

## Uji Eksperimental Fenomena *Water Hammer* dengan Variasi Ketinggian *Surge tower*

Amrullah<sup>1</sup>, Muh.Rusdi<sup>2</sup>, Yiyin Klistafani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia  
\* [amrullah@poliupg.ac.id](mailto:amrullah@poliupg.ac.id)

**Abstract-** *In this study an analysis of the water hammer process was carried out in a piping installation with two pumps of different specifications arranged in a single arrangement. The solution given as a form of water hammer protection is variations in the height of the surge tower in piping installations. The aim of this research is to identify the phenomenon of water hammer in piping installations with different pump discharges and the effect of the height of the surge tower as a damper against pressure fluctuations that occur. The test is carried out by closing the valve suddenly and varying the height of the surge tower to determine the pressure value that occurs due to the water hammer effect. From the experimental test results, it can be seen that a surge tower with a height of 1 meter can best dampen back pressure due to the water hammer effect at a discharge of 2.4 m<sup>3</sup>/h. The theoretical and experimental analysis shows that the addition of a surge tower can reduce the pressure due to the water hammer effect. The pressure drop is 2.6 kg/cm<sup>2</sup> to 2.2 kg/cm<sup>2</sup> in pump installation 1 and the pressure drop is from 4.6 kg/cm<sup>2</sup> to 1.8 kg/cm<sup>2</sup> in pump installation 2. The use of a surge tower with a height of 1 meter can best reduce back pressure with 2.78 hours s at a discharge of 1.4 m<sup>3</sup>/h.*

**Keywords:** *water hammer, pump, surge tower*

**Abstrak-** Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap proses water hammer pada instalasi perpipaan dengan dua pompa berbeda spesifikasi yang dirangkai tunggal. Solusi yang diberikan sebagai bentuk proteksi water hammer yaitu variasi ketinggian *surge tower* pada instalasi perpipaan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi fenomena water hammer pada instalasi perpipaan dengan debit pompa yang berbeda dan pengaruh ketinggian *surge tower* sebagai peredam terhadap fluktuasi tekanan yang terjadi. Pengujian dilakukan dengan melakukan penutupan katup secara tiba-tiba dan memvariasikan tinggi *surge tower* untuk menentukan nilai tekanan yang terjadi akibat efek water hammer. Dari hasil pengujian secara eksperimental, dapat diketahui bahwa *surge tower* dengan tinggi 1 meter dapat meredam tekanan balik paling baik akibat efek water hammer pada debit 2.4 m<sup>3</sup>/h. Dari analisa secara teori dan eksperimen menunjukkan bahwa penambahan *surge tower* dapat menurunkan tekanan akibat efek water hammer. Penurunan tekanan sebesar 2.6 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 2.2 kg/cm<sup>2</sup> pada instalasi pompa 1 dan penurunan tekanan dari 4.6 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1.8 kg/cm<sup>2</sup> pada instalasi pompa 2. Penggunaan *surge tower* dengan tinggi 1 meter dapat meredam tekanan balik paling baik dengan waktu 2.78 s pada debit 1.4 m<sup>3</sup>/h.

**Kata kunci:** *water hammer, pompa, surge tower*

### I. PENDAHULUAN

Fenomena yang sering terjadi pada instalasi pompa dan perpipaan adalah fluktuasi tekanan aliran fluida karena penutupan katup secara mendadak atau pompa yang berhenti beroperasi secara tiba-tiba. Hal ini dapat menimbulkan perubahan tekanan yang menyerupai suatu pukulan yang dikenal dengan efek pukulan air (*water hammer*). Dalam skala kecil, efek *water hammer* dapat menyebabkan instalasi perpipaan mengalami getaran atau menimbulkan suara tiba-tiba. Jika kekuatan pukulan air yang ditimbulkan cukup besar dapat menimbulkan tekanan balik yang berdampak pecahnya pipa dan kerusakan pada beberapa peralatan pada instalasi perpipaan. Fenomena ini tidak terlihat langsung dengan kasat mata dan hanya dapat dianalisa melalui dampak yang ditimbulkan melalui gejala-gejala yang terjadi sehingga diperlukan alat simulasi untuk mengidentifikasi proses *water hammer* pada instalasi perpipaan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Reza, meningkatkan energi pemompaan secara konstan karena *water hammer* dapat menyebabkan penurunan daya pompa dan mengurangi debit pemompaan[1] sehingga beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk menganalisa dan mengatasi efek *water hammer* diantaranya dengan penambahan *drive pipe* berbahan PVC dan galvanis pada sistem perpipaan menggunakan pompa hydram[2]. Penelitian terkait juga dilakukan untuk memproteksi efek *water hammer* pada sistem perpipaan dengan rangkaian pompa paralel yang dilengkapi *flywheel* pada instalasi pompa dan divariasikan dengan penambahan *gas accumulator*[3].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Pandey pada berbagai jenis surge tank yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga air, ditemukan bahwa diameter *sharp orifice* dan saluran sempit memainkan peran penting dalam menghalangi aliran massa air dalam surge tank untuk mengurangi efek *water hammer*[4].

