

## MODIFIKASI POMPA PROSES JENIS SENTRIFUGAL TERHADAP NILAI VIBRASI DI PT. Z

**Fatkur Rachmanu**

Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjinering Indorama  
e-mail: fatkur.rachman@gmail.com

### *Abstract*

Pompa industri setelah dipakai akan mengalami penurunan performa dapat diukur dengan pemeliharaan prediktif mengalami penurunan untuk mengembalikan nilai inisial agar tercapai standar kinerja berupa tren getaran yang stabil (tidak meningkat). Perbaikan pompa sentrifugal dilakukan tindakan pemeliharaan korektif berupa perbaikan komponen pompa. Kasus diketahui karena saat pemeliharaan prediktif terjadi peningkatan nilai getaran yang meningkat setelah commissioning. Adapun permasalahan pada kasus ini diakibatkan peningkatan termal pompa menyebabkan poros pompa yang melengkung karena defleksi, cacat rubbing pada throat bushing. Masalah diselesaikan dengan mengganti desain bantalan dari bantalan bola menjadi bantalan rol silinder tipe NU, yang memungkinkan perpindahan aksial yang lebih tinggi sehingga pemuaian poros akibat warm-up dapat terjaga. Kasus ini diteliti secara pendekatan yang seimbang terhadap investigasi lapangan, RCA (root cause analysis) dan pelaksanaan tindakan korektif. Hal ini memberikan petunjuk untuk mengatasi masalah peningkatan termal saat peralatan beroperasi atau beroperasi pada suhu yang sangat tinggi.

**Kata kunci :** Modifikasi, Pompa, Proses, Nilai, Vibrasi

### *Abstract*

Industrial pumps after use will experience a decrease in performance which can be measured by predictive maintenance, which decreases to restore the initial value so that performance standards are achieved in the form of a stable (not increasing) vibration trend. Repair of centrifugal pumps is carried out with corrective maintenance measures in the form of repairs to the pump components. Cases are known because during predictive maintenance, there is an increase in vibration values which increase after commissioning. The problem in this case was caused by an increase in pump thermal causing the pump shaft to bend due to deflection, rubbing defects in the throat bushing. The problem was solved by changing the bearing design from ball bearings to NU type cylindrical roller bearings, which allowed a higher axial displacement so that the expansion of the shaft due to warm-up was maintained. This case is examined in a balanced approach to field investigations, RCA (root cause analysis) and implementation of corrective actions. This provides guidance for addressing the problem of thermal build-up when the equipment is operating or operating at very high temperatures.

**Keyword :** Modification, Pump, Process, Value, Vibration

---

Makalah dikirim 4 Agustus 2022; Revisi 24 Agustus 2022; Diterima 4 Oktober 2022

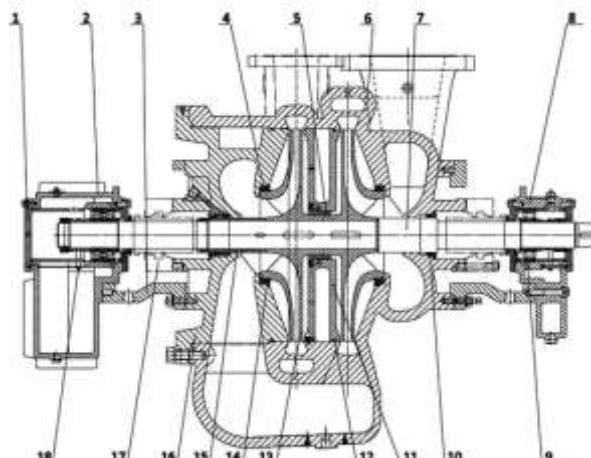
---

Modifikasi Pompa Proses Jenis Sentrifugal Terhadap Nilai Vibrasi di PT. Z,  
Fatkur Rachmanu

