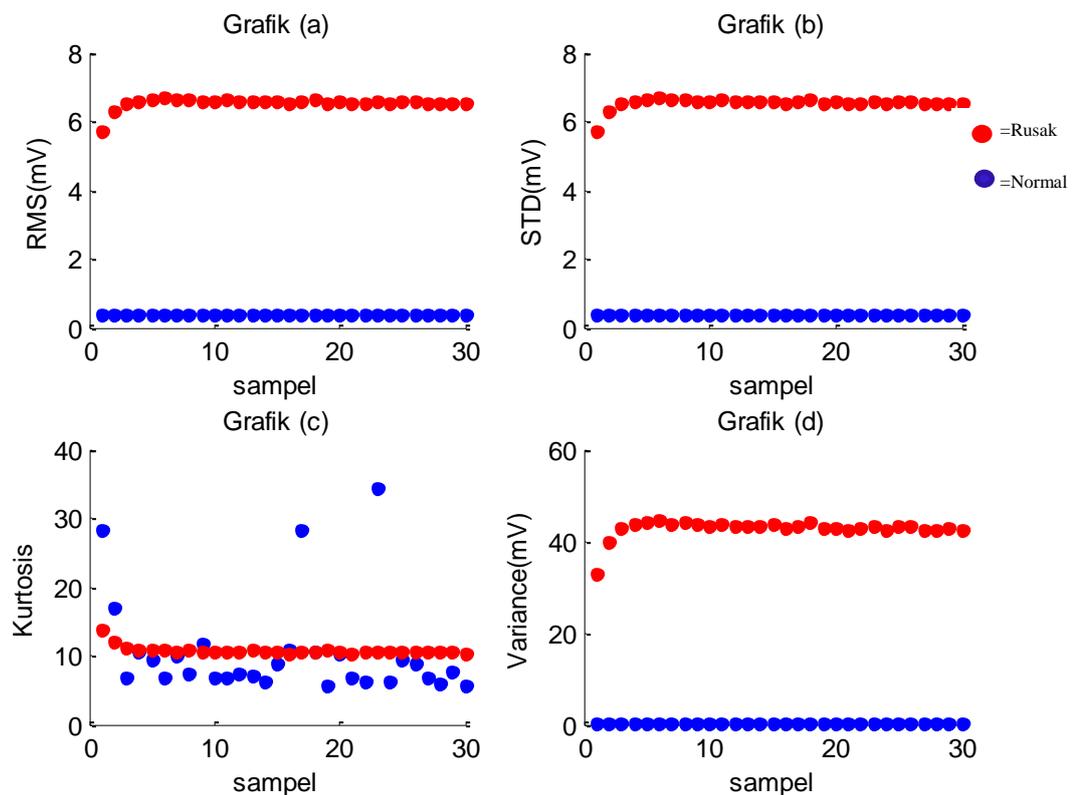
Gambar 4.4 (a) grafik *mean* 1000 RPM; (b) grafik *skewness* 1000 RPM

Grafik pada gambar 4.4, tidak tampak perbedaan yang akurat antara kondisi normal dan rusak. Gambar 4.4 (a) merupakan bentuk dari grafik *mean*, sedangkan gambar 4.4 (b) merupakan bentuk dari grafik *skewness*. Gambar 4.4 (a) menunjukkan nilai grafik kondisi rusak dan kondisi normal bercampur tidak teratur. Hal ini mengakibatkan tidak tampaknya perbedaan antara kondisi rusak dan kondisi normal. Sedangkan pada gambar 4.4 (b), grafik kondisi normal memiliki nilai amplitudo yang lebih tinggi dari grafik kondisi rusak, dimana hasil tersebut tidak memberikan informasi yang akurat pada kerusakan bantalan. Untuk itu, grafik pada gambar 4.4 (a) dan (b) tidak akurat dalam mengidentifikasi kerusakan bantalan.

4.2.2. Grafik statistik pada kecepatan 1200 RPM

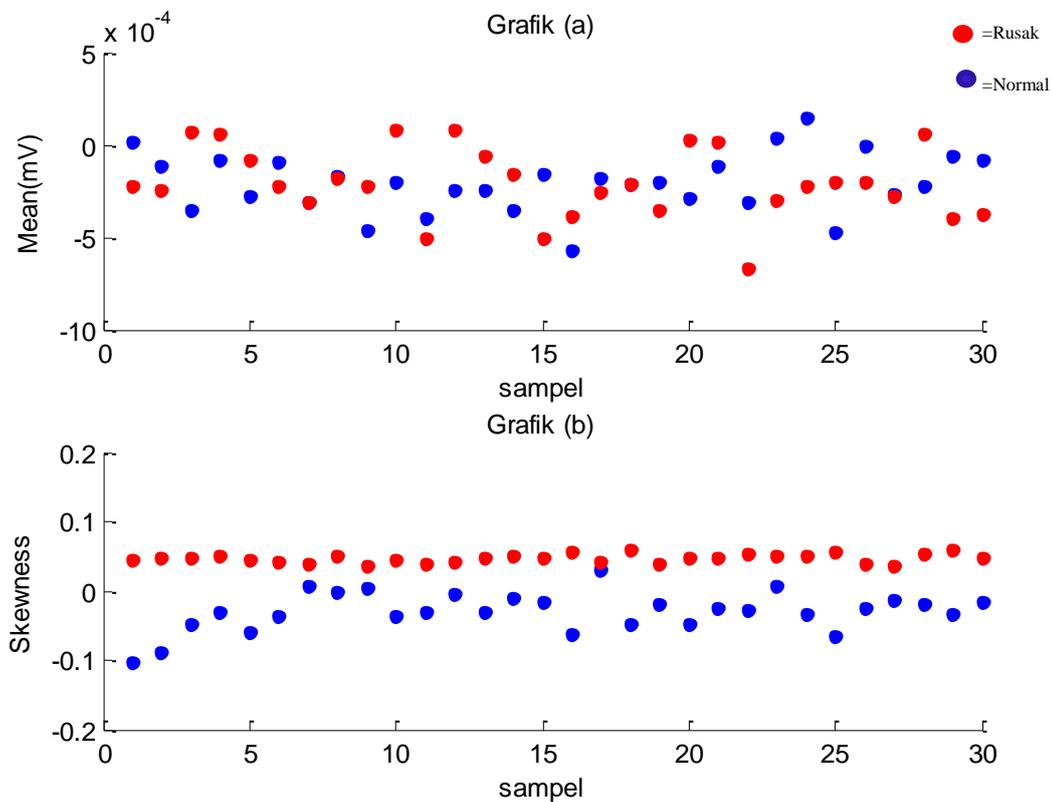
Gambar 4.5 (a) merupakan grafik dari nilai rms pada kecepatan 1200 RPM. Grafik 4.5 (b) merupakan grafik hasil nilai standar deviasi (STD). Sedangkan

