

ANALISIS *HEAD* POMPA SENTRIFUGAL PADA RANGKAIAN SERI DAN PARALEL

Eko Prasetyo Putro

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Email: ekoprasetyo.p@gmail.com

Edi Widodo

Dosen Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Email: ediwidodo@umsida.ac.id

A'rasy Fahrudin

Dosen Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Email: arasy.fahrudin@umsida.ac.id

Iswanto

Dosen Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Email: iswanto.sda@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian terkait dengan analisis perhitungan *head* pompa sentrifugal pada rangkaian seri dan paralel yang proses pengujian dilakukan menggunakan dua pompa sentrifugal tipe 1 ½ BA-6 dengan jenis fluida kerja ialah air pada temperatur ±30°C. Dan hasil penelitian diperoleh data analisis perhitungan *head* total pompa, dimana nilai *head* total pompa seri bukaan katup penuh sebesar 38,79 m dengan debit 0,00325 m³/s, bukaan katup 2/3 nilai *head* total sebesar 46,14 m dengan debit 0,00323 m³/s dan bukaan katup 1/3 nilai *head* total sebesar 50,16 m dengan debit 0,00306 m³/s. Sedangkan pada pompa paralel diperoleh nilai *head* total bukaan katup penuh sebesar 27,7 m dengan debit aliran 0,00375 m³/s, bukaan katup 2/3 nilai *head* total sebesar 32,6 m dengan debit 0,00374 m³/s dan bukaan katup 1/3 nilai *head* total sebesar 37,9 m dengan debit 0,00367 m³/s. Dari keseluruhan data ditemukan adanya kenaikan nilai *head* total terhadap variasi pengaturan bukaan *valve*, dimana nilai *head* total tertinggi diperoleh pada bukaan *valve* 1/3. Dari kedua jenis rangkaian terlihat adanya penurunan nilai *head* total seiring dengan bertambahnya nilai debit/kapasitas pada pompa. Sehingga hubungan antara *head* total dengan debit adalah berbanding terbalik.

Kata kunci: Pompa Sentrifugal, Rangkaian seri dan paralel, Head total, Variasi bukaan *valve*.

ABSTRACT

Research related to the analysis of the calculation of the head of a centrifugal pump in series and parallel circuits which the testing process is carried out using two centrifugal pumps type 1 ½ BA-6 with the type of working fluid is water at a temperature of ± 30°C. And the research results obtained by analysis of the calculation of the total pump head, where the total head value of the series pump full valve opening is 38.79 m with a debit of 0.00325 m³/s, valve opening 2/3 the total head value is 46.14 m with debit 0,00323 m³/s and valve opening 1/3 total head value of 50,16 m with debit 0,00306 m³/s. Whereas in the parallel pump, the total head value of the full valve opening is 27.7 m with a flowrate of 0.00375 m³/s, valve opening 2/3 of the total head value is 32.6 m with a discharge of 0.00374 m³/s and valve openings are 1/3 total head value of 37.9 m with debit 0.00367 m³/s. From the overall data found an increase in the total head value to the variation of the valve opening settings, where the highest total head value was obtained at the 1/3 valve opening. From the two types of circuits, there is a decrease in the total head value as the discharge / capacity value at the pump increases. So the relationship between total head and discharge is inversely proportional.

Keywords: Centrifugal Pump, series and parallel circuits, total head, valve opening

1. PENDAHULUAN

Pompa air adalah suatu alat transportasi fluida cair, yang mana alat ini juga sudah umum dipakai dan dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Manfaatnya yang cukup baik dalam membantu menyelesaikan suatu persoalan yang berkaitan dengan pemindahan air/fluida cair menjadikan pompa air umum dipergunakan dalam dunia industri maupun rumah tangga. Untuk pemilihan jenis pompa yang dipakai itu didasari dari nilai ekonomis dan jarak fluida yang akan dipindahkan. Dimana prinsip kerjanya sendiri yaitu mengubah suatu energi mekanik menjadi potensial fluida[1].

Dilihat secara mekanisme kerja, pompa terbagi menjadi tiga jenis antara lain pompa torak, pompa *rotary* dan pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa pemindah fluida dengan sistem kerja mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida melalui suatu *impeller* yang berputar didalam *casing*. Dimana *impeller* pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang didapat menjadi besar. Jadi energi-energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* tekanan, *head* kecepatan dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinu[2][3]. *Head* dapat diartikan sebagai *energy* per satuan berat fluida. Satuan dari *head* (H) ialah meter atau feet fluida. Pada perpompaan, *head* diukur dengan cara menghitung beda tekanan total antara pipa isap dan pipa tekan, apabila proses pengukuran dilakukan pada ketinggian yang sama[4]. Secara istilah yang lebih umum daya dorong pompa disebut sebagai *head* pompa. Semakin tinggi *head* maka daya yang dihasilkan pompa juga semakin tinggi.

