

ANALISIS PENGARUH VIBRASI TERHADAP PERFORMA BOILER FEEDWATER PUMP (BFP) 3B PLTU ASAM ASAM

Yanuar Iswahyudi¹⁾, Mastiadi Tamjidillah²⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Akhmad Yani Km. 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

Email: yanuariswahyudi@live.com

Abstract

In December 2016 until January 2017, there was a significant decreasing performance of Unit 3 PLTU Asam Asam in supplying electric power. This was because of some problems in Boiler Feedwater Pump (BFP) 3B. Then the problems have to be solved by the Turbine and Auxiliary Maintenance Crew by some repairs. The repair of BFP 3B are in the internal running clearance problem and bending shaft problem. After the repair of them, calculation data show that the pump total efficiency increasing by 10 %, and the vibration zone move from D zone (dangerous) to A zone (safe for continuous operation).

Keyword: BFP, Vibration, Efficiency

Abstrak

Pada Desember 2016 hingga Januari 2017, terjadi penurunan kinerja PLTU Asam Asam Unit 3 yang signifikan dalam penyediaan tenaga listrik. Hal ini dikarenakan adanya permasalahan pada Boiler Feedwater Pump (BFP) 3B. Kemudian masalah harus diselesaikan oleh Turbin dan Kru Pemeliharaan Tambahan dengan beberapa perbaikan. Perbaikan BFP 3B berada pada masalah jarak jalan internal dan masalah poros tekuk. Setelah diperbaiki, data perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi total pompa meningkat sebesar 10%, dan zona getaran berpindah dari zona D (berbahaya) ke zona A (aman untuk pengoperasian berkelanjutan).

Kata Kunci: BFP, Getaran, Efisiensi

PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik adalah salah satu kebutuhan utama masyarakat umum di Indonesia sekarang ini. Hampir semua alat kebutuhan rumah tangga menggunakan energi listrik untuk kemudian dikonversikan menjadi energi kinetik maupun panas. Fakta ini mengharuskan adanya ketersediaan energi listrik yang cukup untuk masyarakat.

Di Wilayah Kalimantan Selatan dan Tengah, energi listrik untuk masyarakat diperoleh dari beberapa pembangkit listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dan juga Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dari beberapa pembangkit listrik tersebut, PLTU merupakan pembangkit yang mempunyai nilai kapasitas paling besar untuk menyediakan listrik di Wilayah Kalimantan Selatan dan Tengah. PLTU juga merupakan pembangkit listrik yang bisa dioperasikan secara kontinyu atau berkelanjutan mengingat memang kebutuhan listrik masyarakat 24 jam sehari tanpa henti.

PLTU Asam Asam merupakan pembangkit listrik utama untuk Wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah. PLTU Asam Asam mempunyai daya terpasang 4 unit x 65 Mega Watt. PLTU Asam Asam diharuskan beroperasi secara berkelanjutan sehingga diharapkan selalu dalam kondisi handal. Dalam pengoperasiannya ada beberapa peralatan utama yang sangat berpengaruh terhadap kondisi operasi PLTU Asam Asam seperti salah satunya adalah pompa pengisi air boiler atau biasa disebut *Boiler Feedwater Pump* (BFP).

Pada PLTU Asam Asam, *Boiler Feedwater Pump* berfungsi untuk memompakan air pengisi boiler dari *deaerator* menuju *steam drum*. Jika BFP gagal beroperasi maka akan menimbulkan kegagalan operasi pada satu unit yang bersangkutan. Pada setiap unit di PLTU Asam Asam, terdapat dua buah BFP yang dalam kondisi normalnya beroperasi dengan sistem 2 x 100 % yang berarti bahwa satu pompa operasi, sedangkan satu pompa *standby*.

Dalam pengoperasian *Boiler Feedwater Pump* PLTU Asam Asam terdapat beberapa permasalahan yang pada akhirnya berdampak pada kehandalan unit yang mana sangat berpengaruh pada suplai ketersediaan listrik untuk masyarakat. Permasalahan BFP pada PLTU Asam Asam terjadi pada Unit 3 PLTU Asam Asam, yaitu permasalahan ampere dan getaran (vibrasi) tinggi yang mengakibatkan unit 3 PLTU Asam Asam tidak bisa beroperasi sampai kondisi optimalnya.