## 1. PENDAHULUAN

Pompa Sentrifugal adalah alat / mesin fluida cair untuk memindahkan cairan dari dataran rendah (tekanan rendah) ke dataran tinggi (tekanan tinggi) dengan menggunakan prinsip sentrifugal fluida ditarik dari bagian inlet (suction) pompa dan dihempaskan ke luar sisi rumah pompa dan dihubungkan dengan outlet (discharge) pompa. Gambar 1 menunjukkan pompa sentrifugal dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Pompa	: Centrifugal, two stage
Penggerak	: Turbine Uap
Unit Pompa	: No. 2
Temperatur kerja	: 330 °C
Takanan differential	: 20 Kg/cm <sup>2</sup> g
Jumlah Tingkat	: 2
Konfigurasi Impeller	: single suction closed
DE bearing	: 621XJ
NDE bearing	: 7311BECBM (Back-Back)
Seal Plan Mech Seal	: 11 - 53B
Vibrations monitoring	: Offline
Merk	: No Info
Model	: 4X6-13.250 Large
Type	: Large
Inlet	: 6 inchi
Outlet	: 4 inchi
Shaft dia	: 2.1875 inchi
Material	: Steel
Qapasitas	: 550 GPM
Putaran	: CCW
Berat	: 1680 lbs
Dimensi	: 56x34x32



1. Bearing cover	2. Non-driving end bearing house	3. Bracket	4. Casing wear ring	5. Interstage bush
6. Pump casing	7. Shaft	8. Driving end bearing house	9. Bearing	
10. Throat bushing	11. Interstage diaphragm	12. Spiral gasket	13. Impeller	
14. Impeller wear ring		15. Shaft sleeve	16. Pump cover	
17. Mechanical seal		18. Oil ring		

**Gambar 1.** Gambar penampang pompa.

Pemeliharaan prediktif berupa monitoring getaran terbukti dapat menyelesaikan gejala abnormal yang terjadi dan cara menanggulanginya telah diteliti [1][2].

Permasalahan yang mengarah ke arah temuan pertama pada saat pompa *commissioning* pada 17 Februari 2017 getaran diukur selama commissioning berada pada kisaran  $v_{rms}$  sebesar 4 mm/s.

Gejala abnormal pada pompa diamati pertama kali dalam 2 bulan setelah *commissioning* ketika getaran dalam kisaran  $v_{rms}$  8 mm/s direkam pada arah vertikal ujung penggerak pompa yang selanjutnya diturunkan ke nilai normal. Getaran diukur setiap minggu menggunakan *vibration analysis* secara *offline*. Telah diteliti analisis vibrasi dengan skala lab [3].

Mulai bulan September 2017 getaran di DE tercatat terus meningkat dan meningkat. Spektrum getaran menunjukkan frekuensi 1,3xRPM sebagai frekuensi yang mendominasi dengan sifat fluktuatif. Adapun tren getaran pompa (*Vibration Trend Pump*) posisi VDE dari saat *commissioning* ke *first failure*. Tabel 1 menunjukkan *Vibration Trend Pump DE*.

**Tabel 1.** *Vibration Trend Pump DE (Vertical) From commissioning to first failure.*

	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4
17-Feb-17	5.02	4.50	4.00	3.80
17-Mar-17	3.56	3.60	3.40	3.70
17-Apr-17	7.24	7.52	8.13	8.88
17-May-17	9.12	8.12	6.30	5.60
17-Jun-17	3.93	4.17	4.36	4.87
17-Jul-17	5.14	5.32	5.57	5.89
17-Aug-17	6.11	6.34	6.68	7.52
17-Sep-17	8.21	8.56	8.90	9.43
17-Oct-17	10.39	10.67	11.56	12.34
17-Nov-17	13.23	13.54	13.84	14.12
17-Dec-17	14.47	14.58	14.65	14.88

Week 1 taken data on 17<sup>th</sup> every month

Kemudian pengamatan selama pemeliharaan ditemukan :

1. *Bearing DE* gagal dan harus diperbaiki, *mechanical seal* gagal harus diperbaiki [4]
2. *Rubbing* pada *bearing housing*, dan *throat bush*
3. *Run-out* tinggi di daerah *shaft bearing* dan daerah kopling
4. *Suction* dan pipa *discharge* diamati *misalignment* pada ulir w.r.t nosel pompa

Tindakan perbaikan yang dilaksanakan (selama akhir tahun 2017 dan awal 2018):

1. Memindahkan jalur pemanasan (*warm-up line*) pompa dari atas ke bawah pompa dan menentukan tingkat pemanasan yang lambat untuk keseragaman ekspansi.
2. Memastikan aliran minimum melalui pompa dengan membuka katup resirkulasi minimum tetap.
3. Pemeriksaan konsentratisas dan perakitan pompa bersama dengan uji coba mekanis di vendor.

