

## PENGARUH KONDISI OPERASIONAL TERHADAP UMUR PAKAI *MECHANICAL SEAL* PADA POMPA SENTRIFUGAL

Budha Maryanti<sup>1</sup>

### Abstraksi

Kebocoran *mechanical seal* dapat terjadi karena adanya aus pada *carbon seal face*. *Mechanical seal* bekerja seperti *bearing*, maka kondisi operasi yang menyebabkan kerusakan *bearing* juga dapat merusak *mechanical seal* sehingga umur pakainya dapat menurun secara signifikan jika masalah tersebut tidak ditangani secara tepat. Penelitian dilakukan dengan pengamatan langsung ke obyek dan bertujuan untuk menganalisa kondisi operasi dan mengetahui umur pakai *mechanical seal* pada pompa sentrifugal yang digunakan untuk memompa air baku dari kolam penampungan ke tangki pengolahan dan penjernihan air *Water Treatment Processing* (WTP). Hasil penelitian menunjukkan penyebab utama kerusakan *mechanical seal* disebabkan oleh fluida produk (air kolam) yang dipompa mengandung pasir, lumpur dan kotoran sisa daun-daun ( $NTU > 4000$ ), yang menyumbat saluran pelumas dan pendingin *sealfaces mechanical seal*, sehingga menyebabkan timbulnya panas akibatnya *carbon sealface* cepat mengalami aus ketika beroperasi pada kondisi kering (*dry running*). Saat pompa sentrifugal beroperasi pada musim hujan yang cukup tinggi intensitasnya dapat meningkatkan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) antara sisi hisap dengan sisi tekan pompa, yang ikut meningkatkan tekanan *sealface* ( $P_{sf}$ ), gaya tekan *mechanical seal* ( $F_p$ ), dan gaya total *mechanical seal*, yang menyebabkan umur pakai *mechanical seal* menurun, hanya mencapai 856 jam ( $\pm 17\%$ ), tidak sesuai perhitungan estimasi umur nominal ( $L_{ms}$ ) yang mencapai 5052 jam.

**Kata Kunci** : Kondisi Operasi, *Mechanical Seal*, Pompa Sentrifugal, Umur Pakai

### PENDAHULUAN

*Mechanical seal* adalah suatu alat mekanis yang berfungsi mencegah kebocoran fluida dari ruang / wadah yang memiliki poros berputar. *Mechanical seal* umumnya terpasang pada berbagai jenis pompa seperti pompa sentrifugal, *gear pump*, *screw pump*, juga bisa dipasang pada peralatan *mixer / agitator* serta kompresor sentrifugal dll.

Ketika membahas permasalahan mengenai *mechanical seal*, akan muncul analogi bahwa *mechanical seal* bekerja seperti *bearing*, maka kondisi operasi yang menyebabkan kerusakan *bearing* juga dapat merusak *mechanical seal*. Sama seperti *bearing*, umur pakai *mechanical seal* juga dapat menurun secara signifikan jika tidak ditangani secara tepat. Berbagai penyebab pendeknya umur pakai *mechanical seal* dipengaruhi oleh kondisi pada waktu

pengoperasian pompa seperti : tekanan, jenis dan suhu fluida, kecepatan putaran (rpm) pemanasan berlebih, kurangnya pelumasan, karat yang menyerang komponen logam *mechanical seal*, dan juga pengikisan *sealface mechanical seal*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kondisi operasi dan mengetahui umur pakai *mechanical seal* pada pompa sentrifugal yang digunakan untuk memompa air baku dari kolam penampungan ke tangki pengolahan dan penjernihan air (WTP).

### KAJIAN PUSTAKA

*Sealface* adalah paling utama dan paling kritis dari sebuah *mechanical seal* dan merupakan titik *primary sealing*. *Sealface* terbuat dari bahan karbon dengan serangkaian teknik pencampuran, atau keramik atau *ni-resist*, atau *silicone carbide* atau *tungsten*

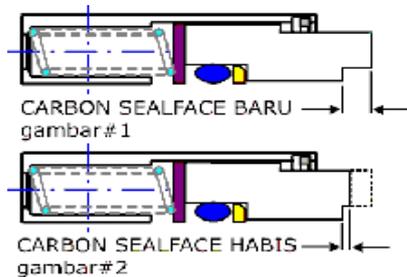
<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan.