Adapun studi kasus yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana metode analisis yang digunakan dalam menentukan nilai *head* total pompa sentrifugal pada rangkaian seri dan paralel. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui grafik perbandingan dari hubungan nilai *head* total dari masing-masing rangkaian terhadap variasi bukaan *valve* (penuh, 2/3 dan 1/3) serta seberapa besar nilai kerugian (*losses*) yang diperoleh pada setiap rangkainya tersebut.

2. METODE

Dalam proses penelitian dilakukan metode eksperimental dalam memperoleh hasil data pengukuran terkait analisis perhitungan *head* pompa setrifugal pada rangkaian seri dan paralel. Pada penelitian ini jenis pompa yang digunakan yaitu pompa sentrifugal[5][6].



Gambar 1. Pompa Sentrifugal

Spesifikasi:

Type	: 1 ½ BA-6
Daya	: 1,5 kW
Putaran	: 2900 Rpm
Dimensi	: 1" x 1"

Untuk jenis bahan/fluida kerja yang dipakai yaitu air pada temperatur $\pm 30^{\circ}$ dengan sifat fisik air seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Physical Properties of Water (SI units)

Temperature, °C	Specific weight γ , kN/m ³	Density,b ρ , kg/m ³	Modulus of elasticity,b E /106, kN/m ²	Dynamic viscosity, $\mu \times 103$, N – s/m ²	Kinematic viscosity, $\nu \times 106$, m ² /s	Surface tension,c σ , N/m	Vapor pressure, P _v , kN/m ²
0	9.805	999.8	1.98	1.781	1.785	0.0765	0.61
5	9.807	1000.0	2.05	1.518	1.519	0.0749	0.87
10	9.804	999.7	2.10	1.307	1.306	0.0742	1.23

15	9.798	999.1	2.15	1.139	1.139	0.0735	1.70
20	9.798	998.2	2.17	1.002	1.003	0.0728	2.34
25	9.777	997.0	2.22	0.890	0.893	0.0720	3.17
30	9.764	995.7	2.25	0.798	0.800	0.0712	4.24
40	9.730	992.2	2.28	0.653	0.658	0.0696	7.38
50	9.689	988.0	2.29	0.547	0.553	0.0679	12.33
60	9.642	983.2	2.28	0.466	0.474	0.0662	19.92
70	9.589	977.8	2.25	0.404	0.413	0.0644	31.16
80	9.530	971.8	2.20	0.354	0.364	0.0626	47.34
90	9.466	965.3	2.14	0.315	0.326	0.0608	70.10
100	9.399	958.4	2.07	0.282	0.294	0.0589	101.33

Source: Vennard, J. K., and R. L. Street (1975), Elementary Fluid Mechanics, 5th ed., Wiley, New York.[7]

At atmospheric pressure.

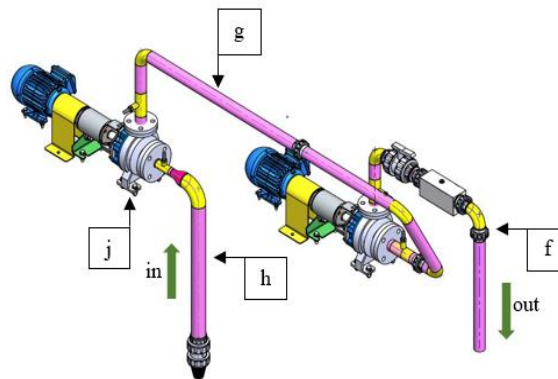
Dynamic viscosity can also be expressed in units of $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$.

In contact with air.

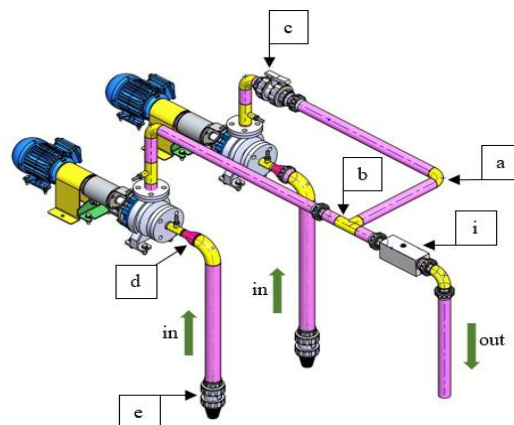
2.1 Parameter Penelitian

Adapun parameter dalam penelitian ini yaitu:

- Penelitian dilakukan pada dua rangkaian perpipaan yang berbeda yaitu seri dan paralel.



