

## **ANALISA PENURUNAN KAPASITAS DAN VIBRASI POMPA SEAWATER INTAKE STUDI KASUS DI PGN SAKA INDONESIA PANGKAH LTD**

Eddy Priyanto, Wardjito  
Prodi Teknik Sipil Universitas Gresik

### **ABSTRAK**

*Air laut sangat penting untuk pengolahan gas asam  $H_2S$  (Hidrogen sulfida) dari sumur lepas pantai PGN Saka Indonesia Pangkah Ltd, ada tiga buah pompa sea water intake submersible sentrifugal aliran aksial kapasitas per pompa  $935 M^3 / jam$ , memasok air laut ke onshore di  $SO_2$  scrubber. Dalam tahun terakhir, pompa rusak bergantian, diawali penurunan kapasitas pompa dan peningkatan vibrasi, menurut data vendor idealnya bisa bertahan sampai dua tahun, dengan kondisi tersebut perlu dilakukan analisis penurunan kapasitas dan vibrasi pompa sea water intake.*

*Dari hasil perhitungan telah terjadi kenaikan hambatan/ friction head di suction strainer pompa dari 0.85 meter menjadi 24.3 meter; menyebabkan kapasitas pompa turun, timbul kapitasi, vibrasi kemudian rusak, hasil visual di bawah permukaan air, ditemukan celah cukup besar diantara cor semen dan rumah screen bar; memungkinkan sampah lolos dan menyumbat suction strainer pompa. Disarankan untuk menambahkan batu bronjong berupa susunan batu yang ditata sedemikian rupa dan dibungkus dengan jaring kawat di depan screen bar dengan harapan mengurangi abrasi akibat arus hisap pompa dan perlu dijadwalkan rutin enam bulan sekali untuk visual check.*

***Kata kunci: Sea water intake, friction head, pompa***

### **PENDAHULUAN**

Saka Indonesia Pangkah Ltd adalah Perusahaan yang bergerak dibidang minyak dan gas, mengolah minyak mentah

menjadi produk yaitu: *Crude Oil, Sales gas, Propane* dan *Butane*, membutuhkan beberapa peralatan, salah satunya yaitu pompa air laut yang memasok kebutuhan air laut di *onshore*. Telah terjadi kerusakan

pada pompa *sea water intake*, yang berakibat pada berhentinya pengolahan limbah  $H_2S$ , pompa mengalami penurunan kapasitas dan getaran tinggi akhirnya rusak. Kejadian sama berulang pada pompa yang lain, mengganti bagian yang rusak saja tidak cukup, pasti ada yang tidak beres dengan sistem pompa tersebut. Dari sinilah kemudian dianalisis penyebab kegagalannya, permasalahan pada pompa tersebut, membandingkan parameter pada kondisi normal dan abnormalnya. Tujuan penelitiannya adalah 1) untuk mengetahui penyebab penurunan kapasitas pompa *sea water intake*. 2) untuk mengetahui penyebab vibrasi pada pompa *sea water intake*.

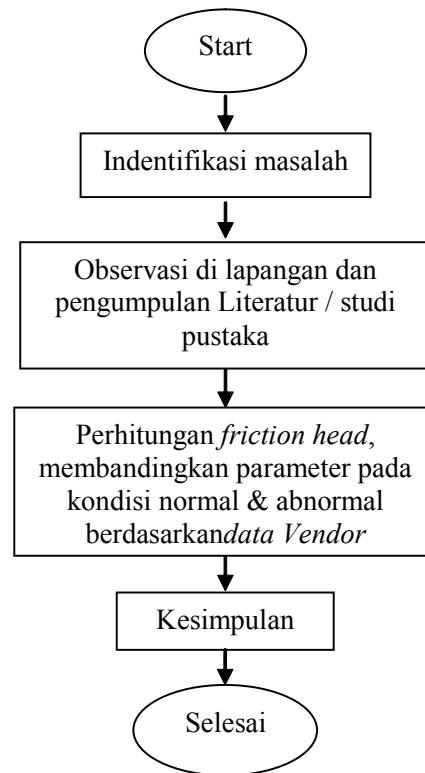
## METODE PENELITIAN

### Tempat, Waktu dan Sumber Data Penelitian

Penelitian dilakukan pada pompa *sumersible sea water intake* di PGN Saka Indonesia Pangkah Ltd, dimulai bulan Januari 2016 yang berlokasi di Kawasan Industri Maspion, JL Beta, Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik Jawa Timur. Sumber data dalam penelitian ini diperoleh dengan cara sebagai berikut :

