

Valve Diameter Optimization of Hydrum Pump Waste

Made Suarda^{1,*}, Ainul Ghurri¹, Made Sucipta¹ dan I Gusti Bagus Wijaya Kusuma¹

¹Jurusan Teknik Mesin - Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung-Bali

*Korespondensi: made.suarda@unud.ac.id

Abstract. Hydraulic ram pump is one solution in the provision of clean water in hilly areas where there are many sources of clean water, but constrained PLN electrical energy. The hydrum pumps are simple structures, consisting of two moving parts: the waste valve and the delivery valve. The waste valve mainly affects the magnitude of the impulse force generated. In the implementation, adjustment of this waste valve takes a long time, because there is no sufficient references in making the design of the waste valve. The characteristics of the waste valve are affected by parameters such as the diameter of the valve opening, the diameter of the valve disk, the stroke, the valve weight, and the discharge and head of water to drive the hydraulic ram pump. Furthermore, all these parameters affect each other. Therefore, in this research, an experimental work was conducted in the laboratory on the waste valve model of hydraulic ram pump to investigate the effect of the waste valve diameter on the hydrum pump performance. The results show that diameter of the waste valve has a significant influence on the flow rate of the driving water, the pumping discharge and the total efficiency of the hydraulic ram pump system. Furthermore, the results of this study present that the optimal diameter of the waste water flow hole is 30% greater than the diameter of the drive pipe, which gives the best performance of the hydraulic ram pump.

Abstrak. Pompa hydrum merupakan salah satu solusi dalam penyediaan air bersih di daerah perbukitan dimana terdapat banyak sumber air bersih, namun terkendala energi listrik PLN. Pompa hydrum strukturnya sederhana, terdiri dari dua bagian yang bergerak, yaitu katup limbah dan katup tekan. Katup limbah terutama berpengaruh pada besarnya gaya impulse yang dibangkitkan. Dalam implementasinya penyetelan katup limbah ini membutuhkan waktu yang lama, karena belum tersedia acuan atau referensi yang memadai dalam pembuatan desain katup limbah tersebut. Karakteristik katup limbah dipengaruhi parameter seperti diameter lubang katup, diameter piringan katup, panjang langkah, dan berat katup serta debit dan head air penggerak pompa hydrum. Disamping itu semua parameter tersebut saling mempengaruhi satu sama lainnya. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan pengujian secara eksperimental di laboratorium pada model katup limbah pompa hydrum untuk menginvestigasi pengaruh dari diameter katup limbah terhadap unjuk kerja pompa hydrum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter katup limbah mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap laju aliran air penggerak, debit pemompaan dan efisiensi total sistem pompa hydrum. Selanjutnya, hasil penelitian ini menghasilkan bahwa diameter optimal lubang aliran air katup limbah 30% lebih besar dari diameter pipa penggerak memberikan unjuk kerja pompa hydrum yang terbaik.

Kata kunci: pompa hydrum, katup limbah, diameter katup, optimasi, unjuk kerja

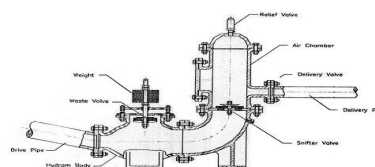
© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan air di lokasi yang posisinya lebih tinggi dari sumber air adalah dengan menggunakan pompa air. Jenis pompa yang lazim digunakan saat ini adalah pompa air yang digerakkan oleh motor listrik, namun untuk daerah terpencil yang tidak terjangkau aliran listrik, hal tersebut akan menjadi masalah. Salah satu solusi alternatif dari permasalahan tersebut adalah menggunakan pompa hydrum (*hydraulic ram*), yaitu pompa air yang tenaga penggerakannya berasal dari energi kinetik aliran air yang masuk melalui pipa penggerak (*drive pipe*) ke badan pompa [1].

