

Analisa Head Losses dan Efisiensi Pompa Sentrifugal Vogel dari Instalasi Menara Pendingin ke Penampung Utama

^{1*}Angky Puspawan, ²Benny Dwika Leonanda

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

²Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, Sumatera Barat
Corresponding author: apuspawan@unib.ac.id

Abstrak

Pabrik industri bidang pengolahan dan pembuatan pupuk urea di Indonesia memerlukan bahan baku utama yaitu adalah gas alam cair (*Liquid Natural Gas/LNG*), air (H_2O), dan udara (*air*). Ketiga bahan baku utama tersebut penting diolah dan menghasilkan nitrogen (N_2), hidrogen (H_2), dan karbondioksida (CO_2). Amoniak (NH_3) adalah hasil reaksi gas nitrogen (N_2) dan hidrogen (H_2). Selanjutnya proses berikutnya adalah mencampurkan amoniak (NH_3) dengan karbondioksida (CO_2) bereaksi dan menghasilkan pupuk urea. Pupuk urea sangat penting dalam membantu pertumbuhan tanaman dalam pengolahan pertanian dan perkebunan. Salah satu bahan baku utama adalah air (H_2O). Oleh sebab itu, letak atau lokasi pabrik industri pupuk ini seyogyanya atau selayaknya harus mendekati sumber air baku yaitu air laut ataupun air sungai. Tujuan letak atau lokasi pabrik pupuk ini mendekati sumber air adalah agar kebutuhan air murni tetap kontinyu dan terjaga. Dikarenakan kebutuhan (*demand*) akan air sangat banyak, maka dibuatlah aliran air yang disesuaikan dengan kebutuhan dengan membangun stasiun pompa. Kebutuhan air yaitu untuk air pendingin kemudian dialirkan ke penampung utama untuk bahan baku pembuatan pupuk. Pompa digunakan sebagai alat untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain melalui media pipa dengan terjadinya perubahan tekanan pada fluida. Pompa biasanya untuk fluida bersifat cair. Pada instalasi pompa dari instalasi menara pendingin menuju ke penampung utama adalah pompa sentrifugal *vogel*, dimana kerugian *head* pada jalur pipa sisi isap 0,044 m, kerugian *head* jalur pipa sisi keluar 0,761 m dengan total kerugian *head* 0,805 m dan efisiensi atau performa pompa sentripugal *Vogel* adalah 68,707%.

Kata kunci : *head losses*, efisiensi, pompa sentripugal

PENDAHULUAN

Di pabrik industri bidang pengolahan dan pembuatan pupuk urea di Indonesia memerlukan bahan baku utama yaitu adalah gas alam cair (*Liquid Natural Gas/LNG*), air (H_2O), dan udara. Ketiga bahan baku utama tersebut penting diolah dan menghasilkan nitrogen (N_2), hidrogen (H_2), dan karbondioksida (CO_2). Amoniak (NH_3) adalah hasil reaksi gas nitrogen (N_2) dan hidrogen (H_2). Selanjutnya proses berikutnya adalah mencampurkan amoniak (NH_3) dengan karbondioksida (CO_2) bereaksi dan menghasilkan pupuk urea. Pupuk urea sangat penting dalam membantu pertumbuhan tanaman dalam pengolahan pertanian dan perkebunan.

J. Inersia Vol 14(2)117-125

Salah satu bahan baku utama adalah air (H_2O). Oleh sebab itu, letak atau lokasi pabrik industri pupuk ini seyogyanya atau selayaknya harus mendekati sumber air baku yaitu air laut ataupun air sungai. Tujuan letak atau lokasi pabrik pupuk ini mendekati sumber air adalah agar kebutuhan air murni tetap kontinyu dan terjaga. Dikarenakan kebutuhan (*demand*) akan air sangat banyak, maka dibuatlah aliran air yang disesuaikan dengan kebutuhan dengan membangun stasiun pompa. Kebutuhan air bermacam-macam yaitu kebutuhan untuk air pendingin, kebutuhan untuk air murni, kebutuhan air untuk diolah menjadi uap dengan tujuan memutar turbin uap, dan kebutuhan air sebagai pelarut untuk reaksi dan

kebutuhan air untuk lain-lainnya. Agar air dapat dialirkan ke tempat dimana untuk mensuplai kebutuhan proses produksi pabrik maka digunakanlah suatu alat atau mesin yang lebih dikenal dengan nama pompa.

