

# Program Studi Teknik Mesin

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

Judul TA: Pengembangan Metode Deteksi Dini Cacat Bantalan Tipe *Double Row* Berbasis Analisis *Envelope* Pada Prototipe Fan Industri

Judul Naskah Publikasi: Pengembangan Metode Deteksi Dini Cacat Bantalan Tipe *Double Row* Berbasis Analisis *Envelope* Pada Prototipe Fan Industri

Nama Mahasiswa: Adib Muhammad Nuh

NIM: 20140130117

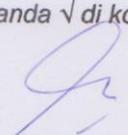
Pembimbing 1: Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc, Ph.D.

Pembimbing 2: Drs. Sudarisman, M.S. Mechs., Ph.D.

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"/> ..... |

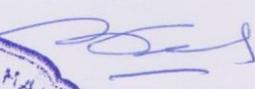
\*beri tanda √ di kotak yang sesuai

  
Adib Muhammad Nuh

Tanggal, 6 September 2018

### Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

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

Tanggal, 6 September 2018

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

Tanggal, 6 September 2018

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

## PENGEMBANGAN METODE DETEKSI DINI CACAT BANTALAN TIPE *DOUBLE ROW* BERBASIS ANALISIS *ENVELOPE* PADA PROTOTYPE FAN INDUSTRI

(Development Of Methods Of Early Detection Of Defective Bearings Double Row Type-Based Analysis Of Envelope On A Prototype Fan Industry)

ADIB MUHAMMAD NUH, BERLI P. KAMIEL, SUDARISMAN

### ABSTRACT

*Fan often we encounter anywhere, one of them in the industry. Fan in the industry typically used to cool the machine is operating. If the fan is used on an ongoing basis then it can cause damage to the components. One of the components that often are damaged i.e. bearing. One way to monitor a condition of bearing vibration-based method. Envelope is one method of vibration-based. Envelope method capable of extracting impact impact with low frequency even hidden by other vibrational signals. This research aims to know the trajectory of the ball bearing outer defect and path in the use of the frequency spectrum and the spectrum envelope. This research was conducted by recording vibration signal on ball bearings normal conditions, disabilities, and disability in the trajectory path of the outside using an accelerometer is done separately. The data obtained are then processed on matlab software and plotted on a time-domain and then transformed to the frequency spectrum and the spectral envelope using FFT (Fast Fourier Transform). The results of the data processing are then identified defects in bearings using formulas Ball Pas Frequency Outer Race (BPFO) and Ball Pas Frequency Inner Race (BPFI) to find out the frequency of defects in bearings. The results showed a high amplitude vibration spectrum at frequencies beyond the path of disability (BPFO) followed by 4 harmonic. While the spectrum of vibrations at the frequency of defects in the pathway (BPFI) shows high amplitudes with 5 harmonic. Where is the flaw in the trajectory it produces pads amplitude modulation wave, amplitude modulation wave in the spectrum is characterized by the presence of side band (sb). Advantages of envelope that is able to filter out the complicated signals so that the frequency of component damage can be identified.*

**Keywords:** *Fan, bearing, vibrations, spectrum frequency, spectrum envelope.*

### PENDAHULUAN

*Fan* sering kita jumpai dimana saja, contohnya seperti di rumah, di kantor, dan di industri. *Fan* di industri biasanya digunakan untuk mendinginkan mesin saat sedang beroperasi. Apabila fan mengalami cacat pada komponennya dapat menyebabkan berhenti beroperasinya suatu mesin dan menimbulkan kerugian bagi industri tersebut. Komponen dari fan yang biasanya mengalami cacat adalah bantalan. Oleh karena itu, monitoring pada komponen bantalan perlu dilakukan sedini mungkin supaya kerusakan yang timbul pada bantalan tersebut dapat diketahui lebih awal, karena dengan mengetahui cacat bantalan lebih awal maka dapat menghindari kerusakan lebih lanjut pada mesin tersebut yang bisa berakibat pada kerusakan yang lebih besar. Salah satu metode untuk memonitor suatu kondisi bantalan yaitu dengan cara menggunakan

metode yang berbasis getaran (Widodo dkk, 2013)

Metode yang berbasis getaran tersebut contohnya seperti domain waktu, dan domain frekuensi (*spectrum*). Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan metode spektrum tidak dapat mendeteksi secara jelas amplitudo frekuensi cacat pada bantalan (Kamiel dkk, 2017). Kondisi tersebut terjadi jika cacat pada bantalan masih dalam kondisi sangat awal. Pada kondisi tersebut amplitudo pada bantalan masih kecil, sehingga amplitudo yang kecil tidak terlihat karena tertutup oleh frekuensi yang lain (*noise*). Salah satu metode yang sensitif untuk mengetahui kondisi cacat pada bantalan dengan menghilangkan *noise* tersebut yaitu menggunakan metode *envelope*.