Komponen-komponen utama pompa hydrum adalah badan pompa, katup limbah, katup tekan dan

tabung udara, seperti pada gambar 1. Prinsip kerja pompa hydrum terdiri dari empat tahapan yaitu *acceleration*, *compression*, *delivery*, dan *recoil* [2]. Akibat head dari sumber air, maka air dalam pipa penggerak akan mengalami percepatan dan keluar melalui katup limbah. Gaya percepatan aliran ini cukup untuk memulai menutup katup. Katup menutup jika gaya seret dan gaya tekan didalam air lebih besar dari gaya berat katup limbah [3].



Gambar 1. Komponen utama pompa hydrum [4]

Pompa hidram strukturnya sederhana. Katup limbah (*waste valve* atau *impulse valve*) dan katup tekan (*delivery valve*) merupakan komponen utama pompa hidram [5]. Mekanisme kerja katup limbah tersebut mengakibatkan terjadinya palu air (*water hammer*). Energi tekanan palu air ini yang dimanfaatkan dalam siklus pompa hidram [6]. Katup limbah terutama berpengaruh pada besarnya gaya impulse yang dibangkitkan [7].

Dalam implementasinya penyetelan katup limbah ini membutuhkan waktu yang lama, karena belum tersedia acuan desain yang memadai dalam pembuatan katup limbah tersebut. Saat ini masyarakat sebatas tahu bahwa diameter lubang katup limbah adalah sama dengan diameter pipa penggerak dan panjang langkahnya adalah “dua jari” (yaitu sekitar 2.5 cm). Sedangkan karakteristik katup limbah dipengaruhi parameter seperti diameter lubang katup, diameter piringan katup, panjang langkah, dan berat katup serta debit dan head air penggerak pompa hidram. Disamping itu semua parameter tersebut saling mempengaruhi satu sama lainnya.

Mengingat pada pompa hidram hanya ada dua bagian yang bergerak, yaitu katup limbah dan katup tekan, yang desainnya sangat menentukan unjuk kerja pompa hidram, maka Suarda (2014) telah mengkaji gaya-gaya yang terjadi pada kedua katup tersebut dengan analisa aljabar [8]. Secara umum, Balguda (2015) telah mengusulkan metode yang dapat digunakan dalam pertimbangan utama perencanaan dan aplikasi pompa hidram [9]. Katup limbah merupakan komponen kunci utama dalam pompa hidram sehingga memerlukan perhatian dalam pengembangan dan optimasi lebih lanjut dalam peningkatan efisiensi total sistem pompa hidram [10].

Diameter lubang dan piringan katup limbah mempengaruhi debit aliran air penggerak yang keluar melalui katup limbah tersebut. Selanjutnya, debit aliran tersebut mempengaruhi besarnya momentum dan gaya impulse yang bekerja pada katup limbah serta tekanan palu air yang terjadi. Sehingga desain katup limbah tersebut sangat menentukan unjuk kerja pompa hidram. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian terkait diameter lubang dan piringan katup limbah untuk mendapatkan acuan atau referensi dalam pembuatan desain katup limbah pompa hidram yang memberikan unjuk kerja optimal.

Penelitian ini sangat penting dilaksanakan karena masih minimnya penelitian dan pengembangan desain pompa hidram, terutama referensi dalam penentuan dimensi-dimensi katup limbahnya. Dengan desain katup limbah yang lebih tepat diharapkan dapat dihasilkan unjuk kerja pompa

hidram lebih optimal. Selanjutnya dengan tersedianya desain tersebut diharapkan dapat mengembangkan pembuatan dan pemanfaatan pompa hidram di masyarakat.

