

Analisis *Head loss* dan Kavitasi dari Rangkaian Pompa Sentrifugal Ebara di PT. PBI

Petrus Cantona¹, Maria Stevanie Dwi A.^{1*}, Cecep Slamet Abadi², dan M. Syujak²

¹ Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425.

² Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

Abstrak

Pompa merupakan peralatan mekanik pendukung yang digunakan PT. PBI untuk memindahkan fluida incompressible dari torrent dengan kapasitas 17 kL untuk produksi beton. Namun disepanjang aliran fluida akan mengalami rugi rugi aliran yang menyebabkan penurunan tekanan dorong di sisi discharge pompa. Hal ini disebabkan karena gesekan fluida dengan dinding pipa, dan penggunaan elbow, valve, dll. Berdasarkan temuan di lapangan tersebut, kami mengadakan analisa yang bertujuan untuk menghitung besarnya rugi-rugi tekanan (head loss), NPSHa, dan pada akhirnya akan dibandingkan dengan NPSHr dari pompa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan kinerja pompa di PT. PBI. Perhitungan head loss melibatkan perhitungan data temuan berupa panjang dan diameter pipa, banyak elbow dan kekasaran relative pompa. Setelah dihitung, didapatkan nilai head loss dari pompa 1,2,3 sebesar 1,084 m, 0,425 m, 0,429 m. Hasil perhitungan ini dilanjutkan ke perhitungan NPSHa, yaitu nilai head hisap bersih, setelah dikurangi rugi-rugi head. Setelah dihitung terdapat nilai NPSHa yang bernilai 10,6 m di ketiga pompa. Ketika dibandingkan dengan NPSHr pompa yang bernilai 4 m, dapat disimpulkan bahwa pompa normal, tidak terjadi kavitasi yang dapat merusak komponen pompa terutama impeller pompa.

Kata-kata kunci: Pompa; Head loss; NPSH; Kavitasi

Abstract

Pumps are supporting mechanical equipment used by PT. PBI to move incompressible fluid from a torrent with a capacity of 17 kL for concrete production. But along the fluid flow will experience a flow loss which causes a decrease in thrust pressure on the pump discharge side. This is due to fluid friction with the pipe wall, and the use of elbow, valve, etc. Based on the findings in the field, we conducted an analysis that aimed to calculate the amount of pressure losses (head loss), NPSHa, and in the end it would be compared with NPSHr from the pump. The method used in this study is the observation of pump performance at PT. PBI. Head loss calculation involves calculating the finding data in the form of pipe length and diameter, many elbows and relative roughness of the pump. To get relative roughness, moody diagrams are used. Once calculated, the head loss value obtained from the pump is 1,2,3 by 1,084 m; 0.425 m; 0.429 m. The results of this calculation are continued to the NPSHa calculation, which is the net suction head value, after deducting head losses. After calculating, the NPSHa value is 2.26 m in the three pumps. When compared to the NPSHr pump which is worth 4 m, it can be concluded that the pump is normal, not in a state of cavitation which can damage the pump components especially the pump impeller.

