

Kajian eksperimental pengaruh tabung udara pada head tekanan pompa hidram

Made Suarda⁽¹⁾ dan IKG Wirawan⁽²⁾

^{(1),(2)} Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pompa hidram bekerja berdasarkan prinsip palu-air. Ketika aliran fluida dihentikan secara tiba-tiba, maka perubahan momentum massa fluida tersebut akan meningkatkan tekanan secara tiba-tiba pula. Peningkatan tekanan ini digunakan untuk mengangkat sebagian fluida tersebut ke tempat yang lebih tinggi. Untuk itu, penelitian ini berusaha untuk mengetahui besarnya head tekanan akibat palu-air pada instalasi pompa hidram dengan dan tanpa tabung udara. Parameter yang diamati adalah besarnya peningkatan tekanan pada pipa pengantar, badan pompa, leher pompa, pipa penyalur serta debit yang dihasilkan pada bak limbah dan bak penampung. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa head tekanan balik di dalam pipa pengantar menurun dari 103,87 m tanpa menggunakan tabung udara menjadi 37,85 m dengan tabung udara. Selanjutnya, dalam pipa penyalur head tekanan akibat water hammer meningkat dari 0,29 m tanpa menggunakan tabung udara menjadi 2,9 m dengan menggunakan tabung udara. Sehingga pemasangan tabung udara dapat meningkatkan efisiensi pompa hidram secara signifikan dari 0.72 % tanpa tabung menjadi 19,45 % dengan tabung udara.

Kata kunci: Pompa hidram, palu air, tabung udara

Abstract

Hydraulic ram works on the principle of water hammer. When a flowing liquid is suddenly brought to rest, the change in momentum of liquid mass causes a sudden rise in pressure. This rise in pressure is utilised to raise a portion of the liquid to higher levels. So, this research is carried out to know rise in pressure caused by water hammer in hydraulic ram installation with and without air vessel. The parameters looking for in this research are pressure shock in drive pipe, pump body, pump neck, delivery pipe, and capacity flowed at a sewage bin and transmitted to a reservoir bin. The results of this research shows that pressure back head that caused by water hammer in drive pipe decreases from 103.87 m without air vessel become to 37.85 m with air vessel. Moreover, pressure shock head in delivery pipe increases from 0.29 m without air vessel become 2.9 m with air vessel. So that by fixing an air vessel can increase sharply efficiency of the hydraulic ram from 0.72% to about 19.45%.

Keywords: Hydraulic ram, water hammer, air vessel

1. Pendahuluan

Pompa hidram adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengangkat air dari suatu tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi dengan memanfaatkan energi potensial sumber air yang akan dialirkan. Pompa hidram mengalirkan air secara kontinyu dengan menggunakan energi potensial sumber air yang akan dialirkan sebagai daya penggerak tanpa menggunakan sumber energi luar [1].

Pompa hidram hanya dapat digunakan pada aliran sumber air yang memiliki kemiringan, sebab pompa ini membutuhkan energi terjunan air dengan ketinggian lebih besar atau sama dengan 1 meter yang masuk ke dalam pompa. Air mengalir melalui pipa penggerak, ke dalam badan pompa dan keluar melalui katup limbah yang terbuka [6].

Pada kecepatan aliran yang mencukupi katup ini akan menutup dengan sangat cepat. Akibatnya, tekanan yang tinggi akan terjadi di dalam badan pompa, selanjutnya air hanya dapat keluar lewat katup tekan ke dalam tabung udara serta mengkompresi udara yang ada dalam tabung sampai kecepatan aliran menjadi nol. Udara yang telah dikompresi tadi akan menekan air dalam tabung

udara tersebut ke dalam pipa penyalur. Akan tetapi, pompa hidram tidak dapat memompa semua air yang masuk, namun sebagian air terpompa dan sebagian lagi terbuang melalui katup limbah.