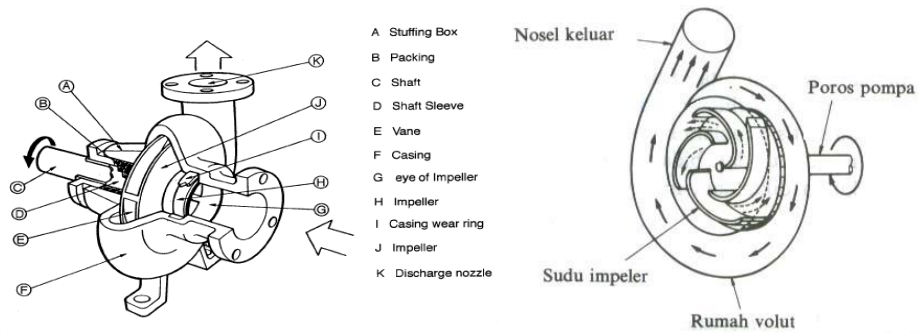
Pada penelitian terdahulu pada tahun 2014 yang berjudul “Analisis Vibrasi Pada Pompa Pendingin Primer JE01 AP003” oleh Pranto B,dkk menjelaskan tentang analisa penyebab vibrasi pompa sentrifugal yang dapat dilakukan dengan pembacaan spectrum frekuensi vibrasinya. Mengacu pada penelitian tersebut dan mengingat pentingnya fungsi dari BFP pada unit 3 PLTU Asam Asam ini, maka diperlukan kajian tentang vibrasi BFP PLTU Asam Asam Unit 3 agar permasalahan ini tidak menjadi pembatas unit untuk beroperasi secara optimal.

Pompa Sentrifugal Bertingkat Banyak (Multi Stage)

Pompa secara definisi merupakan peralatan konversi energi yang digunakan untuk merubah energi mekanik penggerak menjadi energi aliran fluida. Dalam hal ini fluida yang bekerja pada pompa merupakan fluida incompressible.

Agar supaya bisa bekerja pompa membutuhkan / mengambil daya dari mesin penggerak pompa. Di dalam roda jalan fluida mendapat percepatan sedemikian rupa sehingga fluida tersebut mempunyai kecepatan mengalir keluar dari sudu – sudu jalan. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi tinggi kenaikan H (head) di sudu – sudu pengarah atau di rumah spiral pompa (rumah keong) (Friez Dietzel, 1996).

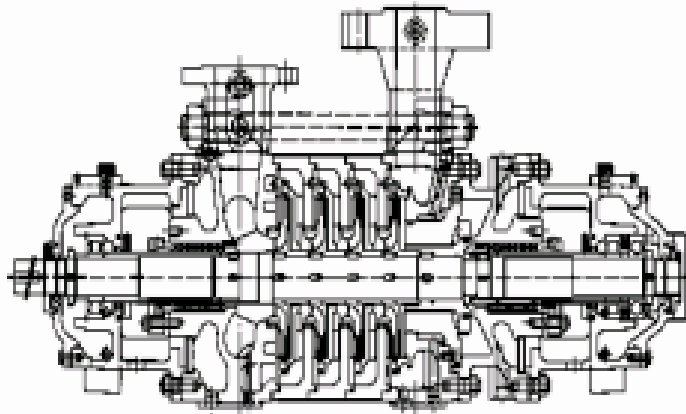
Selisih energi per satuan berat atau head total dari zat cair pada flens keluar (tekan) dan flens masuk (isap) disebut head total pompa. Gambar 1 menunjukkan detail bagan pada pompa sentrifugal.