*Bump test* dilakukan pada poros pompa dan impeller dipasang mengindikasikan frekuensi natural pada berkisar 1,3xRPM hingga 1,4xRPM (~70Hz). *Rubbing of pump shaft*, ketika operasi, eksitasi untuk frekuensi natural, menunjukkan vibrasi 1,3xRPM yang timbul.

Tanda keausan bearing housing DE menunjukkan pembatasan dalam gerakan aksial bantalan, oleh karena itu pembatasan ekspansi poros pompa. Selama pemanasan (*warm-up*), ekspansi pemuaian secara linier yang diukur pada poros kira-kira 0,5-1,0 mm. Ini menghasilkan defleksi poros, menciptakan gesekan antara poros dan *throat bush* sama baiknya dengan *wear ring*. Fenomena timbul dalam spektrum getaran sebagai orde 1,3xRPM. Dengan cairan yang dipompa pada suhu yang sangat tinggi (330°C), kecocokan bantalan pada poros dan di dalam rumah pompa menjadi sangat penting. Kesesuaian menjadi lebih penting dengan bantalan bola dalam alur tipe 6213 atau setara.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian berdasarkan data pemeliharaan prediktif / monitoring getaran praktis yang terjadi fenomena di alat yang diamati / pompa. Diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Penelitian menggunakan data vibrasi dengan *off line monitoring* pada mesin secara prediktif (*condition base maintenance*) lalu dilakukan analisis RCA kemudian dilakukan tahapan modifikasi komponen pompa. Setelah itu dilakukan pengambilan data vibrasi setelah modifikasi pompa.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil modifikasi komponen pompa dijelaskan dengan tindakan perbaikan pompa (pemeliharaan korektif), adapun beberapa hasil tindakan dijelaskan pada sub bab di bawah ini.

### 3.1 Memperbaiki Poros Melengkung

Meluruskan poros dapat menjadi masalah selama pembuatan awal atau seperti yang ditemukan selama pemeriksaan pompa saat diperbaiki. Spesifikasi seperti ANSI, API, HI dan lainnya. Untuk membatasi kelurusan poros, tetapi umumnya (kecuali poros yang sangat panjang dan ramping).

Tiga metode utama dapat digunakan untuk meluruskan poros pompa: metode visual (*peening*), metode pemanasan, metode mekanis. Dalam pengamatan / visual, poros dipukul menggunakan palu untuk diluruskan. Dengan metode pemanas dengan torch gas dapat diterapkan terkadang di kombinasikan dengan poros dipukul untuk meluruskannya. Metode mekanis menggunakan tekanan dengan hidrolik yang diterapkan untuk meluruskan poros ke nilai yang lebih masuk memenuhi, dan kemudian *peening* dan/atau pemanasan masih dapat diterapkan untuk menyempurnakannya ke dalam nilai yang diizinkan. Namun, ada batasan yang menentukan poros mana yang masih dapat diselamatkan dengan prosedur ini, versus yang harus

dibuang untuk poros baru. Keterbatasan ini termasuk ukuran poros, material dan jumlah distorsi awal. Karena semua metode melibatkan koreksi deformasi di luar batas elastis, beberapa pertimbangan termasuk tegangan yang dikenakan, perubahan struktur metalografi, retak mikro dan lain-lain. Perlakuan panas pasca pelurusan sering diperlukan. Sayangnya, tidak ada prosedur yang dapat menyelesaikan semua masalah poros secara universal, dan sebagian besar fasilitas perbaikan menerapkan pengalaman internal untuk memutuskan mana yang harus digunakan. Pelurusan poros bengkok adalah proses yang rumit. Poros yang bengkok dapat menyebabkan banyak masalah pompa termasuk keausan pada bushing pendukung, seal/bocor, getaran tinggi, bantalan kelebihan beban, dan banyak masalah lainnya.