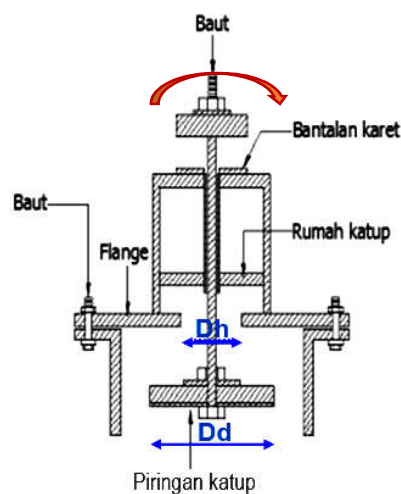
Metode Penelitian

Pada penelitian pendahuluan telah diketahui bahwa diameter lubang katup limbah mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap unjuk kerja pompa hidram, namun diameter lubang, diameter piringan katup, massa katup dan panjang langkah katup yang dapat menghasilkan unjuk kerja pompa hidram yang paling optimal belum diketahui. Pengujian model katup limbah dengan berbagai variasi ukuran dari parameter tersebut akan dilakukan secara eksperimen pada model pompa hidram.

Pengujian model katup limbah dengan berbagai variasi diameter piringan dan lubang katup limbah akan dilakukan secara eksperimen pada model pompa hidram yang telah terpasang di laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin FT-UNUD, seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Model alat uji pompa hidram



Gambar 3. Model katup limbah pompa hidram

Diameter lubang katup limbah disarankan harus sama atau lebih besar dari diameter pipa penggerak supaya tidak terjadi pencekikan aliran.

Karena diameter pipa penggerak model uji pompa hidram adalah 32 mm, maka katup limbah yang akan diuji adalah mempunyai variasi diameter lubang aliran (D_h) 32 mm, 37 mm, 42 mm, 47 mm, dan 52 mm dengan diameter piringan (D_d) 10 mm lebih besar dari masing-masing diameter lubang tersebut yaitu 42 mm, 47 mm, 52 mm, 57 mm, dan 62 mm, seperti pada tabel 1. Adapun model katup limbah yang diuji adalah seperti pada gambar 3.

Tabel 1. Variasi diameter model katup limbah pompa hidram

Model	Diameter Lubang D_h (mm)	Diameter Piringan D_d (mm)	Diameter Badan Pompa D_b (mm)	Rasio Diameter $D_h - D_b$
I	32	42	62	0,6774
II	37	47	62	0,7581
III	42	52	62	0,8387
IV	47	57	62	0,9194
V	52	62	62	1,0000

Debit aliran air diukur menggunakan V-notch weir. Persamaan debit *V-notch weir* yang digunakan adalah persamaan Kindvater-Shen [11], yaitu:

$$Q = 4,28 \cdot C \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h + k)^{5/2} \quad (1)$$

dengan koefisien:

$$C = 0,607165052 - 0,000874466963 \cdot \theta + 6,10393334 \cdot 10^{-6} \theta^2$$

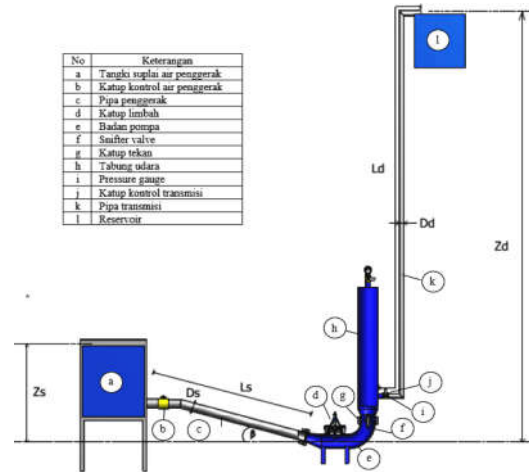
$$k = 0,0144902648 - 0,00033955535 \cdot \theta + 3,29819003 \cdot 10^{-6} \theta^2 - 1,06215442 \cdot 10^{-8} \theta^3$$

dimana Q adalah debit aliran air (cfs), C adalah koefisien debit aliran, θ sudut *V-notch weir*, h adalah tinggi aliran melewati *V-notch weir*, dan k adalah faktor koreksi aliran *V-notch weir* (ft).

