

Studi Rasio Diameter Katup Limbah Dan Badan Pompa Dalam Peningkatan Unjuk Kerja Pompa Hydram

Made Suarda^{1,*}, I Gusti Ketut Sukadana² dan Anak Agung Adhi Suryawan³

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung 80361 – Bali, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung 80361 – Bali, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung 80361 – Bali, Indonesia

*suarda@yahoo.com

Abstrak

Pompa hydram (*hydraulic ram*) telah banyak digunakan untuk memompa air terutama di daerah pegunungan dimana tidak tersedia energi listrik PLN. Pompa hydram strukturnya sederhana, terdiri dari dua bagian yang bergerak, yaitu katup limbah (*waste valve* atau *impulse valve*) dan katup tekan (*delivery valve*). Mekanisme kerja katup limbah dan katup tekan tersebut mengakibatkan terjadinya palu air (*water hammer*). Energi tekanan palu air ini yang dimanfaatkan dalam siklus pompa hydram. Besarnya tekanan palu air yang terjadi dipengaruhi oleh disain katup limbahnya, sehingga disain katup tersebut sangat menentukan unjuk kerja pompa hydram. Disain katup limbah tersebut merupakan fungsi dari massa katup, panjang langkah, bentuk katup, diameter lubang dan diameter piringan katup. Massa katup dan panjang langkah katup limbah telah diteliti dan dipahami. Namun diameter katup limbah pompa hydram yang optimal belum diketahui dan diteliti. Luas penampang aliran antara dudukan katup badan pompa dan piringan katup limbah mempengaruhi besarnya perubahan momentum aliran dan gaya impulse yang terjadi. Mengingat pompa hydram atau disebut juga pompa impulse, maka rasio antara piringan katup limbah dan diameter rumah katup limbah pompa hydram sangat mempengaruhi gaya impulse yang terjadi dan unjuk kerja pompa hydram yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian operasi pompa hydram pada sistem yang telah terpasang dan beroperasi di lapangan, diketahui bahwa rasio diameter tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap unjuk kerja pompa hydram. Rasio diameter yang paling optimal adalah 0,8.

Kata kunci : pompa hydram, diameter katup limbah, rasio diameter, unjuk kerja.

Pendahuluan

Pompa hydram adalah pompa mekanik yang memanfaatkan energi kinetik aliran air melewati badan pompa sebagai energi penggeraknya [1]. Pompa hydram merupakan salah satu jenis pompa yang tidak membutuhkan energi listrik atau bahan bakar sebagai sumber energi penggerak. Sistem pompa hydram adalah perangkat yang sangat sederhana yang terdiri dari dua pipa (pipa penggerak dan pipa penyalur), badan pompa, dua katup (katup limbah dan katup tekan), dan tabung udara. Momentum aliran air pada head penggerak yang relatif rendah digunakan untuk memompa sebagian kecil dari aliran air ke head penyaluran yang jauh lebih tinggi. Kesederhanaan struktur dan biaya operasi yang bisa diabaikan adalah dua alasan utama mengapa pompa hydram saat ini sangat menarik, meskipun telah ditemukan pertama kali pada tahun 1797 oleh J. M. Montgolfier [2].

Kombinasi penyelidikan secara teori dan eksperimen pada paruh pertama abad ke-20 mengawali penjelasan yang memadai dari kerja pompa hydram. Dalam kombinasi pendekatan O'Brien & Gosline [3], Lansford & Dugan [4] dan Krol [5] telah membuat kontribusi yang paling penting dalam memprediksi karakteristik pompa hydram. Sumber air penggerak pompa hydram dialirkan melalui pipa penggerak (*drive pipe*). Aliran dalam pipa penggerak pada sistem pompa hydram adalah aliran *unsteady* [6].

Pompa hydram terdiri dari dua bagian yang bergerak, yaitu katup limbah (*waste or impulse valve*) dan katup tekan (*delivery valve*). Kedua katup tersebut terpasang pada badan pompa hydram. Katup limbah dan katup tekan tersebut merupakan komponen utama pompa hydram [7]. Mekanisme kerja kedua katup ini yang mengakibatkan terjadinya water hammer sebagai pemicu kerja pompa hydram sehingga sangat menentukan unjuk kerja pompa hydram [8].