1. Studi lapangan dengan mengamati secara langsung dilokasi pompa, untuk mendapatkan data-data pendukung untuk menganalisis permasalahan tersebut dan,
2. Studi kepustakaan, untuk membentuk kerangka berpikir mengenai permasalahan yang dihadapi sehingga dapat membandingkan teori-teori yang diperoleh dengan kondisi aktual yang ada di lapangan. Studi kepustakaan yang dilakukan antara lain kegiatan telaah buku-buku referensi maupun dari *data vendor*.

## Diagram alur penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Total Head Pompa

Adalah kemampuan tekanan maximum pada titik kerja pompa, umumnya dinyatakan dalam meter, beberapa parameter diperlukan untuk menentukan total head suatu pompa diantaranya yaitu *friction loss pipa*, *friction loss fitting & valve*, *pressure drop* peralatan mechanical, dan *geodetic head* yaitu ketinggian vertical dari titik tertinggi pipa suction ke titik tertinggi pipa discharge. *Geodetic head* merupakan parameter penting dan nilainya pasti sehingga tidak boleh diperkirakan. Menurut Ir. Sularso, MS.,ME dan Prof. DR. Haruo Tahara (1983).

$$h_{sis} = h_a + \Delta h_{mp} + h_l + \frac{V d^2}{2.g}$$

Dimana :

- $h_{sis}$  : head suction pompa (m)  
 $h_a$  : head statis pompa (m)  
 $\Delta h_p$  : perbedaan head tekan yang bekerja pada kedua permukaan (m)  
 $\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1}$   
 $H_L$  : berbagai kerugian head di pipa, fitting, belokan, sambungan dll (m)

$$\frac{V d^2}{2 \cdot g}$$

- Dimana : kecepatan fluida keluar (m)  
 $g$  : gravitasi (9.8m/dt<sup>2</sup>)

Head kerugian gesek dalam pipa lurus, dirumuskan sebagai berikut.

$$h_f = \frac{10,666 Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.85}} \times L$$

- Dimana :  
 $h_f$  : head kerugian gesek (m)  
 $Q$  : debit aliran pompa (m<sup>3</sup>/s)  
 $L$  : panjang pipa (m)  
 $D$  : diameter pipa (m)  
 $C$  : koefisien pipa

Kerugian belokan dirumuskan sebagai berikut.

$$h_f = f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$F = 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \left( \frac{\theta}{\theta} \right)^{0,5}$$

- Dimana:  
 $h_f$  : head kerugian belokan (m)  
 $V$  : kecepatan aliran (m/s)  
 $g$  : gaya gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 $D$  : diameter pipa (m)  
 $R$  : jari-jari lengkung sumbu belokan  
 $\theta$  : sudut belokan derajat  
 $F$  : koefisien kerugian

### Friction loss pipa

Disebabkan gesekan antara fluida dengan permukaan dalam pipa, sehingga menimbulkan gaya gesek dan gaya gesek ini menyebabkan hambatan pada tekanan pompa. Besarnya *friction loss* pipa tergantung dari jenis material, diameter, dan panjang pipa, dengan menggunakan pendekatan metode *Hazen William* maka formulasi untuk menentukan besarnya *friction loss* adalah sebagai berikut:

$$H_f \text{ pipa} = H_L \times L_{\text{pipa}}$$

$$h_L = \left( \frac{3.35 \times 10^6 \times Q}{d^{2.63} \times C} \right)^{1.852}$$

- Dimana :  
 $h_f$  : *friction loss* pipa (m/100m)  
 $L_{\text{pipa}}$  : panjang pipa (m)  
 $h_L$  : *head loss* pipa (m)  
 $Q$  : debit pompa (m<sup>3</sup>/dt)  
 $d$  : diameter dalam pipa (mm)  
 $C$  : *Hazen william constanta*