Pada penelitian ini pengujian eksperimental dilakukan pada sistem instalasi pompa hidram seperti gambar 4. Penelitian ini dilakukan pada model pompa hidram dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tinggi permukaan air pada bak penggerak (*drive head*), $Z_s = 1,82$ m
2. Tinggi pemompaan (*delivery head*) $Z_d = 2.0$ m, penambahan variasi *delivery head* diatur dengan mengatur bukaan katup kontrol pada pipa penyalur.
3. Diameter badan pompa $D_b = 62$ mm
4. Diameter pipa penggerak $D_s = 36$ mm dengan panjang $L_s = 12,2$ m.

5. Diameter pipa penyalur $D_{pd} = 12$ mm dengan panjang $L_d = 13,6$ m.
6. Panjang langkah katup limbah $S = 6$ mm.
7. Massa katup limbah (bagian yang bergerak) $m = 490$ gram
8. Volume tabung udara $0,0083$ m³



Gambar 4. Skema instalasi pengujian sistem pompa hydraulic ram

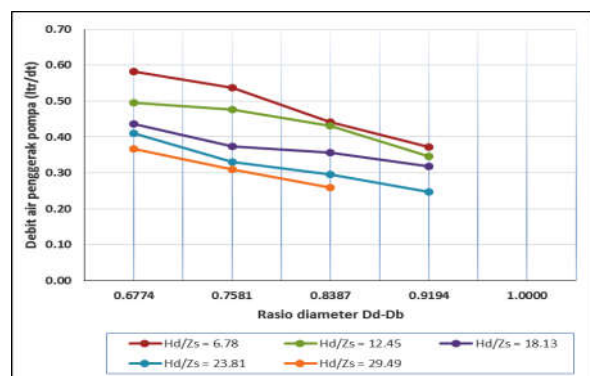
Metode umum yang digunakan untuk menghitung efisiensi instalasi pompa hidram adalah metode Rankine, yaitu [12]:

$$\eta_R = \frac{Q_d H_d}{(Q_d + Q_w) H_s} 100\% \quad (2)$$

Dimana η_R adalah efisiensi total sistem pompa hidram (%), Q_w adalah debit aliran air keluar dari katup limbah (m³/dt), Q_d adalah debit aliran air pemompaan (m³/dt), H_s adalah head suplai air penggerak (m), dan H_d adalah head pemompaan (m).

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian yang didapatkan, pengaruh diameter desain katup limbah terhadap unjuk kerja sistem pompa hidram yang diuji dapat digambarkan seperti pada gambar 5 – 7.



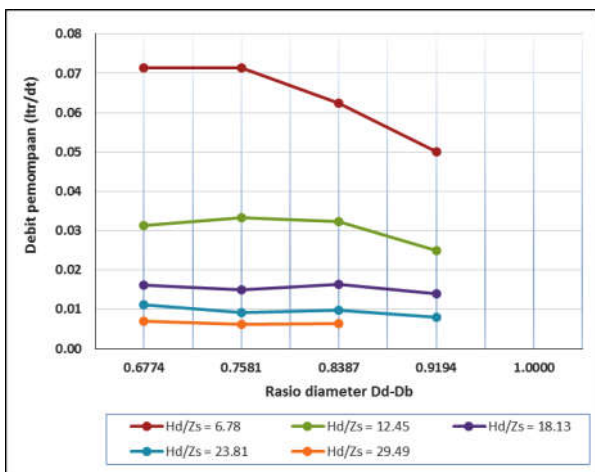
Gambar 5. Debit suplai air penggerak pompa hidram

