

ANALISIS VIBRASI UNTUK MENDETEKSI KERUSAKAN *IMPELLER WATER SUPPLY PUMP* DI PLTA LODOYO

Dinda Naufal Solikhin

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: dinda.20025@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

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

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Air Lodoyo adalah salah satu unit pembangkit listrik yang dinaungi oleh PT PLN Nusantara Power UP Brantas yang memiliki kapasitas 1 x 4.5 MW, PLTA Lodoyo memiliki peran yang sangat penting sebagai penyedia listrik di wilayah Kabupaten Blitar. *Water supply pump* adalah bagian peralatan bantu pada *water cooling system* yang ada di PLTA Lodoyo, *water colling system* sendiri digunakan untuk pendinginan minyak pelumasan yang digunakan untuk *lubricating oil system*. Fungsi *water supply pump* digunakan untuk mensirkulasikan air ke dalam pipa-pipa pendingin pada *Oil cooler* dan *Sump Tank pressure*. *Water supply pump* adalah salah satu *equipment* yang perlu dimonitor agar proses produksi tidak terhambat. Salah satu cara untuk mengetahui keadaan pompa secara berkala adalah dengan melakukan perawatan prediktif dalam bentuk *vibration monitoring*. Dengan melakukan *vibration monitoring*, karakteristik getaran yang berasal dari kerusakan *impeller* dapat diketahui. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Hasil Penelitian ini menunjukkan *impeller water supply pump* yang mengalami kerusakan karena abrasi akan menghasilkan karakteristik getaran dengan amplitudo dominan pada 23.5 Hz, nilai amplitudo tertinggi yang terukur pada pengujian *impeller* 1 pada arah horizontal yaitu 2.642 mm. Hal itu terjadi dikarenakan terdapat kerusakan pada *blade impeller* yang diakibatkan oleh kerusakan abrasi.

Kata Kunci: Water supply pump, impeller, vibration monitoring, AMS 2140 Machinery Health Analyzer, ISO 10816-3

Abstract

Lodoyo Hydroelectric Power Plant is one of the power generation units under the auspices of PT PLN Nusantara Power UP Brantas which has a capacity of 1 x 4.5 MW, Lodoyo Hydroelectric Power Plant has a very important role as a provider of electricity in the Blitar Regency area. The water supply pump is part of the auxiliary equipment in the water cooling system in Lodoyo Hydroelectric Power Plant, the water cooling system itself is used to cool the lubricating oil used for the lubricating oil system. The function of the water supply pump is used to circulate water into the cooling pipes in the Oil cooler and Sump Tank pressure. The water supply pump is one of the equipment that needs to be monitored so that the production process is not hampered. One way to find out the condition of the pump periodically is to carry out predictive maintenance in the form of vibration monitoring. By carrying out vibration monitoring, the vibration characteristics originating from impeller damage can be identified. This research is experimental research. The results of this study indicate that the impeller of the water supply pump that is damaged due to abrasion will produce vibration characteristics with a dominant amplitude of 23.5 Hz, the highest amplitude value measured in the test of impeller 1 in the horizontal direction is 2,642 mm. This occurs because there is damage to the impeller blade caused by abrasion damage.

Keywords: Water supply pump, impeller, vibration monitoring, AMS 2140 Machinery Health Analyzer, ISO 10816-3.

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air Lodoyo adalah salah satu unit pembangkit listrik yang dinaungi oleh PT PLN Nusantara Power UP Brantas. PLTA Lodoyo merupakan pembangkit listrik tenaga air dengan jenis aliran sungai langsung (*run of river*) yang mana bekerja dengan membelokkan sebagian aliran sungai brantas untuk dimanfaatkan sebagai energi primer pembangkit, dengan kapasitas maksimal beban adalah 4.5 MW. PLTA Lodoyo memiliki peran yang sangat penting sebagai penyedia listrik di wilayah Kabupaten Blitar.

Water supply pump adalah bagian peralatan bantu pada *water cooling system* yang ada di PLTA Lodoyo, *water colling system* sendiri digunakan untuk pendinginan minyak pelumasan yang digunakan untuk *lubricating oil system*. Fungsi *water supply pump* digunakan untuk mensirkulasikan air ke dalam pipa-pipa

pendingin pada *Oil cooler* dan *Sump Tank pressure* dimana air yang digunakan berasal dari *casing turbine*. *Water supply pump* adalah salah satu *equipment* yang perlu dimonitor agar proses produksi tidak terhambat. Salah satu cara untuk mengetahui keadaan pompa secara berkala adalah dengan melakukan perawatan.