Metode *envelope* merupakan suatu teknik yang menghasilkan sinyal modulasi dari sebuah amplitudo sinyal. Metode ini tidak hanya digunakan pada bantalan bola tetapi juga sering digunakan untuk mendeteksi cacat pada bagian roda gigi, dan turbin motor

induksi (Maladzi dkk, 2017). Metode ini adalah teknik yang menghasilkan dampak periodik termodulasi dari cacat bantalan bola. Proses tersebut dapat menghilangkan suatu amplitudo yang tinggi di frekuensi rendah akibat tertutupnya frekuensi-frekuensi dari komponen lain yang sedang tidak dimonitor. (Kamiel dkk, 2017)

Li dkk (2013) telah melakukan penelitian tentang cacat blade pada kompresor sentrifugal menggunakan sinyal getaran. Analisis getaran yang dilakukan pada penelitian tersebut menggunakan analisis envelope. Analisis envelope juga terbukti berhasil mendeteksi cacat pada komponen lain seperti bantalan, hal itu dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan (Kamiel dkk, 2017). Penelitian lain yang dilakukan oleh (Ma dkk, 2015) juga menunjukkan bahwa analisis envelope berhasil mendeteksi cacat pada bantalan bola dengan hasil yang efektif dan baik.

Penelitian - penelitian sebelumnya menunjukkan bahawa analisis envelope mampu mendeteksi cacat bantalan pada berbagai jenis mesin rotari. Namun demikian penerapan analisis envelope untuk mendeteksi cacat bantalan pada fan industri belum pernah / jarang dilakukan. Demikian pula deteksi cacat pada bantalan pada level ini lebih sedikit diteliti oleh peneliti yang lain. Metode analisis envelope dikenal sebagai metode yang mampu mendeteksi cacat ini pada bantalan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode deteksi cacat ini bantalan pada fan industri menggunakan analisis envelope. Objek yang dilakukan pada penelitian ini adalah bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* pada kondisi normal dan kondisi cacat. Untuk kondisi cacat pada dua buah bantalan bola yang berturut-turut dilakukan yaitu dengan merusak bagian lintasan luar dan lintasan dalam.

#### LANDASAN TEORI

*Fan* (kipas) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menghasilkan aliran fluida yang berupa udara. *Fan* banyak digunakan dimana saja contohnya seperti di rumah, tempat umum, industri dan di otomotif. *Fan* di industri banyak digunakan untuk pendingin ruangan dan sebagai pendingin mesin yang sedang beroperasi. *Fan* biasanya terdiri dari beberapa komponen yaitu, *blade* (bilah), casing, motor listrik, bantalan,

dan poros. Apabila *fan* digunakan terus menerus tanpa henti akan menyebabkan komponen dari *fan* panas dan aus. Oleh karena itu *fan* harus dirawat dengan baik agar komponennya tidak terjadi cacat atau rusak yang parah.

#### 1. *Fan Aksial (Kipas Aksial)*

*Fan aksial* adalah jenis *fan* yang menggerakkan aliran udaranya sepanjang arah sumbu fan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Cara kerja jenis *fan aksial* ini seperti impeler pada pesawat terbang. *Blade* (bilah) pada *fan* menghasilkan daya angkat aerodinamis yang dapat menekan aliran udara. *Fan* jenis ini sering digunakan di industri karena bentuknya yang kompak, harganya murah, dan ringan.



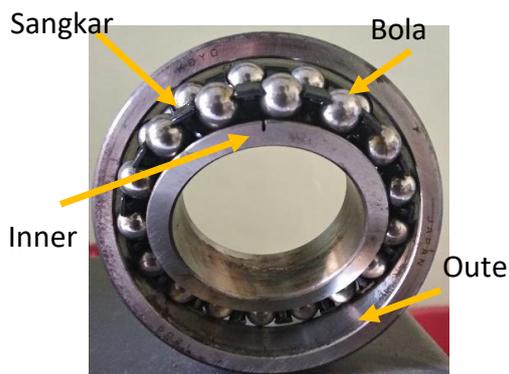
**Gambar 1** Kipas Aksial

*Fan aksial* sering digunakan dalam aplikasi pembuangan dengan ukuran partikel udara yang kecil contohnya seperti debu, asap, dan uap. *Fan aksial* juga juga berguna dalam aplikasi ventilasi yang membutuhkan kemampuan untuk menghasilkan aliran udara balik. Walaupun fan ini biasanya dirancang untuk menghasilkan aliran dalam satu arah, *fan* ini juga dapat beroperasi dalam arah berlawanan. Karakteristik tersebut berguna ketika ruang mungkin memerlukan udara segar yang harus disediakan (Benson, 2013).

