

## **Analisis Korosi pada *Filter Feed Pump* Studi Kasus pada *Wastewater Treatment Plant***

**Muhammad Ichsanudin<sup>1</sup>, Imam Prabowo<sup>1</sup>, M. Nasirudin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta, Jl. Babarsari No. 2, Janti, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10, Siliwangi, Coblong, Bandung, Jawa Barat 40132

E-mail: [muhammad.ichsanudin@upnyk.ac.id](mailto:muhammad.ichsanudin@upnyk.ac.id)<sup>1</sup>

(+62857 9945 3163)

### **Abstract**

Centrifugal pumps are the most widely used equipment in the industry, so it is essential to study the corrosion of pump components. Material degradation through corrosion is sure to happen quickly and slowly. This study aims to determine the most significant factor causing corrosion and the types of corrosion in the filter feed pump installed in the wastewater treatment plant. Identification of failures is made by conducting visual inspections and literature studies regarding the plant operation, inspection, repair, and replacement data. From these data, an analysis of the aggressiveness of fresh water, an analysis of the operation and maintenance of the causes of corrosion failure on pump components, and the type of corrosion that occurred on pump components are carried out. In addition, analyses are also carried out regarding the possible combination of causes of corrosion failure between redox reactions and loading, which causes stress corrosion cracking and fatigue corrosion. Based on the studies, it was found that the operation, maintenance, and environmental factors cause the corrosion that occurs. Lack of maintenance is the most dominant fault as factor causing corrosion. Not doing predictive maintenance causes tremendous damage to the pump casing cover. The oxygen difference factor also causes failure of the casing, wear ring eye, bearing bracket, and shaft. The results of identifying the types of corrosion that occur in the filter feed pump components include uniform corrosion, pitting corrosion, crevice corrosion, stress corrosion cracking (SCC), fatigue corrosion, erosion-corrosion, and cavitation corrosion.

**Keywords:** corrosion; environment; failure; maintenance; pump

### **Abstrak**

Pompa sentrifugal merupakan jenis peralatan yang paling banyak digunakan di industri sehingga studi mengenai korosi pada komponen pompa sangat penting dilakukan. Degradasi material melalui korosi merupakan hal yang pasti terjadi baik secara cepat maupun lambat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor terbesar penyebab terjadinya korosi dan menentukan jenis-jenis korosi yang terjadi pada *filter feed pump* yang terinstal pada *wastewater treatment plant*. Identifikasi kegagalan dilakukan dengan melakukan pengamatan secara visual dan studi literatur mengenai data-data operasi, inspeksi, perbaikan, dan penggantian di lapangan. Dari data-data tersebut, dilakukan analisis agresivitas *fresh water*, analisis operasi dan perawatan penyebab kegagalan korosi pada komponen pompa, dan jenis korosi yang terjadi pada komponen pompa. Selain itu, juga dilakukan analisis mengenai kemungkinan kombinasi penyebab kegagalan korosi antara reaksi redoks dengan pembebanan yang menyebabkan *stress corrosion cracking* dan *fatigue corrosion*. Berdasarkan studi yang dilakukan, diperoleh bahwa korosi yang terjadi disebabkan karena faktor operasi, perawatan, dan lingkungan. Kesalahan perawatan merupakan kesalahan yang paling dominan sebagai faktor penyebab korosi. Tidak dilakukannya *predictive maintenance* menyebabkan kerusakan yang luar biasa pada *casing cover* pompa. Faktor perbedaan oksigen juga menyebabkan kegagalan pada *casing*, *wear ring eye*, *bearing bracket*, dan *shaft*. Hasil identifikasi jenis-jenis korosi yang terjadi pada komponen *filter feed pump* antara

lain: *uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *crevice corrosion*, *stress corrosion cracking (SCC)*, *fatigue corrosion*, *erosion corrosion*, and *cavitation corrosion*.

**Keywords:** kegagalan; korosi; lingkungan; perawatan; pompa

## **Pendahuluan**

Korosi merupakan kerusakan logam akibat serangan kimia atau elektrokimia karena reaksi logam tersebut dengan lingkungan. Terdapat dua istilah di dalam ilmu korosi, yaitu: *corrosion science* dan *corrosion engineering*. *Corrosion science* mempelajari mekanisme terjadinya korosi dan mekanisme untuk memperbaiki logam yang terkorosi. Sedangkan *corrosion engineering* merupakan aplikasi dari ilmu *corrosion science* untuk mengontrol korosi. Terdapat tiga alasan utama mengapa studi mengenai korosi itu penting untuk dilakukan, antara lain: ekonomi, keselamatan, dan konservasi. Dari ketiga alasan tersebut, faktor ekonomi merupakan faktor paling penting yang harus dipertimbangkan dalam riset-riset mengenai penanggulangan korosi (Revie and Uhlig 2008).