Bentuk perawatan yang dapat dilakukan pada pompa *water supply* adalah *predictive maintenance* dengan pemantauan getaran atau *vibration monitoring*. *predictive maintenance* yaitu dengan memprediksi adanya kerusakan pada mesin yang digunakan dalam proses produksi dengan parameter dan analisa yang dapat diukur. Analisa getaran merupakan salah satu faktor pendukung untuk meminimalisir terjadinya getaran berlebih pada pompa. Dalam memprediksi

kerusakan, analisa getaran sangat penting karena dapat menjadi indikator untuk mendeteksi masalah teknis

METODE

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode eksperimen.

Waktu dan Tempat Penelitian

- Waktu Penelitian
Penelitian telah dilaksanakan pada 2 Mei sampai 28 Juni 2024.
- Tempat Penelitian
Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Air Lodoyo di Desa Gogodeso Kecamatan Kanigoro Kabupaten Blitar.

Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan objek yaitu *impeller* pada *water supply pump* yang mengalami kerusakan karena abrasi.

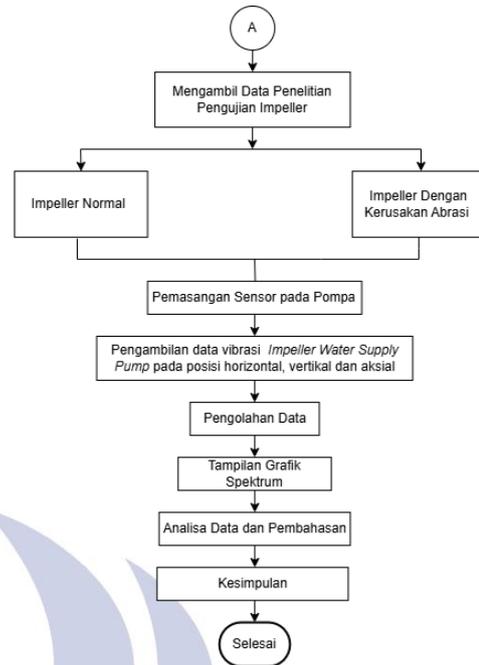
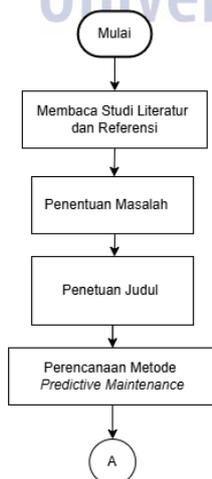


Gambar 1 *Impeller Water Supply Pump*

Variabel

- Variabel Bebas
Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah kerusakan pada *impeller* karena disebabkan abrasi.
- Variabel Terikat
Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah karakteristik getaran yang dihasilkan oleh getaran pada *impeller* yaitu amplitudo dan frekuensi.
- Variabel Kontrol
Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah RPM (Revolution per Minutes) motor 1410 dan tekanan *water supply pump*.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Proses pengambilan data

Tahap Persiapan

- Mempersiapkan pompa *water supply* dan motor listrik didekat sumber air.
 - Menginformasikan ke operator saat akan melakukan pengambilan data
 - Catat kondisi mesin apabila diperlukan
- Tahap Persiapan Emerson AMS 2140 *machinery health analyzer*

- Aktifkan Emerson AMS 2140 dengan tekan power
- Tunggu hingga tampilan berubah menjadi tampilan awal layar
- Mencari jenis peralatan yang akan diambil datanya, untuk mengganti peralatan yang diinginkan dalam pengambilan data vibrasi dengan tekan **ALT**.
- Lalu mencari peralatan *water supply pump* pada *route*
- Setelah *route* dibuka, maka tampilan akan menampilkan peralatan yang paling pertama, maka tekan **F3** (*equip list*) untuk *water supply pump*
- tampilan dalam *equip list*. Tekan **F8** untuk pindah keatas atau **F9** untuk pindah ke bawah untuk mencari *water supply pump*
- Menghubungkan kabel *accelerometer* dengan Emerson AMS 2140.