Beberapa penelitian tentang berbagai rancangan dan performansi pompa hidram telah dilakukan, namun penelitian tersebut belum mengkaji peningkatan tekanan yang terjadi akibat fenomena palu-air pada pompa hidram, atau bahkan mengabaikan fenomena palu-air, padahal pompa hidram bekerja berdasarkan mekanisme palu-air yang terjadi. Di samping untuk mendapatkan aliran pemompaan air yang kontinyu, tabung udara juga berfungsi untuk mengurangi daya yang dibutuhkan pada pompa [7]. Oleh sebab itu, perlu dilakukan kajian mengenai fenomena palu-air pada pompa hidram yang tanpa dilengkapi tabung udara dan tanpa tabung udara.

2. Dasar Teori

2.1. Definisi pompa hidram

Pompa hidram adalah suatu alat untuk mengalirkan air dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi secara kontinyu dengan menggunakan energi potensial sumber air yang akan dialirkan sebagai daya penggerak, tanpa

menggunakan sumber energi luar [1]. Karena itu, pompa ram atau disebut juga sebagai pompa *hydraulic ram* atau *motorless pump*. Pompa hidram bekerja berdasarkan prinsip palu-air. Ketika aliran fluida dihentikan secara tiba-tiba, maka perubahan momentum massa fluida tersebut akan meningkatkan tekanan secara tiba-tiba pula. Peningkatan tekanan ini digunakan untuk mengangkat sebagian fluida tersebut ke tempat yang lebih tinggi [7].

Pada Instalasi pompa, palu-air terjadi bila suatu aliran cair dalam pipa dengan tiba-tiba dihentikan misalnya dengan menutup katup dengan sangat cepat [2]. Di sini seolah-olah zat cair membentur katup sehingga timbul tekanan yang melonjak dan diikuti fluktuasi tekanan disepanjang pipa untuk beberapa saat.

2.2. Mekanisme terjadinya palu-air

Palu-air terjadi dalam konduit-tertutup yang dialiri penuh bila terdapat perlambatan atau percepatan aliran, seperti pada perubahan yang terjadi dengan dibukanya sebuah katup pada jalur pipa. Jika perubahan terjadi secara berangsur-angsur, perhitungannya dapat dilaksanakan dengan metode lonjakan, dengan memandang cairannya sebagai tak mampu-mampat dan konduktivitas tegar. Bila sebuah katup pada jalur pipa ditutup secara cepat pada waktu aliran berlangsung, berkurangnya aliran melalui katup itu. Hal ini meningkatkan tekanan di sebelah katup dan menyebabkan merambatnya suatu pulsa tekanan tinggi ke hulu dengan kecepatan gelombang sonik a . Pulsa tekanan ini akan memperkecil kecepatan aliran. Di sebelah hilir katup tekanan berkurang, dan suatu gelombang tekanan merendah melintas ke hilir dengan kecepatan a , yang juga memperkecil kecepatan. Jika penutupannya cukup dan tekanan sedinya cukup rendah, maka dapat terbentuk gelembung uap di sebelah hilir katup. Bila hal ini terjadi, rongga tersebut akhirnya mengempes dan menimbulkan gelombang tekanan tinggi ke hilir.

Pada pipa yang dihubungkan dengan pompa gejala palu-air ini juga dapat terjadi. Misalnya, pompa listrik yang sedang bekerja tiba-tiba mati, maka aliran air akan terhalang impeler sehingga mengalami perlambatan yang mendadak. Di sini terjadi lonjakan tekanan pada pompa dan pipa, seperti peristiwa menutupnya katup secara tiba-tiba. Besarnya lonjakan tekanan akibat palu-air tergantung pada laju perubahan kecepatan aliran.

