

## IDENTIFIKASI MODE RUSAK JAMAK (MULTI-FAULTS) BANTALAN MENGGUNAKAN ANALISIS ENVELOPE PADA TURBIN ANGIN

Berli Paripurna Kamiel<sup>1,a</sup>, Chusnufam Firliandika<sup>1,b</sup>, Novi Caroko<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Brawijaya (Lingkar Selatan), Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183

<sup>a</sup>berlikamiel@gmail.com, <sup>b</sup>firlyandhika@gmail.com, <sup>c</sup>novicaroko@gmail.com

### ABSTRACT

Wind is an abundant renewable energy source. One form of utilizing wind energy is by using wind turbines. However, components in wind turbines are often damaged, and one of the most-frequently damaged components is bearing. This research used a bearing in normal condition and multi-fault bearings that were intentionally damaged with a size of 2 mm deep bearing and damaged at a 0.7 mm wide bearing. Multi-faults were damaged in the outer trajectory and the inner trajectory simultaneously and the detection of broken bearings was carried out using spectrum envelope analysis. The Measurements were carried out using a motor drive as a wind simulation with a shaft speed of 1200 RPM. The bearings used in this research were Self Aligning Double Row, TAM Brand, and 1208K series. The frequency spectrum does not show damaged frequency amplitude on the bearing, but there is high frequency amplitude of the shaft rotating speed. The frequency spectrum on the damaged bearing shows a broken frequency of the bearing of the outer trajectory and the inner trajectory followed by 1X to 3X harmonics. However, the damaged frequency of bearing amplitude is still low and covered by the frequency of other components. The envelope method can extract the impact with very low energy and give rise to damaged frequency amplitude on the bearing. Thus, the identification of damaged bearings will be very clear with the emergence of frequencies from broken bearings in the outer and inner tracks followed by 1X to 3X harmonics.

**Keywords:** windmills, multi-fault identification of bearings using envelope analysis and wind Turbine

## 1. PENDAHULUAN

Angin sebagai sumber energi yang sangat melimpah merupakan sumber energi yang terbarukan dan tidak menyebabkan polusi udara karena tidak menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki kurang lebih 17.000 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km dan berada di daerah tropis yang dilewati angin muson pada tiap musimnya. Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian. Sampai tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0,5 MW dari 9,29 GW potensi yang ada (Daryanto, 2007).

Wilayah Sulawesi dan Maluku terletak di kawasan Timur Indonesia yang memiliki ratusan pulau kecil yang sebagian besar berpenduduk. Dengan berkembangnya zaman, kebutuhan listrik di daerah tersebut semakin melonjak tinggi. Upaya pengembangan pembangkit listrik dengan sumber energi alternatif ramah lingkungan menjadi suatu hal yang penting. Daerah-daerah yang mempunyai potensi sumber energi angin di wilayah Sulawesi adalah Toli-toli, Kayuwatu, Majene, Makassar, Gorontalo, Kendari, dan Naha. Sedangkan di wilayah Maluku potensi sumber energi angin terdapat pada daerah Tual, Saumlaki, Bandanaeira, Ambon, dan Ternate yang bisa dilihat dengan menggunakan data kecepatan dan arah angin harian periode tahun 2003-2008. Dari hasil analisa dapat disarankan 4 daerah yang berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin yaitu di Tual, Naha, Saumlaki, dan

Bandaneira dengan potensi energi angin berkisar antara 3455,8 s/d 11861,4 Watt day/tahun. Dari keempat daerah tersebut, Tual merupakan lokasi yang paling berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin (Habibie dkk, 2011). Salah satu pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin ini bisa mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Turbin angin yang sudah banyak digunakan pada umumnya adalah turbin angin sumbu horizontal, dimana pada proses penggunaannya memerlukan aliran angin yang searah dan berkecepatan tinggi dengan turbin angin. Pada turbin angin sumbu horizontal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya (Karwono, 2008).

Namun turbin angin seringkali mengalami kerusakan dikarenakan tekanan angin yang besar yang diterima secara terus menerus. Kerusakan yang terjadi pada kincir angin dapat berupa kerusakan pada *gear*, *unbalance*, dan kerusakan pada bantalan. Bantalan (*bearing*) pada kincir angin merupakan salah satu komponen yang berperan sangat penting dalam kelancaran putaran poros. Bantalan juga berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros baik berupa beban radial maupun aksial. Jika bantalan mengalami cacat maka akan berpengaruh terhadap kinerja kincir angin, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen yang lainnya. Cacat pada bantalan dapat terjadi dibagian lintasan dalam, lintasan luar, bola dan sangkar. Dengan demikian kondisi bantalan ini harus senantiasa dipantau untuk menjaga kondisi kincir angin agar tetap baik dan optimal.

Setiap pemantauan kondisi bantalan mempunyai hasil data yang berbeda-beda. Jika bantalan dalam kondisi normal, frekuensi cacat bantalan tidak terlihat sedangkan jika bantalan dalam kondisi rusak/cacat, frekuensi cacat bantalan akan muncul sesuai dengan lokasi cacat. Ada beberapa metode analisis yang digunakan dalam deteksi kerusakan bantalan seperti *frequency domain*, *time domain* dan *envelope analysis* (Susilo, 2009). Seperti yang dilakukan oleh (Suhardjono, 2004), tentang analisis sinyal getaran untuk mengetahui jenis dan tingkat kerusakan bantalan bola (*ball bearing*). Metode yang digunakan adalah dengan mengukur karakteristik getarannya baik dalam

domain waktu maupun domain frekuensi yang terjadi pada arah radial. Percobaan untuk mengetahui dan mempelajari spektrum getaran akibat kerusakan bantalan bola ini dilakukan pada mesin gerinda bangku dengan mengganti beberapa jenis bantalan yang sengaja dirusak. Hasil pengukuran pada bantalan cacat akan menghasilkan sinyal getaran yang berbentuk stokastik (*random*). Secara teoritik frekuensi cacat bantalan pada *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) sebesar 240,3 Hz, sedangkan hasil pengukuran didapat 242 Hz, Nilai ini merupakan frekuensi harmonik dari 1xBPFI. Sedangkan hasil pengukuran secara teoritik frekuensi cacat bantalan pada *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO) sebesar 157,33 Hz, dan hasil pengukuran didapat 159 Hz, frekuensi ini merupakan harmonik dari 1xBPFO. Masing-masing frekuensi ini mengindikasikan bahwa adanya cacat yang terjadi pada bantalan bola dibagian lintasan luar dan lintasan dalam.