Terdapat beberapa jenis modus korosi yang terjadi pada komponen pompa, antara lain: *uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *crevice corrosion*, *stress corrosion cracking*, *fatigue corrosion cracking*, *intergranular corrosion*, *erosion corrosion*, dan kavitasi. Adapun modus korosi yang paling sering terjadi pada pompa adalah *erosion corrosion* (Fontana 1987).

Bentuk-bentuk kerusakan yang terjadi akibat korosi, antara lain: penipisan, pembentukan retakan atau sumuran, perubahan penampilan, penurunan daya dukung, dan

penggetasan. Semakin tinggi resistansi suatu logam, maka semakin resisten logam tersebut untuk mengalami korosi. Kerusakan logam akibat korosi dapat dilihat dari berbagai aspek seperti aspek metalurgi, kimia, fisika, termodinamika, dan aspek lingkungan.

Banyak kegagalan *erosion corrosion* terjadi karena turbulensi aliran. Turbulensi aliran bisa disebabkan karena agitasi yang lebih besar pada permukaan logam sehingga menghasilkan kontak yang lebih dekat antara logam dengan lingkungan. Zat terlarut yang terdapat didalam pompa seperti logam, zat organik, dan gas memungkinkan fluida bergerak menggerus logam yang dilewatinya. Selain itu, interaksi antar komponen pompa yang terbuat dari material logam yang berbeda menyebabkan terbentuknya sel galvanis yang menyebabkan logam terkorosi (Fontana 1987).

Kesalahan desain sistem pemompaan dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya korosi karena kavitasi. Kavitasi disebabkan karena pembentukan dan peledakan gelembung uap didalam suatu cairan di dekat permukaan logam. Kerusakan kavitasi terjadi pada impeller pompa (Fontana 1987).

Pompa sentrifugal dikenal sebagai penghasil tekanan. Secara esensial, pompa sentrifugal memiliki elemen yang berputar yang mendorong energi ke fluida (Nelik 1999). Pompa

sentrifugal merupakan jenis peralatan yang paling banyak digunakan di industri sehingga studi mengenai korosi pada komponen pompa sangat penting dilakukan untuk menentukan faktor terbesar penyebab terjadinya korosi dan menentukan jenis-jenis korosi yang terjadi sehingga industri dapat menentukan tindakan preventif yang tepat untuk melakukan mitigasi kegagalan akibat korosi pada komponen pompa sentrifugal tersebut serta dapat menentukan besarnya depresiasi nilai aset pompa tersebut secara terukur.

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh (Vazdirvanidis, Pantazopoulos, and Rikos 2016) menyatakan bahwa mekanisme kegagalan dominan yang terjadi pada komponen *shaft* adalah *pitting corrosion*. Hal ini disebabkan karena lingkungan yang agresif, didalamnya terkandung senyawa klorida dan sulfat yang mempercepat proses korosi. Terjadi *circumferential pitting corrosion* pada area kontak lokal pada *shaft* dengan komponen lainnya.

Semua komponen pompa yang berkontak dengan fluida kerja berpotensi mengalami *erosion corrosion*, terutama jika materialnya sangat mudah tergerus aliran fluida. *Erosion corrosion* merupakan proses yang melibatkan erosi dan korosi. Laju serangan erosi dipercepat dengan gerakan relatif antara fluida korosif dengan permukaan logam. Serangan korosi akan terlokalisasi pada area dengan kecepatan aliran tinggi / aliran turbulen. *Erosion corrosion* ditandai oleh alur dengan pola terarah. Selain itu, besi yang digunakan pada *aerated water* dapat berpotensi

mengalami *uniform corrosion* (Grunfos 2004).

Laju korosi erosi tergantung pada jenis material yang dipilih untuk *rotating machinery* seperti pompa sentrifugal. Kekerasan material bukan satu-satunya kriteria untuk resistansi abrasi mekanis, secara umum hal ini merupakan indikator diperbolehkannya pemilihan material lunak untuk pompa sentrifugal. Pada kenyataannya, material getas seperti *cast iron* memiliki resistansi korosi yang lebih rendah daripada perunggu dan *steel* dengan kekerasan yang sama (Güner and Özbayer 2019).

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi oksigen pada daerah dalam celah tersebut lebih sedikit daripada mulut celah sehingga bagian dalam celah lebih anodik dan berpotensi menyebabkan korosi celah (Utomo 2009).

