



# Comparative Analysis of the *Head Loss* of Two Centrifugal Pumps in a Fluid Test Laboratory

## Analisis Head Loss Dua Pompa Sentrifugal Pada Laboratorium Uji Fluida

Ridho Choirul Anam, Edi Widodo<sup>\*</sup>, Iswanto Iswanto, A'razy Fahrudin

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia

<sup>\*</sup>Email Penulis Korespondensi: ediwidodo@umsida.ac.id

**Abstract.** The purpose of this study was to determine the characteristics of the two centrifugal pumps using the same circuit and to obtain the resulting value, namely head, discharge, pump power, efficiency of the two pumps. And variations in valve opening settings used are full valve openings, valve openings 2/3, and valve openings 1/3 which have different coefficients at each valve opening. This research method was carried out experimentally. The fluid used is water, fluid pressure measurement using a pressure gauge to measure the pressure side (discharge) and a vacuum pressure gauge to measure the pressure which is relatively lower than the atmospheric pressure for the pump on the suction side (suction) and using a flow meter to determine the volume or discharge water used. The results of this centrifugal pump test equipment research found that the working pump shows that the resulting discharge affects the head value, pump power, and pump efficiency obtained, the higher the total head value, the smaller the resulting discharge. However, this centrifugal pump test equipment can be used for fluid practicum activities in the mechanical engineering department in the mechanical laboratory.

**Keywords-** Centrifugal pump; head loss; efficiency

**Abstrak.** Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik dari kedua pompa sentrifugal menggunakan rangkaian yang sama serta memperoleh nilai yang dihasilkan yaitu head, debit, daya pompa, efisiensi dari kedua pompa. Dan variasi pengaturan bukaan katup yang dipakai adalah bukaan katup penuh, bukaan katup 2/3, dan bukaan katup 1/3 yang mempunyai koefisien yang berbeada pada tiap bukaan katupnya. Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimen. Fluida yang digunakan adalah air, Pengukuran tekanan fluida menggunakan pressure gauge untuk mengukur pada sisi tekan (discharge) dan vacuum pressure gauge untuk mengukur tekanan yang relatif lebih rendah daripada tekanan atmosfer untuk pompa pada sisi hisap (suction) serta menggunakan flowmeter untuk mengetahui volume atau debit air yang digunakan. Hasil dari penelitian alat uji pompa sentrifugal ini diketahui bahwa pompa yang bekerja menunjukkan bahwa debit yang dihasilkan mempengaruhi nilai head, daya pompa, dan efisiensi pompa yang diperoleh, semakin tinggi nilai head total maka debit yang dihasilkan semakin kecil. Namun alat uji pompa sentrifugal ini dapat digunakan untuk kegiatan praktikum tentang fluida di jurusan teknik mesin di laboratorium mesin.

**Kata Kunci-** head loss; efisiensi; Pompa sentrifugal

How to cite: Choirul Anam Ridho, Widodo Edi, Iswanto Iswanto, Fahrudin A'razy (2020) Comparative Analysis of the **Head Loss** of Two Centrifugal Pumps in a Fluid Test Laboratory . R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal 5 (1). doi: 10.21070/r.e.m.v5i1.409

## PENDAHULUAN

Pompa adalah suatu alat untuk memindahkan zat cair (fluida) dari satu tempat ke tempat lain, [1] dengan melalui media distribusi perpipaan dan pompa bekerja dengan mengubah energi mekanik menjadi tekanan atau energi kinetik. [2]

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang umum dipakai didalam kehidupan sehari-hari. Pompa sentrifugal yaitu jenis salah satu jenis pompa dengan prinsip kerja merubah energi kinetik cairan (fluida) menjadi energi potensial (dinamis) pada putaran

impeler yang ada didalam casing pompa. [3] [4] Dan untuk memperoleh efisiensi kinerja pompa yang tercapai dengan maksimal dibutuhkan rancangan sistem instalasi perpipaan yang benar dan sesuai. Gangguan atau hambatan-hambatan yang ditemukan pada saluran pipa ialah berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian, kehilangan energi pada pompa (*head losses*) atau pun hambatan akibat gesekan. [5] [1]

Karakteristik pompa adalah hubungan dengan tinggi tekanan (*head*), kapasitas, daya, dan efisiensi, *head Loss* terjadi akibat adanya belokan pada pipa dan semakin banyak belokan *head loss* akan tambah semakin

besar. [6] [7]. Tinggi pada tekanan akan dijelaskan terhadap akibat kerugian gesekan (*head losses mayor*) dan kerugian akibat perubahan jalur/arah perpipaan (*head losses minor*). [8] [9] Dengan mengetahui adanya pemahaman terhadap akibat kerugian dalam penggunaan pompa dan perpipaan akan mengurangi hilangnya energi dari sistem perpipaan yang digunakan pada sistem tersebut [10] [11]

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai dari kedua pompa dengan instalasi yang sama. Serta untuk mengetahui karakteristik dan performa pompa dengan menghitung nilai *head* total, debit, efisiensi, dan daya dari kedua pompa. Dimana diketahui perbandingan data pengujian juga dilakukan dengan menggunakan variasi bukaan katup (penuh, 2/3, dan 1/3) dari masing-masing pompa.

