

SUBMISSION 39

Analisa Perhitungan Pompa Untuk Kebutuhan Sirkulasi Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Di Pt X

Ir. Rudi Hermawan. MM., MT, Erlanda Augupta Pane, STP., M.si, Handika Nur Faisal

Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Abstrak

Pada PT X terdapat sistem pengolahan air limbah yang digunakan untuk mengolah limbah dari hasil buangan produksi, tetapi belum ada pompa yang akan digunakan sirkulasi untuk mempercepat proses homogenisasi air limbah pada kolam *Aerasi*. Pada kenyataannya di lapangan belum ada data-data sekunder untuk menentukan spesifikasi pompa tersebut. Tujuan analisa ini adalah untuk mendapatkan kapasitas pompa yang sesuai dengan sistem pada instalasi pengolahan air limbah, dengan penerapan rumus-rumus yang berhubungan dengan sistem pemipaan dan perhitungan pompa. Sistem pemipaan yang dihitung adalah sistem pemipaan dari kolam *Membran Bio Reaktor* dan *Aerasi*. Dalam menentukan jenis dan spesifikasi pompa yang akan digunakan pada sistem sirkulasi tersebut adalah debit air yang dibutuhkan, untuk menentukan kapasitas komponen seperti diameter pipa dan instalasi pemipaannya. Berdasarkan hasil perhitungan, spesifikasi pompa yang diperlukan adalah 40 x 32A2 – 50,75, dan pompa tersebut tidak akan mengalami masalah kavitasi karena nilai *NPSHa* (*Net Positive Suction Head Available*) > *NPSHr* (*Net Positive Suction Head Required*).

Kata kunci-komponen; pengolahan limbah cair; instalasi pengolahan air limbah; sistem pemipaan; pompa sentrifugal; aliran fluida; head pompa; spesifikasi pompa.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber kehidupan makhluk hidup di dunia. Sifat alami aliran air adalah mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Untuk mengoptimalkan aliran air limbah agar memenuhi kebutuhan pada proses pengolahan limbah, maka diperlukan sistem pemipaan dan pompa yang sesuai, serta efisien. Pada kenyataan dilapangan, belum terdapat data-data sekunder karena tidak adanya alat pengukuran debit air, hal ini juga bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kenyataan efisiensi pada sistem pengolahan limbah tersebut.

a. Sistem Pemipaan

Sistem pemipaan adalah suatu sistem jaringan pipa yang terpasang pada suatu rangkaian yang mempunyai fungsi untuk menyalurkan fluida. Komponen dalam sistem pemipaan meliputi pipa, flange, fitting, pembautan, gasket, valve, dan bagian-bagian dari komponen-komponen yang bertekanan. Berikut komponen sistem pemipaan:

Pipa

Pipa yaitu didefinisikan sebagai lingkaran panjang dari logam, metal, kayu dan seterusnya, yang berfungsi untuk mengalirkan fluida (air, gas, minyak dan cairan lain) dari suatu tempat ke tempat lain sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki.

Nominal Pipe Size (NPS)

Nominal Pipe Size (NPS) adalah penanda ukuran pipa berdimensi. Hal ini menunjukkan standar ukuran pipa, *Diameter Nominal (DN)* merupakan penanda ukuran pipa berdimensi dalam satuan metrik

Flange

Flange adalah sebuah mekanisme, yang menyambungkan antar elemen pemipaan. Fungsi *flange*, agar elemen tersebut lebih mudah dibongkar-pasang tanpa mengurangi kegunaan untuk mengalirkan fluida pada pressure yang tinggi.

Valve

Valve atau katup, adalah sebuah alat untuk mengatur aliran fluida dengan menutup, membuka atau menghambat laju aliran fluida, contoh katup adalah kran air.

Fitting

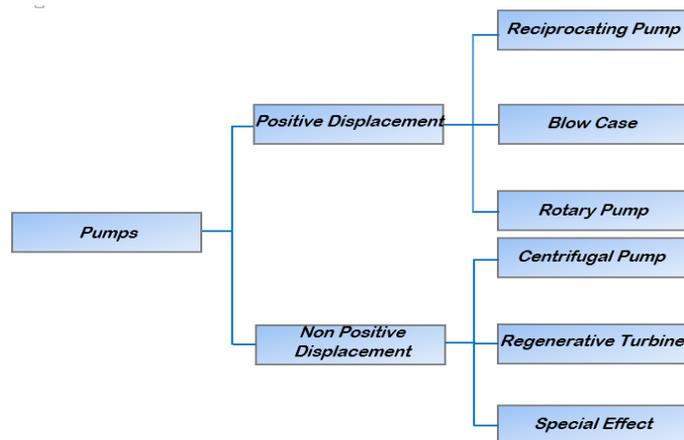
Fitting adalah salah satu komponen pemipaan yang memiliki fungsi untuk merubah, menyebarkan, membesar atau mengecilkan aliran. *Fitting* merupakan salah satu pemain utama dalam sistem pemipaan.

b. Pompa

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara mengalirkan fluida. Kenaikan tekanan cairan tersebut dibutuhkan untuk mengatasi hambatan-hambatan selama pengaliran. Satu sumber umum mengenai terminologi, definisi, hukum, dan standar pompa adalah *Hydraulic Institute Standarts* dan telah disetujui oleh *American National Standards Institute (ANSI)* sebagai Standar Internasional.

Klasifikasi Pompa

Klasifikasi pompa berdasarkan tipe didefinisikan oleh *Hydraulic Institute*.



Gambar 1 Klasifikasi pompa

Pompa Sentrifugal (*Centrifugal Pump*)

Pompa Sentrifugal merupakan pompa non positive displacement yang menggunakan gaya sentrifugal untuk menghasilkan head yang digunakan untuk memindahkan zat cair.

Sifat Aliran Fluida Pada Pipa

a. Aliran Laminer

Aliran fluida jenis ini akan terjadi apabila kecepatan fluida yang mengalir melalui pipa rendah, maka gerakan alirannya akan konstan (*steady*) baik besarnya maupun arahnya pada sembarang titik. Aliran laminer dapat diketahui dari perhitungan *Reynold Number*.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Dimana:

- ρ = Density fluida (kg/m^3)
- V = Kecepatan aliran fluida (m/detik)
- D = Diameter pipa (m)
- μ = Viskositas kinematik (m/detik)
- ν = Viskositas kinematik (m/detik)

b. Aliran Turbulen

Aliran ini terjadi apabila kecepatan fluida tinggi, aliran tidak lagi steady namun bervariasi baik besar maupun arahnya pada sembarang titik. Aliran akan bersifat turbulen jika hasil perhitungan *Reynold Number* (Re) diatas 4000 ($Re > 4000$, aliran turbulen).

Head Instalasi

Head pompa adalah energi per-satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari suction ke discharge. Head pompa disini meliputi:

□ Head Statis, meliputi:

- *Pressure Head*: Merupakan energi yang terdapat pada fluida akibat perbedaan tekanan antara suction dengan discharge.
- *Elevation Head*: Disebabkan oleh adanya perbedaan ketinggian dari permukaan fluida di suction dengan permukaan fluida di discharge dengan sumbu pompa sebagai acuannya.

Besarnya *elevation head* adalah:

$$H_a = H_d - H_s \quad (2)$$

Dimana:

- H_d = Head discharge (m)
- H_s = Head suction (m)

○ Suction Lift

Suatu instalasi pipa suction dimana permukaan fluida terletak dibawah sumbu pompa. Besarnya *elevation head* adalah:

$$H_a = H_d + H_s \quad (3)$$

□ Head Dinamis

Head dinamis merupakan head pompa yang terdiri dari:

- *Velocity Head*
Merupakan head yang disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan fluida di suction dengan di discharge.
- *Head Loss*
Head Loss adalah suatu kerugian aliran yang terjadi sepanjang saluran pipa, baik itu pipa lurus, belokan, saringan, katup dan sebagainya. *Head Loss* digolongkan menjadi dua, yaitu:

- *Head Loss Mayor*

Merupakan suatu kerugian aliran yang disebabkan oleh adanya gesekan antara fluida dengan dinding saluran pipa lurus. Besarnya *Head Loss Mayor* dapat dihitung menggunakan persamaan *Darcy-Weysbah* sebagai berikut:

$$h_{L1} = f \cdot L \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

Dimana:

f = Koefisien kerugian gesek

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Besarnya koefisien gesek (f) dapat diketahui dari jenis aliran yang terjadi. Untuk aliran laminar, besarnya koefisien gesek (f) dapat dihitung dengan persamaan (5):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Untuk aliran turbulen, besarnya koefisien gesek (f) dapat dihitung dengan persamaan *Darcy*. Rumus ini berlaku atas dasar kerugian head untuk panjang pipa ratusan meter.

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \quad (6)$$

Dimana:

D = diameter dalam pipa (m)

Dapat juga dicari melalui *Moody Diagram* dengan menarik garis harga Re diplotkan harga *Relative Roughness* : $\frac{e}{D}$

- *Head Loss Minor*

Kerugian aliran yang disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada komponen tambahan (aksesoris) seperti *elbow*, katup, *fitting*, dan lain sebagainya sepanjang jalur perpipaan. Besarnya *Head Loss Minor* tergantung dari koefisien tahanan (f) aksesoris yang digunakan.

$$H = f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Dimana:

f = Koefisien kerugian gesek

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Head Total Instalasi

Merupakan pejumlahan dari head statis dengan *head dinamis*. *Head* ini menyatakan besarnya kerugian yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen-komponen yang ada.

Head total instalasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$H_{tot} = H_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (8)$$

Dimana:

H_{tot} = Head total pompa (m)

H_a = Head statis total (m)

Δh_p = Perbedaan tekanan yang bekerja pada permukaan air (m)

A = Berbagai kerugian head pipa, katup, belokan, sambungan, dll (m)

$V^2/2g$ = Head kecepatan keluar (m)

G = Percepatan gravitasi 9.81 (m/detik²)

e. Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya sehingga akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Jika pompa dijalankan terus-menerus dalam keadaan kavitasi, akan menyebabkan kerusakan terhadap area impeler, sehingga pada akhirnya terjadi erosi. Turunnya performa, timbulnya suara dan getaran, serta rusaknya pompa merupakan kerugian-kerugian dari timbulnya kavitasi.

Net Positive Suction Head (NPSH)

Head isap positif net (NPSH) merupakan ukuran dari head suction terendah yang memungkinkan bagi cairan untuk tidak mengalami kavitasi. Ada dua macam NPSH, yaitu:

- Net Positive Head Available (NPSH_A), NPSH_A dapat dirumuskan:

□

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - \Sigma H_L \quad (9)$$

Dimana:

H_{sv} = NPSH yang tersedia

$\frac{P_a}{\gamma}$ = Tekanan absolut diatas permukaan cairan pada suction reservoir kolom

$\frac{P_v}{\gamma}$ = Tekanan uap cairan yang di pompa pada temperatur pemompaan

H_s = Head isap statis (m kolom air)

ΣH_L = Head loss pada pipa isap (m kolom air)

- Net Positive Head Require ((NPSH_R), NPSH_R dapat dirumuskan:

$$H_{svn} = \sigma \times H_n \quad (10)$$

Dimana:

H_{svn} = NPSH yang dibutuhkan (m)

σ = Koefisien kavitasi

H_n = Head total (m)

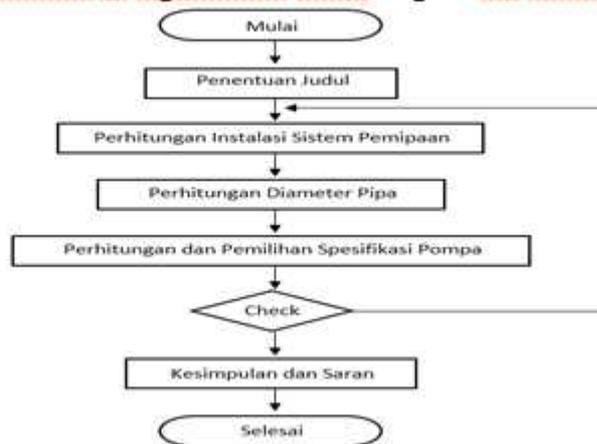
Agar pompa tidak mengalami kavitasi NPSH_A harus lebih besar dari pada NPSH_R

Kapasitas Aliran Air

Jumlah air yang mengalir dalam satuan volume perwaktu. Besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m³/detik). Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas pompa yang efisien untuk kebutuhan sirkulasi air limbah.

2. METODE PENELITIAN

Sistematika penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 2 Diagram alir

a. Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini adalah:

- Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)
Mempelajari berbagai buku yang menjadi referensi khususnya dalam sistem pemipaan dan analisa pemilihan pompa, baik yang ada dalam perusahaan maupun mata kuliah sehingga diperoleh teori-teori pendukung yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
- Penelitian Lapangan
Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi sebenarnya perhitungan instalasi serta peralatan yang akan digunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah yang dapat memberikan gambaran secara jelas dan terperinci dalam memperoleh data-data yang diperlukan untuk melakukan analisa perhitungan.
- Diskusi
Metode ini dimaksudkan untuk mengarahkan dalam penyelesaian laporan dan memberikan masukan dalam menentukan langkah-langkah untuk melakukan analisa. Metode ini dilakukan bersama pembimbing dan rekan-rekan penulis supaya mencapai hasil yang maksimal.

b. Tempat Pengambilan Data

Tempat pengambilan data dan waktu penelitian dilakukan pada:

- Tempat : PT X
- Waktu : Februari 2018-Mei 2018

c. Analisa Data

Analisa data yang dipakai menggunakan metode sebagai berikut:

- Perhitungan teoritis
- Perhitungan teoritis dibandingkan dengan aktual dilapangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kebutuhan Sirkulasi Aliran Air Limbah

Sesuai dengan permintaan dan hasil analisa dari Tim Lab Pengolahan Limbah, maka ditentukan debit yang dibutuhkan untuk sirkulasi air limbah adalah $0,00138888 \text{ m}^3/\text{s}$.

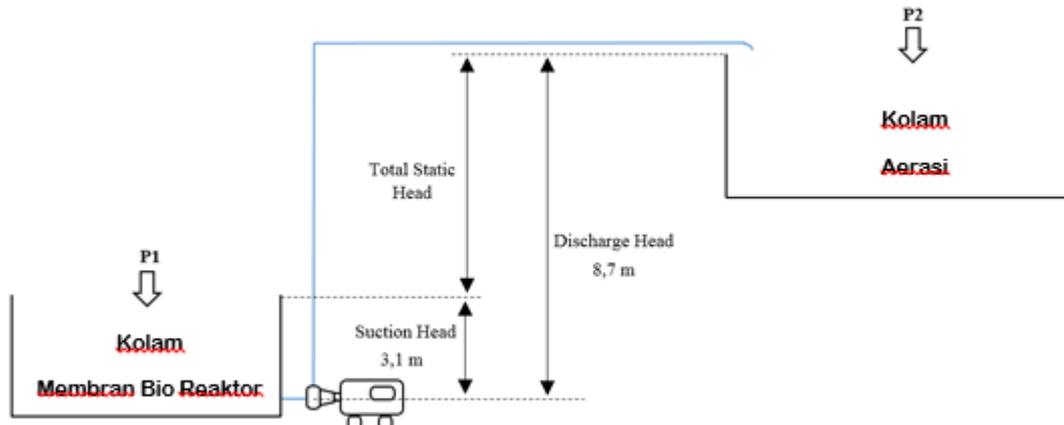
b. Kapasitas Kolam Air Limbah

Berdasarkan survei lapangan, volume kolam air limbah adalah sebagai berikut:

- Kolam Aerasi = 90 m³
- Kolam Membran Bio Reaktor = 120 m³

c. Perhitungan Instalasi Sistem Pemipaan

Dari hasil survei di lapangan, didapat instalasi seperti berikut ini:



Gambar 3 Head Total Pompa

d. Perhitungan Diameter Pipa

Perencanaan diameter pipa ini, untuk kecepatan aliran V, kecepatan aliran V= 1.0 m/detik, sehingga didapat diameter pipa sebagai berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \tag{11}$$

Dimana:

- D = Diameter dalam pipa (m)
- Q = Kapasitas aliran (m³/detik)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)

- Q = Kapasitas aliran (m³/detik)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)

Sehingga: = 0,042

Sehingga: = 0,04206269 m = 1,65 inch

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,00138888}{\pi \times 1,0}} = 0,04206269 \text{ m} = 1,65 \text{ inch}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,00138888}{\pi \times 1,0}} = 0,04206269 \text{ m} = 1,65 \text{ inch}$$

Dengan menyesuaikan pipa yang terpasang, maka diameter nominal (DN) pipa yang digunakan = 2 inch dan ukuran nominal pipa (NPS) = 50 dengan inside diameter (ID) = 52,5 mm = 0,0525 m (Standard Pipe Schedule 40 ASTM A53). Maka kecepatan aliran dalam pipa sebenarnya adalah:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,00138888}{\pi \times 0,0525^2} = 0,641 \text{ m/detik}$$

Tabel 1 Perhitungan *Head Loss* Pipa Hisap (*Suction Pipe*)
Pipa Hisap (*Suction Pipe*)

No	Head Loss	Panjang (m) / Jumlah (pcs)	Rumus	f (Koefisien Gesek)	H_f (m)	H_f Total (m)
1	Gesekan pada pipa (\varnothing 2 inch)	1 m	$H_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$Re = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,0508 \cdot 0,345}{0,001} = 173,115$ $f = \frac{0,047}{Re} = 0,2715$	0,0128	0,0128
2	Gate valve	1 pcs	$H_f = f \cdot \frac{V^2}{2g}$	$f = 0,19$ $(2001,335)$	0,0039	0,0039
3	Katup hisap (saringan)	1 pcs	$H_f = \frac{(V_1)^2}{2g}$	$f = 2,04$ $(1000,675)$	0,0426	0,0426
Total						0,0593

Tabel 2 Perhitungan *Head Loss* Pipa Buang (*Discharge Pipe*)
Pipa Hisap (*Suction Pipe*)

No	Head Loss	Panjang (m) / Jumlah (pcs)	Rumus	f (Koefisien Gesek)	H_f (m)	H_f Total (m)
1	Gate valve	1 pcs	$H_f = f \cdot \frac{V^2}{2g}$	$f = 0,19$ $(2001,335)$	0,0039	0,0039
2	Gesekan pada pipa (\varnothing 2 inch)	23,8 m	$H_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$Re = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,345 \cdot 0,0508}{0,001} = 173,115$ $f = \frac{0,047}{Re} = 0,2715$	0,01281	0,30508
3	Belokan pipa (elbow 90°)	3 pcs		$f = 0,15$ $(1333,333)$	0,0031	0,0093
4	Check valve	1 pcs	$H_f = f \cdot \frac{V^2}{2g}$	$f = 2,5$ $(200,000)$	0,0522	0,0522
Total						0,37048
Total Head Loss (H_1)						0,42978

e. Perhitungan Kebutuhan Pompa

□ Head Total

Untuk menghitung head total pompa digunakan rumus sebagai berikut:

$$H_{tot} = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2g}$$

□ Head Statis Total (Suction Head)

$$h_a = h_d + h_s$$

□ Head Loss

Pada sistem pemipaan Head Loss yang diukur adalah sebagai berikut:

- Head Kerugian Dalam Pipa
- Head Kerugian Pembesaran & Pengecilan Pipa
- Head Kerugian Pada Belokan
- Head Kerugian Pada Percabangan Tee Head Kerugian Pada Valve (Gate, Check)

- Head Kerugian Pada Strainer

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka Head Total Yang Terjadi:

$$H_{tot} = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{tot} = 6,7 + 0 + 0,42978 + \frac{0,641^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 7,15000 \text{ m}$$

1. Pemilihan Pompa

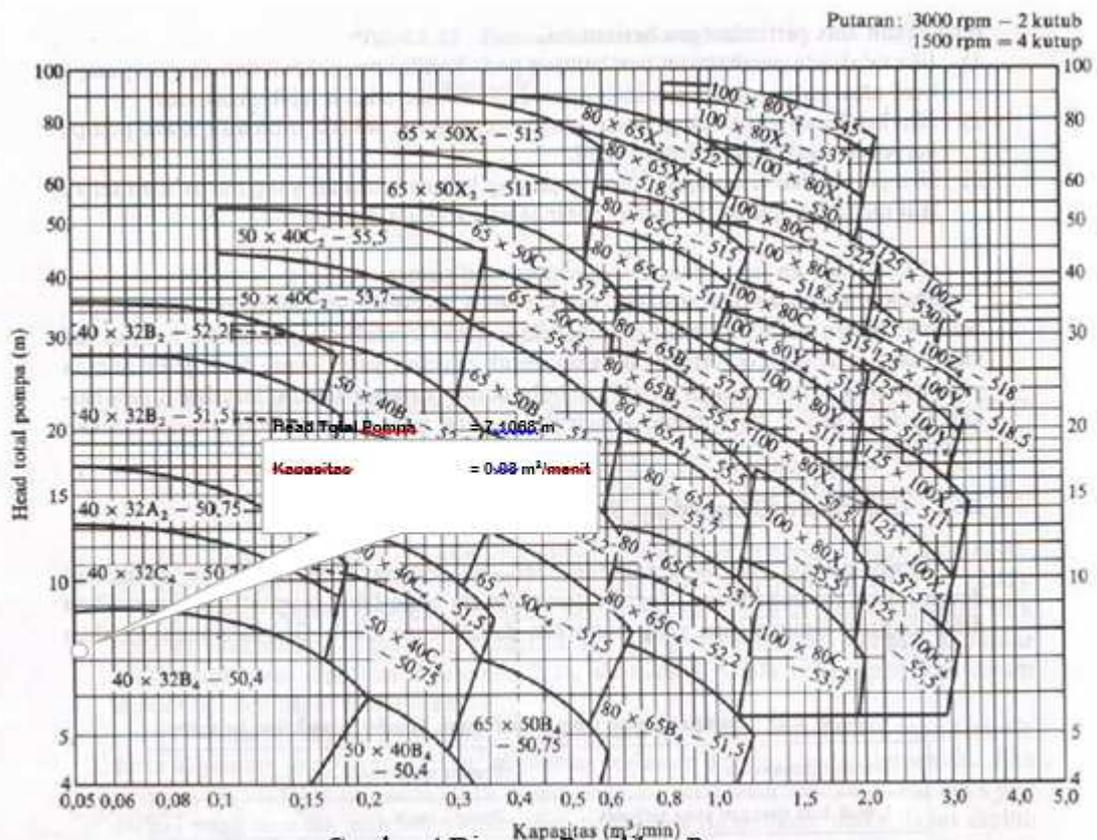
Diketahui:

$$Q = 0,00138888 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,0833328 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$H_{tot} = 7,15000 \text{ meter}$$

Dibaca dari Diagram Pemilihan Pompa standar, maka didapat pompa dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Pompa yang dipilih adalah: 40 x 32B₄ - 50,4. Arti kode tersebut adalah:

- 40 = Diameter isap (40 mm)
- 32 = Diameter buang (32 mm)
- B = Type rumah
- Jumlah katub = 4, katub 4 = 1500Rpm
- 5 = Frekuensi (50 Hz)
- Daya motor = 0,4 kW (=0,536409 HP)



Gambar 4 Diagram Pemilihan Pompa

Perhitungan NPSH

NPSH perlu dihitung untuk mengetahui apakah pompa berpotensi mengalami kavitasi. Syarat kerja pompa agar tidak mengalami kavitasi adalah NPSH yang tersedia sebagai berikut:

- o NPSH yang diperlukan

H_{sv} (NPSH yang tersedia)

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_i - h_{fs}$$

Dimana:

- H_{sv} : NPSH yang tersedia (m)
- P_a : Tekanan pada permukaan cairan (1 atm = 10332,274 kgf/m²)
- P_v : Tekanan uap jenuh (25° = 322,85 kgf/m²)
- γ : Berat jenis air (1000 kgf/m³)
- h_s : Head isap statis (1 m)
- h_{fs} : Kerugian head dalam pipa isap (0,0593 m)

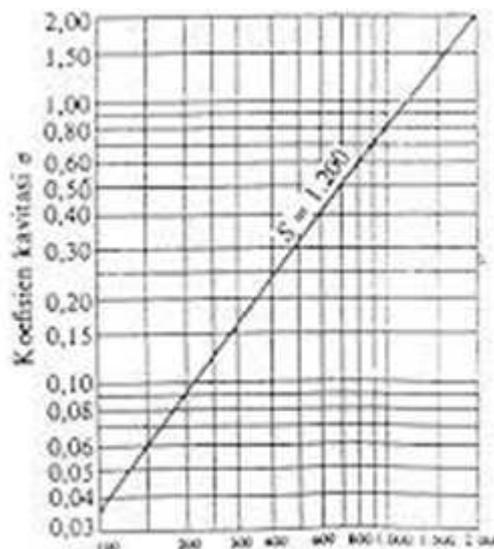
$$H_{sv} = \frac{10332,274 \text{ kgf/m}^2}{1000 \text{ kgf/m}^3} + \frac{322,85 \text{ kgf/m}^2}{1000 \text{ kgf/m}^3} - (2 \text{ m}) - 0,0593 \text{ m}$$

H_{svn} (NPSH yang diperlukan)

$$\begin{aligned} H_{svn} &= \sigma \times H_n \\ Q &= \text{Kapasitas } 0,0833328 \text{ m}^3/\text{menit } Q^{0,5} \\ ns &= n \times (Q^{0,5}/H_n^{0,75}) \\ &= 1500 \times (0,0833328^{0,5}/7,15068^{0,75}) \\ &= 98,85 \end{aligned}$$

Nilai besaran σ (koefisien kavitasi)

Karena $ns = 98,85 < 100$, maka $\sigma = 0,03$



Gambar 5 Grafik ns & koefisien kavitasi

$$H_{svn} = 0,03 \times 7,15068 \text{ m} = 0,21452 \text{ m}$$
$$NPSH_a = (9,5957 \text{ m}) > NPSH_r (0,21452 \text{ m})$$

Sehingga pompa tersebut dapat bekerja dengan baik tanpa mengalami kavitasi

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan sistem pemipaan air limbah yang ada di PT X maka, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Total Head Loss yang terjadi pada sistem pemipaan tersebut sebesar 0,42978 m.
- Berdasarkan hasil perhitungan, spesifikasi pompa yang sesuai untuk pemipaan tersebut adalah 40 x 32B₄ – 50,4. Yang artinya sebagai berikut:
 - 40 = Diameter isap (40 mm)
 - 32 = Diameter buang (32 mm)
 - B = Type rumah
 - Jumlah katub = 4, katub 4 = 1500Rpm
 - 5 = Frekuensi (50 Hz)
 - Daya motor = 0,4 kW (=0,536409 HP)
- Head total hasil perhitungan sebesar 7,15068 m.
- NPSH_a yang tersedia (9,5957 m) > NPSH_r yang dibutuhkan (0,21452 m), sehingga pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi

b. Saran

Berdasarkan hasil perhitungan sistem dan pompa di atas, penulis memberikan saran bahwa:

- Untuk mengantisipasi adanya pemeliharaan berkala atau adanya kerusakan pada pompa, maka harus ada 2 pompa, dengan 1 pompa sebagai pengganti atau cadangan.
- Dalam pemilihan pompa, harus memperhitungkan sistem pemipaan, perhitungan pompa, dan kerugian yang terjadi pada setiap komponen, sehingga dapat mengetahui head total pompa yang dibutuhkan.
- Dengan hasil laporan tugas akhir ini, diharapkan bisa menjadikan referensi untuk mendesign sistem pemipaan, perhitungan kebutuhan pompa, untuk memilih pompa yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Tahara Haruo., Sularso., Pompa dan Kompresor. Jakarta: PT. Pradaya Paramita. 2000.
Dietzel, Fritz., Turbin Pompa dan Kompresor. Jakarta: Erlangga. 1996.
Sirawan Yudi., Sistem Pemipaan Surabaya: Universitas Negeri Surabaya
ASTM A53 Grade A and B Standard Pipe Schedule 40.