

## Meningkatkan MTBF Pompa Minyak Multi Stage Centrifugal dengan Upgrade Material dan Redesign Balance Drum

Nono Pinarto<sup>1,\*</sup> Sadikin<sup>2</sup>, Ismail Hasan Fahmi Sukmana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PT Pertamina (PERSERO), Indonesia

### Abstrak

Tiga unit pompa Multi Stage di Kilang Minyak Balongan mempunyai *Mean Time Between Failure* (MTBF) rata-rata kurang dari enam bulan. Pompa ini tidak dioperasikan dan dilakukan perbaikan bila sudah mencapai batas vibrasi radial sebesar 81  $\mu\text{m}$ . Fluida yang dipompakan mengandung banyak partikel *abrasive* keras sehingga meningkatkan *Running Clearance* antara *Balance Sleeve* dengan *Pressure Reducing Bushing*. Diperkirakan hal ini yang meningkatkan vibrasi menjadi tinggi. Hasil pemeriksaan menunjukkan terjadi erosi cukup dalam pada *Groove* terakhir di *Balance Sleeve*. Erosi pada *Groove* ini merupakan kombinasi dari perbedaan tekanan yang besar, kecepatan tinggi, efek gerinda dan adanya partikel yang terikut masuk. Bila membandingkan kondisi operasi dengan Kurva *performance* pompa tsb, mengevaluasi kondisi sistem *Feed Filter*, jumlah partikel di fluida (ppm) serta komposisinya, tren serta spektrum vibrasi, dapat disimpulkan bahwa sumber dari permasalahan rendahnya MTBF adalah karena terjadi peningkatan *Running Clearance* antara *Balance Sleeve* dan *Pressure Reducing Bushing*. Sumber dari fluida *Crude Oil* yang telah berubah dari tahun 2010 juga menjadi kontribusi. *Engineering Partnership* antara *Original Pump Manufacture* dengan pihak *Pump User* memberikan suatu solusi untuk melakukan *Material Upgrade* dan *Redesign* pada *Balance Sleeve* dan *Pressure Reducing Bushing*. Komponen hasil *Upgrade* dan *Redesign* ini telah dipasang dan hasil evaluasi menunjukkan telah terjadi peningkatan MTBF yang cukup signifikan (> satu tahun).

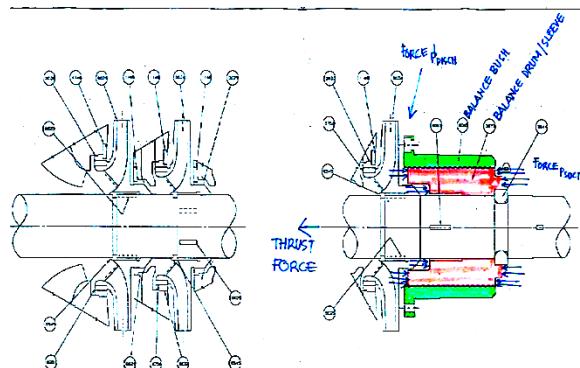
**Kata kunci :** *Mean Time Between Failure (MTBF)*, *Pompa Multi Stage*, vibrasi radial, Partikel *Abrasive*, *Running Clearance*, *Balance Sleeve*, *Pressure Reducing Bushing*, *Material Upgrade*, *Redesign*.

### Pendahuluan

PT Pertamina (Persero) RU VI Balongan merupakan kilang keenam dari tujuh kilang Direktorat Pengolahan PT Pertamina (Persero) dengan kegiatan bisnis utamanya adalah mengolah minyak mentah (*Crude Oil*) menjadi produk-produk BBM (Bahan Bakar Minyak), Non BBM dan Petrokimia. Salah satu jenis pompa yang digunakan pada unit ARHDM (*Atmospheric Residue Hydro Demetalization*) di kilang minyak Balongan adalah pompa sentrifugal *barrel multi-stage* BB5. Fluida pompa tersebut adalah residue yang berasal dari unit CDU (*Crude Distilling Unit*). Desain awal *crude oil* yang digunakan adalah 15% Minas dan 85% Duri, namun pada perkembangannya

komposisi *crude oil* tersebut berubah seiring dengan ketersediaannya yang semakin sedikit. Saat ini pemenuhan kebutuhan produksi dilakukan *blending* dengan *crude oil* yang ada di pasaran sehingga *impurities* yang terbawa yaitu partikel *abrasive* keras semakin banyak dan berpotensi menyebabkan erosi pada *internal part* pompa.