Setiyadi dan Raharjo (2016), melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui cacat sangkar (*cage*) pada bantalan gelinding. Karakteristik getaran pada bantalan gelinding yang mengalami cacat sangkar (*cage*) bisa diketahui dengan percobaan pada *test rig*. Parameter pengukuran getaran yaitu variasi putaran dan tingkat cacat pada sangkar (*cage*) (kerusakan ringan, sedang, dan berat). Analisa yang digunakan analisa *descriptive*, *trending*, dan *comparative* dari amplitudo, spektrum (*frequency domain*), dan sinyal (*time domain*). Dari hasil pengukuran dan analisa yang dilakukan diketahui bahwa dengan bertambahnya tingkat kerusakan pada bantalan maka terjadi kenaikan amplitudo pada *time domain* dan terjadi perubahan amplitudo antara bantalan kondisi normal dengan bantalan yang mengalami cacat sangkar (*cage*) pada frekuensi 8,4 Hz dimana frekuensi tersebut adalah frekuensi cacat sangkar (*cage*) atau disebut FTF (*Fundamental Train Frequency*).

Contoh lain seperti yang dilakukan oleh Wahyudi,dkk (2016), melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kerusakan (cacat) dan karakteristik spektrum getaran dari bantalan yang masih bagus, cacat 30% di lintasan dalam (*inner race*), 30% di lintasan luar (*outer race*), cacat 30% di *rolling element*, dan bantalan yang rusak secara alami. Penelitian ini dilakukan dengan rig tool menggunakan bantalan seri 2205-K2RS-TVH-C3 pada kecepatan 1500 RPM,

dimana sinyal getaran diukur menggunakan alat FAG Detector III yang kemudian dilakukan analisa dengan *trendline software*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa bantalan dengan kondisi normal mempunyai karakteristik amplitudo *velocity* dibawah 1,80 mm/s dan spektrum getaran *FFT velocity* dan *demodulation of acceleration* yang tidak berimpitan dengan garis frekuensi impuls baik BPFI, BPFO, dan BSF. Bantalan cacat 30% di lintasan dalam (*inner race*) menghasilkan amplitudo *velocity* yang tinggi. Bantalan cacat 30% di lintasan luar (*outer race*) dan cacat 30% di *rolling element* mempunyai amplitudo *velocity* yang cenderung bervariasi. Bantalan yang cacat 30% di lintasan dalam, lintasan luar ataupun *rolling element* menghasilkan spektrum vibrasi *FFT velocity* dan *demodulation of rolling element* dengan garis puncak frekuensi berimpitan dengan garis frekuensi impuls masing-masing BPFI, BPFO, ataupun BSF.

Analisis envelope (*envelope analysis*) adalah metode yang difokuskan pada wilayah spektrum untuk menghilangkan frekuensi yang rendah. Analisis ini merupakan teknik yang dapat menghasilkan dampak periodik kebisingan acak termodulasi dari bantalan cacat. Proses ini akan menghilangkan amplitudo besar di frekuensi rendah yang tertutup oleh frekuensi-frekuensi dari komponen yang bukan dimonitor (Patidar dan Soni, 2013).

Dwi Susanto (2017) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menguji keefektifan metode analisis *envelope* dalam mendeteksi kerusakan lintasan dalam bantalan bola tipe *double row*. Pengukuran getaran dilakukan pada model sederhana sistem poros rotor, dimana getaran akan diukur menggunakan *accelerometer*. Jenis bantalan yang digunakan yaitu jenis *Self-aligning ball bearing*, merk SKF 1207 EKTN9/C3 dengan kondisi normal dan kondisi cacat dalam. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan putaran poros yaitu, (1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, dan 1600 RPM) yang kemudian sinyal getaran yang dihasilkan pada proses pengujian akan dianalisis menggunakan spektrum dan analisis *envelope*. Dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa bantalan kondisi normal sinyal getaran yang dihasilkan mendekati harmonik (sinusoidal) dan tidak terlihat frekuensi dengan nilai amplitudo tinggi. Sedangkan pada bantalan kondisi cacat lintasan dalam (*inner race*) menghasilkan sinyal getaran berbentuk stokastik (*random*) dan muncul amplitudo frekuensi

cacat bantalan lintasan dalam disekitar BPFI (*Ball Pass Frequency Inner Race*). Pada bantalan cacat lintasan dalam (*inner race*) menghasilkan frekuensi dengan amplitudo dominan pada daerah 1xBPFI, 2xBPFI dan 3xBPFI. Serta muncul juga side band pada kedua sisi amplitudo frekuensi cacat bantalan yang menjadi ciri khas dari frekuensi cacat bantalan lintasan dalam (*inner race*).

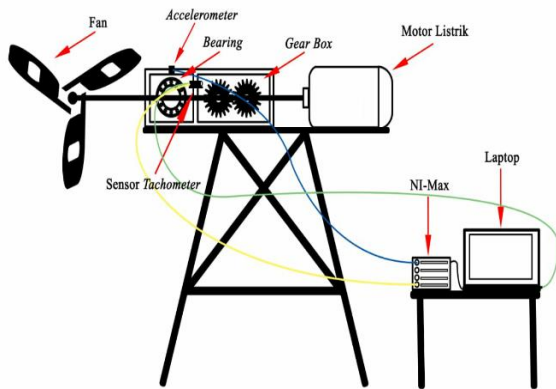
Hasil penelitian dari Tiwari dan Jatola, (2013) yang berjudul *Fault Detection in Bearing Using Envelope Analysis* menunjukkan keunggulan dari metode analisis envelope. Benda uji yang digunakan adalah bantalan tipe SKF 6002-2Z. Jenis kerusakan komponen terdapat pada lintasan luar, lintasan dalam dan bola bantalan. Analisis menggunakan metode envelope menemukan frekuensi kerusakan pada nilai 7.43 Hz untuk lintasan luar BPFO, 10.83 Hz untuk lintasan dalam BPFI dan 5.70 Hz untuk bola bantalan BSF. Proses *high pass filter* yang terdapat pada analisis *envelope* merupakan cara yang akurat untuk menghilangkan frekuensi-frekuensi rendah yang memiliki amplitudo yang tinggi pada spektrum. Dengan menghilangkan frekuensi-frekuensi rendah pada spektrum, maka frekuensi tinggi yang memiliki nilai amplitudo yang rendah seperti BPFO, BPFI dan BSF akan mudah untuk diamati keberadaannya.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan sinyal getaran untuk mendeteksi cacat bantalan pada turbin angin. Bantalan kondisi normal dan bantalan kondisi rusak (cacat) akan diuji untuk dilihat respon getarannya menggunakan sensor getaran (*accelerometer*). Respon getaran dari sensor *accelerometer* akan direkam oleh akuisisi data yang terpasang pada chassis modul akuisisi data yang kemudian disimpan dan ditampilkan di laptop menggunakan software matlab dengan metode analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dan analisis *Envelope*.

