

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Deteksi Cacat Lintasan Luar pada Fan industri Menggunakan Metode Cepstrum

Judul Naskah Publikasi: Deteksi Cacat Lintasan Luar pada Fan industri Menggunakan Metode Cepstrum

Nama Mahasiswa: Fahri Al Rokhim

NIM: 20150130023

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

Pembimbing 2: Dr. Bambang Riyanta, S.T., M.T.

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"/> |

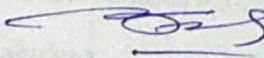
*beri tanda \checkmark di kotak yang sesuai


Tanda Tangan
Fahri Al Rokhim

Tanggal 13/10/19

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui


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

Tanggal 13/10/19


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

Tanggal 13/10/19



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

DETEKSI CACAT LINTASAN LUAR BANTALAN BOLA PADA *FAN* INDUSTRI MENGUNAKAN METODE *CEPSTRUM*

Berli Kamiel P¹, Fahri Al Rokhim¹, Bambang Riyanta¹

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta¹
Jl. Brawijaya. Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta
e-mail ; berlikamiel@gmail.com¹, alrokhim@yahoo.com¹

Abstrak

Bantalan pada *Fan* berfungsi sebagai tumpuan poros *fan* agar tetap dapat berputar dengan gesekan yang minim. Gesekan yang ditimbulkan antara komponen mesin akan menghasilkan getaran yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan. Salah satu metode yang digunakan adalah metode analisis *spectrum*. Namun metode *spectrum* masih terdapat banyak harmonik dan *sideband* yang kompleks dari beberapa komponen *fan* industri. Maka dari itu pada penelitian ini akan mengkaji metode *cepstrum* untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan, dikarenakan metode *cepstrum* dapat memilah keluarga harmonik yang berasal dari harmonik beberapa komponen *fan* industri sehingga kerusakan pada bantalan dapat dianalisis lebih mudah. Penelitian ini menggunakan prototype *fan* industri. Bantalan yang digunakan adalah bantalan bertipe ASB 6209 2RS dengan kondisi normal dan kondisi cacat lintasan luar. Kerusakan sengaja dibuat dengan menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) pada *wirecut machining* dengan menggunakan kawat yang diameter 0.25 mm dengan jenis kawat brass. Proses perekaman maupun proses pengolahan data menggunakan laptop yang telah diinstal *software* matlab r2018a. Perekaman setiap data dilakukan selama 10 detik dengan jeda 2 detik. Set data yang diambil sebanyak 10 set data dengan jumlah data dalam setiap setnya berjumlah 20 data. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa *spectrum* dapat mendeteksi frekuensi kecepatan poros *fan* sebesar 9.114 Hz dan frekuensi kerusakan (*Ball Pass Frequency Outer*) BPFO sebesar 36.52 Hz. Selain itu metode *spectrum* juga dapat mendeteksi frekuensi kecepatan poros roda gigi sebesar 22.59 Hz. Namun amplitudo frekuensi dari BPFO sulit untuk dideteksi karena berhimpit dengan amplitudo dari komponen lain. Sedangkan pada metode analisis *cepstrum* terlihat jelas pada puncak *quefreny* BPFO sebesar 0.027 detik dikarenakan metode *cepstrum* dapat memilah frekuensi dari keluarga harmonik pada *spectrum*.

Kata kunci : Bantalan bola, BPFO, *cepstrum*, *fan* industri, harmonik, *spectrum*.

Pendahuluan

Fan merupakan mesin yang terdapat pada industri yang berfungsi untuk menghasilkan aliran fluida yang dimanfaatkan sebagai pendingin ataupun untuk pembakaran tergantung dengan jenis *fan* yang digunakan. Oleh karena itu *fan* merupakan komponen yang penting dalam mesin terutama mesin-mesin pada industri.

Fan memiliki beberapa komponen, salah satunya adalah bantalan yang berfungsi sebagai tumpuan poros agar tetap dapat berputar dengan gesekan yang

minim. Bantalan sangat penting perannya dalam *fan*. Kerusakan pada bantalan dapat menyebabkan penurunan performa pada *fan*, bahkan dapat menyebabkan *fan* tidak dapat bekerja lagi. Oleh karena itu dibutuhkan cara untuk mencegah terjadinya kerusakan pada bantalan tersebut. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi cacat pada bantalan antara lain metode *spectrum* dan analisis *envelope*.