Pada grafik 4.5 (c) dan (d) masing-masing merupakan grafik kurtosis dan *variance*. Dari keempat gambar tersebut, 3 di antaranya yaitu mean, rms dan STD, menunjukkan hasil nilai pada kondisi rusak (titik biru) memiliki jarak yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan nilai pada kondisi normal (titik merah). Sedangkan pada gambar 4.5 (c), perbedaan nilai kurtosis antara kondisi normal dan rusak tidak terlalu signifikan, namun secara umum nilai kondisi rusak lebih tinggi dari pada kondisi normal. Dengan adanya perbandingan nilai yang signifikan antara normal dan rusak, menjadikan keempat grafik merupakan parameter yang cocok jika diterapkan dalam identifikasi kerusakan pada komponen bantalan.



Gambar 4.5 (a) grafik rms 1200 RPM; (b) grafik STD 1200 RPM; (c) grafik kurtosis 1200 RPM; (d) grafik *variance* 1200 RPM

Grafik pada gambar 4.6 menunjukkan hasil dari nilai mean dan skewness pada kecepatan 1200 RPM. Dari gambar 4.6 (a), grafik menunjukkan nilai kondisi rusak dan normal bercampur. Hal ini tidak menunjukkan informasi perbedaan antara kondisi normal dan rusak, sehingga metode mean tidak cocok digunakan dalam menganalisis kerusakan bantalan pada variasi kecepatan 1200 RPM. Pada gambar 4.6 (b), perbedaan nilai kondisi normal dan rusak sedikit berbeda. Dimana nilai kondisi rusak memiliki nilai lebih tinggi daripada nilai kondisi normal. Sehingga dalam kondisi ini, metode skewness dapat digunakan.

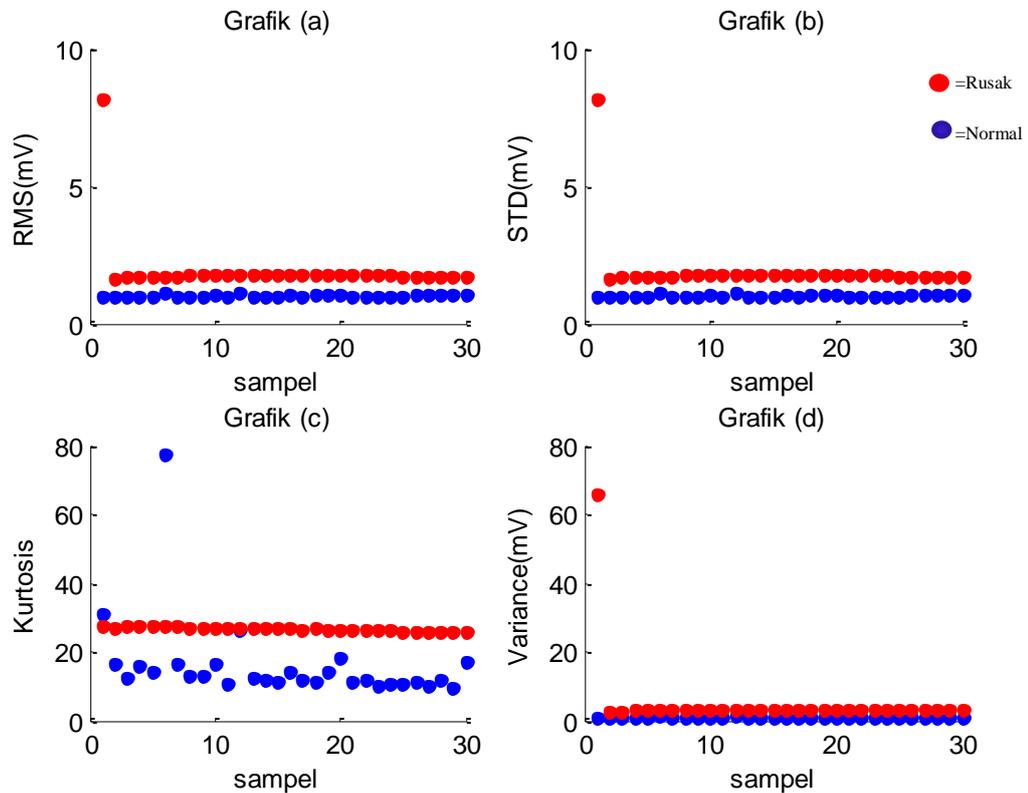


Gambar 4.6 (a) grafik *mean* 1200 RPM; (b) grafik *skewness* 1200 RPM

4.2.3. Grafik statistik pada kecepatan 1400 RPM

Gambar 4.7 merupakan grafik dari variasi kecepatan 1400 RPM. Gambar 4.7 (a) merupakan hasil dari nilai rms dengan perbedaan nilai kondisi rusak yang

