

**Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Katup Buang
Terhadap Kinerja Pompa Hidram**

Djaman¹⁾, Berthy Pelasula²⁾, Victor D. Waas³⁾, Ari Permana L.⁴⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon, ⁴⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon
Dj4m4n@gmail.com, bertxpelasula@gmail.com, victorwaas90@gmail.com, ai.mana@ymail.com

ABSTRACT

A hydraulic ram pump is a water pumping device that utilizes the potential energy of flowing water through the water hammer phenomenon without requiring external energy sources such as electricity or fuel. This technology has considerable potential as a sustainable and cost-effective solution for water supply in rural and remote areas with limited access to electrical power. The performance of a hydraulic ram pump is influenced by several design and operating parameters, one of which is the configuration of the waste valve. However, studies investigating the effect of the number of waste valves on hydraulic ram pump performance remain limited. Therefore, this study aimed to investigate the effect of varying the number of waste valves on the water discharge and efficiency of a hydraulic ram pump. An experimental method was employed using three waste valve configurations, namely one, two, and three waste valves. The observed parameters included waste valve discharge, delivery discharge, total inlet discharge, and pump efficiency, which was calculated using the D'Aubuisson efficiency method. The results indicated that increasing the number of waste valves enhanced the hydraulic ram pump discharge. The average waste valve discharge increased from 17.75 L/s to 29.43 L/s and 46.27 L/s, while the average delivery discharge increased from 1.05 L/s to 2.10 L/s and 3.10 L/s. Similarly, the total inlet discharge increased from 18.80 L/s to 31.53 L/s and 49.37 L/s. The calculated efficiencies were 69.81% for the single waste valve configuration, 83.26% for the two-waste-valve configuration, and 78.49% for the three-waste-valve configuration. The decrease in efficiency observed with three waste valves indicates that increasing the number of waste valves does not necessarily improve pump performance due to higher energy losses during the water hammer generation process. Therefore, under the experimental conditions of this study, the two-waste-valve configuration provided the optimum performance by achieving the highest efficiency while maintaining a relatively high delivery discharge.

Keywords: hydraulic ram pump, waste valve, number of waste valves, water discharge, D'Aubuisson efficiency, water hammer.

ABSTRAK

Pompa hidram merupakan teknologi pemompaan yang memanfaatkan energi potensial aliran air melalui fenomena water hammer tanpa memerlukan sumber energi eksternal, sehingga berpotensi menjadi solusi penyediaan air di daerah yang memiliki keterbatasan akses listrik. Kinerja pompa hidram dipengaruhi oleh berbagai parameter, salah satunya adalah karakteristik katup buang. Namun, penelitian mengenai pengaruh jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram masih relatif terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah katup buang terhadap debit air dan efisiensi pompa hidram. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan tiga variasi jumlah katup buang, yaitu 1 katup, 2 katup, dan 3 katup. Parameter yang diamati meliputi debit air pada katup buang, debit air hasil pemompaan pada katup hantar, debit air masuk, dan efisiensi pompa yang dihitung menggunakan metode D'Aubuisson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katup buang meningkatkan debit air pada sistem pompa hidram. Rata-rata debit katup buang berturut-turut sebesar 17,75 L/s, 29,43 L/s, dan 46,27 L/s, sedangkan rata-rata debit hasil pemompaan meningkat dari 1,05 L/s menjadi 2,10 L/s dan 3,10 L/s. Debit air masuk juga meningkat dari 18,80 L/s menjadi 31,53 L/s dan 49,37 L/s. Hasil perhitungan efisiensi menunjukkan bahwa variasi 1 katup menghasilkan efisiensi sebesar 69,81%, meningkat menjadi 83,26% pada variasi 2 katup, kemudian menurun menjadi 78,49% pada variasi 3 katup. Penurunan efisiensi pada variasi 3 katup menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katup buang tidak selalu diikuti oleh peningkatan kinerja pompa akibat bertambahnya kehilangan energi selama proses pembentukan water hammer. Dengan demikian, konfigurasi 2 katup buang merupakan konfigurasi yang paling optimal pada kondisi pengujian karena menghasilkan efisiensi tertinggi dengan debit hasil pemompaan yang relatif besar.

Kata kunci: pompa hidram, jumlah katup buang, debit air, efisiensi D'Aubuisson, water hammer.

PENDAHULUAN

Ketersediaan air merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan sektor pertanian, peternakan, serta pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat, terutama di daerah pedesaan dan wilayah dengan topografi berbukit. Namun, hingga saat ini masih banyak daerah yang memiliki sumber air permukaan tetapi mengalami kesulitan dalam mendistribusikannya ke lokasi yang lebih tinggi akibat keterbatasan energi listrik maupun biaya operasional pompa konvensional. Kondisi tersebut mendorong perlunya pemanfaatan teknologi pemompaan yang sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan. Menurut Inthachot et al. (2015), salah satu teknologi yang memenuhi kriteria tersebut adalah pompa hidram (*hydraulic ram pump*), yaitu pompa yang bekerja berdasarkan fenomena *water hammer* dengan memanfaatkan energi potensial aliran air tanpa memerlukan bahan bakar maupun energi listrik. Keunggulan tersebut menjadikan pompa hidram sebagai salah satu alternatif yang potensial dalam mendukung penyediaan air secara berkelanjutan.