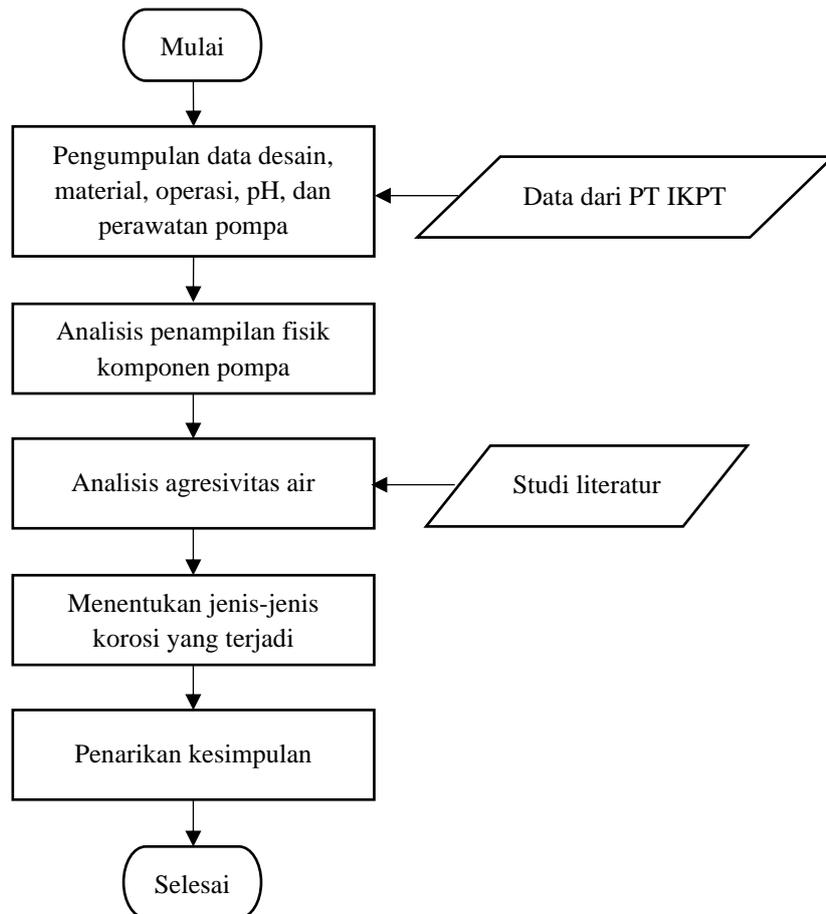
Selain itu, korosi pada pompa sentrifugal juga dipengaruhi oleh tingkat keasaman fluida kerjanya. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh (Saputro and Sutjahjo 2018) menyatakan bahwa makin tinggi tingkat keasaman dalam air dan semakin tinggi nilai salinitas dan zat yang terlarut dalam air, maka semakin besar laju korosi yang terjadi.

Penelitian ini membahas mengenai korosi pada *filter feed pump* yang terinstal pada *wastewater treatment plant*.

### Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada riset ini adalah metode induktif. Peneliti melakukan studi literatur terhadap kasus yang terjadi serta membandingkan data penelitian dengan teori sehingga membentuk *singular*

*statement*. Tidak terdapatnya *contradictive statement* memudahkan peneliti untuk menyimpulkan dengan membuat suatu *general statement*. Adapun diagram alir penelitian ini digambarkan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data, antara lain: desain, material, kondisi operasi, pH, dan perawatan pompa. Peneliti bekerjasama dengan PT IKPT untuk mendapatkan data penelitian tersebut. Selanjutnya, peneliti melakukan tabulasi terhadap penampilan fisik komponen pompa yang mengalami korosi. Beberapa komponen kritis akan menjadi perhatian utama pada

penelitian ini antara lain: *shaft sleeve*, *impeller*, *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern*. Untuk melihat pengaruh kondisi operasi dan lingkungan terhadap korosi pada komponen pompa, peneliti melakukan analisis agresivitas air yang dipompa dan melakukan pengamatan visual berdasarkan studi literatur untuk menentukan jenis-jenis korosi yang

terjadi pada masing-masing komponen kritis pompa. Setelah itu, dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

### A. Material Komponen Pompa

Material komponen *filter feed pump* pada penelitian ini ditabulasikan sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1 Material komponen *filter feed pump*

No.	Komponen	Material
1.	Shaft sleeve	AISI 316 L
2.	Impeller	AISI 316 L
3.	Casing	Cast iron
4.	Casing cover	Cast iron
5.	Bearing bracket lantern	Cast iron

Sumber: (IKPT 2017)

### B. Komposisi Material

Berdasarkan data ASTM A240, material AISI A316 L memiliki kandungan unsur, antara lain ditabulasikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kandungan unsur material AISI A316 L

No.	Unsur	Persentase [%]
1.	Karbon	0,03
2.	Mangan	2
3.	Posfor	0,045
4.	Sulfur	0,03
5.	Silikon	0,75
6.	Kromium	16-18
7.	Nikel	10-14
8.	Molibdenum	2-3
9.	Nitrogen	0.1

Sumber: (ASTM 2011)

### C. Operasi Pompa

*Filter feed pump* beroperasi pada head 27,6 m dan temperatur 35 °C. Adapun Tekanan operasi *filter feed pump* di sisi *suction* pada saat beroperasi sebesar 0 kg/cm<sup>2</sup> sebagaimana terlihat