Analisis vibrasi merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam mengidentifikasi kerusakan pada mesin

yang berputar dan untuk memeriksa bantalan. Analisa ini mudah digunakan, lebih efektif dan dapat dilakukan pada saat mesin dalam keadaan bekerja tanpa harus menghentikan mesin ataupun membongkar bagian mesin. Metode yang digunakan untuk mendeteksi cacat bantalan adalah metode *spektrum* dan analisa *envelope*. (Suhardjono, 2015).

Susilo (2009) melakukan pengujian bantalan normal dan bantalan cacat pada lintasan dalam dengan metode analisis domain waktu dan domain frekuensi. Dalam penelitian tersebut menghasilkan amplitudo getaran yang tinggi pada frekuensi 435 Hz dan 187,5 Hz. Dua frekuensi ini merupakan 4x BPFI dan 4x BSF.

Wahyudi, dkk(2016) melakukan penelitian untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan. Metode yang digunakan adalah domain frekuensi dan domain statistic waktu dengan fitur RMS. Hasil yang didapat menunjukkan spektrum dengan garis puncak frekuensi yang berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi BPFO dan BSF. Aditya dan Amoghavarsha (2018) mendeteksi cacat pada bantalan dengan menggunakan metode *cepstrum* dengan hasil yang jelas pada puncak *quefrensy* sebesar 0.41166 detik dengan menunjukkan cacat pada bantalan.

Morsy, Acthenova (2015) dalam penelitiannya yang mengkomparasikan antara *envelope* dan *cepstrum* pada sebuah gear yang disengaja dibuat rusak atau cacat. Dari hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa kedua metode tersebut masih relevan untuk mendeteksi kerusakan pada roda gigi.

Dari beberapa hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa analisa getaran banyak digunakan untuk mendiagnosis kerusakan pada bantalan. Metode yang umum digunakan adalah analisa spektrum dan *envelope*. Akan tetapi kedua metode tersebut memiliki beberapa kekurangan.

Pada metode spektrum kekurangannya adalah masih tercampurnya antar frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Sedangkan pada metode *envelope* hanya terfokus pada frekuensi tinggi. Menganalisa sinyal getaran menggunakan metode *cepstrum* akan lebih cepat sebab metode *cepstrum* dapat mendeteksi kerusakan terkhusus untuk mendeteksi kerusakan pada komponen mesin yang menghasilkan harmonik dan *sideband* yang kompleks. Dengan demikian deteksi cacat lintasan luar bantalan bola pada *fan* industri menggunakan metode *cepstrum* dapat dijadikan alat diagnosa yang baik dalam mengidentifikasi kerusakan atau cacat pada bantalan.

Tinjauan Teoritis

Jenis-Jenis Cacat pada Bantalan

Bantalan merupakan elemen mesin yang memiliki peran yang sangat penting. Karenan perannya yang sangat penting tersebut maka ketika terjadi cacat atau keausan pada bantalan akan berakibat fatal pada mesin. Hal tersebut dapat diantisipasi dengan mendeteksi bantalan.

1. Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (*Inner Race*)

Frekuensi eksistensi impuls akibat adanya cacat lokal pada lintasan dalam bantalan disebut *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI), yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

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

2. Cacat Lokal pada Lintasan Luar (*Outer Race*)

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat lokal pada lintasan luar bantalan disebut *Ball Pass Frequency Outer Race* (BPFO), yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

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

3. Cacat Lokal pada Bola (*rolling Element*)

Frekuensi impuls yang terjadi disebut *Ball Spin Frequency* (BSF). Besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

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

4. Cacat Lokal pada Pemisah (*Cage*)

Frekuensi akibat adanya cacat pada pemisah (*cage*) disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$FTF = \frac{fr}{2} \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots \dots \dots 3$$

Dimana :

- Nb* = Jumlah bola (*Number of ball*),
- Fr* = Frekuensi putaran kerja pompa (Hz),
- Bd* = Diameter bola (*Ball diameter*) mm,
- Pd* = Diameter Pitch (*Pitch diameter*) mm dan
- α = Sudut kontak (*Contact angle*) derajat.