Kinerja pompa hidram dipengaruhi oleh berbagai parameter desain dan parameter operasional, seperti tinggi jatuh air (*supply head*), tinggi pemompaan (*delivery head*), diameter pipa pemasukan, panjang pipa penggerak (*drive pipe*), diameter katup, berat katup buang, volume tabung udara, serta karakteristik katup buang (*waste valve*) (Inthachot et al., 2015). Di antara berbagai komponen tersebut, katup buang memiliki peranan yang sangat penting karena berfungsi mengatur frekuensi pembukaan dan penutupan aliran yang menghasilkan tekanan kejut (*water hammer*) (Metra & Credo, 2020). Intensitas tekanan kejut inilah yang kemudian menentukan besarnya energi yang mampu mendorong air menuju pipa penghantar. Oleh karena itu, perubahan karakteristik katup buang akan secara langsung memengaruhi debit air yang dihasilkan, efisiensi pompa, serta kestabilan siklus kerja pompa hidram.

Rahman (2025) dalam penelitiannya menganalisis pengaruh variasi tinggi katup buang (*waste valve height*) terhadap kinerja pompa hidram melalui metode eksperimen. Kinerja pompa dievaluasi berdasarkan debit aliran, tekanan, dan efisiensi D'Aubuisson dengan memanfaatkan sistem *Data Acquisition* (DAQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi katup buang berpengaruh signifikan terhadap pembentukan fenomena *water hammer* yang menentukan debit dan efisiensi pompa hidram, dengan kondisi optimum pada tinggi katup 12 cm yang menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 68,61%, debit aliran sebesar 0,0362 kg/s, dan tekanan keluaran sekitar 2,06 bar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa optimasi karakteristik katup buang berperan penting dalam meningkatkan performa pompa hidram, namun masih terbatas pada variasi tinggi katup buang dan belum mengkaji pengaruh jumlah katup buang terhadap debit, efisiensi, maupun karakteristik operasi pompa hidram. Metra dan Credo (2020) dalam penelitiannya mengevaluasi pengaruh modifikasi katup buang terhadap kinerja pompa hidram menggunakan metode eksperimen dengan variasi tinggi langkah (*stroke height*) katup buang. Parameter yang diamati meliputi debit aliran hasil pemompaan dan efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi langkah katup buang berpengaruh signifikan terhadap performa pompa hidram, dengan kondisi optimum pada tinggi langkah 4 inci yang menghasilkan debit rata-rata 1,95 galon/menit dan efisiensi sebesar 84,3%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa optimasi karakteristik katup buang mampu meningkatkan kinerja pompa hidram, namun kajian masih terbatas pada modifikasi tinggi langkah katup dan belum menginvestigasi pengaruh jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram. Jafri et al. (2020) dalam penelitiannya menganalisis pengaruh variasi diameter katup buang (*waste valve*) dan diameter katup penghantar (*delivery valve*) terhadap kinerja pompa hidram berukuran 3 inci melalui metode eksperimen. Parameter yang diamati meliputi debit aliran dan efisiensi pompa berdasarkan efisiensi D'Aubuisson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi diameter kedua katup berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pompa hidram, dengan kombinasi diameter katup buang 2,75 inci dan diameter katup penghantar 2,2 inci menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 67,66%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa optimasi dimensi katup merupakan faktor penting dalam meningkatkan performa pompa hidram, namun masih terbatas pada variasi diameter katup dan belum mengkaji pengaruh jumlah katup buang terhadap debit, efisiensi, maupun karakteristik operasi pompa hidram.

Berdasarkan tiga penelitian tersebut, kinerja pompa hidram dipengaruhi oleh karakteristik katup buang, seperti diameter, tinggi langkah, dan tinggi katup, yang berpengaruh terhadap pembentukan *water hammer*, debit, dan efisiensi pompa. Meskipun berbagai penelitian telah membahas pengaruh karakteristik katup buang terhadap kinerja pompa hidram, kajian mengenai pengaruh jumlah katup buang terhadap debit air dan efisiensi pompa hidram masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram guna memperoleh konfigurasi yang lebih optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

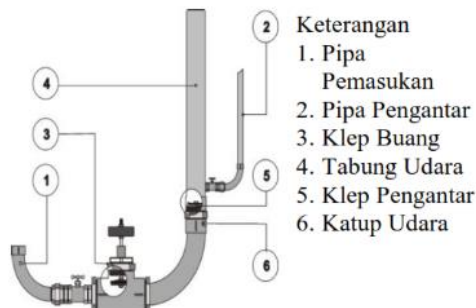
A. Pompa Hidram

Pompa hidram (*hydraulic ram pump*) merupakan pompa hidrolik yang bekerja secara otomatis dengan memanfaatkan energi potensial aliran air untuk memompa sebagian air ke elevasi yang lebih tinggi tanpa memerlukan sumber energi eksternal seperti listrik atau bahan bakar. Prinsip kerja pompa hidram didasarkan pada fenomena tekanan kejut (*water hammer*), yaitu peningkatan tekanan yang terjadi akibat penutupan katup buang secara tiba-tiba sehingga energi kinetik aliran air berubah menjadi energi tekanan. Energi tekanan tersebut kemudian dimanfaatkan untuk mendorong sebagian air melewati katup penghantar menuju tabung udara dan selanjutnya dialirkan ke pipa penghantar hingga mencapai tempat yang lebih tinggi. Teknologi ini dikenal sederhana, memiliki biaya operasional yang rendah, serta sesuai untuk penyediaan air di daerah pedesaan, daerah berbukit, dan wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik (Inthachot et al. 2015).