Dari penelitian terkait rangkaian pompa dapat diketahui bahwa pengujian pada pompa ganda dengan spesifikasi yang sama dapat meningkatkan daya hidrolik pompa dan menurunkan kecepatan rata-rata fluida pada tiap kenaikan head tekan[5]. Pada penelitian yang dilakukan Avanish Kumar, efek *water hammer* dapat diminimalisir dengan penggunaan *Pressure Transducer* (PT) yang ditempatkan pada titik dimana efek transien dapat diabaikan yaitu di hilir *orifice*[6].

Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap proses *water hammer* pada instalasi perpipaan dengan dua pompa berbeda spesifikasi yang dirangkai tunggal. Adapun solusi yang diberikan sebagai bentuk proteksi *water hammer* yaitu variasi ketinggian *surge tower* pada instalasi perpipaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi fenomena *water hammer* pada instalasi perpipaan dengan debit pompa yang berbeda dan pengaruh ketinggian *surge tower* sebagai peredam terhadap fluktuasi tekanan yang terjadi.

### Kinerja Pompa Sentrifugal

Beberapa persamaan yang digunakan diantaranya:

Kecepatan rata-rata fluida (V) ditentukan dari besarnya debit (Q) terhadap luas penampang pipa (A).

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

Penentuan daya output pompa diperoleh dari massa jenis air ( $\rho$ ), percepatan gravitasi (g), head total (H) dan debit (Q)[7].

$$P_{out} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (2)$$

Efisiensi Pompa dapat ditentukan dari perbandingan daya output pompa ( $P_{out}$ ) terhadap daya input ( $P_{in}$ )

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Penentuan bilangan *Reynolds* adalah untuk mengetahui jenis aliran dengan parameter V adalah kecepatan rata-rata fluida di dalam suatu pipa berdiameter D dan viskositas kinematis ( $\nu$ ) [3].

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (4)$$

Fenomena *water hammer* terjadi ketika aliran dihentikan secara mendadak dan dirubah menjadi tekanan. Hubungan antara kecepatan dan perubahan tekanan dijelaskan dalam persamaan *Joukowsky*. Kecepatan perambatan gelombang tekanan di dalam pipa diformulasikan dari modulus bulk fluida dan

modulus bulk elastisitas[3]. Kecepatan perambatan gelombang tekanan dapat diformulasikan sebagai berikut[2]:

$$c = \sqrt{\frac{K}{1 + \frac{DK}{Ee}} \times \frac{1}{\rho}} \quad (5)$$

D = Diameter pipa (m); e=ketebalan dinding pipa (m); E=Modulus elastisitas pipa; K=Modulus elastisitas fluida air= $2.1 \times 10^9$  Pa.

Persamaan dasar *waterhammer* menghubungkan perubahan tekanan karena perubahan sesaat dalam kecepatan aliran untuk penurunan kecepatan gelombang dan tekanan dalam pipa[8].

$$\Delta P = \rho \cdot c \cdot \Delta v \quad (6)$$

$\Delta P$  merupakan tekanan air akibat *water hammer* yang dipengaruhi dari massa jenis fluida ( $\rho$ ), kecepatan perambatan gelombang (c) dan perubahan kecepatan fluida dalam saluran ( $\Delta v$ ).