#### BANTALAN BOLA JENIS SELF ALIGNING DOUBLE ROW

Bantalan bola adalah bantalan yang banyak menerima beban radial yang besar juga dapat menerima beban aksial yang kecil. Berbeda dengan bantalan rol, dimana pada umumnya hanya mampu menerima beban

radial. Bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* mempunyai dua baris yang masing-masing barisnya mempunyai alur tersendiri pada bagian lintasan dalamnya. Pada umumnya terdapat alur bola pada lintasan luarnya. Lintasan bagian dalamnya mampu bergerak sendiri untuk menyesuaikan posisinya. Kelebihan dari bantalan jenis ini terdiri dari beberapa beberapa bagian komponen elemen didalamnya yaitu: bola (ball), sangkar (cage), lintasan dalam (inner), dan lintasan luar (outer).



**Gambar 2** Bantalan Bola Jenis *Self Aligning Double Row*

### 1. Jenis Cacat pada Bantalan Bola

Cacat pada bantalan merupakan hal yang sering terjadi dalam dunia pemesinan. Untuk itu perlu untuk dilakukan penanganan yang lebih terkait hal ini. Para peneliti sudah melakukan klasifikasi kerusakan bantalan bola dengan definisi menggunakan rumus-rumus getaran, sehingga mempermudah analisis untuk menemukan kerusakan pada elemen mesin secara detail. Dengan adanya metode yang handal dalam menganalisis getaran, maka akan mengurangi kontak manusia dengan mesin secara langsung, sehingga tingkat keselamatan dalam proses perawatan akan menjadi lebih terjaga dengan baik. Keuntungan lainnya yang dihasilkan dari metode baru ialah, semakin menghindari ketidakakuratan hasil pengamatan yang disebabkan oleh panca indra yang minim dalam membedakan getaran yang bervariasi serta memiliki kecepatan yang tinggi. Cacat yang terdapat pada komponen bantalan tersebut dapat didefinisikan menggunakan rumus getaran, yang akan dijelaskan sebagai berikut:

#### A. Cacat lokal yang terjadi pada bagian lintasan luar.

Informasi terkait cacat yang terjadi pada lintasan luar, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi impuls yang disebut dengan *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), dimana dinyatakan sebagai berikut:

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \times f_r \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots (1)$$

Dimana:

Nb = Jumlah bola (*Number of ball*).

Fr = Frekuensi relatif antara lintasan luar dan lintasan dalam (Hz).

Bd = Diameter bola (*Ball diameter*) mm.

Pd = Diameter pitch (*Pitch diameter*) mm.

$\alpha$  = Sudut kontak (*contact angle*) derajat.

#### B. Cacat lokal yang terjadi pada bagian lintasan dalam.

Informasi yang berhubungan dengan cacat yang terjadi pada lintasan dalam, dimunculkan dengan adanya frekuensi eksitasi impuls yang disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \times f_r \times \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots (2)$$

#### C. Cacat lokal yang terjadi pada bagian bola.

Jika terdapat kerusakan pada bola, maka kemunculan frekuensi impuls yang terjadi dinamakan *Ball Spin Frequency* (BSF). Sehingga persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$BSF = \frac{Nb}{2bd} \times f_r \times \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right)^2\right) \dots (3)$$

#### D. Cacat lokal yang terjadi pada bagian sangkar (Cage).

Cacat yang muncul pada sangkar (Cage), munculnya dengan adanya frekuensi yang disebut dengan *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