Gambar 1. Bagian - Bagian Pompa Sentrifugal

Pompa bertingkat banyak seperti pada Gambar 2 menggunakan beberapa impeler yang dipasang secara berderet (seri) pada satu poros. Zat cair yang keluar dari impeler pertama dimasukkan ke impeler berikutnya dan seterusnya hingga impeler terakhir. Head total pompa ini merupakan jumlahan dari head yang ditimbulkan oleh masing-masing impeler sehingga relatif tinggi.

Bila tinggi kenaikan pompa harus lebih besar dari 100 m kolom zat cair, maka pompa harus dibuat beberapa tingkat berturut – turut dan dihubungkan menjadi satu (Fritz Dietzel, 1996).



Gambar 2. Pompa Bertingkat Banyak

Effisiensi Pompa

Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan karena ada sebagian energi kinetik yang hilang dalam bentuk losis. Setiap pompa dirancang pada kapasitas dan head tertentu, meskipun dapat juga dioperasikan pada kapasitas dan head yang lain. Efisiensi pompa akan mencapai maksimum pada designed point tersebut, yang dinamakan dengan titik BEP. Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiensinya akan lebih rendah.

Efisiensi total pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa, dapat dinyatakan dan dicari dengan rumus (1), (2), (3), (4), (5), dan (6).

$$\eta_{total} = \frac{P_h}{P_s} \tag{1}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H_m \cdot Q \tag{2}$$

$$P_s = I \cdot V \cdot \mu_{penggerak} \tag{3}$$

$$H_m = H_{outlet} - H_{inlet} \tag{4}$$

$$H_{outlet} = \frac{P_{out}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{out}^2}{2 \cdot g} + Z_{out} \tag{5}$$

$$H_{inlet} = \frac{P_{in}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{in}^2}{2 \cdot g} + Z_{in} \tag{6}$$

- Dimana :
- η_{total} : efisiensi total pompa (%)
 - P_h : daya hidrolis pompa (Watt)
 - P_s : daya poros masukan pompa (Watt)
 - ρ : massa jenis fluida kerja (kg/m^3)
 - g : gravitasi (m/s^2)
 - H_m : head manometrik (m)
 - Q : debit air (m^3/s)
 - I : arus listrik motor penggerak (Ampere)
 - V : tegangan motor (Volt)
 - $\eta_{penggerak}$: efisiensi penggerak (%)
 - H_{outlet} : head sisi outlet (m)
 - H_{inlet} : head sisi inlet (m)
 - P_{out} : tekanan sisi outlet pompa (Pa)
 - v_{out} : kecepatan aliran fluida outlet (m/s)
 - z_{out} : beda ketinggian pompa – reservoir outlet (m)
 - P_{in} : tekanan sisi inlet pompa (Pa)
 - v_{in} : kecepatan aliran fluida inlet (m/s)
 - Z_{in} : beda ketinggian reservoir inlet – pompa (m)

Vibrasi

Jika suatu peralatan bekerja pasti akan menimbulkan suatu getaran / vibrasi. Besaran maksimal yang diperbolehkan agar suatu peralatan dapat bekerja secara optimal sudah ada standarisasinya. Untuk pompa dengan kapasitas besar 300 kW – 50 MW menggunakan standarisasi ISO sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Zona vibrasi pada pompa BFP 3B

Zona vibrasi	Nilai vibrasi (dalam mm/s RMS)	Keterangan
A	0 – 2,3	Kondisi sangat baik
B	2,3 – 4,5	Pengoperasian jangka panjang
C	4,5 – 7,1	Pengoperasian jangka pendek
D	Lebih dari 7,1	Berbahaya

Pada pompa, vibrasi sering kali menjadi permasalahan sehingga menyebabkan gagal operasi pada pompa tersebut. Untuk itu diperlukan adanya analisa vibrasi untuk menentukan masalah apa yang mungkin terjadi dan bagaimana penanganan selanjutnya. Pembacaan vibrasi dapat dilakukan dengan menggunakan alat vibrometer yang mana dapat menunjukkan frekuensi dan amplitudo yang terjadi. Identifikasi terhadap amplitudo yang tinggi yang terjadi pada hasil pengukuran spektrumnya (amplitudo dan frekuensi) dan kemungkinan penyebabnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel kemungkinan penyebab getaran