2.3. Perhitungan palu-air

Penelitian yang dilakukan pada pompa dewasa ini telah menghasilkan berbagai formula mengenai palu-air. Peningkatan head tekanan yang terjadi akibat penutupan katup secara tiba-tiba dapat ditentukan dengan persamaan Joukowsky [3] :

$$\Delta H_p = \frac{c(v_1 - v_2)}{g} \quad (1)$$

dimana :

ΔH_p = Kenaikan head tekanan (m)

v_1 = Kecepatan aliran air di dalam pipa sebelum *valve* menutup (m/s)

v_2 = Kecepatan aliran air didalam pipa sesudah *valve* menutup (m/s)

c = Kecepatan gelombang suara di dalam air (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Secara sederhana berdasarkan hasil penelitian dari *Plast O Matics Valves Inc* [www.plastomatic.com] perhitungan palu-air dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{[(0,070)]vL}{t} + P_1 \quad (2)$$

dimana :

ΔP = Kenaikan tekanan (psi)

P_1 = Tekanan *inlet* (psi)

v = Kecepatan aliran (ft/s)

t = Waktu yang diperlukan dalam penutupan katup secara tiba-tiba (s)

L = Panjang pipa (ft)

Persamaan ini digunakan untuk aliran steady dalam pipa, tekanan yang meningkat terjadi akibat penutupan *valve* secara tiba-tiba. Untuk menghitung *pressure shock* pada fenomena palu-air dapat dipakai persamaan berikut [4]:

$$P_s = v_s v \rho \quad (3)$$

Dan besarnya kecepatan aliran balik untuk pipa tegar adalah :

$$v_s = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad (4)$$

dimana :

P_s = *Pressure shock* (N/m^2)

v_s = Kecepatan aliran balik (m/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

k = Modulus bulk air (GN/m^2)

Waktu yang dibutuhkan air pada gejala palu-air untuk melakukan perjalanan bolak-balik pada pipa dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$T_p = \frac{2L}{v_s} \quad (5)$$

dimana :

T_p = Periode osilasi (s)

V_s = Kecepatan aliran balik (m/s)

L = Panjang pipa (m)

Pada saat air melalui pipa *drive* dengan luas penampang A_d , kecepatan air v_d dan pada katup limbah luasnya A_w dengan kecepatan v_w , maka persamaan kontinuitas yang berlaku yaitu:

$$Q = A_d \cdot v_d = A_w \cdot v_w \quad (6)$$

dimana :

A_d = Luas penampang pipa *drive* (m^2)

v_d = Kecepatan air di pipa *drive* (m/det)

A_w = Luas penampang saluran katup limbah (m^2)

V_w = kecepatan air di saluran katup limbah (m/det)

Q = Kapasitas aliran (m^3/det)

Besarnya head tekanan yang terjadi dalam instalasi pompa hidram untuk penutupan katup secara gradual adalah [7]:

$$H_p = \frac{l \cdot v}{g \cdot t} \quad (7)$$

dimana :

H_p = Head tekanan (m)

l = Panjang pipa (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

t = Waktu penutupan katup

Besarnya efisiensi pompa hidram dapat dihitung dengan persamaan [5]:

$$\eta = \frac{Q_s \cdot H_s}{(Q_s + Q_w) \cdot H_d} \cdot 100\% \quad (8)$$

Dimana:

η = Efisiensi pompa hidram

Q_s = Kapasitas air pemompaan (m^3/s)

Q_w = Kapasitas air katup limbah (m^3/s)

H_s = Ketinggian pemompaan(m)

H_d = Ketinggian suplai air ke hidram (m)

3. Metode Penelitian

3.1. Rancangan penelitian



Gambar 1. Rancangan pompa hidram tanpa menggunakan tabung udara



Gambar 2. Rancangan pompa hidram dengan menggunakan tabung udara

Penelitian ini dilakukan dengan dan tanpa tabung udara untuk mengetahui pengaruhnya terhadap besarnya palu-air yang terjadi pada pompa hidram. Rancangan alat penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

Adapun variabel yang diamati adalah:

- Perubahan tekanan yang terjadi pada pipa penghantar (P_d), pada tabung udara (P_t), tekanan setelah katup buang tanpa tabung udara (P_{tt}), serta pada badan pompa (P_b),
- Kapasitas yang dihasilkan melalui katup limbah dan pada bak penampung hasil pemompaan

3.2. Tahap-tahap penelitian

Adapun tahap-tahap dari pengujian yang dilakukan yaitu :