Pompa digunakan sebagai alat untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain melalui media pipa dengan terjadinya perubahan tekanan pada fluida. Pompa biasanya untuk fluida bersifat cair. Adapun untuk pompa udara yang biasa dikenal disebut sebagai kompresor udara (*air compressor*). Pada instalasi pompa dari instalasi menara pendingin menuju ke penampung utama adalah pompa sentrifugal *vogel* yang diproduksi sesuai dengan kebutuhan industri berdasarkan spesifikasi desain secara ideal. Pada kondisi aktual yaitu kondisi di lapangan, aliran fluida air melalui pipa memiliki gangguan-gangguan yang menyebabkan aliran fluida air terganggu sehingga perlunya analisa kerugian aliran dan kinerja pompa.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pompa[1,2,3,5,6]

Pompa adalah suatu mesin ataupun alat yang berfungsi dengan tujuan untuk memindahkan suatu fluida dari suatu tempat ke tempat lain melalui instalasi pipa yang ditandai terjadinya perubahan tekanan pada fluida yang berlangsung secara terus-menerus (*countinue*). Perubahan tekanan pompa terjadi antara pada jalur sisi isap (*suction side*) dan jalur sisi keluar (*discharge side*).

2. Klasifikasi Pompa [4,5,6]

Klasifikasi pompa dibedakan :

1. Pompa *Positive Displacement*

Pompa *posititive displacement*, dibagi menjadi 2 yaitu:

- Pompa *Reciprocating*
- Pompa *Rotary*

Pompa *rotary*, dibagi menjadi 3 yaitu:

- Rotary Vane Pump*
- Srew Pump*
- Gear Pump*

2. Pompa *Dinamic*

Pompa *Dinamic*, dibagi menjadi 3 yaitu:

- Pompa Sentrifugal
- Pompa Aksial
- Pompa *Special Effect*

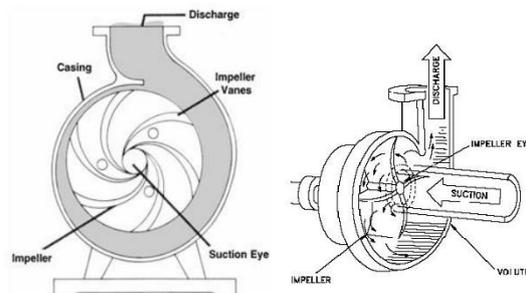
Pompa *special effect*, dibagi menjadi 4 yaitu:

- Gas Lift Pump*
- Hydraulic Pump*
- Pompa *Jet Eductor*
- Pompa *Electromanetic*

3. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal memiliki 2 bagian utama yaitu bagian yang bergerak, impeler yang mengubah energi mekanik berupa putaran poros menjadi energi kinetik. Bagian yang diam, yaitu *casing* atau rumah pompa yang menubah energi kinetik menjadi energi tekanan. Energi kinetik berupa gerakan impeler akibat putaran poros motor pompa. Fluida terisap pada bagian tengah impeler lalu fluida mengalir pada bagian sudu-sudu dengan mendapat gaya dorong. Pada bagian sudu ini terjadinya gaya sentrifugal yang menyebabkan fluida keluar menjauhi titik pusat aliran. Jadi fungsi impeler adalah penambah percepatan aliran fluida sehingga bertambahnya *head* kecepatan.

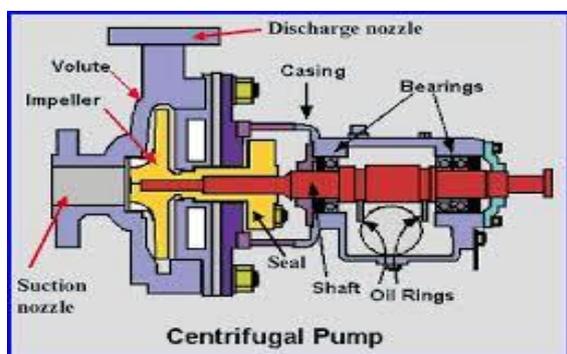
Pada *head* kecepatan fluida akan berubah menjadi *head* tekanan pada bagian *discharge* dikarenakan fluida akan mengalir ke atas yang berpengaruh terhadap gaya gravitasi terhadap tingginya fluida dan massa jenis fluida. Semakin besar *head* yang dihasilkan maka semakin kecil debit airan fluida yang dihasilkan. Sehingga besar debit fluida yang dialirkan oleh pompa sentrifugal pada putaran konstan, tergantung *head* atau tekanan yang dihasilkan oleh pompa.



