

ANALISA KERUSAKAN PADA *ROTATING ELEMENT* POMPA INJEKSI AIR DAVID BROWN DB34-D DI PT CPI MINAS

Abrar Ridwan¹, Ridwan Chandra^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau

Jl. Tuanku Tambusai Ujung Pekanbaru 28294, Telp. (0761) 839577

*Email : iwanholic@yahoo.com

Abstrak

Rotating element pada pompa injeksi air David Brown DB34-D di PT CPI Minas mempunyai peran yang sangat vital dalam sistem kerja pompa. Pergerakan fluida di dalam pompa sangat dipengaruhi oleh kinerja dari rotating element ini. Sehingga apabila terjadi kerusakan pada bagian ini akan sangat terasa dampak dan pengaruhnya terhadap kinerja dari pompa tersebut. Bagian ini harus mendapatkan perhatian lebih agar terhindar dari kerusakan lain yang lebih besar serta terhindar dari besarnya biaya pemeliharaan yang nanti akan di keluarkan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis kerusakan yang terjadi dan mendapatkan solusi penanganan yang tepat terhadap kerusakan yang terjadi pada rotating element pompa injeksi air David Brown DB34-D. Adapun data yang dibutuhkan adalah data sheet pompa injeksi air David Brown DB34-D, data DIFA (Dismantling Inspection Failure Analisis) dan data uji sampel fluida. Berdasarkan data DIFA ditemukan bahwa kerusakan yang paling dominan terjadi pada bagian shaft pompa. Dari kerusakan tersebut, bagian yang mengalami kerusakan selalu berada pada daerah yang sama yaitu shaft pompa pada bagian antara throttle bushing dan mechanical seal. Hasil analisa diperoleh kerusakan yang terjadi pada shaft pompa adalah fenomena korosi erosi dengan nilai laju korosi sebesar 15,26 mm/y, yang disebabkan oleh aliran turbulen dan peningkatan kecepatan fluida pada bagian tersebut dari kecepatan 8508,999 ft/s pada clearance normal sebesar 0,017 inch menjadi 18081,622 ft/s di luar clearance normal sebesar 0,008 inch.

Kata kunci : *Rotating Element, DIFA (Dismantling Inspection Failure Analisis), Shaft, Throttle Bushing, Mechanical Seal, Clearance*

1. PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa yang sangat banyak digunakan oleh industri, khususnya industri pengolahan dan pendistribusian air. Salah satunya adalah PT Chevron Pacific Indonesia.

PT Chevron Pacific Indonesia adalah perusahaan yang bergerak di bidang eksplorasi perminyakan menggunakan pompa sentrifugal sebagai salah satu peralatan yang digunakan untuk mendukung kinerja dalam menjalankan usahanya. Salah satu jenis pompa sentrifugal yang digunakan adalah jenis pompa injeksi air yang digunakan untuk menginjeksikan air yang diperoleh dari hasil penyedotan minyak dari dalam bumi kembali ke perut bumi.

Beberapa keunggulan pompa sentrifugal adalah : konstruksinya sederhana, kapasitas dan tinggi tekan (*head*) yang tinggi, mudah pemasangan maupun perawatan, ketahanan dan kehandalan yang tinggi serta harganya yang lebih murah (Tyler G. Hicks, 1971). Disamping keunggulan dan ketahanan dari pompa sentrifugal tersebut, masih banyak ditemukan kerusakan yang terjadi pada pengoperasian di lapangan. Kerusakan pada pompa sentrifugal yang sering tidak diperhatikan adalah kerusakan pada *rotating element* pada pompa sentrifugal.

Rotating element pada pompa sentrifugal mempunyai peran yang sangat vital dalam sistem kerja pompa. Karena pergerakan fluida di dalam pompa sangat dipengaruhi oleh kinerja dari *rotating element* ini. Sehingga apabila terjadi kerusakan pada bagian ini akan sangat terasa dampak dan pengaruhnya terhadap kinerja dari pompa sentrifugal tersebut.