- Persiapkan pompa hidram, pada pengujian pertama lakukan dengan menggunakan tabung udara, kemudian pada pengujian kedua dilakukan dengan tanpa tabung udara.
- Cek instalasi agar tidak ada kebocoran
- Buka *gate valve*, pada pengujian kedua pemasangan pressure gauge pada daerah setelah katup limbah dilakukan ketika air sudah keluar dari *tee*.
- Catat tinggi air yang keluar melalui *v-notch weir* pada bak limbah (H_w), tinggi air yang keluar melalui *v-notch weir* pada penampung (H_p), tekanan pada pipa penghantar (P_d), tekanan tabung udara (P_t), tekanan tanpa tabung udara (P_{tt}), serta tekanan yang terjadi pada badan pompa (P_b), Catat waktunya
- Ulangi pengambilan data sampai 10 kali.

Setelah data didapatkan data tersebut diolah untuk mencari kapasitas maupun besarnya peningkatan tekanan akibat palu-air pada pompa hidram.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Pengujian

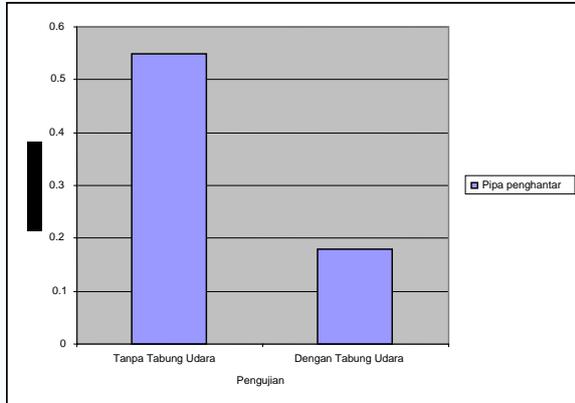
Pengujian dilakukan pada sistem pompa hidram, dengan ketinggian sumber air 1 m, panjang pipa penghantar 6 m, ketinggian pemompaan 10 m, diameter pipa *drive* 1", diameter badan pompa 3", panjang langkah 5 mm dan panjang pipa penyalur 10 m.

Berdasarkan persamaan (5) didapatkan bahwa besarnya periode osilasi fluida dari tangki suplai ke katup limbah adalah 0,008 detik. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk penutupan katup limbah pompa hidram yaitu 0,45 detik untuk tanpa tabung udara, dan 0,52 detik untuk yang dilengkapi tabung udara. Jadi kedua waktu penutupan katup tersebut lebih besar daripada periode osilasi, maka fenomena palu-air terjadi berdasarkan mekanisme penutupan katup secara *gradual*.

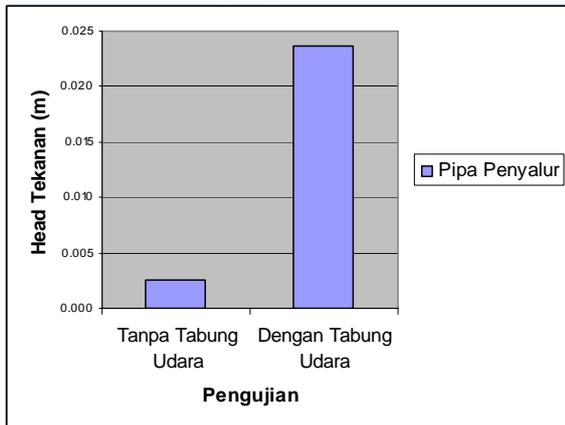
Karena mekanisme penutupan katup yang terjadi secara *gradual*, maka peningkatan tekanan balik (*pressure back*) yang terjadi dihitung berdasarkan persamaan (2), yaitu pada pipa pengantar sebesar 1,72 bar tanpa tabung udara dan 0,15 bar dengan tabung udara. Sedangkan pada pipa penyalur adalah sebesar 2,20 bar tanpa tabung udara dan 0,98 bar.