Tahap Pengambilan Data

- Lakukan pengetesan Emerson AMS 2140, dan pastikan alat berfungsi dengan baik.
- Proses pengambilan data dengan menempatkan sensor pada titik pengukuran yang sudah ditentukan. Pastikan titik pengukuran dalam kondisi kering dan bersih.
- Menempatkan sensor pada pompa *outboard axial*.
- Menempatkan sensor pada pompa *outboard horizontal*.
- Menempatkan sensor pada pompa *outboard vertical*.
- Setelah melakukan pengambilan data, file data vibrasi disimpan.

Analisis Vibrasi Untuk Mendeteksi Kerusakan *Impeller Water Supply Pump* Di PLTA Lodoyo

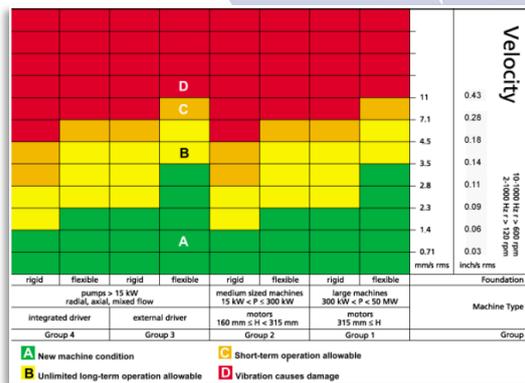
Tahap Akhir

- Siapkan kabel konektor Emerson AMS 2140, AMS 2140, dan laptop atau komputer yang terinstall *Software AMS Machinery Manager*.
- Pasang kabel konektor ke Emerson AMS 2140.
- Pasang kabel ke laptop atau komputer yang ada *software AMS Machinery Manager*.
- Buka *software AMS Machinery Manager*.
- Aktifkan AMS 2140 dengan menekan tombol *power*. Tampilan pertama adalah data yang terakhir diambil. Tekan tombol **ALT**.
- Tekan **F7 connect for transfer**.
- Pastikan sambungan kabel konektor antara AMS 2140 dan laptop atau komputer terpasang dengan benar
- Tekan **F8** untuk memindahkan data ke laptop atau komputer (*dump data*).
- Data diolah di *Software* untuk melihat grafik *trending* dan *spectrum*.

Teknik Analisa data

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

Tujuan dari teknik analisa data ini adalah untuk mengetahui tinggi nilai amplitudo yang diakibatkan oleh kerusakan impeller karena abrasi, oleh karena itu data hasil pengujian berupa *velocity* dengan satuan mm/s, digunakan untuk menilai tingkat keparahan kondisi *impeller water supply pump* yang beroperasi berdasarkan ISO 10816-3, serta frekuensi dalam satuan Hz pada rentang frekuensi 10 Hz - 400 Hz untuk memastikan kerusakan pada komponen tersebut.



Gambar 3 ISO 10816-3 : 2009

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menghasilkan data berupa angka dan gambar. Angka yang dimaksud adalah nilai spektrum dari pengukuran vibrasi pada *impeller water supply pump*. Spektrum getaran ini diperoleh dengan mengkonversi data domain waktu menjadi domain frekuensi dengan fungsi FFT (Fast Fourier Transform).

Frekuensi pada *Water Supply Pump* adalah frekuensi pompa yang dicari menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi pompa (Hz)} &= \frac{RPM}{60 (s)} \\ &= \frac{1410}{60} \\ &= 23.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

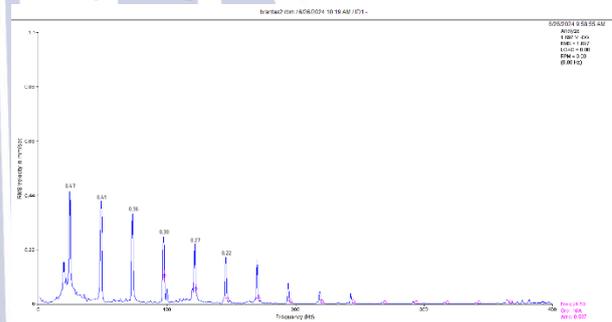
$$\begin{aligned} \text{Frekuensi sudu (Hz)} &= \frac{(RPM) \times \text{jumlah sudu}}{60 (s)} \\ &= \frac{1410 \times 6}{60} \\ &= 141 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Tabel 1 Frekuensi Komponen Pompa