## METODE

Pada prosedur penelitian ini dilakukan pengujian ekperimental pada dua pompa sentrifugal, yaitu dengan spesifikasi berikut ini:

Pompa 1 :  
 Type : 1 ½ BA-6  
 Daya : 1.5 kW  
 Head : 17,4  
 Putaran : 2900 rpm  
 Dimensi : 1" x 1"  
 Pompa 2 :  
 Type : 1 ½ BA-6  
 Daya : 1.5 kW  
 Head : 17  
 Putaran : 2900 rpm  
 Dimensi : 1" x 1"

Pada pengujian ini bahan atau jenis fluida yang dipakai ialah air dengan suhu  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ .

Adapun parameter yang digunakan selama proses penelitian berlangsung, sebagai berikut ini :

- Pada penelitian ini digunakan 2 pompa sentrifugal untuk mengetahui perbandingan dari kinerja tiap pompa tersebut.
- Rangkaian pompa yang digunakan sama.
- Pada waktu pengambilan data dilakukan selama 30 detik.
- Pengambilan data menggunakan alat ukur untuk pompa, yaitu :

1. *Flowmeter Digital*, untuk mengetahui nilai kapasitas/debit aliran air tiap satuan liter.
2. *Pressure Gauge*, untuk mengetahui nilai tekanan pada sisi hisap (*akt(section)*)
3. *Vacum Pressure Gauge*, untuk mengetahui nilai tekanan pada sisi tekan (*discharge*)

4. Stopwatch, untuk mencatat waktu aliran air saat dilakukan pengujian

- Pengaturan variasi pembukaan katup terbagi menjadi 3 antara lain : bukaan penuh, bukaan 2/3, dan bukaan 1/3 kemudian data yang didapatkan dari hasil pengamatan akan dimasukkan ke dalam persamaan yang digunakan untuk memperoleh hasil perbandingan dari tiap-tiap bukaan katup.
- Pada penelitian ini diambil beberapa variabel data yang digunakan dan dapat dilihat pada tabel 3.3 .
- Data yang telah didapatkan dari hasil pengamatan kemudian diolah untuk memperoleh nilai dari suatu hasil perhitungan analisis perbandingan dua pompa sentrifugal

Adapun perumusan atau persamaan dari data perhitungan yang digunakan, [12] adalah sebagai berikut:

1. Debit Aliran Air ( $Q$ )

$$Q = \frac{v}{t}$$

Kapasitas Aliran dirumuskan sebagai berikut:

Dimana :

$$Q = \text{Debit pompa (m}^3/\text{detik)}$$

$$V = \text{Volume (m}^3)$$

$$t = \text{waktu (detik)}$$

2. Kecepatan aliran fluida ( $v$ )

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

$$V_s = \frac{Q}{A_s}, V_d = \frac{Q}{A_d}$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit aliran (m}^3/\text{s)}$$

$$A_s = \text{Luas Penampang sisi hisap (suction) (m}^2)$$

$$A_d = \text{Luas Penampang sisi buang (discharge) (m}^2)$$

3. Head Elevasi ( $Z$ )

*Head* Elevasi adalah perbedaan ketinggian antar permukaan fluida pada sisi hisap dan buang. *Head* elevasi total dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Z = Z_d - Z_s$$

Dimana:

$$Z : \text{Head statis total (m)}$$

$$Z_d : \text{Tinggi permukaan air pada sisi tekan/discharge (m)}$$

$$Z_s : \text{Tinggi permukaan air pada sisi isap/suction (m)}$$

4. Head Tekanan ( $\Delta h_p$ )

*Head* tekanan pompa yaitu selisih tekanan pada sisi *suction* ( $P_s$ ) dan pada sisi *discharge* ( $P_d$ ) dan dibagi berat jenis ( $\gamma$ ). Dengan persamaan berikut:

$$\Delta h_p = \left( \frac{p_d - p_s}{\gamma} \right)$$

Dimana:

$$\Delta h_p : \text{Head tekanan (m)}$$

$$P_d : \text{Tekanan saat fluida keluar dari pompa (Pa)}$$

$$P_s : \text{Tekanan saat fluida masuk ke pompa (Pa)}$$

Kemudian data yang diambil dari hasil pengamatan pada *pressure gauge* dan *vacum pressure* harus dihitung tekanan absolutnya dengan persamaan berikut ini:

$$p_{atm} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ (pa)}$$

- Bila tekanan pengukuran sistem diatas tekanan atmosfer. Maka, tekanan absolut  $p_{atm}$  = tekanan atmosfer ( $p_{atm}$ )- tekanan Pengukuran ( $p_{gauge}$ )

$$P_{absolut} = P_{atm} - P_{gauge}$$

Apabila dari penelitian ini tidak terdapat perbedaan tekanan. Diakibatkan kondisi bak yang terbuka sehingga tekanan yang beroperasi di permukaan air didalam bak memiliki nilai tekanan atmosfer atau  $\Delta hp = 0$ .

