

DETEKSI CACAT LINTASAN DALAM BANTALAN BOLA PADA POROS ENKOL (*CRANK SHAFT*) MESIN VESPA MENGGUNAKAN ANALISIS SPEKTRUM ENVELOPE

(*Detection Of Ball Bearing Path Defets On The Crank Shaft Vespa Engine Using Spektrum Envelope*)

ADE TYAS SINGGIH.P , BERLI P. KAMIEL, BAMBANG RIYANTA

ABSTRACT

The motorcycle is widely used by the community one is the VESPA. On a motorbike vespa many rotating parts, such as the crankshaft is resting on the pads. The bearings have a very important role in maintaining the performance of the machine. Defective bearings will have an impact on his descent engine performance. To reduce impacts more severe bearing defects, then the bearing defect detection becomes important done. Vibration analysis is one way that is often used to detect bearing damage. This analysis is relatively easy to use, more effective and can be done at the time of the machine in case of work without having to stop the machine and unload machine parts. This research aims to apply the envelope analysis to detect disability early bearing on the crankshaft vespa engine. This research method using frequency domain analysis and envelope to detect damage in the path of the ball bearings. Research by way of comparing both methods aim to know which method is superior to detect damage ball bearings. The bearings are single row Danmotor brands with different conditions, namely bearings normal, flawed 0.25 mm, 0.50 mm and disability. the third condition Of the bearing will be tested using different variations of velocity i.e. 1500 RPM and 2000 RPM. Vibration detection using the Sensor will be on the accelerometer connected with Data Acquisition Modules run with Matlab software. The research results show the frequency domain is not able to show the frequency of defective bearings on speed 1500 RPM. The frequency of damage to bearings 0.25 mm and 0.50 mm 1xBPFI appear only on the speed of 2000 RPM. While the envelope method capable of bearing defect frequencies shows followed 3xharmonik on both defective bearings and both the speed of the shaft. Envelope method is superior to the frequency domain due to low frequency high amplitude value is eliminated, thus able to detect defective bearings more specifically though still bearing defects early.

Keywords: *envelope method, frequency domain, defects in the pathway, bearing*

PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat terhadap alat transportasi semakin meningkat dari tahun ketahun. Sepeda motor adalah alat transportasi yang banyak digunakan oleh masyarakat dalam menunjang aktifitas sehari hari salah satunya adalah VESPA. Pada sepeda motor vespa banyak bagian-bagian yang berputar terutama di dalam mesin, salah satunya adalah poros engkol (*crank shaft*). Poros engkol tersebut bertumpu pada bantalan (*bearing*), agar dapat berputar pada sumbu poros tanpa mengalami gesekan yang berlebih. Bantalan mempunyai peran yang sangat penting dalam menjaga performa mesin. Rusaknya bantalan akan berakibat fatal pada kinerja mesin seperti menurunnya kinerja mesin, hal tersebut sangat sering terjadi dalam dunia otomotif. Untuk mengurangi dampak cacat bantalan yang lebih parah, maka deteksi dini cacat bantalan menjadi penting dilakukan. Dengan cara memonitor keadaan bantalan untuk mengetahui apakah bantalan tersebut pada kondisi cacat atau keadaan yang masih normal.

Analisis vibrasi merupakan salah satu cara yang sering digunakan untuk mengetahui kerusakan mesin yang berputar dan untuk memeriksa kerusakan bantalan. Analisis ini relatif mudah digunakan, lebih efektif dan dapat dilakukan pada saat mesin dalam keadaan bekerja tanpa harus menghentikan mesin dan membongkar bagian mesin. Dua metode yang banyak digunakan untuk mendeteksi cacat bantalan adalah metode *spektrum frekuensi* dan *analisis envelope*. (suhardjono, 2005)