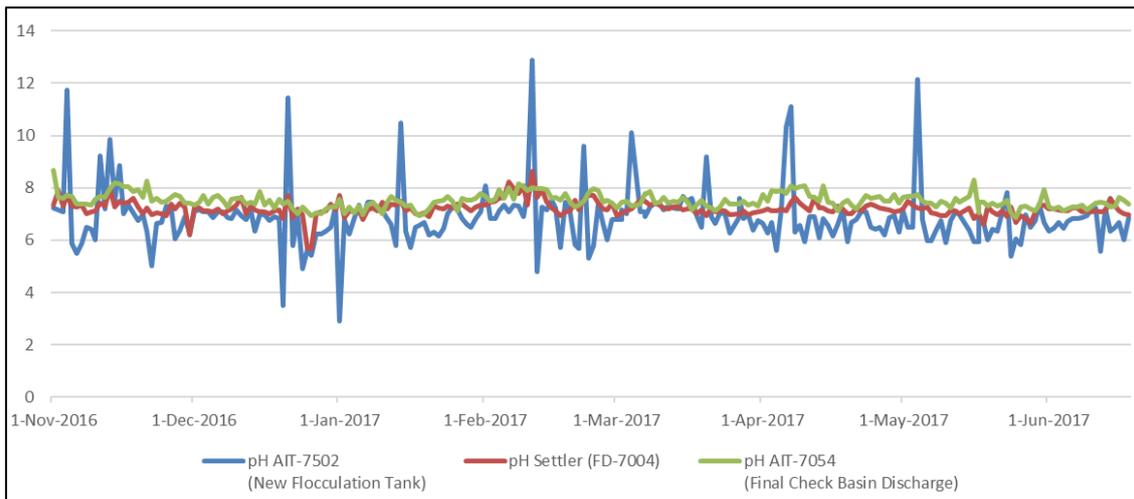
pada Gambar 2. Hal ini mengindikasikan bahwa *static pressure* air tidak memberikan tambahan tekanan pada sisi *suction* pompa. Selain itu, dimungkinkan terdapat cacat geometri pada sisi *suction* yang memungkinkan hal tersebut terjadi.



Gambar 2 Tekanan operasi filter feed pump di sisi *suction* pada saat beroperasi  
Sumber: (IKPT 2017)

### D. Data pH

Pada mulanya air kotor ditampung pada *floculation tank*. *Filter feed pump* berfungsi untuk memompa air dari pH *settler* menuju *water filter package* sehingga menghasilkan air yang lebih bersih baik dari zat organik maupun anorganik sehingga air dapat digunakan kembali sehingga tidak mencemari lingkungan. Air yang telah melalui proses penyaringan akan ditampung pada *final check basin package*. Gambar 3 memperlihatkan riwayat pH pada *floculation tank*, pH *settler* dan *final check basin package*. Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwasanya nilai pH air mengalami fluktuasi terutama pada *floculation tank*, termasuk pada pH *settler*. pH air yang masuk pada sistem pemompaan memiliki nilai yang cenderung netral (mendekati 7), namun beberapa kali berada pada kondisi sangat asam (pH < 6) dan sangat basa (pH >8).



Gambar 3 Riwayat pH pada *floculation tank*, pH *settler* dan *final check basin package*  
 Sumber: (IKPT 2017)

**E. Hasil Inspeksi Visual**

Berdasarkan inspeksi visual yang telah dilakukan, diperoleh data

kerusakan korosi pada komponen pompa kritikal sebagaimana pada Tabel 3.

Tabel 3 Kerusakan korosi pada komponen kritikal *filter feed pump*

No.	Komponen	Gambar kerusakan
1.	Shaft sleeve	
2.	Impeller	
3.	Casing	
4.	Casing cover	

No.	Komponen	Gambar kerusakan
5.	Bearing bracket lantern	

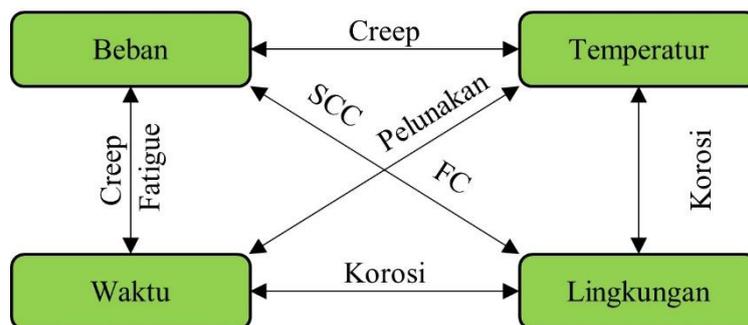
Sumber: (IKPT 2017)

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

Proses elektrokimia yang menyebabkan korosi pada material komponen *filter feed pump* dapat diamati secara visual dan secara mikroskopik. Pada penelitian ini, peneliti melakukan inspeksi secara visual karena keterbatasan peralatan dan waktu pada saat penelitian. Secara visual, kerusakan akibat korosi dapat diamati dengan melihat produk korosi (*scale*, *rust*, atau deposit) dan patahan material (apabila

terdapat beban mekanik yang menyertainya).