Berdasarkan hasil pengolahan data pengujian yang telah dilakukan secara berulang-ulang, head tekanan yang terjadi pada pompa hidram dihitung berdasarkan persamaan (7). Pada pipa penghantar

(drive) adalah 0,93 m untuk tanpa tabung udara dan 0,29 m dengan tabung udara. Sedangkan pada pipa penyalur hasil pemompaan adalah 0,004 m dengan debit 0,00025 liter/detik untuk tanpa tabung udara, dan 0,038 m dengan debit 0,0025 liter/detik untuk pompa dengan tabung udara, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Grafik head tekanan pada pipa penghantar



Gambar 4. Grafik head tekanan pada pipa penyalur

Pada Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa head tekanan yang besar terjadi pada pipa penghantar tanpa tabung udara, karena pada instalasi pompa hidram tanpa tabung udara, tidak ada udara yang terkompresi sebelum pipa penyalur, tekanan yang melalui pipa penyalur lebih besar, sehingga untuk memompa air ke bak penampungan katup limbah memompa lebih cepat. Hal ini terbukti dengan banyaknya denyutan yang terjadi. Akibatnya, kapasitas pada bak limbah menjadi besar. Pada akhirnya, head tekanan dalam pipa penghantar menjadi lebih besar, bahkan sampai mengakibatkan *pressure back* yang berlebihan pada bak suplai.

Sebaliknya, pada pipa penyalur, perubahan head tekanan pada instalasi pompa hidram dengan tabung udara lebih besar dibandingkan instalasi pompa hidram tanpa tabung udara. Hal ini terjadi karena, adanya udara yang terkompresi dalam tabung udara menyebabkan kecepatan aliran fluida menjadi lebih stabil sehingga kerugian head akibat akselerasi dan gesekan menjadi lebih kecil sehingga daya berguna yang dihasilkan menjadi lebih besar, di samping juga

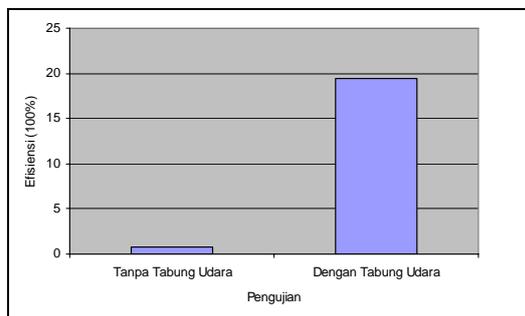
membantu menaikkan air ke bak penampungan, sehingga aliran menjadi lebih kontinyu dengan debit yang lebih besar. Tabung udara dapat mengurangi head akselerasi pada pipa *drive* dari 0,7 meter tanpa menggunakan tabung udara menjadi 0,5 meter dengan tabung udara, sedangkan pada pipa *delivery* berkurang sangat signifikan dari 0,35 meter menjadi 0,04 meter. Sedangkan besarnya head gesekan pada pipa *drive* yang tanpa menggunakan tabung udara adalah 0,005 meter dan pada pipa *delivery* besarnya 0,001 meter. Sedangkan head gesekan pada pipa *drive* dengan menggunakan tabung udara adalah 0,007 meter dan pada pipa *delivery* adalah 0,001 meter.

Sesuai hukum kontinuitas, debit yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan fluida, dengan memakai tabung udara, debit yang dihasilkan pada bak penampung lebih besar dibandingkan tanpa tabung udara. Sehingga pada instalasi pompa hidram dengan tabung udara, kecepatan aliran dalam pipa penyalur lebih tinggi daripada pompa hidram tanpa tabung udara. Kecepatan berbanding lurus dengan perubahan head tekanan, sehingga kecepatan aliran fluida dalam pipa penyalur yang lebih tinggi, pada instalasi pompa hidram dengan tabung udara mengakibatkan perubahan head tekanan yang lebih besar bila dibandingkan dengan instalasi pompa hidram tanpa tabung udara.