### 3.2 Perpanjangan Poros Karena Ekspansi Temperatur dari Warm-Up Pompa

Peningkatan temperatur menyebabkan ekspansi dari panjang poros maka untuk menghitung dapat digunakan perhitungan untuk gaya aksial yang menyebabkan temperatur perpanjangan. Perhitungan menggunakan satuan metrik.

Gaya Aksial Karena Ekspansi Termal

Gaya yang terjadi karena ekspansi termal pada poros adalah [5]:

$$F = E \alpha dt A \quad (1)$$

Diketahui :

$$p = 1.5 \text{ (m)}$$

$$A = 0.00242344 \text{ m}^2 \text{ dengan diameter poros } 2.1875 \text{ inchi}$$

$$dt = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$\alpha = 18 \times 10^{-6} \text{ m/mK}$$

Maka hasil perhitungan teoritis adalah sebagai berikut :

$$dL = 0.00675 \text{ m atau } 6.75 \text{ mm}$$

$$\alpha = 922500000 \text{ Pa}$$

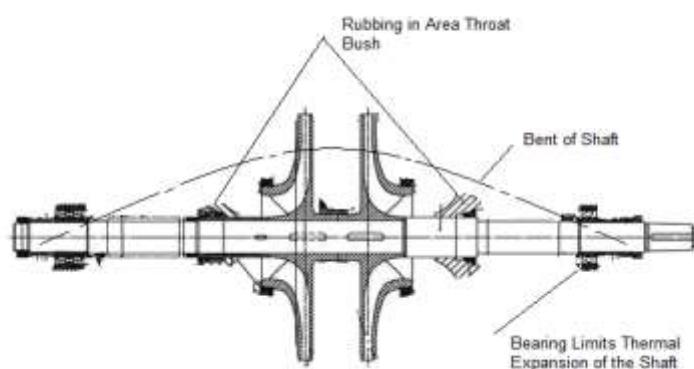
$$F = 2235623 \text{ N}$$

Penyebab utama kerusakan pada pompa jenis *between bearing* tersebut adalah terjadinya *shaft bending* yang disebabkan oleh kurangnya pelumasan (*lack of lubrication*) pada bearing tepatnya dibagian *roller bearing*. Sehingga gesekan *metal to metal* yang terjadi pada *shaft* dan *bearing* tersebut menimbulkan panas yang melebihi temperatur kerja.

### 3.3 Masalah Bearing

*Bearing housing* pompa di sisi *Drive End* (DE) mulai menunjukkan getaran tinggi yang terputus-putus selama fase *commissioning*. Hal ini mengakibatkan kegagalan berulang pada bantalan DE dan kerusakan pada *bearing housing*. Akar penyebab dianalisis sebagai perluasan rumah pompa yang tidak merata selama pemanasan pompa, yang mana poros yang *misalignment* *DE slide floating bearing* di dalam *bearing housing*, akibatnya pertumbuhan termal poros pompa terbatas dan poros yang melengkung karena defleksi, cacat *rubbing* pada *throat bushing*. Masalah diselesaikan dengan mengganti desain bantalan dengan bantalan rol silinder tipe NU, yang memungkinkan perpindahan aksial yang lebih tinggi. Kasus ini diteliti secara pendekatan yang seimbang terhadap investigasi lapangan, RCA (*root cause analysis*) dan pelaksanaan tindakan korektif. Hal ini memberikan petunjuk untuk mengatasi masalah peningkatan termal saat peralatan beroperasi atau beroperasi pada suhu yang sangat tinggi. Solusi dengan *drive end side 621XJ (deep groove ball bearing)* diganti dengan *NU215 (cylindrical roller bearing)* karena pertimbangan beban minimum, persyaratan perpindahan aksial dan persetujuan pabrik pembuat pompa. *Roller bearing* dapat menahan lebih besar beban radial. Pertimbangan yang diambil berdasarkan beban minimum dan *Axial Displacement*. Beban minimum : memenuhi beban minimum yang dibutuhkan (dikonfirmasi oleh pabrikan OEM pompa). *Axial Displacement* : dapat bertahan hingga 1.4 mm perpindahan sedangkan perpindahan sebenarnya adalah sebesar 1.0 mm. Sesuai pada lokasi maka dapat menampung dalam rumah