Gambar 1. Pompa Sentrifugal

4. Bagian-bagian (Komponen) Pompa Sentrifugal

Gambar 2. memperlihatkan bagian-bagian/komponen pompa sentrifugal.



Gambar 2. Bagian-bagian (Komponen) Pompa Sentrifugal

Bagian-bagian atau komponen pompa sentrifugal

1. *Suction Nozzle*, adalah bagian sisi isap fluida pompa.
2. *Impeller*, adalah bagian yang berputar, mengubah energi mekanis menjadi energi kecepatan fluida.
3. *Volute*, adalah bagian luar dan diam yaitu rumah pompa dan sebagai kedudukan/penopang impeler dan poros (*shaft*).
4. *Discharge Nozzle*, adalah bagian sisi buang/keluar pompa
5. *Casing* adalah bagian luar dan diam yaitu rumah poros dan sebagai kedudukan/penopang poros (*shaft*).
6. *Seal* adalah bagian yang berfungsi melindungi pompa dari kebocoran fluida.
7. *Shaft* adalah bagian yang berfungsi meneruskan/mentransfer momen punter yang dihasilkan oleh motor.
8. *Oil Ring* adalah bagian pompa yang berfungsi mengalirkan minyak ke bagian sudut pompa untuk menghindari keausan.
9. *Bearings* adalah bagian yang berfungsi sebagai bantalan untuk meredam getaran putaran poros yang digerakan oleh motor.

10. Motor adalah penggerak mula yang berfungsi menghasilkan momen puntir putaran poros yang menggerakkan impeler pompa.

5. Head Pompa

Head pompa adalah suatu pernyataan dalam satuan meter, yang digunakan untuk memperlihatkan ketinggian maksimum atau seberapa jauh/maksimum aliran fluida bergerak yang dicapai oleh suatu pompa. 2.6 Persamaan yang Berlaku

a. Head Total pompa

Persamaan *head* total pompa adalah:

$$H_T = h_a + \Delta h_p + h_\ell + \frac{v_d^2}{2g} \quad (2.1)$$

dimana:

H_T = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total (m)

h_ℓ = Kerugian *head* di pipa (m)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

$\frac{v_d^2}{2g}$ = Head kecepatan (m)

b. Head Ketinggian/elevasi

Persamaan *head* ketinggian pompa adalah:

$$h_a = z_1 - z_2 \quad (2.2)$$

dimana:

h_a adalah selisih antara tinggi/posisi isap dan keluar terhadap pompa

z_1 adalah tinggi posisi penampung/reservoir pada sisi isap terhadap pompa

z_2 adalah tinggi posisi penampung/reservoir pada sisi buang terhadap pompa

c. Head Tekan

Persamaan *head* tekanan pompa adalah:

$$\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1} \quad (2.3)$$

Dimana:

Δh_p = head tekanan

h_{p2} = head tekanan pada sisi buang/keluar

h_{p1} = head tekanan pada sisi isap

d. Head Kecepatan

Persamaan *head* kecepatan pompa adalah:

$$\Delta h_v = h_{v2} - h_{v1} \quad (2.4)$$

Dimana:

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

$\frac{v_d^2}{2g}$ = Head kecepatan pada sisi buang (m)

$\frac{v_d^1}{2g}$ = Head kecepatan pada sisi isap (m)

e. Head Losses

Persamaan *head losses* pompa adalah:

$$h_t = h_f + h_m \quad (2.5)$$

dimana:

h_t = *head losses*

h_f = *head losses Mayor*

h_m = *head losses Minor*

f. Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah [2,3,5,6]:

$$Q = \frac{V}{A} \quad (2.6)$$

untuk mencari kecepatan fluida dengan persamaan:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dimana:

Q = Debit aliran fluida (m³/s)

V = Kecepatan fluida, baik untuk sisi isap dan sisi buang (m/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

g. Head Losses Mayor (Mayor Losses)

Persamaan kontinuitas adalah:

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

dimana:

h_f = Kerugian dalam pipa (m)

f = Koefisien gesek

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan fluida (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

h. Head Losses Minor (Minor Losses)

1. Head Losses Minor pada Belokan

Persamaan *head losses* pada belokan adalah:

$$h_c = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (2.9)$$

dimana:

V = Kecepatan rata-rata dalam pipa (m/s)

K_L = Koefisien kerugian belokan

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h_c = Kerugian head losses minor (m)

2. Head Losses Minor pada Katup

Persamaan *head losses* pada katup adalah:

$$h_g = C_L \frac{V^2}{2g} \quad (2.10)$$

dimana :