Selama ini belum ada kajian tentang kerusakan yang terjadi pada *rotating element* pompa sentrifugal di PT CPI (Arsip PT CPI, 2013). Dengan dilandasi pada latar belakang di atas, perlu dilakukan suatu kajian dan analisa tentang penyebab kerusakan pada *rotating element* pompa sentrifugal. Dalam penelitian ini penulis memilih Pompa Injeksi Air David Brown DB34-D yang ada PT CPI sebagai objek penelitian.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan prosedur berikut :

1. Pengambilan data nilai variable pompa berdasarkan *data sheet* Pompa Injeksi Air *David Brown DB34D*.
2. Pengambilan data teknis kerusakan berdasarkan data teknis *DIFA(Dismantling Inspection Failure Analysis)*.
3. Pengambilan data material pada *data sheet* pompa yang digunakan pada *rotating element* dan pengujian sampel fluida yang akan diinjeksikan melalui pompa *David Brown DB34-D*.
4. Mengklasifikasikan kerusakan yang paling dominan pada *rotating element* berdasarkan data teknis *DIFA* selama 2 tahun terakhir.
5. Mengidentifikasi kerusakan yang paling sering terjadi pada *rotating element* Pompa Injeksi Air *David Brown DB34-D* dan penyebab kerusakan pada *rotating element* tersebut.
 - Pengamatan visual
 - Data – data tertulis
 - Tanya jawab
6. Mengkaji dan menganalisa kerusakan yang terjadi serta penanggulangan yang tepat dari kerusakan yang terjadi pada *rotating element* pompa tersebut.
 - Karakteristik pompa
 - Fluida yang dipompakan
 - Bentuk pola dan aliran
7. Membuat kesimpulan dari penelitian tentang kerusakan yang terjadi pada *rotating element* pada pompa.

3 ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 *Rotating Element* Pompa Injeksi Air *David Brown DB34-D* :



Gambar 1 Komponen-Komponen Pada *Rotating Element*
Sumber : *EQR Shop, PT CPI*

3.2 Data Aktual Pompa Injeksi Air *David Brown DB34-D* :

Tabel 1 Data Aktual Pompa *David Brown* Ketika Beroperasi

Karakteristik	Nilai Aktual
<i>Capacity</i>	3000 USGPM
<i>Suction Pressure</i>	10 psi
<i>Discharge Pressure</i>	720 psi
<i>Head</i>	1784 ft
<i>RPM</i>	3560 rpm
<i>Driver</i>	1750 HP
<i>Temp dalam pompa</i>	180°F
<i>NPSHa</i>	37 ft
<i>NPSHr</i>	25 ft

Sumber : *EQR Shop, PT CPI*

3.3 Data Dismantling Inspection Failure Analysis (DIFA) :

Pada penelitian kali ini diperoleh 5 buah data *DIFA* pembongkaran pompa injeksi air *David Brown DB34-D* yang dimulai dari Januari 2011 hingga Juli 2013, kemudian dipilih jenis kerusakan yang terjadi pada bagian *rotating element*, yang merupakan bagian yang diamati untuk dilakukan kajian dan analisa penyebab kerusakannya seperti tabel 5 berikut :