Disain katup limbah yang baik dan penyetelan panjang langkah (bukaan katup) yang tepat merupakan faktor penting untuk operasi pompa yang halus dan efisien. Katup limbah yang harus dapat menutup dengan cepat untuk menghasilkan tekanan tinggi pada saat terjadi *water hammer*. Disain detail katup limbah meliputi luas lubang katup limbah, luas penampang piringan katup, dan panjang langkah katup. Diameter lubang katup limbah harus sama atau lebih besar dengan diameter pipa penggerak untuk menghindari terhambatnya aliran air keluar katup limbah [9]. Chi & Diemer [10] menyarankan frekuensi katup limbah yang optimal adalah 24 denyutan per menit. Sedangkan panjang langkah katup adalah sekitar 3~5 cm. Semakin panjang langkah katup akan memperkecil frekuensi katup, dan sebaliknya.

Disain katup limbah pompa hydam sangat berpengaruh terhadap besarnya peningkatan tekanan yang terjadi. Besarnya diameter atau luas penampang katup limbah akan mempengaruhi besarnya tekanan impulse untuk menutup katup limbah. Sedangkan besarnya rasio antara diameter katup limbah dan diameter tee badan pompa dimana katup tersebut terpasang akan mempengaruhi besarnya debit aliran melewati katup limbah sehingga menentukan besarnya momentum yang terjadi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat menentukan diameter piringan katup limbah yang dapat memberikan unjuk kerja pompa hydam yang optimal.

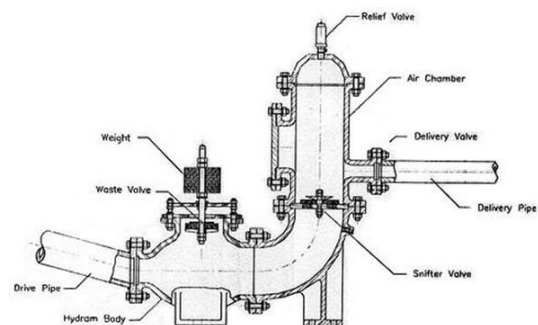
Tinjauan Pustaka

Walaupun sejak abad ke-18 pompa hydam telah menyebar luas di dunia, namun sampai dekade tersebut belum ada kajian teoritis yang mampu menjelaskan performansi pompa hydam. Penjelasan teoritis pertama tentang konsep *water hammer* digunakan dalam kerja pompa hydam dipresentasikan oleh Zhukovsky pada tahun 1898 [11]. Analisis teoritis yang rasional tentang karakteristik pompa hydam pertama kali dipresentasikan oleh O'Brien dan Gosline. Pada analisis tersebut siklus pompa hydam diasumsikan dalam empat bagian waktu. Tahap pemompaan terjadi ketika katup limbah pompa hydam tertutup dan setelah *water hammer* terjadi

gelombang kejut (*sock wave*) aliran di dalam pipa penggerak (*drive pipe*).

Komponen – komponen utama pompa hydam, Gambar 2.1, adalah sebagai berikut :

- 1) Badan pompa (*hydam body*)
- 2) Katup limbah (*impulse valve*)
- 3) Katup udara (*snifer valve*)
- 4) Katup tekan (*delivery valve*)
- 5) Tabung udara (*air chamber*)
- 6) Pentil udara (*relief valve*)



Gambar 1. Komponen-komponen utama pompa hydam [7]

Palu air (*water hammer*) adalah terjadinya kenaikan tekanan karena penghentian air secara tiba-tiba. Besarnya tekanan yang terjadi karena adanya palu air adalah:

$$P_h = \rho \cdot c \cdot v_c \quad (1)$$

dan

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

Dimana :

P_h = tekanan palu air (N/m²)

v_c = kecepatan air untuk menutup katup limbah (m/dt)

E = modulus elastisitas air (N/m²)

= 214x10⁷ N/m² [12]

ρ = massa jenis air (kg/m³)

c = kecepatan suara dalam pipa (m/dt)

= 1440 m/dt [13]

Dari persamaan Bernoulli dapat dicari tekanan air yang bekerja pada saat menekan katup, yaitu :

$$P_p = C_f \cdot \rho_a \cdot g (H_s - H_{LT}) \quad (3)$$

Dimana :

P_p = tekanan air pada katup (N/m²)

H_{LT} = head loss total pada saluran penggerak (m)

H_s = head sumber air (m)

ρ_a = massa jenis air (kg/m³)

C_f = koefisien aliran (0,25 ~ 0,35)

Gaya yang mempercepat air dapat ditulis menggunakan persamaan Newton, yaitu :

$$F_a = m_s \cdot a_s = \rho_a \cdot A_s \cdot L_s \cdot \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

Dimana :

F_a = gaya percepatan air di dalam pipa penggerak (N)

m_s = massa air yang dipercepat (kg)

a_s = percepatan aliran air dalam pipa penggerak (m/dt²)