Pengaruh rasio diameter katup limbah terhadap debit suplai air penggerak pompa hidram pada berbagai tinggi head pemompaan ditunjukkan seperti pada gambar 5. Semakin besar rasio diameter piringan katup limbah (Dd) terhadap diameter badan pompa hidram (Db) tempat kedudukan katup limbah semakin kecil debit aliran air penggerak pompa hidram yang mengalir melalui pipa penggerak (*drive pipe*). Ini berarti semakin kecil pula perubahan momentum dan gaya impulse yang bekerja pada katup limbah serta daya pemompaan yang terjadi. Namun, pada rasio diameter Dd-Db sama dengan 1 (satu) tidak terjadi aliran air keluar dari katup limbah dan pompa tidak dapat beroperasi otomatis serta posisi katup limbah pada posisi tertutup. Hal ini disebabkan karena celah laluan aliran air antara piringan katup limbah dan badan pompa sangat sempit bahkan tertutup, seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Rasio diameter katup limbah

Model	Luas Celah Ab-Ad (mm ²)	Rasio Luas (Ab-Ad)/Apd	Rasio Dh-Dpd
I	1633	2,03	1,000
II	1283	1,60	1,156
III	895	1,11	1,313
IV	467	0.58	1,469
V	0	0.00	1,625

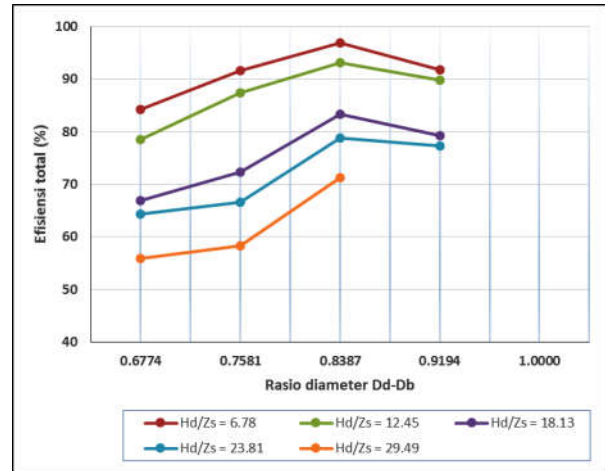
Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi head pemompaan semakin kecil debit aliran air keluar dari katup limbah, karena siklus pemompaan semakin lambat.



Gambar 6. Debit pemompaan pompa hidram

Gambar 6 menunjukkan pengaruh diameter desain katup limbah terhadap debit pemompaan pompa hidram yang mengalir melalui pipa penyalur. Secara umum, rasio diameter Dd-Db antara 0,75 dan 0,84 menghasilkan debit pemompaan yang lebih baik. Dengan kata lain, jika diameter pipa penggerak pompa hidram dipakai sebagai acuan, maka diameter lubang katup limbah

(Dh) sebaiknya 15% sampai 30% lebih besar dari diameter pipa penggerak (Dpd). Disamping itu, Gambar 6 menunjukkan bahwa sesuai karakteristik pompa pada umumnya bahwa semakin tinggi head pemompaan maka debit pemompaan yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 7. Efisiensi total sistem pompa hidram

Efisiensi pompa hidram yang tertinggi diberikan oleh pompa hidram pada rasio diameter katup limbah (Dd-dB) 0,8387, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Berdasarkan pula tabel 2, maka efisiensi tertinggi tercapai jika luas penampang celah laluan aliran air antara piringan katup limbah dan badan pompa adalah 11 persen lebih besar dari luas penampang pipa penggerak pompa. Dengan kata lain, efisiensi tertinggi dicapai jika rasio antara diameter lubang aliran pada katup limbah 30 persen lebih besar dari pada diameter pipa penggerak pompa.

Kapasitas atau debit pemompaan dan efisiensi total sistem pompa hidram merupakan parameter utama dari unjuk kerja sistem pompa hidram. Berdasarkan pembahasan di atas, diketahui bahwa debit pemompaan terbaik dicapai pada diameter lubang katup limbah (Dh) 15% sampai 30% lebih besar dari diameter pipa penggerak (Dpd). Sedangkan efisiensi terbaiknya diberikan pada desain lubang aliran katup limbah 30% lebih besar dari diameter pipa penggerak (Dpd). Oleh sebab itu, diameter optimal lubang aliran air katup limbah (Dh) adalah 30% lebih besar dari diameter pipa penggerak (Dpd).