Pada pompa tersebut terdapat part yang disebut dengan *balancing drum*, seperti pada Gambar 1. *Balancing drum* terdiri dari *balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing*, fungsinya untuk menyeimbangkan gaya axial yang terjadi pada rotor sehingga diharapkan posisi rotor seimbang / tidak terjadi *overload* pada *thrust bearing*.



Gambar 1. *Balancing drum* pada pompa centrifugal multi-stages.

### Permasalahan

Pompa ini tidak dioperasikan dan dilakukan perbaikan bila sudah mencapai batas vibrasi radial sebesar  $81 \mu\text{m}$ . Pompa ini selalu mengalami problem vibrasi tinggi sejak adanya perubahan karakteristik crude dimana fluida yang dipompakan mengandung banyak partikel abrasive keras.

Vibrasi tinggi ini terkadang menyebabkan terjadinya jammed dan juga selalu ditemukan kerusakan pada *Balancing Drum* (*balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing*). MTBF (Mean Time Between Failure) pompa rendah ( $\leq 6$  bulan atau di bawah 4000 jam) sehingga berdampak pada penurunan kapasitas unit dan biaya *maintenance* yang tinggi. *Standard Lifetime* yang seharusnya adalah *Uninterrupted Operation* selama 3 tahun atau  $\pm 25000$  jam operasi.

Berikut catatan perbaikan kerusakan yang terjadi pada salah satu dari tiga pompa dimaksud sejak tahun 2010, Tabel 1.

Tabel 1. Data histori kerusakan balancing drum sebelum upgrade material.

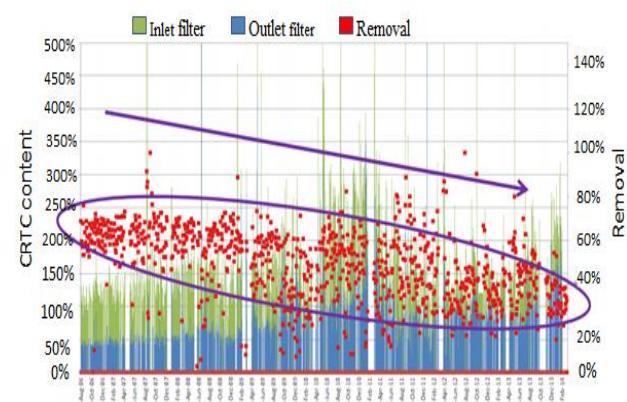
Perbaikan	Kerusakan	Lifetime (bulan)	Keterangan
Jul 2009	Jul 2010	12	kontinyu
Jul 2010	Nov 2010	4	kontinyu
Nov 2010	Feb 2011	3	kontinyu
Apr 2011	Nov 2011	3	<i>Intermitte n</i>
Des 2011	Mei 2012	5	Kontinyu

Mei 2012	Agus 2013	8	<i>Intermitte n</i>
Sep 2013	Feb 2014	5	Kontinyu
Feb 2014	Jul 2014	4.5	Kontinyu
Jul 2014	Okt 2014	3	Kontinyu
Nov 2014	Mar 2015	4	Kontinyu

### Metodologi Solusi Permasalahan

Tahapan yang dilakukan untuk menentukan *Root Cause* dan Solusi dari permasalahan ini adalah dengan melakukan pemeriksaan dan evaluasi pada *Feed Filter System*, kondisi operasi pompa, vibrasi pompa, komponen internal pompa. Kesemua tahapan ini dilakukan secara *Engineering Partnership* antara *Original Pump Manufacturer* dengan *Pump User*.

