

Perancangan dan Pengujian Unjuk Kerja Pompa Hydram Dengan Katup Tekan Model Plat, Membran, Bola dan Setengah-Bola

Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung 80361, Bali, Indonesia
e-mail penulis: made.suarda@me.unud.ac.id

Abstrak

Pompa hydram telah banyak dibuat dan dioperasikan hingga saat ini. Hal ini telah banyak dapat membantu masyarakat di pedesaan atau pegunungan, dimana energi listrik masih merupakan kendala untuk mengoperasikan pompa air yang digerakkan oleh motor listrik. Namun, kendala yang dikeluhkan oleh masyarakat adalah cepat rusak pada bagian katup limbah dan katup tekan pompa hydram. Mengingat karakteristik aliran fluida melalui permukaan plat dan bola yang sangat berbeda, dimana pada luas proyeksi yang sama namun luas permukaan bola lebih besar sehingga gaya seret (*drag*) pada katup bentuk bola akan lebih besar pula. Disamping itu, kehandalan katup model plat juga kurang baik dimana karet pada katup cepat sekali aus dan/atau rusak, hal ini yang mengurangi minat masyarakat memanfaatkan pompa hydram. Perancangan dan pengujian awal katup tekan model bola telah dibuat untuk membandingkan performansinya dengan katup tekan model plat dan membran. Namun dari hasil pengujian menunjukkan performansi katup tekan model bola lebih rendah dibandingkan dengan model membran walaupun lebih baik dibandingkan dengan model plat. Hal ini disebabkan karena desain panjang langkah katup tekan model bola terlalu panjang yaitu 10 sentimeter. Untuk itu pada penelitian ini panjang langkah katup tekan model bola dibatasi dengan *stopper* (karet) hanya sepanjang 2,4 sentimeter yaitu sama dengan katup tekan model plat dan membran. Pada penelitian ini juga dibuat dan diuji katup tekan model setengah-bola yang mempunyai diameter dan berat yang sama dengan model bola. Dari rancangan keempat model katup tersebut dilakukan pengujian performansi pompa hydram pada ketinggian air suplai 4 meter dan ketinggian pemompaan 10, 15, 20 dan 25 meter. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa Katup tekan model bola menghasilkan efisiensi volumetris (12,03% pada rasio head statis Z_d/Z_s 6,25) dan efisiensi total (84,39% pada rasio head statis Z_d/Z_s 6,25) terbaik, kemudian diikuti katup tekan model membran, model setengah-bola, dan model plat yang memberikan efisiensi paling rendah.

Keywords: pompa hydram, katup plat, katup membran, katup bola, katup setengah-bola

Pendahuluan

Walaupun sejak tahun 1774 pompa hydram telah ditemukan dan telah banyak dipergunakan untuk memompa air di daerah-daerah terpencil dimana terdapat terjunan air yang memiliki tinggi dan debit yang memadai, namun dalam pemanfaatannya mengalami kendala yaitu sering rusaknya pada bagian katupnya. Salah satu contoh, pompa hydram telah dirancang dan dibuat serta dioperasikan pada tahun 2010 untuk memompa air sungai guna memenuhi kebutuhan masyarakat dusun Kebon Jero desa Munduk Temu kecamatan Pupuan kabupaten Tabanan – Bali, seperti pada Gambar 1.

Karena dimensinya besar dan bekerja pada head yang tinggi, sesuai hukum Pascal maka katup

tekan (model plat) pompa hydram tersebut menerima gaya palu air (*water hammer*) besar pula sebanding dengan luas plat katup tersebut, sehingga katup tersebut sangat cepat rusak atau kurang handal.



Gambar 1. Pompa hydram

Walaupun pompa tersebut telah dapat beroperasi dengan baik, namun akibat tingginya head tekanan dan luas penampang katup tekan mengakibatkan gaya palu air (*water hammer*) pada katup tekan model plat tersebut sangat besar sehingga katup tersebut cepat sekali rusak. Untuk itu perlu dicari solusi untuk menghindari cepatnya kerusakan katup tekan tersebut, salah satunya adalah dengan menggunakan katup tekan model membran dimana luasan yang bertumbukan relatif sangat kecil sehingga gaya tumbukan pada katup yang terjadi akibat palu air kecil pula. Disamping itu, Perancangan dan pengujian awal katup tekan model bola telah dibuat untuk membandingkan performansinya dengan katup tekan model plat dan membran. Namun dari hasil pengujian menunjukkan performansi katup tekan model bola lebih rendah dibandingkan dengan model membran walaupun lebih baik dibandingkan dengan model plat. Hal ini disebabkan karena desain panjang langkah katup tekan model bola terlalu panjang yaitu 10 sentimeter. Untuk itu pada penelitian ini panjang langkah katup tekan model bola dibatasi dengan stopper (karet) hanya sepanjang 2,4 sentimeter yaitu sama dengan katup tekan model plat dan membran. Pada penelitian ini juga dibuat dan diuji katup tekan model setengah-bola yang mempunyai diameter dan berat yang sama dengan model bola.