Head pada pipa penghantar menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan oleh pompa hidram. Sedangkan, besarnya head pada pipa penyalur menunjukkan energi yang dihasilkan oleh pompa hidram. Dari Gambar 3 terlihat bahwa energi yang dibutuhkan oleh pompa hidram tanpa tabung udara lebih besar dari pompa hidram dengan tabung udara. Namun, pada pompa hidram tanpa tabung udara, besarnya energi yang dibutuhkan tidak sebanding dengan energi yang dihasilkan. Melalui gambar 4 terlihat bahwa pompa hidram dengan tabung udara menghasilkan energi yang lebih besar dari pompa hidram tanpa tabung udara.

Berdasarkan hasil pengolahan data pengujian maka dapat dibuat grafik efisiensi pompa hidram tanpa dan dengan tabung udara seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dari grafik tersebut terlihat bahwa efisiensi pompa hidram yang menggunakan tabung udara jauh lebih besar, hal ini berkaitan dengan kinerja tabung udara yang dapat mengurangi *head losses* akibat akselerasi dan gesekan. Debit air yang mengalir menjadi lebih besar dibandingkan pompa hidram tanpa tabung udara. Pada katup limbah, pompa hidram yang memakai tabung udara lebih sedikit menghasilkan denyutan daripada pompa hidram tanpa tabung udara. Akibatnya, air yang keluar melalui katup limbah lebih sedikit. Sehingga, dengan menggunakan tabung udara efisiensi pompa hidram naik menjadi lebih besar. Pemakaian tabung udara dapat mengurangi akselerasi dan *head friction* sehingga energi yang dibutuhkan dalam kerja yang dilakukan oleh pompa menjadi berkurang [7].

Dengan berkurangnya energi yang dibutuhkan, dan besarnya debit yang dihasilkan pompa hidram, maka efisiensi meningkat secara signifikan dari 0,72% tanpa tabung udara menjadi 19,45 % dengan tabung udara.



Gambar 5. Efisiensi pompa hidram

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Dengan pemakaian tabung udara, terjadi penurunan perubahan head tekanan dalam pipa penghantar pada instalasi pompa hidram. Head tekanan balik berkurang dari 103,87 m tanpa menggunakan tabung udara menjadi 37,85 m dengan tabung udara. Namun, dalam pipa penyalur head tekanan meningkat dari 0,29 m tanpa menggunakan tabung udara menjadi 2,9 m. Hal ini mengakibatkan peningkatan debit air dalam pipa penyalur dengan menggunakan tabung udara. Sehingga pemasangan tabung udara dapat meningkatkan efisiensi pompa hidram secara signifikan dari 0.72% tanpa tabung udara menjadi 19,45% dengan tabung udara. Jadi tabung udara mempunyai pengaruh yang besar terhadap peningkatan unjuk kerja pompa hidram.

5.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan penelitian untuk menentukan dimensi tabung udara yang mampu menghasilkan head tekanan dan efisiensi yang optimal pada pompa hidram.

Daftar Pustaka

- [1] Taye, T, 1998, *Hydraulic Ram Pump*, Journal of the ESME, Vol. II, Addis Ababa, Ethiopia.
- [2] Sularso, dan Haruo Tahara, 1987, *Pompa & Kompresor Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*, Penerbit Pradnya Pranita, Jakarta.
- [3] Torishima., 1968, *Torishima Pump Hand Book*, Penerbit Torishima Pump. MFG. Co.Ltd.
- [4] Streeter V. L., Wylie E.B., 1975, *Fluid Mechanics*, 6-ed, McGraw-Hill Book Company, New York.

- [5] Diamer, Peter dan Prof. Ma Chi, 2002, *Hydraulic Ram Handbook*, Zhejiang University of Technology, China.
- [6] Kahangire, Patrick, 1990, *The Hydraulic Ram Pump Project*, Water Development Departement, Uganda, Canada.
- [7] Rajput, R. K., 2002, *A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines*, S1 Version, S. Chad and Company Ltd, New Delhi.
- [8] Tessema, A.A., 2006, *Hydraulic Ram Pump System Design and Application*, Available at <http://www.home.att.net/africantech/ESME/hydramp2>.