Key words: Pump; Head loss; NPSH; Cavitation

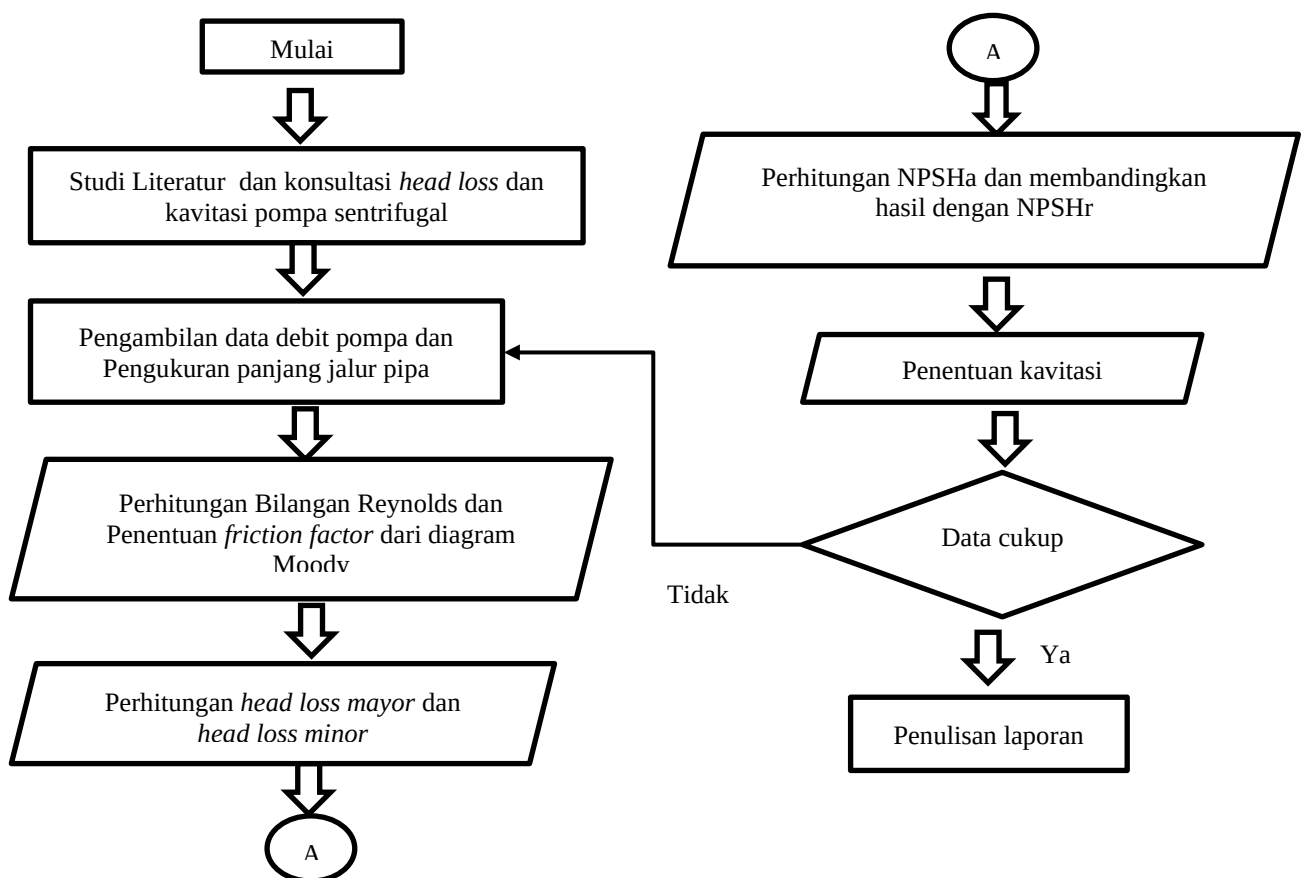
* Corresponding author E-mail address: maria.stevanie23@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pompa adalah peralatan mekanik yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat tujuan lain atau beberapa tempat tujuan sesuai yang dimaksudkan. PT PBI menggunakan rangkaian pompa yang terdiri dari 3 buah pompa sentrifugal identik dengan kapasitas 409 L/m yang disusun pararel pada sisi suctionnya dan terpisah pada sisi dischargenya. Dalam pendistribusian fluida, terdapat beberapa instrumen yang digunakan agar aliran tersebut lancar sesuai tujuan, diantaranya : pipa galvanized 4" sepanjang 8,5 meter dan pipa galvanized 2" sepanjang 1 meter dan beberapa elbow. Namun, aliran air di dalam pipa akan mengalami penurunan tekanan (head loss) yang besarnya sebanding dengan panjang pipa yang digunakan, hal ini disebabkan oleh gesekan fluida dengan dinding pipa, dan gesekan antara partikel partikel fluida itu sendiri, hal ini timbul karena kekentalan (viscosity) fluida. Selain itu head loss juga timbul akibat adanya gesekan pada katup, perubahan penampang pipa, dll.