Tabel 2 Kegagalan Pada Rotating Element Berdasarkan DIFA

Data DIFA	Kegagalan yang Ditemukan
DIFA I	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada <i>Wearing Ring Impeller</i> terdapat goresan fatal pada sisi bagian luar. 2. <i>Impeller</i> mengalami rusak fatal akibat benda asing (baut) yang masuk ke dalam pompa. 3. Shaft pada bagian antara Throttle Bushing dengan Mechanical Seal mengalami korosi erosi.
DIFA II	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada <i>Wearing Ring Impeller</i> terdapat goresan pada sisi bagian luar. 2. Shaft pada bagian antara Throttle Bushing dengan Mechanical Seal mengalami korosi erosi yang fatal hingga menyebabkan Shaft pada bagian tersebut hampir putus.
DIFA III	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada <i>Throttle Sleeve</i> terdapat goresan fatal pada sisi bagian luar. 2. <i>Impeller</i> mengalami rusak fatal akibat benda asing (baut) yang masuk ke dalam pompa. 3. Shaft pada bagian antara Throttle Bushing dengan Mechanical Seal mengalami korosi erosi.
DIFA IV	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Center Bushing Sleeve</i> mengalami korosi pada sisi bagian luar. 2. Shaft pada bagian antara Throttle Bushing dengan Mechanical Seal mengalami erosi yang cukup parah.
DIFA V	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada <i>Throttle Sleeve</i> terdapat goresan halus pada sisi bagian luar. 2. Shaft pada bagian antara Throttle Bushing dengan Mechanical Seal mengalami korosi erosi

Sumber :EQR Shop, PT CPI

3.4 Data Laboratorium Uji Sampel Fluida :

Tabel 3 Hasil Uji Laboratorium Sampel Air di Surge Tank

Analyze	Result	Analyze	Result
Calcium (Ca)	36,15 mg/L	Conductivity at 77°F	4280 μhos/cm
Magnesium (Mg)	2,77 mg/L	Resistivity at 77°F	2,34 Ohm.m
Iron (Fe)	0,2340 mg/L	Spc Grafty at 77°F	1,0023
Potassium (K)	49,80 mg/L	Density	1,0014 g/cm ³
Barium (Ba)	23,500 mg/L	Carbonate (CO ₃)	0,00 mg/L
Sodium (Na)	859,00 mg/L	Bicarbonate (HCO ₃)	1381,00 mg/L
Strontium (Sr)	0,5600 mg/L	Hydroxide (OH)	0,00 mg/L
Sulphate (SO ₄)	ND	P-Alkalinity	0,00 mg/L
Nitrate (NO ₃)	ND	M-Alkalinity	1132,42 mg/L
Phosphate (PO ₄)	0,24 mg/L	Silicate (SiO ₂)	53,60 mg/L
Chloride (Cl)	888,09 mg/L	Sum of Anion (SA)	47,69 meq/L
Hardness (CaCO ₃)	101,67 mg/L	Sum of Cation (SC)	41,03 meq/L
pH	7,42	CAB	7,50 % (unit)
Color Visual	Turbid	TDS	3294,14 mg/L

Sumber :Laboratory, PT CPI

3.5 Kerusakan Dominan Pada Pompa Injeksi Air David Brown DB34-D:

Berdasarkan data *DIFA* yang diperoleh dari data histori pembongkaran pada pompa injeksi air *David Brown DB34-D* dari Januari 2011 hingga Juli 2013, dari ke 5 data tersebut pada bagian *rotating element*, ditemukan kerusakan yang hampir selalu terjadi ketika dilakukan pembongkaran dan perawatan terhadap pompa tersebut yaitu terjadinya korosi erosi pada daerah yang sama di bagian poros atau *shaft* antara *throttle bushing* dan *mechanical seal*.

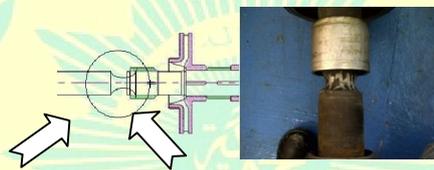


Gambar 2 Kerusakan Dominan Pada Rotating Element
Sumber : EQR Shop, PT CPI



Gambar 3 Persentase Kerusakan Berdasarkan Data DIFA

Korosi erosi yang fatal terjadi pada data *DIFA 2*, yaitu pompa injeksi air *David Brown DB34-D unit 1.5* yang dioperasikan di *Gathering Station 1*. Dimana pada *unit 1.5* tersebut terjadi korosi erosi yang mengakibatkan berkurangnya diameter pada material poros atau *shaft* pompa sebesar 29 mm.



