

ANALISIS SINYAL VIBRASI UNTUK MENDETEKSI KERUSAKAN *INNER BEARING* MOTOR *GOVERNOR OIL PUMP* DI PLTA LODOYO

Abid Muhammad Alfath

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: abid.20005@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

PLTA Lodoyo merupakan pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas 4.5 MW sebagai penyedia listrik untuk wilayah Blitar dan sekitarnya. Pada *Pressure Oil System* PLTA Lodoyo terdapat Motor *Governor Oil Pump* yang berfungsi menyuplai oli bertekanan yang berada di *sump tank* menuju *pressure tank*. Apabila dalam sistem mekanik seperti motor menggunakan elemen *bearing*, maka indikasi kerusakan pada motor dapat ditentukan berdasarkan frekuensi getaran yang dihasilkan oleh *bearing*. *Predictive maintenance* dalam bentuk *vibration monitoring* dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada *bearing* motor *governor oil pump*. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan memperoleh karakteristik getaran motor *governor oil pump* yang ditimbulkan oleh kerusakan *ball pass frequency inner* (BPFI). Pemantauan kondisi mesin secara umum dibutuhkan data spektrum getaran. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer* berdasarkan standar ISO 2372 dan ISO 10816-3 dengan kondisi putaran poros motor 1450 RPM, daya 18,5 kW serta pengukuran pada arah aksial, horizontal dan vertikal. Hasil dari penelitian ini yaitu terdapat pengaruh getaran yang dihasilkan dari kerusakan BPFI. Karakteristik getaran kerusakan BPFI akan muncul kenaikan amplitudo *getaran* pada frekuensi fundamental yang sama dari ketiga arah yaitu di 125 Hz dengan nilai tertinggi 0.093 mm/s pada arah vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai amplitudo getaran yang dihasilkan berada pada kategori aman berdasarkan ISO 2372 dan ISO 10816-3.

Kata Kunci: *Predictive Maintenance, Vibration Monitoring, BPFI.*

Abstract

PLTA Lodoyo is a hydro electric power plant with capacity of 4.5 MW to provide electricity in Blitar and surroundings. In the *Pressure Oil System* of PLTA Lodoyo there is a *Motor Governor Oil Pump* which functions to supply pressurized oil in the *sump tank* to the *pressure tank*. If in a mechanical system such as a motor using bearing elements, the indication of motor damage can be determined based on the vibration frequency by the bearing. *Predictive maintenance* in the form of *vibration monitoring* is carried out to determine the damage that occurs in the motor *governor oil pump bearing*. This research is experimental study. The purpose of this research is to obtain the vibration characteristic of the *governor oil pump motor* caused by *ball pass frequency inner* (BPFI) defect. General machine condition monitoring requires of a vibration spectrum graph. Measurement using the Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer* based on ISO 2372 and ISO 10816-3 standards with motor shaft rotation 1450 RPM, 18.5 kW power and measurements in the axial, horizontal dan vertical directions. The result of this research is the effect of vibration result from BPFI defect. The characteristic vibration of BPFI defect will show an increase vibration amplitude at the same fundamental frequency from all three direction, which is at 125 Hz with the highest value of 0.093 mm/s in the vertical direction. The research result indicate that vibration amplitude value is in the safe category according to ISO 2372 and ISO 10816-3.

Keywords: *Predictive Maintenance, Vibration Monitoring, BPFI.*

PENDAHULUAN

PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Brantas adalah perusahaan yang bergerak pada bidang pembangkitan listrik yang terletak di Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang dan mempunyai 13 PLTA yang tersebar di Malang, Blitar, Tulungagung, Madiun dan Ponorogo. Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Lodoyo adalah salah satu unit pembangkitan listrik yang berada di bawah naungan PT PLN Nusantara Power UP Brantas yang memiliki kapasitas 4.5 MW dan berlokasi di Dusun Serut Desa Gogodeso Kecamatan Kanigoro Kabupaten Blitar. PLTA Lodoyo berperan

penting bagi penyedia listrik untuk wilayah Kota Blitar dan sekitarnya yang disalurkan langsung ke Gardu Induk Blitar Baru.