Mekanisme korosi dapat mengakibatkan kegagalan lebih parah jika terdapat superposisi antara mekanisme korosi, beban mekanik, dan temperatur. Selain itu, faktor waktu merupakan faktor mutlak yang tidak dapat dipungkiri. Semakin lama logam mengalami korosi, maka tingkat kerusakannya semakin tinggi. Ilustrasinya dapat dilihat pada bagan pada Gambar 4.



Gambar 4 Mekanisme terjadinya korosi pada logam

#### A. Analisis Agresivitas *Fresh Water*

Berdasarkan data operasi pada Gambar 3, maka dapat diperoleh bahwa pH fluida kerja (air) *filter feed pump* pada mulanya sangat fluktuatif, bahkan ada yang sangat asam 2,9 dan basa 12,9.

Setelah melalui pH *settler*, lingkungan kerja *filter feed pump* bersifat sedikit basa karena besarnya pH rata-rata diatas 7. Hal ini menandakan bahwa terdapat banyak molekul oksigen yang terlarut dan ion OH<sup>-</sup> yang terbentuk di dalam air.

Air yang banyak mengandung ion OH<sup>-</sup> berarti terdapat reaksi reduksi oksigen pada lingkungan netral yang melibatkan air. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Proses reduksi tersebut membutuhkan elektron sehingga oksigen akan mengambil elektron dari lingkungan di sekitarnya. Elektron tersebut berasal dari logam yang mengalami oksidasi. Terciptanya reaksi elektrokimia/redoks mengakibatkan logam yang anodik (logam yang mengalami oksidasi) akan terkorosi. Pelarutan oksigen ini diperparah dengan terciptanya lubang kecil pada *casing* pompa di sisi *suction* pompa sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Namun, ukuran lubang yang kecil tidak memiliki efek yang terlalu besar terhadap perubahan pH air. Namun, jika dibiarkan lubang ini akan terus membesar dan menyebabkan kebocoran pada pompa sehingga menyebabkan *energy losses*.



Gambar 5 Lubang pada *casing* pompa di sisi *suction* pompa

Sumber: IKPT, 2017

Korosi mengakibatkan pompa sudah tidak bisa lagi digunakan karena sudah tidak bisa beroperasi dengan baik akibat degradasi material karena korosi. Data pada Gambar 3 juga menunjukkan jika terdapat pH yang berada jauh diatas 7, sekitar 9. Hal ini menandakan bahwa

suatu ketika pompa tersebut bekerja pada kondisi yang benar-benar basa sehingga reaksi elektrokimia yang terjadi pada saat itu sungguh luar biasa. Hal ini bisa terjadi karena meningkatnya intensitas kontak antara air dengan material pompa dan material-material lain yang telah dilewati air.

Korosi yang terjadi pada *fresh water* sangat tergantung pada kandungan oksigen, kekerasan logam, kandungan klorida, kandungan sulfur, dan banyak faktor lainnya. Pada lingkungan *hard water* yang mengandung karbonat, akan terbentuk deposit sebagai pelindung pada permukaan logam tersebut, namun sifatnya tidak begitu kuat sebagaimana permukaan yang terpapar dengan larutan/fluida yang mengandung CO<sub>2</sub> dan nitrat. Oleh karena itu, karena air pada *filter feed pump* tidak mengandung karbonat, maka air ini tidak mampu membentuk lapisan pasif sebagaimana *hard water*. Data pada Tabel 4 menunjukkan agresivitas dari beberapa jenis material terhadap lingkungan *fresh water*.

Tabel 4 Potensial galvanis pada aliran *fresh water*

Logam atau alloy	Temperatur [°C]	Volt vs saturated calomel
Zinc	26	1,03
Mild steel	24	0,61
Gray cast iron	24	0,61
Austenitic stainless steel	14	0,47

Sumber: (Fontana 1987)

Berdasarkan Tabel 4, *gray cast iron* memiliki potensial galvanis lebih besar daripada *austenitic stainless steel* sehingga lebih reaktif. AISI 316L merupakan salah satu jenis material

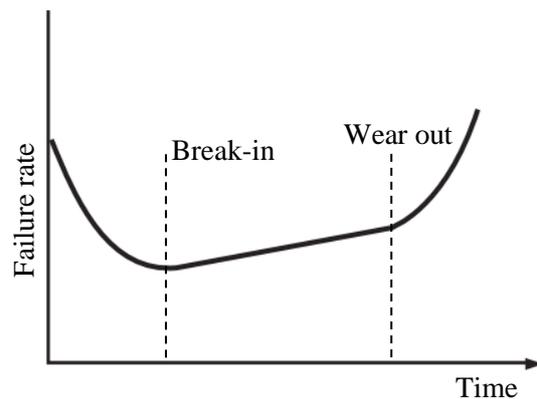
*stainless steel* jenis *austenitic stainless steel* sehingga komponen-komponen *filter feed pump* yang terbuat dari AISI 316L lebih awet daripada komponen yang terbuat dari *cast iron*. Oleh karena itu, *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern* memiliki kerusakan lebih besar dari pada *impeller* dan *shaft sleeve*. Menurut data yang sudah tertera pada metode penelitian diatas, pompa bekerja pada temperatur 35 °C sehingga pompa bekerja pada suhu lebih tinggi daripada temperatur pengukuran potensial pada Tabel 4, sehingga potensial galvanis *cast iron* dan *austenitic stainless steel* lebih besar sehingga semakin reaktif dan semakin mempercepat reaksi korosi yang terjadi.