*Head loss* itu *head* yang hilang disebabkan adanya gaya gesek antara fluida dengan pipa (*Head loss mayor*), kalau *head loss minor* bisa disebabkan oleh: perbedaan diameter pipa tiba-tiba, adanya *elbow* pada pipa, dan sebagainya.

$$\text{Head tekanan} = \left( \frac{P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}}{\rho \cdot g} \right)$$

$$\text{Head kecepatan} = \left( \frac{V^2 d - V^2 s}{2 g} \right)$$

- Dimana :  
 $Head$  biasanya memakai satuan meter  
 $g$  : percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
 $\rho$  : massa jenis fluida (kg / m<sup>3</sup>),  
 massa jenis air = 1000 kg / m<sup>3</sup>  
 $P_{\text{discharge}}$  : tekanan fluida keluaran pompa  
 $P_{\text{suction}}$  : tekanan fluida masuk ke pompa  
 (1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup>)

Keduanya dapat dicari menggunakan tekanan indikator yang terpasang pada sisi *suction* dan *discharge* pompa.

Vd : kecepatan fluida *discharge* pompa (m/s)

Vs : kecepatan fluida *suction* pompa (m/s)

Jika tidak ada data yang menampilkan keduanya, maka dapat dicari menggunakan Debit (Q) dan diameter dari pompa bagian *discharge* dan *suction* (D *discharge* dan D *suction*) dengan hubungannya :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V \text{ discharge (m/s)} \times A \text{ discharge (m}^2\text{)}$$

$$= V \text{ suction} \times A \text{ suction}$$

A = luas lingkaran bagian *discharge / suction*

$$\text{Head loss mayor} = \left( f \frac{1 V^2}{d 2 g} \right)$$

Dimana :

- f : *friction factor*
- l : panjang pipa (m)
- v : kecepatan rata-rata dari fluida (m/dt)
- d : diameter dari pompa (mm)
- g : percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

Untuk mencari *head loss mayor*, pertama-tama kita harus tau jenis aliran (*laminar/turbulance*) dan besarnya bilangan *Reynolds* untuk mendapatkan *friction* factornya (f).

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu}$$

Dimana:

- v : kecepatan alir (m/dt)
- l : panjang pipa (m)
- ρ : density fluida (gr/cm<sup>3</sup>)
- μ : viscositas fluida
- ν : kinematic viscositas fluida

Friction Losses in Pipe Fittings														
Resistance Coefficient K (use in formula hf = Kv <sup>2</sup> /2g)														
Fitting	LD	Nominal Pipe Size												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6	8-10	12-16	18-24
Angle Valve	55	1.48	1.38	1.27	1.21	1.16	1.05	0.99	0.94	0.83	0.77	0.72	0.66	
Angle Valve	150	4.05	3.75	3.45	3.30	3.15	2.85	2.70	2.55	2.25	2.10	1.95	1.80	
Ball Valve	3	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	
Butterfly Valve							0.86	0.81	0.77	0.68	0.63	0.35	0.30	
Gate Valve	8	0.22	0.20	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	
Globe Valve	140	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Plug Valve Branch Flow	90	2.43	2.25	2.05	1.98	1.89	1.71	1.62	1.53	1.35	1.26	1.17	1.08	
Plug Valve Straightway	18	0.48	0.45	0.41	0.40	0.38	0.34	0.32	0.31	0.27	0.25	0.23	0.22	
Plug Valve 3-Way Thru-Flow	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36	
Standard Elbow	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	long radius 90°	16	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
Close Return Band	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60	
Standard Tee	Thru-Flow	20	0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
	Thru-	60	1.62	1.50	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.90	0.84	0.78	0.72
90 Bends, Pipe Bends, Flanged Elbows, Butt-Welded Elbows	rd-1	20	0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
	rd-2	12	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
	rd-3	12	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
	rd-4	14	0.38	0.35	0.32	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.21	0.20	0.18	0.17
	rd-6	17	0.46	0.43	0.39	0.37	0.36	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
	rd-8	24	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50	0.46	0.43	0.41	0.36	0.34	0.31	0.29
	rd-10	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	rd-12	34	0.92	0.85	0.78	0.75	0.71	0.65	0.61	0.58	0.51	0.48	0.44	0.41
	rd-14	38	1.03	0.95	0.87	0.84	0.80	0.72	0.68	0.65	0.57	0.53	0.49	0.46
	rd-16	43	1.13	1.05	0.97	0.92	0.88	0.80	0.76	0.71	0.63	0.59	0.55	0.50
rd-18	45	1.24	1.15	1.06	1.01	0.97	0.87	0.83	0.78	0.69	0.64	0.60	0.55	