Cepstrum

Cepstrum merupakan transformasi fourier dari logaritma *spectrum* dari sebuah sinyal dengan menggunakan suatu logaritma. Awal mula penerapan *cepstrum* adalah untuk mendeteksi gempa dari sinyal seismic. Persamaan umum dari (*power cepstrum*) adalah sebagai berikut :

$$C_p(\tau) = |\mathfrak{F}\{\log(F_{xx}(f))\}|^2 \dots \dots \dots 6$$

Dimana $F_{xx}(f)$ adalah *power spectrum* atau *amplitude spectrum* dari perekaman tunggal. Sedangkan untuk persamaan yang kompleks dari *cepstrum* adalah berikut :

$$C_p(\tau) = \mathfrak{F}^{-1}\{\log(F(f))\} = \mathfrak{F}^{-1}\{\ln(A(f)) + j\phi(f)\} \dots \dots \dots 7$$

Dimana,

$$F(f) = \mathfrak{F}\{f(t)\} = A(f)e^{j\phi(f)} \dots \dots \dots 8$$

Penelitian pertama tentang *cepstrum*, membuat kata "*cepstrum*" yang didapat dari membalik silabus pertama dari "*spectrum*". Sama dengan halnya kata "*quefreny*" dari kata "*frequency*". Beberapa dalam analisis *cepstrum* adalah sebagai berikut :

- Rahmonic* dari *harmonic*
- Lifter* dari *filter*
- Gamnitude* dari *magnitude*
- Saphe* dari *phase*
- Darius* dari *radius*
- Dedomulation* dari *demodulation*

Cepstrum, *quefreny*, *rahmonic* memiliki fungsi untuk mengklarifikasi bahwa sistem kerja atau operasi tersebut milik analisa *cepstrum*. Terminology tersebut juga menunjukkan ciri khas dari *cepstrum* yaitu konversi log dari *spectrum*.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk pengujian dan pengrusakan bantalan dilakukan di ATMI, Solo. Pelaksanaan penelitian dimulai bulan Januari sampai dengan Juli 2019.

Bahan yang digunakan yaitu Bantalan bola *single row* dengan seri 6209 yang berdiameter dalam 45 mm diameter luar 85 mm lebar 19 mm. Cacat pada lintasan luar sebesar 1.4 mm. Kondisi bantalan yaitu normal dan cacat lintasan luar yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



(1) (2)

Gambar 1. Bantalan bola normal, Gambar 2. Bantalan cacat lintasan luar

Proses pengrusakan menggunakan EDM (*Electrical Discharge Machine*) mesin pada *wirecut machining*. Dengan parameter proses *wirecut* bantalan sebagai berikut :

1. Diameter kawat 0,25 mm
2. Jenis material kawat brass
3. High 30 mm
4. Kedalaman cacat bantalan 1,4 mm CH23
5. Menggunakan mesin *Wirecut Charmilles Roboform*

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. *Prototype fan* industri
2. Laptop
3. Sensor *Accelerometer*
4. Sensor *proximity*
5. 1 set data akuisisi

Prosedur pengujian

1. Melakukan pemasangan bantalan pada *prototype fan* industri.
2. Melakukan pemasangan sensor *accelerometer* dan sensor *proximity*.
3. Melakukan pemasangan 1 set data akuisisi.
4. Pengaturan parameter *script* pada matlab :
 - Waktu perekaman 10 detik
 - *Sampling rate* 17066 Hz
 - Jeda perekaman 2 detik
 - 20 data *file* perekaman pada 1 set data
5. Menyalakan mesin *prototype fan* industri
6. Melakukan perekaman sebanyak 20 set data