### B. Analisis Operasi dan Perawatan Penyebab Kegagalan Korosi Filter Feed Pump

Operasi dan perawatan *filter feed pump* memiliki andil yang besar dalam mengetahui penyebab dan akar masalah terjadinya kegagalan suatu komponen. Setelah dilakukan pengecekan, terdapat lubang pada sisi *suction* sebagaimana pada Gambar 5 sehingga mengakibatkan menurunnya efek tekanan statik fluida kerja pada sistem pemompaan sehingga menurunkan nilai NPSHa (*net positive suction head available*) pompa dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kavitasi. Kavitasi dipercepat dengan masuknya udara melewati lubang tersebut. Selain itu, hal ini juga meningkatkan jumlah oksigen terlarut di dalam air. Semakin banyak oksigen di dalam air, maka semakin banyak pula elektron yang dibutuhkan untuk mereduksi oksigen tersebut sehingga

lingkungan *filter feed pump* semakin korosif.

Perawatan peralatan mekanikal seperti pompa, terutama yang masih baru harus dilakukan secara lebih intensif karena memiliki *failure rate* yang tinggi sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 6. Kegagalan korosi yang terjadi pada *filter feed pump* merupakan kesalahan perawatan, yaitu pompa yang baru saja dipasang, tidak dilakukan *predictive maintenance* seperti pengecekan secara periodik sehingga operator tidak mampu menemukan ketidaknormalan pada pompa tersebut sedini mungkin untuk dilakukan tindakan *repair* atau penggantian secara tepat.



Gambar 6 Lubang pada *casing* pompa di sisi *suction* pompa

Sumber: (Dieter and Schmidt 2009)

Tidak *dipasang*nya *impeller wear ring* juga merupakan salah satu penyebab getaran pompa menjadi besar. Hal ini disebabkan karena diantara *impeller* dan *shaft* terdapat celah yang besar yang memudahkan getaran terjadi. Selain itu, tidak adanya penyekat diantara keduanya juga membuat kontak langsung antara komponen *shaft* dengan *case wear ring*, sehingga menyebabkan *scored*.

### C. Jenis Korosi yang terjadi

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan oleh penulis terhadap kerusakan-kerusakan pada pompa sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 3,

korosi yang terjadi dapat dikelompokkan kedalam beberapa kategori jenis-jenis mekanisme korosi sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Tabulasi hasil pengamatan visual korosi pada komponen *filter feed pump*

Jenis korosi	Komponen				
	<i>Shaft sleeve</i>	<i>Impeller</i>	<i>Casing</i>	<i>Casing cover</i>	<i>Bearing bracket lantern</i>
<i>Uniform corrosion</i>	-	-	✓	✓	-
<i>Pitting corrosion</i>	✓	✓	-	-	-
<i>Crevice corrosion</i>	✓	-	✓	✓	✓
<i>SCC</i>	-	-	-	✓	✓
<i>Fatigue corrosion</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Intergranular corrosion</i>	-	-	-	-	-
<i>Erosion corrosion</i>	-	-	✓	✓	✓
<i>Cavitation corrosion</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Selective leaching</i>	-	-	-	-	-
<i>Exfoliation</i>	-	-	-	-	-
<i>Biological corrosion</i>	-	-	-	-	-

Berdasarkan hasil pengamatan, terlihat bahwa terdapat komponen *casing* dan *casing cover* yang mengalami *uniform corrosion*. Hal ini disebabkan karena material *casing* dan *casing cover* terbuat dari *cast iron* sehingga sangat rentan dengan adanya korosi seragam. Reaksi redoks terjadi secara merata dan seragam pada seluruh permukaan logam.

*Pitting corrosion* ditandai dengan terbentuknya sumur pada permukaan logam yang mengalami korosi. pada kasus ini dapat dilihat bahwa *pitting* terjadi pada komponen *shaft sleeve* dan *impeller*. Adapun jenis korosi yang terjadi pada *impeller* yaitu *circumferential pitting corrosion* pada area kontak lokal pada *shaft* dengan komponen lainnya yang bergerak secara relatif terhadap *shaft* sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Hal ini terjadi karena material komponen tersebut yaitu

AISI 316L. Pada *stainless steel* terjadi sumuran disebabkan karena ketebalan lapisan pasif yang tidak merata. Pada bagian yang lapisannya tipis, akan lebih mudah terkorosi. Elektron akan terus diambil dari bagian yang mengalami korosi sehingga lama-lama terbentuk sumur. Jika hal ini dibiarkan maka, lama-lama *pitting* tersebut akan semakin parah karena daerah dasar sumur akan semakin katodik dan reaktif.