Pressure Oil System berfungsi sebagai sirkulasi oli bertekanan yang digunakan untuk membuka katup *water supply* dan katup *oil pressure*, mensupply ke sistem pengereman poros turbin, mengunci *guide vane* serta menggerakkan *runner vane*. Salah satu komponen *pressure oil system* tersebut adalah *governor oil pump*. *Governor oil pump* harus beroperasi dalam kondisi yang baik untuk pengisapan oli dari *sump tank pressure* untuk didorong atau dipompakan ke *pressure oil tank* (POT) dan *emergency pressure oil tank* (EPOT) sebagai *supply* oli ke

poros turbin dan *guide vane* sehingga berfungsi dalam proses *rolling*. *Motor governor oil pump* berfungsi memompa oli bertekanan menuju *guide vane* dan poros turbin. Elemen motor itu sendiri umumnya menggunakan *bearing* untuk mendukung putaran pada saat beroperasi. Apabila dalam sistem mekanik seperti motor menggunakan elemen *bearing*, maka indikasi kerusakan pada motor dapat ditentukan berdasarkan frekuensi getaran yang dihasilkan oleh *bearing*.

Analisis getaran atau vibrasi sangat penting karena dapat berfungsi sebagai indikator untuk mengidentifikasi masalah mekanis. Kerusakan yang mungkin terjadi meliputi *unbalance*, *misalignment*, *mechanical looseness*, poros bengkok, kerusakan *bearing*, keausan *gear*, kavitasi, dan resonansi pada peralatan yang berputar. Pemantauan getaran untuk menganalisis kerusakan menjadi salah satu faktor penting dalam mengurangi potensi getaran berlebih pada *governor oil pump*.

Pencegahan yang dapat dilakukan untuk *governor oil pump* yaitu dengan bentuk perawatan, dimana dilakukan *predictive maintenance* pada motor dengan pemantauan getaran atau *vibration monitoring*. *Predictive maintenance* adalah perawatan dengan melakukan monitoring pada mesin sehingga dapat menganalisa dan memprediksi kondisi yang sedang terjadi tanda-tanda atau gejala kerusakan sehingga dapat menentukan kapan tindakan perawatan harus dilakukan dan suku cadang apa yang harus disediakan.

METODE

Dalam penelitian ini digunakan metode kuantitatif dengan studi eksperimen. Metode penelitian ini dipilih guna meneliti karakteristik getaran yang diakibatkan kerusakan pada lintasan dalam *bearing*.

Waktu dan Tempat Penelitian

- Waktu Penelitian
Penelitian dilaksanakan pada 2 Mei hingga 28 Juni 2024
- Tempat Penelitian
Penelitian dilaksanakan di PLTA Lodoyo PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Brantas

Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *bearing* NACHI 6208 pada motor *governor oil pump* dengan kerusakan pada elemen lintasan dalam dan dilakukan pengukuran getaran.