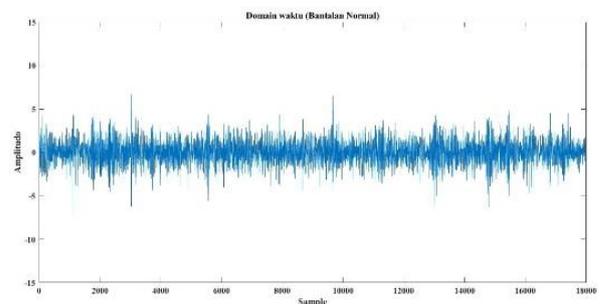
Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan dengan cara meletakkan *accelerometer* pada rumah bantalan. Data yang diambil adalah data pada kondisi normal bantalan dan data pada kondisi cacat lintasan luar bantalan dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1.

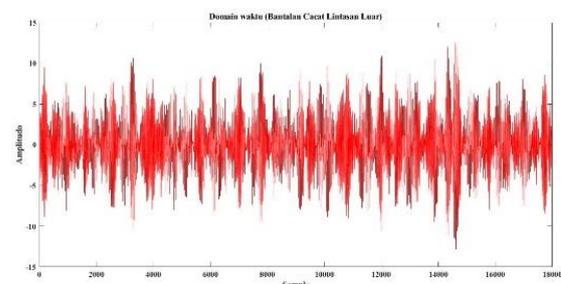
Tabel 1. Data hasil perekaman

Parameter	Bantalan Bola Normal	Bantalan Bola Cacat Lintasan Luar
Kecepatan Poros Roda Gigi (rpm)	1350	1350
Kecepatan Poros fan (rpm)	550	550
Kecepatan Motor (rpm)	2850	2850
Waktu Perekaman (detik)	10	10
Sampling Rate (Hz)	17066	17066

Domain waktu adalah data yang dihasilkan dari perekaman *accelerometer* yang telah diakuisisi. Grafik hasil perekaman menggunakan dua bantalan yaitu bantalan normal dan bantalan cacat lintasan luar dengan kecepatan poros fan 550 rpm dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Plot Domain Waktu Normal

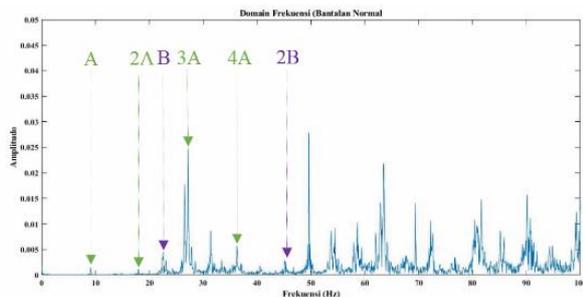


Gambar 5 Plot Domain Waktu Cacat Lintasan Luar

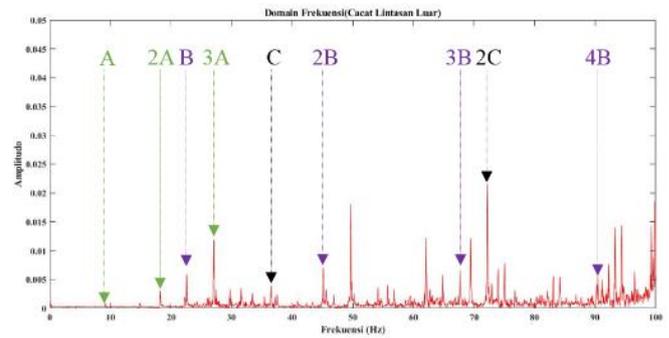
Grafik sinyal hasil plot domain waktu pada kondisi bantalan normal

ditunjukkan dengan warna biru sedangkan hasil plot pada kondisi bantalan cacat lintasan luar ditunjukkan dengan warna merah. Dari hasil plotting tersebut terlihat jelas perbedaan antara bantalan kondisi normal dan kondisi cacat lintasan luar pada amplitudonya. Puncak tertinggi amplitudo pada kondisi normal adalah 6.65 mV sedangkan pada kondisi cacat lintasan luar adalah 12.52 mV. Perbedaan tersebut disebabkan karena pada kondisi bantalan normal lebih sedikit menerima *impact* dibandingkan dengan kondisi cacat lintasan luar pada bantalan. Menurut Susilo (2008) bantalan cacat lintasan luar menimbulkan gesekan dari permukaan lintasan dengan bola ataupun dengan *cage* yang berputar. Gesekan yang dihasilkan dapat semakin besar sehingga dapat menimbulkan amplitudo pada plot domain waktu. Akan tetapi masih sulit untuk membedakan kerusakan pada bantalan secara spesifik, maka dari itu dibutuhkan metode lagi untuk mengetahui kerusakan secara spesifik.