V = Kecepatan rata-rata dalam pipa (m/s)

C_L = Koefisien kerugian katup

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h_g = Kerugian *head losses* minor pada katup (m)

i. Daya Air (Power of Water)

Persamaan daya air adalah:

$$P_w = \gamma Q H \quad (2.11)$$

dimana : (2.7)

γ = Massa jenis air persatuan volume (kN/m³)

Q = Debit aliran (m³/s)

H = *Head* total pompa (m)

P_w = Daya air atau *power of water* (kW)

$\gamma = \rho g$

j. Daya Poros (Power of Motor)

Persamaan daya motor adalah:

$$P = V I \cos \theta \quad (2.13)$$

Dimana: (2.8)

V = Voltase atau tegangan listrik (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

$\cos \theta = 0.85$

k. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa adalah suatu pernyataan terkait unjuk kerja atau performa dari pompa dengan satuan persen (%) yang merupakan perbandingan energi yang berasal dari air (daya air) terhadap energi yang berasal dari motor pompa atau penggerak pompa (daya motor). Persamaan efisiensi pompa adalah:

$$\eta_{pompa} = \frac{P_w}{P_M} \times 100\% \quad (2.14)$$

dimana:

P_w = Daya air pompa (kW)

P_M = Daya poros pompa (kW)

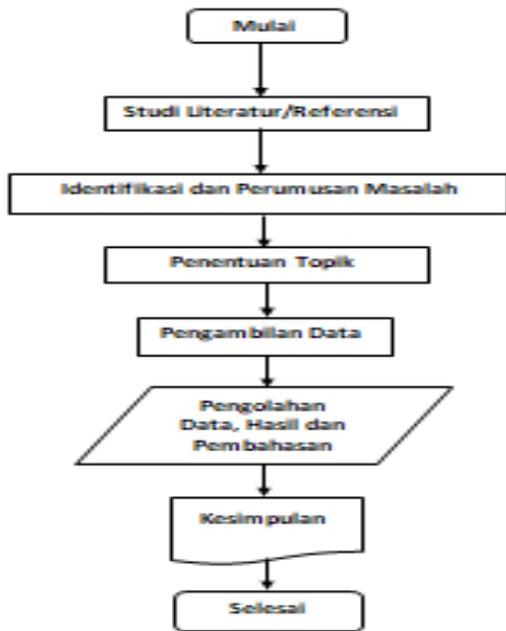
η_{pompa} = Efisiensi pompa (%)

METODOLOGI

1. Diagram Alir

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1.

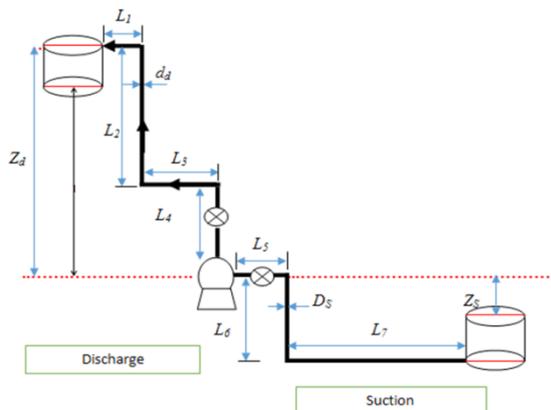
Analisa *Head Losses* dan Efisiensi Pompa Sentrifugal *Vogel* dari Instalasi Menara Pendingin ke Penampung Utama



Gambar 3.1 Diagram Alir

2. Skema Instalasi Pemipaan dan Titik-titik Pengukuran

Skema instalasi pemipaan dan titik-titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Instalasi Pemipaan dan Titik-titik Pengukuran

- Z_s = Ketinggian isap = 1 m
- Z_d = Ketinggian keluar = 60 m
- P_1 = Tekanan isap
- P_2 = Tekanan keluar
- L = Panjang pipa
- d_s = Diameter pipa isap = 6 in
- d_d = Diameter pipa keluar = 3,5 in
- L_1 = 1,5 m
- L_2 = 55 m
- L_3 = 6 m
- L_4 = 5 m
- L_5 = 2,5 m