Harmonik	Abrasi
1x	23.5 Hz
2x	47 Hz
3x	70.5 Hz
4x	94 Hz
5x	117.5 Hz
6x	141 Hz

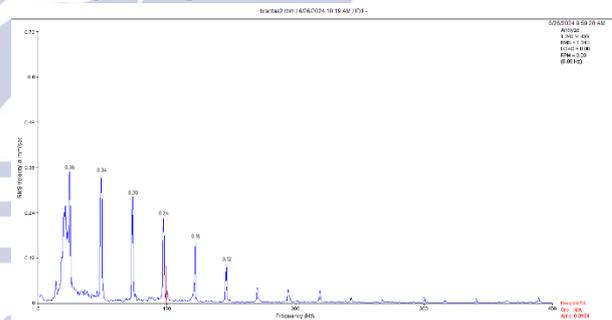
1. Pengukuran Pompa pada *Impeller* normal

a. Pengukuran pada Arah Horizontal



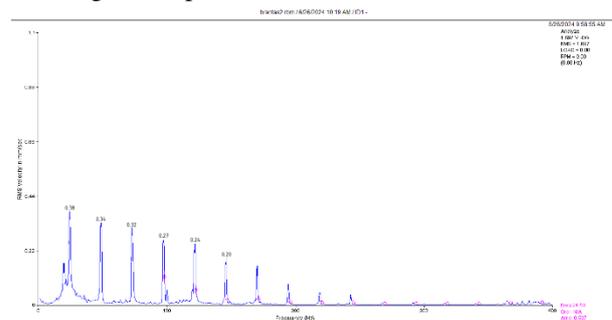
Gambar 4 Pengukuran pada Arah Horizontal

b. Pengukuran pada Arah Aksial



Gambar 5 Pengukuran pada Arah Aksial

c. Pengukuran pada Arah Vertikal



Gambar 6 Pengukuran pada Arah Vertikal

Tabel 2 Velocity Pompa Impeller Normal

Impeller		Velocity (mm/s)		
Pengukuran	Frekuensi	Horizontal	Aksial	Vertikal
Pengukuran 1	1x	0.47	0.36	0.38
	2x	0.41	0.34	0.34
	3x	0.36	0.30	0.32
	4x	0.30	0.24	0.27
	5x	0.27	0.16	0.24
	6x	0.22	0.12	0.20

Selanjutnya untuk mencari nilai kecepatan sudut (ω) dari *impeller water supply pump* yaitu dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\omega = \frac{rpm \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{1410 \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{8854.8}{60}$$

$$\omega = 147.6 \text{ rad/s}$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan sudut (ω) dari *impeller water supply pump* maka dicari nilai amplitudo perpindahan (A). Berikut ini adalah cara menghitung nilai amplitudo perpindahan (A) pada *impeller water supply pump*

Diketahui:

$$\omega = 147.6 \text{ rad/s}$$

Untuk mendapatkan perpindahan $x(t)$ maka perlu di integralkan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$x(t) = v(t) = \int A\omega \cos(\omega t)$$

$$x(t) = \int 0.47 \cos(147.6t) dt$$

$$x(t) = \int 0.47 \frac{1}{147.6} \cos(147.6t) dt$$

$$x(t) = 0.00318 \sin(147.6t), \text{ karena amplitudo } x(t) = A \sin(\omega t)$$

nilai amplitudo perpindahannya adalah 0.00318 dm = 0.318 mm

Tabel 3 Amplitudo Pompa Impeller Normal

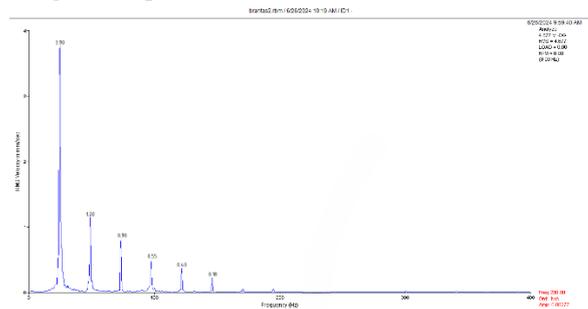
Impeller		Velocity (mm/s)		
Pengukuran	Frekuensi	Horizontal	Aksial	Vertikal
Pengukuran 1	1x	0.318	0.243	0.257
	2x	0.277	0.230	0.230
	3x	0.243	0.203	0.216
	4x	0.203	0.162	0.182
	5x	0.182	0.108	0.162
	6x	0.149	0.081	0.135

