

Teknik Mesin

BESARNYA HEAD LOSSES PADA ALIRAN PERPIPAAN DARI BOILER FEED WATER PUMP MENUJU BOILER DI PT. Z

Manahan Hutagalung¹, Jhon Wira Wahyu Aritonang²

^{1,2} Teknik Mekanika, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 30 Desember 2023

Revisi Akhir: 30 Desember 2023

Diterbitkan Online: 31 Desember 2023

KATA KUNCI

Head loss, Boiler Feed Water Pump, Pompa

Keywords:

Head loss, Boiler Feed Water Pump. Pump

KORESPONDENSI

E-mail: manahanhutagalung019@gmail.com

A B S T R A K

Objek Penelitian yang diamati adalah besarnya head loss yang terjadi pada boiler feed water pump ketika memompakan air umpan untuk boiler, head loss adalah kerugian aliran yang terdiri atas head kerugian gesek di dalam pipa-pipa, dan head kerugian di dalam belokan-belokan, reducer, katup - katup, dan sebagainya. Head loss dibagi menjadi dua yaitu head loss mayor dan head loss minor. Rugi aliran akibat gesekan disebut juga kehilangan energi major loss. Head loss mayor terjadi karena adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekerasan dinding batas pipa yang akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan rugi aliran di sepanjang pipa. Kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, T Junction, sambungan dan penampang yang tidak konstan. Penelitian ini bertujuan mengetahui besarnya head loss mayor dan head loss minor yang terjadi pada boiler feed water pump dan mengetahui kapasitas boiler feed water pump setelah terjadinya head loss. Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa besar head loss mayor sebesar 1,63 m dan besar head loss minor sebesar 0,74 m dan Kapasitas pompa setelah terjadinya head loss adalah sebesar 53,81 m³/jam.

A B S T R A C T

The research object observed is the amount of head loss that occurs in the boiler feed water pump when pumping feed water for the boiler, head loss is a flow loss consisting of friction loss head in the pipes, and head loss in bends, reducers, valves, and so on. Head loss is divided into two, namely major head loss and minor head loss. The flow loss due to friction is also known as the major energy loss. Major head loss occurs due to the viscosity of the liquid and turbulence due to the hardness of the pipe boundary wall which will cause frictional forces which will cause loss of flow along the pipe. Minor losses are pressure loss due to friction that occurs in valves, T junctions, joints and cross sections that are not constant. This study aims to determine the magnitude of the major head loss and minor head loss that occurs in the boiler feed water pump and to determine the capacity of the boiler feed water pump after the head loss occurs. From the results of the study it can be concluded that the major head loss is 1.63 m and the major head loss minor is 0.74 m and the pump capacity after head loss is 53.81 m³/hour.

PENDAHULUAN

PT. Z merupakan perusahaan yang mengelolah kelapa sawit menjadi *Cruide Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (PKO) dengan kapasitas olah 60 ton TBS/jam. Dalam pengolahan Kelapa sawit melewati banyak tahapan mulai dari penerimaan bahan baku, perebusan, pemipilan, pengempaan, dan pemurnian minyak menjadi jantung dari pabrik agar tahapan tahapan diatas dapat berjalan dibutuhkan Boiler sebagai pembangkit listrik dan *pensuplay* steam kesemua stasiun. Boiler memerlukan air untuk menghasilkan steam, alat yang digunakan mensuplay air ke Boiler adalah pompa. Tahapan-tahapan ini sangat penting untuk pencapaian rendemen dan mutu CPO dan kernel dari hasil olahan pabrik kelapa sawit tersebut[1].

Pompa merupakan suatu alat untuk memindahkan air melalui distribusi pemipaan dimana terdapat perbedaan tekanan. Sehingga dibutuhkan pompa untuk membangkitkan perbedaan itu. Kebutuhan terhadap alat ini sangat besar karena fungsinya yang khusus dan spesifik yaitu dapat mengalirkan dan berperan sebagai pompa sirkulasi dalam suatu unit plant atau dapat juga diartikan sebagai alat untuk memindahkan fluida dari suatu unit operasi ke unit operasi selanjutnya. Karakteristik pompa merupakan hubungan antara tinggi tekan (*head*), kapasitas, daya dan efisiensi. Hubungan tinggi tekan akan digambarkan pada akibat kerugian gesekan (*head losses mayor*) dan kerugian akibat jalur pemipaan (*head losses minor*).