<i>Machine Fault</i>	<i>Frequency and Axis found</i>	<i>Component found</i>	<i>Advanced Severity</i>
<i>Unbalance</i>	<i>1X - All radial directions</i>	<i>On affected component</i>	<i>Higher amplitude 1X</i>
<i>Parallel Misalignment</i>	<i>2X - Radial & Tangential</i>	<i>Both sides of coupling</i>	<i>Higher amplitude 2X</i>
<i>Angular Misalignment</i>	<i>1X - Axial</i>	<i>Both sides of coupling</i>	<i>Higher amplitude 1X</i>
<i>Looseness</i>	<i>1X harmonics - All directions</i>	<i>On affected component</i>	<i>More harmonics, higher</i>
<i>Roller Bearings</i>	<i>Non integer - All directions</i>	<i>On affected component</i>	<i>Harmonic, sidebands noise hump, noise floor</i>

METODE PENELITIAN

Pengambilan data penelitian ini dilakukan di PT PLN (PERSERO) Sektor Pembangkitan Asam Asam Unit 3 dan 4. Studi pustaka dilakukan di PLTU Asam Asam, manual book terkait, data yang ada pada bagian Engineering dan Central Control Room (CCR), serta silabus yang berkaitan dengan Boiler Feedwater Pump.

Data yang digunakan sebagai bahan penelitian merupakan parameter pada sistem pengisian air pada unit 3 PLTU Asam Asam. Data tersebut digunakan sebagai parameter terjadinya gangguan pada sistem pengisian air yang disebabkan oleh kerusakan pada Boiler Feedwater Pump. Spesifikasi BFP 3B PLTU Asam Asam secara lengkap terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Boiler Feedwater Pump 3B PLTU Asam Asam

Name	Item	Unit	Specifications
Feedwater pump	Type:Pump/motor	-----	100TS ₂ -I/STMKS450-2
	Rotary speed: Pump/motor	rpm	2890/2978
	Flow	m ³ /h	344
	Pressure	m	1340
	Stage number	Stage	10
	Allowable vacuum suction height	M	7.5
	Efficiency	%	-----78%
	Shaft power	KW	1517
	Motor power	KW	1800
	Motor voltage	V	6000
	Manufacturer		Zhenzhou electrical machinery company

Pengambilan data parameter awal adalah dengan menggunakan data ketika BFP 3B beroperasi meliputi data vibrasi, ampere, tekanan masuk pompa, tekanan keluar pompa, serta flow air yang dihasilkannya. Data tersebut diambil dari data logsheet tim operator, trend display control room, dan data dari tim Predictive Maintenance.

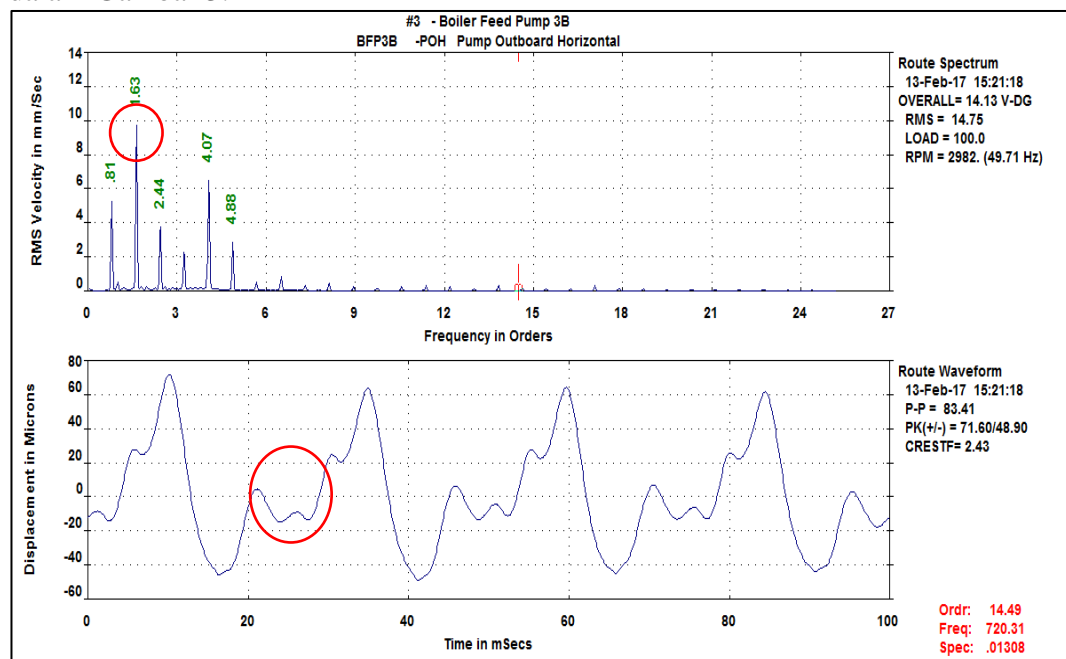
Data saat perbaikan akan diambil dari hasil pengukuran tim Pemeliharaan Turbin. Data yang diambil merupakan data aktual dan diharapkan dapat menunjukkan kerusakan yang terjadi pada BFP 3B. Parameter yang diambil adalah clearance pada bushing antar tingkat impeller dan juga data kelurusan shaft.

