

Analisis Metode Spektrum Fft Dan Perbaikan Terhadap Kerusakan Bearing Pada Pompa Sentrifugal SP039

Josua Fernando Gultom

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received August 8, 2022

Revised October 19, 2022

Accepted May 20, 2025

Keywords

Bearing fault;
Spectrum analysis;
Vibration signal

ABSTRACT

In the operation of a centrifugal pump, the impeller of pump is supported by a shaft bearing, the role of the shaft bearing is very important in its performance so that friction and unavoidable vibration can occur which can cause damage. Therefore there is a need for a maintenance review using a vibration or vibration method that is useful to prevent a sudden stop at the pump. The frequency analysis method is used to compare the vibration signal characteristics of the damaged shaft bearing with the repaired shaft bearing, where this method is based on FFT (Fast Fourier Transform). The result show that bearings with damaged or abnormal condition with speed of 2900 RPM has harmonic characteristics/spectrum shapes with damage that occurre at the impulse frequency are BPF1, BSF and FTF with high overall enveloping values of 29,62 gE while for bearings with normal/new condition with speed of 2900 RPM has a random characteristics/spectrum shapes and has an overall enveloping value of 4,579 gE.

This is an open-access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Josua Fernando Gultom
Program Studi Teknik Mesin,
Fakultas Teknik,
Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia
Email: josua.fernandoo@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Dalam proses produksi sangat bergantung pada kondisi mesin – mesin produksi saat melakukan fungsi kerjanya. Kerusakan atau kegagalan pada salah satu mesin dapat menyebabkan berhentinya proses produksi dan hasil yang dicapai berada dibawah kapasitas yang telah di targetkan. Maka dari itu, proses perawatan atau *maintenance* merupakan peranan yang sangat dalam menunjang ketersediaan dari mesin produksi.

Hasil penelitian Harry Prayoga (2019) tentang analisis karakteristik vibrasi pada *paper dryer machine* disimpulkan bahwa hasil analisis terhadap domain frekuensi pada kondisi *bearing* SKF-23138CC dan *bearing* SKF-23032CC pada *paper dryer rollers* secara keseluruhan menunjukkan adanya kerusakan *bearing* berdasarkan ciri getaran kerusakan mesin.

Kerusakan pada bantalan dapat dibedakan menjadi dua kategori (Robert B.R, 2011) yaitu cacat terdistribusi dan cacat lokal. Cacat lokal pada bantalan meliputi cacat lokal pada lintasan dalam (BPFI), cacat lokal pada lintasan luar (BPFO), cacat lokal pada bola (BSF) dan cacat lokal pada pemisah (FTF). Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat lokal pada lintasan dalam *bearing* disebut *ball pass frequency inner race* (BPFI) yang dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

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

Frekuensi eksitasi impuls akibat adanya cacat lokal pada lintasan luar *bearing* adalah *ball pass frequency outer race* (BPFO) yang dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

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

Apabila terdapat cacat pada bola, maka frekuensi impuls yang terjadi dinamakan *ball spin frequency* (BSF) dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini sebagai berikut:

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

Frekuensi yang diakibatkan adanya cacat pada pemisah (*cage*) dinamakan *fundamental train frequency* (FTF) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$FTF = \frac{Fr}{2} \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \beta\right) \quad (4)$$

Vibrasi atau getaran mempunyai tiga parameter yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur yaitu: frekuensi, amplitudo dan fase. Frekuensi adalah banyaknya periode getaran yang terjadi dalam satu putaran waktu ($f = 1/T$). Frekuensi biasanya ditunjukkan dalam bentuk *cycle per menit* (CPM) yang biasa disebut dengan istilah hertz (Hz) dimana $Hz = 60 \text{ CPM} = 60 \text{ RPM}$).

Amplitudo adalah ukuran atau besarnya sinyal vibrasi yang dihasilkan. Amplitudo dari sinyal vibrasi mengidentifikasi besarnya gangguan yang terjadi. Makin tinggi amplitudo yang ditunjukkan makin besar gangguan yang terjadi, besarnya amplitudo bergantung pada tipe mesin yang ada. Ada 3 parameter untuk menggambarkan besarnya amplitudo yaitu perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*) dan percepatan (*acceleration*).

2. METODE DAN BAHAN

Metode yang digunakan yakni metode analisis dengan menggunakan data sekunder sebagai jenis dan sumber data. Data diperoleh dari departemen *reliability* PT Fajar Surya Wisesa Tbk.

2.1 Obyek Pengamatan

Dalam melancarkan proses pengukuran dan analisis pada pompa sentrifugal SP039 dimana pompa ini terletak pada area *water treatment plant* (WTP), maka kita perlu mencatat data pompa sentrifugal SP039 yang tertera pada *name plate* pompa karena sangat penting sebagai media informasi yang dibutuhkan untuk mengenal batas kapasitas pompa tersebut.



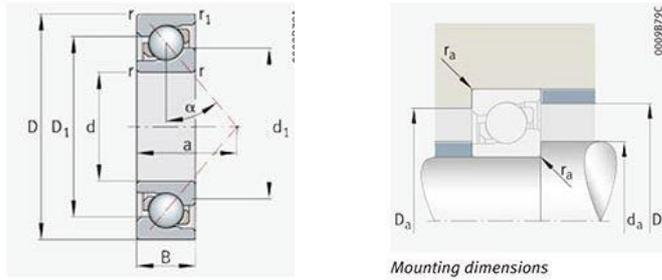
Gambar 2. Pompa dan *Name Plate* Pompa Sentrifugal SP039

Tabel 1. Data Spesifikasi SP039

Pump Name	Andritz Pump
Type	ISO100X80-160 SSH
Diameter <i>Impeller</i>	164 mm
<i>Head</i> (H)	30 m
<i>Capacity</i> (Q)	100 m ³ /h
<i>Rotation</i> (n)	2900 rpm

Berikut ini data spesifikasi bantalan poros (*bearing*) gelinding yang akan dijadikan obyek penelitian serta dimensi yang ditampilkan pada gambar 3 di bawah ini:

Angular contact ball bearings
Single row



Gambar 3. Drawing Bearing FAG 7038

Dari gambar di atas, akan diuraikan spesifikasi yang terdapat pada bearing FAG 7308 ke dalam tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Spesifikasi Bearing FAG 7308