L_s = panjang pipa penggerak (m)

Akibat head dari sumber air (H_s), air dalam pipa penggerak akan mengalami percepatan dan keluar melalui katup. Percepatan tersebut dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$Z_s - f \frac{L_s}{D_s} \cdot \frac{v_s^2}{2g} - \sum \left(K \frac{v_s^2}{2g} \right) = \frac{L_s}{g} a_s \quad (5)$$

Dimana :

Z_s = tinggi elevasi sumber air (m)

D_s = diameter pipa penggerak (m)

v_s = kecepatan aliran air dalam pipa penggerak (m/dt)

K = koefisien kerugian perlengkapan pipa

Gaya percepatan aliran ini cukup untuk memulai menutup katup. Katup menutup jika gaya seret (*drag*) dan gaya tekan didalam air sama dengan berat katup [14].

$$F_d = C_d \cdot \rho \cdot A_v \cdot \frac{v_s^2}{2g} \quad (6)$$

Dimana :

F_d = gaya seret pada katup (N)

C_d = koefisien seret pada katup
= 1.2 untuk silinder eleptik [15]

A_v = luas penampang katup (m²)

Efisiensi total instalasi pompa hydam dapat dihitung dengan metode Rankine [16], yaitu:

$$\eta_t = \frac{Q_d H_d}{Q_s H_s} 100\% \quad (7)$$

Dimana:

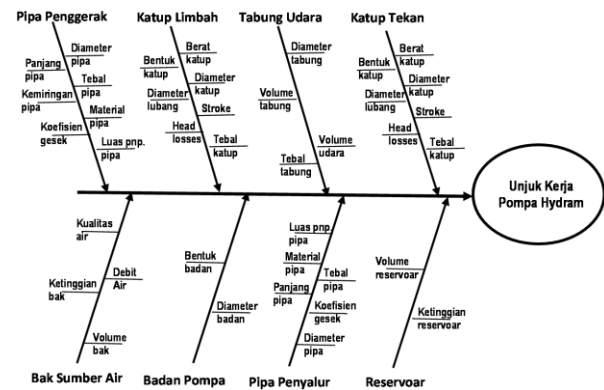
η_t = efisiensi total pompa hydam (%)

Q_s = debit air penggerak (m³/dt)

Q_d = debit air pemompaan (m³/dt)

H_s = head air penggerak (m)

H_d = head air penggerak (m)



Gambar 2. Fish diagram pada pompa hydam

Semua komponen pada instalasi sistem pompa hydam berpengaruh terhadap unjuk kerja pompa hydam, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Namun disain katup tekan mempunyai pengaruh yang paling signifikan karena mekanisme katup ini yang membangkitkan terjadinya *water hammer* [17].