Gambar 2. Desain Instalasi Pompa Seri



Gambar 3. Desain Instalasi Pompa Paralel

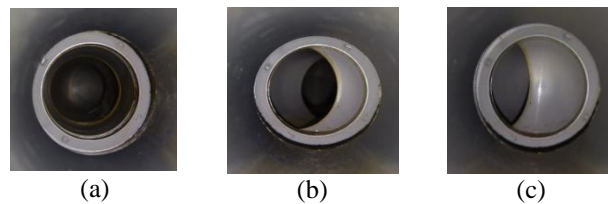
Untuk data spesifikasi dari desain rangkaian pompa seri dan paralel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Rangkaian Perpipaan

Nama Komponen	Seri	Paralel
	Jumlah	Jumlah
(a) <i>Elbow</i> 90°	6	6
(b) <i>Tee</i>	-	1

(c) <i>Ball valve</i>	1	1
(d) <i>Reduce 1.5" to 1"</i>	1	2
(e) <i>Foot valve</i>	1	2
(f) <i>Union socket</i>	5	6
(g) Pipa pvc Ø1"		
(h) Pipa pvc Ø1.5"		
(i) <i>Flowmeter / water meter</i>	1	1
(j) Pompa sentrifugal	2	2

- b. Pada pengaturan bukaan katup jenis *valve* yang digunakan yaitu *ball valve* dengan tiga macam variasi bukaan diantaranya:



Gambar 4. (a) Bukaan Penuh, (b) bukaan 2/3, (c) bukaan 1/3

- c. Pompa beroperasi pada putaran poros konstan yaitu 2900 rpm.
d. Waktu pengoprasian pompa dalam proses uji ± 40 detik per setiap bukaan *valve*.
e. Data yang telah diperoleh kemudian dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan nilai yang diinginkan dari suatu analisis *head* pompa sentrifugal pada rangkaian seri dan paralel. Proses perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

☞ Debit Aliran (Q)

Debit aliran adalah ukuran banyaknya volume fluida yang mengalir dalam suatu penampang per satuan waktu. Debit aliran dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dibawah:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Dimana:

- Q : Debit aliran (m^3/s)
 V : Volume air (m^3)
 t : Selang waktu (s)

☞ Head Elevasi (Z)

Head elevasi merupakan perbedaan ketinggian permukaan cairan pada sisi isap dan keluar. *Head* elevasi total dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah:

$$Z = Z_d - Z_s \quad (2)$$

Dimana:

- Z : *Head* elevasi total (m)
 Z_d : Tinggi permukaan air pada sisi tekan/discharge (m)
 Z_s : Tinggi permukaan air pada sisi isap/suction (m)

☞ Head Tekanan (Δhp)

Head tekanan pompa ialah selisih tekanan antara sisi *suction* (P_s) dan *discharge* (P_d) dibagi berat jenis (γ). Seperti persamaan berikut:

$$\Delta hp = \left(\frac{P_d - P_s}{\gamma} \right) \quad (3)$$

Dimana:

- Δhp : *Head* tekanan (m)
 P_d : Tekanan saat fluida keluar dari pompa (Pa)
 P_s : Tekanan saat fluida masuk ke pompa (Pa)

Namun, pada penelitian ini tidak adanya perbedaan tekanan. Karena kondisi bak yang terbuka sehingga tekanan yang bekerja pada permukaan air didalam bak adalah tekanan atmosfer atau $\Delta h_p = 0$.