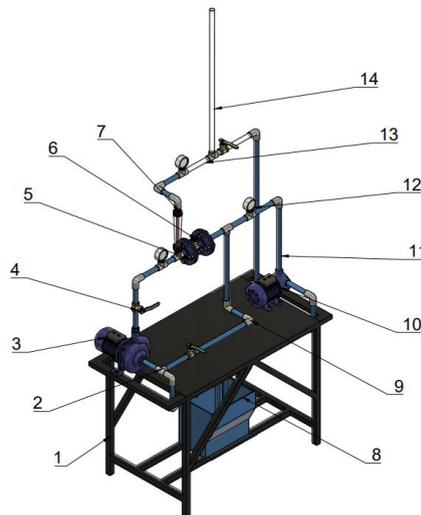
## II. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan dengan metode eksperimental terhadap fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi perpipaan dan solusi pencegahannya sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1.

Pengujian dilakukan dengan melakukan penutupan katup secara tiba-tiba dan memvariasikan tinggi *surge tower* untuk menentukan nilai tekanan yang terjadi akibat efek *water hammer*. Flowmeter digunakan untuk mengatur debit maksimal pada setiap instalasi perpipaan. Jenis pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan spesifikasi pompa 1 : Model SE-125A, kapasitas maksimal 30 L/min, daya hisap maks : 9 m, tinggi dorong 24 m; pompa 2 : Model CPM-130, Qmax:80 L/min, H<sub>max</sub>=16 m, suct.max 9 m.

Keterangan:

1. Meja Simulasi
2. Sambungan T
3. Pompa 2
4. Ball valve
5. Flange
6. Gate valve
7. Rotameter
8. Reservoir
9. Sambungan elbow
10. Pompa 1
11. Pipa galvanis
12. Pressure gauge
13. Pipa acrylic
14. Surge tower



Gambar 1. Instalasi Alat Pengujian

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara eksperimental telah dilakukan pengujian terhadap fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi perpipaan dan hasilnya aditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2.

Rangkaian	Q (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	Re	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>m</sub> (W)	η
Pompa 1	1	0.5485	15653.2	2.886	125	2.31
	1.2	0.6582	18783.9	3.767	125	3.01
	1.4	0.7679	21914.5	4.815	125	3.85
Pompa 2	2	1.0970	31306.5	8.664	125	6.93
	2.2	1.2067	34437.1	10.465	125	8.37
	2.4	1.3164	37567.8	12.533	125	10.03

Tabel 1. Hasil perhitungan pompa 1 dan pompa 2

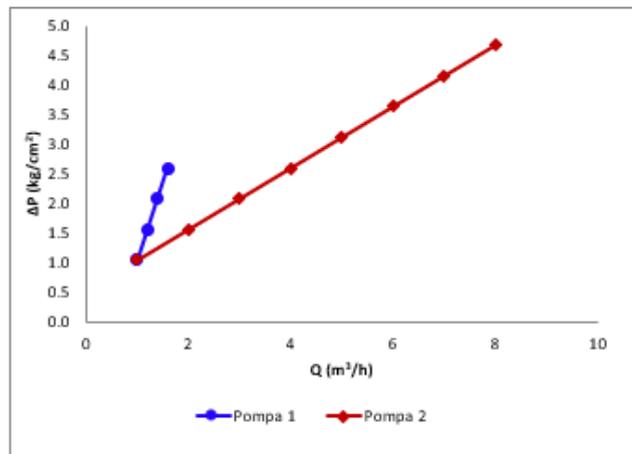
Pompa	Q (m <sup>3</sup> /h)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	t (s)
Tanpa Tower			
1	1	2.2	1.31
	1.2	2.2	0.93
	1.4	2.2	0.76
2	2	1.8	0.8
	2.2	1.8	0.77
	2.4	1.8	0.68
Tower 0.25 m			
1	1	2.2	2.6
	1.2	2.2	2.5
	1.4	2.2	2.31
2	2	1.8	0.89
	2.2	1.8	0.76
	2.4	1.8	0.68
Tower 0.5 m			
1	1	2.2	2.6
	1.2	2.2	2.5
	1.4	2.2	2
2	2	1.8	1.42
	2.2	1.8	1.12
	2.4	1.8	1.06
Tower 1 m			
1	1	2.2	2.78
	1.2	2.2	2.63
	1.4	2.2	2.49
2	2	1.8	1.61
	2.2	1.8	1.55
	2.4	1.8	1.45

Tabel 2. Hasil pegujian dengan surge tower

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 1 dapat diketahui bahwa aliran pada saluran yang menggunakan pompa 1 dan pompa 2 adalah aliran turbulen. Kecepatan aliran 0.769 m/s pada instalasi pompa 1 dan kecepatan mencapai 1.316 m/s pada instalasi pompa 2.