Berdasarkan gambar 4 hingga gambar 6 didapatkan hasil pengukuran *impeller* kondisi normal dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah horizontal menunjukkan bahwa amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dengan penempatan sensor pada arah aksial dan vertikal. Pengukuran pada pompa dengan kondisi *impeller* normal mendapatkan nilai amplitudo tertinggi pada arah horizontal sebesar 0.318mm (0.47 mm/s), pengukuran pada *impeller* normal arah vertikal sebesar 0.257 mm (0.38 mm/s) dan pengukuran pada *impeller* normal arah aksial sebesar 0.243 mm (0.36 mm/s). nilai yang dihasilkan pada pengukuran

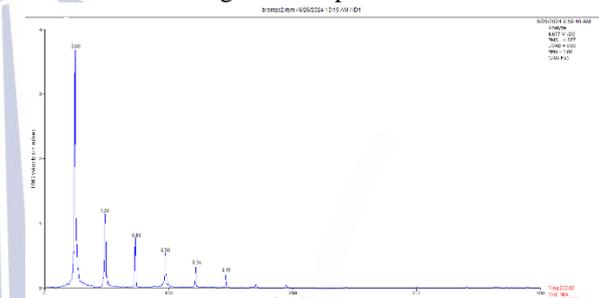
menunjukkan gelombang yang tidak memperlihatkan puncak amplitudo pada kisaran frekuensi tinggi.