### 1.1 Skema Alat Uji Kerusakan Bantalan

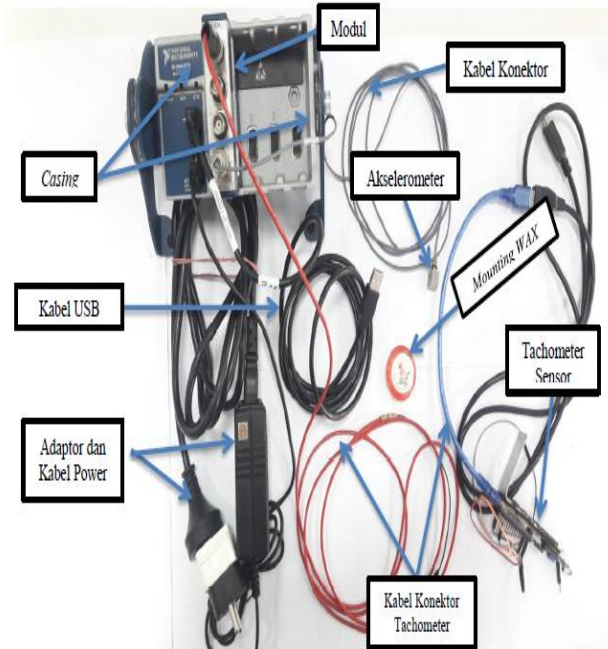
Gambar 1 merupakan skematik rangkaian uji yang menunjukkan lokasi pemasangan *accelerometer* dan sistem akuisisi data yang digunakan dalam merekam sinyal getaran turbin angin. Serta menunjukkan pemasangan *tachometer* untuk mengukur dan merekam kecepatan poros.



Gambar 1. Skema alat uji bantalan

1.2 Alat dan Bahan

Penelitian menggunakan peralatan data akuisisi yang memiliki beberapa komponen dan fungsi tersen diri seperti yang ada pada gambar 2:



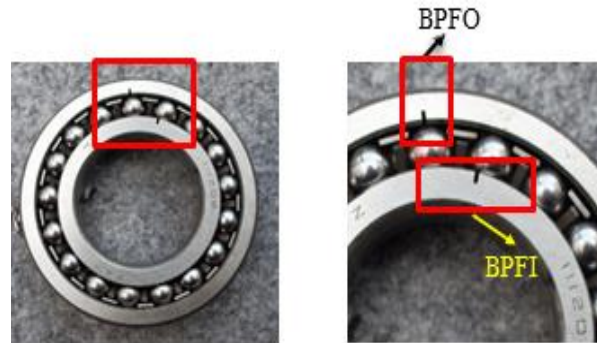
Gambar 2. Peralatan data akuisisi

1.3 Kerusakan Pada Bantalan

Kerusakan pada bantalan yang akan di uji dapat dilihat seperti pada gambar 3.

- Jenis : Bantalan bola
- Type : 1208K
- Merk : TAM

- Kondisi : Normal dan Cacat lintasan dalam dan luar (*Multi-Faults*)
- Bantalan Kondisi Cacat : Dirusak dengan menggunakan EDM dengan kedalaman rusak (*deep*) sebesar 2 mm dan lebar rusak sebesar 0.7 mm.



Gambar 3. Kerusakan pada Bantalan

2.2 Alur Pengambilan Data

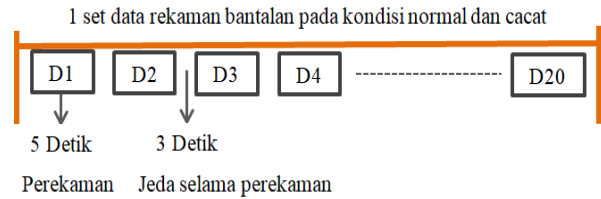
Perekaman data sinyal getaran seperti Gambar 4 dilakukan setelah memastikan konfigurasi akuisisi data telah benar kemudian dilakukan perekaman menggunakan software matlab dengan proses perekaman data sebagai berikut :

1. Mempersiapkan turbin angin yang sudah siap di uji.
2. Merekam data sinyal getaran bantalan dari akselerometer dan data kecepatan poros dari tachometer pada akuisisi berturut-turut pada chanel 1 dan 2
3. Perekaman data sinyal getaran dilakukan menggunakan software matlab R2017a dengan proses perekaman data sebagai berikut :
  - a. Satu set data terdiri dari 15 potong data per kecepatan
  - b. Waktu perekaman 5 detik untuk setiap potong data.
  - c. Jeda waktu perekaman yaitu 3 detik untuk setiap potong data.
  - d. Sampling rate 25600 Hz
4. Menyimpan file hasil rekaman sinyal getaran bantalan dari data akuisisi dalam bentuk file dengan ekstensi .mat.