Pipa merupakan komponen utama dalam sistem perpipaan dan berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluida. Dalam melakukan proses perpipaan, beberapa hal yang perlu dipertimbangkan adalah head losses, viskositas fluida, laju aliran fluida, diameter pipa, ketebalan pipa, jenis material pipa, kekasaran pipa relatif, dan faktor gesekan. Pada belokan pipa terjadi kehilangan tekanan (*head loss*) yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama. Semakin meningkatnya *head loss* tersebut dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida juga meningkat. Kehilangan tekanan yang terlalu besar dapat menyebabkan terjadinya kavitasi dan getaran pada instalasi pipa. Belokan pipa menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan. Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah keluar aliran[2].

Head losses adalah penurunan tekanan pada fluida yang mengalir di dalam pipa. Satuan *head losses* adalah satuan panjang yang setara dengan satu satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan massa fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian. *Head losses* pada instalasi pipa disebabkan oleh beberapa hal, secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu *major head loss* dan *minor head loss*. *Major head loss* disebabkan oleh gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa dan *minor head loss* disebabkan oleh beberapa hal antara lain, aliran masuk fluida ke dalam pipa (inlet), aliran keluar fluida dari pipa (outlet), sambungan pipa/fitting atau sambungan pipa tanpa fitting/butt fusion, dan yang terakhir katup/valve.

TINJAUAN PUSTAKA

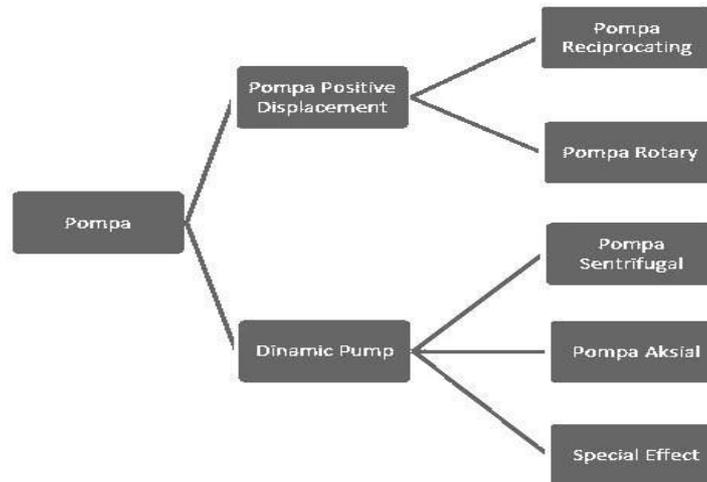
1. Pompa

Pompa merupakan peralatan utama maupun sebagai pendukung utama yang sangat penting dalam dunia industri. Pemakaian pompa yang pada awalnya hanya terbatas pada penyediaan air untuk keperluan sehari-hari, tetapi seiring dengan berkembangnya teknologi di industri saat ini, pompa banyak digunakan untuk kebutuhan di berbagai sektor industri terutama di industri proses, industri kimia, industri tekstil, industri minyak, industri pembangkitan tenaga listrik, irigasi, perusahaan air bersih, untuk pelayanan gedung dan lain-lain[3].

Pompa berfungsi mengkonversikan energi mekanis poros dari penggerak mula menjadi energi potensial atau tekanan fluida (zat) cair. Pompa digunakan untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi atau mengalirkan cairan ke tempat yang menghasilkan tekanan atau ketinggian tertentu, dimana tidak dimungkinkannya cairan tersebut mengalir secara alami. Pompa juga dapat digunakan

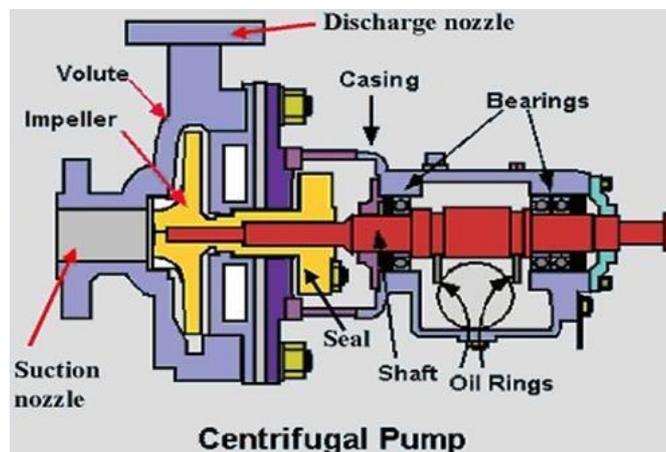
untuk mensirkulasikan cairan, misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan[4].