Analisis *envelope* dianggap paling handal dan banyak digunakan karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan *spektrum frekuensi*. Analisis *envelope* hanya fokus pada frekuensi yang tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah dengan cara di filter menggunakan (*high-pass filter*). Sehingga dengan menghilangkan frekuensi rendah dapat mempermudah dalam melakukan analisis apakah terjadinya kerusakan atau tidak dengan melihat sinyal frekuensi yang tertinggi. Selain itu analisis *envelope* untuk mendeteksi cacat bantalan lintasan dalam pada poros engkol sepeda motor jarang diteliti oleh peneliti sebelumnya. Oleh sebab itu penelitian ini akan dilakukan menggunakan metode

analisis *envelope* untuk mengidentifikasi terjadinya cacat pada bantalan. (Kamiel dkk, 2017)

LANDASAN TEORI

2.1 Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu mesin kalor atau mesin konversi energi yang merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Motor bakar ada dua macam yaitu motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan motor pembakaran luar (*external combustion engine*). Motor pembakaran dalam adalah motor yang sistem pembakarannya terjadi didalam mesin itu sendiri dan hasil pembakarannya diubah menjadi tenaga mekanik contohnya; mesin diesel, mesin bensin. Motor pembakaran dalam memiliki 2 prinsip kerja yaitu 2 langkah dan 4 langkah. Motor pembakaran luar adalah motor yang sistem pembakarannya terjadi di luar sistem (silinder). Dari ruang pembakaran, energi panas dialirkan ke kontruksi mesin melalui media penghubung contohnya; mesin uap atau turbin uap, mesin nuklir atau turbin nuklir.

2.2 Poros Engkol

Poros engkol adalah salah satu komponen utama pada suatu mesin pembakaran dalam. Poros engkol menjadi pusat poros dari setiap gerakan piston, pada umumnya poros engkol terbuat dari baja karbon tinggi karena harus dapat menopang momen inersia yang dihasilkan oleh gerakan naik turun piston dan dampak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Poros engkol terletak diantara blok silinder dan bak oil yang terhubung langsung dengan batang piston dan fly wheel, poros engkol bertumpu pada bantalan untuk mengurangi tingkat keausan. Poros engkol vespa berfungsi untuk mengubah gerak bolak-balik (*translasi*) dari piston menjadi gerak putar (*rotasi*) dan mengatur timing intake bahan bakar atau udara ke crankcase. Pada bagian crankcase terdapat sebuah lubang intake tepat berada dibawah karburator atau yang disebut lubang hisap. Timing intake bekerja sesuai putaran poros engkol yang berbentuk coakan. pada saat lubang intake terbuka menciptakan kevakuman pada ruang crankcase sehingga bahan bakar mengalir kedalam crankcase dan selanjutnya dialirkan ke ruang bakar melalui lubang inlet.

2.3. Bantalan (*bearing*)

Bantalan (*bearing*) adalah suatu komponen yang sangat vital didalam mesin rotari yang berfungsi untuk menumpu sebuah poros agar berputar pada sumbu poros tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Jika bantalan (*bearing*) mengalami keausan akan mengalami kerusakan yang fatal pada kinerja mesin dan mengakibatkan kerusakan pada komponen yang lainnya. Oleh sebab itu sangatlah penting mengetahui kerusakan bantalan sedini mungkin dengan cara memonitoring agar bantalan pada kondisi yang baik. Sudah ada beberapa peneliti yang melakukan

penelitian tentang mendeteksi kerusakan bantalan menggunakan sinyal getaran.

2.3.1 Jenis Cacat pada Bantalan Bola

Kerusakan yang terjadi pada bantalan bola dapat mengganggu kekuatan suatu mesin atau bahkan dapat membuat mesin berhenti bekerja atau berhenti beroperasi. Kerusakan yang sering terjadi pada bantalan adalah :

1. Keausan Dini adalah suatu kerusakan yang disebabkan oleh adanya kontaminasi dari lingkungan sekitar dan salahnya sistem penyimpanan seperti masuknya benda asing, debu, kotoran sebesar 16%.
2. Goresan dan Keausan berlebih pada suatu permukaan merupakan jenis kerusakan yang diakibatkan oleh teknik pelumasan yang kurang tepat sebesar 36% dan kelebihan beban sebesar 34%.
3. Pembengkokan *bearing* merupakan kerusakan yang disebabkan oleh teknik pemasangan yang kurang tepat sebesar 16%.