Jika diameter pipa penggerak (Dpd) dipakai sebagai parameter acuan desain pompa hidram, maka dapat direkomendasikan dimensi komponen pompa hidram khususnya katup limbah adalah sebagai berikut:

- Tee badan pompa: $Db = 2 \times Dpd$
- Lubang katup limbah: $Dh = 1,3 \times Dpd$
- Piringan katup limbah: $Dd = Dh + 10 \text{ mm}$

Kesimpulan

Supaya tidak terjadi pencekikan aliran air pada katup limbah, maka diameter lubang katup limbah harus lebih besar dari diameter pipa penggerak pompa hidram. Rasio diameter optimal lubang katup limbah terhadap diameter pipa penggerak 1,3 merupakan desain yang dapat memberikan unjuk kerja terbaik pompa hidram. Direkomendasikan untuk penelitian lebih lanjut untuk mensimulasikan pengaruh diameter katup limbah secara numerik untuk mendapatkan formula diameter katup limbah yang optimal.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Udayana atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui skim penelitian Unggulan Udayana tahun akademik 2017.

Referensi

- [1] Inthachot, M. dkk., 2015. "Hydraulic Ram Pumps for Irrigation in Northern Thailand", in *Agriculture and Agricultural Science Procedia* Vol. 5, (Elsevier B.V., 2015), pp.107-114.
- [2] Chi, M. and Diemer, P., 2002. *Hydraulic Ram Handbook*, (Bremen Overseas Research and Development Association), Bremen.
- [3] Taye, T., 1998. "Hydraulic Ram Pump", in *Journal of the ESME*. Vol. II, (ESME, Addis Ababa, Ethiopia).
- [4] Tessema, A.A., 2000. "Hydraulic Ram Pump System Design and Application", in *ESME 5th Conference on Manufacturing and Process Industry*, (ESME, Addis Ababa, Ethiopia) .J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, *The art of writing a scientific article*, *J. Sci. Commun.* 163 (2000) 51-59.
- [5] Diwan, P., Patel, A. and Sahu, L., 2016. "Design and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency", in *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR)*, Vol. 3, No. 4, (Technical Research Organization India, 2016), pp. 5-13.
- [6] Pathak, A., 2016. "Design of Hydraulic Ram Pump", in *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Vol 2, No. 10, (IJIRST, 2016), pp. 290-293.
- [7] Deo, A., 2016. "Design Methodology for Hydraulic Ram Pump", in *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Vol 5, No. 4, (IJIRST, 2016), pp. 4737- 4745.
- [8] Suarda, M., 2015. "Forces Analysis on a Spherical Shaped Delivery Valve of Hydraulic ram Pump", in *Applied Mechanics and Materials*, Vol 776, (Trans Tech Publications, Switzerland, 2015), pp 377-383.
- [9] Balguda, R.D. et al., 2015. "Designing of Hydraulic Ram Pump", in *International Journal of Engineering and Computer Science*, Vol 4, No 5, (IJECS Publication, Madhya Pradesh, India, 2015), pp. 11966-11971.
- [10] Nambiar, P., 2015. "Hydraulic Ram Pump Maximizing efficiency", in *International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD)*, 4-6 Feb. 2015, Mumbai – India, (IEEE Explore Digital Library, 2015).
- [11] LMNO Engineering, 2015. "V-Notch Weir Discharge Calculator and Equations", (<http://www.lmnoeng.com/weirs/vweir.php>, 2015).
- [12] Jennings, G.D., 1996. *Hydraulic Ram Pumps*, (North Carolina Cooperative Extension Service, Publication Number: EBAE 161-92, North Carolina, 1996), pp. 1-6.