Pengambilan data parameter akhir dilakukan setelah BFP 3B selesai dilakukan perbaikan dan dioperasikan lagi. Parameter yang diambil sama dengan parameter awal yaitu vibrasi, ampere, tekanan masuk pompa, tekanan keluar pompa, serta flow air yang dihasilkannya.

Setelah pengolahan data selesai dilakukan, maka hasil pengolahan data tersebut akan disusun dalam bentuk tabel dan grafik agar mudah untuk dilakukan analisa. Penyajian dalam bentuk tabel bertujuan untuk menunjukkan hasil analisa dari seluruh data yang diambil. Penyajian dalam bentuk grafik bertujuan untuk menampilkan secara keseluruhan hasil pengambilan data. Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara satu parameter dengan parameter lainnya, sehingga dapat dilakukan analisa bagaimana pengaruh antar parameter. Melalui analisa grafik tersebut akan dapat ditarik kesimpulan apakah ada pengaruh vibrasi terhadap performa pada Boiler Feedwater Pump 3B PLTU Asam Asam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data vibrasi Boiler Feedwater Pump 3B PLTU Asam Asam ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum dan Bentuk Gelombang Vibrasi BFP 3B

Gambar 3 adalah data vibrasi pada tanggal 13 Februari 2017 pukul 15.21 WITA yang merupakan titik tertinggi vibrasi BFP 3B. Pada Gambar 3 dapat

dilihat bahwa amplitudo maksimal berada pada 2x rpm arah horisontal yang jika dilihat dari tinjauan pustaka merupakan adanya indikasi parallel misalignment pada sisi pompa BFP 3B.

Jika ditinjau dari bentuk gelombang yang terbentuk oleh terjadinya vibrasi pada Gambar 3, terbentuk pola vibrasi akibat misalignment. Sementara itu kalau dilihat lebih detail lagi pada gambar bentuk gelombang, pada area yang dilingkari warna merah juga terdapat kekosongan ruang yang juga menandakan adanya indikasi unbalance pada pompa BFP. Jadi dapat disimpulkan bahwa penyebab vibrasi yang paling mendekati adalah terjadinya keausan pada beberapa bagian internal clearance dan juga terjadinya bengkok poros yang menyebabkan perubahan nilai alignment

Dikarenakan menurut analisa penyebab vibrasi, permasalahan utama adalah pada kelurusan poros dan juga keausan maka Tim Pemeliharaan Turbin melakukan pembongkaran dan melakukan pengukuran beberapa parameter yang terkait untuk kemudian dilakukan perbaikan, di antaranya adalah :

- a. *Run-out* kelurusan poros pompa.
- b. *Internal Clearance* pada *wear ring* dan *bushing*.