Head loss merupakan penurunan nilai tekanan pada suatu aliran fluida, yang berpengaruh pada performa pompa khususnya tekanan dan flow di sisi discharge pompa. Head loss dibagi 2 yaitu Head loss mayor yang ada di sepanjang pipa, dan head loss minor yang berada di sambungan-sambungan pipa seperti elbow, tee atau valve. Head loss yang sudah dihitung tadi akan dimasukkan dalam perhitungan NPSHa yang akan digunakan untuk menentukan apakah pompa yang digunakan terjadi kavitasi., dengan membandingkan nilainya dengan nilai NPSHr. NPSHa adalah nilai total positif hisap pompa yang sudah dikurangi dengan rugi-rugi dan tekanan uap jenuh pada sistem perpipaan. Sedangkan NPSHr adalah tekanan hisap minimum yang dimiliki pompa untuk bekerja dengan keadaan baik tanpa kavitasi. Kavitasi adalah keadaan timbulnya gelembung udara pada impeller akibat tekanan hisap yang ada nilainya berada dibawah tekanan uap jenuh pada temperatur tertentu. Dengan adanya gelembung udara ini, impeller dapat tergerus dikarenakan pecahnya gelembung udara saat impeller berputar. Agar kavitasi tidak terjadi, maka NPSHa sistem harus lebih besar dari NPSHr pompa. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah menghitung head loss pada pompa 1,2, dan 3, menghitung NPSHa pada pompa 1, 2 dan 3, dan membandingkan NPSHa dengan NPSHr untuk mengetahui keadaan kavitasi.

2. METODE



Gambar 1. Flowchart penelitian

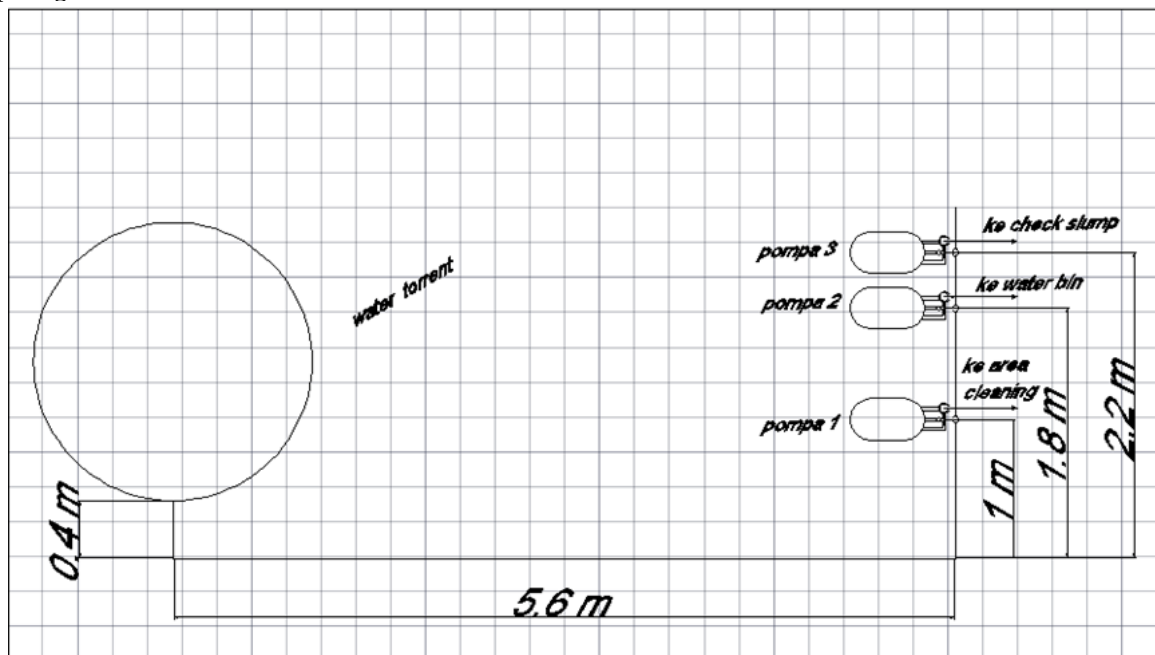
Tahapan awal penulisan dimulai dengan studi literatur yaitu mencari dasar teori yang sesuai dengan permasalahan yang akan dibahas dan menemukan pemecahan masalah tersebut. Hal ini dilakukan dengan membaca buku-buku, jurnal, buku manual pompa ebara, dan laporan-laporan yang berkaitan dengan topik. Selain itu juga melakukan konsultasi dengan pembimbing di kampus maupun di lapangan, mengenai pompa ebara yang digunakan. Setelah itu dilakukan dengan pengumpulan data debit setiap pompa dan panjang jalur pipa yang digunakan serta penggunaan *elbow* pada aliran fluida. Kemudian dilakukan perhitungan bilangan Reynold dengan memasukkan data ke dalam rumus. Lalu mencari *friction factor* pipa dengan membaca diagram Moody dengan menggunakan data bilangan Reynolds dan *relative roughness* yang didapatkan. Setelah itu kita dapat menghitung nilai *head loss mayor* dan *head loss minor* aliran dengan memasukkan data ke dalam rumus.