#### 5. Head Kecepatan ( $H_V$ )

$$H_V = \left( \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \right)$$

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

Kecepatan suatu aliran dihitung dari data debit yang diperoleh:

Diketahui:

$Q$  : Debit aliran  $m^3/s$

$D_{pipa}$  : Diameter pipa (inchi = ... m)

Kemudian dihitung luas penampang pipa (A),

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \dots\dots\dots m^2$$

Rumus debit yaitu  $Q = A \cdot v$ , maka kecepatan aliran  $v$  adalah:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Dimana:

$V$  : Kecepatan aliran fluida (m/s)

$Q$  : Debit air ( $M^3/S$ )

$A$  : Luas penampang ( $m^2$ )

#### 6. Head Loss Pompa

A. Head loss mayor ( $H_I$ )

Diketahui: Viskositas Kinematik ( $\nu$ ) pada temperatur

$$30^0 c = 0.008 \times 10^{-6} m^2/s$$

$L_{pipa}$ : Panjang pipa (m)

$D_{pipa}$ : Diameter pipa (inchi = ... m = ... mm)

$v$ : Kecepatan aliran fluida

Menghitung angka Reynold (Re) menggunakan rumus:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Bahan pipa yang digunakan ialah *Polyvinyl chloride* (PVC) dengan nilai kekerasan ( $\epsilon$ ) = 0.0015 mm,

$$Relative\ Roughness = \frac{\epsilon}{D}$$

Nilai yang diperoleh melalui perhitungan sebelumnya, lalu dicari angka yang paling mendekati pada kurva *relative roughness* dengan memakai diagram *Darcy Friction Factor for Pipe Flow*. Sehingga diperoleh nilai *friction factor* dari pipa.

Persamaan perhitungan nilai *head loss mayor* sebagai berikut:

$$h_I = F \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

Dimana:

$L$  : Panjang pipa (m)

$v$  : Kecepatan aliran fluida

$D$  : Diameter pipa (m)

$g$  : Percepatan gravitasi

$f$  : Kofisien kerugian gesek

#### b. Head loss minor ( $H_{lm}$ )

Diketahui:

$V$  : ..... (m/s)

Elbow : ...  $f$  = dari tabel 2.4

Tee : ...  $f$  = dari tabel 2.4

Ball valve : ...  $f$  = dari tabel 2.4

Union socket : ...  $f$  = dari tabel 2.2

Foot valve : ...  $f$  = dari tabel 2.2

Water meter : ...  $f$  = dari tabel 2.2

Reduce : ...  $f$  = dari tabel 2.3

Persamaan perhitungan nilai *head loss mayor* sebagai berikut:

$$H_{LF} = n \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Dimana :

$n$  : Jumlah item

$f$  : Kofisien kerugian gesek

$D$  : Diameter pipa (m)

$L$  : Panjang pipa (m)

$v$  : Kecepatan aliran fluida

$g$  : Percepatan gravitasi

#### C. Head loss ( $H_L$ )

$$H_L = H_I + H_{lm}$$

Dimana:

$H_L$  : Head loss Total (m)

$H_I$  : Head loss mayor (m)

$H_{lm}$  : Head loss minor (m)

#### D. Head Total Pompa (H)

$$H = \left( Z + (\Delta hp) + \left( \frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} \right) + \sum (h_{lm} + h_l) \right)$$

Dimana:

$V_d$ : Kecepatan Aliran pada sisi keluar/discharge

$V_s$ : Kecepatan Aliran pada sisi hisap/suction

$h_{lm}$ : Rugi total *head loss minor* (m)

$h_l$ : Rugi total *head loss mayor* (m)

$g$ : Percepatan Gravitasi ( )

$\Delta hp$  : 0, karena tekanan yang bekerja

$Z$  : 0, karena tidak ada beda ketinggian permukaan air di sisi *suction* dan *discharge*

#### 7. Daya Pompa

Daya pompa adalah daya output pompa terukur yang diberikan kepada fluida. Daya pompa dirumuskan sebagai berikut: [9] [13]

$$p_{pompa} = p \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dimana :

$P_{pompa}$  = Daya air/pompa

$\rho$  = massa jenis air ( $kg/m^3$ )