Dari hasil plot domain frekuensi dengan bantalan normal dan bantalan cacat pada lintasan luar. Kecepatan poros *fan* yang digunakan adalah 550 rpm dengan frekuensi poros *fan* sesuai perhitungan yaitu 9.16 Hz dan kecepatan poros roda gigi sebesar 22.5 Hz. Pada Gambar 6. dengan kondisi bantalan normal frekuensi poros *fan* ditunjukkan pada titik A sebesar 9.114 Hz, kecepatan poros roda gigi pada titik B sebesar 22.59 Hz. Harmonik dari frekuensi poros *fan* terjadi sebanyak 3x dengan masing-masing frekuensi 18.23 Hz, 27.41 Hz, 36.26 Hz. Untuk harmonik dari kecepatan poros roda gigi sebesar 22.59 Hz, 45.12 Hz.

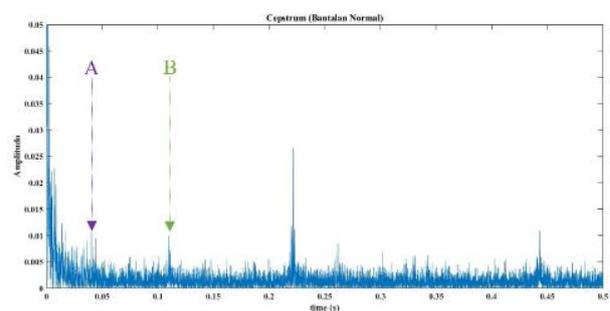


Gambar 6 Plot *Spectrum* Bantalan Normal



Gambar 7 Plot *Spectrum* Bantalan Cacat Lintasan Luar

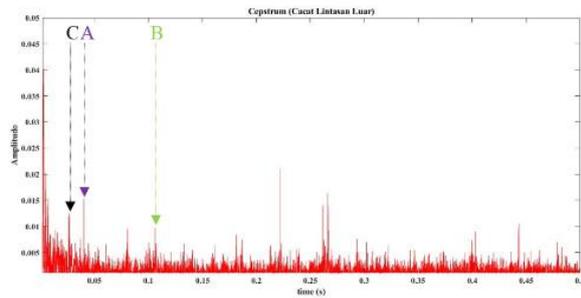
Pada kondisi bantalan cacat lintasan luar yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4 frekuensi poros *fan* ditunjukkan pada titik A dengan frekuensi 9.114 Hz, pada titik B merupakan kecepatan poros roda gigi dengan frekuensi 22.59 Hz dan titik C adalah frekuensi dari BPFO dengan frekuensi 36.52 Hz. Harmonik dari frekuensi kecepatan poros *fan* terjadi 2x pada frekuensi 18.23 Hz dan 27.08 Hz, harmonik dari kecepatan poros roda gigi terjadi sebanyak 3x pada frekuensi 45.12 Hz, 67.71 Hz dan 90.43 Hz dan harmonik dari frekuensi BPFO terjadi sebanyak 1x pada frekuensi 72.2 Hz. Domain frekuensi dapat menunjukkan beberapa frekuensi, namun masih sulit untuk menunjukkan jenis frekuensi tersebut dikarenakan masih tertutup dengan *noise*.



Gambar 8 Plot *Cepstrum* Bantalan Normal

Dari gambar 4.5 titik A merupakan *quefrency* dari kecepatan poros roda gigi yang terdeteksi pada 0.04 detik sesuai dengan frekuensinya yaitu 22.59 Hz, titik B adalah *quefrency* dari poros *fan* yang dapat

dilihat pada 0.109 detik sesuai dengan frekuensinya yaitu 9.114 Hz.