Gambar 1. Bearing NACHI 6208

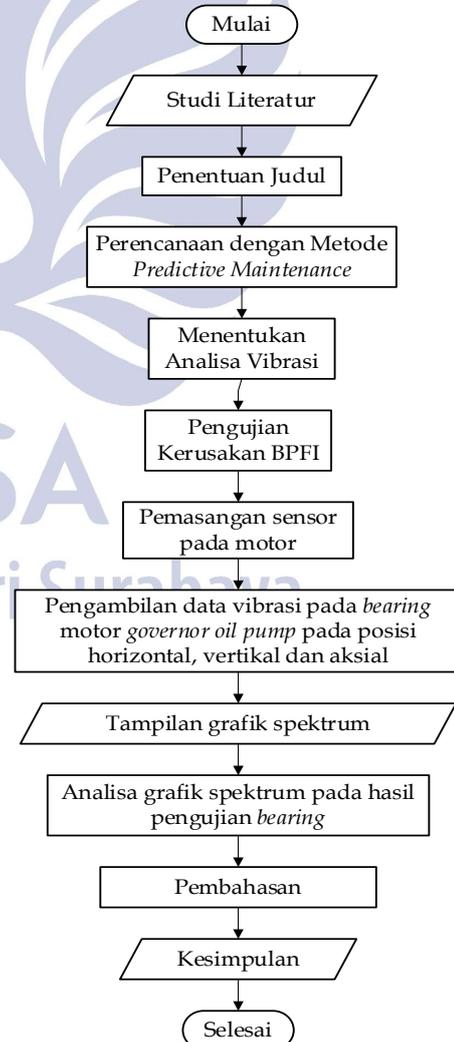


Gambar 2. Kerusakan pada Lintasan Dalam

Variabel

- Variabel Bebas (Independen)
Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerusakan *bearing* pada elemen lintasan dalam.
- Variabel Terikat
Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah karakteristik getaran yang dihasilkan oleh *bearing* kerusakan lintasan dalam.
- Variabel Kontrol
Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah RPM motor *governor oil pump* 1450, suhu motor 42°C dan spesifikasi *bearing single deep groove ball* dengan kode 6208 serta pengujian dilakukan di PLTA Lodoyo

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Proses Pengambilan Data

Tahap persiapan pengujian

- Mempersiapkan *bearing* NACHI 6208 dalam kondisi baru sebanyak 3 buah.
- Melakukan perusakan terhadap elemen lintasan dalam *bearing* menggunakan *reamer*.
- Mempersiapkan motor yang akan digunakan.
- Mempersiapkan dudukan motor sesuai dengan kondisi sebenarnya pada saat beroperasi.
- Memasang motor pada dudukan yang telah dibuat.
- Penggantian *bearing* dilakukan secara bergantian setelah pengambilan data.

Tahap Persiapan AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*

- Menginformasikan ke teknisi pada saat akan melakukan pengambilan data.
- Aktifkan AMS 2140 dengan menekan tombol *power*.
- Tunggu hingga alat menampilkan layar awal AMS 2140.
- Untuk mengganti peralatan yang diinginkan dalam pengambilan data vibrasi maka tekan tombol **ALT**.
- Pilih *Route Management* dengan menekan F9.
- Mencari lokasi PLTA Lodoyo dengan menekan tombol **F8** untuk pindah ke atas, tombol **F9** untuk pindah ke bawah dan **F3** atau *activate route* pada *touchscreen* untuk membuka *route* yang diinginkan.
- Tekan *Equipment List*.
- Cari peralatan *Governor Oil Pump* dengan menekan **F8** / **F9**, sedangkan untuk menentukan titik pengambilan data tekan tombol **F11** / **F12**. Jika semua titik ingin diukur, maka langsung tekan **F2** (*activate equip*).
- Hubungkan kabel sensor dengan AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*.
- Tekan tombol **F12** untuk mengambil data dan tombol **F1** / **F7** untuk melanjutkan titik yang akan diukur.
- Lakukan pengambilan data pada semua titik hingga habis dalam satu peralatan. AMS 2140 ini akan langsung berganti ke titik berikutnya setelah pengambilan data suatu titik selesai.

Tahap Pengambilan Data

- Memeriksa dan memastikan kondisi motor dalam kondisi sesuai yang diinginkan.
- Mur dan baut pada motor dan dudukan diperiksa kekencangannya.
- Motor diperiksa apakah beroperasi dengan normal.
- Memasang sensor alat ukur AMS 2140 pada motor dengan posisi vertikal, horizontal dan aksial.
- Pastikan titik pengukuran dalam kondisi bersih dan kering dan hindari hentakan keras pada saat meletakkan sensor.
- Siapkan alat ukur AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*.
- Pengambilan data sesuai dengan titik-titik yang telah ditentukan yaitu pada posisi Motor *Outboard* horizontal, vertikal dan aksial.

Tahap Pengolahan Data

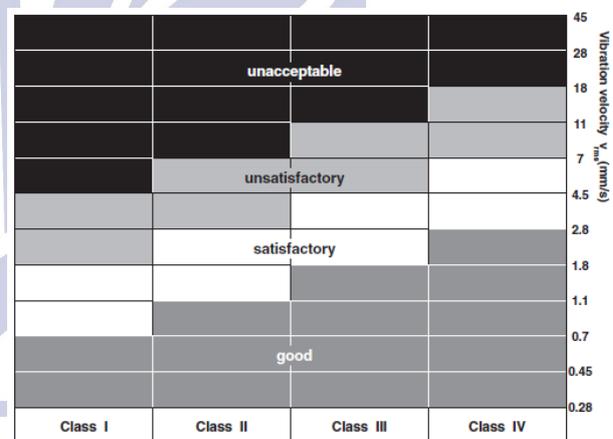
- Menyiapkan kabel konektor AMS 2140 (*Micro USB*), AMS 2140 dan Laptop atau PC yang telah terinstall *software* AMS *Machinery Manager*.
- Memasang kabel konektor ke alat AMS 2140.