Dalam pemakaiannya pompa dapat diklasifikasikan pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Klasifikasi Pompa

Pompa Sentrifugal merupakan alat/mesin yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain dengan memanfaatkan gaya sentrifugal akibat putaran impeller. Tujuannya adalah mengubah energi penggerak utama (motor listrik atau turbin) menjadi kecepatan atau energi kinetik dan kemudian energi tekan pada fluida yang sedang dipompakan. Perubahan energi terjadi karena dua bagian utama pompa, *impeller* dan *volute* atau difuser. Impeller adalah bagian berputar yang mengubah energi dari penggerak menjadi energi kinetik. *Volute* atau difuser adalah bagian tak bergerak yang mengubah energi kinetik menjadi energi tekan[5].



Gambar 2. Pompa Sentrifugal

Sebuah pompa sentrifugal tersusun atas sebuah impeller dan saluran inlet ditengah-tengahnya. Dengan desain ini maka pada saat impeller berputar, fluida mengalir menuju casing disekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Casing ini berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran fluida sementara kecepatan putar impeller tetap tinggi. Kecepatan fluida dikonversikan menjadi tekanan oleh casing sehingga fluida dapat menuju titik *outlet* nya.

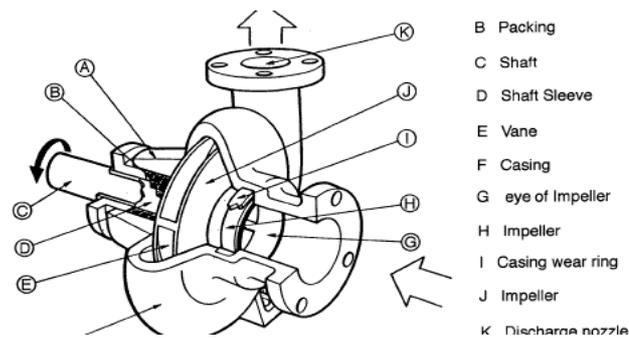
Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa *non positive displacement pump* dengan prinsip kerja sebagai berikut:

1. Energi mekanik dari unit penggerak dikonversikan menjadi energi cairan akibat adanya gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeller yang berputar.
2. Energi kecepatan cairan kemudian dirubah menjadi energi potensial didalam *volute* dan melalui diffuser dengan cara memperlambat laju cairan.

3. Energi tekanan cairan yang keluar dari pompa sentrifugal merupakan tekanan cairan dibagian sisi tekan *discharge*.

Pompa sentrifugal mempunyai konstruksi yang dibuat sedemikian rupa sehingga zat cair yang keluar dari impeller akan melalui sebuah bidang tegak lurus pompa *impeller* dipasang kopling untuk meneruskan daya dari penggerak. Poros dan pada ujung yang lain dipasang kopling untuk meneruskan daya dari penggerak. Poros ditumpu oleh dua buah bantalan. Sebuah *packing* atau perapat dipasang pada bagian rumah yang ditumpu untuk mencegah air yang bocor keluar atau udara masuk ke dalam pompa. Gambar komponen-komponen pompa sentrifugal dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini[6]:

Gambar 3. Komponen Pompa Sentrifugal



2. Boiler Feed water Pump (BFWP)

Boiler feed water pump (BFWP) merupakan pompa centrifugal yang termasuk kedalam jenis pompa sentrifugal multistage yang memiliki dua impeller atau lebih. Semua energi yang dibutuhkan dapat berasal dari satu motor listrik yang sama maupun berbeda.