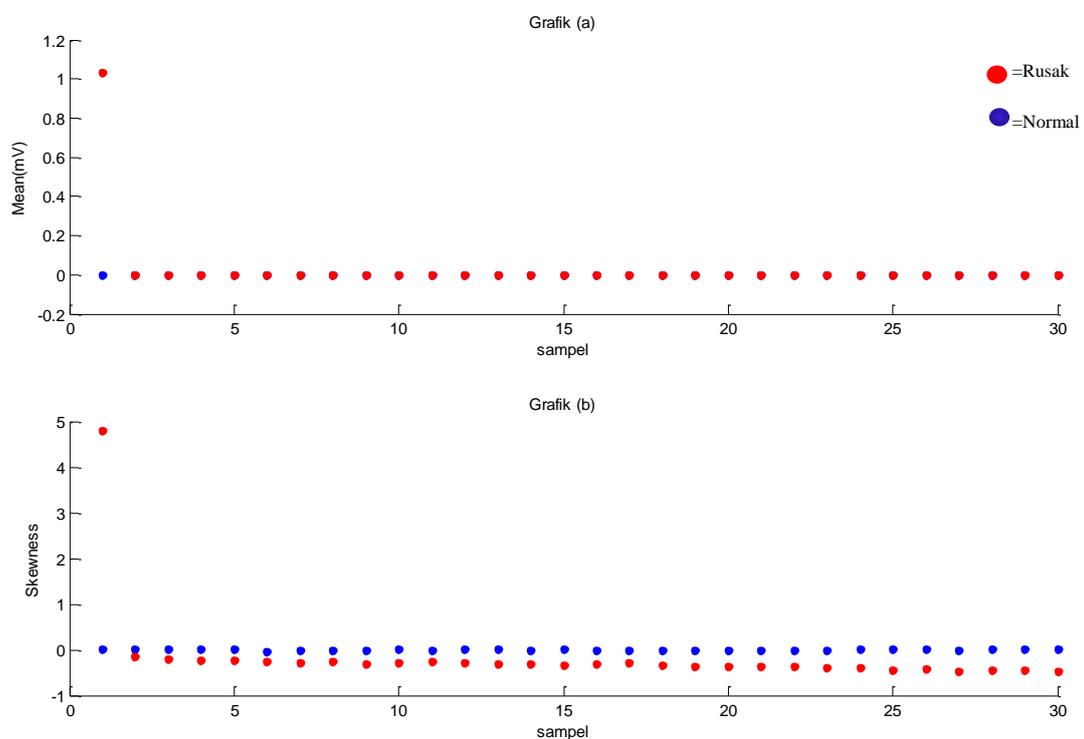
memiliki nilai lebih tinggi daripada nilai kondisi normal. meskipun dalam hal ini, nilai perbandingan antara normal dan rusak tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.7 (a) grafik rms 1400 RPM; (b) grafik STD 1400 RPM; (c) grafik kurtosis 1400 RPM; (d) grafik *variance* 1400 RPM

Gambar 4.7 (b) merupakan bentuk dari grafik STD dengan perbedaan nilai grafik antara kondisi normal dan rusak yang mempunyai perbandingan yang kecil. Dimana nilai kondisi rusak lebih besar daripada nilai kondisi normal. Nilai kondisi normal dan rusak menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Namun nilai kondisi rusak tetap lebih besar daripada nilai kondisi normal. Gambar 4.7 (c) menunjukkan grafik kurtosis. Meskipun tampak perbedaan antara nilai kondisi normal dan rusak, namun perbedaan antara keduanya tidak signifikan. Gambar 4.7 (d) merupakan grafik dari *skewness* dengan perbedaan nilai kondisi normal dan kondisi rusak tidak terlalu signifikan seperti parameter lainnya. Namun hal ini sudah dapat mengindikasikan adanya kerusakan pada kondisi bantalan.

Dari keseluruhan grafik yang ada pada gambar 4.7, dapat disimpulkan bahwa keempat grafik tersebut bisa menunjukkan perbedaan nilai hasil kondisi normal ke kondisi rusak, meskipun nilai perbedaan pada masing-masing grafik berbeda. Sehingga dalam variasi kecepatan 1400 RPM, parameter rms, STD, kurtosis dan skewness dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan pada bantalan.

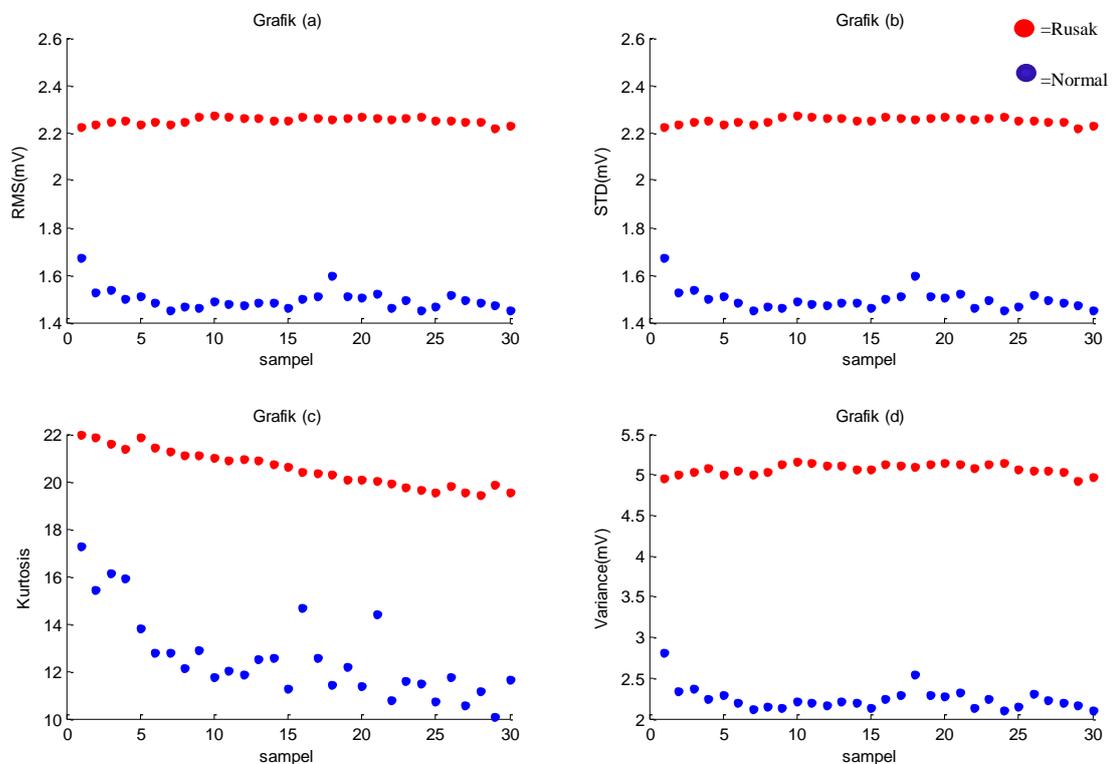


Gambar 4.8 (a) grafik *mean* 1400 RPM; (b) grafik *skewness* 1400 RPM

Gambar 4.8 merupakan grafik dari parameter *mean* dan *skewness* pada variasi kecepatan 1400 RPM. Gambar (a) merupakan hasil nilai mean yang tidak bisa menunjukkan perbedaan pada nilai kondisi normal dan rusak. Sama halnya dengan grafik mean pada variasi kecepatan 1200 RPM, dimana grafik hasil nilai kondisi normal dan kondisi rusak tertumpuk. Sehingga parameter ini pun tidak dapat digunakan pada variasi kecepatan 1400 RPM. Sedangkan pada gambar 4.8 (b), perbedaan yang ditunjukkan oleh grafik berupa hasil kondisi normal lebih

tinggi hasilnya daripada kondisi rusak. Untuk itu, nilai grafik pada parameter ini tidak menunjukkan perbedaan antara kondisi normal dan rusak, dimana seharusnya nilai kondisi rusak mempunyai hasil yang lebih tinggi daripada kondisi normal. Sehingga parameter ini pun tidak dapat digunakan dalam variasi kecepatan ini.