bantalan yang sama dengan memasang cincin pengatur jarak (*spacer rings*). Kondisi poros melengkung akibat pompa Warm-Up ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3. Kondisi Poros Melengkung Akibat Pompa Warm-Up**

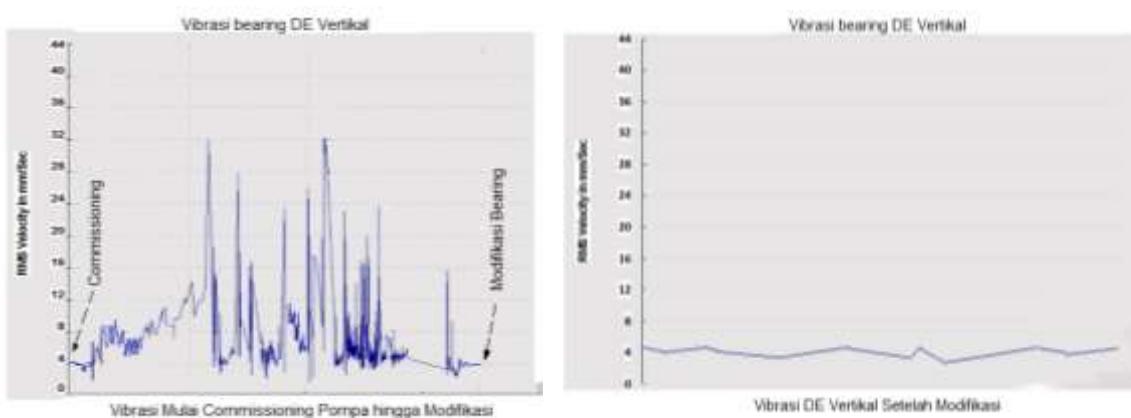
Tanda keausan rumah bantalan DE (free bearing) menunjukkan pembatasan dalam gerakan aksial bantalan pembatasan ekspansi poros pompa. Selama pemanasan, ekspansi linier diukur dalam poros kira-kira 1,0 mm. Hal ini menyebabkan poros bengkok (*bent of shaft*), menciptakan gesekan antara poros dan *throat bush* pada *wear ring*. Itu merupakan fenomena yang tercermin dalam spektrum getaran sebagai getaran orde 1,3xRPM.

Dengan cairan yang dipompa kondisi suhu sangat tinggi 330°C, pemasangan bantalan pada poros dan di dalam *bearing housing* menjadi sangat penting. Cocok bahkan menjadi lebih penting dengan bantalan bola dalam alur (621X) pada posisi NDE ujung yang mengambang.

Untuk meningkatkan desain bantalan maka menghilangkan pembatasan ekspansi poros selama pompa dalam pemanasan untuk itu pada DE side 621XJ (*deep groove ball bearing*) diganti dengan NU215 ECJ (*cylindrical roller cylinder bearing*) setelah mempertimbangkan dari beban minimum, permintaan perpindahan aksial dan persetujuan dari produsen pompa.

### 3.4 Penambahan Spacer Ring

Untuk mengatasi kasus berulang ditambahkan pada *bearing housing* DE berupa *spacer ring*. Maka hasil pengujian sebelum dan sesudah perbaikan adalah dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4. Kondisi Sebelum dan Sesudah Modifikasi Komponen Pompa.**

Pada Gambar 4, setelah mengganti tipe bearing, pompa berjalan baik dengan getaran dalam batas yang baik vibrasi rms 3-5 mm/s. Tidak ada fluktuasi puncak yang muncul saat pompa hidup dan dimatikan.