Tiga jenis kerusakan diatas tersebut dapat dilihat dengan menentukan frekuensi komponennya masing-masing dengan cara menggunakan rumus getaran yaitu:

A. Cacat lokal yang terjadi pada bagian lintasan luar.

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

B. Cacat lokal yang terjadi pada bagian lintasan dalam.

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

C. Cacat local yang terjadi pada bagian bola.

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

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

$$FTF = \frac{fr}{2} x \left(1 - \frac{Bd}{Pd} x \cos a\right) \dots \dots \dots (4)$$

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.
- α = Sudut kontak (*contact angle*) derajat.

2.4. Alat Penelitian

Berikut adalah peralatan yang digunakan dalam penelitian:

1. Mesin Vespa.

2. Tool Set Mekanik.
3. Tachometer.
4. Accselerometer.
5. Modul Data Akuisisi.
6. Chasis Modul Data Akuisisi.
7. Kabel Konektor Accselerometer.
8. Kabel USB.
9. Laptop.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan analisis envelope untuk mendeteksi kerusakan lintasan dalam bantalan bola dengan kondisi yang berbeda yaitu bantalan normal, bantalan cacat sedang dan bantalan cacat parah. Dari ketiga kondisi bantalan yang berbeda akan diuji menggunakan variasi kecepatan yaitu 1500 rpm dan 2000 rpm. Getaran akan di deteksi menggunakan Sensor *accelerometer* (sensor getaran). Sensor *accelerometer* ditempelkan menggunakan magnet pada bagian mesin yang terdekat dengan bantalan dengan arah sumbu vertikal. Respon getaran dari sensor *accelerometer* akan direkam oleh data akuisisi yang terpasang pada *chassis* modul data akuisisi yang kemudian akan disimpan dan ditampilkan di laptop pada *software* matlab. Sinyal getaran dari masing-masing bantalan normal, bantalan cacat sedang, dan bantalan cacat parah dianalisis menggunakan *software* matlab dengan analisis *envelope*.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa tahapan dan persiapan yang perlu dilakukan yaitu pengecekan pada peralatan dan perlengkapan alat uji. Hal tersebut dapat membantu dalam kelancaran dalam proses pelaksanaan penelitian dan menghindarkan 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:

3.1 Persiapan Alat Uji

1. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji cacat bantalan pada poros engkol mesin vespa.
2. Melakukan persiapan perlengkapan seperti tool set mekanik, dan tachometer.
3. Melakukan persiapan tiga sampel bantalan bola yang akan diuji secara bergantian pada poros engkol mesin vespa.
4. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti peralatan DAQ, menyalakan laptop ,

software matlab R2016a sudah load dan script sudah benar, dan *software* NI CDAQ-9174 sudah load.