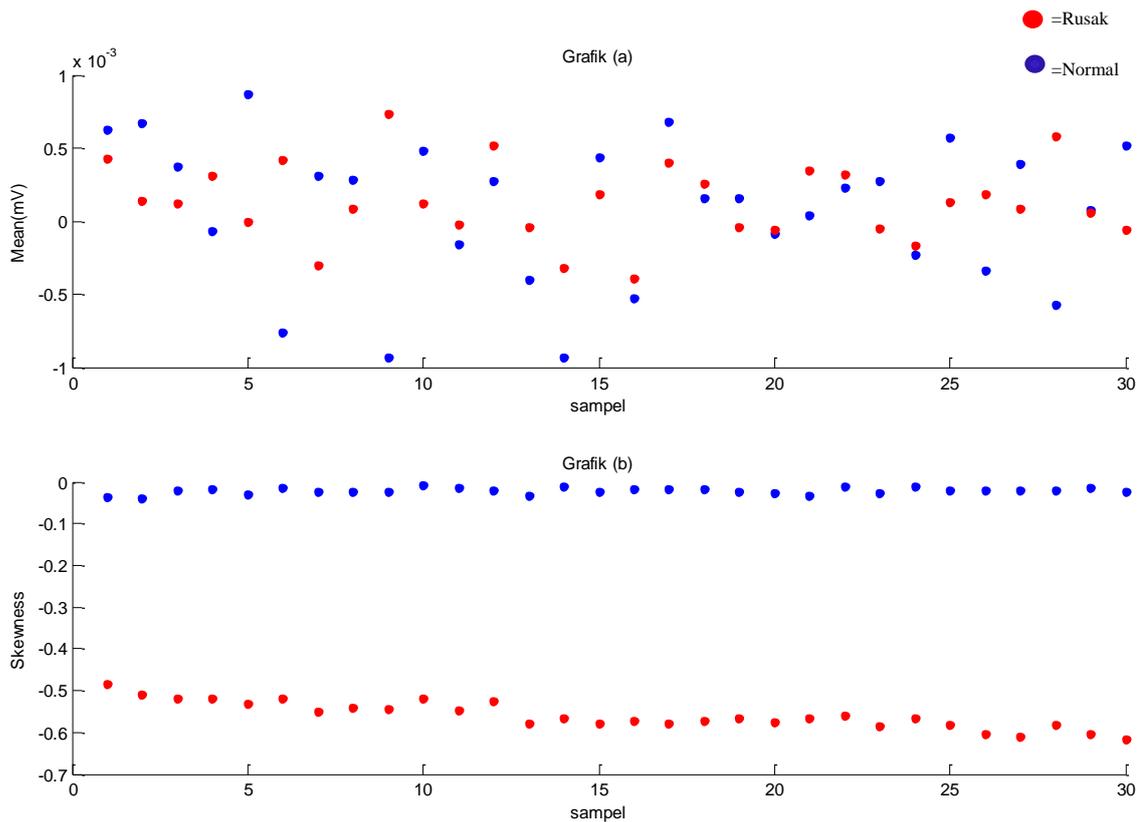
4.2.4. Grafik statistik pada kecepatan 1600 RPM



Gambar 4.9 (a) grafik rms 1600 RPM; (b) grafik STD 1600 RPM; (c) grafik kurtosis 1600 RPM; (d) grafik *variance* 1600 RPM

Keempat grafik pada gambar 4.9 menunjukkan perbedaan nilai kondisi normal dan rusak pada variasi kecepatan 1600 RPM. Pada gambar tersebut dimana gambar 4.9 (a) merupakan grafik rms, gambar 4.9 (b) grafik STD, gambar 4.9 (c) grafik kurtosis dan gambar 4.9 (d) grafik *variance* yang menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan antara kondisi normal dan kondisi rusak. Keempat parameter

ini dinyatakan akurat mengidentifikasi kerusakan pada bantalan, dilihat dari hasil nilai grafik kondisi rusak yang lebih besar dibandingkan grafik kondisi normal.



Gambar 4.10 (a) grafik *mean* 1600 RPM; (b) grafik *skewness* 1600 RPM

Gambar 4.10 menunjukkan grafik parameter statistik *mean* dan *skewness*, dimana tidak tampak perbedaan dalam menampilkan kondisi normal dan rusak. Gambar 4.10 (a) merupakan grafik *mean* dengan hasil yang tercampur antara kondisi normal dan rusak. Sedangkan pada gambar 4.10 (b), menunjukkan grafik hasil kondisi normal yang memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan kondisi rusak. Sehingga pada variasi kecepatan 1600 RPM ini, kedua parameter tersebut tidak dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan bantalan.

Dari keseluruhan analisis pada grafik yang dihasilkan dari parameter statistik domain waktu, dapat disimpulkan bahwa dari keenam parameter yang digunakan,

hanya 4 parameter yang konsisten dapat digunakan untuk menganalisis kerusakan pada bantalan. Sedangkan kedua parameter lainnya yaitu *mean* dan *skewness* tidak dapat memberikan informasi yang akurat pada hasil identifikasi kerusakan bantalan. Selain itu, metode statistik domain waktu tidak dapat menunjukkan lokasi komponen bantalan yang rusak, dimana hanya dapat mengidentifikasi kondisi bantalan secara umum.

4.3. Hasil Analisis Spektrum dan Analisis *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 menghalangi kemunculan frekuensi BPFO.