Gambar 2. Coefficient Hazzen Williams

Menghitung Total Dynamic Head

Ada panduan dari vendor *flowserve* yang memasok pompa *submersible seawater intake* di PGN Saka Indonesia Pangkah Ltd, tentang cara untuk memeriksa atau menguji performa pompa dilapangan dengan menghitung *Total Dynamic Head* memakai rumus:

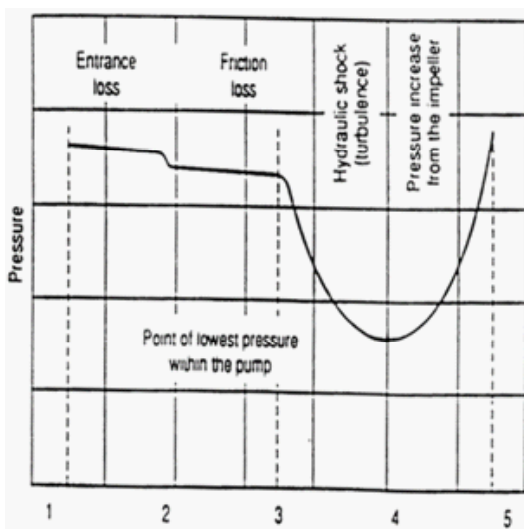
$$H = (hgd+hvd+Zd)-(hgs+hvs+Zs)+(hf \text{ pipa} + hf \text{ elbow}+hf \text{ strainer})$$

Dimana:

- H : total dynamic head (m)
- hgd : tekanan keluaran pompa, ft (m)
- hvd : discharge velocity head, ft (m)
- Zd : tinggi dari keluaran tekanan gauge diatas pompa centerline, ft (m)
- hgs : suction tekanan head dari gauge. ft (m)
- hvs : suction velocity head, ft (m)
- Zs : tinggi dari suction gauge diatas pompa centerline, ft (m)
- hf : kerugian gesek suction dan discharge gauge ft (m)

## Kavitasi

Perubahan fase uap fluida, karena berkurang tekananya di bawah tekanan uap jenuhnya menyebabkan pompa mengalami kavitasi, pada sisi hisap pompa, misalnya air pada tekanan 1 atm mendidih pada suhu 100 °C, jika tekanan turun maka air bisa mendidih pada temperature rendah, apabila fluida mendidih, maka timbul gelembung-gelembung di dalam pompa menyebabkan pompa *unbalance* mengakibatkan vibrasi dan rusak.



Gambar 3. Kurva Kavitasi

## Pembahasan

Menghitung *Total dynamic head* dan *Friction head*, memakai metode komparasi untuk membandingkan parameter pada kondisi normal dan abnormal, berdasarkan rumus dari *vendor flow serve* dihitung dari *suction* pompa sampai tekanan *discharge* pompa dengan mengabaikan instalasi pipa setelahnya.

### Pada kondisi normal

Tekanan discharge: 3.7 barg, flow: 935 m<sup>3</sup>/jam. Total Dynamic Head (H)

$$H = (hgd + hvd + Zd) - (hgs + hvs + Zs) + (hf \text{ pipa} + hf \text{ elbow} + hf \text{ strainer})$$

Dimana:

$H$  : total dynamic head (m)

$hgd$  : tekanan discharge head dari gauge, ft (m)

$hvd$  : discharge velocity head, ft (m)

$Zd$  : tinggi dari keluaran tekanan gauge diatas pompa centerline, ft (m)

$hgs$  : suction tekanan head dari gauge. ft (m)

$hvs$  : suction velocity head, ft (m)

$Zs$  : tinggi dari suction gauge diatas pompa centerline, ft (m)

$hf$ : kerugian gesek suction dan discharge gauge ft (m)

Pada kondisi normal:

1. Tekanan normal pompa SWI adalah  
Hgd (gauge discharge head) = 3.7 Barg  
Tekanan atmosphere = 14.7 psi  
1 psi = 2.31 feet tinggi air  
14.7 psi = 10.2 meter  
3.7 bar, setara dengan  
(3.7X10.2)/1=37.7 meter = 120.8 feet

2.  $hvd$  = velocity discharge head

$$hvd = \frac{v^2}{2g}$$

- a.  $Q = 935 \text{ M}^3/\text{jam}$  diameter pipa = 14 inch

$$A = \frac{3.14}{4} \times (14 \times 0.0254)^2 = 0.099 \text{ M}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{935}{0.099} = 9419.3 \text{ M/jam} = 8.63 \text{ feet/detik}$$

- b.  $g = 9.8 \text{ M/det}^2 = 32.2 \text{ feet/det}^2$

- c.  $Hvd = \frac{8.6^2}{2 \times 32.2} = 1.16 \text{ feet}$

3.  $Zd$  = level impeller ke level pressure gauge

$$Zd = 10 \text{ meter} = 32.8 \text{ feet.}$$

4.  $hgs$  (suction pressure head) atm + static = 1 Atm + 7 meter = 10.2 + 23.3 = 56.9 feet

5.  $hvs$  = velocity suction head

$$hvs = \frac{v^2}{2g} = \frac{8.6^2}{2 \times 32.2} = 22.96 \text{ feet}$$



6. hf = friction head  
 a. *Friction strainer* berdasarkan table K= 0.5

$$hf = \frac{K.V^2}{2.g} = \frac{0.5 \times 8.6^2}{2 \times 32.2} = 0.5 \text{ feet}$$

- b. *Friction pipe* berdasarkan table C= 140

$$hf = 0.2083 \times \left(\frac{100}{C}\right)^{1.852} \left(\frac{q^{1.852}}{Dh^{4.8655}}\right)$$

$$= 0.2083 \times \left(\frac{100}{140}\right)^{1.852} \left(\frac{935^{1.852}}{14^{4.8655}}\right)$$

$$= 0.094 \text{ feet}/100\text{m} = 0.0094 \text{ feet}/10\text{m}$$

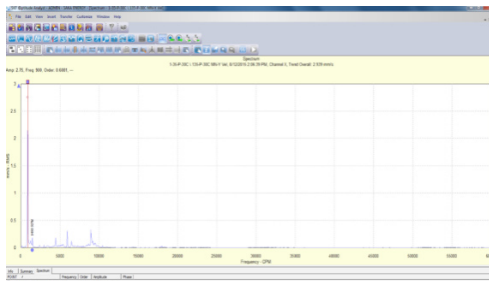
- c. *Friction elbow 90°* dari table K = 0.21

$$hf = \frac{K.V^2}{2.g} = \frac{0.21 \times 8.6^2}{2 \times 32.2} = 2.32 \text{ feet}$$

7. Total friction head  
 thf = hf strainer + hf pipa + hf elbow  
 = 0.5 + 0.0094 + 2.32 = 2.83 feet

8. Total dynamic head  
 H = (hgd+hvd+Zd) - (hgs+hvs+Zs) + hf  
 = (120+1.2+32.8) - (56.9+1.2+23) + 2.83  
 = 76.6 feet = 23.4 meter

Trending vibrasi rendah/normal.



Gambar 4. Trending Vibrasi Normal

### Pompa pada kondisi abnormal

Pada kondisi abnormal; tekanan discharge 1.5 barg, debit air 600m<sup>3</sup>/jam pada level air laut yang sama.

1. Tekanan abnormal pompa *sea water intake* adalah  
 Hgd (*gauge discharge head*) = 1.5 Barg  
 Tekanan 1 atmosphere = 14.7 psi  
 1 psi = 2.31 feet tinggi air  
 14.7 psi = 10.2 meter