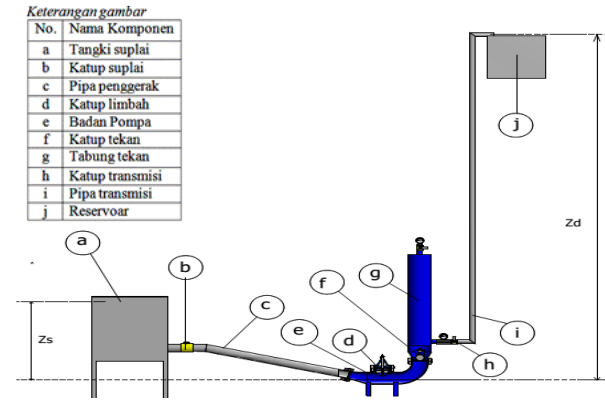
Metode Penelitian



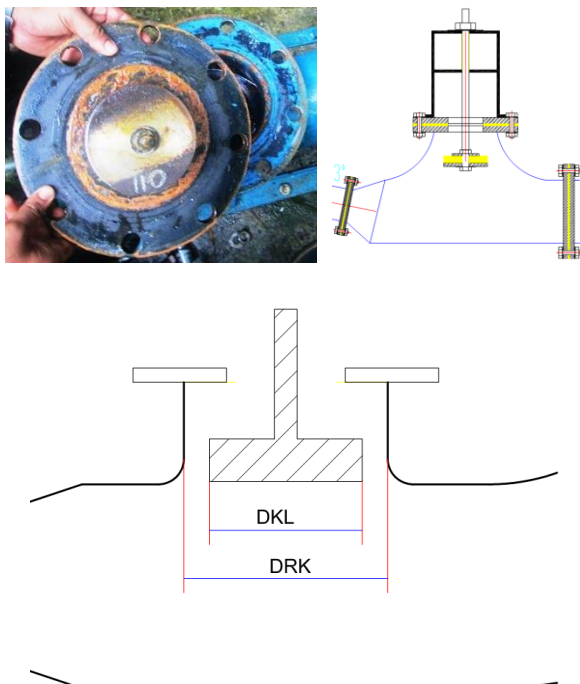
Gambar 3. Pompa hydam di desa Catur

Penelitian ini dilakukan pada instalasi sistem pompa hydam yang telah terpasang dan beroperasi di desa Catur-Kintamani, seperti pada Gambar 3. Pompa tersebut mempunyai *tee* badan pompa berdiameter 5 inci (150 mm), dioperasikan pada ketinggian air penggerak 9 meter melalui pipa besi galvanis berdiameter 3 inci panjang 54 meter dan ketinggian pemompaan air 110 meter melalui

pipa PVC berdiameter $\frac{3}{4}$ " sepanjang 632 meter, seperti skema pengujian pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema pengujian



Gambar 5. Katup limbah pompa hidram

Pengujian pompa hidram dilakukan dengan variasi diameter piringan katup limbah (D_{KL}): 100, 110, 120, 130 dan 140 mm. Karena diameter rumah katup limbahnya (D_{RK}) 150 mm, maka rasio diameter antara piringan katup dan rumah katup limbah menjadi: 0,667, 0,733, 0,800, 0,867, dan 0,933, seperti pada Gambar 5.

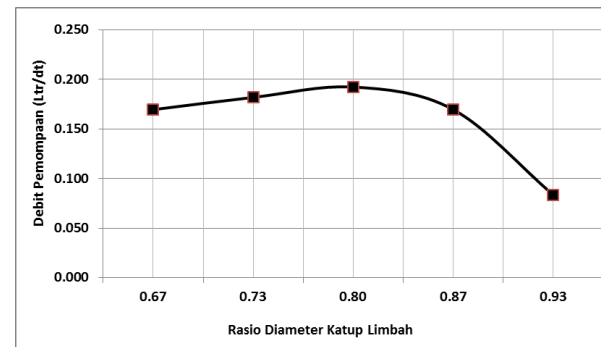
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka unjuk kerja pompa hidram pada berbagai

variasi rasio diameter piringan dan rumah katup limbah adalah seperti pada Tabel 1.

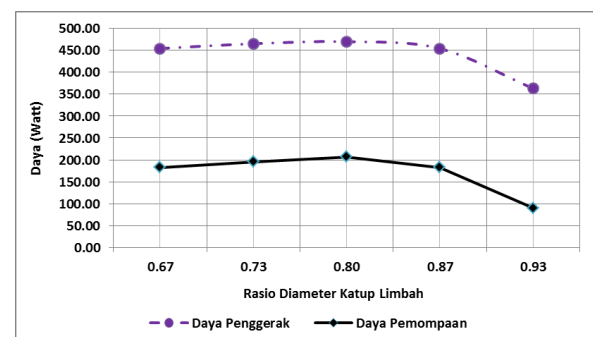
Tabel 1. Hasil pengujian

No.	Rasio DKL-DRK	Qs (ltr/dt)	Qd (ltr/dt)	Ws (watt)	Wd (watt)	Ev (%)	Et (%)
1	0.667	0.0064	0.169	454.30	182.54	2.63	40.18
2	0.733	0.0068	0.182	465.16	195.82	2.68	42.10
3	0.800	0.0069	0.192	469.88	207.11	2.77	44.08
4	0.867	0.0064	0.169	454.30	182.54	2.63	40.18
5	0.933	0.0046	0.083	363.09	89.75	1.82	24.72



Gambar 6. Debit pemompaan

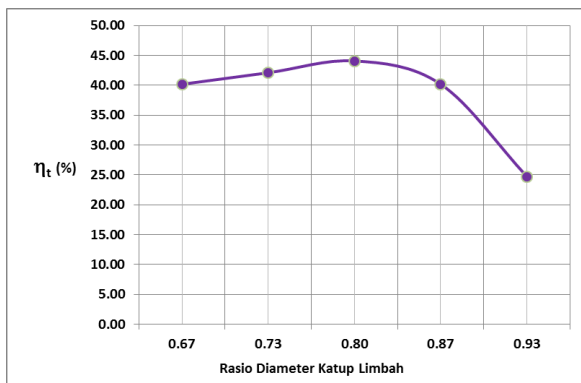
Rasio diameter katup limbah mempengaruhi debit pemompaan yang dihasilkan sistem pompa hidram. Rasio diameter katup 0,8 menghasilkan debit pemompaan yang paling besar, seperti pada Gambar 6. Sedangkan pada rasio lebih besar dari 0,87 debit pemompaannya turun sangat tajam. Hal ini disebabkan karena luas penampang aliran antara piringan dan rumah katup limbah lebih kecil dari luas penampang pipa penggerakannya sehingga terjadi pencekikan aliran. Hal ini mengakibatkan perubahan momentum aliran kurang optimal.