- Sambungkan kabel konektor ke Laptop atau PC.
- Buka *software* AMS *Machinery Manager*.
- Aktifkan AMS 2140 dengan menekan tombol *power*, kemudian Tekan tombol **ALT**.
- Tekan **F7** *Connect for Transfer*.
- Pastikan sambungan kabel konektor antara AMS 2140 dan Laptop terpasang dengan benar.
- Tekan **F8** untuk memindahkan data ke Laptop (*dump data*).
- Mencari frekuensi yang sesuai dengan persamaan BPFO.
- Melakukan analisa terhadap grafik tersebut.

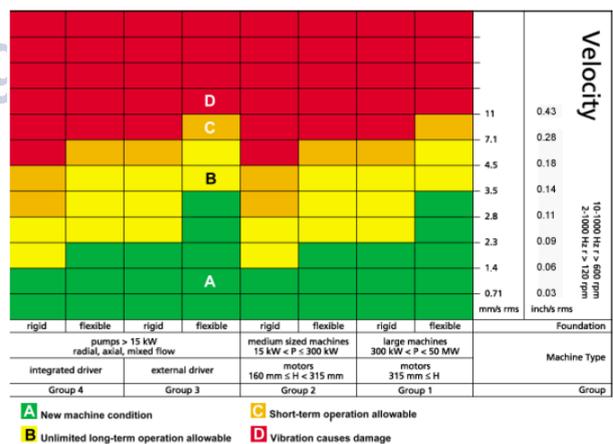
Teknik Analisa Data

Teknik analisa data yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode deskripsi, dimana data hasil dari pengujian akan diuraikan atau dideskripsikan secara terstruktur, objektif serta akurat menurut data yang telah didapatkan pada saat pengujian berlangsung.

Prosedur ini dibutuhkan data berupa *vibrasi velocity* dengan satuan mm/s, digunakan untuk mengetahui kondisi umum kelayakan motor *governor oil pump* yang beroperasi berdasarkan ISO 2372 dan ISO 10816-3, serta frekuensi dalam satuan Hz pada rentang frekuensi 10 Hz-200 Hz digunakan untuk memastikan kerusakan pada lintasan luar *bearing*.



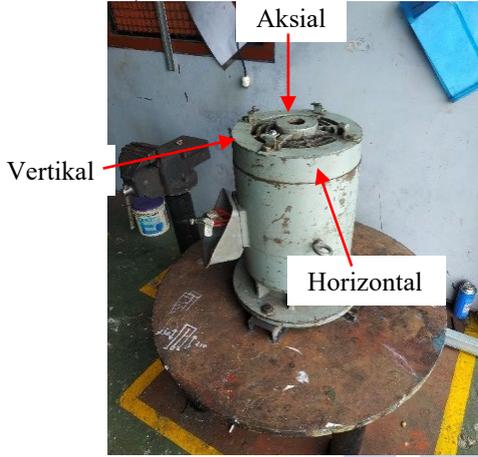
Gambar 4. ISO 2372 : 1974



Gambar 5. ISO 10816-3 : 2009

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan ini telah dilakukan pengambilan data dengan melakukan pengukuran vibrasi dari tiga arah yaitu aksial (sejajar dengan poros motor), horizontal (sejajar dengan arah *output* oli) dan vertikal 9 (tegak lurus dengan horizontal 90°).



Gambar 6. Arah Pengukuran Sensor

Untuk mengkonfirmasi bahwa amplitudo getaran yang terjadi pada pengukuran *bearing* motor *governor oil pump* dengan kerusakan lintasan dalam sesuai dengan frekuensi kerusakan lintasan dalam, maka digunakan persamaan BPFi sebagai berikut:

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

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

$$BPFi = \frac{9}{2} \times \frac{1450}{60} \times \left(1 + \frac{12}{60} \times \cos 0^\circ \right)$$

$$BPFi = 108.765 \times (1 + 0.2 \times 1)$$

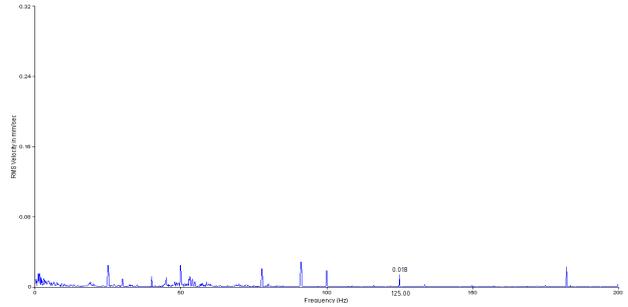
$$BPFi = 108.765 \times 1.2$$

$$BPFi = 130.518 \text{ Hz}$$

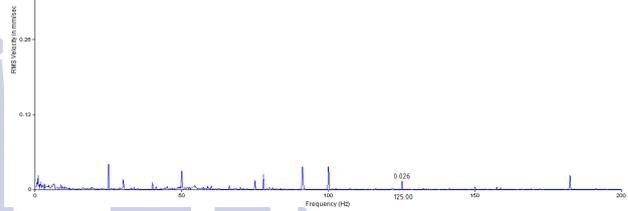
dimana:

- Fr (Frekuensi Motor) : 1450 rpm : 60 = 24.17 Hz
- Nb (Jumlah Bola) : 9 buah
- Bd (Diameter Bola) : 12 mm
- Pd (Diameter Pitch) : 60 mm
- Cos α : 0°

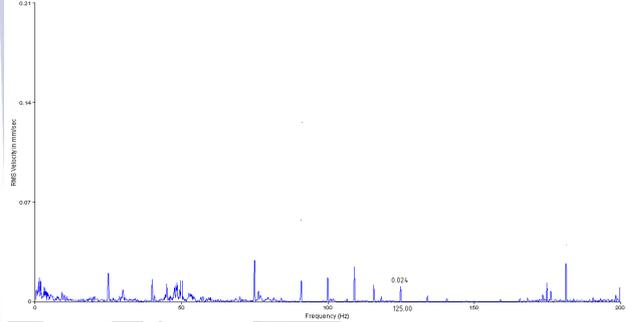
Berdasarkan Gambar 7 hingga Gambar 9 didapatkan hasil pengukuran BPFi dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah aksial menunjukkan bahwa adanya kenaikan amplitudo getaran yang terjadi dominan berada pada frekuensi 125 Hz dengan perbedaan nilai amplitudo getaran. Pengukuran pada *bearing* 1 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.018 mm/s, pada *bearing* 2 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.026 mm/s dan pada *bearing* 3 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.024 mm/s. Nilai amplitudo getaran pengukuran arah aksial tertinggi terjadi pada pengukuran *bearing* 3.