Adapun permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang model katup plat, membran, bola dan setengah bola pada katup tekan pompa hydram, dimana pada model katup bentuk bola dan setengah bola karetnya dibuat menempel (statis) pada dudukan katupnya dan hanya bolanya (atau setengah bola) yang bergerak. Kemudian bagaimana perbandingan performansi dari keempat model katup tekan tersebut.

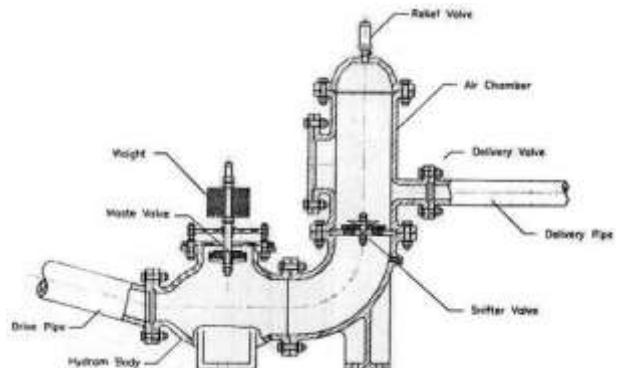
Tinjauan Pustaka

Pompa hydram telah ditemukan oleh Green dan Carter pada tahun 1774. Pompa hydram (*hydraulic ram*) atau pompa impulse [US AID, 1982] adalah suatu alat untuk mengangkat/mengalirkan air (sebagai air sumber) dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi secara kontinyu dengan menggunakan energi potensial sumber air yang akan dialirkan sebagai daya penggerak, tanpa adanya sumber energi luar seperti energi listrik atau energi bahan bakar minyak [Taye, 1998]. Dengan cara ini air dari suatu sumber mata air dapat dialirkan ke suatu desa/pemukiman atau irrigasi pertanian disekitarnya. Jadi, dimana saja terdapat terjunan air maka pompa hydram dapat digunakan sebagai suatu alat untuk memompa air

yang relatif sederhana dan murah harganya. Energi potensial dari ketinggian tertentu dikonversi menjadi energi kinetik yang berupa kecepatan air kemudian dikuatkan dengan terjadinya efek palu air atau *water hammer* (Jening 1996).

Komponen – komponen utama pompa hydram, seperti pada Gambar 2, adalah sebagai berikut :

1. Badan pompa (*hydram 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 2. Komponen – komponen utama pompa hydram. (sumber : Tessema, 2000, hal 3)

Untuk aliran fluida tak termampatkan dari titik 1 ke titik 2, persamaan kontinyuitasnya (Streeter 1975) adalah :

$$Q = A_1.v_1 = A_2.v_2 \quad (1)$$

Dimana:

$$Q = \text{debit aliran}(\text{m}^3/\text{dt})$$

$$A_{1,2} = \text{luas penampang aliran di titik } 1,2 (\text{m}^2)$$

$$v_{1,2} = \text{kecepatan aliran di titik } 1,2 (\text{m}/\text{dt})$$

Menurut Rajput (2002) persamaan head (energi per satuan berat fluida) untuk aliran konstan dari titik s ke titik d yang ditambah dengan kerugian – kerugian head adalah :

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + H_p = z_d + \frac{p_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} + H_L \quad (2)$$

Dimana:

$$z_s = \text{head statis elevasi isap/suction pompa (m)}$$

$$z_d = \text{head statis elevasi buang/discharge pompa (m)}$$

$$p_s = \text{head statis tekanan isap/suction pompa (N/m}^2)$$

$$p_d = \text{head statis tekanan buang/discharge pompa (N/m}^2)$$

$$v_s = \text{head dinamis kecepatan fluida pada ujung isap/suction pompa (m/det)}$$

$$v_d = \text{head dinamis kecepatan fluida pada ujung buang/discharge pompa (m/det)}$$

$$H_p = \text{head pompa (m)}$$

$$H_L = \text{head losses total instalasi perpipaan sistem pompa (m)}$$

Kerugian gesekan di dalam pipa atau yang disebut *major losses* dapat dihitung dengan persamaan :

$$H_{L.Ma} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Dimana :

- f = koefisien gesekan pipa
- D = diameter pipa (m)
- L = panjang pipa (m)
- v = kecepatan aliran (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Sedangkan kerugian pada perlengkapan pipa atau *minor losses* dapat dihitung dengan persamaan :

$$H_{L.Mi} = K \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Dimana K adalah koefisien kerugian pada perlengkapan pipa.