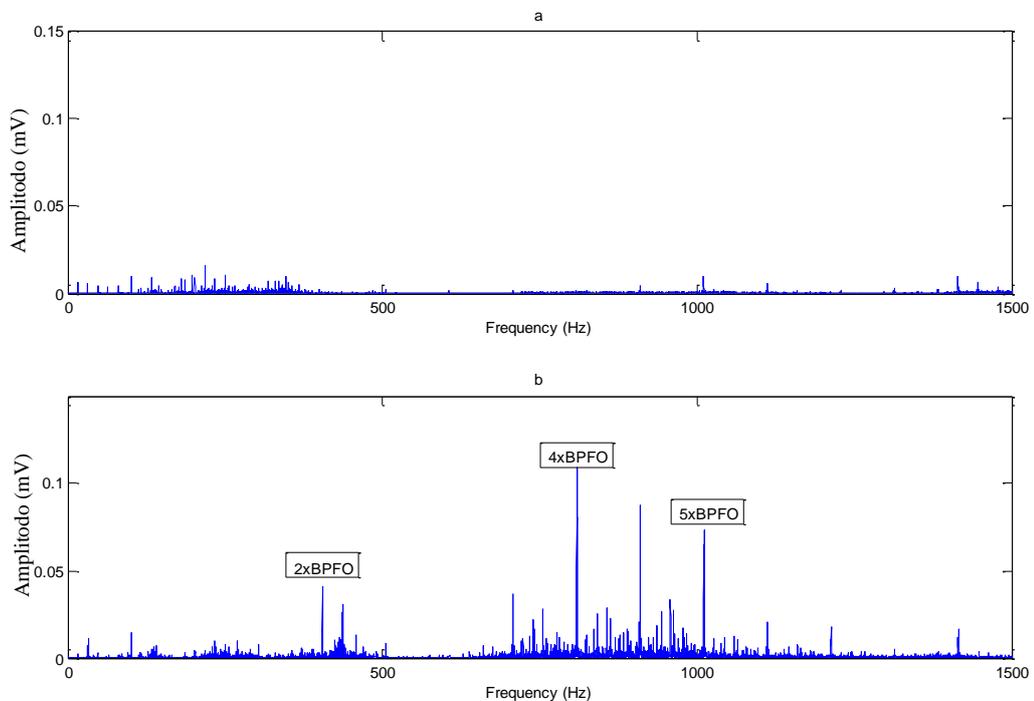
Untuk menemukan frekuensi kerusakan bantalan, maka perlu dilakukan proses identifikasi frekuensi perhitungan menggunakan persamaan 2.1 BPFO (*Ball Pass Frequency Outer Race*) dengan frekuensi pengukuran pada grafik. Untuk menggunakan rumus BPFO, maka perlu diketahui nilai dari variabel persamaanya. Nilai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

Tabel 4.1 dimensi komponen bantalan SKF 1207 EKTN9

Diameter Bola (Bd)	8,5 mm
Diameter Pitch (Pd)	53,95 mm
Diameter Luar	72 mm
Diameter Dalam	35 mm
Jumlah Bola (Nb)	30
Sudut Kontak (α)	0°

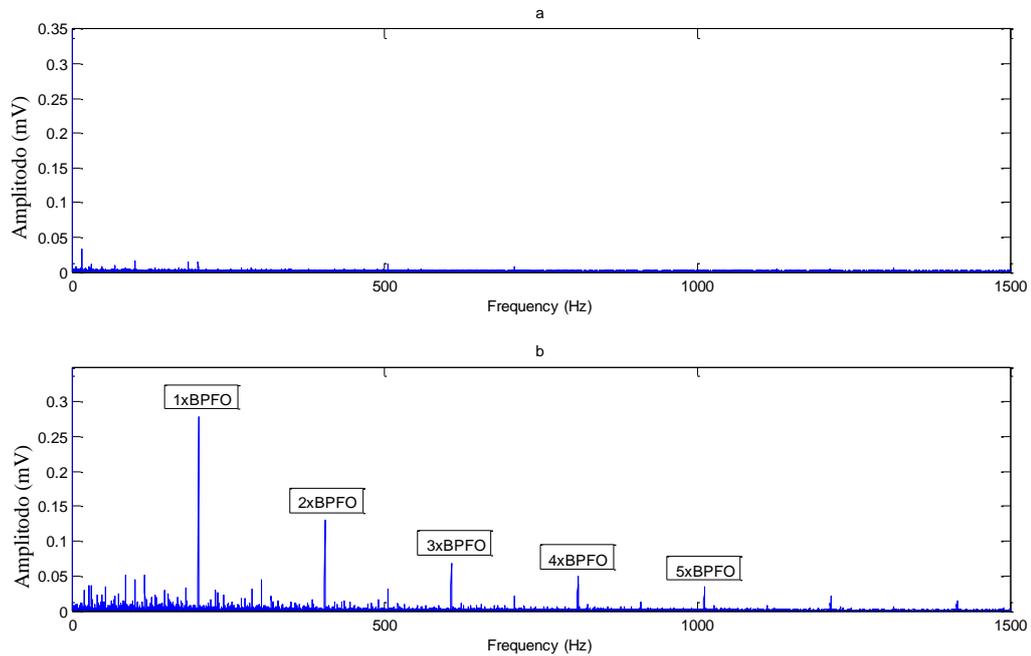
4.3.1. Spektrum dan envelope pada kecepatan 1000 RPM

Gambar 4.11 adalah grafik pada kecepatan 1000 RPM, dimana gambar 4.11 (a) merupakan spektrum pada kondisi normal, sedangkan gambar 4.11 (b) merupakan spektrum pada kondisi rusak. Perhitungan BPFO kecepatan 1000 RPM menghasilkan frekuensi sebesar 202,44 Hz. Gambar 4.11 (b) menunjukkan frekuensi BPFO dan beberapa harmoniknya. Pada gambar 4.11 (b) hanya ditemukan 3 harmonik frekuensi BPFO yang berdekatan dengan frekuensi BPFO perhitungan. Frekuensi tersebut yaitu 2xBPFO sebesar 404,3 Hz, 4xBPFO sebesar 808,7 Hz dan 5xBPFO sebesar 1011 Hz.



Gambar 4.11 (a) spektrum kondisi normal kecepatan 1000 RPM; (b) spektrum kondisi rusak kecepatan 1000 RPM

Sedangkan untuk grafik *envelope* pada kecepatan 1200 RPM dapat dilihat pada gambar 4.12. Gambar 4.12 (a) merupakan spektrum kondisi normal, sedangkan gambar 4.12 (b) merupakan spektrum kondisi rusak. Gambar 4.12 (b) memunculkan frekuensi BPFO pada 3 harmonik. Dimulai dari 1xBPFO dengan frekuensi sebesar 202,2 Hz, 2xBPFO sebesar 404,4 Hz, 3xBPFO sebesar 606,6 Hz, 4xBPFO sebesar 808,8 Hz dan 5xBPFO sebesar 1011 Hz.