Gambar 1. Pompa Hidram
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

B. Komponen Utama Pompa Hidram



Gambar 2. Komponen Pompa Hidram
(Sumber: Jafri et al., 2016)

Berdasarkan gambar 2, pompa hidram terdiri atas enam komponen utama yang masing-masing memiliki fungsi penting dalam menghasilkan fenomena *water hammer* dan proses pemompaan air, antara lain (Jafri et al., 2016):

1. Pipa Pemasukan (*Drive Pipe*): Berfungsi mengalirkan air dari sumber menuju pompa dengan memanfaatkan tinggi jatuh air (*supply head*) sebagai sumber energi.
2. Pipa Pengantar (*Delivery Pipe*): Menyalurkan air hasil pemompaan dari pompa menuju tempat penampungan yang lebih tinggi.
3. Klep/Katup Buang (*Waste Valve*): Mengatur siklus kerja pompa dengan membuka dan menutup aliran secara otomatis untuk menghasilkan tekanan kejut (*water hammer*).
4. Tabung Udara (*Air Chamber*): Menyimpan energi tekanan dan menstabilkan aliran air sehingga debit yang keluar lebih kontinu.
5. Klep/Katup Pengantar (*Delivery Valve*): Katup satu arah yang mengalirkan air ke tabung udara dan mencegah aliran balik ke pompa.

6. Katup Udara (*Air Valve*): Menjaga volume udara di dalam tabung udara agar tekanan tetap stabil selama pompa beroperasi.

Hubungan Antar Komponen: Seluruh komponen tersebut bekerja dalam satu siklus operasi. Air dari sumber mengalir melalui pipa pemasukan (1) menuju pompa. Ketika klep buang (3) menutup secara tiba-tiba, terbentuk tekanan kejut (*water hammer*) yang membuka klep pengantar (5) sehingga air terdorong masuk ke tabung udara (4). Tekanan yang tersimpan di dalam tabung udara kemudian mendorong air mengalir melalui pipa pengantar (2) menuju tempat yang lebih tinggi, sedangkan katup udara (6) menjaga volume udara di dalam tabung agar proses pemompaan berlangsung stabil dan berulang secara otomatis. Menurut Evangelista et al., (2023), efektivitas siklus tersebut sangat dipengaruhi oleh desain katup buang karena komponen ini menentukan besarnya impuls tekanan yang dihasilkan.

C. Konsep *Water Hammer* pada Pompa Hidram

Menurut Bergant (2006), Fenomena *water hammer* merupakan dasar utama kerja pompa hidram. Tekanan kejut terjadi ketika aliran air dihentikan secara mendadak oleh katup buang sehingga energi kinetik berubah menjadi energi tekanan. Tekanan *water hammer* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini, dan parameter ini dapat menjelaskan gelombang satu dimensi efek *water hammer*

$$\Delta P = \rho \cdot c \cdot \Delta V \dots\dots\dots(1)$$

Formula untuk mengetahui debit aliran air dalam pipa berlaku persamaan

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- ΔP : perubahan tekanan (Pa)
- ρ : massa jenis air (kg/m^3) = 1000 (kg/m^3)
- c : kecepatan rambat gelombang tekanan air (m/s) yang besarnya adalah 1,435 m/s
- ΔV : perubahan kecepatan aliran air (m/s)
- Q : debit aliran air (liter/s)
- A : luas penampang pipa (m^2)

D. Katup Buang (*Waste Valve*)

Katup buang merupakan komponen paling penting pada pompa hidram karena mengontrol frekuensi siklus kerja pompa serta pembentukan tekanan impuls. Semakin cepat penutupan katup buang, maka tekanan impuls yang dihasilkan semakin besar sehingga debit air yang terpompa meningkat. Fungsi Katup Buang menurut Jafri et al., (2020), fungsi utama katup buang meliputi: Menghasilkan tekanan *water hammer*, mengatur siklus buka-tutup pompa, menentukan efisiensi pompa, mengontrol debit air yang terpompa, menstabilkan operasi pompa. Jenis Katup Buang: Katup tunggal (*single waste valve*), Katup ganda (*double waste valve*), Katup majemuk (*multiple waste valve*). Penggunaan lebih dari satu katup buang dapat meningkatkan frekuensi impuls dan memperbesar tekanan dorong sehingga debit air yang dihantarkan menjadi lebih tinggi (Rahman, 2025). Jumlah katup buang memengaruhi: frekuensi siklus pompa, besarnya tekanan *water hammer*, debit air terpompa, stabilitas aliran dan efisiensi pompa. Semakin banyak jumlah katup buang, maka siklus tekanan dapat berlangsung lebih cepat. Akan tetapi, jumlah katup yang terlalu banyak juga dapat menyebabkan kehilangan energi akibat turbulensi dan kebocoran tekanan.