Gambar 4 Korosi Erosi Pada Poros Pompa
Sumber : EQR Shop, PT CPI



Gambar 5 Poros Pompa dalam Kondisi Baru
Sumber : EQR Shop, PT CPI

Berdasarkan data *history* pompa yang diperoleh dari bagian *EQR*, terdapat beberapa kali perawatan. Dimulai dari tanggal perawatan terakhir pada 7 Maret 2012 sampai dengan pada saat pompa mengalami kerusakan fatal pada poros atau *shaft* pada tanggal 15 Februari 2013.

Jika dihitung sejak tanggal awal data perawatan, pompa tersebut telah beroperasi selama 345 hari dengan pengurangan ketebalan diameter *shaft* atau poros sebesar 29 mm. sehingga nilai laju korosi dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

Diketahui :

Diameter Awal	= 83 mm
Diameter setelah	= 54 mm
Pengurangan diameter	= 83 – 54
	= 29 mm
Pengurangan tebal	= 29 / 2
	= 14,5 mm

Waktu beroperasi (Berdasarkan *JDE* dan *DIFA*) = 345 hari = 0,95 tahun Sehingga besarnya nilai laju korosi dapat dihitung menjadi :

$$\text{Laju Korosi} = \frac{\text{Pengurangan Ketebalan}}{\text{Waktu Beroperasi}}$$

$$\text{Laju Korosi} = \frac{\text{Pengurangan diameter}/2}{\text{Waktu beroperasi}}$$

$$\text{Laju Korosi} = \frac{29 \text{ mm} / 2}{0,95 \text{ tahun}}$$

$$\text{Laju Korosi} = \frac{14,5 \text{ mm}}{0,95 \text{ tahun}}$$

$$\text{Laju Korosi} = 15,26 \text{ mm/tahun}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka hal ini termasuk tidak dapat di terima (*unacceptable*).

3.6 Analisa Fluida:

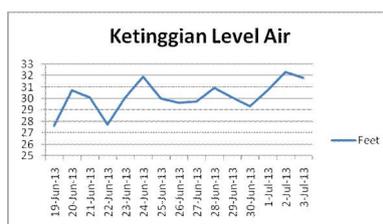
Berdasarkan nilai parameter kontrol air pada daerah industri, diperoleh hasil nilai parameter agar dapat meminimalisasi terbentuknya kerak air (*scale*) yang dapat menjadi awal terbentuknya korosi sebagai berikut :

- pH *scale*, Pada sampel fluida diperoleh nilai pH sebesar 7,42 yang berarti berada pada batas normal yaitu nilai pH antara 3 hingga 10.
- Deposit besi (Fe), pada sampel air diperoleh nilai sebesar 0,2340, yang berarti masih berada pada batas normal kurang dari 0,2 ppm Fe.
- *Total dissolve solid* (TDS), Yaitu air berkemampuan melarutkan mineral, diperoleh nilai TDS sebesar 3294,14 ppm yang berarti berada di luar batas control TDS sebesar 2035 ppm, dapat menjadi penyebab terbentuknya kerak air (*scale*) yang berpotensi terjadinya korosi.
- Kesadahan Air, Semakin tinggi temperatur menyebabkan kesadahan air makin tidak larut sehingga timbul kerak. Hasil uji laboratorium sebesar 101,67 ppm, berdasarkan tabel tingkat kesadahan air dibawah termasuk kedalam tingkatan agak sadah.
- Silica yang melebihi 150 ppm dapat menyebabkan kerak (*Austin, George T., 1996*), diperoleh nilai silica sebesar 53,60 ppm yang berarti masih berada pada kategori normal.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan fluida yang mengalir di dalam pompa masih berada pada kategori normal.