*carbide*. Permukaan material yang saling bertemu (*contact*) dibuat sedemikian halusya hingga ketidakrataan permukaan mencapai 1 hingga 2 *lightband*.

Seringkali *sealface* disebut juga dengan *contact face*. *Sealfaces* berarti ada 2 yaitu *sealface* yang satu diam dan melekat pada dinding pompa, dan yang lainnya berputar, melekat pada *shaft*, yang berputar biasanya terbuat dari bahan yang lebih lunak. Kombinasinya bisa berupa *carbon versus silicone carbide*, *carbon vs ceramic*, *carbon vs tungsten carbide*, *silicone carbide vs silicone carbide*, *silicone carbide vs tungsten carbide*.

*Sealface* yang ada pada *shaft* yang berputar seringkali disebut sebagai *rotary face / primary ring*. Sedangkan *sealface* lawannya, yang diam atau dalam kondisi stasioner sering disebut sebagai *stationary face / mating ring / seat*.

Bagian *sealface* yang melekat, bekerja atau berputar bersama *shaft* biasanya disebut *carbon sealface* karena materialnya terbuat dari material karbon.



Gambar 1. Ilustrasi Carbon Sealface Yang Baru Dan Yang Sudah Aus

Gambar di atas menunjukkan perbedaan antara *mechanical seal* yang baru dengan *mechanical seal* yang telah aus.

*Mechanical seal* bisa gagal karena *carbon sealface* aus atau memang bermasalah.

Untuk memastikannya, perlu pemeriksaan permukaan *sealface* dengan teliti. Mengingat bahwa hanya *sealface* yang merupakan letak keausan sebuah *mechanical seal*, maka jika terjadi aus, akan dapat diketahui dari habisnya bagian ujung *carbon sealface*.

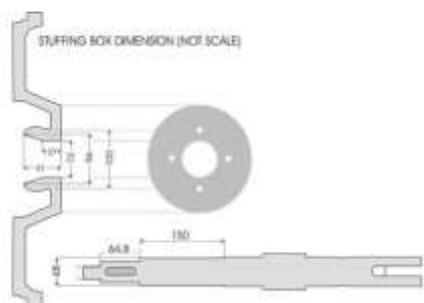


Gambar 2. Bagian-Bagian Mechanical Seal

Material *mechanical seal* dipilih berdasarkan aplikasinya. Memilih material yang tepat untuk kondisi operasi yang sesuai, jelas akan sangat berpengaruh terhadap kehandalan (*reliability*) *mechanical seal*, dan sebaliknya material yang tidak tepat akan membuat umur pakai *mechanical seal* menjadi lebih pendek, material yang dipilih tidak harus yang paling mahal namun yang paling sesuai dengan kondisi operasi seperti *temperature* cairan, tekanan (*pressure*), jenis cairannya apakah merupakan cairan kimia (asam / basa kuat) dan sebagainya.

Pemilihan material *sealface mechanical seal* dipilih berdasarkan faktor kekerasan (*hardness*), koefisien gesek (*coefficient of friction*), ketahanan terhadap kimia (*chemical resistance*), jadi material yang paling cocok digunakan untuk *sealface* adalah material yang memiliki kombinasi ketiga karakter tersebut.

Untuk memilih tipe *mechanical seal* yang sesuai dengan pompa sentrifugal dan aplikasinya, pertama-tama akan mengambil data *stuffing box*. Data yang diambil atau diukur pada *stuffing box* dapat dilihat pada gambar 3. berikut.



Gambar 3. Data *Stuffing Box*

Data pompa sentrifugal yang dianalisa yaitu, pompa bekerja untuk memompa air dengan perbedaan tekanan rata-rata 150 psig / 10.5 bar / 1 MPa, dan kecepatan 3000 rpm.