Pada Tabel 4 sampai 9 menunjukkan hasil pengukuran pada setiap parameter yang dilakukan perbaikan. Untuk diketahui bahwa nilai maksimal dari *run-out* kelurusan poros maksimal adalah sebesar 0,06 mm. Kemudian untuk nilai maksimal *internal clearance* adalah 0,50 mm. Pada tabel 6 sampai 9 ada beberapa nilai yang diberi warna merah untuk menunjukkan bahwa pada nilai tersebut sudah melebihi *internal clearance* yang didapat dari *manual book*.

Tabel 4. Hasil *run-out* sebelum dilakukan perbaikan ($\times 10^{-2}$ mm)

No	Bagian	0°	90°	180°	270°
1	A	0	-11	-19	-8
2	B	0	-12	-25	-13
3	C	0	-34	-56	-27
4	D	0	-42	-51	-8
5	E	0	38	25	-10
6	F	0	-11	11	24
7	G	0	-5	-7	-12
8	H	0	3	-9	-8
9	I	0	22	24	11
10	J	0	28	42	23

Tabel 5. Hasil *run-out* setelah dilakukan perbaikan ($\times 10^{-2}$ mm)

No	Bagian	0°	90°	180°	270°
1	A	0	0	1	0
2	B	0	-2	-2	-1
3	C	0	-3	-4	-2
4	D	0	1	2	2
5	E	0	-3	-2	-2
6	F	0	1	0	0
7	G	0	3	3	0
8	H	0	-1	0	0
9	I	0	-1	0	0
10	J	0	1	1	0

Tabel 6. Hasil pengukuran *clearance* antara *diffusing vane impeller* dan *interstage bushing* sebelum perbaikan

<i>Impeller number</i>	<i>Diffusing vane impeller Outside diameter (mm)</i>	<i>Interstage bushing inside diameter (mm)</i>	<i>Clearance (mm)</i>
1	101.7	103.50	1.80
2	102.23	104.20	1.97
3	102.33	104.42	2.09
4	102.41	105.22	2.81
5	102.55	104.95	2.40
6	102.74	104.73	1.99
7	102.31	104.52	2.21
8	102.66	104.91	2.25
9	102.99	104.52	1.53
10	102.52	N/A	N/A

Tabel 7. Hasil pengukuran *clearance* antara *diffusing vane impeller* dan *interstage bushing* setelah perbaikan

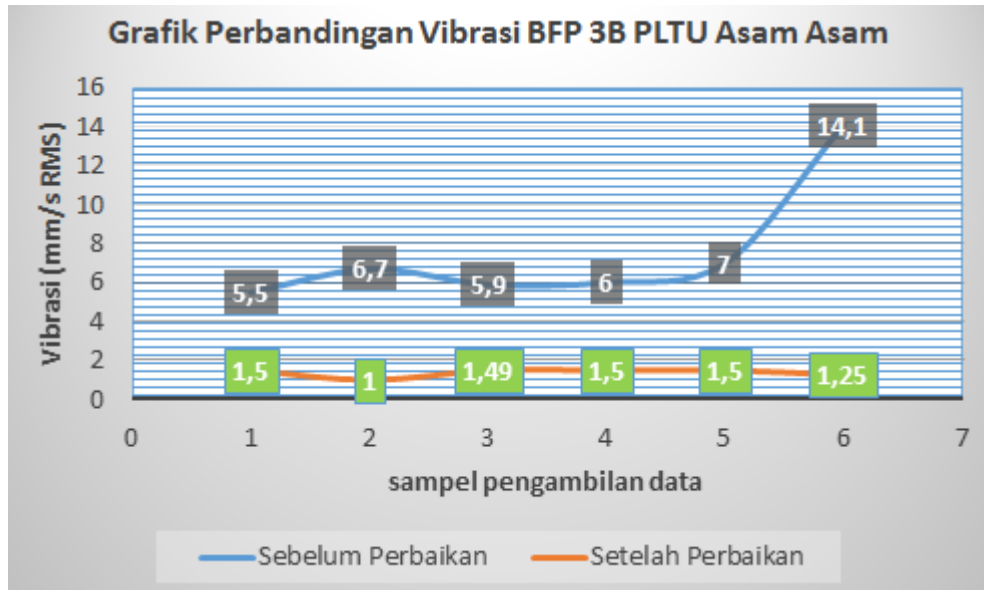
<i>Impeller number</i>	<i>Diffusing vane impeller Outside diameter (mm)</i>	<i>Interstage bushing inside diameter (mm)</i>	<i>Clearance (mm)</i>
1	103.4	103.90	0.50
2	103.44	103.90	0.46
3	103.51	103.90	0.39
4	103.38	103.90	0.52
5	103.48	103.90	0.42
6	103.39	103.90	0.51
7	103.39	103.90	0.51
8	103.44	103.90	0.46
9	104.43	103.90	0.47
10	103.44	103.90	0.46