**Inspeksi Feed Filter System.** Kinerja *feed filter* berdasarkan data pada Gambar.2 mengalami penurunan efisiensi dalam menghilangkan impurities yang ditunjukkan dengan rendahnya % removal yaitu dari sebelum tahun 2010 bisa mencapai rata-rata 75% sedangkan setelah tahun 2010 terus mengalami penurunan hingga rata-rata menjadi 25%. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan komposisi pada crude oil terutama sejak tahun 2010.



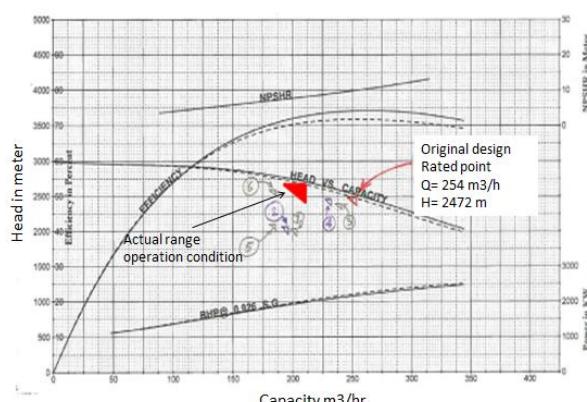
Gambar 2. Particle removal chart

**Evaluasi Kondisi Operasi Pompa.** Dari pengambilan data kondisi operasi aktual kemudian dilakukan perbandingan dengan data disain sesuai Tabel.2.

Berdasarkan data kondisi operasi aktual rata-rata, saat ini pompa dioperasikan dengan kapasitas lebih rendah dari *rated flow* nya yaitu 210 vs 254 m<sup>3</sup>/h rated. *Suction pressure* sebesar 3.4 kg/cm<sup>2</sup> dan *discharge pressure* 202 kg/cm<sup>2</sup> sehingga dengan nilai SG fluida yang lebih rendah maka differential head pompa lebih tinggi daripada desain yaitu 2534 vs 2472 meter. Jika dilakukan plot terhadap kurva performa *head vs capacity* mengalami penurunan efisiensi sebesar 2.5% dari design, sehingga dapat disimpulkan performa pompa masih baik karena tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari design walaupun terjadi perubahan komposisi fluida, lihat Gambar 3.

Tabel 2. Komparasi desain vs aktual rata-rata kondisi operasi.

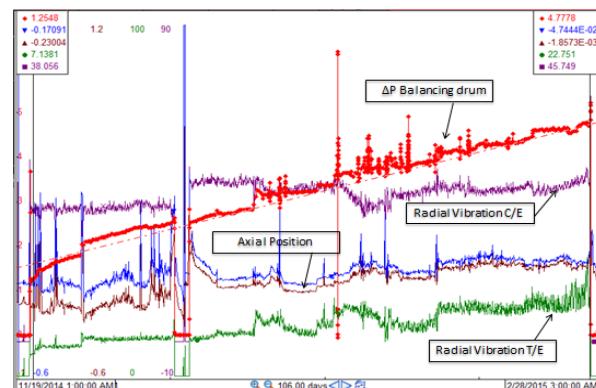
Parameter	Unit	Desain	Aktual
Service	-	AR	AR
No. of Stages	stage	10	10
Flow	m <sup>3</sup> /h	231 nor / 254 rated	210
Discharge Pressure	kg/cm <sup>2</sup>	196 rated	202
Suction Pressure	kg/cm <sup>2</sup>	2 rated / 9.5 max	3.4
Differential Head	m	2472	2534
Fluid	°C	274 nor / 302 max	260 – 270
Temperature			
Specific Gravity	-	0.785	0.780
Speed	rpm	4350	4350