1.5 barg, setara dengan : (1.5 X 10.2)/1  
 = 15.3 meter = 49 feet

2. hvd = *velocity discharge head*

$$hvd = \frac{V^2}{2g}$$

- a. Q = 600 M<sup>3</sup>/jam  
 diameter pipa = 14 inch

$$A = \frac{3.14}{4} \times (14 \times 0.0254)^2$$

$$= 0.099 \text{ M}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{600}{0.099} = 6044.5 \text{ M/jam}$$

$$= 5.5 \text{ feet/detik}$$

- b. g = 9.8M/det<sup>2</sup> = 32.2 feet/det<sup>2</sup>

$$Hvd = \frac{5.5^2}{2 \times 8.63} = 0.48 \text{ feet}$$

3. hf = friction head  
 a. *Friction pipe* dari table C = 140

$$hf = 0.2083 \times \left(\frac{100}{C}\right)^{1.852} \left(\frac{q^{1.852}}{Dh^{4.8655}}\right)$$

$$= 0.2083 \times \left(\frac{100}{140}\right)^{1.852} \left(\frac{935^{1.852}}{14^{4.8655}}\right)$$

$$= 0.094 \text{ feet}/100\text{m}$$

$$= 0.0094 \text{ feet}/10 \text{ meter}$$

- b. *Friction elbow 90°* dari table K = 0.21

$$hf = \frac{K.V^2}{2.g} = \frac{0.21 \times 8.6^2}{2 \times 32.2} = 2.32 \text{ feet}$$

$$thf = hf \text{ pipa} + hf \text{ elbow}$$

$$= 0.0094 + 2.32 = 2.33 \text{ feet}$$

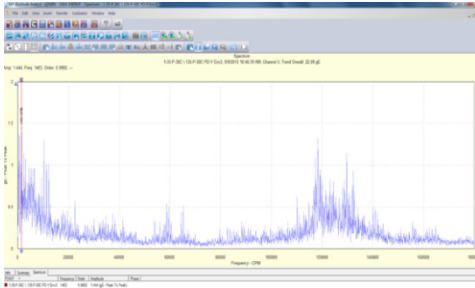
Perhitungan *friction head strainer* adalah :

$$hf \text{ strainer} = H - (hgd + hvd + Zd) + (hgs + hvs + Zs) - hfpipa - hf \text{ elbow}$$

$$hf \text{ strainer} = 76.6 - (49 + 0.48 + 32.8) + (56.9 + 0.48 + 23) - 1 = 73.7 \text{ feet}$$

$$= 24.3 \text{ meter}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, ada indikasi kenaikan hambatan/*friction head* pada *suction strainer* pompa sebesar 24.3 meter ada kenaikan *trending vibrasi* tinggi.



Gambar 5. Trending Vibrasi Abnormal

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dari teori, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan adanya kenaikan *friction head* pada suction strainer dari 0.85 meter menjadi 24.3 meter, menyebabkan *Total dynamic head* turun, mengakibatkan kapasitas pompa turun dari 935M<sup>3</sup>/jam ke 600M<sup>3</sup>/jam.
2. Pengaruh kenaikan *Friction head* pada suction strainer menyebabkan tekanan pada mata *impeller* pompa turun, kondisi tersebut merubah titik didih fluida menjadi rendah, fluida mendidih menimbulkan gelembung udara menyebabkan pompa vibrasi dan rusak.

### Saran

Berdasarkan perhitungan dan temuan dilapangan pada sistem pompa *sea water intake* disarankan:

1. Kenaikan *Friction head* disebabkan banyak sampah plastic yang lolos dari saringan utama, akibat rusaknya semen cor celah akibat abrasi tersebut cukup besar disarankan untuk memperbaiki semen cor dan menambah susunan batu gabion didepan *bar screen* pompa untuk menghambat abrasi air laut yang berdampak pada tergerusnya semen cor pada sistem tersebut.

2. Disarankan melakukan penyelaman/*diving* untuk pemeriksaan visual di fasilitas bawah air *sea water intake* secara berkala, rutin setiap enam bulan untuk mendeteksi kerusakan pada sistem tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Patel, V. C.; Rodi, W.; Scheuerer, G. (1985). "Turbulence Models for Near-Wall and Low Reynolds Number Flows—A Review". *AIAA Journal* 23 (9): 1308–1319.
- Sularso, Ir., Ms ME. "Pompa dan Kompresor" Jakarta: PT. Pradaya Paramita.
- Suparlan, Suwandi (1999), "Perawatan Mesin", Catatan Kuliah, Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung, Bandung.