2. Pengukuran Pompa pada Impeller Rusak

a. Pengukuran pada Arah Horizontal

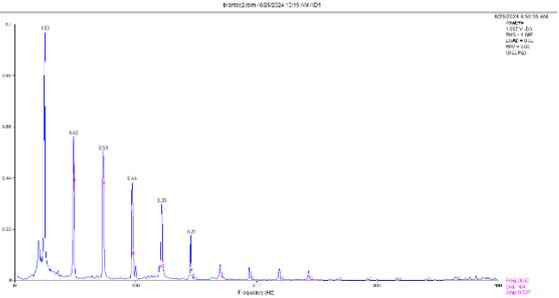


Gambar 7 Pengukuran 1 pada Arah Horizontal

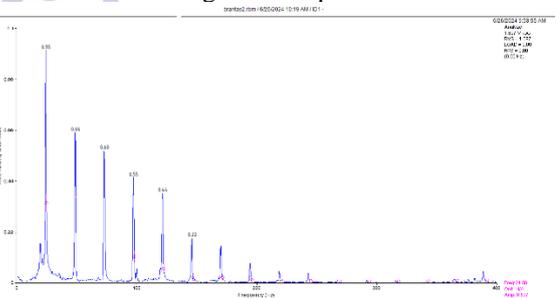


Gambar 8 Pengukuran 2 pada Arah Horizontal

b. Pengukuran pada Arah aksial

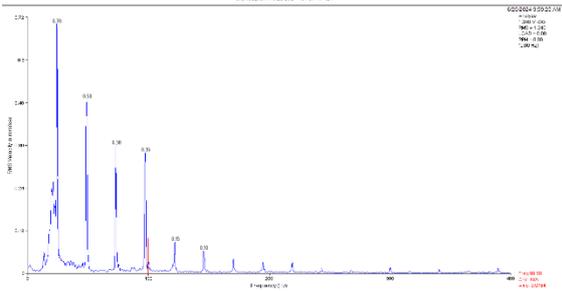


Gambar 9 Pengukuran 1 pada Arah Aksial

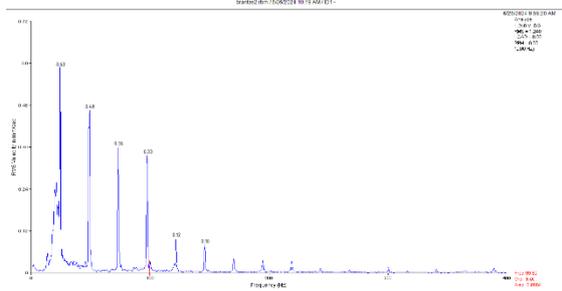


Gambar 10 Pengukuran 2 pada Arah Aksial

c. Pengukuran pada Arah vertikal



Gambar 11 Pengukuran 1 pada Arah Vertikal



Gambar 12 Pengukuran 2 pada Arah Vertikal

Tabel 4 Velocity Pompa *Impeller* Rusak

Impeller		Velocity (mm/s)		
Pengukuran	Frekuensi	Horizontal	Aksial	Vertikal
Pengukuran 1	1x	3.90	1.03	0.70
	2x	1.20	0.62	0.50
	3x	0.90	0.53	0.38
	4x	0.55	0.44	0.36
	5x	0.40	0.35	0.15
	6x	0.18	0.21	0.10
Pengukuran 2	1x	3.60	0.98	0.60
	2x	1.20	0.66	0.48
	3x	0.80	0.60	0.36
	4x	0.50	0.55	0.33
	5x	0.34	0.44	0.12
	6x	0.19	0.22	0.10

Selanjutnya untuk mencari nilai kecepatan sudut (ω) dari *impeller water supply pump* yaitu dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\omega = \frac{rpm \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{1410 \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{8854.8}{60}$$

$$\omega = 147.6 \text{ rad/s}$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan sudut (ω) dari *impeller water supply pump* maka dicari nilai amplitudo perpindahan (A). Berikut ini adalah cara menghitung nilai amplitudo perpindahan (A) pada *impeller water supply pump*

Diketahui:

$$\omega = 147.6 \text{ rad/s}$$

Untuk mendapatkan perpindahan $x(t)$ maka perlu di integralkan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$x(t) = v(t) = \int A\omega \cos(\omega t)$$

$$x(t) = \int 3.90\cos(147.6t) dt$$

$$x(t) = \int 3.90 \cdot \frac{1}{147.6} \cos(147.6t) dt$$

$x(t) = 0.02642 \sin(147.6t)$, karena amplitudo $x(t) = A \sin(\omega t)$

nilai amplitudo perpindahannya adalah 0.0264 dm = 2.642 mm

Tabel 5 Amplitudo Pompa *Impeller* Rusak

Impeller		Amplitudo (mm)		
Pengukuran	Frekuensi	Horizontal	Aksial	Vertikal
Pengukuran 1	1x	2.642	0.697	0.474
	2x	0.813	0.420	0.338
	3x	0.609	0.359	0.257
	4x	0.372	0.298	0.243
	5x	0.135	0.149	0.101
	6x	0.121	0.142	0.067
Pengukuran 2	1x	2.439	0.663	0.406
	2x	0.813	0.447	0.325
	3x	0.542	0.406	0.243
	4x	0.338	0.372	0.223
	5x	0.203	0.298	0.081
	6x	0.128	0.149	0.067

Berdasarkan gambar 7 dan gambar 8 didapatkan hasil pengukuran *impeller* kondisi rusak dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah horizontal menunjukkan bahwa amplitudo yang terjadi dominan berada pada frekuensi fundamental 23.5 Hz, terlihat juga frekuensi harmonik 2x pada 47 Hz, 3x pada 70.5 Hz, 4x pada 94 Hz, 5x pada 117.5 Hz dan 6x pada 141 Hz dengan perbedaan nilai amplitudo. Pengukuran 1 pada pompa dengan kondisi *impeller* rusak pada arah horizontal mendapatkan nilai amplitudo 1x sebesar 2.642mm (3.90 mm/s), Pengukuran 2 pada pompa dengan kondisi *impeller* rusak pada arah horizontal mendapatkan nilai amplitudo 1x sebesar 2.439mm (3.60 mm/s).

Kemudian berdasarkan gambar 9 dan gambar 10 didapatkan hasil pengukuran *impeller* kondisi rusak dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah aksial menunjukkan bahwa amplitudo yang terjadi dominan berada pada frekuensi fundamental 23.5 Hz, terlihat juga frekuensi harmonik 2x pada 47 Hz, 3x pada 70.5 Hz, 4x pada 94 Hz, 5x pada 117.5 Hz dan 6x pada 141 Hz dengan perbedaan nilai amplitudo. Pengukuran 1 pada pompa dengan kondisi *impeller* rusak pada arah aksial mendapatkan nilai amplitudo 1x sebesar 0.697mm (1.03 mm/s), Pengukuran 2 pada pompa dengan kondisi *impeller* rusak pada arah aksial mendapatkan nilai amplitudo 1x sebesar 0.663mm (0.98 mm/s).