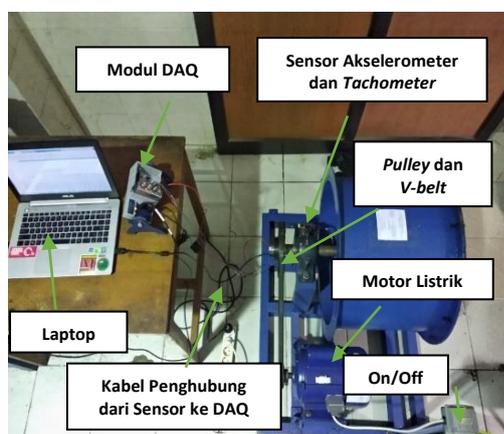
$$FTF = \frac{f_r}{2} \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots (4)$$

## METODE PENELITIAN

Deteksi cacat bantalan bola pada fan aksial dilakukan pada sebuah alat uji yang ditunjukkan pada gambar 4, dengan tiga kondisi bantalan bola. Kondisi pertama yaitu bantalan bola normal, kondisi kedua yaitu bantalan bola cacat pada bagian

lintasan luar (*outer race*), dan kondisi ketiga yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam (*inner race*). Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak bagian lintasan luar dan lintasan dalam menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) dengan kedalaman 2 mm dan lebar 0,7 mm pada kedua bagian cacat bantalan bola tersebut. Bantalan bola yang digunakan untuk penelitian ini adalah bantalan bola jenis *self aligning double row* merk koyo 1209K. Sebuah akselerometer diletakkan di atas rumah bantalan sedangkan *tachometer* diletakkan di samping rumah bantalan. Akselerometer terhubung dengan kanal 1 pada modul DAQ sedangkan *tachometer* terhubung dengan kanal 4. Pada penelitian ini akselerometer digunakan untuk merekam sinyal getaran sedangkan *tachometer* digunakan untuk mengetahui kecepatan putar poros.

### Skema Alat Uji Penelitian



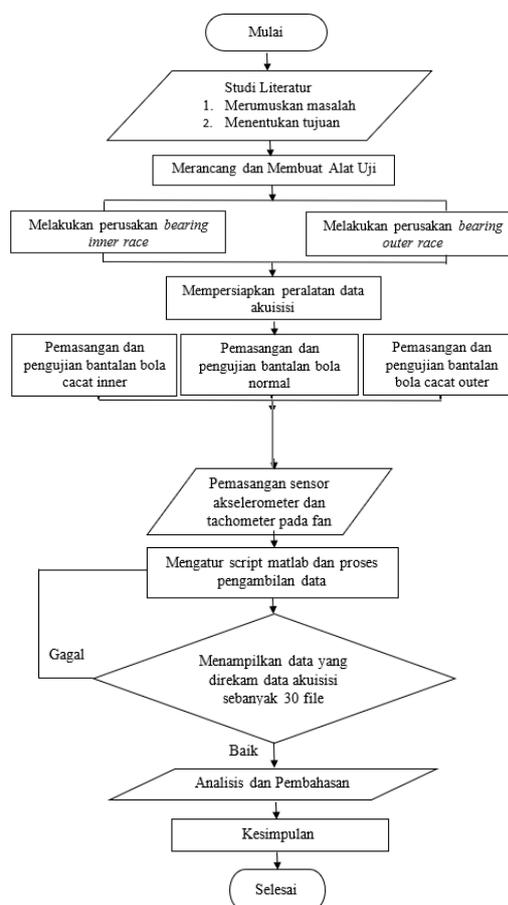
**Gambar 3** Alat Uji Bantalan Cacat pada *Fan* Aksial

### Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa tahapan dan persiapan yang perlu dilakukan yaitu pengecekan pada peralatan dan perlengkapan alat uji. Hal tersebut dapat membantu kelancaran dalam proses pelaksanaan penelitian dan menghindari dari hal-hal yang tidak diinginkan seperti terjadinya kecelakaan kerja saat proses pengambilan data atau kurangnya peralatan uji yang akan digunakan. Persiapan dan tahapan pengujian yang perlu dilakukan sebelum penelitian adalah sebagai berikut:

1. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti motor listrik, *test rig*, dan fan aksial.
2. Melakukan persiapan perlengkapan seperti kunci ring pas, dan *tachometer*.
3. Melakukan persiapan tiga sample bantalan bola yang akan diuji secara bergantian pada *fan* aksial.

4. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti peralatan DAQ, laptop sudah menyala, software matlab R2016a sudah load dan script sudah benar, dan software NI Cdaq-9174 sudah load.
5. Memastikan pengaturan parameter akuisisi data sudah dilakukan dengan benar.
6. Memastikan bantalan bola yang akan diuji pada fan aksial dengan benar.
7. Pemasangan motor listrik dan *fan* ke *test rig* bersamaan dengan pemasangan *pulley* dan *belt* pada motor listrik dan *fan* aksial.
8. Pemasangan *tachometer* telah terpasang pada fan aksial dengan benar.
9. Memastikan data akuisisi telah siap digunakan.
10. Melakukan pemeriksaan dan pengecekan konstruksi pada alat uji agar tidak terdapat kesalahan sebelum proses pengambilan data.
11. Memastikan keamanan (*safety*) agar saat proses pengambilan data tidak ada yang mengalami kecelakaan kerja.

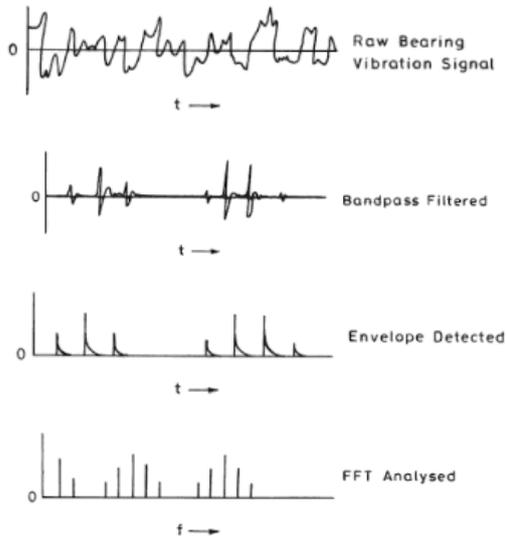


**Gambar 4** Diagram Alir

### METODE YANG DIGUNAKAN

Analisa envelope merupakan teknik yang terkenal untuk mengekstrak dampak

periodik dari sinyal getaran mesin. Metode ini mampu mengekstrak dampak dengan frekuensi rendah dan yang tersembunyi dari sinyal getaran lainnya. Oleh karena itu metode ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan metode lain. Berikut adalah skema dari envelope:



**Gambar 5** Skema Envelope

Metode ini juga khusus digunakan pada analisis cacat pada bantalan dan *gearboxes*. Metode ini fokus pada wilayah spektrum yang memiliki frekuensi tinggi, dengan filter yang digunakan yaitu *high pass filter* atau *band pass filter* (Scheffer dan Girdhar, 2004). Band pass filter hanya menyaring frekuensi tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah, dan juga menghilangkan amplitudo rendah terlebih dahulu. Hal ini bertujuan agar dalam pembacaan sinyal data frekuensi dapat terlihat lebih jelas. Karena pada umumnya data frekuensi yang tidak dilakukan proses penyaringan dan filtrasi, menunjukkan hasil spektrum yang rumit dan menumpuk untuk diamati dimana hal ini akan mempersulit proses analisa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal getaran diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola pada prototipe *fan* industri dengan tiga kondisi bantalan yaitu kondisi normal, cacat lintasan luar dan cacat lintasan dalam. Dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* merek Koyo 1209K yang digunakan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Dimensi Bantalan Bola

Diameter luar	85 mm
Diameter dalam	45 mm
Diameter bola	9,45 mm
Diameter pitch	65 mm
Jumlah bola	32 butir