Gambar 7. Daya penggerak dan pemompaan

Karena rasio diameter piringan katup limbah mempengaruhi luas penampang aliran air penggerak pompa hidram maka daya penggerak dan daya pemompaannya juga dipengaruhi, seperti pada Gambar 7. Baik daya

penggerak maupun daya pemompaan yang optimal terjadi pada rasio diameter 0,8.



Gambar 8. Efisiensi total pompa hydram

Mengingat efisiensi total pompa hydram adalah perbandingan antara daya pemompaan dan daya air penggerak pompa, maka efisiensi total pompa yang paling tinggi juga dihasilkan pada rasio diameter 0,8, seperti pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil pengujian pompa hydram yang diuji pada rasio tinggi pemompaan dan tinggi elevasi air penggerak 9,2 efisiensi volumetris yang paling optimal dihasilkan adalah 2,77% dengan efisiensi total sebesar 44%.

Kesimpulan

Hasil pengujian pada sistem pompa hydram yang telah beroperasi di lapangan menunjukkan bahwa rasio diameter piringan katup dan diameter rumah katup limbah pompa hydram mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap unjuk kerja pompa hydram. Rasio diameter yang paling optimal adalah 0,8.

Referensi

- [1] Sheikh, A., Handa, C.C., dan Ninawe, A.P. 2013. Design Methodology for Hydraulic Ram Pump (Hydram). *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. Vol 2 No. 4 pp 170-175.
- [2] Green dan Charter. 2004. The Vulcan Hydraulic Ram Pump. [cited: 2004 March 3]. Available from: URL:\www.greenandcarter.com
- [3] O'Brien, M.P. dan Gosline, J.E. 1933. *The Hydraulic Ram*. University of California Press.
- [4] Lansford, W. M. and Dugan W. G. 1941. *An Analytical and Experimental Study of the*

Hydraulic Ram. University of Illinois Bulletin. Vol 38 No. 22.

- [5] Krol, J. 1951. The Automatic Hydraulic Ram. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Jun 1, 1951, pp. 53-73
- [6] Renie, L.C., & Bunt, E.A. 1981. The Automatic Hydraulic Ram-Experimental Results. *Proc Instn Mech Engrs Vol 204. Part A. Journal of Power and Energy*. Pp. 23-31
- [7] Tessema, A.A., 2000. Hydraulic Ram Pump System Design and Application. *ESME 5th Conference on Manufacturing and Process Industry*. September 2000, Addis Ababa, Ethiopia.
- [8] Jennings, G.D. 1996. *Hydraulic Ram Pumps*. North Carolina Cooperative Extension Service. Publication Number: EBAE 161-92. North Carolina.
- [9] Young, B. 1997. Design of Homologous Ram Pump. *Journal of Fluids Engineering, Transaction of the ASME*, Vol. 119, June 1997, pp. 360-365
- [10] Chi M., dan Diemer, P. 2002. *Hydraulic Ram Handbook*. Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen
- [11] Filipan, V., Vireg, Z., dan Bergant, A. 2003. Mathematical Modelling of a Hydraulic Ram Pump System. *Journal of Mechanical Engineering*. In *Strojniski Vestnik*. Vol 49 No. 3, pp 137-149.
- [12] Streeter, V.L., dan Wylie, E.B. 1975. *Fluid Mechanics*. 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [13] David J.P., dan Edward, H.W. 1985. *Schaum's Outline of Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- [14] Taye, T. 1998. Hydraulic Ram Pump. *Journal of the ESME*. Vol. 2 No. 1, Addis Ababa, Ethiopia.
- [15] White, F.M. 2006. *Viscous Fluid Flow*. Third edition, McGraw-Hill, Singapore.
- [16] Alkouhi, R., Ara, B.L., dan Keramat, A. 2015. Determine the Efficiency of Hydraulic Ram Pumps. *E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress*. 28 June – 3 July. Netherland.
- [17] Balgude, R.D., et al. 2015. Designing of Hydraulic Ram Pump. *International Journal Of Engineering And Computer Science*. Vol 4 No 5, pp. 11966-11971