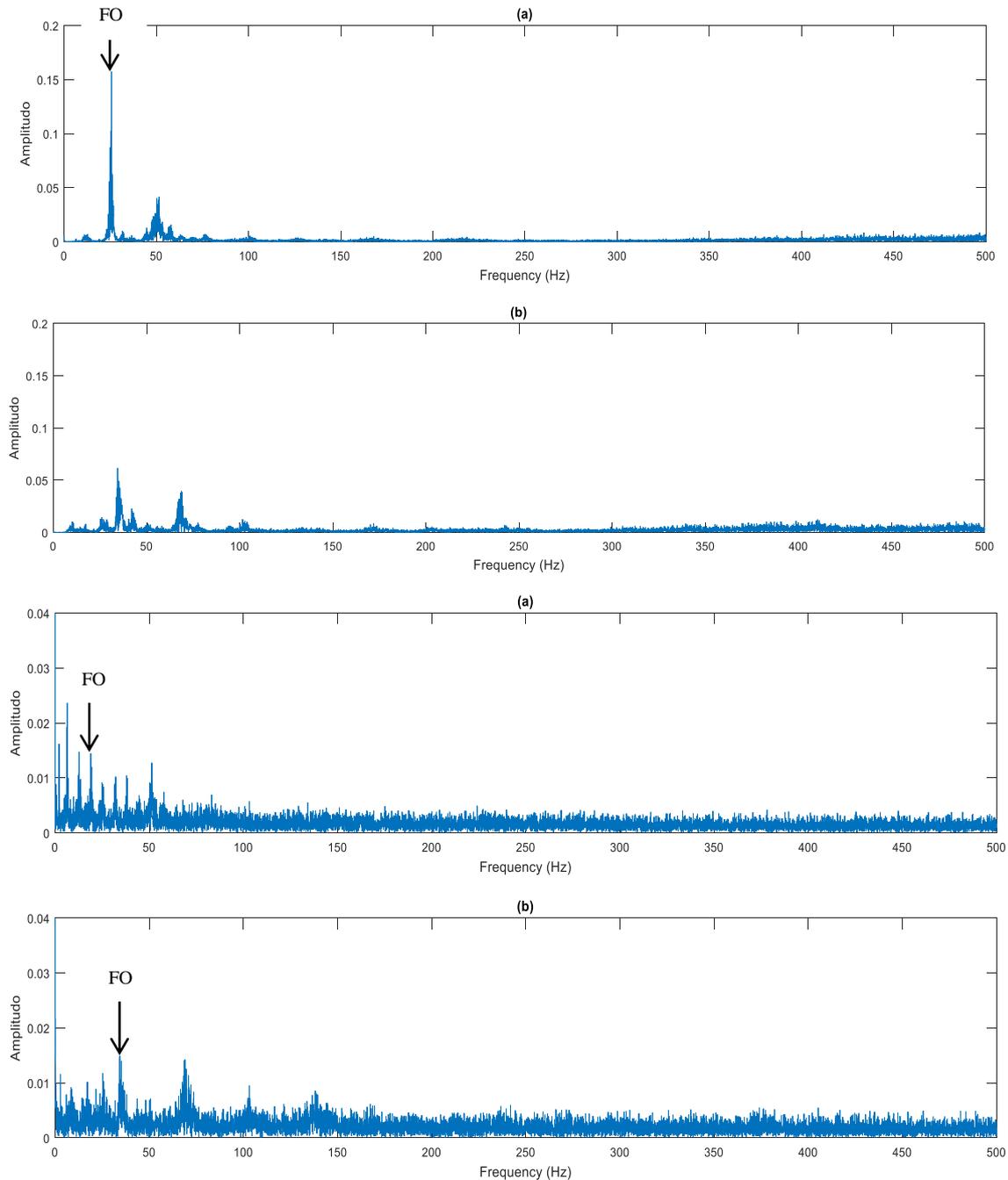
5. Memastikan pengaturan parameter akuisisi data sudah dilakukan dengan benar.
6. Memastikan bantalan bola telah dipasang pada poros engkol dengan benar.
7. Memastikan tachometer telah terpasang pada mesin vespa dengan benar.
8. Memastikan data akuisisi telah siap untuk digunakan.
9. Melakukan pemeriksaan dan pengecekan kontribusi pada alat uji agar tidak terdapat kesalahan sebelum proses pengambilan data.
10. Memastikan bahwa aturan-aturan safety sudah diikuti sehingga potensi kecelakaan kerja dapat dihindari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL PLOT DOMAIN FREKUENSI DAN ENVELOPE BANTALAN NORMAL

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

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



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

HASIL PLOT DOMAIN FREKUENSI DAN ENVELOPE CACAT BANTALAN LINTASA DALAM 0,25 MM.