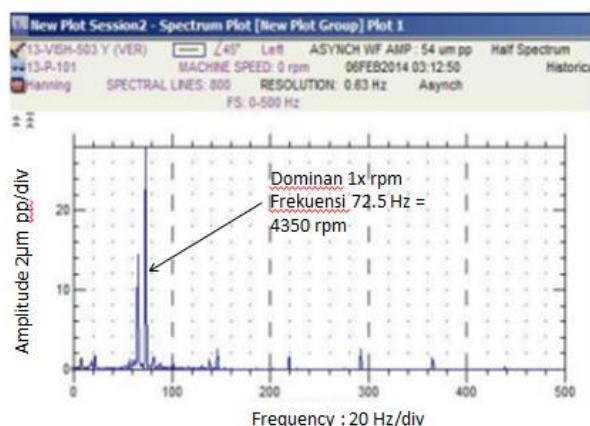
Gambar 3. Kurva performa pompa.

**Analisa Data Vibrasi.** Berdasarkan data vibrasi sebelum *upgrade* yaitu pada perbaikan bulan Februari 2015, kerusakan *balancing drum* dengan indikasi  $\Delta P$  *balancing line* 4.7 vs 3.5 kg/cm<sup>2</sup> maksimum menyebabkan naiknya nilai vibrasi radial terutama pada sisi *coupling end* (DE) dari normal berkisar antara 20~35  $\mu\text{m}$  menjadi di atas 45.7 vs 45  $\mu\text{m}$  *alert* sehingga pompa dilakukan *shut-down*. Untuk posisi aksial rotor sebesar -0.04 vs  $\pm 0.35$  *alert*, relatif belum terjadi pergeseran yang besar ke arah *suction* karena pompa sudah terlebih dahulu stop, lihat Gambar 4. Kenaikan  $\Delta P$  *balancing line* sebanding dengan naiknya nilai vibrasi radial pompa dan sebanding dengan pergeseran posisi aksial rotor ke arah sisi *suction*.

Spektrum vibrasi radial pada sisi *coupling end* (DE) menunjukkan frekuensi dominan pada 1x rpm, hal tersebut mengindikasikan dengan jelas bahwa terjadi *rotor imbalance* yang disebabkan adanya pengurangan / penambahan masa pada rotor, Gambar 5.



Gambar 4. Tren peningkatan  $\Delta P$  *balancing drum* terhadap vibrasi pompa.

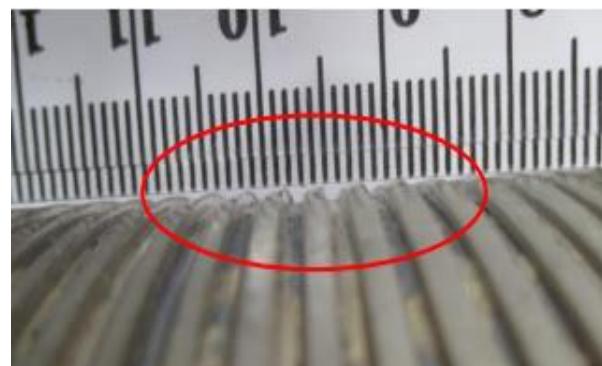


Gambar 5. Spektrum vibrasi radial pada sisi *coupling end* (DE).

**Inspeksi Internal Part Pompa.** Hasil pemeriksaan *impeller shrouds*, *diffuser vanes*, dan *impeller wear ring* terdapat erosi namun masih dalam batas toleransi sehingga tidak mempengaruhi penurunan performa pompa.

Sedangkan kondisi erosi yang ekstrim terjadi pada *balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing*. Erosi terjadi pada sisi masuknya fluida ke dalam *groove balancing drum* yang disebabkan kombinasi antara perbedaan tekanan fluida yang besar, tingginya kecepatan fluida dan adanya partikel abrasive keras pada fluida yang menimbulkan turbulensi aliran dengan efek gerinda sehingga bentuk kerusakannya seperti *saw-tooth* pada Gambar 6.