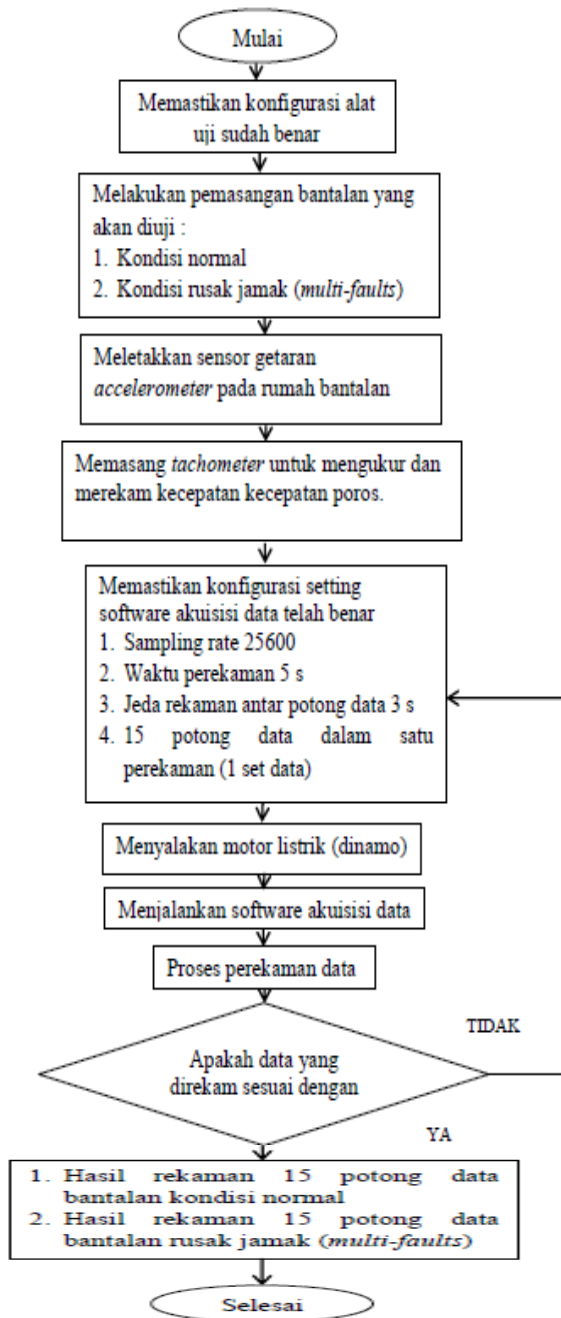
2.3 Struktur Data

Dalam penelitian ini, data yang diperoleh sebanyak 15 potong data setiap satu kali perekaman (1 set data). Setiap satu potong data direkam dengan durasi waktu 5 detik antara satu potong data dengan potongan data yang lain.

Dalam penelitian ini ada 2 kondisi perekaman yaitu kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan cacat dan setiap kondisi menggunakan tenaga angin di wilayah pantai selatan. Data inilah yang akan digunakan untuk mengidentifikasi cacat pada bantalan, untuk lebih jelasnya skema struktur data dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Skema Struktur Data



Gambar 4. Diagram Alir Pengambilan Data

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola pada kincir angin dengan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak. Rusak bantalan dibuat secara rusak jamak (*multi-faults*) dimana rusak terjadi pada 2 bagian yaitu rusak lintasan luar (*outer race*) dan rusak lintasan dalam (*inner race*). Adapun dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Dimensi Bantalan Bola

Komponen Bantalan	Dimensi
Diameter Luar (D)	80 mm
Diameter Dalam (d)	40 mm
Diameter Bola (Bd)	8,75 mm
Diameter Pitch (pd)	59,8 mm
Jumlah Bola (N)	34
Sudut Kontak ( $\alpha$ )	0°

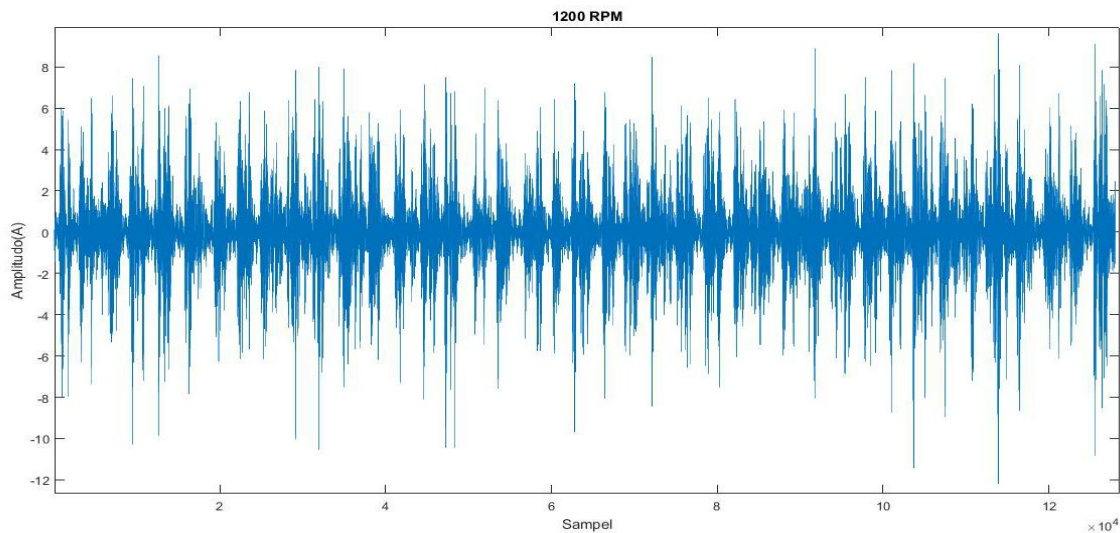
Tabel 1 digunakan untuk mencari frekuensi cacat bantalan lintasan luar atau disebut BPF0 (*Ball Pass Frequency Outer Race*) dan cacat lintasan dalam atau disebut BPF1 (*Ball Pass Frequency Inner race*). Proses pengolahan data dilakukan pada kecepatan poros kincir angin yaitu 1200 rpm.

#### 3.1 Sinyal Getaran Pada Kondisi Normal

Sinyal getaran yang didapat dari hasil pengukuran getaran pada bantalan bola kincir angin kondisi normal ditampilkan dalam 3 bentuk plot grafik yaitu domain waktu, domain frekuensi (spektrum frekuensi) dan spektrum *envelope*. Plot grafik yang ditampilkan ini adalah hasil pengujian bantalan bola pada kondisi normal dengan kecepatan poros kincir angin 1200 rpm dengan *sampling rate* 25600 Hz.