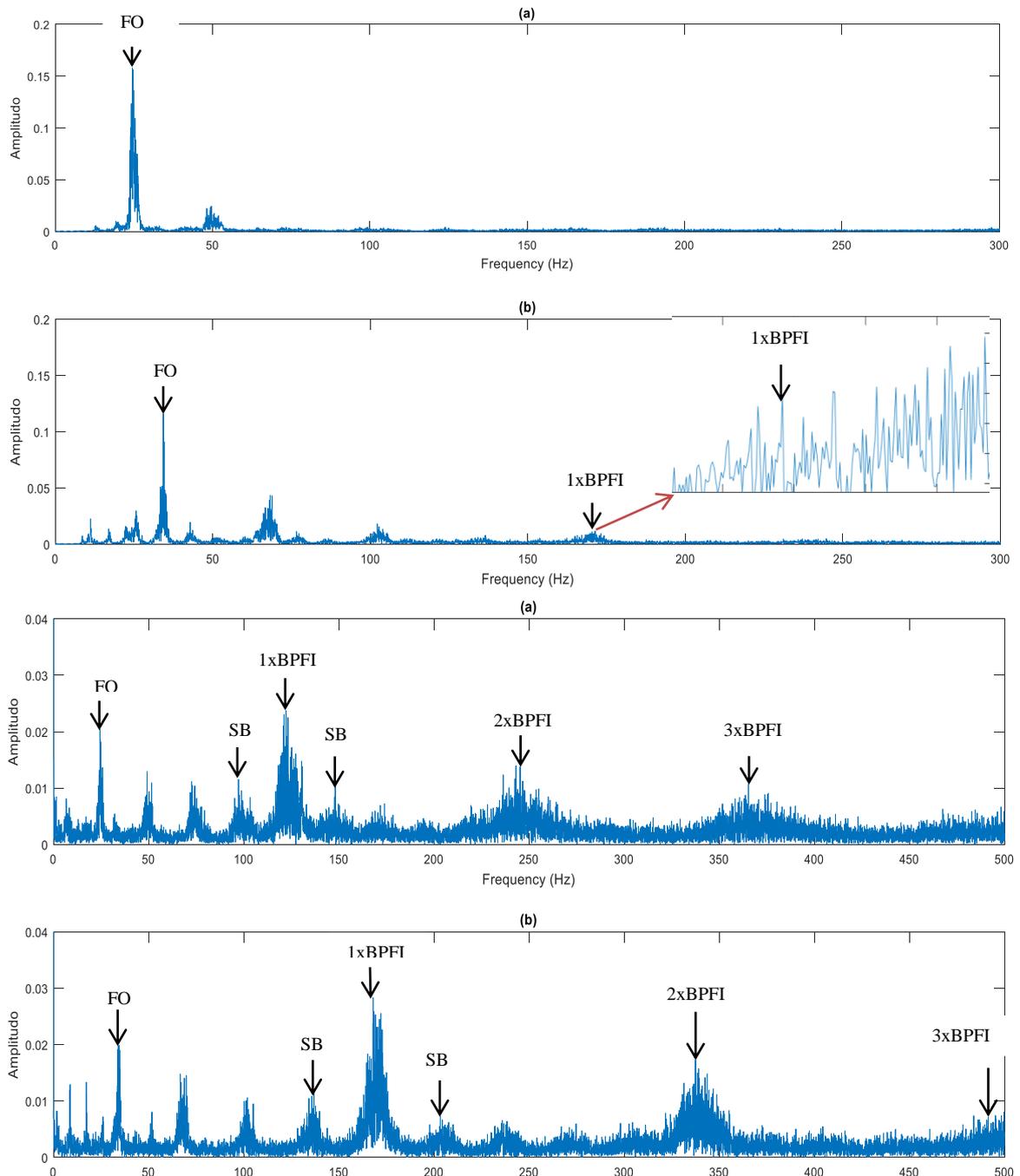
Pada gambar 4.5 (a) dari plot domain frekuensi bantalan cacat 0,25 mm kecepatan 1500 RPM tidak muncul frekuensi BPFI yang dapat diindikasikan sebagai kerusakan bantalan, Gambar 4.5 (b) plot domain frekuensi kecepatan 2000 RPM muncul frekuensi 1xBPFI dimana pada perhitungan teoritis