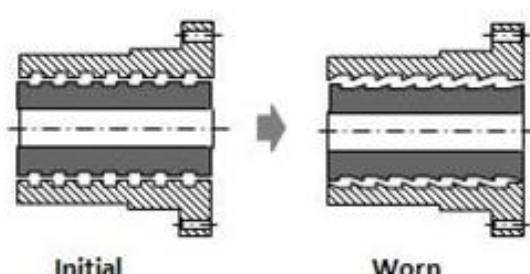
Erosi tersebut menyebabkan meningkatnya *running clearance* di antara *balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing* yang selanjutnya dapat menyebabkan naiknya nilai vibrasi radial (maksimum  $81\mu\text{m}$ ) dan *thrust load* sehingga beresiko pompa trip / jammed. Selain itu erosi menyebabkan perbedaan tekanan *balancing line* di antara sisi *discharge* dan sisi *suction* meningkat sehingga dapat menaikkan tekanan *seal chamber* pada sisi *discharge* pompa dan mengakibatkan kebocoran pada *mechanical seal*.



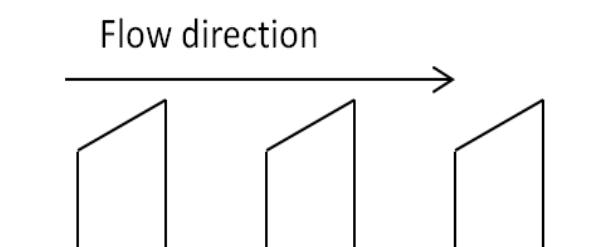
Gambar 6. Erosi pada *balancing sleeve* seperti *saw-tooth*.



Gambar 7. Erosi pada *pressure reducing bushing*.



Gambar 8. Ilustrasi kondisi *balancing drum* sebelum dan sesudah terjadi keausan.



Gambar 9. Ilustrasi masuknya fluida ke dalam *groove balancing drum*.

## Pembahasan dan Solusi

Kerusakan pompa diawali dari partikel padat pada fluida yang mengalir dengan tekanan tinggi  $200 \text{ kg/cm}^2$  memasuki *running clearance* pada *balancing drum* sebesar  $0.35\text{--}0.40 \text{ mm}$  (standar) sehingga menggerus *balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing*. Hal ini mengakibatkan *running clearance* menjadi semakin besar dan membuat tekanan keluar *balancing drum* juga menjadi semakin besar, *setting alert differential pressure balancing line* sebesar  $2.5 \text{ kg/cm}^2$  dan maksimum  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Meningkatnya *running clearance* mengindikasikan keausan *balancing drum* yang berarti terjadi pengurangan masa dan menyebabkan naiknya vibrasi radial mencapai maksimal  $81 \mu\text{m}$  dengan *suspect unbalance* hingga menyebabkan pompa *trip/jammed*.

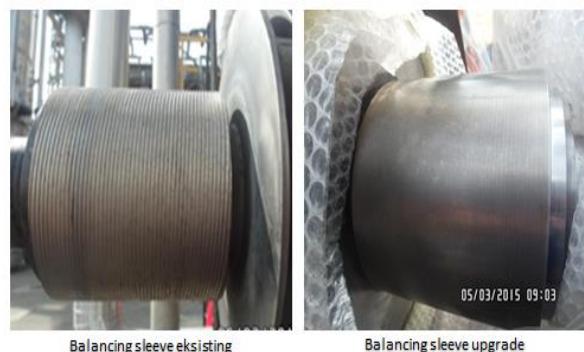
Di samping itu besarnya perbedaan tekanan *balancing line* menyebabkan naiknya tekanan *seal chamber* pada sisi *discharge* pompa sehingga berpotensi *external flushing mechanical seal* dengan tekanan sebesar  $7 \text{ kg/cm}^2$  gagal melumasi *mechanical seal* dan akhirnya bocor.