Daya output pompa (*Water Horse Power* = WHP) adalah daya air yang dihasilkan pompa, yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$WHP = \gamma Q H \quad (5)$$

Dimana :

- γ = berat jenis fluida (N/m³)
- Q = kapasitas pompa (m³/dt)
- H = head pompa (m)

Daya yang tersedia pada aliran air yang disuplai untuk mengoperasikan pompa hidram berbanding lurus dengan besarnya laju *volumetric* (debit) air yang disuplai dikalikan dengan ketinggian suplainya. Dimana kapasitas air suplai tersebut sama dengan kapasitas air limbah ditambah air hasil pemompaan. Pompa hidram bekerja dengan memanfaatkan daya yang tersedia tersebut untuk mengalirkan sebagian air ke tempat yang lebih tinggi. Sehingga efisiensi total pompa hidram dinyatakan sebagai persamaan D – Aubuission, adalah sebagai berikut :

$$\eta_t = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_d + Q_w) \cdot H_s} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

- Q_d = kapasitas air hasil pemompaan (m³/dt)
- Q_w = kapasitas air yang keluar dari katup limbah (m³/dt)
- H_d = tinggi pemompaan (m)
- H_s = ketinggian sumber air (m)

Sedangkan efisiensi volumetrisnya merupakan perbandingan antara debit pemompaan dan debit suplai penggerak pompa yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_v = \frac{Q_d}{(Q_d + Q_w)} \times 100\% \quad (7)$$

Perancangan katup tekan

Dari hasil perhitungan pada perancangan awal

maka dapat dirancang sebuah katup limbah, dan katup tekan model plat, membran, bola dan setengah-bola pada pompa hidram. Pada penelitian ini telah dibuat rancangan berbagai katup berikut :

- a. Katup Limbah
- b. Katup Tekan Model Plat
- c. Katup Tekan Model Membran
- d. Katup Tekan Model Bola
- e. Katup Tekan Model Setengah-Bola

Model katup plat, membran bola dan setengah bola yang telah dibuat dan diuji adalah seperti pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.



Gambar 3. Katup model ‘Plat’



Gambar 4. Katup model ‘Membran’ 15 cm



Gambar 5. Katup model ‘Bola’



Gambar 6. Katup model ‘Setengah-Bola’

Adapun skema rancangan penelitian yang telah dilakukan adalah seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema pengujian pompa hydram