Sudut kontak ( $\alpha$ )	$0^\circ$
---------------------------	-----------

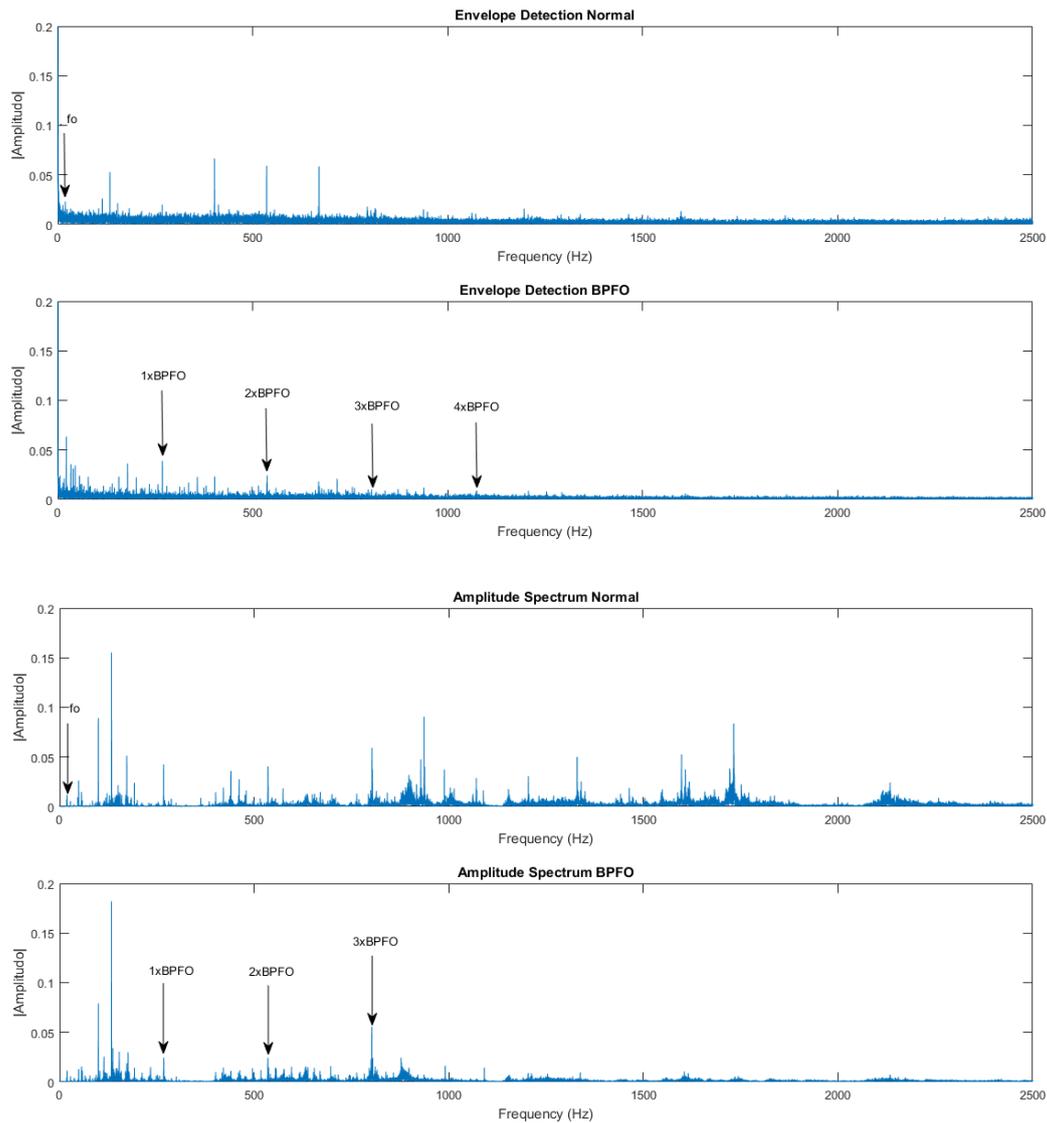
## CACAT BANTALAN LINTASAN LUAR

Gambar 7 merupakan hasil plot dari domain frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan cacat pada bagian lintasan luar munculnya amplitudo yang berhimpit dengan frekuensi cacat bantalan pada hasil plot kondisi cacat baik pada spektrum frekuensi maupun spektrum envelope mengindikasikan bahwa terjadinya cacat pada bantalan bola pada prototipe fan industri.

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

Dapat dilihat pada gambar 7 (a) kondisi normal spektrum frekuensi menunjukkan amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi cacat, namun pada kondisi cacat ini menunjukkan adanya puncak amplitudo yang mengindikasikan bahwa adanya frekuensi cacat pada bantalan yang diikuti 3x harmoniknya. Hal tersebut juga terjadi pada spektrum envelopenya. Secara teoritik frekuensi cacat bantalan terlihat hingga diikuti 4x harmoniknya yaitu pada 1x BPFO diperoleh sebesar 268 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 268,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,038. Perhitungan pada 2x BPFO diperoleh sebesar 536 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 437,3 Hz dengan nilai amplitudo 0,024. Pada perhitungan 3xBPFO diperoleh 804 Hz sedangkan hasil pengukuran 804,8 Hz dengan nilai amplitudo 0,010. Perhitungan pada 4xBPFO 1072 Hz sedangkan hasil pengukuran 1075 Hz dengan nilai amplitudo 0,009.

Dari hasil perbandingan antara spektrum frekuensi dengan spektrum envelope, pada spektrum frekuensi cacat bantalan lintasan luar terdapat 3x harmoniknya yang muncul. Dengan menggunakan metode envelope seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 (d) munculnya amplitudo pada frekuensi cacat bantalan terlihat jelas sampai 4xBPFO. Sedangkan pada kondisi normal yang ditunjukkan pada gambar 7 (a) amplitudo yang muncul tidak hanya dari frekuensi poros ( $f_0$ ) *fan* melainkan ada amplitudo dari frekuensi lainnya.