Untuk umur nominal *mechanical seal* dapat diestimasi menggunakan persamaan berikut :

Luas *sealface*, A (mm<sup>2</sup>) :

$$A = \frac{\pi (D_o^2 - D_i^2)}{4} \dots\dots\dots(1)$$

Rasio keseimbangan seal, B (tanpa satuan) :

$$B = \left( \frac{D_o^2 - D_b^2}{D_o^2 - D_i^2} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Diameter kontak *sealface*,  $D_c$  (mm) :

$$D_c = \frac{(D_o + D_i)}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Jumlah tekanan *sealface*,  $P_{sf}$  (MPa) :

$$P_{sf} = \Delta P (B - K) + P_{sp} \dots\dots\dots(4)$$

Gaya pembuka *mechanical seal*,  $F_{open}$  (Newton) :

$$F_{open} = A \times \Delta P \times K \dots\dots\dots (5)$$

Gaya tekanan *mechanical seal*,  $F_p$  (Newton) :

$$F_p = P_{sf} \times A \times f \dots\dots\dots(6)$$

Gaya total *mechanical seal*,  $F_{ms}$  (Newton) :

$$F_{ms} = F_{open} + F_p \times \left( \frac{D_c}{T} \right) \dots\dots\dots(7)$$

Estimasi umur nominal *mechanical seal*,  $L_{MS}$  (jam)

$$L_{MS} = \left( \frac{C}{F_{ms}} \right)^2 \times \left( \frac{10^6}{n \times 60} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

$D_o$  = diameter kontak luar *sealface* (mm)

$D_i$  = diameter kontak dalam *sealface* (mm)

$D_b$  = diameter keseimbangan *sealface* yang efektif (mm)

$\Delta P$  = perbedaan tekanan (MPa)

$K$  = koefisien penurunan tekanan ( $K$  adalah angka antara 0,0 dan 1,0)

$P_{sp}$  = tekanan *spring* atau pegas (MPa)

$f$  = koefisien gesek *sealface* (*seal* yang normal beroperasi dengan  $f$  antara 0,01 dan 0,18)

$T$  = torsi (N.mm)

$C$  = *basic dynamic load rating* (Newton)

$n$  = kecepatan rotasi (rpm)

## METODOLOGI

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni 2013 s/d Oktober 2013 di PT. Bos Wisata area konservasi Samboja Lestari, Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur.

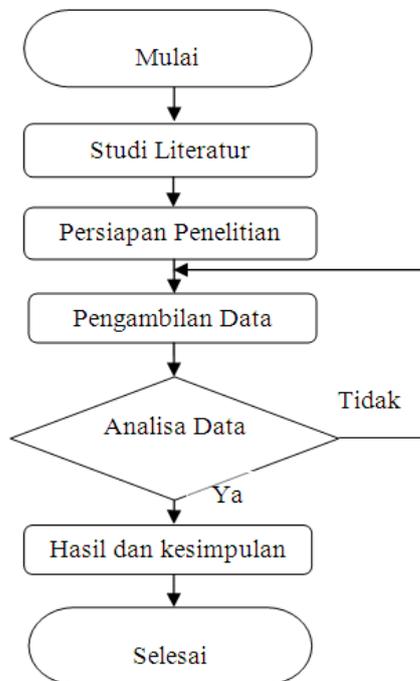
### Bahan Dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *screw driver set*, *wrench*, kunci pas, kunci *ring*, kunci *shock set*, tang, amplas, WD-40, dan *tracker*.

## Langkah Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode observasi, yaitu dengan cara mengadakan pengamatan langsung pada *mechanical seal* yang mengalami kerusakan. Obyek penelitian adalah *mechanical seal* dari pompa sentrifugal (pompa 1) yang digunakan untuk memompa air baku dari kolam penampungan yang kemudian ditransfer ketangki pengolahan dan penjernihan (*Water Treatment Processing*).

## Diagram Alir Penelitian

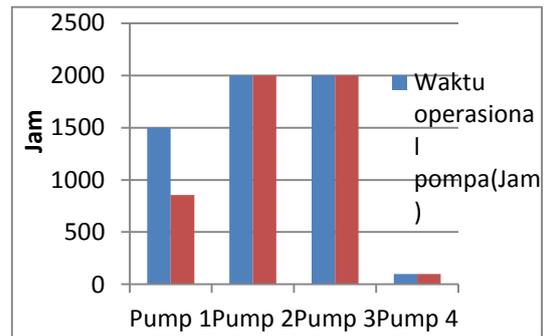


Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Penelitian

Pompa yang digunakan pada WTP ada 4 tetapi hanya pompa 1 yang mengalami kerusakan *mechanical seal* artinya umur pemakaian *mechanical seal* tidak sesuai dengan estimasi umur pakai nominalnya. Berikut diagram perbandingan umur pakai *mechanical seal* dari keempat pompa yang ada.