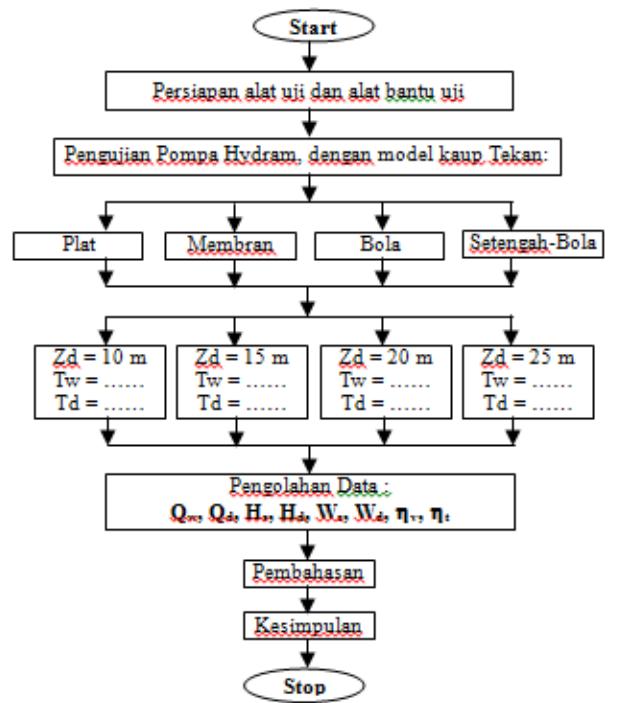
Prosedur Pengujian

Tahap – Tahap pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapan pompa dan alat bantu pengujian katup tekan, dengan ketinggian suplai $Z_s = 4$ meter, dengan panjang pipa penggerak $L_s = 20$ meter
2. Setup pompa hydram dengan katup tekan model "Plat"
3. Setup ketinggian tekan $Z_d = 10$ meter
4. Alirkan air ke bak penggerak sampai penuh dan dijaga dalam kondisi selalu over-flow supaya ketinggian head penggeraknya konstan
5. Buka gate valve, untuk mengalirkan air dari bak *drive* ke badan pompa hydram
6. Start kerja pompa dengan cara membuka dan menutup katup limbah agar pompa dapat bekerja dan biarkan pompa berjalan beberapa saat
7. Setelah pompa bekerja dan telah stabil lakukan pencatatan data seperti waktu untuk volume air 20 liter yang keluar dari katup limbah (T_w), waktu untuk volume air 3 liter yang keluar dari pipa tekan (T_d) serta panjang pipa tekan (L_d), tekanan pada manometer, dan frekuensi siklus kerja pompa (F).
8. Ulangi langkah 7 sebanyak 3 (tiga) kali
9. Ulangi langkah 3 sampai dengan langkah 8 untuk ketinggian tekan 15, 20, dan 25 meter.
10. Ulangi langkah 2 sampai dengan 9 untuk katup tekan model "Membran", "Bola", dan "Setengah-Bola"

Diagram alir penelitian

Secara garis besar kegiatan tahapan pengujian dilakukan seperti pada diagram alir pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir pengujian katup pompa

Hasil dan Pembahasan

Dari pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan data hasil pengujian. seperti pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Data hasil pengujian katup tekan model 'Plat'

Z_d (m)	n	Z_s (m)	L_w (mm)	T_w (detik)	T_d (detik)	P_t (bar)	F (1/menit)	L_s (m)	L_d (m)
10	1	4	24	25.68	16.53	10.0	42	20	36
	1	4	24	25.55	16.82	10.0	42	20	36
	3	4	24	25.79	16.68	10.0	41	20	36
Rata-Rata									
15	1	4	24	26.76	23.17	1.5	40	20	56
	3	4	24	26.09	23.08	1.5	40	20	56
	3	4	24	26.14	23.43	1.5	39	20	56
Rata-Rata									
20	1	4	24	25.99	27.45	20	45	20	61
	2	4	24	24.63	27.31	20	44	20	61
	3	4	24	25.65	27.59	20	43	20	61
Rata-Rata									
25	1	4	24	27.06	32.26	1.8	45	20	66
	1	4	24	27.77	32.75	1.8	44	20	66
	3	4	24	27.47	33.05	1.8	44	20	66
Rata-Rata									
Tabel 1. Data hasil pengujian katup tekan model 'Plat'									

Tabel 2. Data hasil pengujian katup tekan model 'Membran'

Zd (m)	n	Zs (m)	Lw (mm)	Tw (detik)	Td (detik)	Pt (bar)	F (l/menit)	Ls (m)	Ld (m)
10	1	4	24	31.29	15.65	10.0	38	20	36
	2	4	24	30.42	15.87	10.0	38	20	36
	3	4	24	30.49	16.16	10.0	37	20	36
Rata-Rata	4	24	30.73	15.89	10.0	38	20	36	
15	1	4	24	29.16	22.62	1.5	40	20	56
	2	4	24	28.99	22.89	1.5	39	20	56
	3	4	24	29.36	22.93	1.5	39	20	56
Rata-Rata	4	24	29.17	22.81	1.5	39	20	56	
20	1	4	24	27.78	29.82	2.0	41	20	61
	2	4	24	28.09	29.68	2.0	40	20	61
	3	4	24	29.36	29.65	2.0	40	20	61
Rata-Rata	4	24	28.71	29.69	2.0	40	20	61	
25	1	4	24	27.62	32.08	2.5	43	20	66
	2	4	24	27.95	32.77	2.5	43	20	66
	3	4	24	27.36	32.34	2.5	43	20	66
Rata-Rata	4	24	27.64	32.43	2.5	43	20	66	

Tabel 3. Data hasil pengujian katup tekan model 'Bola'

Zd (m)	n	Zs (m)	Lw (mm)	Tw (detik)	Td (detik)	Pt (bar)	F (l/menit)	Ls (m)	Ld (m)
10	1	4	24	25.72	13.34	1.0	42	20	36
	2	4	24	25.44	13.19	1.0	42	20	36
	3	4	24	26.14	13.25	1.0	42	20	36
Rata-Rata	4	24	25.77	13.25	1.0	42	20	36	
15	1	4	24	28.35	19.98	1.5	42	20	56
	2	4	24	27.67	20.08	1.5	42	20	56
	3	4	24	27.69	20.06	1.5	42	20	56
Rata-Rata	4	24	27.90	20.02	1.5	42	20	56	
20	1	4	24	28.36	26.02	2.0	44	20	61
	2	4	24	28.53	26.24	2.0	43	20	61
	3	4	24	27.38	26.12	2.0	43	20	61
Rata-Rata	4	24	28.09	26.13	2.0	43	20	61	
25	1	4	24	26.15	26.31	2.5	45	20	66
	2	4	24	26.68	28.16	2.5	44	20	66
	3	4	24	25.54	28.40	2.5	43	20	66
Rata-Rata	4	24	25.79	28.29	2.5	44	20	66	