Tabel 8. *Clearance* antara *impeller* dan *wear ring* sebelum perbaikan (dalam mm)

<i>Impeller number</i>	<i>Front side</i>		<i>clearance</i>	<i>Middle side</i>		<i>clearance</i>
	<i>impeller</i>	<i>wear ring</i>		<i>impeller</i>	<i>Wear ring</i>	
1	187.46	189.09	1.63	197.53	199.15	1.62
2	167.53	169.10	1.57	177.90	179.30	1.40
3	167.62	169.35	1.73	177.54	179.30	1.78
4	167.97	170.20	2.23	177.85	180.20	2.35
5	167.89	170.22	2.33	177.85	180.26	2.41
6	167.89	170.16	2.27	177.89	180.10	2.21
7	166.57	168.92	2.35	177.58	178.87	2.29
8	167.82	169.95	2.13	177.78	179.98	2.20
9	168.07	169.57	1.50	177.92	179.58	1.66
10	167.15	168.54	1.39	177.69	179.10	1.41

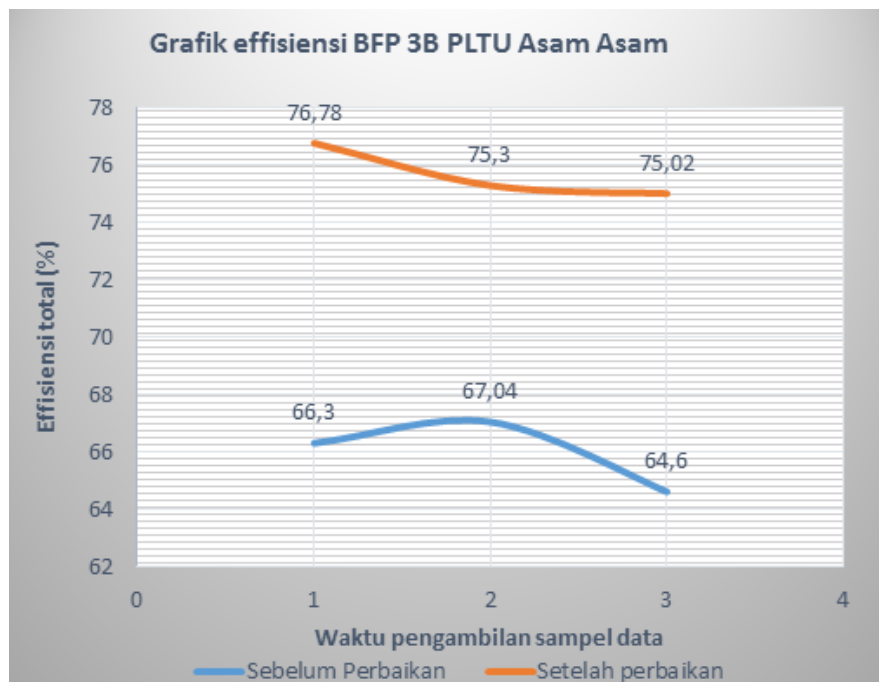
Tabel 9. *Clearance* antara *impeller* dan *wear ring* sesudah perbaikan (dalam mm)