Gambar 3. Katup Buang
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

E. Menghitung Persentase Distribusi Debit Air

Sebelum menghitung persentase distribusi debit air, maka harus di ketahui terlebih dahulu luas penampang suatu pipa (Cengel & Cimbala, 2018).

$$A_b = n_b \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana,

A_b : Luas total penampang katup buang (cm^2)

n_b : Jumlah katup buang

π : Konstanta pi ($\approx 3,14$)

d_b : Diameter katup buang (m atau mm)

Maka persentase distribusi debit air dapat dihitung dengan formula:

$$\%Q_b = \frac{A_b}{A_{Total}} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana,

$\%Q_b$: Persentase debit melalui katup buang (%)

A_b : Luas total penampang katup buang (m^2 atau mm^2)

A_{Total} : Luas penampang total acuan (m^2 atau mm^2)

F. Efisiensi D'Aubuisson

Efisiensi D'Aubuisson merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi kinerja pompa hidram. Efisiensi ini menunjukkan perbandingan antara energi hidrolik yang berhasil dimanfaatkan untuk memompa air ke tempat yang lebih tinggi dengan energi hidrolik yang tersedia dari sumber air. Semakin tinggi nilai efisiensi D'Aubuisson, semakin besar kemampuan pompa hidram dalam mengubah energi potensial air menjadi energi pemompaan (Takain, et al. 2021). Persamaan efisiensi D'Aubuisson dinyatakan sebagai:

$$\eta = \frac{Q_d \times H_d}{Q_s \times H_s} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,

η : Efisiensi D'Aubuisson (%)

Q_d : Debit air hasil pemompaan (*delivery discharge*) (L/s)

H_d : Tinggi pemompaan (*delivery head*) (m)

Q_s : Debit air masuk (*supply discharge*) (L/s)

H_s : Tinggi jatuh air (*supply head*) (m)

Dengan,

$$Q_s = Q_w + Q_d \dots\dots\dots(6)$$

Dimana,

Q_d : Debit hasil pemompaan (L/s)

Q_w : Debit air yang keluar melalui katup buang (L/s)

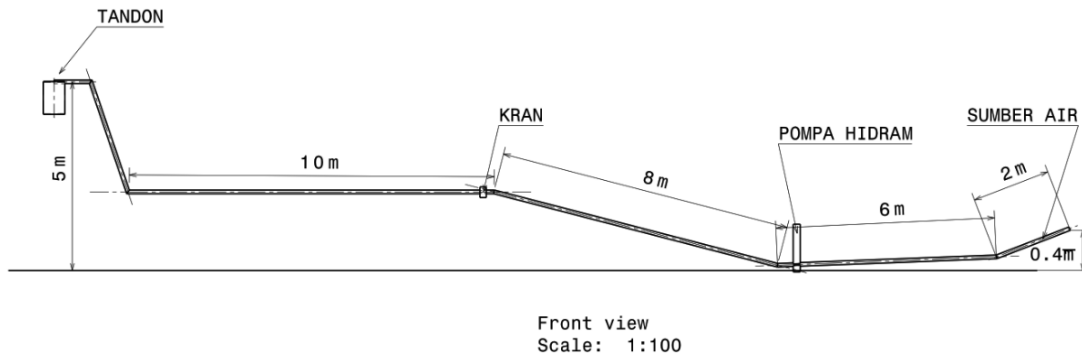
Debit suplai (debit masuk, Q_s) adalah jumlah volume air yang dialirkan dari sumber air (*reservoir supply*) menuju ke pompa hidram per satuan waktu, diukur dalam liter/detik. Debit ini menyediakan energi kinetik dan tekanan (*water hammer*) yang dibutuhkan pompa untuk mengangkat sebagian air ke lokasi yang lebih tinggi.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-komparatif untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jumlah katup buang sebanyak 1, 2, dan 3 buah, sedangkan parameter lainnya dijaga tetap. Sistem pompa hidram yang digunakan terdiri atas pipa inlet berdiameter 2 inci sepanjang 8 m, katup buang 2 inci, katup hantar 0,5 inci, tabung udara berdiameter 3 inci dengan tinggi 1,5 m, *pressure gauge*, serta stop kran.

Pengukuran dilakukan menggunakan gelas ukur, *stopwatch*, meteran, dan kamera dokumentasi. Pengujian dilakukan pada kondisi operasi yang sama untuk setiap variasi jumlah katup buang. Parameter kinerja yang

dianalisis meliputi debit katup buang, debit air terpompa, tekanan sistem, tinggi angkat, dan efisiensi pompa. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah katup buang, sedangkan variabel terikat meliputi debit keluaran, tekanan, tinggi angkat, dan efisiensi pompa. Adapun variabel kontrol yang dipertahankan tetap adalah diameter dan panjang pipa, tinggi sumber air, jenis katup, serta volume tabung udara. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk menentukan pengaruh variasi jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram serta memperoleh konfigurasi yang paling optimal untuk mendukung penyediaan air bersih secara berkelanjutan.