Gambar 4.12(a) grafik *envelope* kondisi normal kecepatan 1000 RPM; (b) grafik *envelope* kondisi rusak kecepatan 1000 RPM

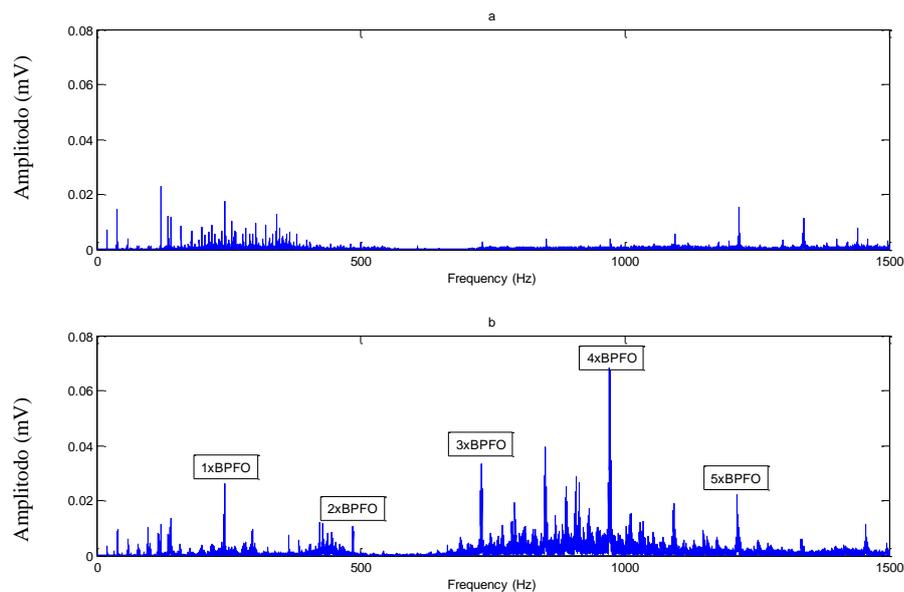
Dari gambar 4.11 dan gambar 4.112 masing-masing menunjukkan kemampuan mendeteksi frekuensi BPFO dengan tingkat keakuratan yang berbeda. Spektrum hanya mampu mendeteksi 3 harmonik frekuensi BPFO dengan karakter grafik yang masih bercampur dengan frekuensi selain BPFO. Sedangkan *envelope* mampu mendeteksi hingga 5 harmonik frekuensi BPFO, serta dapat menyaring frekuensi rendah selain BPFO. Tabel 4.2 menunjukkan frekuensi dari perhitungan BPFO, frekuensi pengukuran spektrum dan frekuensi pengukuran *envelope*.

Tabel 4.2 hasil frekuensi BPFO perhitungan dan pengukuran pada kecepatan 1000 RPM

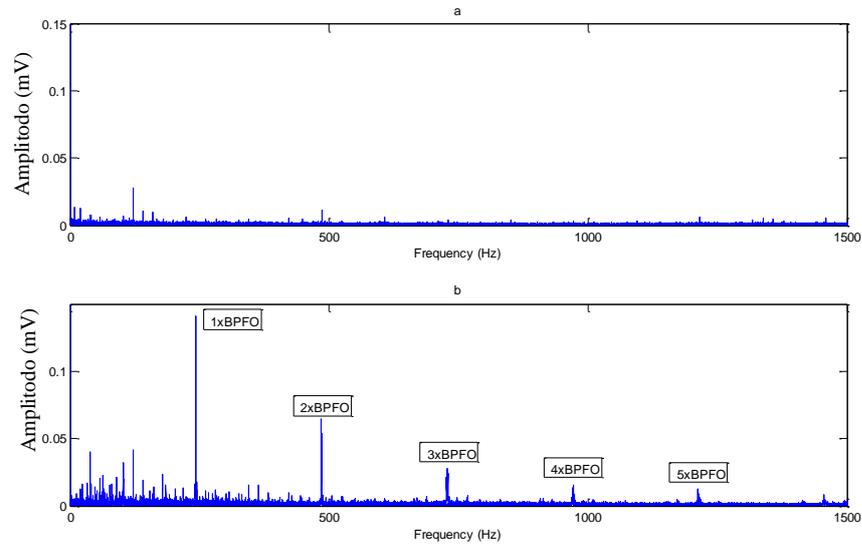
Keterangan	Perhitungan	Pengukuran	Pengukuran
	BPFO	Spektrum	<i>envelope</i>
1xBPFO	202,44	-----	202,2
2xBPFO	404,88	404,3	404,4
3xBPFO	607,32	-----	606,6
4xBPFO	809,76	808,7	808,8
5xBPFO	1012,2	1011	1011

4.3.2. Spektrum dan envelope kecepatan 1200 RPM

Gambar 4.13 merupakan spektrum pada kecepatan 1200 RPM. Gambar 4.13 (a) merupakan grafik kondisi normal dan gambar 4.13 (b) merupakan grafik kondisi rusak. Pada spektrum kecepatan 1200 RPM, frekuensi BPFO yang terdeteksi lebih banyak dari sebelumnya, yaitu hingga 5xharmonik BPFO. Frekuensi BPFO yang muncul adalah 1xBPFO sebesar 242,6 Hz, 2xBPFO sebesar 485,3 Hz, 3xBPFO sebesar 727,9 Hz, 4xBPFO sebesar 971,3 Hz dan 5xBPFO sebesar 1212 Hz.



Gambar 4.13 (a) spektrum kondisi normal kecepatan 1200 RPM; (b) spektrum kondisi rusak kecepatan 1200 RPM



Gambar 4.14 (a) grafik *envelope* kondisi normal kecepatan 1200 RPM; (b) grafik *envelope* kondisi rusak kecepatan 1200 RPM