$pg$  = gravitasi bumi ( $9,81 m/s^2$ )

$Q$  = kapasitas aliran ( $m^3/s$ )

$H$  = head total (m)

#### 8. Daya Listrik

Daya listrik pompa dapat dihitung dengan persamaan:  $P_{listrik} = V \cdot I$   
 $I = \frac{P_{motor}}{V_{oltas}}$

Dimana :

$V$  = Tegangan listrik (Voltase)

$I$  = Arus listrik (Ampere)

#### 9. Efisiensi Pompa ( $\eta$ )

Efisiensi pompa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{pompa}}{P_{listrik}} \times 100\%$$

Dimana:

$$\eta = \text{Efisiensi pompa}$$

$$P_{pompa} = \text{Daya pompa}$$

$$P_{listrik} = \text{Daya listrik}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan pada penelitian ini merupakan data nilai hasil perhitungan bukaan katup penuh, bukaan katup 2/3, dan bukaan katup 1/3 pada pompa sentrifugal yang telah dikerjakan sehingga diperoleh suatu hasil perbandingan dari head total, debit, efisiensi pompa, dan daya pompa. Dan dimasukkan didalam bentuk yang berupa tabel, sebagai berikut ini:

### Analisis Karakteristik Pompa

Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menjabarkan hasil gambaran dari perbandingan dua pompa sentrifugal terhadap hubungan antara *head* pada bukaan katup, debit pada bukaan katup, efisiensi pada bukaan katup, dan daya pompa pada bukaan katup yang ditampilkan berupa grafik seperti berikut:

#### Head Pada Bukaan Katup

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai head total pompa 1 dan pompa 2 mengalami penurunan akibat dari pengaruh pengaturan varisai bukaan katup yang diperbesar, sehingga nilai *head* total berbanding terbalik dengan bukaan katupnya. Untuk nilai head tertinggi diperoleh pada bukaan katup 1/3.

Untuk pompa 1 pada bukaan penuh nilai *head* total yang diperoleh sebesar 20,88 m, pada bukaan katup 2/3 sebesar 21,37 m, dan pada bukaan katup 1/3 sebesar 89,14 m. Sedangkan untuk pompa 2 pada bukaan penuh nilai *head* total yang diperoleh sebesar 23,86 m, pada bukaan katup 2/3 sebesar 27,37 m, dan pada bukaan 1/3 sebesar 66,427 m. Hasil dari nilai *head* total yang diperoleh dari penelitian ini dipengaruhi dari proses perhitungan pada persamaan berikut:

$$H = \left( Z + (\Delta hp) + \left( \frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} \right) + \sum (h_{lm} + h_l) \right)$$

#### Debit Pada Bukaan Katup

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai debit pada pompa 1 dan pompa 2 terjadi mengalami kenaikan yang signifikan akibat dari pengaruh pengaturan varisai bukaan katup yang diperbesar, sehingga nilai debit berbanding lurus dengan bukaan katupnya. Nilai debit tertinggi diperoleh pada bukaan katup penuh. Pada pompa untuk 1 bukaan penuh nilai debit yang diperoleh sebesar  $2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  pada bukaan katup 2/3 sebesar  $2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , dan pada bukaan katup 1/3 sebesar  $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ . Sedangkan untuk pompa 2 pada bukaan penuh nilai debit yang diperoleh sebesar  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , pada bukaan katup 2/3 sebesar  $2,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , dan pada bukaan 1/3 sebesar  $1,19 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , perolehan hasil ini dipengaruhi dari persamaan  $Q = \frac{V(\text{liter})}{t(\text{detik})}$

### Efisiensi Pada Bukaan Katup

Pada grafik diatas menampilkan bahwa nilai efisiensi pada pompa 1 berbanding terbalik dengan pompa 2 yang terjadi kenaikan dengan seiring dari pengaruh bukaan katup yang diperkecil, Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada bukaan katup 1/3. Pada pompa untuk 1 bukaan penuh nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 38,52%, pada bukaan katup 2/3 sebesar 34,56%, dan pada bukaan katup 1/3 sebesar 82,18%. Sedangkan untuk pompa 2 pada bukaan penuh nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 47,16% pada bukaan katup 2/3 sebesar 48,70%, dan pada bukaan 1/3 sebesar 50,52%. Perolehan data ini dipengaruhi dari nilai daya pompa, dengan persamaan berikut ini :