*Crevice corrosion* terjadi pada komponen *shaft sleeve*, *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern*. Komponen *impeller* juga memiliki potensi untuk mengalami korosi celah namun, korosi tidak terjadi. Hal ini disebabkan karena interaksi antara air dengan material *impeller* tersebut yang berjalan dalam waktu yang sangat singkat. Gesekan antara *shaft sleeve* dengan *case impeller wearing eye* akan

mempersulit sel galvanik terbentuk. Kekurangan oksigen pada kontak antara satu komponen dengan komponen lainnya dalam suatu *assembly* seperti pompa bilamana digunakan pada lingkungan yang mengandung air dan oksigen terlarut akan sangat berbahaya karena akan membentuk sel galvanik seperti halnya yang terjadi ada komponen *shaft sleeve*, *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern*. bagian yang lebih sempit akan mengalami kekurangan oksigen dan menjadi anoda. Maka material tersebut akan teroksidasi sehingga bisa mengalami korosi celah.

Superposisi antara tegangan dan mekanisme korosi mengakibatkan kegagalan pada komponen *casing cover* dan *bearing bracket lantern*. hal ini dapat diamati dengan melihat bentuk *crack* dan kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut.

Komponen *casing cover* dan *bearing bracket lantern* termasuk komponen yang terbuat dari *cast iron*. Material ini sangat rentan terhadap adanya inklusi atau cacat pada logam seperti *porosity* pada saat proses *casting* dilakukan sehingga memungkinkan terjadinya *hydrogen embrittlement*. Mekanisme ini terjadi dengan masuknya hidrogen kedalam logam dan mengakibatkan tekanan gas yang besar. Dalam hal ini hidrogen berasal dari proses reduksi air dan oksigen. Ketika hal ini terjadi, maka pembebanan sedikit saja pada komponen tersebut akan mengakibatkan kegagalan. Mula-mula hidrogen masuk pada logam melalui proses pendinginan pada saat suhunya kurang lebih 300 °C. pada saat logam mendingin, hidrogen tersebut berkumpul

dan membentuk kumpulan gas pada tempat dimana *impurities* berada. Superposisi antara tekanan gas hidrogen dan beban mekanik yang diberikan mengakibatkan *stress corrosion cracking* (SCC) terjadi. Bukti bahwa komponen tersebut mengalami mekanisme tersebut adalah bentuk *crack* yang bercabang.

Komponen lain yang sangat berpotensi mengalami mekanisme SCC adalah *impeller*. Namun, *crack* belum terjadi pada komponen *impeller*. Mekanisme korosi yang terbentuk adalah *pitting corrosion*. *Pitting* akan terjadi pada bagian yang memiliki pada bagian yang memiliki lapisan pasif terlemah. SCC pada *impeller* memiliki potensi lebih besar jika inisiasi korosi berjalan bersama-sama dengan korosi yang terjadi pada komponen yang terbuat dari *carbon steel* karena proses *pitting corrosion* memiliki akselerasi dalam hal *corrosion rate (autocatalytic reaction)*.

Korosi mengakibatkan material terdegradasi sehingga menurunkan kekuatan mekanik material. Oleh karena itu, kriteria *fracture toughness*-nya ( $K_{IC}$ ) berbeda. *fracture toughness* untuk SCC lebih kecil daripada *fracture toughness* untuk kondisi pembebanan biasa.

*Fatigue corrosion* terjadi pada semua komponen kritis yang ditinjau yaitu: komponen *shaft sleeve*, *impeller*, *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern*. Sumber beban *fatigue* pada komponen-komponen tersebut adalah perputaran *shaft* dan *impeller* pompa. Komponen-komponen tersebut selain mengalami pembebanan dinamik juga mengalami korosi yang diakibatkan

karena lingkungannya sehingga terjadi superposisi beban dinamik dan korosi yang mengakibatkan *fatigue corrosion*. Adanya korosi membantu beban dinamik dalam merambatkan *crack* yang menyebabkan kegagalan pada material.

Korosi akibat erosi disebabkan karena aliran air pada pompa. Komponen-komponen *filter feed pump* yang bersentuhan secara langsung dengan fluida kerja (air) akan mengalami *erosion corrosion*. Aliran air yang terdapat didalam pompa adalah aliran turbulen. Aliran ini lebih berbahaya daripada aliran laminar. Aliran turbulen mengakibatkan terjadinya banyak tumbukan antara molekul-molekul air dengan material pompa. Selain itu, interaksi diantara air yang mengandung oksigen terlarut memicu reaksi reduksi oksigen sehingga membutuhkan elektron yang diambil dari lingkungan di sekitarnya. Salah satunya adalah dengan mengambil elektron dari *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern*. Bukti bahwa komponen tersebut mengalami *erosion corrosion* adalah bentuk lubang seperti *ellips*.