BFWP adalah pompa sentrifugal yang bekerja sebagai penyuplai *feed water* pada sebuah Pembangkit Listrik tenaga Uap dan industri lainnya. Pompa ini berfungsi untuk mengontrol dan mensupply air pada jumlah tertentu yang berasal dari tanki air (*Deaerator*) menuju boiler dengan spesifikasi tekanan tertentu. Air tersebut sebelum masuk ke boiler biasanya mengalami pemanasan awal (*preheating*). Sehingga air yang dipompa oleh BFWP juga memiliki temperatur tertentu yang cukup panas. Mekanisme kerjanya yaitu kondensat di deaerator akan dikondensasi, dan membutuhkan deaerator untuk dinaikkan sejauh mungkin di atas pompa *feed water* untuk menghasilkan NPSH (*Net Positive Suction Head*) yang memadai. Demi mencapai ketinggian tersebut tentunya membutuhkan lebih banyak biaya instalasi perpipaan dan struktural. Masalah ini dapat diatasi dengan perakitan pompa penambah yang memberikan kepala hisap ekstra yang berkaitan dengan BFWP. Sedikitnya dibutuhkan 2 buah BFWP agar sesuai dengan persyaratan, sehingga menjaga kemampuan boiler saat terjadi kerusakan pompa. Instalasi ini memungkinkan satu pompa melakukan perawatan rutin, dan satu pompa masih beroperasi. Perawatan rutin yang dimaksud misalnya memperbaiki motor penggerak elektrik, mengganti *packing seal* atau *bearing sea* [7].

3. Kehilangan Tekanan Pada Pipa (*Head Losses*)

Kehilangan tekanan pada pipa (*head losses*) adalah untuk mengatasi kerugian- kerugian yang terdiri atas *head* kerugian gesek di dalam pipa-pipa, dan *head* kerugian di dalam belokan-belokan, reducer, katup - katup, dan sebagainya. Dalam keadaan turbulen, peralihan atau laminar untuk aliran dalam pipa (saluran tertutup), telah dikembangkan persamaan kerugian oleh Henry Darcy dan Julius Weishbach. Kerugian energi per satuan berat fluida dalam pengaliran cairan dalam system perpipaan disebut kerugian *head* (*head loss*). Penyebab terjadinya kehilangan tekanan dibagi menjadi dua yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*[8].

a. *Head loss Mayor*

Rugi aliran akibat gesekan disebut juga kehilangan energi major loss. *Head loss mayor* terjadi karena adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekerasan dinding batas pipa yang akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan rugi aliran di sepanjang pipa dengan kecepatan konstan pada aliran seragam.

Rugi aliran sepanjang satu satuan panjang akan konstan selama kekerasan dan diameter tidak berubah. Hal-hal yang mempengaruhi *head loss mayor* antara lain [9]:

1. Panjang pipa
2. Diameter dalam pipa
3. Koefisien Kerugian Gesek (f)
4. Kekasaran pada pipa

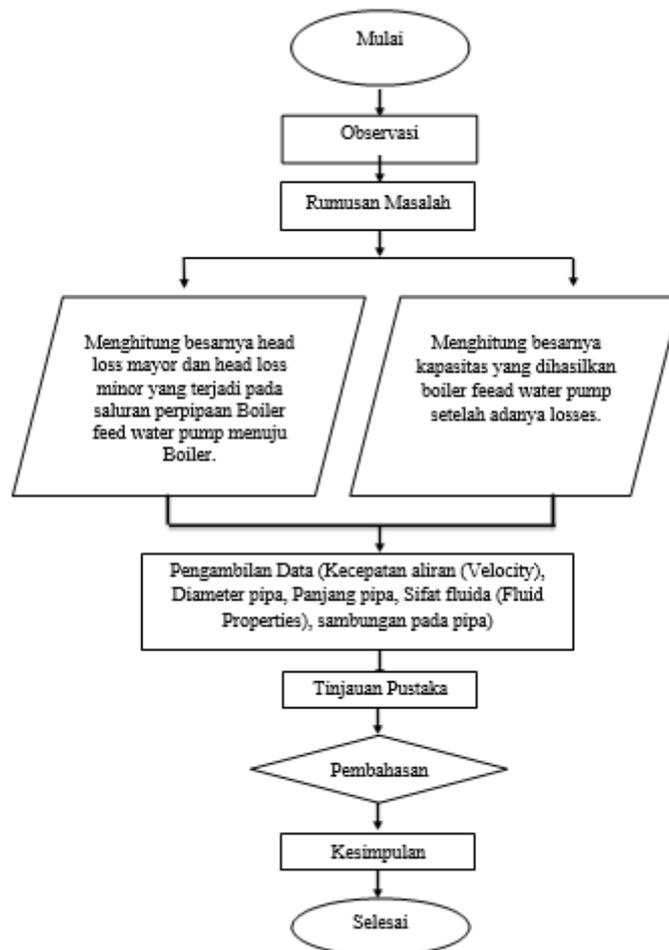
b. Head Loss Minor

Kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, T Junction, sambungan dan penampang yang tidak konstan. Kerugian minor meliputi sebagian kecil penampang sistem aliran, sehingga dipergunakan istilah "minor". Untuk menghitung kerugian dalam jalur pipa (*head losses minor*) di dalam aliran melalui jalur pipa, kerugian akan terjadi apabila ukuran pipa bentuk penampang, atau arah aliran berubah [10],