Gambar 5. Diagram Waktu Operasi Pompa Dan Umur Pakai *Mechanical Seal*

### Perhitungan umur pakai *mechanical seal*

Untuk umur nominal *mechanical seal* dapat diestimasi seperti di bawah ini :

Data pompa sentrifugal yang dianalisa, pompa bekerja untuk memompa air dengan perbedaan tekanan rata-rata 150 psig / 10.5 bar / 1 MPa, dan kecepatan 3000 rpm.

Diketahui data-data *mechanical seal* :

$$D_o = 61,6 \text{ mm}$$

$$D_i = 48,9 \text{ mm}$$

$$D_b = 52,4 \text{ mm}$$

$$P_{sp} = 0,172 \text{ MPa}$$

$$\Delta P = 1 \text{ MPa}$$

$$n = 3000 \text{ rpm}$$

$f$  = Diasumsikan 0,07 (cukup akurat untuk sebagian besar air dan aplikasi hidrokarbon menengah API 682 / ISO 21049 telah memilih nilai 0,07 untuk  $f$ .)

$K$  = Diasumsikan 0,5 (untuk *sealface* datar dan cairan *nonflashing*,  $K$  sama dengan 0,5)

$$T = 7,1 \text{ N.mm}$$

$$C = 28500 \text{ lb (136800 N)}$$

Persamaan (1) untuk perhitungan luas *sealface*, ( $A$ ) :

$$A = \frac{\pi (D_o^2 - D_i^2)}{4}$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (61,6^2 - 48,9^2) = 1102 \text{ mm}^2$$

Persamaan (2) untuk perhitungan rasio keseimbangan *mechanical seal*, (B) :

$$B = \left(\frac{D_o^2 - D_b^2}{D_o^2 - D_i^2}\right)$$

$$B = \frac{(61,6^2 - 52,4^2)}{(61,6^2 - 48,9^2)} = 0,746$$

Persamaan (3) untuk perhitungan diameter kontak *sealface*, ( $D_c$ )

$$D_c = \frac{(D_o + D_i)}{2}$$

$$D_c = \frac{(61,6 + 48,9)}{2} = 55,25 \text{ mm}$$

Persamaan (4) untuk perhitungan total tekanan *sealface*, ( $P_{sf}$ ) :

$$P_{sf} = \Delta P (B - K) + P_{sp}$$

$$P_{sf} = 1(0,746 - 0,5) + 0,172 = 0,418 \text{ N/mm}^2$$

Persamaan (5) untuk perhitungan gaya pembuka pada *mechanical seal*, ( $F_{open}$ )

$$F_{open} = A \times \Delta P \times K$$

$$F_{open} = 1 \times 1102 \times 0,5 = 551 \text{ N}$$

Persamaan (6) untuk perhitungan gaya tekanan total pada *sealface*, ( $F_p$ ) :

$$F_p = P_{sf} \times A \times f$$

$$F_p = 0,418 \times 1102 \times 0,07 = 32,24 \text{ N}$$

Persamaan (7) untuk perhitungan gaya total *mechanical seal*, ( $F_{ms}$ ) :

$$F_{ms} = F_{open} + F_p \times \left(\frac{D_c}{T}\right)$$

$$F_{ms} = 551 + 32,24 \times \left(\frac{55,25}{7,1}\right) = 4538 \text{ N}$$

Persamaan (8) untuk perhitungan estimasi umur nominal *mechanical seal* ( $L_{ms}$ )

$$L_{ms} = \left(\frac{C}{F_{ms}}\right)^2 \times \left(\frac{10^6}{n \times 60}\right)$$

$$L_{ms} = \left(\frac{136800}{4538}\right)^2 \times \left(\frac{10^6}{3000 \times 60}\right) = 5052 \text{ jam}$$

## Analisa dan Pembahasan

Umur pakai *mechanical seal* pada pompa 1 berdasarkan data *maintenance* hanya mencapai 856 jam, tidak sesuai dengan perhitungan estimasi umur nominal *mechanical seal* ( $L_{ms}$ ) yang mencapai 5052 jam, kondisi waktu operasi pompa 1 yang menyebabkan umur pakai *mechanical seal* pada pompa 1, hanya mencapai  $\pm 17\%$  dari perhitungan estimasi umur nominal *mechanical seal* ( $L_{ms}$ ).