memiliki nilai frekuensi sebesar 163,46 Hz, sedangkan pada plot spektrum mendapatkan nilai frekuensi sebesar 165,7 dan amplitudo sebesar 0,0077mV.

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

mV.ambar 4.5 (d) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 168,3 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,0283 mV, 2xBPFI sebesar 337,6 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01728 mV, 3xBPFI sebesar 483,9 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,007387 mV. Pada hasil plot envelope terdapat *side band* pada sisi samping kiri dan kanan dari frekuensi cacat bantalan. Hal ini pasti dijumpai pada kerusakan bantalan pada komponen lintasan dalam karena pada saat bantalan berputar keatas maka amplitudo akan naik tetapi sedikit, ketika sampai ketitik paling bawah maka amplitudo yang muncul akan semakin tinggi.

Side band yang terbentuk pada envelope akan membentuk amplitudo modulasi pada hasil plot time domain. Jarak *side band* pada sisi samping kanan dan kiri dari frekuensi cacat bantalan pada kecepatan 1500 RPM, 1 kali harmoniknya yaitu sebesar 25,39 hz, sedangkan pada kecepatan 2000 RPM sebesar 33,82 dimana hasil tersebut sama dengan kecepatan poros yang digunakan.



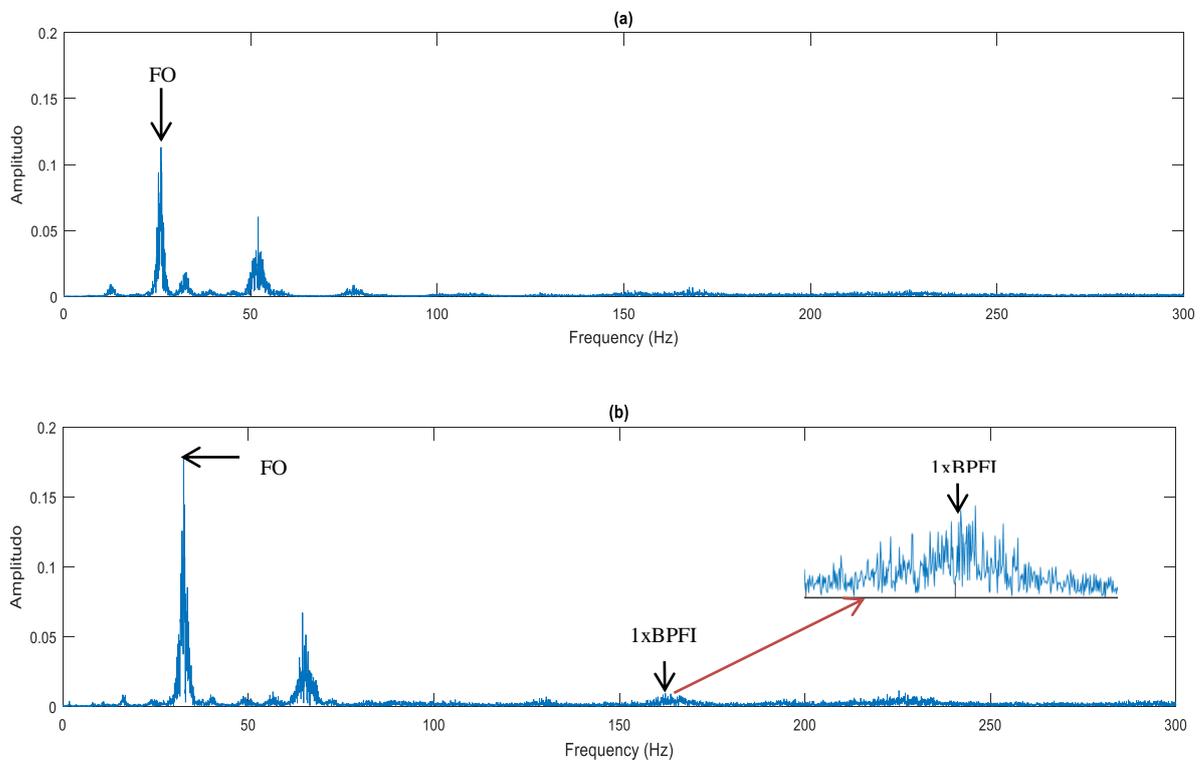
Gambar 4.5 (a) grafik plot domain frekuensi kondisi cacat 0,25 kecepatan 1500 RPM; (b) domain frekuensi kecepatan 2000 RPM; (c) grafik plot envelope kondisi cacat 0,25 mm kecepatan 1500 RPM; (d) envelope kecepatan 2000 RPM.

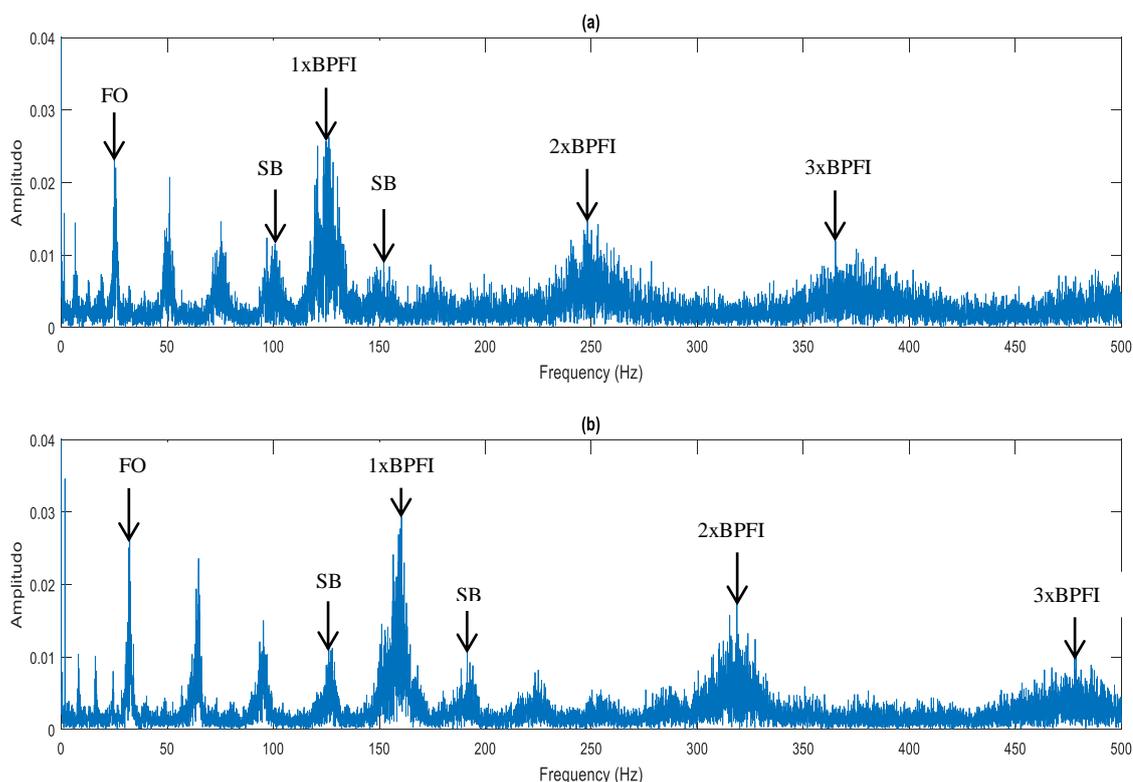
HASIL PLOT DOMAIN FREKUENSI DAN ENVELOPE CACAT BANTALAN LINTASA DALAM 0,50 MM.

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

Pada gambar 4.6 (c) dan (d) merupakan plot envelope dari bantalan cacat 0,50 kecepatan 1500 RPM dan 2000 RPM, Hasil plot envelope pada masing-masing kecepatan dapat menunjukkan 3 harmonik frekuensi BPFI. Pada gambar 4.5 (c) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 124,8 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,02569 mV, 2xBPFI sebesar 248,2 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01472 mV, 3xBPFI sebesar 375 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01083 mV. Gambar 4.5 (d) menunjukkan nilai frekuensi 1xBPFI sebesar 160,2 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,02934 mV, 2xBPFI sebesar 318,6 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01744 mV, 3xBPFI sebesar 478,5 Hz dan nilai amplitudo sebesar 0,01009 mV.

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





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

PERBANDINGAN DOMAIN FREKUENSI DAN ENVELOPE

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

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

KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan mendeteksi kerusakan lintasan dalam bantalan bola, maka mendapatkan beberapa kesimpulan seperti berikut:

1. Domain frekuensi tidak dapat menunjukkan frekuensi cacat lintasan dalam dan semua harmoniknya pada kedua kondisi bantalan menggunakan kecepatan 1500 RPM, karena frekuensi cacat bantalan masih terhimpit dan terhalangi oleh frekuensi rendah yang memiliki nilai amplitudo tinggi. Domain frekuensi hanya dapat menunjukkan frekuensi $1 \times \text{BPFI}$ pada putaran 2000 RPM.
2. Metode envelope adalah metode analisis yang dapat diandalkan dan sangat tepat digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan. Envelope dapat menunjukkan frekuensi cacat lintasan dalam hingga $3 \times \text{BPFI}$.
3. Kecepatan putaran poros sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh domain frekuensi, karena domain frekuensi hanya dapat memunculkan frekuensi kerusakan bantalan pada kecepatan 2000 RPM. Hal tersebut dikarenakan tumbukan antar komponen menjadi lebih besar sehingga nilai amplitudo menjadi lebih tinggi
4. Kerusakan bantalan pada motor bakar selain memberikan frekuensi BPFI dan *side band*, juga memberikan frekuensi pendamping. Hal ini disebabkan pada motor bakar terdapat proses pembakaran dan komponen yang bergerak translasi dan berputar yang menghasilkan getaran.

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*.
- Setiyadi, M., & Raharjo, P. 2014 "Karakteristik Getaran Pada Bantalan Bola Menyelaras Sendiri Karena Kerusakan Sangkar" *Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung* 2014.
- Suhardjono. 2004. "Analisis Sinyal Getaran Untuk Menentukan jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (*Ball Bearing*)". *Jurnal Penelitian teknik mesin Vol-6 No.2*, halm. 39-48.
- Sukendi. 2015. "Analisa Karakteristik Getaran dan Machine Learning untuk Deteksi Dini Kerusakan Bearing." *Widya Teknik Vol. 23, No. 2* 46-47.
- Wahyudi, T., Soeharsono & Noor, E. 2016. "Mendeteksi Kerusakan Bantalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi". *Jurnal Penelitian Sinergi Vol-20 No.2*: 123-128. Teknik mesin.
- Wilda, M.F 2017 " Deteksi Kerusakan Cacat Lintasan Luar Pada Bantalan Tipe Double Row Menggunakan Sinyal Vibrasi" *Skripsi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta* 2017.

PENULIS:

Ade Tyas Singgih Prasetyo

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

Email: adesinggih699@gmail.com