3.7 Analisa Karakteristik Pompa :

Pompa Injeksi Air yang beroperasi di *Gathering Station*, berkerja sesuai dengan nilai-nilai variable yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan dan standar keamanan serta beroperasi pada posisi *Best Efficiency Point* (BEP). Semua operasi yang berhubungan dengan kinerja pompa juga dilakukan pengontrolan secara *continue* melalui room control yang ada di *gathering station I* tersebut. Grafik dibawah menggambarkan ketinggian level air yang hampir stabil dan berada pada nilai ketinggian yang telah ditentukan, seperti gambar grafik di bawah :



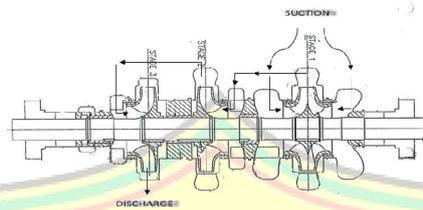
Gambar 6 Grafik Ketinggian Level Air

Begitu juga dengan nilai variabel yang lain seperti *pressure*, *flow rate*, temperatur dll pada pompa juga telah di tentukan agar dapat beroperasi pada batas aman dan disesuaikan dengan kebutuhan. Semuanya dijaga dan selalu dikontrol agar tidak melewati batas yang telah ditentukan. Dengan kondisi

seperti ini hampir dapat dipastikan bahwa kerusakan yang disebabkan oleh karakteristik pompa dapat dihindari. Jika terjadi pun, persentase penyebab kerusakannya tidak akan besar nilainya.

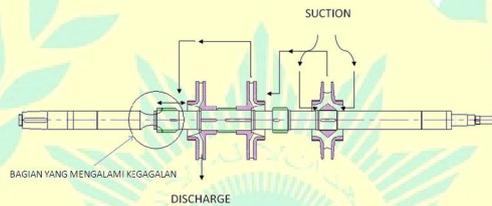
3.8 Analisa Struktur dan Pola Aliran Pompa :

Struktur dan pola aliran pada pompa injeksi air *David Brown DB34-D* dapat dilihat berdasarkan gambar di bawah ini :



Gambar 7 Arah Aliran Pada Pompa Injeksi Air David Brown

Pola aliran seperti gambar 7, berpotensi mengakibatkan kerusakan pada daerah seperti pada gambar 8.



Gambar 8 Bagian yang Mengalami Kerusakan

Tekanan air pada bagian yang mengalami kerusakan atau korosi erosi sama dengan tekanan air yang berasal dari putaran *impeller no. 2*. Besarnya tekanan pada daerah yang mengalami korosi erosi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Tekanan Tiap Impeler} = \frac{\text{Different Pressure}}{\text{Jumlah Impeler}} \quad (3)$$

Nilai *different Pressure* ditentukan berdasarkan nilai *suction pressure* dan nilai *discharge pressure* menggunakan rumus perhitungan :

$$\text{Different Pressure} = \text{Discharge Pressure} - \text{Suction Pressure} \quad (4)$$

Dengan nilai *suction pressure* sebesar 10 *psi* dan nilai *discharge pressure* sebesar 720 *psi* (berdasarkan nilai *pressure gauge* yang terpasang pada pompa), maka diperoleh nilai *different pressure* sebesar :

$$\text{Different Pressure} = \text{Discharge Pressure} - \text{Suction Pressure}$$

$$\text{Different Pressure} = 720 \text{ psi} - 10 \text{ psi}$$

$$\text{Different Pressure} = 710 \text{ psi}$$

Dari besar nilai *different pressure* yang didapat sebesar 710 *psi*, maka nilai tekanan pada tiap *impeller* menjadi :

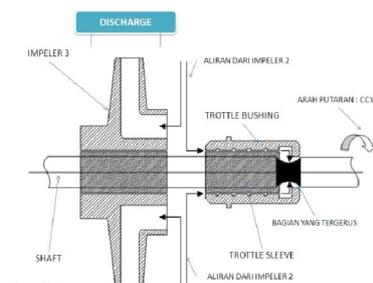
$$\text{Tekanan Tiap Impeler} = \frac{710}{3}$$

$$\text{Tekanan Tiap Impeler} = 236,67 \text{ psi}$$

Tabel 4 Nilai Tekanan Pada Tiap Impeler

No. Impeller	Pressure In	Pressure Out
Impeler 1	10 psi	246,67 psi
Impeler 2	246,67 psi	483,34 psi
Impeler 3	483,34 psi	720 psi

Proses korosi erosi juga dapat terjadi apa bila terjadi perubahan dimensi pada area yang dilaluinya yang dapat membuat laju aliran pada area atau daerah yang dilalui fluida juga ikut berubah.