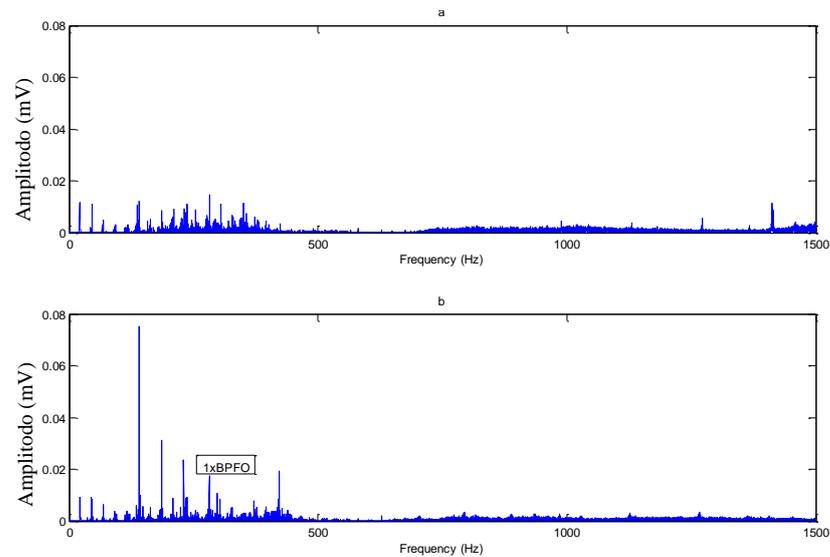
Gambar 4.14 menunjukkan bentuk *envelope* kondisi normal dan rusak pada kecepatan 1200 RPM. Gambar 4.14 (a) merupakan bentuk grafik pada kondisi normal. Sedangkan gambar 4.14 (b) menunjukkan frekuensi pada kondisi rusak. Dari gambar 4.14 (b) dapat dilihat beberapa frekuensi BPFO yang terdeteksi. Kemunculannya pun terjadi hingga 5xharmonik BPFO. Frekuensi tersebut adalah 1xBPFO sebesar 242,9 Hz, 2xBPFO sebesar 485,8 Hz, 3xBPFO sebesar 728,7 Hz, 4xBPFO sebesar 971,6 Hz dan 5xBPFO sebesar 1214,5. Grafik *envelope* memiliki kemampuan yang lebih akurat daripada spektrum, dimana menunjukkan grafik yang bersih dari frekuensi-frekuensi *noise* atau frekuensi gangguan selain BPFO. Sehingga grafik *envelope* hanya dominan menampilkan frekuensi BPFO secara akurat. Hal ini terjadi akibat proses penyaringan frekuensi rendah yang dilakukan metode *envelope*. Adapun selisih frekuensi BPFO yang didapat melalui cara perhitungan dan pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 hasil frekuensi BPFO perhitungan dan pengukuran pada kecepatan 1200 RPM

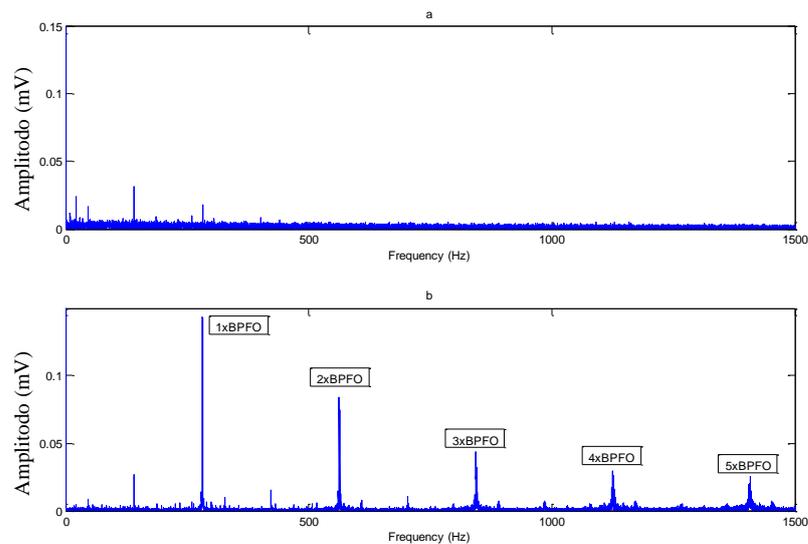
Keterangan	Perhitungan BPFO	Pengukuran spektrum	Pengukuran <i>envelope</i>
1xBPFO	243,76	242,6	242,9
2xBPFO	487,52	485,3	485,8
3xBPFO	731,28	727,9	728,7
4xBPFO	971,26	971,3	971,26
5xBPFO	1218,8	1212	1214,,5

4.3.3. Spektrum dan envelope kecepatan 1400 RPM

Gambar 4.15 (a) merupakan spektrum kondisi normal pada kecepatan 1400 RPM. Sedangkan gambar 4.15 (b) merupakan spektrum kondisi normal pada kecepatan 1400 RPM. Masing-masing grafik memiliki nilai amplitudo yang berbeda satu dengan yang lainnya. Hal ini terjadi karena pengaruh tingkat kerusakan pada bantalan kondisi rusak, yang mengakibatkan terdeteksinya frekuensi BPFO dengan amplitudo yang tinggi. Adapun frekuensi BPFO yang muncul pada spektrum kondisi rusak hanya satu, yaitu 1xBPFO harmonik sebesar 281,50 Hz.



Gambar 4.15 (a) spektrum kondisi normal kecepatan 1400 RPM; (b) spektrum kondisi rusak kecepatan 1400 RPM



Gambar 4.16 (a) grafik *envelope* kondisi normal kecepatan 1400 RPM; (b) grafik *envelope* kondisi rusak kecepatan 1400 RPM

Gambar 4.16 menunjukkan frekuensi grafik *envelope* pada kecepatan 1400 RPM. Gambar 4.16 (a) merupakan grafik kondisi normal dan gambar 4.16 (b) merupakan grafik kondisi rusak. Pada metode *envelope*, frekuensi BPFO mulai jelas terlihat bersama dengan 5 harmoniknya. Hal ini disebabkan oleh kemampuan metode *envelope* dalam menyaring frekuensi rendah yang tidak

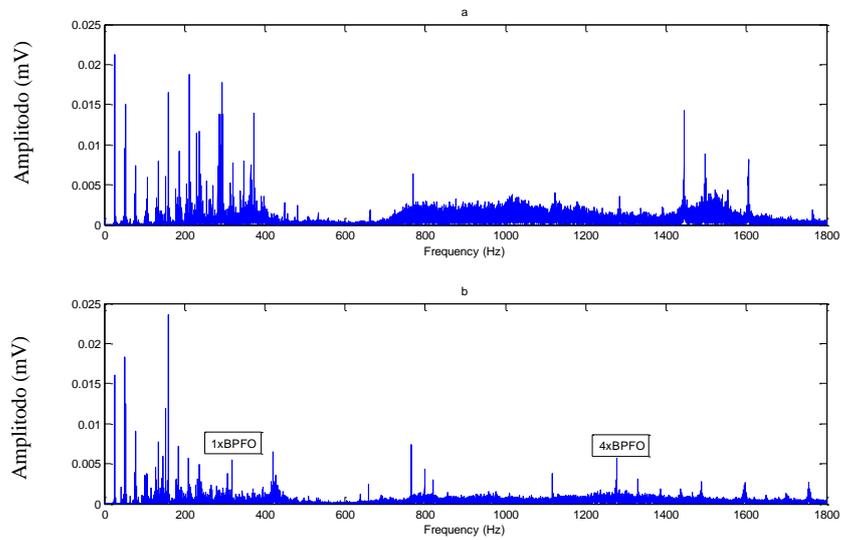
dibutuhkan dalam proses deteksi frekuensi BPFO. Pada gambar 4.16 (b) Frekuensi BPFO muncul sebanyak 5xharmonik dengan besaran 281,40 Hz pada 1xBPFO, 562, 8 Hz pada 2xBPFO, 844,2 Hz pada 3xBPFO, 1125,6 Hz pada 4xBPFO dan 1407 Hz pada 5x BPFO. Jika dilihat pada spektrum, frekuensi BPFO hanya terdeteksi pada 1x harmonik. Maka dapat dilihat kualitas *envelope* jika dibandingkan dengan spektrum. *Envelope* memiliki kemampuan yang lebih handal dalam menyaring frekuensi yang tidak diperlukan dalam proses identifikasi BPFO. Perbandingan frekuensi yang didapat dari perhitungan BPFO dan frekuensi hasil pengukuran BPFO dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 hasil frekuensi BPFO perhitungan dan pengukuran pada kecepatan 1400 RPM

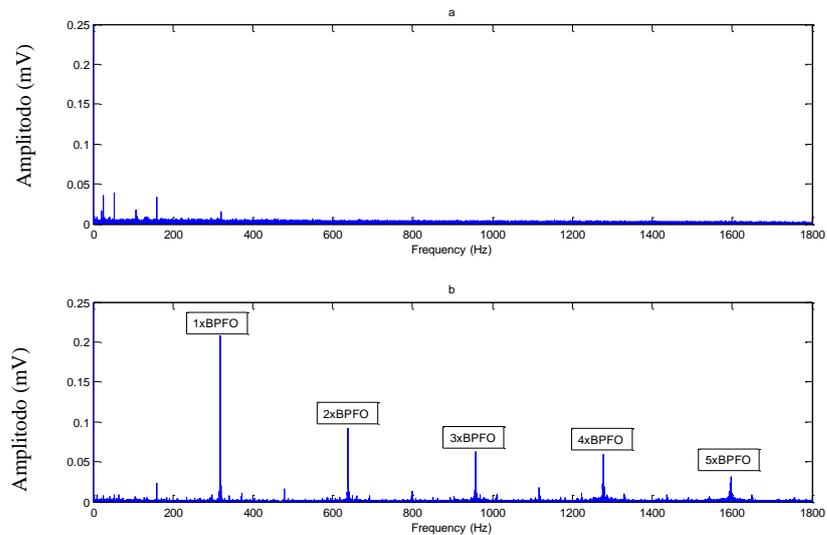
Keterangan	Perhitungan BPFO	Pengukuran spektrum	Pengukuran <i>envelope</i>
1xBPFO	283,19	281,5	281,40
2xBPFO	566,38	-----	562,8
3xBPFO	849,57	-----	844,2
4xBPFO	1132,76	-----	1125,6
5xBPFO	1415,95	-----	1407

4.3.4. Spektrum dan envelope kecepatan 1600 RPM

Gambar 4.17 merupakan spektrum kecepatan 1600 RPM. Gambar 4.17 (a) merupakan spektrum kondisi normal dan gambar 4.17 (b) merupakan spektrum kondisis rusak. Frekuensi BPFO pada spektrum kondisi rusak kecepatan 1600 RPM muncul sebanyak 2 kali. Gambar 4.17 (a) tidak menunjukkan adanya frekuensi BPFO, karena merupakan spektrum kondisi normal. Gambar 4.17 (b) menunjukkan 2 nilai frekuensi BPFO, yaitu pada 1xBPFO dengan frekuensi 281,5 Hz dan 4xBPFO dengan frekuensi 1277 Hz.



Gambar 4.17 (a) spektrum kondisi normal kecepatan 1600 RPM; (b) spektrum kondisi rusak kecepatan 1600 RPM



Gambar 4.18 (a) grafik *envelope* kondisi normal kecepatan 1600 RPM; (b) grafik *envelope* kondisi rusak kecepatan 1600 RPM

Gambar 4.18 menunjukkan perbedaan grafik *envelope* kondisi normal dan rusak pada kecepatan 1600 RPM. Gambar 4.18 (a) menunjukkan grafik pada kondisi normal, sedangkan pada gambar 4.18 (b) menunjukkan grafik pada kondisi rusak. Frekuensi BPFO yang muncul pada gambar 4.18 (b) sebesar 319,4 Hz pada 1xBPFO, 638,8 Hz pada 2xBPFO, 958,2 Hz pada 3xBPFO,

1277,6 Hz pada 4xBPFO dan 1597 Hz pada 5xBPFO. Frekuensi tersebut tetap memiliki selisih terhadap nilai hasil perhitungan rumus, seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 hasil frekuensi BPFO perhitungan dan pengukuran pada kecepatan 1600 RPM

Keterangan	Perhitungan BPFO	Pengukuran spektrum	Pengukuran <i>envelope</i>
1xBPFO	283,19	281,5	281,40
2xBPFO	566,38	-----	562,8
3xBPFO	849,57	-----	844,2
4xBPFO	1132,76	1277	1125,6
5xBPFO	1415,95	-----	1407

4.4. Perbandingan Ketiga Metode Analisis

Setelah melakukan serangkaian proses analisis untuk mengidentifikasi kerusakan pada bantalan, ketiga metode analisis yaitu statistik domain waktu, spektrum dan *envelope*, saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Pada metode analisis statistik domain waktu, beberapa parameter dapat digunakan dalam mengidentifikasi kerusakan bantalan. Namun dalam tahap ini, hasil identifikasi hanya berupa informasi kerusakan pada sebuah bantalan, dimana informasi tersebut tidak menunjukkan letak kerusakan secara spesifik.

Pada metode spektrum, kerusakan pada beberapa komponen bantalan mulai terlihat. Sinyal frekuensi kerusakan bermunculan pada frekuensi rendah dan tinggi. Secara umum, 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 frekuensi-frekuensi tinggi.

Pada metode analisis *envelope*, frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo tinggi akan dibuang. Sehingga pada grafik *envelope*, hanya akan

didominasi oleh frekuensi kerusakan bantalan. Untuk itu, fungsi dari metode *envelope* sangat diperlukan dalam mengidentifikasi letak kerusakan bantalan secara spesifik.

Untuk frekuensi yang didapat dari proses perhitungan dan pengukuran, dapat dilihat perbedaan hasil pada masing-masing variasi. Semakin tinggi kecepatan poros yang digunakan dalam pengujian, maka semakin besar selisih antara hasil nilai BPFO perhitungan dan pengukuran.

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