J. Inersia Vol 14(2)117-125

$$L_6 = 3,5 \text{ m}$$

$$L_7 = 15 \text{ m}$$

Panjang total pipa isap, $L_{total \text{ suction pipe}} = 21 \text{ m}$

Panjang total pipa keluar, $L_{total \text{ discharge pipe}} = 66,5 \text{ m}$

3. Data

Spesifikasi Pompa



Gambar 3.3 Pompa Sentrifugal *Vogel*

<i>Item number</i>	: <i>Vogel</i>
<i>Size</i>	: 2x3
<i>Rpm</i>	: 2950
<i>Specific Gravity (SG) Water</i>	: 1.0
<i>Number of Stage</i>	: 2
<i>Serial</i>	: 31002
<i>Type</i>	: 12PRV
<i>Capacity</i>	: 14.8 m ³ /h
<i>Bearing Number</i>	: 5311/7410A
Spesifikasi Motor	
<i>Voltage</i>	: 400 Volt
<i>Frekuensi</i>	: 40 Hz
<i>Ampere</i>	: 30 A
<i>Rpm</i>	: 2920

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Perhitungan

Data pengukuran pada pompa sentrifugal sebagai berikut :

Diameter pipa isap (d_s): 6 in	=	0.1524 m	
Diameter pipa buang (d_d): 3.5 in	=	0.0889 m	
Tekanan isap (P_1)	: 2 kg/cm ²	=	19.62 x 10 ⁴ N/m ²
Tekanan buang (P_2)	: 14 kg/cm ²	=	137.34 x 10 ⁴ N/m ²
Panjang pipa isap (L_s)	: 21 m		
Panjang pipa buang (L_d)	: 67.5 m		
Ketinggian Pipa isap (z_s)	: 1 m		

Ketinggian pipa buang (z_d) : 60 m
 Temperatur air di pompa (T_{water}) : 32°C
 Voltase atau Tegangan Listrik (V) : 400 Volt
 Frekuensi (F) : 40 Hz
 Arus Listrik (I) : 30 Ampere
 $\cos \theta$: 0.85
 Debit (Q) : 14,8 m³/h = 0.0041 m³/s

a. Kecepatan Aliran Fluida

1. Kecepatan Aliran pada Pipa Isap (V_s)

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{14.8 \frac{m^3}{h}}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{0.0041 \frac{m^3}{s}}{\frac{1}{4} \cdot 3.14 \times (0.1524 \text{ m})^2} = \frac{0.0041 \frac{m^3}{s}}{0.018136 \text{ m}^2} = 0.226 \text{ m/s}$$

2. Kecepatan Aliran pada Pipa Buang (V_d)

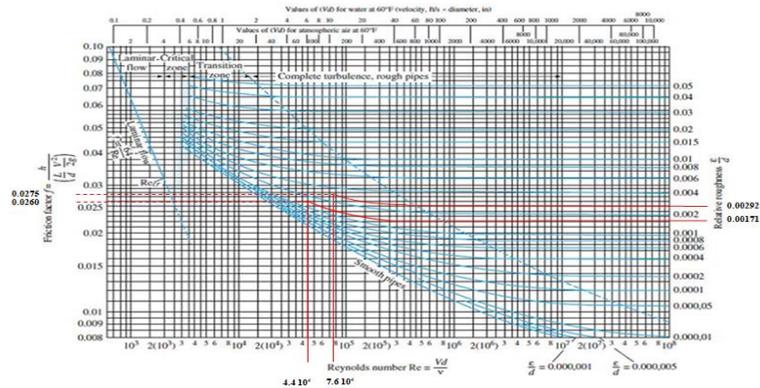
$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{14.8 \frac{m^3}{h}}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{0.0041 \frac{m^3}{s}}{\frac{1}{4} \cdot 3.14 \times (0.0889 \text{ m})^2} = \frac{0.0041 \frac{m^3}{s}}{0.006218 \text{ m}^2} = 0.662 \text{ m/s}$$

Tabel 4.1 Physical Propertis Water [7]

Temperature T (°C)	Specific Weight γ (kN/m ³)	Density ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity ^a μ ($\times 10^{-3}$ kg/m-s)	Kinematic Viscosity ν ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	Surface Tension ^c σ (N/m)	Modulus of Elasticity ^a E ($\times 10^9$ N/m ²)	Vapor Pressure P_v (kN/m ²)
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.0765	1.98	0.61
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.0749	2.05	0.87
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.0742	2.10	1.23
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.0735	2.15	1.70
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.0728	2.17	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.0720	2.22	3.17
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.0712	2.25	4.24
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.0696	2.28	7.38
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.0679	2.29	12.33
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.0662	2.28	19.92
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.0644	2.25	31.16
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.0626	2.20	47.34
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.0608	2.14	70.10
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.0589	2.07	101.33

b. Head Kerugian

Nilai viskositas kinematik air (ν) pada T= 32°C (tabel 4.1) adalah **0.7716 x 10⁻⁶ m²/s**