Main Dimension	Dimension	Keterangan
d	40 mm	Bore Diameter
D	90 mm	Outside Diameter
B	23 mm	Width
α	40°	Contact Angle
C_r	53000 N	Dynamic Load Rating (Radial)
C_{0r}	34500 N	Static Load Rating (Radial)
Nb	11	Number Of Balls

2.2 Alat Ukur

Berikut rincian peralatan pendukung yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. SKF Microlog Analyzer AX

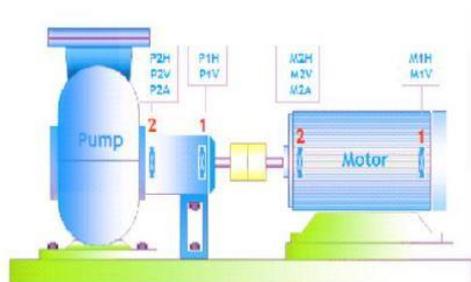
Alat yang dipakai pada penelitian ini adalah *SKF Microlog Analyzer AX* karena merupakan sebuah peralatan monitoring getaran yang dapat beroperasi dengan cepat dan akurasi tanpa ada mengganggu proses kerja *rotating equipment*. Alat tersebut bersifat dapat mudah dibawa dan dipindahkan (*portable*) dan dilengkapi dengan *probe* yang baik yakni pengujian kecepatan (*velocity probe*) dan pengujian percepatan (*accelerometer probe*) guna mendeteksi kesalahan pada mesin dengan merekam getaran yang ditimbulkan oleh mesin.



Gambar 4. SKF Microlog Analyzer AX

2.3 Skema Pengukuran

Adapun posisi pengukuran vibrasi dilakukan pada 4 titik atau 4 posisi bearing yakni DE pompa, NDE pompa, DE motor dan NDE motor. Masing-masing dengan arah vertikal, horisontal dan aksial. Skema titik pengukuran vibrasi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Arah Titik Pengukuran

Keterangan:

PIV : Pump Inboard Vertical
 P1H : Pump Inboard Horizontal
 P1A : Pump Inboard Axial
 P2V : Pump Outboard Vertical

M1V : Motor Outboard Vertical
 M1H : Motor Outboard Horizontal
 M1A : Motor Outboard Axial
 M2V : Motor Inboard Vertical

2.4 Standar Pengujian Vibrasi

Standar pengujian bertujuan untuk mengetahui batasan-batasan level getaran yang masih menunjukkan kondisi suatu pengukuran, apakah masih layak beroperasi atau harus memerlukan perbaikan. Adapun standar pengukuran yaitu ISO 10816-3 yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Standar Getaran ISO 10816-3

3. HASIL DAN DISKUSI

Setelah mendapatkan data yang diperlukan maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan frekuensi impuls kerusakan bantalan, menganalisis *spectrum velocity*, *spectrum enveloping* dan *trending overall* saat *bearing* mengalami kerusakan maupun setelah dilakukan perbaikan.

Untuk menentukan frekuensi yang mengindikasikan kerusakan yang terjadi pada bantalan, maka perlu dilakukan perhitungan menggunakan rumus pada persamaan 1,2,3 dan 4. Adapun hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Frekuensi Impuls Bantalan FAG 7308

Frekuensi Impuls Cacat Bantalan	1x		2x		3x		4x		5x	
	Hz	Order	Hz	Order	Hz	Order	Hz	Order	Hz	Order
BPFI	312,332	6,462	624,664	12,924	936,996	19,387	1249,328	25,849	1561,66	32,312
BPFO	219,297	4,537	438,594	9,074	657,891	13,612	877,188	18,149	1096,485	22,687
BSF	17,187	0,355	34,374	0,711	51,561	1,066	68,748	1,422	85,935	1,788
FTF	19,937	0,412	39,874	0,825	59,811	1,237	79,748	1,650	99,685	2,062

3.1 Sinyal Getaran Terhadap Bearing Rusak

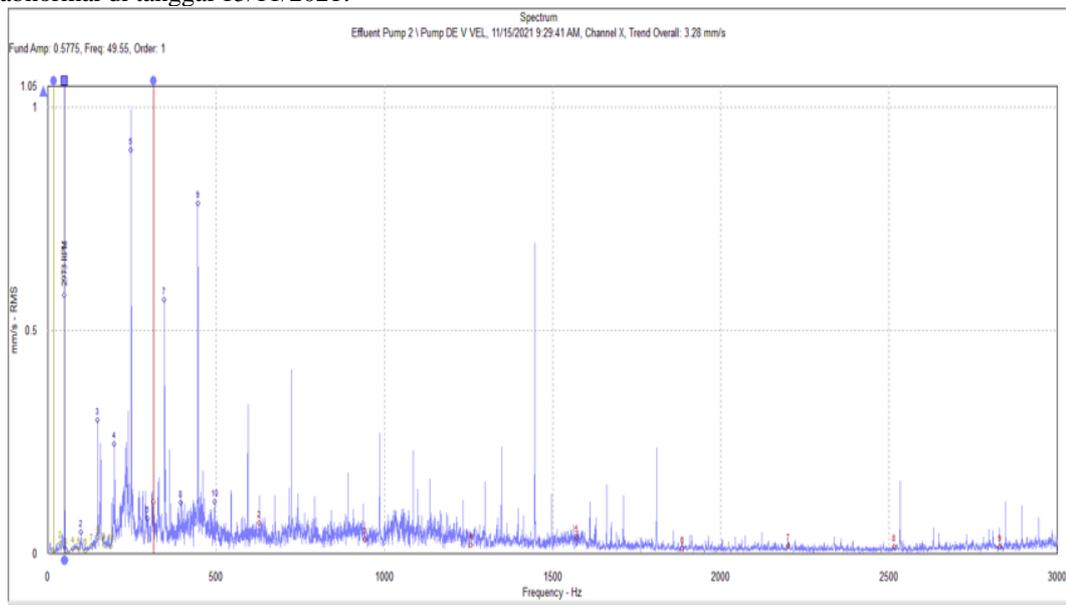
Di dalam penelitian ini, akan menampilkan hasil pengambilan data vibrasi pada saat pompa dalam keadaan abnormal yang akan ditunjukkan dalam tabel 4. Berdasarkan dari tabel 4 di atas diketahui bahwa pada titik pengukuran *inboard* (DE/drive end) pompa memiliki nilai *overall velocity* paling tinggi baik arah vertikal, horisontal dan aksial serta sudah masuk pada daerah *alarm* yang diijinkan beroperasi (mengacu pada standar ISO 101816-3) dalam jangka waktu yang relatif panjang.