METODOLOGI

1. Tinjauan Pustaka
Merupakan suatu penelitian yang dilakukan dengan menggunakan buku-buku *literature* sebagai pertimbangan dalam mempelajari hubungan atau keterkaitan dengan judul penelitian yang diambil.
2. Metode Observasi dan Wawancara
Pengumpulan data dilapangan dan wawancara kepada pekerja PT Z menentukan data apa yang akan diambil untuk penelitian

Adapun Kerangka Penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. Dibawah ini:



Gambar 4. Kerangka Konseptual

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Data

- a. Spesifikasi Boiler Feed Water Pump
 - Merek = Speck
 - Series = 1001356290
 - Putaran Pompa = 2900 rpm
 - Kapasitas = 70 m³/h
 - Tekanan = 340 m
 - Daya = 2 HP
- b. Spesifikasi Elektromotor
 - Merek = Atlant Electric Bells (AEB)
 - Jenis = Motor listrik 3 phasa
 - Kecepatan Putaran = 2970 rpm
 - Daya = 75 kw
- c. Data Pengamatan
 - Data Perpipaan
 - Bahan = Carbon steel
 - Panjang = 23,86 m
 - Ukuran pipa = 4 inch = 0,1016 m
 - Diameter dalam pipa = 4,02 inch = 0,1023 m
 - Diameter luar pipa = 4,5 inch = 0,1143 m
 - Ketebalan pipa = 0,23 inch = 0,006 m
 - Suhu Fluida = 40°C
 - Data Keterpasangan Utility

Tabel 1. Data Keterpasangan Utility

No	Nama Utility	Jenis Utility	Keterpasangan	Jumlah
1	Katup (<i>Valve</i>)	Gate Valve	Perpipaan	1
		Gate Valve	Pompa	1
2	Elbow	Elbow 90°	Perpipaan	8
3	Thermometer	Thermometer Glass	Perpipaan	1

2. Pembahasan

a. Menghitung Head Loss Mayor dan Head Loss Minor Yang Terjadi Pada Saluran Perpipaan Boiler Feed Water Pump Menuju Boiler.

- Menghitung Head loss Mayor

$$Hf_{\text{mayor}} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan :

- Hf = head loss mayor (m)
- L = panjang pipa (m)
- D = diameter pipa (m) v = kecepatan (m/s)
- g = gravitasi bumi (9.81 m/s²)

f = faktor gesek (didapat dari diagram Moody)

Sebelum ke persamaan utama ada beberapa nilai yang belum diketahui yaitu sebagai berikut:

a. Menghitung Kecepatan Aliran (V).

Untuk menghitung kecepatan aliran dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$V = \frac{70 \text{ m}^3/\text{jam}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

$$V = 2,34 \text{ m/s}$$

b. Menentukan bilangan Reynold (Re) fluida pada suhu 40°C.

$$\text{Dimana : } \rho_{\text{air}} = 992,25 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{air}} = 0,000653 \text{ kg/m.s}$$

$$V = 2,34 \text{ m/s}$$

$$D = 0,1023 \text{ m}$$

Maka di dapatkan bilangan Reynold:

$$Re = \frac{\rho_{\text{air}} \cdot V \cdot D}{\mu_{\text{air}}}$$

$$= 363746,99 \text{ atau } 3,63 \times 10^4 (\text{Turbulen})$$

c. Menghitung Koefisien gesek (f) menggunakan Diagram Moody.