Gambar 4.1 Diagram Moody

Tabel 4.2 Perbedaan Kekasaran [3]

Material	Condition	ϵ		Uncertainty, %
		ft	mm	
Steel	Sheet metal, new	0.00016	0.05	± 60
	Stainless, new	0.00007	0.002	± 50
	Commercial, new	0.00015	0.046	± 30
	Riveted	0.01	3.0	± 70
Iron	Rusted	0.007	2.0	± 50
	Cast, new	0.00085	0.26	± 50
	Wrought, new	0.00015	0.046	± 20
Brass	Galvanized, new	0.0005	0.15	± 40
	Asphalted cast	0.0004	0.12	± 50
	Drawn, new	0.00007	0.002	± 50
Plastic	Drawn tubing	0.000005	0.0015	± 60
	Smooth	Smooth	Smooth	
Glass	Smoothed	0.00013	0.04	± 60
	Rough	0.007	2.0	± 50
Rubber	Smoothed	0.000033	0.01	± 60
	Stave	0.0016	0.5	± 40

1) Head Losses pada Pipa Isap (Suction Pipe) (h_{fs})

$$Re = \frac{V_s d}{\nu} = \frac{0.226 \frac{m}{s} \times 0.1524 \text{ m}}{0.7716 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 0.044 \times 10^6$$

$Re > 4000 \longrightarrow$ **Tipe Aliran Turbulen**

Aliran fluida pipa isap (*suction pipe*) adalah **turbulen** dengan $Re = 44 \times 10^3$. Nilai kekasaran dengan diameter 0.152 m = 152 mm dan pipa ϵ pada material besi tuang (*iron cast*) yaitu 0.26 mm (Tabel 4.2). Sehingga nilai koefisien geseknya adalah:

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.26 \text{ mm}}{152 \text{ mm}} = 0.00171$$

Dari nilai *relative roughness* 0.00171 dapat dilihat pada *Diagram Moody* nilai f (*friction factor*) adalah sebesar **0.0260**. (Gambar 4.1)

$$h_{fs} = f \frac{L V_s^2}{d 2g} = 0.0260 \times \frac{21 \text{ m}}{0.1524 \text{ m}} \times \frac{(0.226 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} = 0.01 \text{ m}$$

Analisa *Head Losses* dan Efisiensi Pompa Sentrifugal *Vogel* dari Instalasi Menara Pendingin ke Penampung Utama

2) *Head Losses* pada Pipa Buang (*Discharge Pipe*) (h_{fd})

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V_d d}{\nu} \\ &= \frac{0.662 \frac{m}{s} \times 0.0889 m}{0.7716 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= \mathbf{0.076 \times 10^6 = 76 \times 10^3} \\ Re > \mathbf{4000} &\longrightarrow \text{Tipe aliran turbulen} \end{aligned}$$

Aliran fluida pipa buang (*discharge pipe*) adalah **turbulen** dengan nilai *Reynolds* (Re) = 76×10^3 . Nilai koefisien kekasaran ϵ jenis pipa *iron cast* yaitu 0.26 mm dengan diameter 0.0889 m = 88,9 mm (Tabel 4.2). Sehingga nilai koefisien geseknya adalah:

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.26 mm}{88.9 mm} = \mathbf{0.00292}$$

Dari nilai *relative roughness* 0.00292 dapat dilihat pada *Diagram Moody* nilai f (*friction factor*) adalah sebesar **0.0275**. (Gambar 4.1)

$$\begin{aligned} h_{fd} &= f \frac{L V_d^2}{d 2g} \\ &= 0.0275 \times \frac{67.5 m}{0.089 m} \times \frac{(0.662 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} \\ h_{fd} &= \mathbf{0.46 m} \end{aligned}$$

3) *Head losses* pada Katup (*Valve*) (h_g)

Katup yang digunakan berbentuk *globe* (*open full*) koefisien *losses* didapat $K_L = 10$

Katup pada pipa isap (*suction pipe*) (h_{gs})

$$\begin{aligned} h_{gs} &= K_L \frac{V_s^2}{2g} \\ &= 10 \frac{(0.226 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} \\ h_{gs} &= \mathbf{0.026 m} \end{aligned}$$