$$\eta = \frac{P_{pompa}}{P_{listrik}} \times 100\%$$

### Daya Pompa Pada Bukaan Katup

Dari grafik diatas diketahui bahwa nilai Daya pompa untuk pompa 1 pada bukaan penuh nilai daya pompa yang diperoleh sebesar 0,57 kW, pada bukaan katup 2/3 sebesar 0,51 kW, dan pada bukaan katup 1/3 sebesar 1,21 kW. Sedangkan untuk pompa 2 pada bukaan penuh nilai daya sebesar 0,69 kW, pada bukaan katup 2/3 sebesar 0,72 kW, dan pada bukaan 1/3 sebesar 0,74 kW. Hasil dari nilai daya pompa ini dipengaruhi oleh penjumlahan hasil data yang dimasukkan ke dalam persamaan berikut ini:

$$P_{pompa} = p.g.Q.H$$

## KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian analisa data pompa sentrifugal ini sebagai berikut:

1. Head pompa tertinggi diperoleh pompa 1 bukaan 1/3 sebesar 89,14 m pada debit  $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
2. Nilai efisiensi pompa tertinggi didapat pompa 1 bukaan 1/3 sebesar 82,18% pada debit  $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{head}$  total 89,14 m.
3. Nilai debit tertinggi didapatkan dari pompa 2 sebesar  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  pada bukaan katup penuh.
4. Daya pompa tertinggi didapat pompa 1 bukaan 1/3 sebesar 1218 watt pada debit  $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  head total 89,14 m.
5. Bukaan valve mempengaruhi tekanan yang terukur, jika bukaan valve penuh tekanan suction yang terukur nilainya kecil dan sebaliknya pada tekanan discharge terukur nilainya tinggi.
6. Daya listrik yang diperoleh pada pompa 1 dan pompa 2 sebesar 1482 watt
7. Bukaan valve akan mempengaruhi nilai dari Flowmete