**Design Upgrade.** Evaluasi bentuk erosi/keausan menunjukkan ketidakmampuan material *balancing drum* menahan gesekan yang ditimbulkan oleh partikel di dalam fluida saat melewati *balancing drum*. Pengukuran terhadap *running clearance* *balancing drum* eksisting setelah pemakaian menunjukkan terjadi peningkatan yang sangat signifikan mencapai  $1.5 \text{ vs } 0.35\text{--}0.40 \text{ mm}$  standar.

*Balancing drum* eksisting mempunyai desain dengan *spiral groove* pada *balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing* seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7. Fungsi desain *spiral groove* ini untuk mengurangi kebocoran fluida proses dan menurunkan tekanan fluida saat memasuki *running clearance balancing drum*.

*Balancing drum* upgrade mempunyai desain *balancing sleeve* tanpa *spiral groove*

sehingga diharapkan pola aliran fluida yang masuk ke dalam *running clearance balancing drum* tidak terjadi turbulensi. Sedangkan *pressure reducing bushing* tetap menggunakan *spiral groove* dan ditambah *swirl breaker* pada sisi masuk fluida untuk mengurangi kebocoran dan menurunkan tekanan fluida proses secara lebih efektif. Lihat Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. *Balancing sleeve* original dengan *spiral groove* dan *balancing sleeve* upgrade tanpa *spiral groove*.



Gambar 11. *Pressure reducing bushing* eksisting dan upgrade dengan *swirl breaker*.

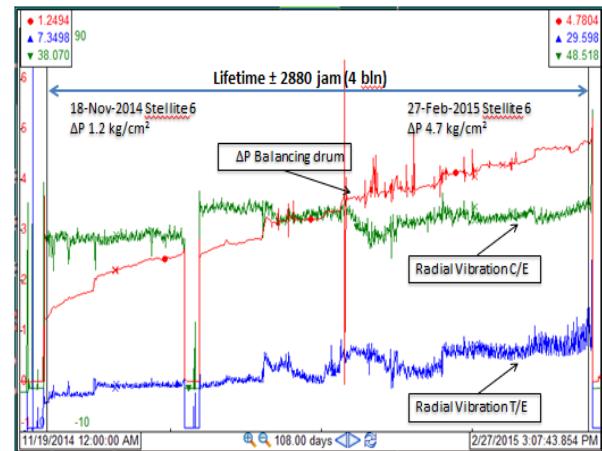
**Material Upgrade.** Material *balancing drum* eksisting telah dilakukan *upgrade* sejak meningkatnya frekuensi kerusakan pada tahun 2010 dengan data sebagaimana pada Tabel 3. *Upgrade* terakhir yang dilakukan pada tahun 2012 menggunakan material CA15 (12% Cr) dengan *overlay stellite* 6 pada *bushing sleeve* dan CA15 (12% Cr) dengan *overlay stellite* 1 pada *pressure reducing bushing*.

Sedangkan material *balancing drum upgrade* tahun 2015 adalah menggunakan CA15 dengan *coating DLD tungsten carbide* pada *balancing sleeve* dan CA15 dengan *high-alloy white iron cylindrical insert* pada *pressure reducing bushing*. Material tersebut dipilih karena sifatnya yang tahan terhadap material abrasif keras, namun karena karakteristiknya yang keras maka cenderung lebih mudah crack sehingga proses pemasangan *pressure reducing bushing* pada *head cover* pompa dilakukan secara hati-hati yaitu dengan direndam menggunakan *dry ice* selama  $\pm 40$  menit dan tidak dilakukan *tack weld* pada baut melainkan hanya diberikan *Loctite 242*.