Data *head loss mayor* dan *head loss minor* dijumlahkan untuk mendapatkan *head loss total*. Langkah selanjutnya adalah menggunakan *head loss total* untuk menghitung NPSHa yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai NPSHr. Perbandingan nilai inilah yang akan menentukan nilai kavitasi pompa. Sesudah data yang telah diolah disetujui oleh pembimbing, maka akan dilakukan penulisan laporan sesuai dengan seluruh tahapan.

3. ANALISIS KAVITASI

Perhitungan Head loss

Rangkaian pompa yang ada pada sistem perpipaan PT. PBI merupakan 3 pompa yang tersusun *parallel* pada sisi *suction* namun terpisah pada sisi *discharge*. Gambar rangkaian pipeline pompa PT. PBI ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pipeline plot-plan PT. PBI

Data Operasi Pompa

Susunan 3 pompa yang diteliti merupakan pompa identik yang spesifikasinya sama[1]. Spesifikasi pompa ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi pompa sentrifugal

Rate capacity	$6,82 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (409 L/m)
Design Temperature	0-800 °C
Liquid	Clean Water
Maximal Working Pressure	10 bar (10,2 kgf/cm ²)
Synchronous Speed	3000 rpm
Construction Impeller	Enclosed
Construction Shaft seal	Mechanical Seal
Construction Sealing	Self flushing
Construction Bearing	Sealed ball bearing

Data Losses Pada Sistem Perpipaan

Pada sistem perpipaan terjadi *head loss* yang disebabkan oleh komponen-komponen penunjang sistem perpipaan. *Head loss* ini mempengaruhi nilai tekanan hisap pompa. Debit fluida yang telah diketahui digunakan untuk menentukan nilai kecepatan aliran fluida dengan memasukkan nilai debit kedalam persamaan (1).

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \quad (1)$$

Kemudian kecepatan aliran digunakan untuk menentukan jenis aliran fluida dengan mengetahui nilai bilangan Reynolds yang dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2).

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2)$$

Aliran laminar apabila bilangan $Re < 2300$, untuk aliran transisi berada pada bilangan $2300 < Re < 4000$, dan Untuk aliran turbulen mempunyai bilangan Reynolds lebih dari 4000.