**Gambar 6** (a) Plot Domain Frekuensi Pada Kondisi Bantalan Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Pada Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Luar, (c) Plot Spektrum Envelope Pada Kondisi Bantalan Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Pada Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Luar. (#Data ke-5 File ke-15)

## CACAT BANTALAN LINTASA DALAM

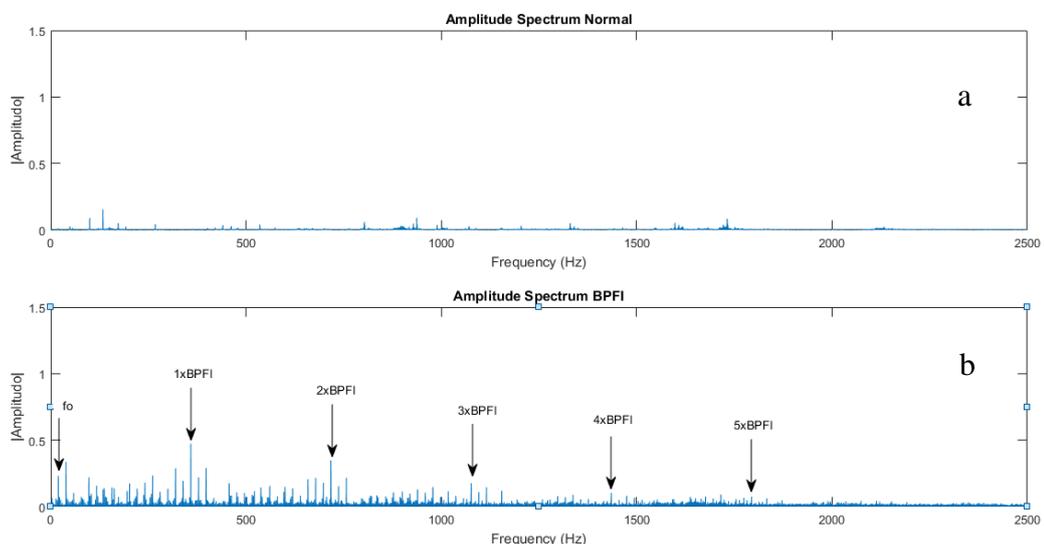
Cacat pada bantalan bola bagian lintasan dalam dapat dilakukan dengan membandingkan hasil secara teoritik dengan hasil pengukuran. Perbandingan ini dilakukan pada hasil plot domain frekuensi dan *spektrum envelope* dengan mencari nilai frekuensi *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) dari hasil perhitungan.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

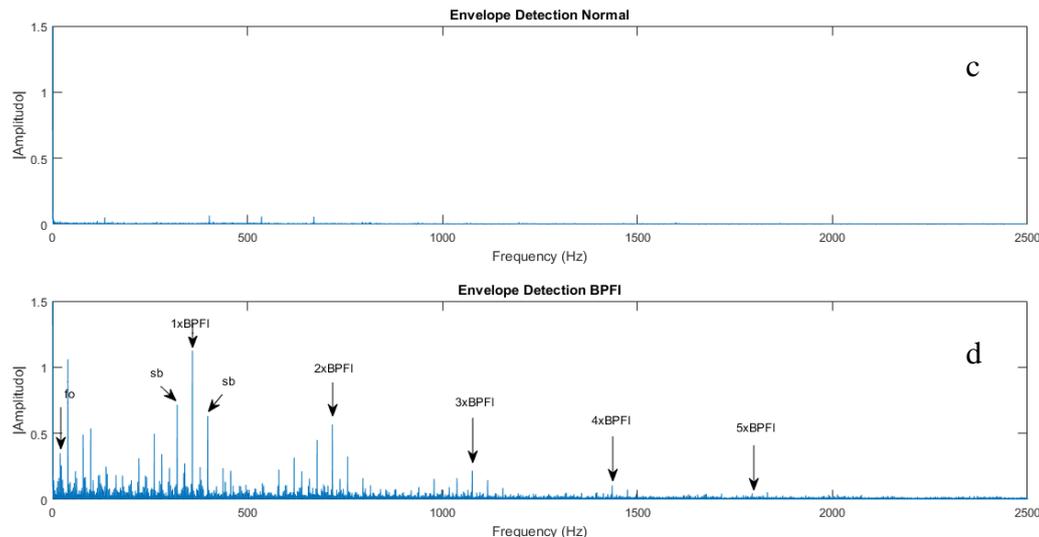
terjadinya cacat pada lintasan dalam.