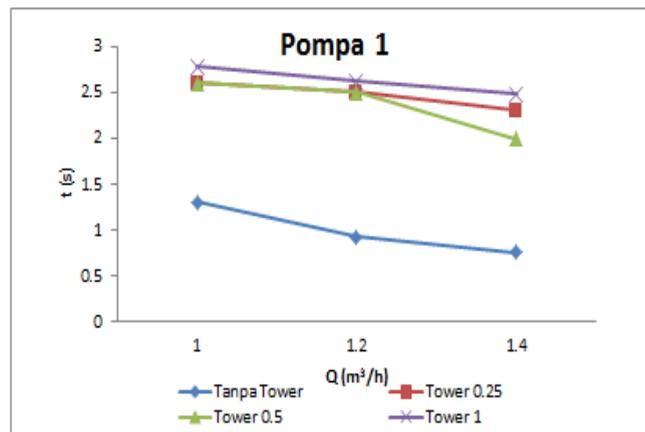
Efisiensi maksimal yang dihasilkan pada instalasi pompa 1 dengan nilai 3.85 % dan efisiensi maksimal pada pompa 2 dengan nilai 10.03%.

Secara teoritis, hubungan antara debit dan tekanan air akibat pengaruh *water hammer* diperlihatkan pada gambar 2. Semakin tinggi debit pada suatu aliran maka kecepatan fluida juga akan mengalami peningkatan yang juga berpengaruh terhadap tekanan air akibat *water hammer*. Pada pompa 1, debit maksimal pada 1.4 m<sup>3</sup>/h sehingga tekanan air akibat *water hammer* dapat mencapai 2.5 kg/cm<sup>2</sup> sedangkan pada pompa 2, dengan debit maksimal 2.4 m<sup>3</sup>/h, tekanan air akibat *water hammer* dapat mencapai 4.6 kg/cm<sup>2</sup>.



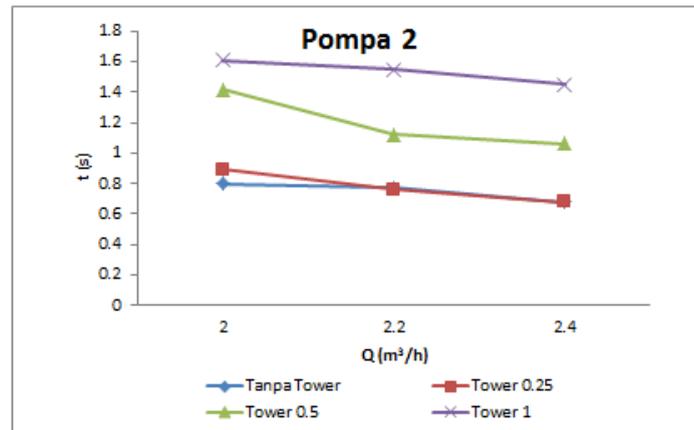
Gambar 2. Hubungan antara debit dan tekanan air akibat *water hammer*

Secara eksperimen, pengambilan data dilakukan pengujian dengan melakukan penutupan katup secara tiba-tiba dan dengan memvariasikan tinggi *surge tower* untuk menentukan nilai tekanan yang terjadi akibat efek *water hammer*. Pengujian awal dilakukan tanpa *surge tower* kemudian dibandingkan dengan pemasangan *surge tower* dengan ketinggian yang berbeda yaitu 0.25m, 0.5 m dan 1 m. Perolehan data waktu ditentukan setelah nilai penunjukan nilai tekanan maksimal pada *pressure gauge*.



Gambar 3. Grafik hubungan debit pompa 1 terhadap waktu

Pada gambar 3 dapat diketahui hubungan antara debit yang divariasikan pada rangkaian pompa 1 yaitu 1 m³/h, 1.2 m³/h dan 1.4 m³/h terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan maksimal setelah penutupan katup secara tiba-tiba. Tekanan maksimal yang dicapai pada pompa pertama setelah penutupan katup adalah 2.2 kg/cm². Pada gambar 3 dapat terlihat waktu terendah yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan maksimal ditunjukkan pada instalasi tanpa *surge tower* yaitu 0.68 s sedangkan waktu tertinggi yaitu 2.78 s dibutuhkan untuk mencapai tekanan maksimal pada instalasi dengan *surge tower* 1 meter. Pada instalasi dengan *surge tower* 0.25 meter dan 0.5 m, waktu tertinggi yang dibutuhkan adalah 2.6 s. Hal tersebut menunjukkan *surge tower* dengan tinggi 1 meter dapat meredam tekanan balik paling baik akibat efek *water hammer* pada debit 1.4 m³/h.