Gambar 4. Instalasi Pompa Hidram
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Berdasarkan gambar 4, sistem pompa hidram dirancang untuk memanfaatkan energi potensial air dari sumber menuju pompa, kemudian memompa sebagian air ke tandon yang berada pada elevasi lebih tinggi tanpa menggunakan energi listrik maupun bahan bakar. Instalasi terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu sumber air, pipa pemasukan (*drive pipe*), pompa hidram, pipa penghantar (*delivery pipe*), kran pengatur, dan tandon penampung.

Dari gambar 4, air mengalir dari sumber menuju pompa hidram melalui pipa pemasukan akibat perbedaan elevasi sebesar sekitar 0,4 m. Ketika kecepatan aliran meningkat, katup buang pada pompa menutup secara tiba-tiba sehingga menghasilkan tekanan kejut (*water hammer*). Tekanan tersebut membuka katup penghantar dan mendorong sebagian air menuju pipa penghantar hingga mencapai tandon pada ketinggian sekitar 5 m. Setelah tekanan menurun, katup penghantar menutup, katup buang kembali terbuka, dan siklus pemompaan berlangsung secara otomatis dan berulang selama sumber air masih tersedia.

Tabel 1. Parameter Instalasi Pompa Hidram

No.	Parameter	Nilai
1.	Tinggi suplai (<i>Supply Head</i>)	0,4 m
2.	Tinggi pemompaan (<i>Delivery Head</i>)	5 m
3.	Panjang pipa pemasukan (<i>Drive Pipe</i>)	8 m
4.	Panjang pipa penghantar (<i>Delivery Pipe</i>)	10 m
5.	Jarak sumber air ke pompa	6 m (termasuk bagian <i>inlet</i>)
6.	Jarak <i>inlet</i> sumber air	2 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa variasi katup buang untuk mengetahui pengaruh jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram. Variasi jumlah katup buang yang digunakan terdiri dari: 1 katup buang, 2 katup buang dan 3 katup buang. Sehingga dari variasi 3 katup buang tersebut akan dapat memberikan jawaban apakah mana yang lebih efisien dan efektif dalam penggunaannya. Untuk itu penelitian akan dilakukan pengujian satu demi satu dari variasi 3 katup buang tersebut.

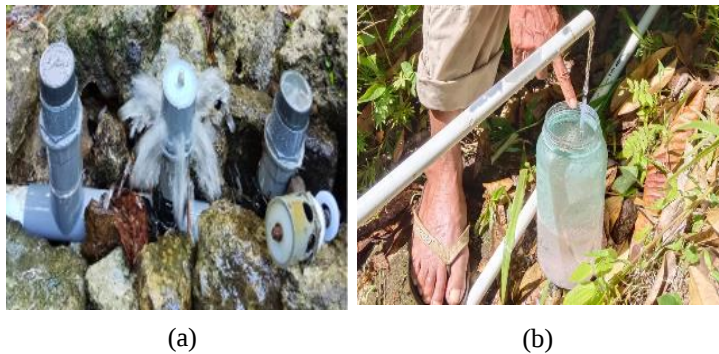
A. Pengujian debit air dengan 1 katup buang

Berdasarkan pengujian dan pengambilan data dilapangan yang mana data tersebut diambil serta dilakukan secara berulang sebanyak 7 kali sehingga diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 2. Debit air dengan 1 katup buang

Debit Air L/s		
No.	Katup buang	Katup hantar
1	17,78	1,03
2	17,77	1,05
3	17,81	1,07
4	17,82	1,06
5	17,67	1,04
6	17,66	1,08
7	17,77	1,02
Rata-rata	17,75	1,05

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 5. Output debit air dengan variasi 1 katup buang

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

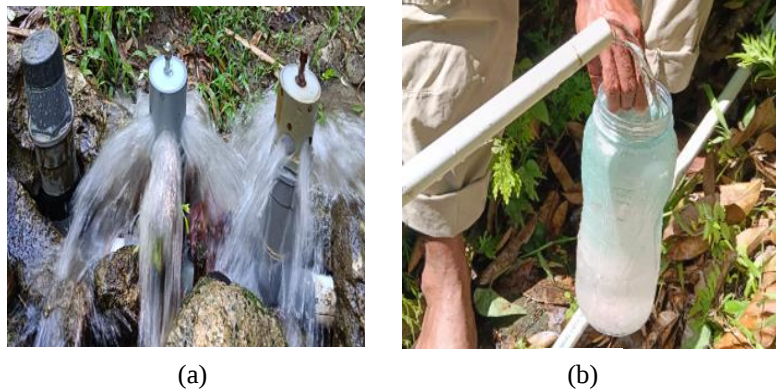
B. Pengujian debit air dengan 2 katup buang

Berdasarkan pengujian dan pengambilan data di lapangan, data tersebut diambil serta dilakukan secara berulang sebanyak 7 kali pengambilan data sehingga diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 3. Debit air dengan 2 katup buang