Pemeliharaan korektif dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- a. Meningkatkan desain bantalan ujung bebas sehingga menghilangkan pembatasan ekspansi poros selama pemanasan pompa.
- b. Pengujian dilakukan untuk memeriksa fungsi pompa yang tepat sehingga tidak akan gagal di lokasi setelah pemasangan, hal itu adalah bagian yang sangat penting dari perawatan karena, jika pompa gagal setelah pemasangan, akan meningkatkan biaya dalam hal biaya komponen yang diperlukan untuk pemeliharaan dan juga dalam hal tenaga kerja yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan itu kembali.
- c. Pompa dirakit dan *mechanical seal* serta *gasket* diuji pada tekanan 5 kgf/cm<sup>2</sup>. Ditemukan tidak ada kebocoran pompa setelah perakitan diputar untuk membebaskan rotor di pompa. pompa diperiksa untuk pengencangan baut yang tidak rata atau hilang.
- d. Penyebab utama kerusakan pada pompa jenis *between bearing* tersebut adalah terjadinya *shaft bending* yang disebabkan oleh kurangnya pelumasan (*lack of lubrication*) pada *bearing* tepatnya dibagian *roller bearing*. Sehingga gesekan *metal to metal* yang terjadi pada shaft dan bearing tersebut menimbulkan panas yang melebihi temperatur kerja.
- e. Pelurusan poros melengkung adalah proses yang rumit. Poros yang melengkung dapat menyebabkan banyak masalah pompa termasuk keausan pada *bushing* pendukung, *seal* bocor, vibrasi tinggi, *bearing* kelebihan beban, dan banyak masalah lainnya.

#### 4. KESIMPULAN

Penambahan panjang karena kenaikan temperatur dari poros pompa warm-up karena temperatur cairan yang dipompakan mencapai 330 °C menyebabkan poros melengkung karena bearing DE berupa ball bearing tidak dapat menahan perpanjangan. Untuk mengatasinya dengan cara memperbaiki poros dengan meluruskan poros, mengganti *ball bearing* DE menjadi *roll bearing* yang dapat mengikuti panjang poros atau dapat bergerak aksial, memperbaiki *throat bush* karena *rubbing*. Pada *bearing housing* DE menambahkan *spacer ring*. Untuk kasus yang serupa dapat dilakukan RCA dan menggunakan pompa khusus yang dapat menanggulangi kasus peningkatan temperatur poros yang tinggi.

#### 5. DAFTAR NOTASI

- p : panjang poros  
A : luas dari penampang poros  
dt : peningkatan temperatur  
E : Modulus Young  
α : Koefisien Ekspansi  
dL : perpanjangan karena kenaikan temperatur  
σ : tegangan yang terjadi  
F : Gaya yang terjadi

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rachmanu Fatkur, "Prediksi Getaran Pompa Rekondisi API 610 OH-4 Model 3900L dengan Solidworks." Elektra 2016; 1(2): 54-61.
- [2] Rachmanu Fatkur. "Pemantauan Kondisi Pompa Sentrifugal P-12A Menggunakan Analisis Vibrasi Studi Kasus Di PT X." Ramatekno 2022; 2(1):14-19.
- [3] Rachmanu Fatkur, Suherman Maman, Permana Yan., "Studi Sistem Monitoring Getaran Pada Modul Mesin Berputar Satu Disc Menggunakan LABVIEW dan FEM." Elektra 2017; 1(1):32-41.
- [4] Rachmanu Fatkur, Suherman M, Permana Y. "Simulasi Desain Diameter Rotor 50 mm pada Mechanical Seal untuk Pompa Sentrifugal dengan Software." Ramatekno 2021; 1(2):1-8.
- [5] [https://www.engineeringtoolbox.com/stress-restricting-thermal-expansion-d\\_1756.html](https://www.engineeringtoolbox.com/stress-restricting-thermal-expansion-d_1756.html).