Tabel 3. Histori *upgrade* material *balancing drum*

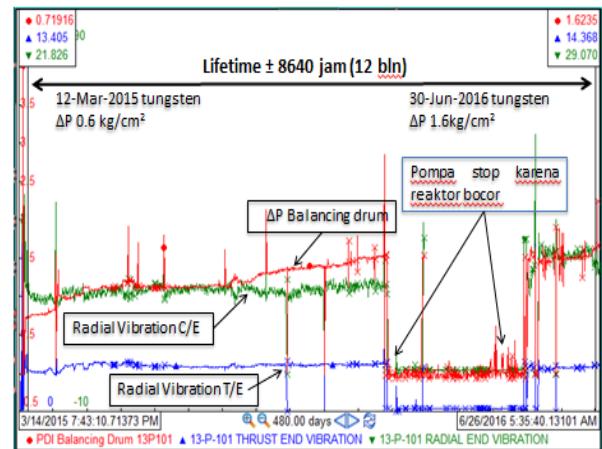
Kondisi	Part	Material
Standar	Balancing sleeve	SUS420J2
<i>Upgrade 1</i> Tahun 2011	Pressure reducing bushing	SUS420J2
	Balancing sleeve	Hardening
<i>Upgrade 2</i> Tahun 2012	Pressure reducing bushing	SUS420J2
	Balancing sleeve	CA15+ Stellite 6
	Pressure reducing bushing	CA15+ Stellite 1

**Mean Time Between Failure.** MTBF pompa sebelum dilakukan *upgrade balancing drum* rata-rata 4-5 bulan seperti pada Tabel 1. Perbaikan terakhir pada bulan November 2014 sebelum *upgrade*,  $\Delta P$  *balancing line* meningkat dari awal beroperasi sebesar  $1.2 \text{ kg/cm}^2$  menjadi  $4.8 \text{ kg/cm}^2$  dalam kurun waktu 4 bulan, lihat Gambar 8.



Gambar 8. MTBF pompa sebelum *upgrade balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing*.

Setelah dilakukan *upgrade* material dan desain *balancing drum* pada bulan Februari 2015,  $\Delta P$  *balancing line* pada awal beroperasi sebesar  $0.6 \text{ kg/cm}^2$ . Dan setelah pompa beroperasi selama  $\pm 12$  bulan,  $\Delta P$  *balancing line* stabil pada  $1.6 \text{ kg/cm}^2$ , lihat Gambar 9. Diharapkan pompa dapat beroperasi hingga 3 tahun dan selanjutnya akan dilakukan inspeksi internal part pompa.



Gambar 9. MTBF pompa setelah *upgrade balancing sleeve* dan *pressure reducing bushing*.

**Maintenance Cost.** Peningkatan MTBF pompa berdampak pada biaya perawatan yang timbul akibat kerusakan *balancing drum*. Sebelum dilakukan *upgrade balancing drum*, MTBF rata-rata 4 bulan

yang berarti dilakukan perbaikan sebanyak 12 kali dalam 3 tahun. Sedangkan setelah *upgrade balancing drum* diharapkan perbaikan hanya dilakukan 1 kali setiap 3 tahun, lihat Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan biaya perbaikan satu pompa sebelum dan sesudah *upgrade balancing drum*

Biaya Perbaikan	Sebelum <i>upgrade</i> (USD)	Setelah <i>upgrade</i> (USD)
Material	212,663.3	254,858.8
Jasa	75,379.0	75,379.0
Total 1x	288,042.4	330,237.8
Total 3 tahun	3,456,508.68	330,237.8
Penghematan	3,126,270.85	

### Kesimpulan

Upgrade material dan desain *balancing drum* pompa *Centrifugal Muti Stage* mampu menaikkan MTBF pompa secara signifikan, yaitu dari rata-rata 4 bulan menjadi  $> 1$  tahun. Diharapkan MTBF pompa dapat mencapai 3 tahun sehingga menimbulkan dampak finansial yaitu turunnya biaya perawatan pompa dan meningkatkan kehandalan peralatan untuk mendukung proses produksi.

### Referensi

- [1] John W. Dufour, William E. Nelson, Centrifugal Pump Source Book, McGraw-Hill, Inc, New York, 1992, Pages 92-97.
- [2] Dresser Pump, Operation and Maintenance Manual, Dresser Industries, Inc, California, 1993.
- [3] Charles H., Reactor Feed Pump Technical Proposal, Flowserv Corporation, Singapore, 2014.