Tabel 4. Hasil Pengambilan Data Vibrasi Pompa SP039 Saat Abnormal

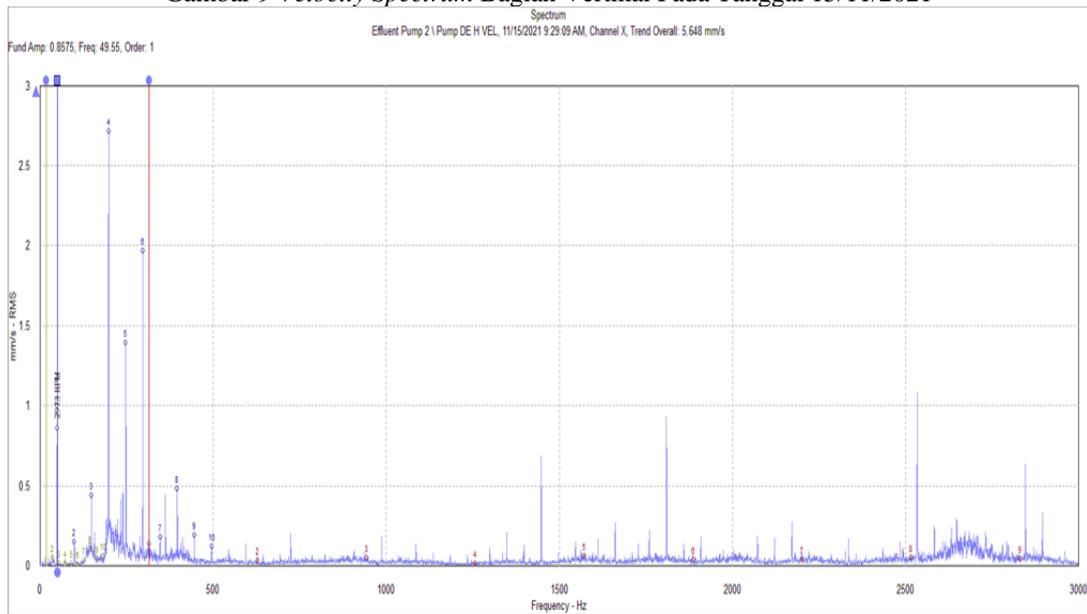
Sumpit Pump 039	19/10/2021	09/11/2021	10/11/2021	12/11/2021	15/11/2021
Pompa					
P1V	2,56	2,43	2,83	3,66	3,28
P1H	3,26	3,68	4,09	5,66	5,64
P1A	2,32	3,62	3,86	3,21	2,72
P2V	1,98	1,89	2,24	2,16	1,80
P2H	1,78	2,38	2,15	2,01	1,94
P2A	1,54	1,76	2,25	1,76	2,10

3.2 Analisis Velocity Spectrum

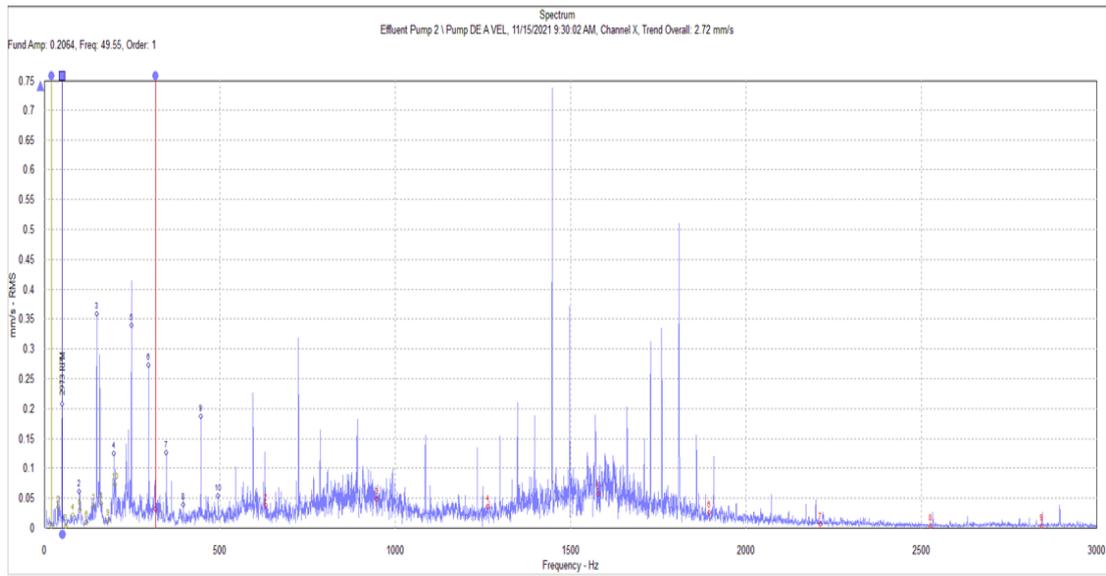
Analisis *velocity spectrum* digunakan untuk mengetahui kerusakan atau kondisi tidak normal pada pompa seperti ketidakseimbangan (*unbalance*), kelonggaran (*looseness*), ketidaksejajaran (*misalignment*) serta kerusakan sangkar (*cage*) pada bantalan poros (*bearing*). Berikut ini hasil analisis *velocity spectrum* pada titik pengukuran *inboard* (DE/*drive end*) baik arah vertikal, horisontal dan aksial saat bantalan poros (*bearing*) kondisi abnormal di tanggal 15/11/2021.



Gambar 9 Velocity Spectrum Bagian Vertikal Pada Tanggal 15/11/2021



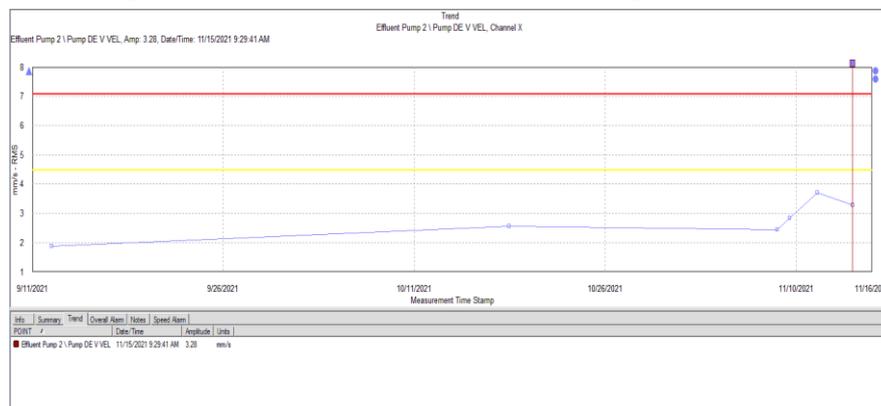
Gambar 10 Velocity Spectrum Bagian Horisontal Pada Tanggal 15/11/2021



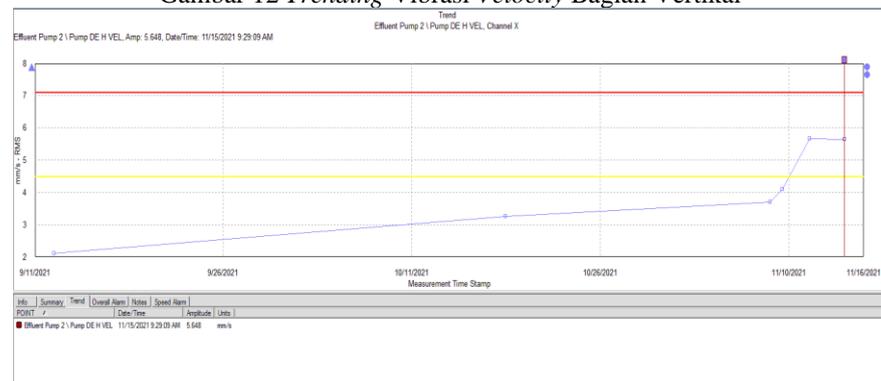
Gambar 11 *Velocity Spectrum* Bagian Aksial Pada Tanggal 15/11/2021

Pada gambar 9 hasil analisis sinyal vibrasi *velocity* pada bagian vertikal terlihat puncak (*peak*) yang tinggi pada frekuensi 49,55 Hz, frekuensi ini merupakan 1X RPM atau 1X putaran pompa. Frekuensi dengan puncak amplitudo ini mengindikasikan adanya kelonggaran mekanik (*mechanical looseness*). Pada gambar 10 hasil analisis sinyal vibrasi *velocity* pada bagian horisontal terlihat puncak (*peak*) yang tinggi pada frekuensi 49,55 Hz, frekuensi ini merupakan 1X RPM atau 1X putaran pompa. Frekuensi dengan puncak amplitudo ini mengindikasikan adanya gejala ketidakseimbangan (*unbalance*). Pada gambar 11 hasil analisis sinyal vibrasi *velocity* pada bagian aksial terlihat puncak (*peak*) yang tinggi pada frekuensi 49,55 Hz, frekuensi ini merupakan 1X RPM atau 1X putaran pompa. Frekuensi dengan puncak amplitudo ini mengindikasikan adanya 2 gejala yaitu *angular misalignment* (ketidaklurusan angular) dan *bent shaft* (poros bengkok) yang mana memiliki karakteristik kenaikan amplitudo pada 1X RPM diikuti dengan 2X RPM.

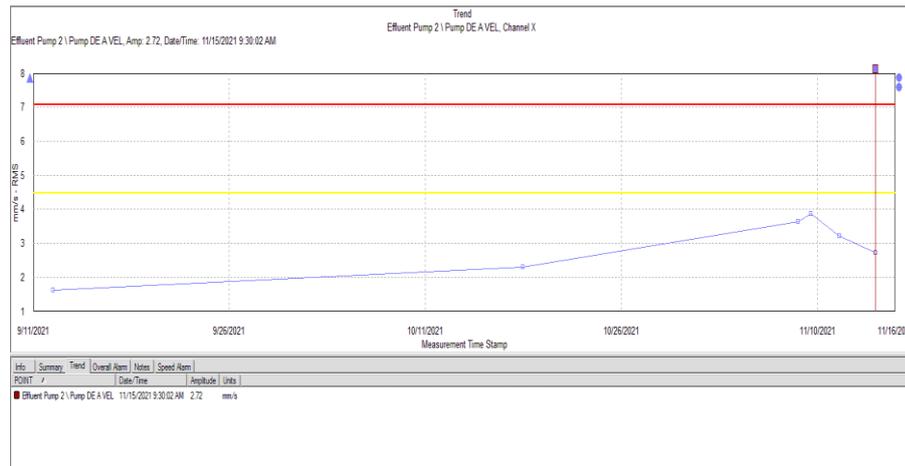
Berikut ini akan ditampilkan *trending* data analisis *velocity* untuk *bearing* yang mengalami cacat atau rusak pada pompa SP039 bagian *inboard* baik arah vertikal, horisontal maupun aksial di bawah ini:



Gambar 12 *Trending Vibrasi Velocity* Bagian Vertikal



Gambar 13 *Trending Vibrasi Velocity* Bagian Horisontal

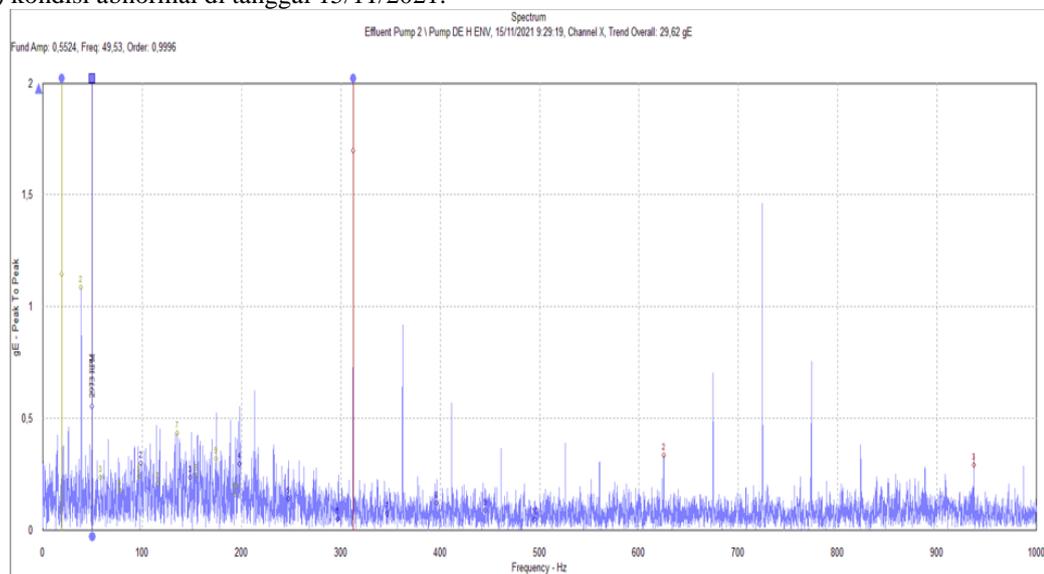


Gambar 14 Trending Vibrasi Velocity Bagian Aksial

Nilai *overall velocity* mengalami kenaikan terlihat dari *trending data analisis velocity* pada gambar `12, 13 dan 14 nilai *overall* yang mengalami kenaikan signifikan terjadi pada bagian horisontal yakni di tanggal 15/11/2021 dengan nilai 5,648 mm/s, nilai tersebut sudah melebihi standar alarm yang diijinkan dalam *trending* tersebut yakni sebesar 4,5 mm/s.

3.3 Analisis Enveloping Spectrum

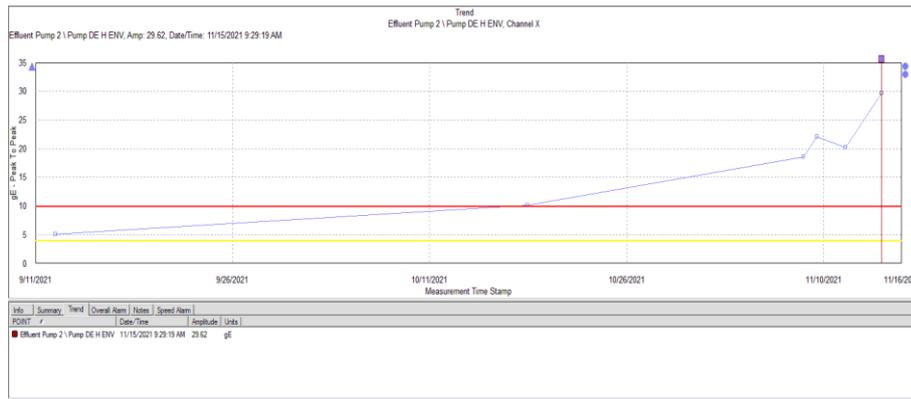
Analisis *enveloping spectrum* bertujuan untuk mengetahui kerusakan (cacat lokal) pada bantalan poros (*bearing*). Frekuensi impuls akibat adanya cacat lokal pada BPFI, BPFO, BSF dan FTF. Ketika frekuensi impuls cacat bantalan (BPFO, BPFI, BSF, FTF) selaras dengan amplitudo puncak pada spektrum getaran maka terdapat cacat pada bantalan tersebut. Satuan dari *enveloping spectrum* adalah gE (*gravity enveloping*). Berikut ini hasil analisis *enveloping spectrum* pada titik pengukuran *inboard* (DE/drive end) saat bantalan poros (*bearing*) kondisi abnormal di tanggal 15/11/2021.



Gambar 15 Enveloping Spectrum Pada Tanggal 15/11/2021

Pada gambar 15 di tanggal 15/11/2021 sinyal vibrasi *envelope* menunjukkan bahwa *bearing* (bantalan poros) mengalami indikasi kerusakan pada FTF serta adanya indikasi kerusakan pada bagian BPFI yang sama pada setiap tanggalnya. Untuk bagian FTF memiliki nilai simpang order pada 1X FTF sebesar 19,53 Hz atau 0,3942 order (12/11/2021) dan 19,38 Hz atau 0,391 order (15/11/2021) (dilihat pada grafik kuning dalam gambar) yang diikuti dengan frekuensi harmonik FTF. Sedangkan untuk indikasi BPFI tersebut menunjukkan adanya nilai simpang order pada 1X BPFI sebesar 312,5 Hz atau 6,31 order (15/11/2021) yang diikuti dengan frekuensi harmonik BPFI (dilihat pada grafik merah dalam gambar).

Berikut ini akan ditampilkan *trending data analisis enveloping* untuk *bearing* yang mengalami cacat atau rusak pada pompa SP039 bagian *inboard* sebagai berikut:



Gambar 16 Trending Data Analisis Enveloping Pada Bearing Cacat

Dari gambar 16 di atas, nilai *overall enveloping* mengalami kenaikan terlihat dimana nilai *overall* yang sebelumnya 10,08 gE mengalami kenaikan menjadi 29,62 gE yang mana nilai tersebut sudah melebihi standar alarm yang diijinkan dalam *trending* tersebut yakni sebesar 4 gE dan masuk dalam kondisi *unacceptable / danger*.

3.4 Sinyal Getaran Terhadap Bearing Baru

Di dalam penelitian ini, akan menampilkan hasil pengambilan data vibrasi pada saat pompa dalam keadaan normal yang akan ditunjukkan dalam tabel 5 di bawah ini:

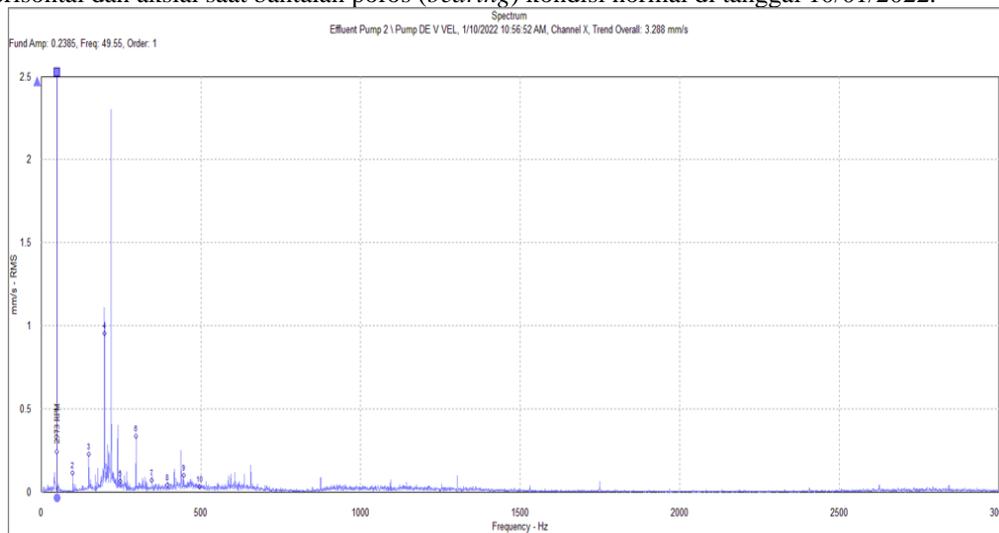
Tabel 5. Hasil Pengambilan Data Vibrasi Pompa SP039 Saat Normal

Sumpit Pump 039	10/01/2022	18/02/2022	23/02/2022	15/03/2022	17/05/2022
Pompa					
P1V	3,28	2,07	1,76	3,58	1,61
P1H	3,28	2,58	3,70	6,17	2,57
P1A	1,81	1,31	1,84	2,74	1,78
P2V	1,45	1,65	1,19	1,48	1,72
P2H	1,60	1,95	1,87	2,10	1,85
P2A	1,40	1,57	1,30	1,64	1,58

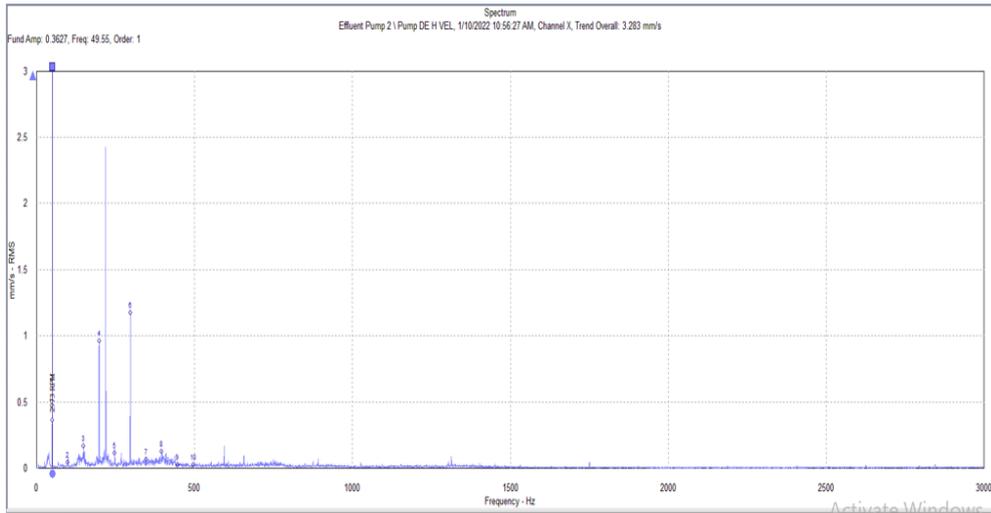
Berdasarkan dari tabel 5 di atas diketahui bahwa pada titik pengukuran *inboard (DE/drive end)* pompa memiliki nilai dimana arah vertikal, horisontal dan aksial sudah masuk dalam kategori pengoperasian untuk jangka panjang masih diperbolehkan.

A. Analisis Velocity Spectrum

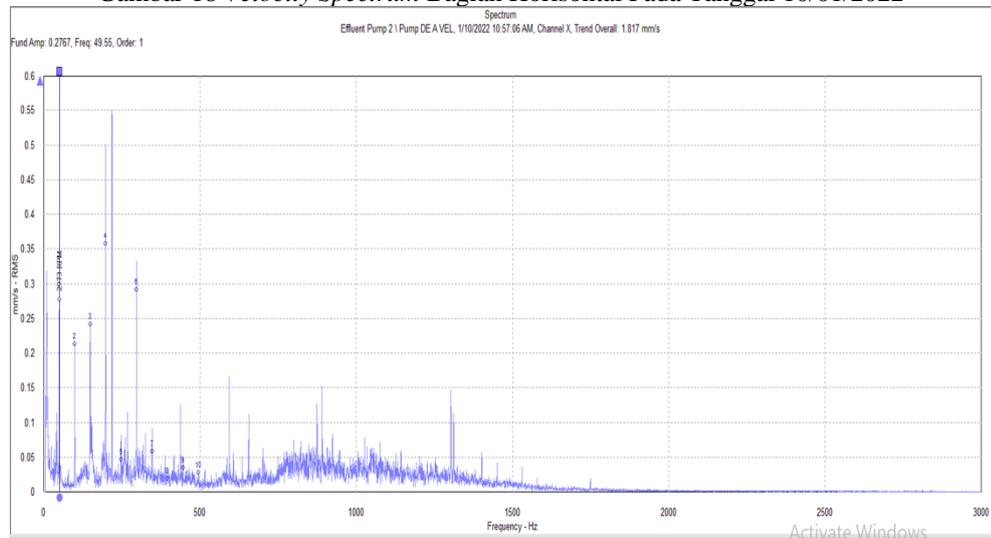
Berikut ini hasil analisis *velocity spectrum* pada titik pengukuran *inboard (DE/drive end)* baik arah vertikal, horisontal dan aksial saat bantalan poros (*bearing*) kondisi normal di tanggal 10/01/2022.



Gambar 17. Velocity Spectrum Bagian Vertikal Pada Tanggal 10/01/2022



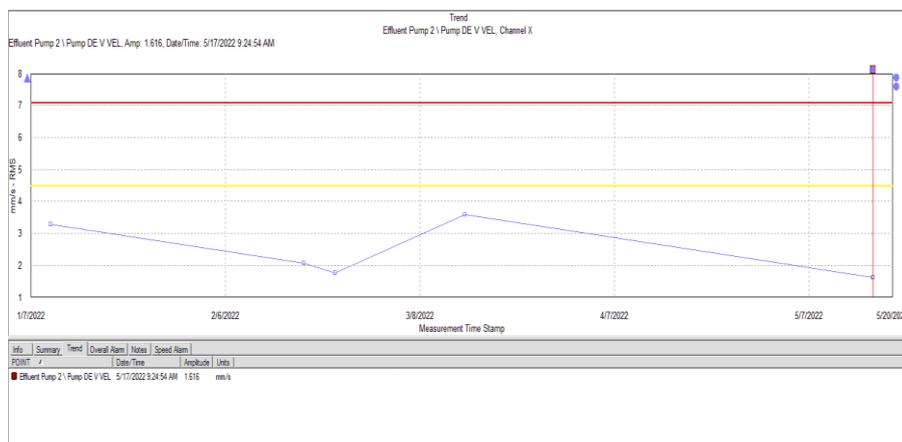
Gambar 18 Velocity Spectrum Bagian Horisontal Pada Tanggal 10/01/2022



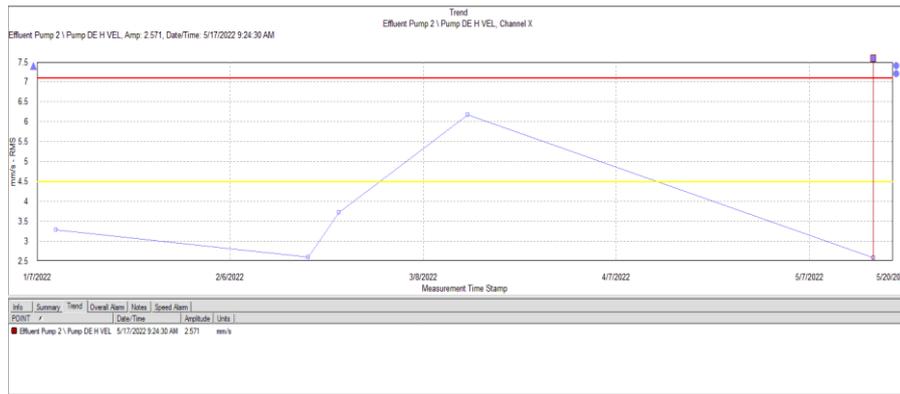
Gambar 19 Velocity Spectrum Bagian Aksial Pada Tanggal 10/01/2022

Pada gambar 17 hasil analisis sinyal vibrasi *velocity* pada bagian vertikal terlihat adanya spektrum yang random yang menunjukkan bahwa *bearing* tidak ada indikasi kerusakan. Pada gambar 18 hasil analisis sinyal vibrasi *velocity* pada bagian horisontal terlihat adanya spektrum yang random yang menunjukkan bahwa *bearing* tidak ada indikasi kerusakan. Pada gambar 19 hasil analisis sinyal vibrasi *velocity* pada bagian aksial terlihat adanya spektrum yang random yang menunjukkan bahwa *bearing* tidak ada indikasi kerusakan.

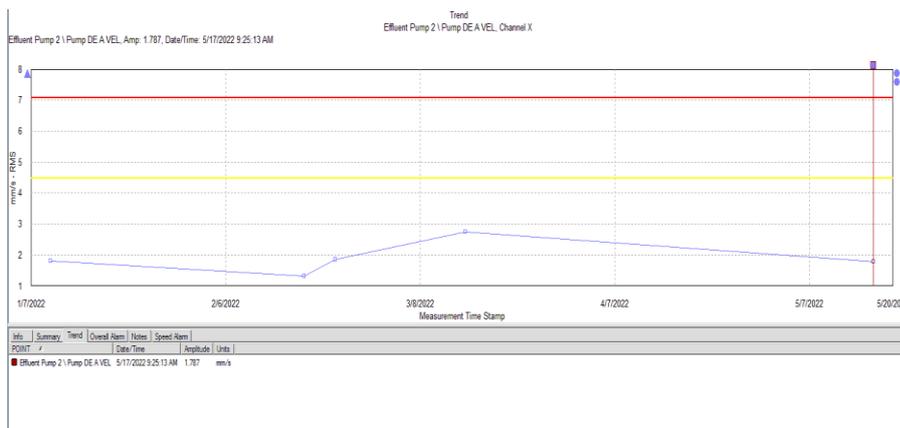
Berikut ini akan ditampilkan *trending* data analisis *velocity* untuk *bearing* yang baru pada pompa SP039 bagian *inboard* baik arah vertikal, horisontal maupun aksial di bawah ini:



Gambar 20 Trending Vibrasi Velocity Bagian Vertikal



Gambar 21 Trending Vibrasi Velocity Bagian Horizontal

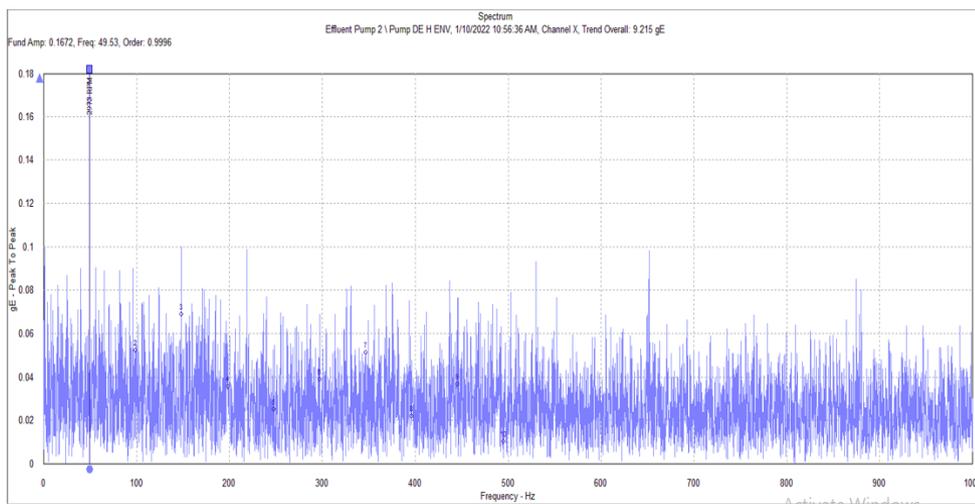


Gambar 22 Trending Vibrasi Velocity Bagian Aksial

Nilai *overall velocity* mengalami penurunan dari yang sebelumnya terlihat dari *trending data* analisis *velocity* pada gambar 20, 21 dan 22 dan nilai *overall* tersebut sudah dibawah standar alarm yang diijinkan dalam *trending* tersebut yakni sebesar 4,5 mm/s.