☞ **Head Kecepatan (H_v)**

$$H_v = \left(\frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} \right) \quad (4)$$

Dimana:

- H_v : Head kecepatan (m)
- v_d^2 : Kecepatan zat cair pada saluran tekan (m/s)
- v_s^2 : Kecepatan zat cair pada saluran isap (m/s)
- g : Percepatan gravitasi (m/s²)

Kecepatan suatu aliran dihitung dari data debit yang diperoleh:

Diketahui:

- Q : Debit aliran m³/s
- D_{pipa} : Diameter pipa (inchi =..... m)

Kemudian dihitung luas penampang pipa $A = \frac{\pi D^2}{4}$ m²

Rumus debit yaitu $Q = A.v$, maka kecepatan aliran (v) adalah:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (5)$$

Dimana:

- V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- Q : Debit air (m³/s)
- A : Luas penampang (m²)

☞ **Head Loss (H_L)**

a. **Head loss mayor (h_l)**

Diketahui: Viskositas Kinematik (ν), pada temperatur 30°C = 0.800 x 10⁻⁶ (m²/s) didapat dari Tabel 1

- L_{pipa} : Panjang pipa (m)
- D_{pipa} : Diameter pipa (inchi)
- v : Kecepatan aliran fluida (m/s)

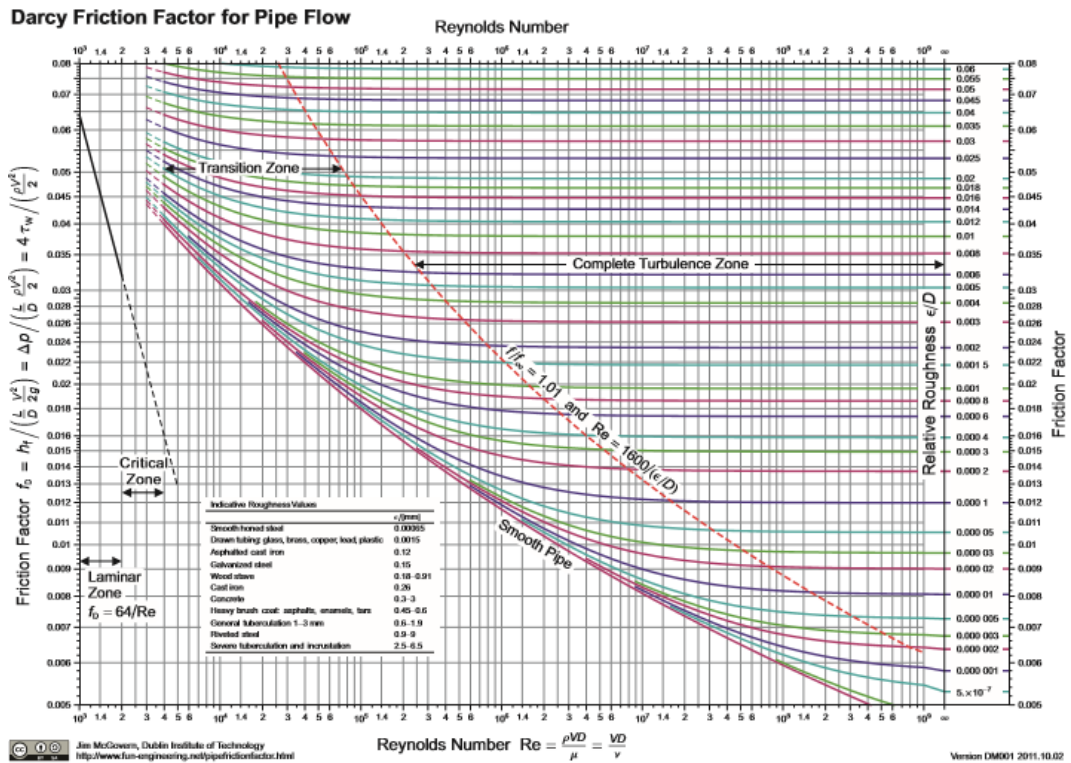
Menghitung angka Reynold (Re) menggunakan rumus:

$$Re = \frac{v.D}{\nu} \quad (6)$$

Material pipa yang digunakan ialah *Polyvinyl chloride (PVC)* dengan nilai kekerasan material (ϵ) = 0.0015 mm, didapat dari tabel *Equivalent sand grain roughness for various pipe materials*[8].

$$Relative\ Roughness = \frac{\epsilon}{D} \quad (7)$$

Kemudian nilai yang didapat dari perhitungan sebelumnya dicari angka yang paling mendekati pada kurva *relative roughness* dengan menggunakan *moody* diagram. Sehingga didapatnya nilai *friction factor* dari pipa tersebut.