Kemudian berdasarkan gambar 11 dan gambar 12 didapatkan hasil pengukuran *impeller* kondisi rusak dari alat Emerson AMS 2140 *Machinery Health Analyzer*, dimana penempatan sensor pada arah vertikal menunjukkan bahwa amplitudo yang terjadi dominan berada pada frekuensi fundamental 23.5 Hz, terlihat juga

frekuensi harmonik 2x pada 47 Hz, 3x pada 70.5 Hz, 4x pada 94 Hz, 5x pada 117.5 Hz dan 6x pada 141 Hz dengan perbedaan nilai amplitudo. Pengukuran 1 pada pompa dengan kondisi *impeller* rusak pada arah vertikal mendapatkan nilai amplitudo 1x sebesar 0.474mm (0.70 mm/s), Pengukuran 2 pada pompa dengan kondisi *impeller* rusak pada arah vertikal mendapatkan nilai amplitudo 1x sebesar 0.406mm (0.60 mm/s).

Berdasarkan ISO 10816-3, pompa *water supply pump* berada pada grup 3 yaitu mesin masuk dalam kategori kelas < 15KW dengan pondasi lemah, sehingga hasil pengujian *impeller* dengan kerusakan abrasi didapatkan bahwa kondisi warna hijau pada arah aksial dan vertikal yaitu mesin dalam kondisi aman sedangkan kondisi warna kuning pada arah horizontal yaitu mesin kondisi alarm yang diizinkan beroperasi dalam jangka waktu yang relatif lama.

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian vibrasi pada *impeller water supply pump* yang mengalami kerusakan abrasi, dapat ditarik kesimpulan yaitu *impeller water supply pump* yang mengalami kerusakan karena abrasi akan menghasilkan karakteristik getaran yaitu amplitudo dominan pada 23.5 Hz, nilai amplitudo tertinggi pada pengujian yaitu 2.642 mm pada pengujian 1 *impeller* pada arah horizontal.

Saran

Berdasarkan penelitian ini, peneliti menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

- *Condition monitoring vibration* sangat perlu dilakukan guna mengetahui kondisi actual mesin sehingga dapat menghemat bahkan mengurangi resiko biaya *maintenance* yang besar
- Pada penelitian selanjutnya disarankan pengujian pada *impeller water supply pump* untuk aliran air yang masuk kedalam pompa dicampur dengan tanah liat atau lumpur sungai agar sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

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 Nusantara Power UP Brantas yang telah membantu penulis selama proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adinarto, T.W., Rohamadi, D. (2024). Analisis Sinyal Getaran Pompa Cooling Water Tipe Sentrifugal

Menggunakan Metode FFT dan ISO 10816-3. Jurnal Teknik Mesin, 13(1), 42-50.

Aji, K. (2007). Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal dengan Analisa Sinyal Getaran. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Ari, A.I., Susilo, D.D., Arifin, Z. (2013). Deteksi Kerusakan Impeller Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinyal Getaran. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Mekanika, 11 (02), 116-122.

Carniege, N. (2020). Analisa Level Getaran Cooling Water Pump 1 Jenis Sentrifugal. Rekayasa Mekanik, 4 (1), 25-32.

Erwin R. (2016). Analisis Vibrasi Untuk Mendeteksi Kerusakan pada Turbin Uap UBB Pabrik III Di PT Petrokimia Gresik. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Karyasa, T. B. (2011). Dasar-Dasar Getaran Mekanis. Andi Yogyakarta.

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

Maulana, Z.A., Kamiel, B. P. (2017). Metode Deteksi Kerusakan Impeller Pada Pompa Sentrifugal Berbasis Domain Frekuensi Sinyal Getaran. Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Nugroho, S., Raharjo, P.S. (2009). Analisis Kegagalan Impeller Slurry Pump di Sebuah Industri Kaolin. ROTASI, 11 (3), 23-27.

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

R.Keith Mobley. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance. Elsevier Science, USA.

Setiono, E., Syanni, J. (2013). Analisa Vibrasi Dasar Buku III. PT PLN (Persero) Udiklat Suralaya.

Setyawan, D. B., & Sufiyanto. (2013). Metode Vibration Analysis Dalam Aplikasi Perawatan Mesin. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang.

Sularso. & Tahara, H. (1996). Pompa dan kompresor. Jakarta. Pradnya Paramita.

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

Wahyudi, A. (2021). Analisa Sinyal Vibrasi Untuk Mendeteksi Kerusakan Pada Kondensate Pump Di PLTU Anyir Bangka. Fakultas Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.