Gambar 7. BPFi Aksial Bearing 1

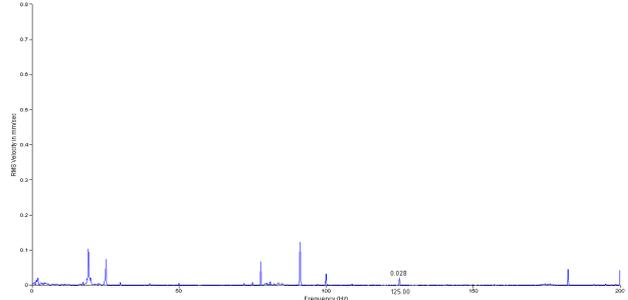


Gambar 8. BPFi Aksial Bearing 2

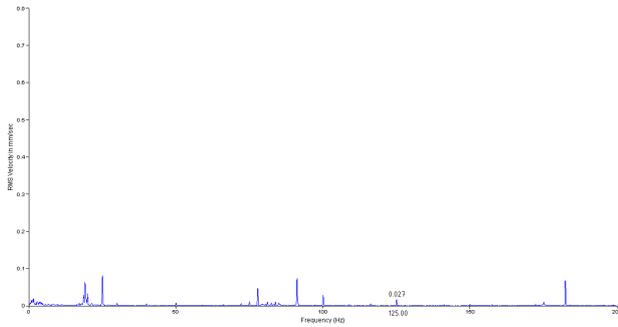


Gambar 9. BPFi Aksial Bearing 3

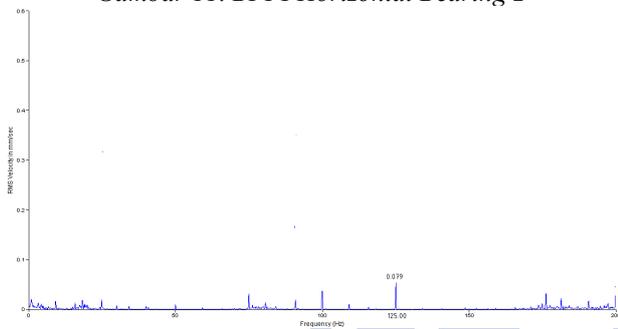
Kemudian berdasarkan Gambar 10 hingga Gambar 12 didapatkan hasil pengukuran BPFi dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah horizontal menunjukkan bahwa adanya kenaikan amplitudo getaran yang terjadi dominan juga berada pada frekuensi 125 Hz dengan perbedaan nilai amplitudo getaran. Pengukuran pada *bearing* 1 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.028 mm/s, pada *bearing* 2 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.027 mm/s dan pada *bearing* 3 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.079 mm/s. Nilai amplitudo getaran pengukuran arah horizontal tertinggi terjadi pada pengukuran *bearing* 3.



Gambar 10. BPFi Horizontal Bearing 1

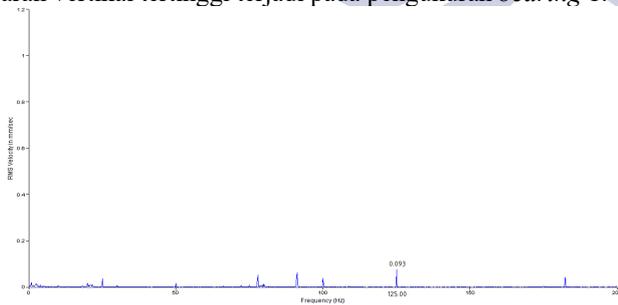


Gambar 11. BPFH Horizontal Bearing 2

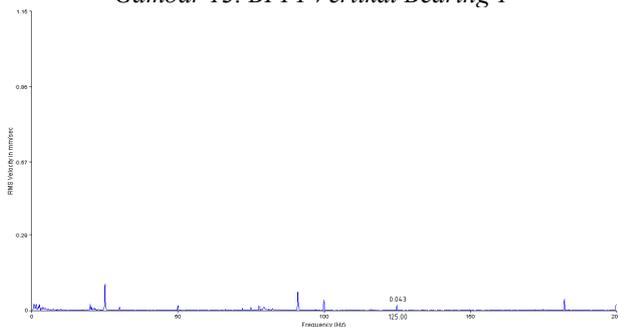


Gambar 12. BPFH Horizontal Bearing 3

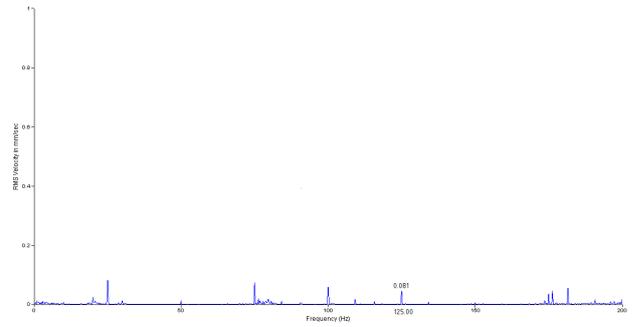
Sedangkan berdasarkan Gambar 13 hingga Gambar 15 didapatkan hasil pengukuran BPFH dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah vertikal menunjukkan bahwa adanya kenaikan amplitudo getaran yang terjadi dominan juga berada pada frekuensi 125 Hz dengan perbedaan nilai amplitudo getaran. Pengukuran pada *bearing* 1 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.093 mm/s, pada *bearing* 2 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.043 mm/s dan pada *bearing* 3 mendapatkan nilai amplitudo getaran 0.081 mm/s. Nilai amplitudo getaran pengukuran arah vertikal tertinggi terjadi pada pengukuran *bearing* 1.