##### 3.1.1 Hasil Plot Domain Waktu

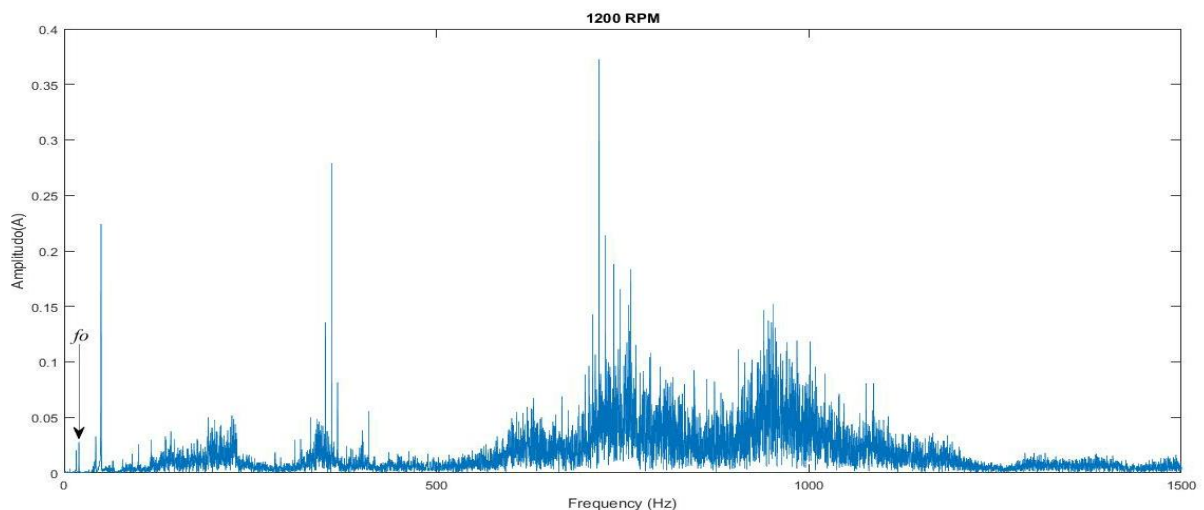
Domain waktu merupakan data mentah yang diperoleh dari akuisisi data getaran menggunakan sensor *accelerometer*. Hasil grafik domain waktu pada pengujian bantalan normal dapat dilihat pada Gambar 5. dengan putaran 1200 rpm.



Gambar 5. Grafik Domain Waktu Kondisi Bantalan Normal

### 3.1.2 Hasil Plot Domain Frekuensi (Spektrum Frekuensi)

Berikut ini adalah bentuk plot domain frekuensi normal, dengan kecepatan poros seperti pada (spektrum frekuensi) pada pengujian bantalan gambar 5.

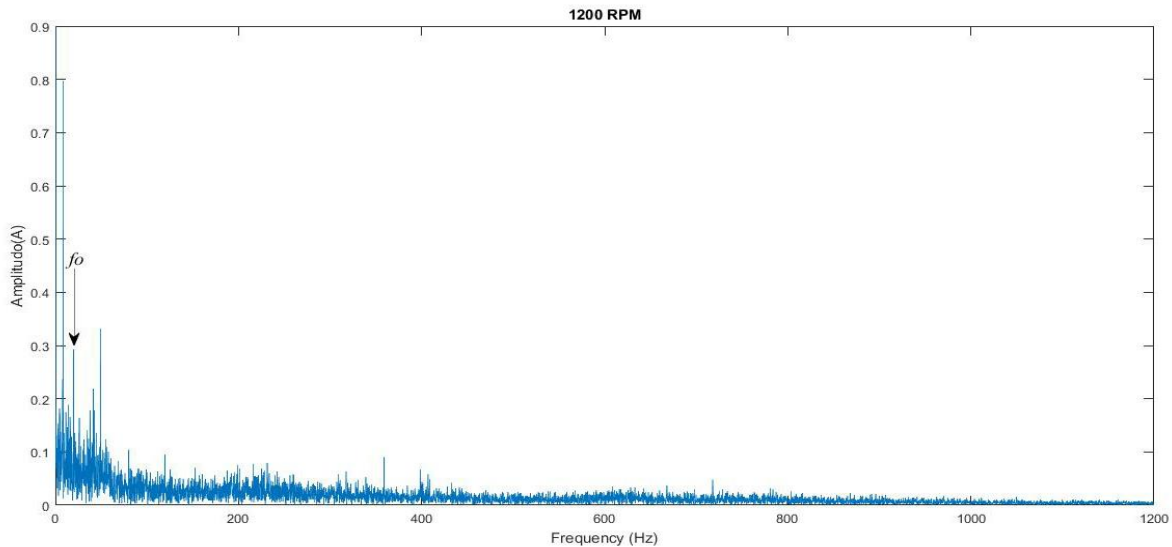


Gambar 6. Grafik Domain Frekuensi (Spektrum Frekuensi) Kondisi Bantalan Normal.

Pada Gambar 6 grafik domain frekuensi (spektrum 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.

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

Berikut ini adalah bentuk plot spektrum envelope (*envelope analysis*) pada pengujian bantalan normal, dengan kecepatan poros seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Analisis *Envelope (Envelope Analysis)* Kondisi Bantalan Normal (File Data Set12, Data #10).

Grafik spektrum *envelope* bantalan Normal pada Gambar 4.3 tidak memunculkan frekuensi rusak

bantalan. Hanya muncul amplitudo dari frekuensi putar poros ( $f_o$ )

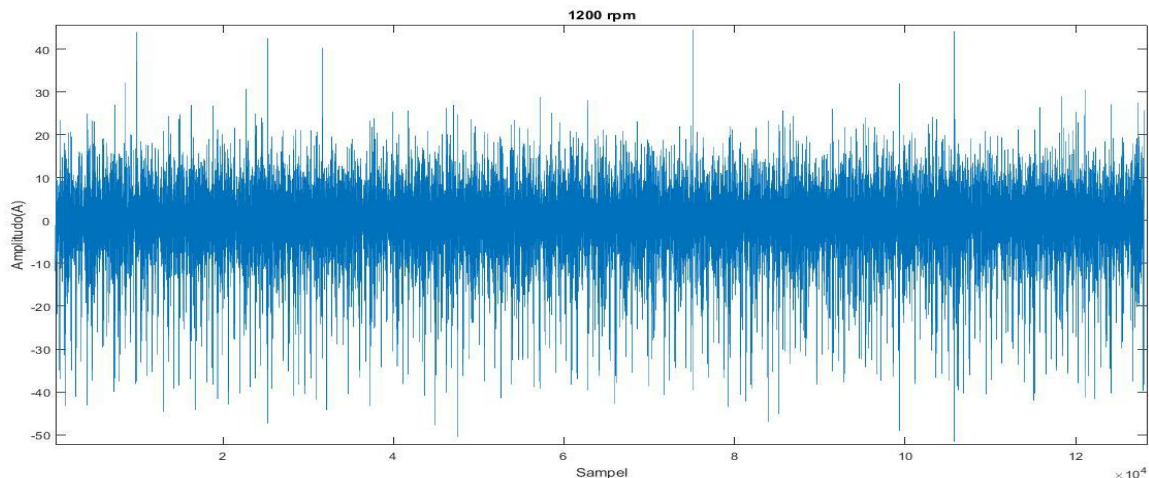
### 3.2 Sinyal Getaran Pada Kondisi Rusak Jamak (*Multi-Faults*)

Hasil pengukuran sinyal getaran dari rusak bantalan secara rusak jamak (*multi-faults*) ditampilkan dalam 3 bentuk plot yaitu domain waktu, domain frekuensi (spektrum frekuensi) dan spektrum *envelope*. Plot grafik yang ditampilkan ini adalah hasil pengujian bantalan bola pada kondisi

normal dengan kecepatan poros kincir angin 1200 rpm dengan *sampling rate* 25600 Hz.

#### 3.2.1 Hasil Plot Domain Waktu

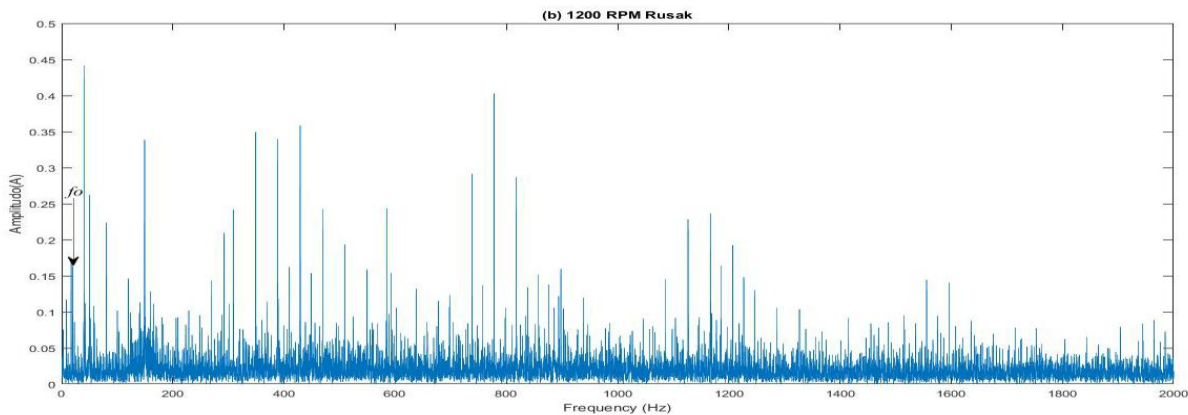
Hasil plot grafik domain waktu pada pengujian rusak jamak pada bantalan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Domain Waktu Rusak Jamak (*Multi-Faults*) Pada Bantalan.

### 3.2.2 Hasil Plot Domain Frekuensi (Spektrum Frekuensi)

Hasil plot grafik domain frekuensi pada pengujian rusak jamak pada bantalan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Domain Frekuensi (Spektrum Frekuensi) Rusak Jamak (Multi-Faults) Pada Bantalan.

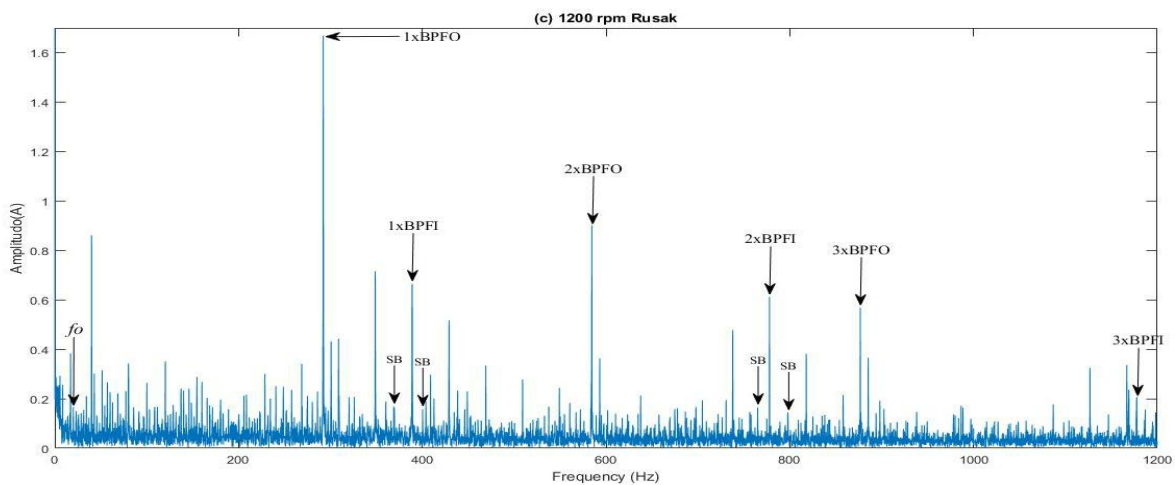
Pada Gambar 9 grafik domain frekuensi rusak jamak (*multi-faults*) pada bantalan menunjukkan adanya indikasi cacat. Akan tetapi, amplitudo

frekuensi rusak bantalan masih tertutupi oleh frekuensi dari komponen di sekitar bantalan.

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

Hasil spektrum *envelope* rusak jamak (*multi-faults*) bantalan dapat dilihat pada Gambar 10 dengan putaran 1200 rpm. Spektrum *envelope* semakin memperjelas adanya rusak jamak (*multi-faults*) pada bantalan. Salah satu cacat yang terlihat dari plot tersebut adalah cacat lintasan

dalam pada bantalan. Plot spektrum *envelope* pada putaran tersebut muncul *side band*, dimana *side band* merupakan karakteristik dari cacat lintasan dalam (BPFI) pada bantalan.



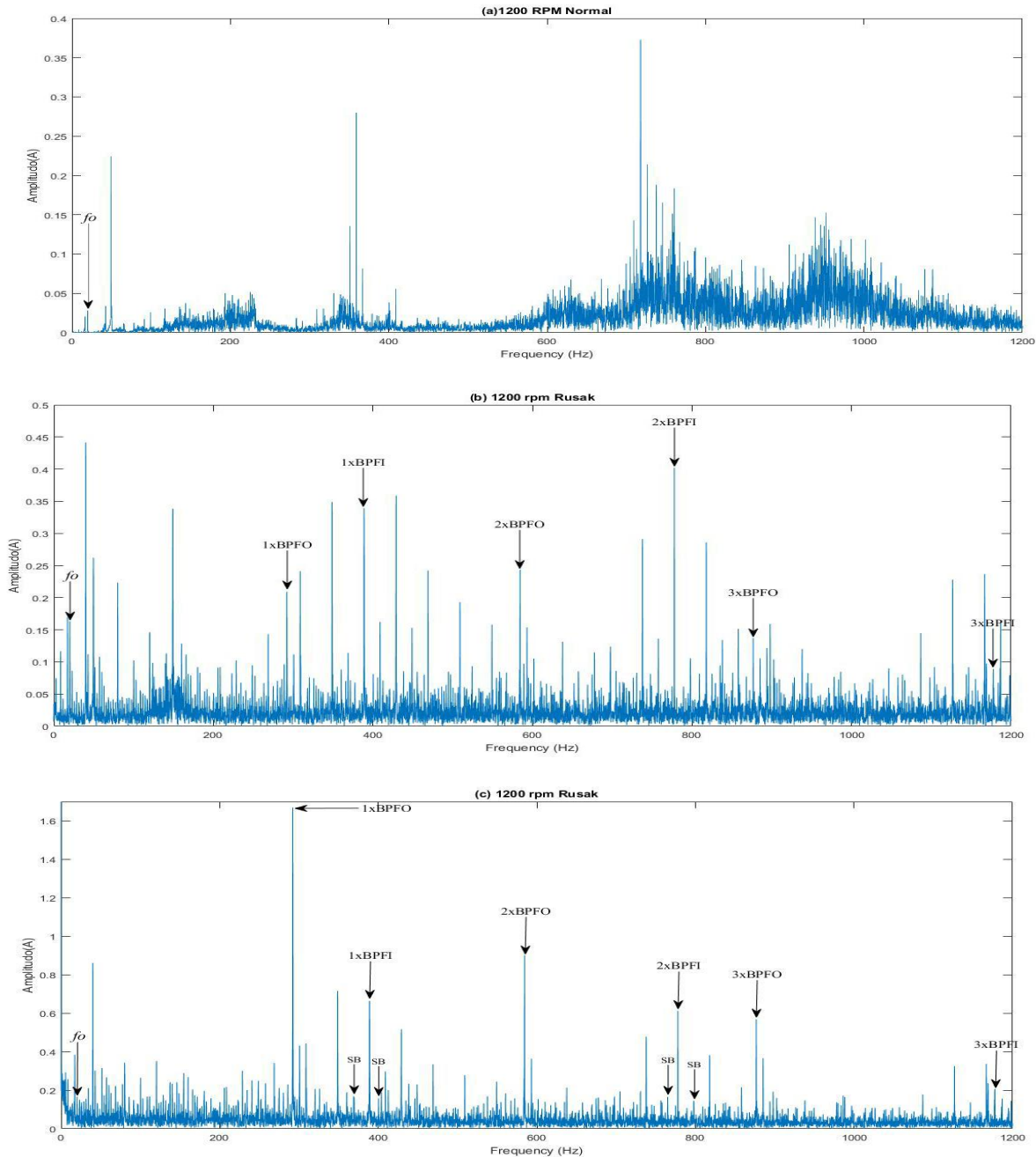
Gambar 10. Grafik Analisis Envelope (*Envelope Analysis*) Rusak Jamak (*Multi-Faults*) Pada Bantalan (File Data Set12, Data #10)



### 3.3 Hasil Plot Pada Kecepatan Poros 1200 RPM

Gambar 11. (a) merupakan hasil plot domain frekuensi bantalan normal, sedangkan (b) merupakan hasil plot domain frekuensi dari bantalan kondisi rusak jamak (*multi-faults*) dan (c)

merupakan spektrum *envelope* dari bantalan kondisi rusak jamak (*multi-faults*) yaitu cacat lintasan dalam dan cacat lintasan luar pada kecepatan poros 1200 rpm.



Gambar 11. Plot Kondisi Bantalan pada Kecepatan 1200 RPM, (a) Plot Domain Frekuensi Kondisi Normal, (b) Plot Domain Frekuensi rusak jamak (*multi-faults*), dan (c) Spektrum *Envelope* rusak jamak (File Data Set12, Data #10)

Pada Gambar (a), hasil plot domain frekuensi bantalan normal tidak menunjukkan adanya indikasi frekuensi rusak pada bantalan. Hasil plot juga menunjukkan 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 pada Gambar (b), menunjukkan adanya frekuensi rusak bantalan lintasan luar pada harmonik ke 1, 2, dan 3. Plot juga menunjukkan adanya frekuensi cacat lintasan dalam pada harmonik ke 1, 2, dan 3. Akan tetapi, frekuensi yang muncul masih memiliki nilai amplitudo yang tidak terlihat jelas dan masih berhimpit dengan frekuensi dari komponen lain yang tidak diketahui. Sehingga masih sulit untuk mengetahui apakah muncul frekuensi pada rusak bantalan atau tidak. Sedangkan, hasil dari analisis *envelope* pada Gambar (c) terlihat berbeda, dimana muncul frekuensi yang sangat jelas sehingga mengindikasikan muncul frekuensi rusak pada bantalan.

Plot hasil analisis *envelope* seperti pada Gambar (c), menunjukkan adanya frekuensi rusak jamak (*multi-faults*) yaitu cacat lintasan luar dan lintasan dalam pada bantalan. Terdapat frekuensi dari rusak bantalan lintasan luar pada harmonik ke 1, 2, dan 3, sama halnya dengan frekuensi rusak bantalan lintasan dalam memunculkan frekuensi pada harmonik ke 1, 2, dan 3. Dengan menggunakan rumus BPFO didapatkan frekuensi cacat lintasan dalam 1xBPFO yaitu sebesar 291.99 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 292.2 Hz dengan nilai amplitudo 1,669. Pada hasil perhitungan 2xBPFO didapat frekuensi sebesar 584.4 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 584.6 Hz dengan nilai amplitudo 0,9007. Pada hasil perhitungan 3xBPFO didapat frekuensi sebesar 876,6 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 876,8 Hz dengan nilai amplitudo 0,568. Perbedaan selisih yang terjadi antara perhitungan/teoritik dengan hasil pengukuran pada plot grafik bisa disebabkan karena unbalance pada poros, sehingga pada saat poros berputar maka putarannya tidak konstan. Faktor lain yang bisa terjadi adalah pemasangan bantalan pada rumah bantalan yang kurang sejajar, sehingga pada saat poros berputar, posisi bantalan yang ikut berputar menjadi sedikit miring. Pada hasil perhitungan frekuensi rusak lintasan dalam (BPFI) didapatkan frekuensi cacat pada 1xBPFI

yaitu sebesar 392.08 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 388.9 Hz dengan nilai amplitudo 0,664. Pada hasil perhitungan 2xBPFI didapat frekuensi sebesar 784,16 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 777.9 Hz dengan nilai amplitudo 0,612. Pada hasil perhitungan 3xBPFI didapat frekuensi sebesar 1176.24 Hz, sedangkan hasil dari pengamatan pada plot didapat frekuensi sebesar 1178 Hz dengan nilai amplitudo 0,198.

Hasil plot spektrum *envelope* pada Gambar (c) muncul *side bands* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat lintasan dalam pada bantalan. *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. *Side bands* Terlihat jelas pada 1xBPFI dan 2xBPFI yang mana ini merupakan ciri khas dari BPFI.

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan hasil analisis metode rusak pada bantalan yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada spektrum frekuensi, amplitudo tinggi yang terdapat pada rusak bantalan dapat terlihat yang di ikuti dengan 2x sampai 3x harmoniknya, namun amplitudo pada rusak bantalan tersebut seringkali tertutupi oleh amplitudo tinggi lainnya yang berasal dari frekuensi komponen lain.
2. Pada spektrum envelope, amplitudo tinggi pada rusak bantalan dapat terlihat lebih jelas yang mana harmonik yang ada pada spektrum envelope juga mencapai 2x sampai 3x harmonik. Namun, pada spektrum envelope disini tetap terdapat amplitudo tinggi yang disebabkan adanya getaran (*noise*) yang besar dan poros pada kincir angin kurang unbalance.

3. Perbandingan spectrum frekuensi dengan hasil spektrum envelope rusak jamak bantalan adalah spektrum envelope mampu menghilangkan atau memfilter amplitudo yang bukan berasal dari rusak jamak bantalan. Sehingga akan terlihat jelas amplitudo dari frekuensi rusak bantalan jamak yang mana pada spektrum frekuensi, amplitudo yang tinggi masih sering tertutup oleh frekuensi komponen lain yang berada disekitar bantalan

Mendeteksi Kerusakan Lintasan Dalam Bantalan

Bola Tipe Double Row". Yogyakarta: Skripsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Tiwari, A., & Jatola, R. (2013). Fault Detection in Bearing Using Envelope Analysis. *PARIPEX-Indian Journal of Research*, 75-78.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

Daryanto, Y. (2007). Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. *Blueprint*, (April).

Habibie, M. N., Sasmito, A., & Kurniawan, R. (2011). Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku. *Jakarta, Puslitbang BMKG*, (2), 181–187.

Karwono. 2008. Pengaruh Perubahan Overlap Sudu terhadap Torsi yang Dihasilkan Turbin Savonius Tipe U.

Susilo, D.D. (2009). "Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran." *Jurnal Penelitian Mekanika Vol-8 No.1* hal. 130-134.

Suhardjono. (2004). Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing). *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 39–48.

Setiyadi, M dan Raharjo, Parno. (2016). Karakteristik Getaran Pada Bantalan Bola Menyelarar Sendiri Karena Kerusakan Sangkar. Bandung: Skripsi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung.

Wahyudi, T., Noor, E dan Soeharsono. (2016). "Mendeteksi Kerusakan BAntalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi". *Jurnal Penelitian Sinergi Vol-20 No.2*.

Patidar, S., & Soni, P. K. (2013). An Overview on Vibration Analysis Techniques for the Diagnosis of Rolling Element Bearing Faults. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(May), 1804–1809.

Susanto, Dwi. (2017). "Analisis Envelope Untuk

**Program Studi Teknik Mesin**

**Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)**

Judul TA : Identifikasi Mode Rusak Jamak (*Multi-Faults*) Bantalan Menggunakan Analisis *Envelope* Pada Turbin Angin *Horizontal Axis*

Judul Naskah Publikasi : Identifikasi Mode Rusak Jamak (*Multi-Faults*) Bantalan Menggunakan Analisis *Envelope* Pada Turbin Angin *Horizontal Axis*

Nama Mahasiswa: Chusnufam Firliandika

NIM : 20130130245


Pembimbing 1: Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng., Ph.D

Pembimbing 2: Novi Caroko, S.T., M.Eng

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

- |                                                                 |                                                      |                                |                                |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> ..... | <input type="checkbox"/> ..... |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris   | <input type="checkbox"/> .....                       | <input type="checkbox"/> ..... | <input type="checkbox"/> ..... |


\*beri tanda  $\checkmark$  di kotak yang sesuai

  
Tanda Tangan  
Chusnufam Firliandika


26 September 2018  
Tanggal

**Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi**

Disetujui

  
Tanda Tangan  
Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

26 September 2018  
Tanggal

  
Tanda Tangan  
Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

26 September 2018  
Tanggal

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.