Gambar 4. Grafik hubungan debit pompa 2 dan waktu

Hubungan antara debit yang divariasikan pada rangkaian pompa 2 yaitu 2 m<sup>3</sup>/h, 2.2 m<sup>3</sup>/h dan 2.4 m<sup>3</sup>/h terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan maksimal dapat ditunjukkan pada gambar 4. Tekanan maksimal yang dicapai pada pompa kedua setelah penutupan katup adalah 1.8 kg/cm<sup>2</sup>. Pada instalasi tanpa *surge tower* ditunjukkan waktu terendah yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan maksimal dan pada instalasi dengan *surge tower* setinggi 1 meter, waktu tertinggi yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan maksimal yaitu 1.6 detik. Pada instalasi dengan *surge tower* 0.25 meter dan tanpa *surge tower* menunjukkan waktu yang hampir sama untuk mencapai tekanan tertinggi yaitu sekitar 0.8 detik. Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa *surge tower* dengan tinggi 1 meter dapat meredam tekanan balik paling baik akibat efek *water hammer* pada debit 2.4 m<sup>3</sup>/h.

Dari analisa secara teori dan eksperimen menunjukkan bahwa penambahan *surge tower* dapat menurunkan tekanan akibat efek *water hammer*. Hal ini dapat diketahui dari penurunan tekanan sebesar 2.6 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 2.2 kg/cm<sup>2</sup> pada instalasi pompa 1 dan penurunan tekanan dari 4.6 kg/cm<sup>2</sup> diturunkan menjadi 1.8 kg/cm<sup>2</sup> pada instalasi pompa 2.

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dihasilkan alat simulasi pompa sentrifugal dengan spesifikasi yang berbeda dengan alat pengujian *surge tower* yang divariasikan ketinggiannya. Dari analisa secara teori dan eksperimen menunjukkan bahwa penambahan *surge tower* dapat menurunkan tekanan akibat efek *water hammer*. Penurunan tekanan sebesar 2.6 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 2.2 kg/cm<sup>2</sup> pada instalasi pompa 1 dan penurunan tekanan dari 4.6 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1.8 kg/cm<sup>2</sup> pada instalasi pompa 2. Secara eksperimen dapat diketahui bahwa *surge tower* dengan tinggi 1 meter dapat meredam tekanan balik paling baik dengan waktu 2.78 s pada debit 1.4 m<sup>3</sup>/h.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Fatahi-Alkouhi, B. Lashkar-Ara, and A. Keramat, "On The Measurement of Ram-Pump Power by Changing in Water Hammer Pressure Wave Energy," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 10, no. 4, pp. 681–693, 2019, doi: 10.1016/j.asej.2019.05.001.
- [2] Rusmana, S. R. Runisa, and R. Melati, "Potensi Tekanan Water Hammer pada Pipa PVC 1,5 in sebagai Drive Pipe untuk Pompa Hidram," *J. Tek. Energi*, vol. 6, pp. 536–540, 2016.
- [3] H. Prasetya and N. Ikhwan, "Evaluasi Unjuk Kerja Sistem Proteksi Water Hammer pada Sistem Perpipaan," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 5–8, 2016.
- [4] M. Pandey and B. Lie, "The influence of surge tanks on the water hammer effect at

- different hydro power discharge rates,” no. September, pp. 22–24, 2020, doi: 10.3384/ecp20176125.
- [5] Amrullah and A. Naro, “Rancang Bangun Alat Simulasi Pompa Sebagai Media Pembelajaran,” *Pros. Semin. Nas. Teknol. Ind. IV*, pp. 380–385, 2016.
- [6] A. Kumar, P. S. Prasad, and M. R. Rao, “Experimental Studies of Water Hammer in Propellant Feed System of Reaction Control System,” *Propuls. Power Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 52–59, 2018, doi: 10.1016/j.jprr.2018.01.002.
- [7] J. B Manga, *Dasar-dasar Pompa dan Perencanaan*. Ujung Pandang, 1990.
- [8] M. H. Chaudhry, *Applied hydraulic transients*. 1979. doi: 10.13182/nt81-a32632.