Gambar 9 Bagian mengalami korosi erosi akibat gerusan air

Ketika dilakukan perhitungan pada besaran *clearance* antara *throttle bushing* dengan *throttle sleeve*, diperoleh hasil pengukuran sebesar 0,008 *inch*. Jauh berada diluar batas *clearance* yang diizinkan yaitu sebesar 0,016 – 0,019 *inch*. Hal ini tentu saja berpengaruh terhadap nilai laju aliran fluida pada daerah tersebut.

Laju aliran fluida antara *throttle bushing* dengan *throttle sleeve* dapat di hitung dengan menggunakan rumus (www.pumpcalcs.com):

$$V = 0,20425 \times \frac{Q}{D_s \times C_d} \quad (5)$$

Dimana :

V = *Velocity* (Laju aliran fluida), dalam *ft/s*

Q = Kapasitas, dalam *GPM*

D_s = Diameter *Shaft + throttle sleeve*, dalam *inch*

C_d = *Clearance throttle bushing* dengan *throttle sleeve*, dalam *inch*

- Pengukuran laju aliran fluida pada *clearance* normal (0,017 *inch*) :

$$V = 0,20425 \times \frac{Q}{D_s \times C_d}$$

$$V = 0,20425 \times \frac{3000}{4,236 \times 0,017}$$

$$V = 0,20425 \times 41659,72$$

$$V = 8508,999 \text{ ft/s}$$

- Pengukuran laju aliran fluida di luar *clearance* normal (0,008 *inch*) :

$$V = 0,20425 \times \frac{Q}{D_s \times C_d}$$

$$V = 0,20425 \times \frac{3000}{4,236 \times 0,008}$$

$$V = 0,20425 \times 88526,91$$

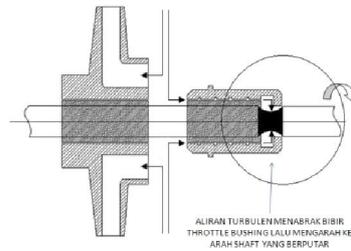
$$V = 18081,622 \text{ ft/s}$$

Hasil pengukuran laju aliran fluida didapat hasil bahwa semakin kecil *clearance* antara *throttle bushing* dengan *throttle sleeve* maka akan semakin besar laju aliran fluida pada daerah tersebut. Hal ini sesuai dengan salah satu penyebab terjadinya korosi erosi yaitu meningkatnya kecepatan aliran fluida.

3.9 Pembahasan :

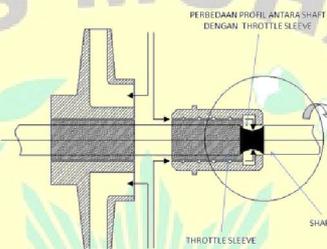
Proses korosi erosi pada poros *Pompa Injeksi Air David Brown DB34-D* yang menyebabkan terkikisnya poros di sekitar *throttle bushing* disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

1. Sifat aliran turbulen pada air yang masuk melalui *clearance* antara *throttle bushing* dengan *throttle shaft*. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa besarnya *clearance* pada daerah tersebut sudah melewati batas yang diizinkan sehingga membuat kecepatan air meningkat.



Gambar 10 Aliran Turbulen Pada bagian ujung *Throttle Bushing* Menuju *Shaft*

- Adanya bagian yang tidak rata antara pada daerah tersebut. Antara *sleeve* dan *shaft*, dibagian tersebut terdapat perbedaan profil permukaan yang dilalui oleh percikan air tadi. Sehingga pada saat terjadi hantaman fluida (*impingement of fluid*), dapat membuat adanya rongga udara pada pompa yang akan menjadi penyebab awal terjadinya korosi erosi.