Penyebab utama dari pendeknya umur *mechanical seal* pada pompa 1 yaitu, terkikisnya permukaan *carbon face / rotary sealface / primary ring* karena terjadinya gesekan antara permukaan *carbon face* dengan *hard face / stationary sealface / mating ring*. Pada kondisi hujan yang air baku menjadi keruh dengan nilai NTU (*Nephelometric Turbidity Unit* atau satuan kekeruhan air) yang melebihi 4.000, air sudah bercampur dengan lumpur, pasir, dan juga sisa daun-daun pohon, dalam kondisi ini yang sering ditemukan di lapangan adalah :

1. Suara pompa berisik dan sesekali keluar asap dari tempat terpasangnya *sealface*.
2. Terjadi kebocoran yang menyebabkan tekanan sisi hisap dan kapasitas pompa menurun.

Kondisi ini menyebabkan *sealface mechanical seal* menjadi hangus dan bunyi pompa menjadi kasar, selain itu air yang mengandung pasir, lumpur, kotoran dan sisa daun-daun yang dihisap oleh pompa 1 menyebabkan penurunan tekanan pompa disisi hisap, kotoran yang menyumbat *filter /*

penyaring pada *water intake* mengganggu aliran pada sisi hisap / *suction* pompa 1.

Semakin tinggi NTU air yang dipompa oleh pompa 1, semakin tinggi juga perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) dan koefisien penurunan tekanan ( $K$ ), selain itu pemilihan material *sealface* dengan koefisien gesek yang tidak sesuai kondisi operasi, menjadi penyebab pendeknya umur *mechanical seal* pada pompa 1.

## SIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penyebab utama kerusakan *mechanical seal* disebabkan oleh fluida produk (air kolam) yang dipompa mengandung pasir, lumpur dan kotoran sisa daun-daun ( $NTU > 4000$ ), yang menyumbat saluran pelumas dan pendingin *sealfaces mechanical seal*, menyebabkan panas sehingga *carbon sealface* cepat aus karena beroperasi pada kondisi kering (*dry running*).
2. Saat pompa sentrifugal beroperasi pada musim hujan yang cukup tinggi intensitasnya dapat meningkatkan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) antara sisi hisap dengan sisi tekan pompa, yang ikut meningkatkan tekanan *sealface* ( $P_{sf}$ ), gaya tekan *mechanical seal* ( $F_p$ ), dan gaya total *mechanical seal*, yang menyebabkan umur pakai *mechanical seal* menurun, hanya mencapai 856 jam ( $\pm 17\%$ ), tidak sesuai perhitungan estimasi umur nominal *mechanical seal* ( $L_{ms}$ ) yang mencapai 5052 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Crane, John, 2013, *Mechanical Seal Performance And Related Calculation*, John Crane Inc.
- Huebner, Michael, 2013, *Material Selection for Mechanical Seal*, Flowserve Corporation.
- Neale, M.J., 1994, *Drives & Seals, Trilogy Handbook*, Ed. Oxford, Butterworth-Heinemann Ltd.
- Sularso dan Kyokatsu Suga, 1997, **Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin**, edisi Kesembilan, PT. Pradya Paramita, Jakarta.
- Sularso dan Haruo Tahara, 1983, **Pompa dan Kompresor**, PT. Pradya Paramita, Jakarta.
- Wahyuni, Ami, 2006, **Penentuan Interval Penggantian Komponen Mechanical Seal : (Stationary Face) dan Bearing pada Pompa G-2-01 dengan Analisa Keandalan (Study Kasus di PT Pertamina Persero UP V Balikpapan)**, Department of Industrial Engineering Journal, Universitas Muhammadiyah Malang.