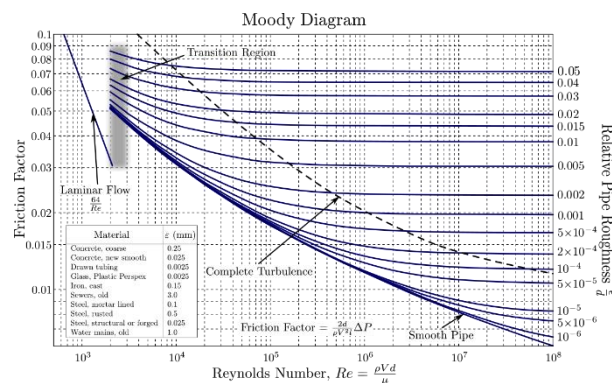
Langkah selanjutnya adalah mencari nilai *relative roughness* dengan membagi nilai kekasaran pipa yang dapat ditemukan pada gambar 3, dengan diameter pipa yang digunakan. Setelah itu kita dapat menentukan nilai *fiction factor* dengan membaca nilai bilangan Reynolds dan nilai *relative roughness* pada diagram Moody yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.

Table A.1 Average roughness of commercial pipes

New Material	ϵ	
	ft	mm
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Asphalted cast iron	0.0004	0.12
Commercial steel	0.00015	0.046
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Glass	"Smooth"	"Smooth"

Source: Fox, R. and McDonald, A. (1998) *Introduction to Fluid Mechanics*, 5th edn, John Wiley & Sons, Inc., New York

Gambar 3. Kekasaran relatif pipa [3]



Gambar 4. Diagram Moody

Setelah didapatkan nilai *friction factor* maka kita dapat mencari nilai *head loss* pompa. Persamaan yang digunakan untuk mencari *head loss* mayor adalah :

$$H_f = \frac{f L v^2}{D \cdot 2 g} \quad (3)$$

Sedangkan untuk *head loss* minor,

$$H_f = \sum n k \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Nilai total *head loss* dapat ditentukan dengan memasukan ke dalam persamaan 5.

$$\Sigma H_f = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor} \quad (5)$$

Dengan :

- H_f = Head Loss (m)
- f = Gesekan Pada Pipa (m)
- k = Konstanta Kekasaran Sambungan
- L = Panjang Pipa (m)
- v = Kecepatan Alir Fluida (m/s)
- n = Jumlah Elbow
- D = Diameter Pipa (m)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²) [2]

setelah itu, *head loss* digunakan untuk mencari nilai NPSHa yang dirumuskan dengan persamaan:

$$\text{NPSHa} = H_a + H_s - H_{vp} - H_f - H_i \quad (3)$$

Keterangan :

- NPSH_a = Head hisap positif (m)
- H_a = Head atmosferik, tekanan udara luar (m)
- H_s = Tinggi inlet pompa dengan reservoir (m)
- H_{vp} = Tekanan uap jenuh pada temperatur tertentu (m)
- H_r = Total *head loss* (major + minor)
- H_i = Head pada inlet pompa (sf = 2 ft, 0,6096 m)

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Head loss Major* Pada Pipa Utama

No	Keterangan	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
1	Diameter pipa utama	$10,16 \times 10^{-2} \text{ m}$		
2	Debit	$6,82 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$		
	Temperatur fluida	25 °C		
3	Viskositas Kinematik	$0,890 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$		
4	Kelajuan Aliran	0,84 m/s		
5	<i>Bilangan Reynolds</i>	96030,85		
6	<i>Relative roughness</i>	$1,47 \times 10^{-3}$		
7	<i>Friction factor</i>	$2,37 \times 10^{-2}$		
8	Panjang ekivalen pipa	7 m	7,8 m	8,2 m
9	<i>Head loss mayor</i>	$5,87 \times 10^{-2} \text{ m}$	$6,54 \times 10^{-2} \text{ m}$	$6,88 \times 10^{-2} \text{ m}$

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Head loss Major* Pada Pipa Menuju *Suction* Pompa