Berdasarkan analisis pada poin B dan data operasi *filter feed pump*, Terdapat kavitasi pada sistem pemompaan dan tekanan pada sisi *suction* pada saat beroperasi sebesar adalah 0 kg/cm<sup>2</sup>. Kavitasi memiliki energi yang besar. Jika tegangan permukaan pada *bubble* kavitasi sudah tidak mampu lagi menahan tekanan luar, maka gelembung tersebut akan pecah dan mengakibatkan terbentuknya lubang pada logam. Ciri kerusakannya adalah berbentuk lingkaran pada permukaan komponen/material. Adapun komponen

*filter feed pump* yang mengalami *cavitation corrosion* adalah *shaft sleeve*, *impeller*, *casing*, *casing cover*, dan *bearing bracket lantern*. Semua komponen kritikal yang ditinjau mengalami *cavitation corrosion*.

Modus korosi yang terjadi pada setiap komponen berbeda-beda. Semakin banyak modus korosi terjadi, maka kegagalan semakin cepat. Adapun komponen *filter feed pump* yang mengalami modus korosi terbanyak adalah *casing cover* sebagai terlihat pada Tabel 3.

Produk korosi yang terbentuk pada komponen *filter feed pump* sebagian besar berupa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O atau Fe(OH)<sub>3</sub> ditandai dengan warna merah kecoklatan. Adapun produk lainnya berupa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (hitam), Fe(OH)<sub>2</sub> (biru/hijau), dan FeO (hitam). Beberapa warna produk korosi pada besi dapat dilihat berdasarkan referensi sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Produk korosi pada besi

Rumus	Warna	Bentuk oksidasi
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O / Fe(OH) <sub>3</sub>	Merah kecoklatan	Fe <sup>3+</sup>
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Hitam	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup>
Fe(OH) <sub>2</sub>	Biru/hijau	Fe <sup>2+</sup>
FeO	Hitam	Fe <sup>2+</sup>

Sumber: (www.corrosion-doctors.org 2017)

### Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Faktor terbesar penyebab terjadinya korosi pada *filter feed pump* adalah kesalahan perawatan. Kemudian faktor operasi dan lingkungan. Pompa mengalami kegagalan korosi katastropik karena pada saat setelah

pemasangan, tidak dilakukan perawatan sedangkan *failure rate* pada saat pompa masih baru sangat tinggi.

- b. Terdapat beberapa modus korosi yang terjadi pada komponen-komponen *filter feed pump*, antara lain: *uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *crevice corrosion*, *stress corrosion cracking (SCC)*, *fatigue corrosion*, *erosion corrosion*, and *cavitation corrosion*. Kombinasi beberapa macam modus korosi akan mempercepat laju korosi karena terjadi peningkatan secara signifikan pada laju korosi. Komponen *filter feed pump* yang mengalami modus korosi paling banyak adalah *cover casing* sehingga komponen tersebut mengalami kegagalan korosi terparah daripada komponen lainnya.

### Referensi

- ASTM. 2011. "Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications."
- Dieter, G. E., and L. C. Schmidt. 2009. *Engineering Design*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Fontana, Mars G. 1987. *Corrosion Engineering*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Grunfos. 2004. *Pump Handbook*. Denmark: Grunfos Management.
- Güner, Metin, and Mehmet Melih Özbayer. 2019. "Wear and Its Effects in Centrifugal Pumps." *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences* 29(3):569–582. doi: 10.29133/yyutbd.518139.
- IKPT. 2017. "IKPT Work File."
- Nelik, Lev. 1999. *Centrifugal and Rotary Pumps Fundamentals With Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Revie, R. Winston, and Herbert H. Uhlig. 2008. *Corrosion and Corrosion Control*. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Saputro, Faizal Dwi, and Dwi Sutjahjo. 2018. "Variasi Media Pengkorosi dan Waktu Terhadap Laju Korosi Pada Logam Baja Rendah Karbon (Mild Steel) dengan Pemodelan Kondisi Sirip Kemudi Kapal"
- Utomo, Budi. 2009. "Jenis Korosi Dan Penanggulangannya." *Kapal* 6(2):138–141.
- Vazdirvanidis, A., G. Pantazopoulos, and A. Rikos. 2017. "Corrosion Investigation of Stainless Steel Water Pump Components." *Engineering Failure Analysis* 82:466–473. doi: 10.1016/j.engfailanal.2016.09.009.
- www.corrosion-doctors.org. 2017. "Iron Corrosion Products." *Corrosion Doctors*. Retrieved (<https://www.corrosion-doctors.org/Experiments/iron-products.htm>).