Katup pada Pipa Keluar (*Discharge Pipe*) (h_{gd})

$$\begin{aligned} h_{gd} &= K_L \frac{V_d^2}{2g} \\ &= 10 \frac{(0.662 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} \\ h_{gd} &= \mathbf{0.22 m} \end{aligned}$$

4) *Head Losses* pada Belokan (*Elbow*) (h_c)

Elbow pada Pipa Isap (*Suction Pipe*) (h_{cs})

$$\begin{aligned} h_{cs} &= C_L \frac{V_s^2}{2g} \\ &= 1.5 \frac{(0.226 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} \end{aligned}$$

$$h_{cs} = \mathbf{0.004 m}$$

Terdapat 3 belokan dengan sudut 90° sehingga nilai $h_{cs} = 2 \times 0.004 = \mathbf{0.008 m}$.

Elbow pada Pipa Keluar (*Discharge Pipe*) (h_{cd})

$$\begin{aligned} h_{cd} &= C_L \frac{V_d^2}{2g} \\ &= 1.5 \frac{(0.662 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} \end{aligned}$$

$$h_{cd} = \mathbf{0.0335}$$

Terdapat 3 belokan dengan sudut 90° sehingga nilai $h_{cd} = 3 \times 0.0335 = \mathbf{0.101 m}$

5) *Head losses total* (h_l)

$$\begin{aligned} h_{lsuction} &= h_{fs} + h_{gs} + h_{cs} \\ &= 0.01 m + 0.026 m + 0.008 m = \\ &= \mathbf{0.044 m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{l\text{discharge}} &= h_{fd} + h_{gd} + h_{cd} \\ &= 0.46 m + 0.22 m + 0.101 m = \\ &= \mathbf{0.781 m} \end{aligned}$$

$$h_{l\text{total}} = 0.044 m + 0.781 m = \mathbf{0.825 m}$$

3. *Head Total Pompa* ($H_{\text{total pump}}$)

$$P_1 = 19.62 \cdot 10^4 \text{ kg/m.s}^2$$

$$P_2 = 137.34 \times 10^4 \text{ kg/m.s}^2$$

$$V_1 = 0.226 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0.662 \text{ m/s}$$

$$h_a = z_1 + z_2 = 1 m + 60 m = 61 m$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_a + \sum h_{\text{total}} \\ &= \frac{137.34 \times 10^4 \frac{kg}{m.s^2} - 19.62 \times 10^4 \frac{kg}{m.s^2}}{995 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}} + \\ &= \frac{(0.662 \frac{m}{s})^2 - (0.226 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}} + 61 m + 0.805 m \end{aligned}$$

$$= \frac{117.72 \times 10^4 \frac{kg}{m.s^2}}{9760.95 \frac{kg}{m^2.s^2}} + \frac{0.436 \frac{m^2}{s^2}}{19.62 \frac{m}{s^2}} + 61 m +$$

$$0.825 m$$

$$= 120.603 m + 0.022 m + 61 m + 0.825 m$$

$$H = \mathbf{182.450 m}$$

4. Daya

a. Daya Pompa (P_w)

$$\begin{aligned} P_w &= \rho_{\text{air}} g Q H \\ &= 9.81 \frac{m}{s^2} \times 955 \frac{kg}{m^3} \times 0.0041 \frac{m^3}{s} \times \\ &182.430 m \end{aligned}$$

$$= 7008.907 \frac{kgm}{s^2} \frac{m}{s}$$

$$= 7008.907 \frac{J}{s}$$

$$P_w = \mathbf{7.008907 kW}$$

b. Daya Motor (P_M)

$$P_M = VI \theta$$

$$= 400 \text{ Volt} \times 30 \text{ Ampere} \times 0.85$$

$$= 10200 \text{ W}$$

$$P_M = 10.200 \text{ kW}$$

5. Efisiensi Pompa (η_{pompa})

$$\eta_{pompa} = \frac{P_W}{P_M} \times 100\%$$

$$= \frac{7.008907 \text{ kW}}{10.200 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta_{pompa} = 68.707 \%$$

2. Pembahasan

Berdasarkan data yang didapatkan yaitu diameter pipa sisi isap d_1 adalah 0.1524 m dan diameter pipa sisi keluar d_2 adalah 0.0889 m dengan laju aliran sisi isap (V_s) 0.226 m/s dan laju aliran sisi keluar (V_d) 0.662 m/s. Pada temperatur air 32°C didapat nilai viskositas kinematik (ν) 0.7716×10^{-6} sehingga didapat bilangan Re pada aliran pipa sisi isap 44×10^3 , yang memperlihatkan tipe aliran dan Re pada aliran pada pipa sisi keluar 76×10^3 yang mana nilai Re kedua aliran pipa tersebut lebih besar dari 4000 maka jenis aliran pada kedua pipa adalah aliran *turbulen*.