Debit Air L/s		
No	Kutup buang	Katup hantar
1	29,63	2,08
2	29,73	2,12
3	29,28	2,09
4	29,66	2,10
5	29,26	2,11
6	29,17	2,07
7	29,29	2,13
Rata-rata	29,43	2,10

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 6. Output debit air dengan variasi 2 katup buang
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

C. Pengujian pompa hidram dengan 3 katup buang

Berdasarkan pengujian dan pengambilan data di lapangan, data tersebut diambil serta dilakukan secara berulang sebanyak 7 kali pengambilan data sehingga diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 4. Debit air dengan 3 katup buang

Debit Air L/s		
No	Katup buang	Katup hantar
1	46,21	3,08
2	46,34	3,12
3	46,17	3,11
4	46,29	3,09
5	46,12	3,10
6	46,49	3,13
7	46,31	3,07
Rata-rata	46,27	3,10

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



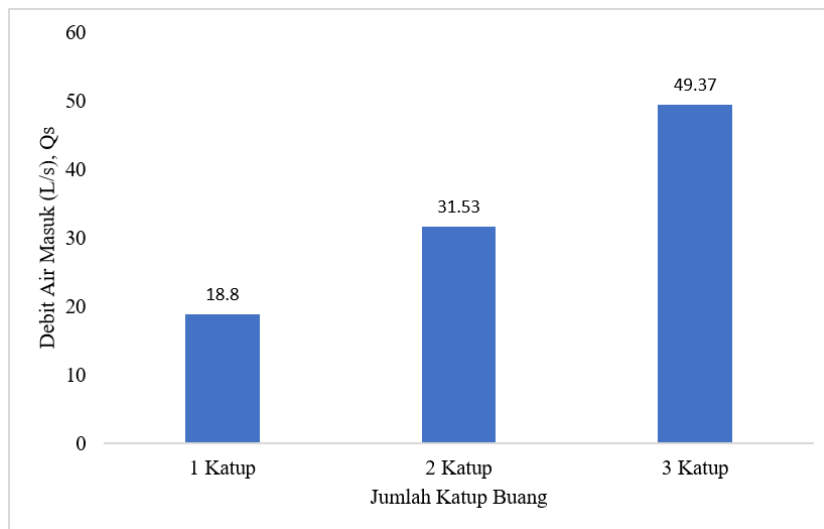
Gambar 7. Output debit air dengan variasi 3 katup buang
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Tabel 4. Rata-rata Debit Air dengan Variasi Jumlah Katup Buang

No.	Jumlah Katup Buang	Rata-rata Debit Air Katup Buang (L/s), Q_w	Rata-rata Debit Air Katup Hantar (L/s), Q_d	Debit Air Masuk (L/s), Q_s
1	1 Katup	17,75	1,05	18,80
2	2 Katup	29,43	2,10	31,53
3	3 Katup	46,27	3,10	49,37

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Berdasarkan Tabel 4, rata-rata debit air menunjukkan bahwa penambahan jumlah katup buang menyebabkan peningkatan debit air, baik pada katup buang (Q_w) maupun pada katup hantar (Q_d). Pada variasi 1 katup buang, rata-rata debit air yang keluar melalui katup buang sebesar 17,75 L/s, sedangkan debit air yang berhasil dipompa melalui katup hantar sebesar 1,05 L/s, sehingga diperoleh debit air masuk (Q_s) sebesar 18,80 L/s. Pada variasi 2 katup buang, rata-rata debit katup buang meningkat menjadi 29,43 L/s dan debit katup hantar menjadi 2,10 L/s, dengan debit air masuk sebesar 31,53 L/s. Sementara itu, pada variasi 3 katup buang, rata-rata debit katup buang mencapai 46,27 L/s, debit katup hantar sebesar 3,10 L/s, dan debit air masuk meningkat menjadi 49,37 L/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah katup buang yang digunakan, semakin besar debit air yang mengalir ke dalam sistem pompa hidram. Peningkatan debit ini terjadi karena bertambahnya luas penampang aliran pada katup buang, sehingga volume air yang masuk ke pompa semakin besar dan mampu menghasilkan energi hidrolik yang lebih tinggi untuk proses pembentukan *water hammer*.



Gambar 8. Grafik Debit Air Masuk (Q_s) terhadap Variasi Jumlah Katup Buang

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Berdasarkan grafik gambar 8, debit air masuk (Q_s) mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah katup buang. Pada variasi 1 katup buang, debit air masuk sebesar 18,80 L/s, kemudian meningkat menjadi 31,53 L/s pada variasi 2 katup buang, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 49,37 L/s pada variasi 3 katup buang. Peningkatan debit air masuk ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah katup buang memperbesar luas penampang aliran sehingga volume air yang dapat mengalir ke dalam sistem pompa hidram menjadi lebih besar. Debit air masuk yang lebih tinggi meningkatkan energi kinetik aliran pada pipa pemasukan, yang selanjutnya berperan dalam menghasilkan fenomena *water hammer* sebagai sumber energi untuk proses pemompaan. Dengan demikian, semakin banyak jumlah katup buang yang digunakan, semakin besar debit air yang tersedia untuk membentuk tekanan kejut. Namun, peningkatan debit air masuk tidak selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi pompa, karena kinerja pompa hidram juga dipengaruhi oleh sinkronisasi kerja katup, kehilangan energi (*head losses*), dan efektivitas pembentukan *water hammer*. Oleh karena itu, analisis efisiensi pompa diperlukan untuk menentukan konfigurasi jumlah katup buang yang memberikan kinerja paling optimum.