Gambar 5. The Moody diagram for the Darcy-Weisbach friction factor f . [9]

Mengitung nilai *head loss mayor* dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_l = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad (8)$$

Dimana:

- L : Panjang pipa (m)
- v : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- D : Diameter pipa (m)
- g : Percepatan gravitasi (m/s²)
- f : Kofisien kerugian gesek

b. *Head loss minor* (H_{Lf})

Rumus *head loss minor* adalah:

$$h_{lm} = n \cdot f \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Dimana:

- n : Jumlah item
- f : Kofisien kerugian gesek
- v : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- g : Percepatan gravitasi (m/s²)

Tabel 3. Koefisien Kerugian *Minor* untuk Pengaturan Buka-an *Ball Valve 1*”

Variasi Buka-an valve	Nilai koefisien
Penuh (100 %)	0,57
2/3 (60 %)	4,25
1/3 (30 %)	8,89

Sumber: Haque et. al., 2010 [10]

Tabel 4. Additional Frictional Loss for Turbulent Flow Trough Fittings and Valves

Type of fitting or valve	Additional friction loss, equivalent no. of velocity heads, K
<i>Elbow 90°</i>	0.75
<i>Union</i>	0.04
<i>Tee (entering branch)</i>	1.0
<i>Foot valve</i>	15
<i>Water meter , disk (Turbine-wheel)</i>	6

Sumber: Perry et. al, 1997 [11]

Tabel 5. Nilai Koefisien Kerugian Reduce & Expansion

Diameter expansion		Diameter reduction					
Type	I	II	III	IV			
Type		d/D	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
I		$\zeta \approx$	0,56	0,41	0,26	0,13	0,04
II for	$\alpha = 8^\circ$	$\zeta \approx$	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01
	$\alpha = 15^\circ$	$\zeta \approx$	0,15	0,11	0,07	0,03	0,01
	$\alpha = 20^\circ$	$\zeta \approx$	0,23	0,17	0,11	0,05	0,02
III		$\zeta \approx$	4,80	2,01	0,88	0,34	0,11
IV for $20^\circ < \alpha < 40^\circ$		$\zeta \approx$	0,21	0,10	0,05	0,02	0,01

c. Head loss total (H_L)

$$H_L = h_l + h_{tm} \tag{12}$$

Dimana:

H_L : Head loss Total (m) H_{Lf} : Head loss minor (m)

H_{Lm} : Head loss mayor (m)

☞ **Head Total**

a. Untuk Susunan Seri

$$H = (Z + \Delta hp + H_L + H_V) \tag{13}$$

Dimana:

H : Head total (m)

Z : $(z_d - z_s)$ (m)

z_s : Tinggi permukaan air pada sisi isap/suction

z_d : Tinggi permukaan air pada sisi tekan/discharge

Δhp : Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

H_L : Berbagai kerugian head pada pipa, valve, belokan dan beberapa komponen lainnya.

H_V : Head kecepatan (m)

b. Untuk Susunan Paralel

$$H = \frac{1}{2}(Z + \Delta hp + H_L + H_V) \tag{13}$$

Dikali 1/2 karena pada susunan paralel nilai head pompa 1 = head pompa 2

Dimana:

H : Head total (m)

Z : $(z_d - z_s)$ (m)

z_s : Tinggi permukaan air pada sisi isap/suction

z_d : Tinggi permukaan air pada sisi tekan/discharge

Δhp : Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

H_L : Berbagai kerugian head pada pipa, valve, belokan dan beberapa komponen lainnya.

H_V : Head kecepatan (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengamatan

Dari proses penelitian yang dilakukan, maka didapatkan sebuah hasil data pengamatan yang mana data tersebut telah tersaji pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Data Hasil Pengamatan Pompa Seri

Bukaan <i>valve</i>	Pompa 1		Pompa 2		V (liter)	t (detik)	Putaran (Rpm)
	P_s (Bar)	P_d (Bar)	P_s (Bar)	P_d (Bar)			
Penuh	0,75	0,7	0,7	0,9	130,69	40,21	2900
Bukaan 2/3	0,74	0,75	0,75	1,2	130,13	40,25	2900
Bukaan 1/3	0,45	1,35	1,35	2,4	123,5	40,33	2900

Tabel 7. Data Hasil Pengamatan Pompa Paralel

Bukaan <i>valve</i>	Pompa 1		Pompa 2		V (liter)	t (detik)	Putaran (Rpm)
	P_s (Bar)	P_d (Bar)	P_s (Bar)	P_d (Bar)			
Penuh	0,35	1,5	0,35	1,5	151,5	40,38	2900
Bukaan 2/3	0,36	1,5	0,36	1,45	150,58	40,20	2900
Bukaan 1/3	0,45	1,35	0,18	1,7	147,6	40,19	2900