3.5 Analisis Enveloping Spectrum

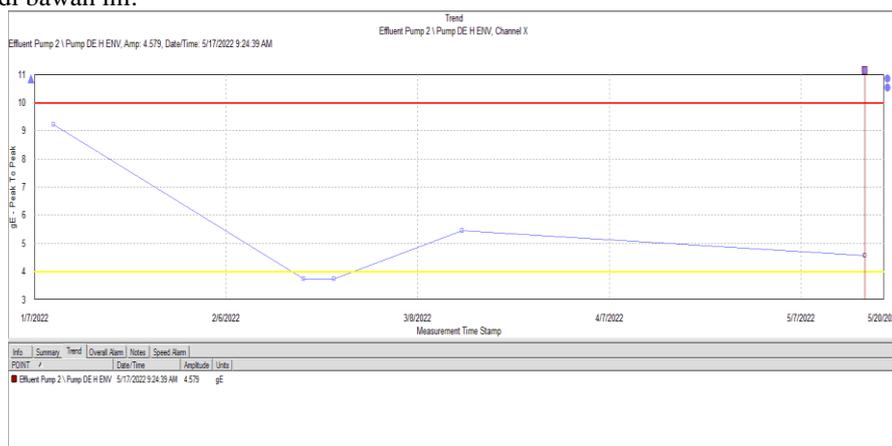
Berikut ini hasil analisis *enveloping spectrum* pada titik pengukuran *inboard* (DE/*drive end*) saat bantalan poros (*bearing*) kondisi normal di tanggal 10/01/2022.



Gambar 23 Enveloping Spectrum Pada Tanggal 10/01/2022

Pada gambar 23 sinyal vibrasi *enveloping* pada *bearing* setelah dilakukan penggantian di bagian *inboard* pompa terlihat adanya spektrum yang random atau tidak adanya puncak (*peak*) pada frekuensi 49,55 Hz yang berarti menunjukkan bahwa *bearing* tidak terjadi adanya indikasi kerusakan.

Berikut ini akan ditampilkan *trending* data analisis *enveloping* untuk *bearing* yang baru pada pompa SP039 bagian *inboard* di bawah ini:



Gambar 24 Trending Data Analisis Enveloping Pada Bearing Baru

Dari gambar 24 di atas, nilai *overall enveloping* mengalami penurunan terlihat dimana nilai *overall* yang sebelumnya 9,215 gE (10/01/2022) menurun menjadi 4,579 gE (17/05/2022) yang mana nilai tersebut masih melebihi standar alarm yang diijinkan dalam *trending* tersebut yakni sebesar 4 gE akan tetapi masih masuk dalam kondisi pengoperasian jangka waktu yang panjang dibandingkan dengan awal *bearing* saat mengalami cacat.

4. KESIMPULAN

Dari analisis data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal SP039 bagian *inboard* di tanggal 15/11/2021 dengan menggunakan analisis sinyal vibrasi *velocity* adalah adanya kelonggaran mekanik (*mechanical looseness*) pada bagian vertikal, adanya ketidakseimbangan (*unbalance*) pada bagian horisontal, serta pada bagian aksial adanya ketidaklurusan angular (*angular misalignment*) dan poros bengkok (*bent shaft*).
2. Hasil analisis sinyal vibrasi *enveloping* di tanggal 15/11/2021 saat *bearing* mengalami kerusakan adalah BPF (Ball Pass Frequency Inner), BSF (Ball Spin Frequency) dan FTF (Fundamental Train Frequency) yaitu cacat lokal pada pemisah (*cage*). *Bearing* yang mengalami kerusakan memiliki nilai *overall enveloping* yang tinggi yaitu 29,62 gE sedangkan *bearing* yang normal/sudah mengalami perbaikan memiliki nilai *overall enveloping* yaitu 4,579 gE akan tetapi masih masuk dalam kondisi pengoperasian jangka waktu panjang yang mana dapat diamati dari *trending* data analisis *enveloping*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Einsenmann, Robert C, Sr, P.E, 1997, "Machinery Diagnostic and Correction: Vibration Analysis and Troubleshooting for Process Industries", USA, Pretince Hall.
- [2] Berry, James, E. P.E, 2002, "Predictive Maintenance and Vibration Signature Analysis I", North Carolina, Technical Associated of Charlotte.
- [3] Berry, James, E. P.E, 1997, "Predictive Maintenance and Vibration Signature Analysis II", North Carolina, Technical Associated of Charlotte.
- [4] Scheffer, Cornelius, Ph.D., M.Eng, et all, 2004, "Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance", New York, Newness.
- [5] Vierck, Robert K, 1995, "Analisis Getaran", Manaf, Dicky Rezady, (terj.), Jakarta, Eresco.
- [6] Mobius Institute, 2005, "Vibration Training Quick Refrence", Victoria.
- [7] Sularso, 2004, "Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan", Jakarta, PT Pradnya Paramita.
- [8] Abdul Hamid, 2011, "Praktikal Vibrasi Mekanik Teori dan Praktik", Jakarta, Graha Ilmu.
- [9] Robert Bond Randall, 2011, "Vibration Based Condition Monitoring", Australia, University of New South Wales.
- [10] Haryadi, 2012, "Modul Pelatihan Analisis Vibrasi", Bandung, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung.
- [11] Mobley, R. Keith, 1999, "Vibration Fundamentals, Plant Engineering Maintenance Series", Boston, Newness Butterworth Heinemann.
- [12] Mc. Connell, Kenneth G, 1996, "Vibration Testing Theory and Practice", New York, John Willey & Sons Inc.
- [13] Higgins, Lindley R, 1995, "Maintenance Engineering Handbook", New York, McGraw-Hill.
- [14] Bagus Setiawan, Dimas, 2011, "Perawatan Mesin Dengan Metode Vibration Analysis", Malang, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang.
- [15] Pruftechnik, 2004, "Condition Monitoring & Vibration Fundamentals", Jakarta, PT Putranata Adi Mandiri.