D. Efisiensi Pompa Hidram

Sebelum menghitung efisiensi pompa hidram, terlebih dahulu dilakukan perhitungan luas total penampang katup buang sebagai dasar dalam menentukan persentase distribusi debit pada setiap variasi jumlah katup. Pada penelitian ini, pompa hidram menggunakan tiga buah katup buang yang masing-masing memiliki diameter sebesar 2 inci dan diameter katup hantar 0,5 inci. Oleh karena itu, luas total penampang katup buang (A_b) dihitung berdasarkan jumlah katup dan luas penampang masing-masing katup menggunakan persamaan sebagai berikut.

1. Menghitung luas penampang katup buang

$$A_b = n_b \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$A_b = 3 \frac{\pi}{4} \times 2^2$$

$$A_b = 9,42 \text{ Inci}^2 = 60,77 \text{ cm}^2$$

2. Menghitung luas penampang katup hantar

$$A_h = n_h \frac{\pi}{4} \times d_h^2$$

$$A_h = 1 \frac{\pi}{4} \times 0,5^2$$

$$A_h = 0,19625 \text{ Inci}^2 = 1,2661 \text{ cm}^2$$

3. Total luas Penampang

$$A_{\text{Total}} = A_b + A_h = 60,77 \text{ cm}^2 + 1,2661 \text{ cm}^2 = 62,0361 \text{ cm}^2$$

Menghitung persentase distribusi debit air, persentase distribusi debit air dihitung untuk mengetahui proporsi aliran air yang melewati katup buang dan katup hantar terhadap debit total pada pompa hidram. Nilai ini digunakan sebagai parameter untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah katup buang terhadap karakteristik aliran air dalam sistem.

1. Persentase debit pada katup buang

$$\%Q_b = \frac{A_b}{A_{\text{Total}}} \times 100$$

$$\%Q_b = \frac{60,77}{62,0361} \times 100$$

$$\%Q_b = 97,95 \%$$

2. Persentase debit pada katup hantar

$$\%Q_h = \frac{A_h}{A_{\text{Total}}} \times 100$$

$$\%Q_h = \frac{1,2661}{62,0361} \times 100$$

$$\%Q_h = 2,04 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, katup buang memiliki luas penampang sebesar 60,77 cm² atau sekitar 97,95% dari total luas penampang sistem, sedangkan katup hantar memiliki luas penampang sebesar 1,2661 cm² atau sekitar 2,04%. Dengan asumsi kecepatan aliran pada kedua jalur sama, distribusi debit mengikuti perbandingan luas penampang berdasarkan persamaan kontinuitas ($Q = A \times V$). Oleh karena itu, sebagian besar aliran air akan melewati katup buang, sedangkan hanya sebagian kecil yang dialirkan melalui katup hantar menuju pipa penghantar. Kondisi ini sesuai dengan prinsip kerja pompa hidram, di mana sebagian besar debit dibuang untuk menghasilkan fenomena *water hammer*, sementara sebagian kecil debit dimanfaatkan sebagai air hasil pemompaan (Inthachot et al. 2015).

Menghitung efisiensi pompa hidram, efisiensi pompa hidram dihitung untuk mengetahui kemampuan pompa dalam mengubah energi potensial air dari sisi masuk (*supply head*) menjadi energi hidrolik yang digunakan untuk mengangkat air ke elevasi yang lebih tinggi (*delivery head*). Pada penelitian ini, efisiensi pompa dihitung menggunakan persamaan efisiensi D'Aubuisson, karena metode ini merupakan metode yang paling umum digunakan dalam evaluasi kinerja pompa hidram. Perhitungan efisiensi D'Aubuisson sesuai dengan persamaan (5), dengan Tinggi suplai (*Supply Head*) 0,4 m dan Tinggi pemompaan (*Delivery Head*) 5 m. Berikut efisiensi pompa untuk masing-masing jumlah katup buang, berdasarkan data dari tabel 4:

1. Variasi 1 Katup Buang,

$$\eta_1 = \frac{1,05 \times 5}{18,8 \times 0,4} \times 100 = 69,81 \%$$

2. Variasi 2 Katup Buang

$$\eta_2 = \frac{2,10 \times 5}{31,53 \times 0,4} \times 100 = 83,26 \%$$

3. Variasi 3 Katup Buang

$$\eta_3 = \frac{3,10 \times 5}{49,37 \times 0,4} \times 100 = 78,49 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan efisiensi D'Aubuisson, variasi jumlah katup buang memberikan pengaruh terhadap kinerja pompa hidram. Variasi 1 katup buang menghasilkan efisiensi sebesar 69,81 %. Efisiensi meningkat pada variasi 2 katup buang menjadi 83,26 %, yang menunjukkan bahwa konfigurasi ini mampu menghasilkan proses *water hammer* yang paling efektif sehingga energi hidrolik dapat dimanfaatkan secara optimal untuk proses pemompaan. Namun, pada variasi 3 katup buang, efisiensi menurun menjadi 78,49%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa penambahan jumlah katup buang tidak selalu meningkatkan efisiensi, karena bertambahnya luas bukaan dan kompleksitas aliran dapat menyebabkan peningkatan kehilangan energi (*head losses*) serta menurunkan efektivitas pembentukan tekanan kejut. Dengan demikian, pada kondisi pengujian ini, variasi 2 katup buang merupakan konfigurasi yang memberikan efisiensi pompa hidram paling tinggi.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh jumlah katup buang terhadap kinerja pompa hidram, dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah katup buang memberikan pengaruh yang nyata terhadap debit air dan efisiensi pompa hidram. Peningkatan jumlah katup buang dari 1 katup menjadi 3 katup menyebabkan rata-rata debit air pada katup buang meningkat dari 17,75 L/s menjadi 46,27 L/s, sedangkan rata-rata debit air hasil pemompaan melalui katup hantar meningkat dari 1,05 L/s menjadi 3,10 L/s. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah katup buang yang digunakan, semakin besar debit air yang mengalir ke dalam sistem sehingga energi hidrolik yang tersedia untuk menghasilkan fenomena *water hammer* juga meningkat.

Hasil perhitungan efisiensi menggunakan metode D'Aubuisson menunjukkan bahwa variasi jumlah katup buang memengaruhi kemampuan pompa dalam memanfaatkan energi aliran air. Efisiensi pompa pada variasi 1 katup buang sebesar 69,81%, meningkat menjadi 83,26% pada variasi 2 katup buang, kemudian menurun menjadi 78,49% pada variasi 3 katup buang. Dengan demikian, konfigurasi 2 katup buang menghasilkan kinerja paling optimum karena mampu memberikan efisiensi tertinggi, sedangkan penggunaan 3 katup buang memang meningkatkan debit hasil pemompaan, tetapi disertai penurunan efisiensi akibat bertambahnya kehilangan energi dan berkurangnya efektivitas proses pembentukan *water hammer*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Disarankan untuk mengkaji pengaruh jumlah katup buang lebih dari tiga buah sehingga dapat diperoleh konfigurasi optimum yang menghasilkan debit dan efisiensi pompa hidram yang lebih baik.
2. Untuk penerapan di lapangan, konfigurasi 2 katup buang dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih efisien karena mampu menghasilkan keseimbangan antara debit air hasil pemompaan dan efisiensi pompa hidram pada kondisi pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

Referensi

- Bergant, A., Simpson, A.R., & Tijsseling, A.S., 2006, *Water hammer with column separation: A historical review*, Journal of Fluids and Structures, Volume 22, Issue 2, pp. 135-171, <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2005.08.008>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M., 2018, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications (4th ed.)*. McGraw-Hill Education, New York, USA.
- Evangelista, S., Tortora, G., & Viccione, G., 2023, *Experimental and Numerical CFD Modelling of the Hydrodynamic Effects Induced by a Ram Pump Waste Valve*, Sustainability, MDPI, vol. 15(17), pp. 1-20. <https://doi.org/10.3390/su151713104>
- Inthachot, M., Saehaeng, S., Max, J.F.J., Müller, J., & Spreer, W., 2015, *Hydraulic Ram Pumps for Irrigation in Northern Thailand*. Agriculture and Agricultural Science Procedia, Volume 5, pp. 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.015>

Journal Mechanical Engineering (JME).
VOL 4, NO. 1 APRIL 2026

- Jafri, M., Gusnawati, & Banamtuan, A., 2016, *Analisa Beda Tinggi Katup dan Variasi Diameter Pipa Inlet Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram Ukuran Dua Inchi*. LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, 3(1), pp. 75-80. <https://doi.org/10.35508/ljtmu.v3i1.467>
- Jafri, M., Bale, J.S., & Thei, A.R., 2020, *Experimental Study of Waste Valves and Delivery Valves Diameter Effect on the Efficiency of 3-Inch Hydraulic Ram Pumps*. International Journal of Fluid Machinery and Systems, 13 (3), pp. 615-622. <https://doi.org/10.5293/IJFMS.2020.13.3.615>
- Metra, D. P., & Credo, M. C., 2020, *Design analysis, installation and performance evaluation of a hydraulic ram pump system with a modified waste valve*. Vietnam Journal of Science and Technology, 58(1), pp. 107–118. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/1/13734>
- Rahman M., 2025, *Optimizing Hydraulic Ram Pump Performance: Experimental Insights on Waste Valve Height and Uncertainty Analysis*. Indian Journal of Science and Technology, 18(18), pp. 1377-1396. <https://doi.org/10.17485/IJST/v18i18.394>
- Takain, R., Riwu, D., Tobe, A., & Adoe, D., 2021, *Pengaruh Ukuran Tabung Udara Dengan Tinggi Pipa Keluaran 7 Meter Terhadap Efisiensi Pompa Hidram Double Katup Limbah*. Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya, 6(1), pp. 56-61. <https://doi.org/10.35508/fisa.v6i1.2724>