Berdasarkan tabel kekasaran pipa nilai kekasaran pipa dengan bahan carbon steel adalah 0.2 mm.

$$\text{Kekasaran Relatif} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$= 0,002$$

Maka nilai koefisien gesek (f) berdasarkan diagram Moody adalah 0,042

d. Menghitung *Head Loss Mayor*

Setelah nilai koefisien gesek didapatkan maka head loss mayor dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut:

$$Hf_{\text{mayor}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$Hf_{\text{mayor}} = 2,73 \text{ m}$$

Head loss mayor merupakan kehilangan tekanan yang disebabkan oleh gesekan fluida dengan pipa, setelah dilakukan perhitungan maka didapatkanlah nilai head loss mayor sebesar 2,73 m.

e. Menghitung *Head Loss minor*

Untuk menghitung head loss minor dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$Hf_{\text{minor}} = f \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan :

Hf_{minor} = Head loss minor (m)

- g = Gravitasi bumi (9.81 m/s²)
- v = Kecepatan rata-rata aliran (m/s)
- f = Koefisien kerugian

- Menghitung *Head loss Minor* Pada *suction*

Tabel 2. Koefisien Gesek pada *Suction*

No	Kelengkapan	Jumlah (n)	Koefisien Gesek (f)
1	Gate Valve	5	0,15

Maka : $H_{f_{minor1}} = f \frac{v^2}{2g}$

$H_{f_{minor1}} = 0,04189 \text{ m}$

$H_{f_{minor1}} = 0,04189 \text{ m} \times 5 = 0,2094 \text{ m}$

- Menghitung *Head loss* pada *discharge*

Tabel 3. Tabel Koefisien gesek pada *discharge*

No	Kelengkapan	Jumlah (n)	Koefisien Gesek (f)
1	Gate Valve	2	0,15
2	Elbow 90°	3	0,3

Besarnya Headloss Pada Gate Valve :

Maka : $H_{f_{minor2}} = f \frac{v^2}{2g}$

$H_{f_{minor2}} = 0,04189 \text{ m}$

$H_{f_{minor2}} = 0,04189 \text{ m} \times 2 = 0,08379 \text{ m}$

Besarnya Headloss Pada Elbow 90°

Maka : $H_{f_{minor2}} = f \frac{v^2}{2g}$

$H_{f_{minor2}} = 0,08379 \text{ m}$

$H_{f_{minor2}} = 0,08379 \text{ m} \times 3 = 0,25137 \text{ m}$

$\sum H_{f_{minor2}} = 0,08379 \text{ m} + 0,25137 = 0,3351 \text{ m}$

Maka : $\sum f_{minor} = H_{f_{minor1}} + H_{f_{minor2}}$
 $= 0,2094 \text{ m} + 0,3351 \text{ m}$

$\sum f_{minor} = 0,54 \text{ m}$

Head loss minor merupakan kehilangan tekanan yang disebabkan oleh adanya sambungan-sambungan dan belokan pada saluran perpipaan, setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan *besarnya head loss minor* sebesar 0,54 m.

Setelah *head loss minor* didapatkan maka *head loss total* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Maka : $\sum H_{f_{total}} = H_{f_{mayor}} + H_{f_{minor}}$
 $= 2,73 \text{ m} + 0,54 \text{ m}$

$\sum H_{f_{total}} = 3,27 \text{ m}$

Setelah dilakukan beberapa perhitungan maka didapatkan H_{ftotal} (*Head loss total*) pada *boiler feed water pump* adalah 3,27 m.

b. Menghitung Kapasitas Yang Dihasilkan Boiler Feed Water Pump Setelah Adanya Losses

- Mencari head total pompa

Untuk menghitung head total pompa dapat menggunakan persamaan berikut

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

Dimana : $V = 2,34 \text{ m/s}$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h_l = 2,57 \text{ m}$$

$$\Delta h_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho \times g}$$

$$P_1 = 47 \text{ psi} = 33044,27 \text{ kg/m}^3$$

$$P_2 = 64 \text{ psi} = 44996,45 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta h_p = 1,22 \text{ m}$$

$$h_a = 7,8 \text{ m}$$

$$\rho = 992,25 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 0,1023 \text{ m}$$

Maka :

$$H_{tot} = 7,8 \text{ m} + 1,22 \text{ m} + 3,27 \text{ m} + \frac{(2,34 \text{ m/s})^2 \cdot 0,1023 \text{ m}}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{tot} = 12,31 \text{ m}$$

- Mencari Kapasitas Pompa setelah terjadinya *Head loss*

Untuk menghitung kapasitas pompa setelah adanya *head loss* dapat menggunakan persamaan hubungan daya hidrolis dengan kapasitas berikut ini:

Dimana : $\rho = 992,25 \text{ kg/m}^3$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$H = 12,31 \text{ m}$$

$$P_h = 2 H_p = 1491,4 \text{ watt} = 1491,4 \text{ kg m}^2/\text{s}^3$$

Maka :

$$P_h = \rho g Q H$$

$$Q = \frac{P_h}{\rho \cdot g \cdot H}$$

$$Q = 0,0124 \text{ m}^3/\text{s} \text{ atau } 44,85 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Jadi setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan kapasitas *boiler feed water pump* setelah terjadinya *head loss* adalah 44,85 m³/jam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan perhitungan dan membahas permasalahan yang ada maka dapat di ambil kesimpulan yaitu dari hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk mengetahui *head loss mayor* dan *head loss minor* yang terjadi pada *boiler feed water pump*, maka didapatkan besarnya *head loss mayor* sebesar 2,73 m, dan *head loss*

minor sebesar 0,54 m, dan *head loss* total sebesar 3,27 m. Kehilangan tekanan yang terjadi menyebabkan penurunan kapasitas sebesar 25,15 m³/jam. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk mengetahui kapasitas boiler *feed water pump* setelah terjadinya *head loss*, maka didapatkanlah kapasitas pompa sebesar 44,85 m³/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Darmadi, N. Kurnia, N. Nelza, and H. Sempana, "Analisa Ukuran Rpm Agitator Pada Washing Getah di Unit Tangki Pencucian Pada Factory Precleaning PT. X," *REPROKIMIA*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [2] H. Panggabean and H. Darmadi, "BESARNYA GAYA RADIAL YANG TERJADI PADA SEPASANG RODA GIGI LURUS AKIBAT ADANYA SUDUT TEKAN DARI RODA GIGI PENGGERAK DI ALAT DOUBLE DECK BUNCH CRUSHER," *JURNAL VOKASI TEKNIK*, vol. 1, no. 2, pp. 10–16, 2023.
- [3] H. Darmadi, D. Kurnia, and F. A. Malau, "BESARNYA DEFORMASI YANG DISEBABKAN OLEH TEKANAN TBR (TANDAN BUAH REBUS) TERHADAP POROS BUNCH CRUSHER," *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, 2023.
- [4] H. Nugraha, I. Kusumaningtyas, and I. M. Miasa, "Analisis Buckling dan Tegangan Bejana Tekan Horizontal pada Tekanan Kerja Eksternal," *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 4, no. 2, pp. 58–66, 2022, doi: 10.22146/jmdt.63592.
- [5] M. Rodiawati,) A Yudi, E. Risano, and A. Su'udi, "PERANCANGAN BEJANA TEKAN (PRESSURE VESSEL) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH KELAPA SAWIT DENGAN VARIABEL KAPASITAS PRODUKSI 10.000 TON/BULAN," *Jurnal FEMA*, vol. 1, no. 4, pp. 36–41, 2013, doi: 10.000.
- [6] A. Yudi Eka Risano, A. Su, and R. Rahmat, "Oktober 2013) 1) Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung 2) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung Jln," *Jurnal FEMA*, vol. 1, no. 4, pp. 28–35, 2013, doi: 10.000.
- [7] E. Manullang, S. Tangkuman, and B. L. Maluegha, "ANALISIS TEGANGAN PADA BEJANA TEKAN VERTIKAL 13ZL100040291 DI PT. ANEKA GAS INDUSTRI," *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 92–102, 2020.
- [8] D. Darmanto and F. Adi Alfiansyah, "Prediksi Kegagalan Statis Pipa Saluran Uap (Vapor Line) Akibat Tekanan Kerj," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 7, no. 3, pp. 291–198, 2019.
- [9] A. Husen, A. Setiyadi, and N. Cholis, "ANALISIS TEGANGAN PIPA 043-GN-31004 PADA SCRUB COLOUMN VESSEL MENUJU VESSEL COLOUMN PROYEK TANGGUH EXPANSION TRAIN 3 PAPUA," *BINA TEKNIKA*, vol. 14, pp. 139–152, 2018.
- [10] A. Maulana, "PERHITUNGAN TEGANGAN PIPA DARI DISCHARGE KOMPRESOR MENUJU AIR COOLER MENGGUNAKAN SOFTWARE CAESAR II 5.10 PADA PROYEK GAS LIFT COMPRESSOR STATION," 2016.