Gambar 13. BPFV Vertikal Bearing 1



Gambar 14. BPFV Vertikal Bearing 2



Gambar 15. BPFV Vertikal Bearing 3

Diketahui hasil perhitungan frekuensi pada lintasan dalam (BPFH) yaitu 130.518 Hz. Jika berdasarkan hasil pengukuran yaitu 125 Hz, maka frekuensi ini terkonfirmasi merupakan frekuensi lintasan dalam pada motor *governor oil pump* karena masih berada pada area BPFH. Nilai amplitudo getaran tertinggi yang didapatkan dari pengukuran BPFH yaitu pada *bearing* 1 arah pengukuran vertikal dengan nilai 0.093 mm/s.

Tabel 1. Hasil Pengukuran BPFH

Bearing	Velocity (mm/s)		
	Aksial	Horizontal	Vertikal
Pertama	0.018	0.028	0.093
Kedua	0.026	0.027	0.043
Ketiga	0.024	0.079	0.081

Berdasarkan ISO 2372, motor *governor oil pump* dengan daya output 18.5 kW berada pada kategori mesin kelas II dengan daya output 15 kW hingga 75 kW, sehingga hasil pengujian *bearing* dengan kerusakan lintasan dalam didapatkan bahwa kondisi *good* yaitu getaran mesin sangat baik dan lebih rendah dari batas (< 1.1 mm/s) (Gambar 4). Sedangkan berdasarkan ISO 10816-3, motor *governor oil pump* berada pada kategori grup 2 yaitu mesin berukuran sedang dengan daya mesin diantara 15 kW hingga 300 kW dengan pondasi kaku, sehingga hasil pengujian *bearing* dengan kerusakan lintasan dalam didapatkan bahwa kondisi warna hijau (A) yaitu mesin dalam kondisi aman (< 1.4 mm/s) (Gambar 5).

Hasil analisis spektrum getaran dari ketiga *bearing* dengan kerusakan lintasan dalam yang diambil dari sisi aksial, horizontal dan vertikal menunjukkan adanya kenaikan amplitudo getaran pada frekuensi fundamental yang sama yaitu 125 Hz dan masih berada pada area BPFH yaitu 130.518 Hz. Nilai amplitudo getaran yang dihasilkan dari kerusakan lintasan dalam ini berkisar antara 0.018 mm/s hingga 0.093 mm/s. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi kontak yang tidak normal antara lintasan dalam dan elemen bola. Nilai amplitudo getaran pada kerusakan BPFH terlihat lebih kecil karena pengaruh dari gaya sentrifugal yang mengakibatkan pada saat *bearing* berputar bola terlempar ke arah luar sehingga mengurangi kontak dengan lintasan dalam. Namun demikian, amplitudo getaran yang muncul pada frekuensi 125 Hz tetap terlihat pada semua spesimen *bearing* yang diteliti pada kerusakan lintasan dalamnya. Hasil ini menunjukkan bahwa karakteristik getaran pada *bearing* motor *governor oil pump* dengan kerusakan BPFH akan menunjukkan amplitudo getaran yang dominan pada frekuensi fundamental yaitu berada kisaran 125 Hz.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada karyawan PLTA Lodoyo Agus Purnomo selaku kepala *engineer* mesin, Ali Miftahudin selaku *helper* mesin, Yudi Prasetyo selaku *helper* listrik, Sugiono selaku admin unit dan gudang serta Isa Hafidz Farady selaku teknisi getaran PT PLN UP Brantas yang telah membantu penulis selama proses penelitian ini.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan pengukuran vibrasi pada *bearing motor governor oil pump* yang mengalami kerusakan pada lintasan dalam (BPF) akan menghasilkan karakteristik getaran yang sama pada arah aksial, horizontal dan vertikal yaitu kenaikan amplitudo getaran yang dominan pada frekuensi 125 Hz. Jika berdasarkan perhitungan yaitu 130.518 Hz, namun hasil dari pengukuran menunjukkan amplitudo getaran yang dominan masih berada pada area tersebut. Nilai amplitudo getaran tertinggi pada pengujian ini yaitu 0.093 mm/s pada *bearing 1* dengan arah pengukuran vertikal. Berdasarkan ISO 2372 dikategorikan pada *good* dengan klasifikasi mesin Kelas II yang artinya getaran mesin sangat baik dan lebih rendah dari batas. Sedangkan berdasarkan ISO 10816-3, dikategorikan pada daerah warna hijau dengan klasifikasi mesin Grup 2 *Rigid* yang artinya mesin dalam kondisi aman. Hal ini dapat menjadi perhatian penting untuk selalu memperhatikan kondisi *bearing* pada motor *governor oil pump* dengan melakukan *monitoring* secara rutin sehingga dapat menjaga kondisi mesin dan mencegah terjadinya kerusakan yang lebih besar dan dapat merugikan dalam segi waktu dan biaya yang tinggi.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis dapat memberikan beberapa saran untuk penelitian berikutnya yaitu:

- Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pada kerusakan elemen lain.
- Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambah tingkat kerusakan 2 kali hingga 4 kali untuk mengetahui seberapa parah kerusakan elemen *bearing* apabila mesin mencapai zona jingga atau lebih berdasarkan ISO.
- Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk jenis *bearing* yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, G. Z., & Sujana, I. W. (2017). Deteksi Kerusakan *Bearing* pada *Condensate Pump* dengan Analisis Sinyal Vibrasi. Institut Teknologi Nasional Malang.

Alfalah, W. dkk. (2018). *Pemeliharaan Preventif Pompa Vakum STG PLTGU Unit 1 Tambak Lorok Semarang*. Jurnal PowerPlant: Vol. 6 No. 2, 117 – 138.

Alsalaet, J. (2012). *Vibration Analysis and Diagnostic Guide*. Irak: University of Basrah.

Berry, J. E. (1997). *Predictive Maintenance and Vibration Signature Analysis II: Concentrated Vibration Signature Analysis and Related Condition*

Monitoring Techniques. USA: Technical Associated of Charlotte, P.C.

Busono, P & Pujiarta, S. (2021). *Analisis Penyebab Terjadinya Vibrasi Pompa Sistem Pendingin Sekunder PA-02 AP001*. Serpong: Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir (*Bulletin of Nuclear Reactor Management*) Vol. XVIII No. 1, 40 – 50.

Carnegie, N. dkk. (2020). *Analisa Level Getaran Cooling Pump 1 Jenis Sentrifugal*. Rekayasa Mekanik: Vol. 4 No. 1, 25 – 32.

Cerrada, M. et al. (2018). *A Review on Data Driven Fault Severity Assessment in Rolling Bearings*. Mechanical System and Signal Processing Volume 99. 169-196. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.06.012>.

Garg, H. P. (1976). *Industrial Maintenance*. New Delhi: S. Chand & Company. Ltd.

Hidayat, W. (2019). *Prinsip Kerja dan Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)*. INA-Rxiv Papers. doi:10.31227/osf.io/drv58.

Higgins, L. R. & Mobley, R. K. (2002). *Maintenance Engineering Handbook*. Amerika Serikat: McGraw-Hill.

Kusuma, M. R. H. (2016). *Laporan Kerja Praktik PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Brantas : PLTA Lodoyo*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Mobley, K. (2008). *Aktifitas Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.

Nasution, M. dkk. (2021). *Manfaat Perlunya Manajemen Perawatan Untuk Bengkel Maupun Industri*. Buletin Utama Teknik: Vol. 16, No. 3, 248 – 252.

Nurhadian, D. (2021). *Analisis Pengaruh Guide Vane Open (GVO) Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)*. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Pranowo, I. D. (2019). *Sistem dan Manajemen Pemeliharaan (Maintenance: System and Management)*. Yogyakarta: Deepublish.

Pruftechnik. (2004). *Condition Monitoring & Vibration Fundamentals*. Jakarta: PT. Putranata Adi Mandiri.

Rianto, E. (2016). *Analisis Vibrasi untuk Mendeteksi Kerusakan pada Turbin Uap UBB Pabrik III PT Petrokimia Gresik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sumitomo Corp. (1981). *Generating Equipment for Lodoyo Power Station*. Tokyo: Meidensha Electric MFG. CO. LTD.

Toshiba. (1984). *Operation and Maintenance Manual for Turbine and Auxiliaries Lodoyo Power Station*. Tokyo: Toshiba Corp.

Yustin, A. P. (2021). *Analisis Sinyal Getaran pada Mesin Berputar Menggunakan Metode Failure Analysis*. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri.