

EVALUASI KETIDAKSEJAJARAN MOTOR DAN POMPA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR G.ASIWABESSY (PA-01/02/03 AP001)

Santosa Pujiarta, Aji Nursaid, M. Taufiq, Pranto Busono, Royadi
Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN-Serpong
Email : santosa_p@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASIKETIDAKSEJAJARAN MOTOR DAN POMPA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR G.ASIWABESSY (PA-01/02/03 AP001). Sistem pendingin sekunder merupakan peralatan yang sangat penting bagi pengoperasian reaktor. Sistem ini berfungsi untuk melepaskan panas peluruhan dari teras reaktor ke lingkungan setelah melewati sistem pendingin primer. Sistem pendingin sekunder terdiri dari 3 buah pompa sirkulasi dengan 7 buah modul menara pendingin sebagai tempat pelepasan panas yang terbagi dalam 2 jalur operasi. Pemeriksaan ketidaksejajaran pompa pendingin sekunder PA-01/02/03 AP001 dilakukan sebagai kegiatan perawatan komponen mekanik untuk menjamin keandalan motor pompa pendingin sekunder. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengevaluasi hasil kegiatan perawatan pompa pendingin sekunder, sehingga dapat diambil tindakan yang terbaik untuk menjaga keandalan operasi pompa. Evaluasi dilakukan dengan pengambilan data hasil pengukuran ketidaksejajaran motor penggerak terhadap pompa yang berkedudukan tetap. Pemeriksaan ketidaksejajaran telah dilakukan pada motor pompa pendingin sekunder PA-01/02/03 AP001 pada tanggal 24-26 Agustus 2016. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai ketidaksejajaran motor pompa pendingin sekunder pada posisi vertikal maupun horisontal masih dalam batas yang baik yaitu $< 0,50$ mm. Disimpulkan kerusakan pada bearing, kumparan motor dan kopling pompa dapat diminimalisir, serta pompa pendingin sekunder dapat dioperasikan dengan aman.

Kata kunci : Evaluasi, ketidaksejajaran, pompa

ABSTRACT

EVALUATION OF MISALIGNMENT BETWEEN MOTOR AND PUMP OF THE G.A SIWABESSY REACTOR SECONDARY COOLING SYSTEM (PA-01/02/03 AP001). Secondary cooling system is essential equipment for the operation of the reactor. This system serves to remove decay heat from the reactor core to the OF environment after passing through the primary cooling system. Secondary cooling system consists of three pieces of the circulation pump with 7 modules cooling tower as a heat release operation is divided into two lines. Misalignment examination of the secondary coolant pump PA-01/02/03 AP001 has been done as mechanical component maintenance activities to ensure reliable secondary cooling motor pump. The purpose of this paper is to evaluate the result of maintenance activity of the secondary cooling pump, in order to take the best action to maintain reliable operation of the pump. Evaluation is done by taking the measured of misalignment data of the motor to the pump that is in a fixed position. Misalignments examination has been performed at the secondary coolant motor pump of PA-01/02/03 AP001 on 24-26 August 2016. From the calculation result it is recognized that misalignments value of the secondary cooling pump motor in vertical and horizontal positions are still in a good condition that is < 0.50 mm. Then it can be concluded that the possibility of damage to the bearing, spindle motors and pump coupling can be minimized and further the secondary coolant pumps can be operated safely.

Key word : Evaluation, misalignment, pump

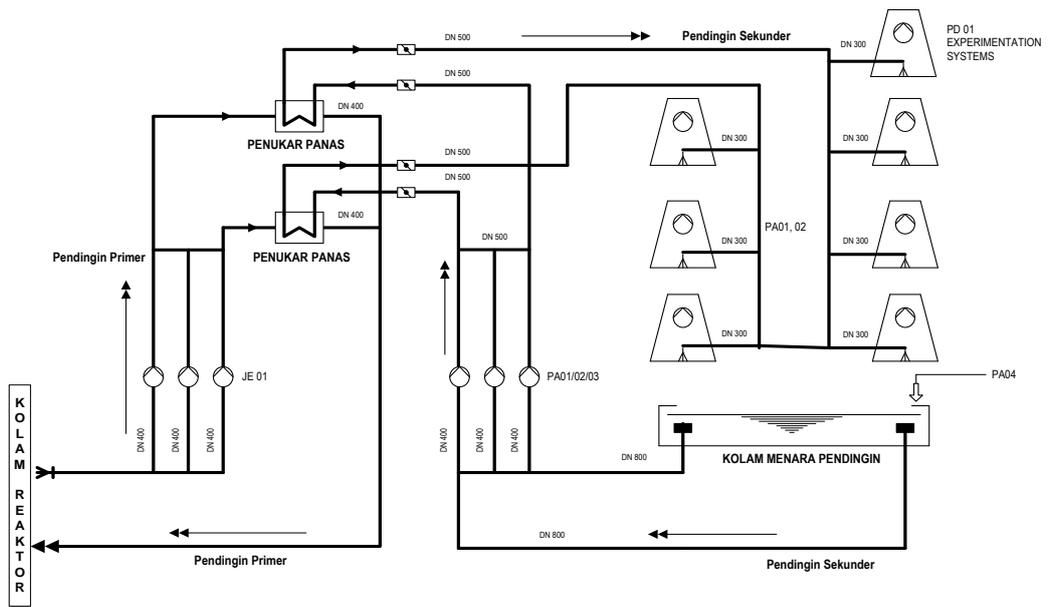
PENDAHULUAN

Sistem pendingin sekunder RSG-GAS merupakan tempat pelepasan panas terakhir dari proses pendinginan reaktor, energi panas yang dibangkitkan dari teras reaktor diambil oleh sistem pendingin primer yang selanjutnya di transfer ke sistem pendingin sekunder melalui alat penukar panas. Panas yang diterima pendingin sekunder selanjutnya dilepaskan ke udara menggunakan unit menara pendingin jenis *forced draft*. Pada proses pelepasan panas di menara pendingin akan selalu disertai dengan penguapan sejumlah uap air pendingin ke udara. Sebanyak 6 modul dalam 2 jalur (*train*) menara pendingin disediakan, untuk melayani proses pembuangan panas dari hasil reaksi fisi di teras reaktor, dengan kemampuan memindahkan panas hingga 33.000 kW. Spesifikasi desain air pendingin pada sisi suhu masuk 39,2°C dan suhu keluar 32°C, dengan besarnya laju penguapan mencapai 50 m³/jam. Air pendingin sekunder disirkulasikan oleh 2 pompa pada sistem pendingin sekunder dimana air pendingin mengalir dengan total laju alir sebesar 3900 m³/jam^[1].

Sistem pengoperasian pendingin sekunder menggunakan 2 jalur pemipaan dengan 2 buah pompa sirkulasi dan 2 unit alat penukar panas. Pengoperasian pompa pendingin sekunder menggunakan moda 2 dari 3, dimana 2 buah pompa dioperasikan sedangkan 1 buah pompa disediakan

sebagai cadangan. Proses sirkulasi aliran air pendingin sekunder adalah, air pendingin dari kolam menara pendingin dipompakan menuju alat penukar panas untuk mengambil panas dari sistem pendingin primer dan kembali ke menara pendingin untuk membuang panas. Air hangat dari alat penukar panas disebarkan ke bagian atas menara pendingin melalui nosel distributor dan mengalir ke bawah sambil udara dihisap dari bawah menggunakan blower untuk memindahkan panas dari air pendingin ke udara lingkungan. Kehilangan air karena penguapan dan percikan pada proses pembuangan panas digantikan dengan menambahkan air baku proses yang berasal dari kolam penampung *raw water*. Gambar skematik proses aliran air pendingin sekunder ditampilkan pada gambar 1.

Pada kegiatan perawatan pompa pendingin sekunder PA-01/02/03- AP001 pada tanggal 24-26 Agustus 2016 telah dilakukan pemeriksaan ketidaksejajaran motor penggerak dengan pompa pendingin sekunder PA-01/02/03. Kegiatan ini perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui kondisi terkini dari pompa, sehingga dapat dievaluasi dan diambil tindakan untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya kerusakan yang lebih besar. Karena ketidaksejajaran pompa sangat berpengaruh terhadap besarnya konsumsi daya listrik yang digunakan serta dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan komponen mekanik pada pompa.



Gambar 1. Diagram skematik sistem pendingin reaktor

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran besarnya penyimpangan nilai ketidaksejajaran antara kedua buah koping yang terpasang pada sisi pompa dan sisi motor. Pengukuran dilakukan menggunakan peralatan laser *infrared alignment*, model : *Optalign*, merk *Pruftehnick*. Peralatan ini akan memancarkan sinar laser *infrared* dan dipantulkan melalui sebuah reflektor kemudian akan diterima kembali oleh peralatan pemancar sinar. Besarnya sudut pantulan sinar yang dipancarkan dengan yang diterima akan diolah oleh peralatan pengolah data dan akan dimunculkan pada display dalam bentuk nilai ketidaksejajaran



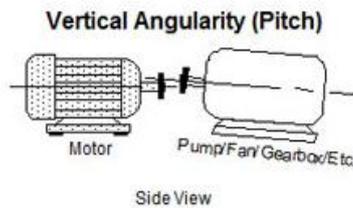
Gambar 2. Teknik pengukuran *misalignment*

TEORI DASAR

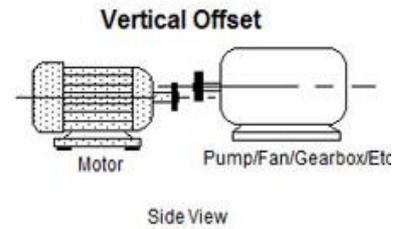
Pompa yang dipergunakan pada pendingin sekunder merupakan pompa sentrifugal yang berukuran cukup besar dan memerlukan motor penggerak yang mempunyai daya minimal 220 KW. Sehingga didalam pemasangannya harus sejajar antara motor dengan pompanya

untuk menghindari terjadinya beban tambahan bagi motor penggerak pompa. Untuk menjaga kemungkinan terjadi kerusakan dan beban arus yang berlebih serta supaya putaran motor dapat ditransmisikan secara maksimal, maka poros pompa dengan motor penggeraknya harus berada dalam satu garis lurus, hal ini khususnya bagi pompa yang dihubungkan dengan menggunakan koping. Kesejajaran tersebut harus diperiksa atau diukur pada waktu pemasangan instalasi baru maupun setelah dilakukan pemasangan motor penggerak pompa karena adanya perbaikan, dan kegiatan ini sebaiknya diulang atau diperiksa kembali secara berkala untuk menjamin bahwa tidak terjadi perubahan kedudukan motor penggerak pompa. Secara umum kesejajaran pompa dengan motor penggerak diukur berdasarkan besarnya ketidaksejajaran atau penyimpangan kesejajaran pompa. Ketidaksejajaran pompa terbagi dalam 4 jenis^[2,3,4].

1. Ketidaksejajaran secara menyudut kearah vertikal (*vertical angularity*)
 Penyimpangan ini terjadi apabila antar sumbu poros penggerak dan yang digerakkan membentuk sudut kearah vertikal. Perbaikan dapat dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan sumbu poros depan dan belakang motor.

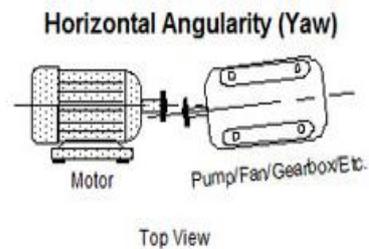


2. Ketidaksejajaran karena perbedaan ketinggian poros secara vertikal (*vertical offset*)
 Ketidaksejajaran ini terjadi di sebabkan adanya perbedaan ketinggian antara dua poros yang sejajar. Untuk memperbaiki keadaan tersebut dapat dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan sumbu poros.



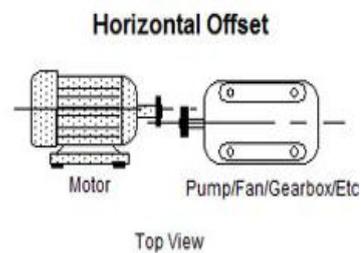
3. Ketidaksejajaran secara menyudut kearah horizontal (*horizontal angularity*)

Ketidaksejajaran ini terbentuk akibat penyimpangan kedua poros yang menyudut ke arah horizontal, Untuk memperbaikinya sumbu poros motor harus digeser kearah kiri atau kanan dengan pergeseran kedudukan kaki motor yang berbeda besar nilainya.



4. Ketidaksejajaran poros dalam garis lurus secara horisontal (*horizontal offset*)

Ketidaksejajaran ini terjadi karena kedua poros tidak berada dalam satu garis lurus, untuk memperbaiki kondisi tersebut sumbu poros harus digeser kekanan atau kekiri dengan pergeseran kaki motor yang sama besar nilainya.

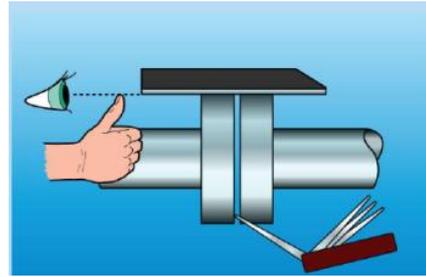


Pengukuran ketidaksejajaran pompa bertujuan untuk mengetahui besarnya penyimpangan kedudukan posisi antara

kedua poros, yaitu poros pompa sebagai mesin dengan kedudukan tetap dan poros motor sebagai mesin yang dapat dirubah kedudukannya. Secara prinsip ketidaksejajaran antara pompa dengan motor penggerak dapat diperiksa menggunakan 3 cara yaitu^[5,6,7]

- a. Dengan metode visual penglihatan

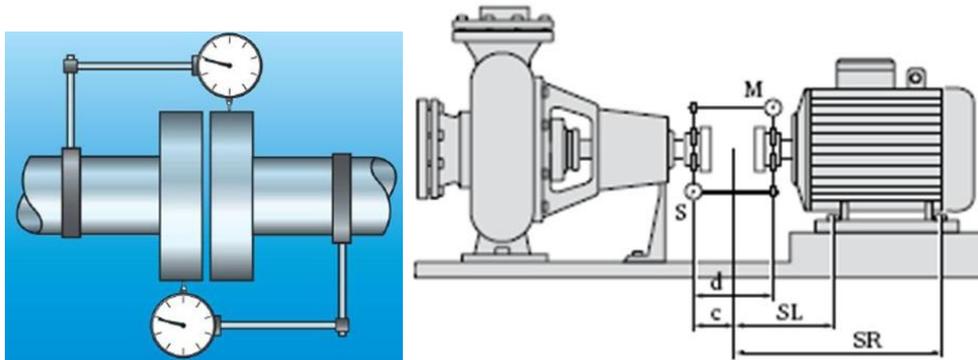
Metode ini hanya mengandalkan penglihatan mata dengan menggunakan alat bantu batang besi rata (*straight edge*) atau menggunakan alat pengukur celah (*feeler gauge*). Dimana batang besi rata ditempelkan diatas permukaan kedua sisi kopling kemudian dilihat kerataan kopling terhadap besi pengukur, pemeriksaan dilakukan pada 4 titik pengukuran yaitu sebelah atas, bawah, kiri dan kanan permukaan kopling sehingga dapat diketahui besarnya penyimpangan *parallel offset*. Sedangkan untuk alat pengukur celah dimasukkan pada celah antara kedua bagian kopling untuk mengetahui besarnya celah pada 4 titik pengukuran *angularity* kopling



Gambar 3. Pemeriksaan ketidak sejajaran dengan cara visual

- b. Dengan menggunakan metode *dial gauge*

Pada pengukuran ini secara prinsip sama dengan metode visual, namun hasil pengukurannya mempunyai keakuratan yang lebih baik karena alat bantu yang dipergunakan diganti dengan 2 buah alat ukur *dial gauge* yang dipasang pada kopling sebelah kiri dan kanan, sehingga menjadi lebih mudah didalam membaca besarnya penyimpangan kedudukan motor penggerak terhadap pusat poros pompa. Pengukuran nilai penyimpangan dilakukan pada 4 titik pengukuran yaitu atas, bawah, kiri dan kanan atau pada posisi jam 12, jam 3, jam 6, dan jam 9 dengan cara memutar kopling pompa 90° searah jarum jam.



Gambar 4. Pemeriksaan ketidaksejajaran menggunakan *dial gauge*

Dari data yang diperoleh pada setiap titik pengukuran selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$VO \text{ (Vertical Offset)} = (S6-S0+SS)/2 - (S6-S0+SS+M6-M0-MS)C/2D \quad (1)$$

$$VA \text{ (Vertical Angularity)} = (S6-S0+SS+M6-M0-MS)/2D \quad (2)$$

Ketinggian poros motor terhadap pusat poros pompa :

$$\text{Kaki motor bagian depan} = (VA-sL)-VO \quad (3)$$

$$\text{Kaki motor bagian belakang} = (VA-sR)-VO \quad (4)$$

$$HO \text{ (Horisontal Offset)} = (S9-S3)/2 - (S9-S3+M9-M3)C/2D \quad (5)$$

$$HA \text{ (Horisontal Angularity)} = (S9-S3+M9-M3)/2D \quad (6)$$

Pergeseran poros motor terhadap pusat poros pompa:

$$\text{Kaki motor bagian depan} = (S9+M9)(C+sL)/2D - S9/2 \quad (7)$$

$$\text{Kaki motor bagian belakang} = (S9+M9)(C+sR)/2D - S9/2 \quad (8)$$

Dimana:

S0 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kiri di jam 0 atau 12

S3 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kiri di jam 3

S6 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kiri di jam 6

S9 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kiri di jam 9

M0 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kanan di jam 0 atau 12

M3 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kanan di jam 3

M6 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kanan di jam 6

M9 = pembacaan *dial gauge* pada kopling sebelah kanan di jam 9

D = Jarak antara *dial gauge*

C = jarak antara *dial gauge* sebelah kiri dengan titik tengah kedua buah kopling

SS = error kelenturan pemegang *dial gauge* sebelah kiri

MS = error kelenturan pemegang *dial gauge* sebelah kanan

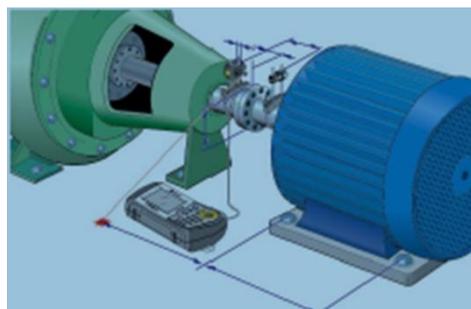
sL = jarak antara titik tengah ke dua buah kopling dengan baut pengikat kaki bagian depan

sR = jarak antara titik tengah ke dua buah kopling dengan baut pengikat kaki bagian belakang

c. Dengan menggunakan *laser optic alignment*

Pada pengukuran menggunakan metode *laser optic alignment* menjadi lebih mudah karena menggunakan sinar laser sehingga dapat diperoleh pengukuran dengan tingkat keakuratan yang tinggi. Disamping itu besarnya nilai pergeseran kedudukan motor penggerak terhadap pusat poros pompa telah dimunculkan pada display alat ukur sebagai hasil perhitungan data yang diperoleh atau direkam oleh alat *laser optic alignment*. Data hasil perhitungan akan ditampilkan sebagai nilai besaran penyimpangan pada ke empat titik baut pengikat kaki motor penggerak pompa yang selanjutnya dipergunakan sebagai acuan untuk memperbaiki posisi kedudukan

motor penggerak terhadap pompa, sehingga poros pompa dengan poros motor menjadi sejajar dengan dengan penyimpangan atau pergeseran kedudukan yang sekecil mungkin.



Gambar 5. Pemeriksaan ketidak- sejajaran menggunakan *laser optic alignment*

**KETIDAKSEJAJARAN POMPA
PENDINGIN SEKUNDER**

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya penyimpangan kelurusan antara pompa dengan motor penggerak, sehingga besarnya penyimpangan dapat dibuat sekecil mungkin, supaya tidak mempengaruhi dan menghambat laju gerak putaran motor serta mengakibatkan kerusakan komponen pada unit pompa. Spesifikasi pompa pendingin sekunder ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi pompa dan motor pendingin sekunder^[1]

No	Parameter	
A	Pompa pendingin sekunder PA-01/02/03- AP001	
1.	Tipe : CPKN S1 350-400	
2.	Nominal Capacity	1950 m ³ /h
3.	Nominal Head	28 m
4.	Pressure in Suction Nozzle	~ 0.28 bar
5.	Pump Discharge Pressure	~ 3.00 bar
6.	Effective Speed	1480 min ⁻¹
7.	Max. Operating Press.	8 bar
	Nom. Power Requir.	189 kW
B	Motor	
	Tipe : : KN 5317M-BB011-Z	
1.	Nominal power motor	220 kW
2.	Nominal Speed	1480 min ⁻¹
3.	Voltage /phasa	380/3 Volt
4.	Nominal Current/phasa	200 Amp
5.	Frequency	50 Hertz
6.	Index protection/insulation class	IP 23/F

Kegiatan pemeriksaan kesejajaran pompa ini menjadi bagian dari perawatan prediktif yang tujuannya untuk memantau pergeseran motor penggerak terhadap pompa. Karena dampak pergeseran kesejajaran motor penggerak terhadap

pompa selain tidak ekonomis juga dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan yang fatal, dan proses operasi reaktor akan terganggu karena pompa harus dimatikan. Kegiatan pengukurandilaksanakan pada saat pompa tidak beroperasi (*shut-down*), dengan cara mengukur besarnya penyimpangan kelurusan antara pompa dengan motor penggerak menggunakan peralatan *infrared alignment*, model: *Optalign*, merk *Pruftehnick*. Gambar pompa pendingin sekunder dan pemeriksaan ketidaksejajaran pompa dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Pompa pendingin sekunder



Gambar 7. Pemeriksaan ketidak sejajaran pompa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui nilai penyimpangan kesejajaran pompa harus dilakukan pengukuran menggunakan peralatan

alignment. Dari hasil pemeriksaan sekunder diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 2. Data pengukuran ketidaksejajaran pompa pendingin PA-01/02/03 AP001

No.	POMPA	Vertical offset (mm)	Vertical angularity (mm)	Horizontal offset (mm)	Horizontal angularity (mm)	Keterangan
1.	PA-01 AP001	0,27	0.17	-0.57	-0.49	Sebelum <i>alignment</i> ulang
2.	PA-01 AP001	0,00	0.11	-0.33	-0.12	Setelah <i>alignment</i> ulang
3.	PA-02 AP001	-0.03	-0.33	-0.07	-0.41	
4.	PA-03 AP001	0.08	-0.01	-0.08	-0.18	

Tabel 3. Data Arus Pompa Pendingin Sekunder PA-01/02/03

No.	POMPA	Arus, Amp			Keterangan
		R	S	T	
1.	PA-01 AP001	424	400	400	I max = 400 Amp
2.	PA-01 AP001	417	393	390	I max = 400 Amp
3.	PA-02 AP001	365	365	350	I max = 400 Amp
4.	PA-03 AP001	347	370	362	I max = 400 Amp

Dari data ketidaksejajaran pompa seperti terlihat pada tabel 2 ternyata pada pompa PA-02 AP001 dan PA-03 AP001 masih baik dan pompa layak untuk dioperasikan dimana nilai penyimpangannya masih dibawah batas standar yang dianjurkan yaitu <0.50 mm(3). Dengan nilai ketidaksejajaran yang relative kecil maka keamanan bearing dan kopling pompa dapat terjamin. Untuk mendapatkan data dan evaluasi lebih lanjut perlu dilakukan pemeriksaan ketidaksejajaran secara berkala sebagai bagian dari kegiatan perawatan. Sehingga apabila terjadi pergeseran kedudukan motor penggerak pompa dapat segera diperbaiki dan kerusakan yang lebih besar dapat dihindari.

Pada pemeriksaan pompa PA-01 AP001 (Tabel 2 no.1) nilai ketidaksejajaran pompa pada posisi *horizontal offset* terukur -0.57 mm dan *horizontal angularity* - 0.49 mm, nilai ini telah mendekati batas maksimum yang dianjurkannya yaitu 0.50 mm(3), sehingga perlu dilakukan *alignment* ulang (disejajarkan kembali) dengan menggeser

kedudukan motor penggerak sampai diperoleh nilai penyimpangan yang lebih kecil dari batas yang dianjurkan. Setelah dilakukan *alignment* diperoleh nilai *horizontal offset* terukur - 0.33 mm dan *horizontal angularity* - 0.12 mm dan dari hasil pengujian terlihat beban arus yang mengalir didalam kumparan motor menjadi berkurang, yang sebelumnya rata-rata arus yang mengalir 408 Amp, setelah di *alignment* menjadi 400 Amp. Hal ini menunjukkan bahwa dengan tingkat kesejajaran pompa yang semakin baik beban yang harus diputar oleh motor penggerak menjadi lebih kecil atau berkurang, sehingga dapat mengurangi konsumsi daya motor.