3.2 Data Hasil Perhitungan

Dari proses perhitungan yang telah dilakukan dalam menentukan nilai *head* total pompa seri dan paralel dengan memvariasikan bukaan *valve*. Maka didapatkanlah suatu hasil perhitungan tersebut, yang mana data tersebut telah disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Pompa Seri

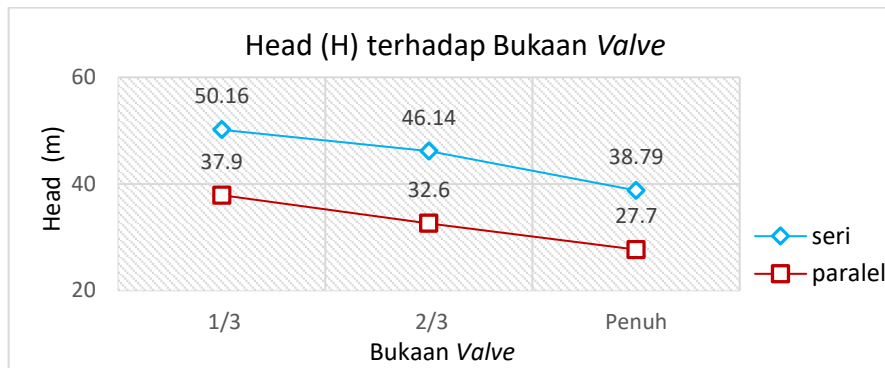
Bukaan <i>valve</i>	Kecepatan Aliran (v)		Rugi-rugi		H_{Loss} Total (m)	Head Total (m)	Debit (Q) (m ³ /s)	Putaran (Rpm)
	v_s (m/s)	v_d (m/s)	h_l	h_{lm}				
	Penuh	2,85	6,5	8,69				
Bukaan 2/3	2,83	6,46	8,58	35,85	44,43	46,14	0,00323	2900
Bukaan 1/3	2,68	6,12	7,95	40,67	48,62	50,16	0,00306	2900

Tabel 9. Hasil Perhitungan Pompa Paralel

Bukaan <i>valve</i>	Kecepatan Aliran (v)		Rugi-rugi		H_{Loss} Total (m)	Head Total (m)	Debit (Q) (m ³ /s)	Putaran (Rpm)
	v_s (m/s)	v_d (m/s)	h_l	h_{lm}				
	Penuh	3,29	7,5	7,65				
Bukaan 2/3	3,28	7,48	7,61	55,43	63,06	32,6	0,00374	2900
Bukaan 1/3	3,21	7,34	7,37	66,32	73,69	37,9	0,00367	2900

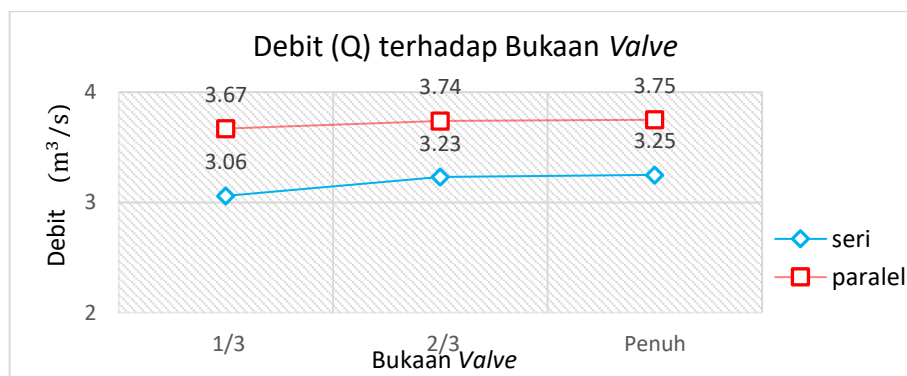
3.3 Grafik Karakteristik Pompa

Proses ini bertujuan untuk memaparkan suatu gambaran pengaruh hubungan antara: *head* (H) terhadap bukaan *valve*, Debit (Q) terhadap bukaan *valve* dan *head loss* (H) terhadap bukaan *valve* yang kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