<i>Impeller number</i>	<i>Front side</i>		<i>clearance</i>	<i>Middle side</i>		<i>clearance</i>
	<i>impeller</i>	<i>wear ring</i>		<i>impeller</i>	<i>Wear ring</i>	
1	188.32	188.81	0.49	198.34	198.84	0.50
2	168.20	168.72	0.52	178.24	178.72	0.48
3	168.21	168.70	0.49	178.27	178.72	0.45
4	168.20	168.70	0.50	178.31	178.72	0.41
5	168.19	168.70	0.51	178.19	178.72	0.53
6	168.26	168.70	0.44	178.19	178.72	0.53
7	168.24	168.70	0.46	178.22	178.72	0.50
8	168.19	168.70	0.51	178.21	178.72	0.51
9	168.23	168.70	0.47	178.22	178.72	0.50
10	168.24	168.70	0.50	178.20	178.72	0.52



Gambar 4. Grafik Vibrasi BFP 3B Sebelum Dan Sesudah Perbaikan

Gambar 4 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan pada nilai vibrasi BFP 3B PLTU Asam Asam. Garis warna oranye menunjukkan tren vibrasi setelah perbaikan. Garis warna biru menggambarkan tren vibrasi sebelum adanya perbaikan sampai pompa dinyatakan berbahaya untuk beroperasi.



Gambar 5. Grafik Hasil Perbandingan Efisiensi Pompa BFP 3B

Dari Gambar 5 terlihat bahwa ada perbedaan yang cukup signifikan dengan hasil efisiensi pompa BFP 3B sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan. Perbaikan hasil ini menunjukkan bahwa memang perbaikan vibrasi yang dilakukan Tim Pemeliharaan Turbin untuk pompa BFP 3B ini sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi kerja pompa secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari analisa spektrum dan bentuk gelombang vibrasi didapatkan data bahwa penyebab permasalahan vibrasi pada *boiler feedwater pump* 3B PLTU Asam Asam adalah adanya ketidaklurusan poros dan juga nilai *internal running clearance* yang sudah melebihi standard sehingga mengakibatkan *unbalance* dan *misalignment* pada pembacaan vibrasi.
2. Perbaikan permasalahan vibrasi dilakukan dengan cara penggantian poros pompa baru yang memiliki nilai maksimal *run-out* 0,03 mm dan melakukan perbaikan *internal running clearance* pada *wear ring* dan *bushing* sehingga mempunyai nilai maksimal 0,53 mm.
3. Nilai vibrasi pada *boiler feedwater pump* 3B setelah dilakukan perbaikan menunjukkan nilai vibrasi maksimal 1,5 mm/s RMS (Zona A) pada beberapa pengujian yang mana jauh lebih baik dari pada vibrasi sebelum perbaikan yang mencapai 14,1 mm/s RMS (Zona D).
4. Nilai perhitungan efisiensi pompa *boiler feedwater pump* 3B setelah perbaikan menunjukkan hasil rata – rata 75,3 % yang mana lebih baik dari pada kondisi sebelum perbaikan yaitu hanya mempunyai rata – rata efisiensi sebesar 65,98 %.

REFERENSI

- China Chengda Engineering. 2011. Turbine Operation Manual. Asam Asam : PLTU Kalimantan Selatan (2x65MW).
- Dietzel, Fritz. 1996. Turbin, Pompa dan Kompresor. Jakarta : Erlangga.
- Handayani, Sri Utami. 2013. Bahan Ajar Pompa dan Kompresor. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. The International Organization for Standardization. 2009.*
- Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries API 610. Eleventh edition. American Petroleum Institute. Washington DC. 2010.*
- Standart Pompa ve Makina. *Performance Test of Centrifugal Pumps.* <http://www.standartpompa.com>. Diakses pada 15 Desember 2018
- <https://www.maintenance.org/topic/understanding-visually-2x-vibration-in-misaligned-shaft>. Diakses pada 22 Januari 2019.
- TIARA Reliability Solution. Analisis Kerusakan pada Mesin.
- Pranto B,dkk. 2014. Analisis Vibrasi Pada Pompa Pendingin Primer JE01 AP003. Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir Volume XI.