Gambar 9 Plot *Cepstrum* Cacat Lintasan Luar

Pada kondisi bantalan cacat lintasan luar seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 terlihat jelas *quefrensy* dari BPFO yang ditunjukkan oleh titik C dengan nilai 0.027 detik yang sesuai dengan frekuensi BPFO yaitu 36.52 Hz dan pada titik B merupakan *quefrensy* dari kecepatan poros *fan* dengan nilai 0.109 detik dan *quefrensy* kecepatan poros roda gigi sebesar 0.04 detik ditunjukkan dengan titik A. Menurut Vernekar, dkk (2014) bahwa domain frekuensi dan *cepstrum* merupakan metode yang cocok untuk mendeteksi frekuensi kerusakan, dimana domain frekuensi merupakan teknik yang menjanjikan dalam menganalisis dasar frekuensi dan pada *cepstrum* merupakan metode yang lebih efektif untuk mendeteksi perioditas frekuensi dalam spektrum. Selain itu *Cepstrum* dapat mengungkapkan cacat secara langsung yang ditunjukkan pada puncak *quefrensy*. *Cepstrum* merupakan perhitungan murni dari *power spectrum* yang dapat menangani cacat pada mesin yang beroperasi pada RPM yang bervariasi (Hansen, dkk, 2010).

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah deteksi cacat bantalan bola lintasan luar pada *fan* industri dapat dilakukan dengan metode *cepstrum*. Pada analisis menggunakan metode *spectrum* dapat menunjukkan beberapa frekuensi yaitu frekuensi kecepatan poros *fan* dengan

frekuensi sebesar 9.114 Hz dan frekuensi kecepatan poros roda gigi sebesar 22.59 Hz selain itu amplitudo tinggi muncul pada frekuensi 36.52 Hz yang merupakan frekuensi BPFO. Namun frekuensi tersebut masih berhimpitan dengan frekuensi tinggi dari komponen *fan* industri yang lainnya. Sedangkan pada analisis menggunakan metode *cepstrum* terlihat jelas *quefrensy* dari BPFO sebesar 0.027 detik. Sebab *cepstrum* dapat memilih frekuensi terkhusus pada keluarga harmonik yang muncul pada *spectrum*.

Daftar Pustaka

- Adithya, L. R., & Amoghavarsha, K. P. (2018). Bearing Fault Detection Using Cepstrum Analysis. *MANTECH*, 1-8.
- Aji, K. (2007). Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinya Getaran. *Skripsi*.
- C. P., P. G., & J. H. (2017). A comparison of cepstral editing methods as signal pre-processing techniques for vibration-based bearing fault detection. *ResearchGate*, 354-382.
- H. K., & H. H. (2010). Envelope and Cepstrum Analyses for Machinery Fault Identification. *SOUND & VIBRATION*, 10-12.
- K. V., H. K., & Gangadharan, K. V. (2015). Fault Detection of Gear Using Spectrum and Cepstrum Analysis. *Proc Indian Natn Sci Acad*, 1177-1182.
- Morsy, M. E., & G. A. (2015). Envelope Detection and Cepstrum Analysis for Gear Fault Diagnosis – A Comparative Study. *MEASUREMENT*, 187-190.
- Randall, R. (2013). A history of cepstrum analysis and its application to mechanical problems. in: *International Conference at Institute of Technology of Chartres, France*, 11-16.

- Suhardjono. (2005). Analisis Sinyal Getaran Untuk Menentukan jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing). *Jurnal Penelitian Teknik Mesin*, 2.
- Susilo, D. (2009). Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran. *Jurnal Penelitian Mekanika*, 130-134.
- Tan, C. Z., & M. S. (2008). An Experimental Study of Cavitation Detection in a Centrifugal Pump Using Envelope Analysis. *Institute of Nois & Vibration, Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia*, vol.2 No. 1.
- Wahyudi T., S. &, W. T., Soeharsono, & N. E. (2016). Mendeteksi Kerusakan Bantalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi. *Jurnal Penelitian Sinergi*, 2.