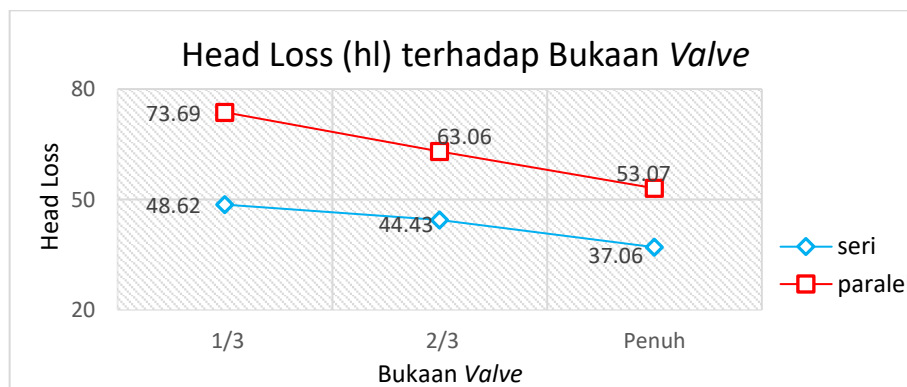
Gambar 6. Grafik Hubungan Head (H) Terhadap Bukaannya Valve

Dari grafik terlihat adanya penurunan nilai *head* total seiring juga dengan diperbesarnya bukaan *valve* pada kedua jenis rangkaian. Sehingga hubungan antara *head* total dengan pengaturan bukaan *valve* adalah berbanding terbalik, dimana nilai *head* total tertinggi diperoleh pada bukaan *valve* terkecil (bukaan 1/3). Pada pompa seri untuk bukaan katup penuh nilai *head* total sebesar 38,79 m, bukaan katup 2/3 nilai *head* total sebesar 46,14 m dan bukaan katup 1/3 nilai *head* total sebesar 50,16 m. Sedangkan pada pompa paralel untuk bukaan katup penuh nilai *head* total sebesar 27,7 m, bukaan katup 2/3 nilai *head* total sebesar 32,6 m dan bukaan katup 1/3 nilai *head* total sebesar 37,9.



Gambar 7. Grafik Hubungan Debit (Q) Terhadap Bukaannya Valve

Dari grafik diatas terlihat adanya kenaikan nilai debit (Q) seiring juga dengan diperbesarnya bukaan *valve* pada kedua jenis rangkaian. Didapatkan dari hubungan antara debit terhadap pengaturan bukaan *valve* adalah berbanding lurus, dimana nilai debit tertinggi diperoleh pada bukaan *valve* terbesar (bukaan penuh). Pada pompa paralel untuk bukaan katup penuh nilai debit diperoleh sebesar $3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, bukaan katup 2/3 nilai debit sebesar $3,74 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan bukaan katup 1/3 nilai debit sebesar $3,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan pada pompa seri untuk bukaan katup penuh nilai debit diperoleh sebesar $3,25 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, bukaan katup 2/3 nilai debit sebesar $3,23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan bukaan katup 1/3 nilai debit sebesar $3,06 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar 8. Grafik Hubungan Head Loss Terhadap Bukaannya Valve

Dari grafik hubungan *head* (H) dengan bukaan *valve* diatas terlihat bahwa adanya pengaruh bukaan *valve* terhadap nilai kerugian (*losses*) yang diperoleh. Seiring dengan diperkecilnya bukaan *valve* nilai *head loss* yang didapat menjadi semakin besar dan begitu juga dengan sebaliknya. Nilai *head loss* tertinggi diperoleh pada bukaan *valve* 1/3, dimana untuk rangkaian seri nilai *head loss* sebesar 48,62 m sedangkan rangkaian paralel sebesar 73,69 m.

3.4 Studi Kritis Perbandingan Rangkaian Seri dan Paralel

Dari Penelitian yang telah dilaksanakan baik secara praktek dilapangan maupun perhitungan dengan beberapa rumus yang ada. Didapatkan suatu perbandingan dari kedua rangkaian, dimana:

- Untuk nilai *head* total tertinggi didapat dari rangkaian seri yaitu sebesar 50,16 m pada bukaan *valve* 1/3. Besarnya peningkatan nilai *head* yang didapat dari penelitian ini tidak hanya karena dua pompa yang disusun seri tetapi juga dipengaruhi oleh adanya pengaturan bukaan *valve* yang mana telah dijelaskan pada Gambar 6 grafik hubungan *head* (H) terhadap bukaan *valve*. Namun untuk nilai kerugian (*losses*) pada rangkaian seri lebih kecil dibandingkan dengan rangkaian paralel dimana pada Gambar 8 hubungan *head loss* terhadap bukaan *valve* dapat dilihat bahwasanya ada perbandingan nilai yang cukup signifikan dari antar kedua rangkaian tersebut.
- Dan untuk nilai kapasitas/debit aliran tertinggi didapat dari rangkaian paralel yaitu sebesar $3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ pada bukaan *valve* penuh. Besarnya nilai debit ini dipengaruhi dari pengoperasian dua pompa yang disusun paralel. Namun untuk nilai kerugian (*losses*) pada rangkaian paralel lebih tinggi dibandingkan dengan rangkaian seri. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8 grafik hubungan *head loss* terhadap bukaan *valve*, besarnya nilai kerugian tersebut dipengaruhi oleh banyaknya jumlah komponen *fitting* yang terdapat pada rangkaian paralel sehingga nilai *factor coefficient* (*f*) yang dihasilkan juga akan semakin besar.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data yang telah dilakukan maka didapatkan suatu kesimpulan, seperti:

1. Adanya pengaruh perubahan nilai *head* dan debit aliran dari masing-masing jenis bukaan *valve*. Dimana semakin diperkecilnya bukaan *valve* maka *head* yang dihasilkan menjadi semakin besar, namun berbanding terbalik dengan kapasitas/debit aliran yang dihasilkan malah menjadi lebih kecil. Hal ini diakibatkan karena besarnya rugi *minor* yang terjadi pada pengecilan area penampang *valve*/katup tersebut.
2. Untuk nilai *head* tertinggi dari masing-masing susunan pompa diperoleh dari bukaan *valve* 1/3. Dimana untuk pompa seri memiliki nilai *head* sebesar 50,16 m dan paralel memiliki nilai *head* sebesar 37,9 m.
3. Untuk besarnya nilai *head loss* yang diperoleh, hal ini dipengaruhi dari banyaknya jumlah komponen *fitting* yang dipasang pada suatu rangkaian. Dimana setiap komponen tersebut memiliki nilai koefisien yang berbeda-beda baik dari jenis material maupun ukuran yang digunakan.
4. Pompa disusun secara paralel apabila kapasitas/debit aliran yang dibutuhkan besar dan tidak dapat dihasilkan oleh satu pompa saja. Dan apabila yang diperlukan ialah *head* yang besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa, maka dapat menggunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada kedua orang yang selalu memberi dukungan serta doanya kepada saya, rekan-rekan satu tim yang telah banyak membantu selama penelitian berlangsung, dosen pembimbing yang selalu memberikan support serta banyak masukan dan juga laboratorium Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah menyediakan beberapa peralatan yang cukup hingga bisa terselesainya penelitian "Analisa *head* pompa sentrifugal pada rangkaian seri dan paralel" ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Silaen, "Analisa Karakteristik Pompa Sentrifugal Rangkaian Single, Serie dan Paralel," vol. 3, pp. 854–858, 2011.
- [2] Sularso and H. Tahara, *Pompa Dan Kompresor*, Jilid 7. 2000.
- [3] E. Widodo, "Rekayasa Performansi Pompa Sentrifugal Untuk Menurunkan Head Loss," in *Laporan Akhir Penelitian Dosen Pemula Rekayasa*, no. November, Sidoarjo, 2016, p. 3.
- [4] F. Ansori and E. Widodo, "Analysis on Centrifugal Pump Performance in Single, Serial, and Parallel," *J.*

- Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 3, no. 2, p. 79, 2018, doi: 10.22219/jemmmme.v3i2.6958.
- [5] E. Widodo and R. Y. Pradhana, "Analysis of pipe diameter variation in axial pumps for reducing head loss," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 403, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/403/1/012029.
- [6] M. M. Saleh and E. Widodo, "Analisa Kinerja Aliran Fluida dalam Rangkaian Seri dan Paralel dengan Penambahan Tube Bundle pada Pompa Sentrifugal," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 3, no. 2, p. 71, 2019, doi: 10.21070/r.e.m.v3i2.1884.
- [7] J. K. Vennard, *Elementary Fluid Mechanics*. New York, 1940.
- [8] T. M. Walski, D. V. Chase, and D. A. Savic, "Water Distribution Modeling," p. 72, 2001.
- [9] J. McGovern, "Technical Note: Friction Factor Diagrams for Pipe Flow," *Sch. Mech. Des. Eng.*, pp. 0–15, 2011.
- [10] M. F. Haque, F. Haider, A. Rahman, and Q. Islam, "Study of Different Types of Valves & Determination of Minor Head Loss for Various Openings of Locally Available Plastic Valve," no. December, pp. 605–608, 2010.
- [11] S. Perry, R. H. Perry, D. W. Green, and J. O. Maloney, *Perry's chemical engineers' handbook*, vol. 38, no. 02. 2000.