Pengaruh dari ketidaksejajaran antara poros pompa dengan poros motor penggerak mempunyai dampak yang sangat besar bagi pengoperasian sebuah pompa. Dampak yang ditimbulkan akibat ketidaksejajaran pompa antara lain (8) :

- 1). Kerusakan pada bearing, sil, dan poros motor maupun pompa

- 2). Terjadi arus listrik yang tinggi akibat momen putar yang semakin besar
- 3). Terjadi kenaikan temperature pada motor, pompa maupun kopling pompa
- 4). Terjadi kerusakan pada kumparan motor
- 5). Kerusakan kopling
- 6). Vibrasi pada motor dan pompa yang tinggi
- 7). Penggunaan komsumsi daya motor penggerak yang berlebih
- 8). Terjadi kerugian secara ekonomi.

Untuk mengurangi adanya dampak tersebut, maka besarnya nilai ketidaksejajaran antara motor dengan pompa harus dibuat sekecil mungkin sehingga pompa dapat dioperasikan dengan aman dan ekonomis. Menurut standar ketidaksejajaran yang dikeluarkan oleh *Pruftechnik* batasan yang dianjurkan untuk kopling pompa pendingin sekunder dengan putaran 1500 RPM adalah $< 0.50 \text{ mm}(3)$.

KESIMPULAN

Dari hasil pemeriksaan dan kegiatan alignment ulang motor pompa PA-01/02/03 AP001 dapat disimpulkan bahwa pompa masih berada dalam kondisi yang baik dan dapat dioperasikan dengan aman. Ketidaksejajaran pompa sangat berpengaruh terhadap besarnya konsumsi daya listrik yang digunakan serta dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan komponen mekanik pada pompa.

SARAN

Untuk lebih menjamin keandalan pengoperasian pompa sebaiknya data ketidaksejajaran tersebut masih dibandingkan dengan data vibrasi dan analisa bearing. Untuk nilai vibrasi yang baik menurut standar *ISO 2372-Vibration Severity* adalah dibawah 7.10 mm/det (9) dengan kondisi bearing yang baik dan hambatan gesek yang rendah.

Selain itu untuk mendapatkan hasil evaluasi yang menyeluruh maka data

ketidaksejajaran ini harus dibandingkan dengan data pengukuran vibrasi, data analisa bearing dan hasil pemeriksaan dudukan motor (*base-plate*), sehingga dapat mencerminkan seluruh aspek kemungkinan kerusakan pada pompa.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS, Bab VI-8, Revisi 10.1, tahun 2011
2. JOHN PIOTROWSKI, *Shaft Alignment Handbook, Third Edition*, CRC Press, 2006
3. ANONIMOUS, *An Engineers Guide to Shaft Alignment, Vibration Analysis, Dynamic Balancing and Wear Debris Analysis*, *Pruftechnik. LTD, edition 8.011*, 2002, www.pruftechnik.com, diakses tanggal 12 Oktober 2016.
4. ANONIMOUS, *Dynamic Movement, Vibr Align. Inc, 2002*, www.vibralign.com, diakses 11 Oktober 2016.
5. ANONIMOUS, *A Practical Guide to Shaft Alignment*, *LUDECA.inc, edition 4-03.007*, 2002, www.ludeca.com, diakses 10 Oktober 2016
6. RICHARD C. MARSTON, *Misalignment of Exchange Rates*, *National Bureau of Economic Research, University of Chicago, USA, 1988*
7. ANONIMOUS, *Understanding Shaft Alignment*, <http://www.maintenancetechnology.com/2002/12/understanding-shaft-alignment-basics/>, diakses 12 Oktober 2016.
8. SOEMARNO ADIBROTO, *Buku Praktis Alignment Mesin Rotasi*, Revisi 2015.
9. *Vibration Severity Range, ISO327*, <http://www.impactengineering.com/Vibration%20Severity%20-%20ISO%202372%20Chart.pdf>, diakses tanggal 12 Oktober 2016.