No	Keterangan	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
1	Diameter pipa	$5,08 \times 10^{-2}$ m		
2	Debit	$6,82 \times 10^{-3}$ m³/s		
	Kelajuan Aliran	3,36 m/s		
3	Panjang pipa	1,4 m	1 m	
4	<i>Bilangan Reynolds</i>	$1,91 \times 10^5$ m		
5	<i>Friction factor</i>	$3,3 \times 10^{-4}$ m karena aliran pada <i>suction</i> pompa adalah aliran <i>laminar</i> .		
6	<i>Head loss mayor</i>	$5,23 \times 10^{-3}$ m	$3,73 \times 10^{-4}$ m	

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Head loss Minor*.

No	Keterangan	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
1	Elbow 90° 4''	2		
2	Nilai k untuk elbow 90° 4''	0,51		
3	Kelajuan Aliran	1,97 m/s		
4	Elbow 90° 2''	3	1	
5	Nilai k untuk elbow 90° 2''	0,57		
6	Head loss minor pada elbow 90° 4''	3,67 × 10 ⁻² m.		
7	Head loss minor pada elbow 90° 2''	0,984 m.	0,32 m.	

Tabel 4. Hasil Perhitungan Total *Head Loss*.

No	Keterangan	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
1	Head loss mayor pipa utama	$5,87 \times 10^{-2}$ m	$6,54 \times 10^{-2}$ m	$6,88 \times 10^{-2}$ m
2	Head loss mayor pipa menuju suction pompa	$5,23 \times 10^{-3}$	$3,73 \times 10^{-3}$ m	
3	Head loss minor pada elbow 90° 4’’	$3,67 \times 10^{-2}$ m.		
4	Head loss minor pada elbow 90° 2’’	0,984 m.	0,32 m.	
5	Head loss total	1,084 m	0,425 m	0,429 m

Analisis Kavitasi

Analisa Kavitasi dilakukan dengan cara membandingkan NPSHa dengan NPSHr pompa [5]. Maka terlebih dahulu dihitung NPSHa, dengan memasukkan data berikut ke dalam rumus (3). Hasil perhitungan NPSHa dapat diketahui dalam tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan NPSHa

No	Keterangan	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
1	H_a	10,3326 meter		
2	H_{vp}	0,3029712 meter		
3	H_s	1,6 meter		
4	H_i	0,6096 meter		
5	H_f	1,084 meter	0,425 meter	0,429 meter
6	NPSHa	10,65 meter	10,58 meter	10,59 meter.

Dengan Nilai NPSH_R pompa sebesar 4 m, maka didapat perbandingan NPSHa lebih besar dari NPSHr pada ketiga pompa, sehingga tidak terjadi kavitasi pada ketiga pompa.

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil perhitungan di pompa 1,2 dan 3 didapatkan head loss 1,084 m; 0,425 m; dan 0,429 m.
2. Pada pompa 1 2 dan 3 terhitung nilai NPSHa sebesar 10,65 m; 10,58 m; 10,59 m.
3. Ketiga pompa memiliki nilai NPSHa yang lebih besar daripada NPSHr yang dimiliki masing-masing pompa, yaitu 4 m. Sehingga pada ketiga pompa tidak terjadi kavitasi.

REFERENSI

1. EBARA Standard Catalogue, www.ebara.com (akses 30 Juni 2018)
2. Pumping Machinery Theory and Practice, First Edition. Hassan M. Badr and Wael H. Ahmed. Susanto, Fauzi, Pengaruh Pembelokan (Elbow) Terhadap Kehilangan Energi Pada Saluran Pipa Galvanis. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
3. Fox R and McDonald. A, Introduction to Fluids Mechanic, 1999
4. Ir. M. Orianto BSE., Ir. W.A. Pratikto, M. Sc. , Mekanika Fluida, BPFE Yogyakarta, 1989, 78
5. Bachus, L. (2003). Know and understand centrifugal pumps