Untuk kerugian *head* pada jalur pipa pada sisi isap (h_{fs}) adalah 0.01 m dan pada jalur pipa sisi keluar (h_{fd}) 0.46 m. Nilai kerugian *head* di katup pada jalur pipa sisi isap (h_{gs}) adalah 0.026 m dan pada jalur pipa sisi keluar (h_{gd}) adalah 0.22 m. Kerugian *head* pada belokan di jalur sisi isap (h_{cs}) adalah 0.008 m dan pada jalur sisi keluar (h_{cd}) adalah 0.101 m. Dari data di atas diperoleh kerugian *head* jalur pipa sisi isap adalah 0.044 m dan kerugian *head* jalur sisi keluar 0.781 m. Maka, hasil nilai kerugian *head* dapat ditotalkan nilai *Headloss* (h_l) adalah 0.825 m

Pada *head* total pompa (H) didapat nilai sebesar 182.450 m. nilai daya pompa (P_w) adalah 7.008907 kW dan daya poros (P_M) 10.200 kW sehingga diperoleh nilai efisiensi pompa (η_{pompa}) adalah 68.707 %. Maka efisiensi pompa (η_{pompa}) sentrifugal *Vogel* didapat adalah 68.707 %. Dengan demikian pompa sentrifugal ini masih memiliki kemampuan yang baik yang mana pompa tersebut masih baik untuk menyalurkan air dari menara pendingin ke penampung utama.

J. Inersia Vol 14(2)117-125

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang dilakukan diperoleh nilai *head losses* total (h_l) pada instalasi pipa sebesar 0.825 m, sedangkan nilai *head* total pompa (H) adalah sebesar 182.450 m dengan nilai efisiensi pompa sentrifugal η_{pompa} sebesar 68.707 %. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa pompa sentrifugal *Vogel* masih memiliki performa yang baik. Dimana hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1 Data Hasil Perhitungan

Komponen Karakteristik (Component of Properties)	Sisi Pipa (Pipe Side)	Pipa Isap (Suction Pipe)	Pipa Keluar (Discharge Pipe)
$\nu = 77.16 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$	L	21 m	67.5 m
$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	P	$19.6 \times 10^4 \text{ N/m}^2$	$137.34 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
$\rho_{air} = 995 \text{ kg/m}^3$	d	0.1524 m	0.0889 m
$H = 182.430 \text{ m}$	V	0.226 m/s	0.662 m/s
$P_W = 7.008907 \text{ kW}$	Re	4.4×10^4	7.6×10^4
$h_f = 0.805 \text{ m}$	f	0.0260	0.0275
$P_M = 10.200 \text{ kW}$	h_f	0.01 m	0.46 m
$\epsilon = 0.26; \eta_{pompa} = 68.707 \%$	h_g	0.026 m	0.220 m
$Q = 0.0041 \text{ m}^3/\text{s}$	h_c	0.008 m	0.101 m
$V = 400 \text{ Volt}$	h_l	0.044 m	0.781 m
$T = 30, \text{Cos } \theta = 0.85$	Z	1 m	60 m

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anis, Samsudin dan Karnowo, 2008. **Buku Ajar Dasar Pompa**, PKPUT UNNES, Universitas Negeri Semarang.
- [2] Munson, Bruce R., Young, Donald F., and Okiishi, Theodore H., 1994. **Fundamental of Fluid Mechanics, Second Edition**, John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- [3] White, Frank M., 2003. **Fluid Mechanics, Fifth Edition**, Mc Graw Hill, University Rhode Island, USA.
- [4] Sriyono, Dakso., 1996. **Turbin, Pompa dan Kompresor**, PT. Erlangga, Jakarta.
- [5] Sularso dan Haruo, Tahara, 2000. **Pompa dan Kompresor**, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [6] Subramanya, K., 1993. **Teory & Applications of Fluid Mechanics, Fifth Edition**, Tata-Mc Graw Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [7] Crittenden, John Charles, Trussell, R. Rhodes, Hand, David W., Howe, Kerry J., Tchobanoglous, George, 2012. **MWH's**

Analisa *Head Losses* dan Efisiensi Pompa Sentrifugal *Vogel* dari Instalasi Menara Pendingin ke Penampung Utama

Treatment: Principles and Design, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. Canada.