Gambar 8 adalah hasil dari plot spektrum frekuensi dan spektrum envelope pada kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan cacat lintasan dalam. Untuk mengetahui cacat bantalan pada bagian lintasan dalam dapat dilakukan dengan membandingkan hasil teoritik dengan hasil pengukuran. Frekuensi yang muncul dan mendekati hasil frekuensi dari rumus perhitungan BPFI menunjukkan bahwa terjadinya cacat pada bantalan bola tersebut.

Jika dilihat pada hasil plot spektrum frekuensi kondisi normal seperti pada gambar 8 (a) tidak menunjukkan satupun amplitudo pada frekuensi cacat bantalan bola, sedangkan pada hasil plot spektrum frekuensi pada kondisi cacat bantalan lintasan dalam menunjukkan adanya peningkatan pada frekuensi cacat bantalan lintasan dalam yang diikuti 5x harmoniknya. Gambar 4.11 (d) terlihat semakin jelas peningkatan pada amplitudo frekuensi cacat bantalan lintasan dalam yang diikuti dengan 5x harmoniknya yang muncul. Dengan menggunakan rumus perhitungan BPF<sub>I</sub> frekuensi cacat aktif bantalan pada 1x BPF<sub>I</sub> diperoleh 359,19 Hz sedangkan pada hasil pengukuran yang didapat 358,8 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 1,12. Perhitungan pada 2x BPF<sub>I</sub> diperoleh sebesar 718,38 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 717,6 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,56. Perhitungan pada 3x BPF<sub>I</sub> diperoleh sebesar 1077,57 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 1076 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,21. Perhitungan pada 4x BPF<sub>I</sub> diperoleh sebesar 1436,76 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 1435 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,10. Perhitungan pada 5x BPF<sub>I</sub> diperoleh 1795,95 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat yaitu 1794 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 0,047.

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





**Gambar 7** (a) Plot Spektrum Frekuensi Kondisi Bantalan Normal, (b) Plot Domain Frekuensi Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Dalam, (c) Plot Spektrum Envelope Kondisi Bantalan Normal, (d) Plot Spektrum Envelope Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Dalam. (#Data ke-5 File ke-15)

## KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian analisis cacat (kerusakan) pada bantalan bola, maka dapat ditarik kesimpulan beberapa hal yang menjadi hasil akhir dari penelitian ini sebagai berikut:

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

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Girdhar, P. 2004. *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Burlington: Elsevier.
- Kamiel, B P. 2017. "Deteksi Cacat Bantalan Bola Pada Pompa Sentrifugal menggunakan Spektrum Getaran." *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 20, No. 2*.
- Latuny, J. 2013. *A Sensitivity Comparison of Neuro-fuzzy Feature Extraction Methods from Bearing Failure Signals*. Thesis, Perth: Department of Mechanical Engineering Curtin University.
- Li, H. 2013. "Experimental Investigation on Centrifugal Compressor Blade Crack Classification Using the Squared Envelope Spectrum." *School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, No. 2*.
- Ma, J. 2015. "The Rolling Bearing Fault Feature Extraction Based on the LMD and Envelope Demodulation." *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problem in Engineering Vol 2015*.
- Maladzi, R. 2017. "Analisis Kerusakan Bantalan gelinding dengan variasi kecepatan putar berdasarkan pola getaran menggunakan metoda envelope analysis." *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 5, No.1 35*.
- Setyawan, H P. 2018. "Analisis Karakteristik Vibrasi pada Papaer Dryer Machine untuk

Deteksi Dini Kerusakan Spherical Roller Bearing." *Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu Vol. 20, No. 2* 12-15.

Sukendi. 2015. "Analisa Karakteristik Getaran dan Machine Learning untuk Deteksi Dini Kerusakan Bearing." *Widya Teknika Vol. 23, No. 2* 46-47.

Widodo, A. 2013. "Development of Wireless Smart Sensor for Structure and Machine Monitoring." *TELKOMNIKA, Vol 11, No. 2* 417-424.

---

PENULIS:

Adib Muhammad Nuh

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
Bantul.

Email: [adibmuhammadn@gmail.com](mailto:adibmuhammadn@gmail.com)