Gambar 11 Perbedaan Profil Antara *Shaft* dengan *Throttle Bushing*

- Kandungan kimia dan partikel-partikel benda asing yang ikut terbawa oleh fluida mempengaruhi seberapa besar bagian yang terkikis dan besar kecilnya laju korosi erosi yang terjadi pada poros atau *shaft* pompa.

3.10 Solusi Penanganan :

Dari analisa dan pembahasan di atas, maka didapat solusi untuk mencegah atau meminimalisasi terjadinya kerusakan serupa pada *shaft* atau poros yang terkikis akibat korosi erosi, antara lain :

- Mendesain dan merancang ulang *throttle bushing* dengan cara memperbanyak *balance hole* yang ada pada *throttle bushing*.
- Melakukan perancangan ulang pada *shaft sleeve* yang menghubungkan antara *shaft* atau poros dengan *throttle bushing*.
- Pelapisan (*coating*) pada bagian poros pompa yang mengalami korosi erosi.
- Mengkaji dan menganalisa ulang material yang akan digunakan untuk pembuatan poros atau *shaft* pompa.
- Mengganti pompa yang digunakan dari pompa injeksi air yang menggunakan 3 buah *impeller* menjadi pompa injeksi air menggunakan 4 buah *impeller* atau lebih.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan tentang kerusakan yang terjadi pada *rotating element* pompa injeksi air *David Brown DB34-D* ini, antara lain :

- Pompa yang digunakan adalah Pompa Injeksi Air *David Brown DB34-D* menggunakan 3 buah *impeller* untuk meningkat tekanan dari 10 *psi* hingga 720 *psi*.
- Dari hasil perhitungan nilai laju korosi, didapat nilai 15,26 *mm/tahun*. Dengan ini, berdasarkan tabel *rating* ketahanan korosi logam, termasuk *unacceptable*.
- Analisa yang dilakukan berdasarkan fluida, nilai variabel dari karakteristik pompa dan pola aliran.

4. Dari analisa yang dilakukan, didapat hasil bahwa pola aliran memiliki pengaruh yang besar terhadap terjadinya fenomena korosi erosi pada poros atau *shaft* pompa di bagian antara *throttle bushing* dan *throttle sleeve*.
5. Pada bagian yang mengalami kerusakan, setelah dilakukan pengukuran, didapat nilai *clearance* yang sudah berada diluar batas izin yang berlaku yaitu 0,016 - 0,019 *inch*. Pada bagian antara *throttle bushing* dan *throttle sleeve* diperoleh hasil pengukuran sebesar 0,008 *inch*. Hal ini berakibat terjadi peningkatan kecepatan fluida pada bagian tersebut dari kecepatan 8508,999 *ft/s* pada saat berada pada *clearance* yang diizinkan menjadi 18081,622 *ft/s*. Ini menyebabkan proses korosi erosi menjadi lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruce R. Munson, D. F. (2005). *Mekanika Fluida Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*. McGraw – Hill Series in Materials Science and Engineering.
- George T. Austin, E. J. (1996). *Industri Proses Kimia*. Jakarta: Erlangga.
- Limited, D. B. (1996). *Certification Dossier : Water Injection Pump Vol 1*. Minas Field: PT Chevron Pacific Indonesia.
- Nengah Diasta, A. S. (2012). *Surface Pump Operations and Maintenance Course*. Jakarta: PT Fiqry Jaya Manunggal.
- Roberge, P. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw – Hill Book Company.
- Science, S. (2013). *Water Analysis Handbook Vol. 2. Providing Innovative Solutions to Analytical Chemists*. Canada: Baie D'Urfe.
- Sularso, H. T. (1983). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Tyler G. Hicks, T. E. (1971). *Teknologi Pemakaian Pompa*. Jakarta: Erlangga.
- Val S. Lobanoff, R. R. (1992). *Centrifugal Pumps : Design & Application*. Butterworth - Heinemann, MA.