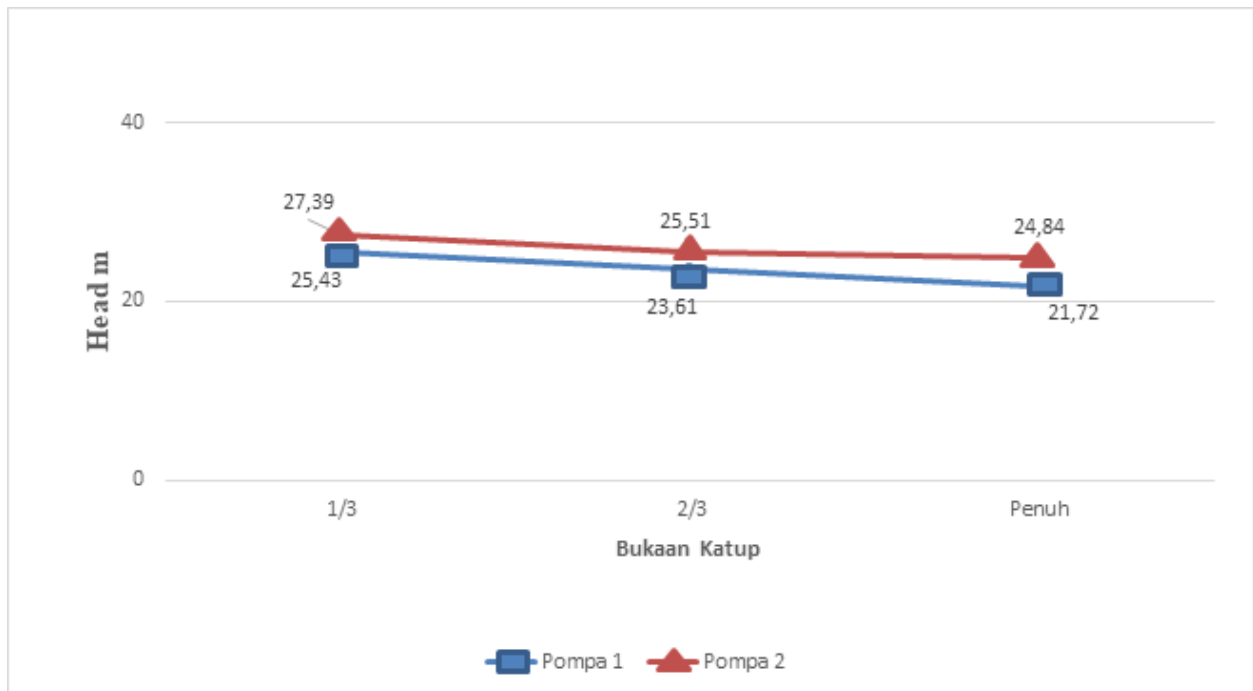


Figure 1. Grafik Head PadaBukaan Katap

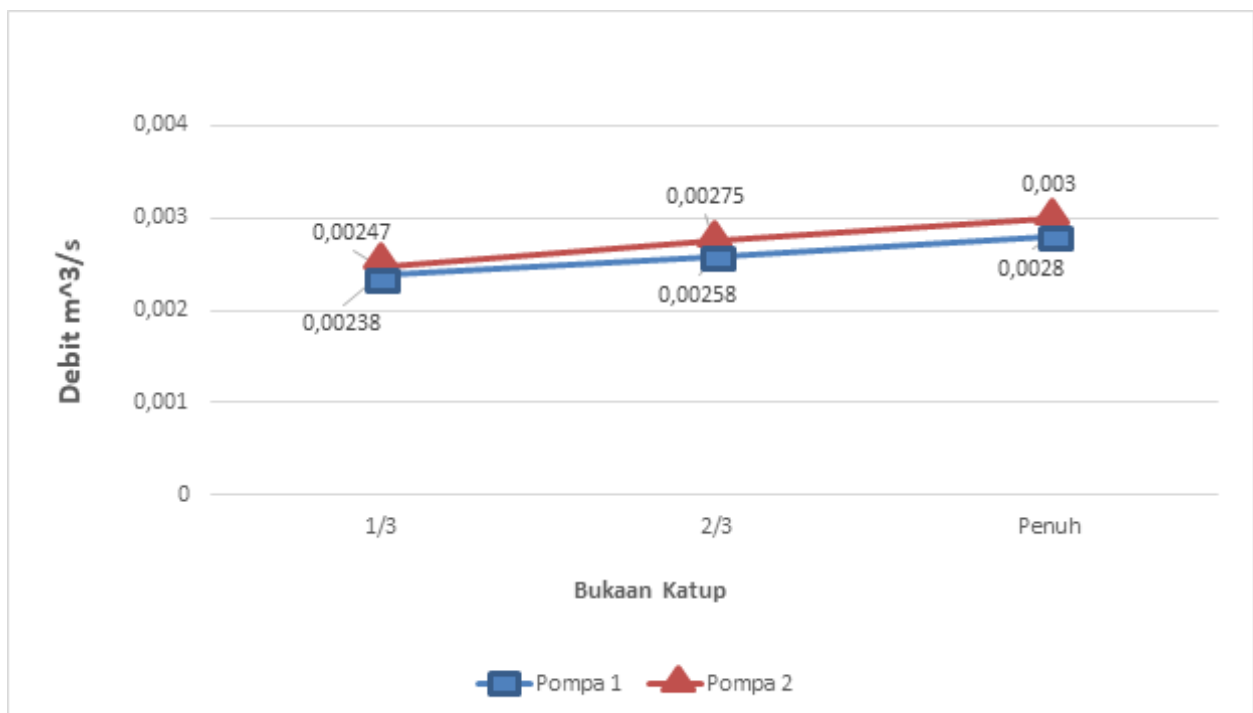


Figure 2. Grafik Debit PadaBukaan Katap

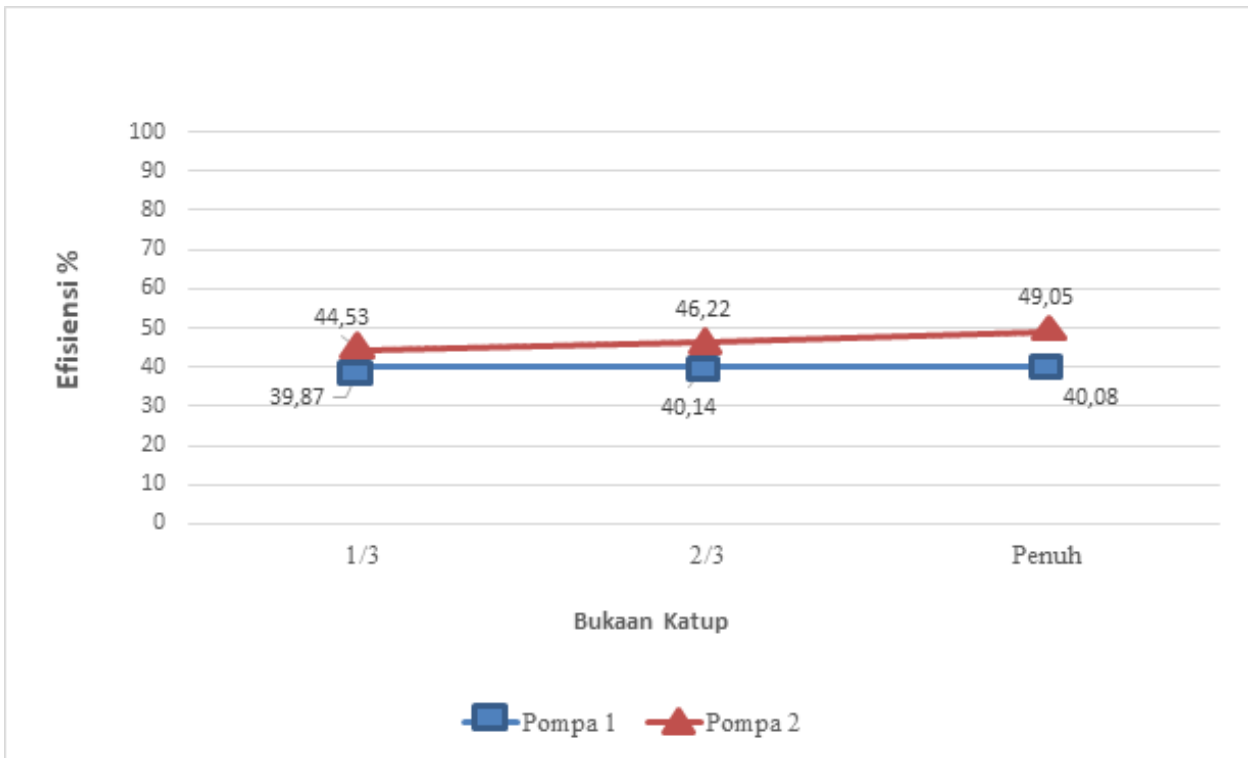


Figure 3. Grafik Efisiensi PadaBukaan Katup

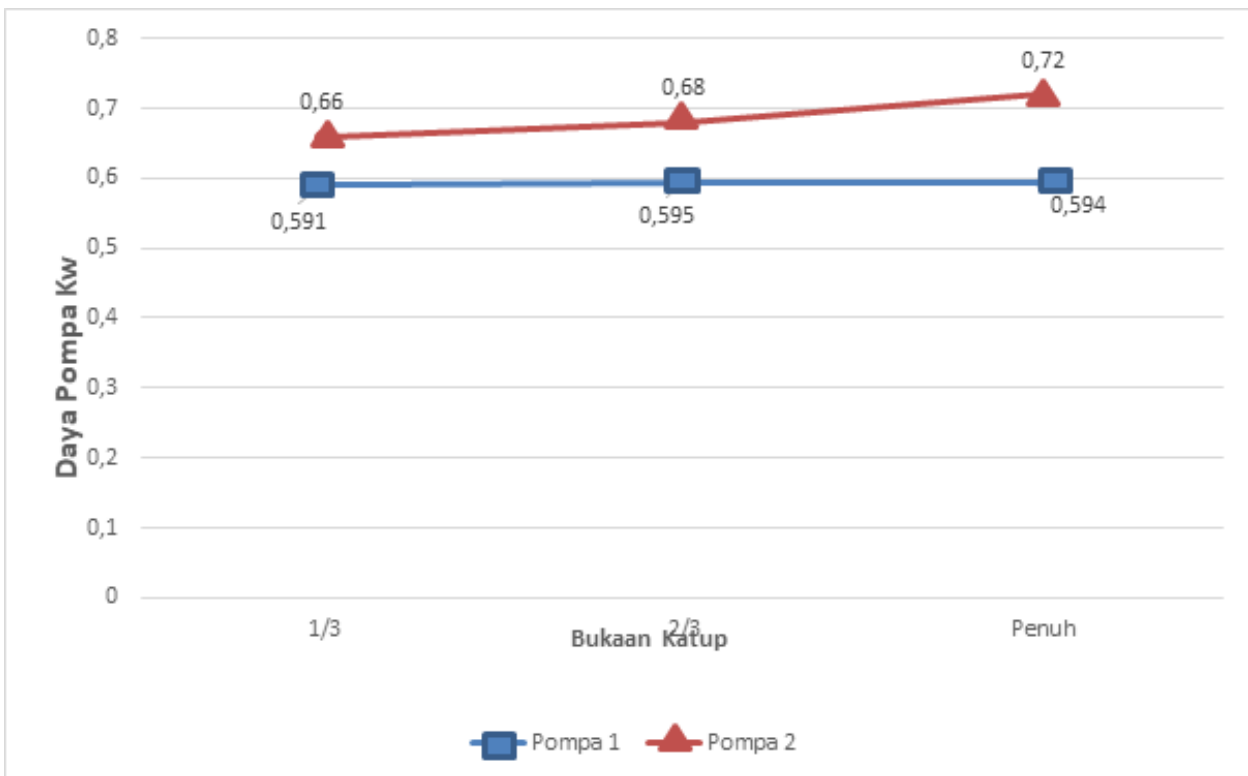


Figure 4. Grafik Daya PompaPada Bukaan Katup

**Table 1.** Data Hasil Pehitungan Pompa 1

Bukaan Valve	Vs (m/s)	Vd (m/s)	Head Total (m)	$Q(\frac{m^3}{s})$	Putaran (RPM)
Penuh	2,4	5,6	21,72	$2.8 \times 10^{-3}$	2900
2/3	2,26	5,16	23,61	$2.58 \times 10^{-3}$	2900
1/3	2,08	4,76	25,43	$2.38 \times 10^{-3}$	2900

**Table 2.** Data Hasil Perhitungan Pompa 2

Bukaan Valve	Vs(m/s)	Vd(m/s)	Head Total (m)	$Q(\frac{m^3}{s})$	Putaran (RPM)
Penuh	2,6	6	24,84	$3 \times 10^{-3}$	2900
2/3	2,3	5,4	25,51	$2.75 \times 10^{-3}$	2900
1/3	2,16	4,94	27,39	$2.47 \times 10^{-3}$	2900

**Table 3.** Data Hasil Perhitungan Daya Pompa & Efisiensi

Bukaan Valve	Daya Pompa(Watt)		Efisiensi( % )		Daya Listrik(Watt)
	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 1 & Pompa 2
Penuh	594	727	40.08	49.05	1482
2/3	595	685	40.14	46.22	1482
1/3	591	660	39.87	44.53	1482

**Table 4.** Data Hasil Head Losses Pompa

	Head Loss Mayor (m)		Head Loss Minor(m)	
	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 1	Pompa 2
Penuh	2,69	2,92	17,73	20,52
2/3	2,3	2,42	20,22	21,89
1/3	1,96	2,1	22,54	24,29

## REFERENCES

- [1] 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) Jurnal*, vol. 3, no. 2, pp. 71–71, 2019. [Online]. Available: [10.21070/r.e.m.v3i2.1884](https://doi.org/10.21070/r.e.m.v3i2.1884); <https://dx.doi.org/10.21070/r.e.m.v3i2.1884>
- [2] J. G. Dongoran, 2012.
- [3] Widodo, "Analisa Performansi Pompa Sentrifugal Susunan Tunggal," 2016.
- [4] A. Volkov, A. G. Parygin, A. Naumov, A. A. Vikhlyantsev, and A. A. Druzhinin, "Application of Methods of the Optimum Control Theory for Development of High Efficiency Centrifugal Pumps," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 19, pp. 8768–8778, 2017.
- [5] E. Widodo and R. Y. Pradhana, "Analysis of pipe diameter variation in axial pumps for reducing head loss," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 403, no. 1, pp. 012 029–012 029, 2018. [Online]. Available: [10.1088/1757-899x/403/1/012029](https://doi.org/10.1088/1757-899x/403/1/012029); <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/403/1/012029>
- [6] H. Sularso and Tahara, 2000.
- [7] F. Ansori and E. Widodo, "Analysis on Centrifugal Pump Performance in Single, Serial, and Parallel," *Journal of Energy, Mechanical, Material and Manufacturing Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 79–79, 2018. [Online]. Available: [10.22219/jemmm.v3i2.6958](https://doi.org/10.22219/jemmm.v3i2.6958); <https://dx.doi.org/10.22219/jemmm.v3i2.6958>
- [8] A. F. Silaen, "Viewshed Analysis for Improving the Effectiveness of Watchtowers, in the North of Mexico~!2010-03-06~!2010-06-14~!2010-07-26~!" pp. 17–22, 2010. [Online]. Available: [10.2174/1874398601003010017](https://doi.org/10.2174/1874398601003010017); <https://dx.doi.org/10.2174/1874398601003010017>
- [9] S. R. A. K. S. Sharma, "Design Optimization of Centrifugal Pump Impeller By Varying Blade Angle-a Review," *IJAET (International J. Appl. Eng.*

*Technol*, vol. 3, no. 2, pp. 321–326, 2016.

- [10] E. P. Putro, E. Widodo, A. Fahrudin, and I. Iswanto, “ANALISIS HEAD POMPA SENTRIFUGAL PADA RANGKAIAN SERI DAN PARALEL,” *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 46–56, 2020. [Online]. Available: [10.23917/mesin.v21i2.10671](https://doi.org/10.23917/mesin.v21i2.10671); <https://dx.doi.org/10.23917/mesin.v21i2.10671>
- [11] A. Muliawan and A. Yani, “Analisa Head Mayor Dan Minor Pompa Chiller Dengan Buka Katup Instalasi Pompa Tunggal,” *JST (Jurnal Sains Terapan)*, vol. 4, no. 1, pp. 63–69, 2018. [Online]. Available: [10.32487/jst.v4i1.454](https://doi.org/10.32487/jst.v4i1.454); <https://dx.doi.org/10.32487/jst.v4i1.454>
- [12] A. Puspawan, 2013.
- [13] K. L. Goheen, S. G. Vermilyea, J. Vossoughi, and J. R. Agar, “Torque Generated by Handheld Screwdrivers and Mechanical Torquing Devices for Osseointegrated Implants,” *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, vol. 9, no. 2, pp. 149–55, 1997.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*

**Article History:**

*Received: 28 April 2020 | Accepted: 29 Mei 2020 |  
Published: 30 Juni 2020*