Tabel 4. Data hasil pengujian katup tekan model 'Setengah Bola'

Zd (m)	n	Zs (m)	Lw (mm)	Tw (detik)	Td (detik)	Pt (bar)	F (l/menit)	Ls (m)	Ld (m)
10	1	4	24	22.31	14.66	0.5	34	20	36
	2	4	24	22.78	14.88	0.5	34	20	36
	3	4	24	22.78	14.90	0.5	33	20	36
Rata-Rata	4	24	22.62	14.79	0.5	34	20	36	
15	1	4	24	23.71	20.35	1.4	46	20	56
	2	4	24	23.39	20.02	1.4	46	20	56
	3	4	24	22.89	20.46	1.4	45	20	56
Rata-Rata	4	24	23.33	20.64	1.4	46	20	56	
20	1	4	24	24.01	24.72	1.8	48	20	61
	2	4	24	24.02	24.35	1.8	47	20	61
	3	4	24	23.89	24.37	1.8	46	20	61
Rata-Rata	400	24.00	23.97	24.48	180	1.8	47	20	61
25	1	4	24	22.68	27.21	1.8	47	20	66
	2	4	24	23.31	27.48	1.8	46	20	66
	3	4	24	22.90	27.42	1.8	46	20	66
Rata-Rata	4	24	22.96	27.37	1.8	46	20	66	

Keterangan :

- Zd = Tinggi elavasi permukaan air suplai penggerak pompa
- Zs = Tinggi elavasi ujung pipa pemompaan
- n = Pengulangan pengujian
- Lw = Panjang Langkah Katup Limbah
- Tw = Waktu untuk Volume Air Limbah = 20 liter
- Td = Waktu untuk Volume Air Pemompaan = 3 liter
- Pt = Tekanan pada outlet Tabung Tekan
- F = Frekuensi siklus katup limbah

Ls = Panjang pipa suplai air penggerak

Ld = Panjang pipa air pemompaan

Untuk mendapatkan performansi masing-masing model katup tekan pada pompa hydram, maka data tersebut kemudian diolah berdasarkan persamaan-persamaan yang ada pada tinjauan pustaka, hasilnya adalah seperti pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 8.

Tabel 5. Pengolahan data hasil pengujian katup tekan model 'Plat'

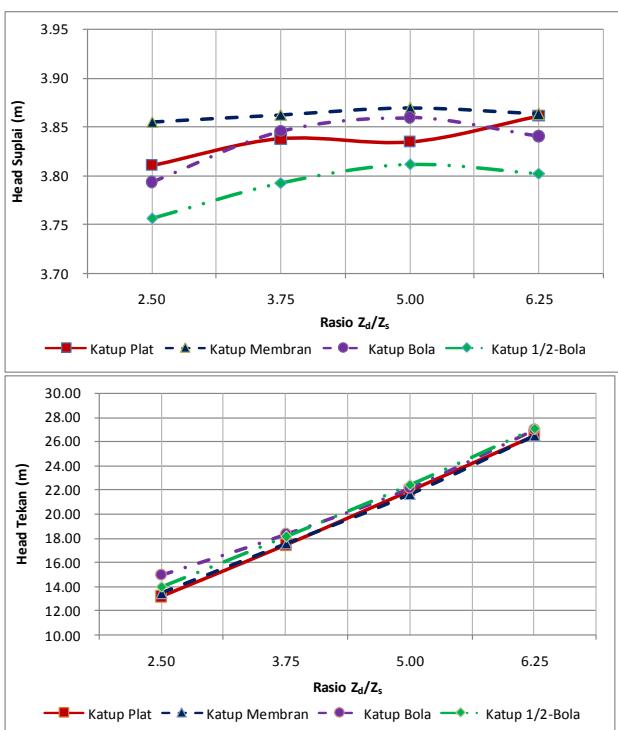
Zd (m)	n	v _s (m/dt)	v _d (m/dt)	H _{Ls} (m)	H _{Ld} (m)	H _s (m)	H _d (m)	Q _w (l/dt)	Q _d (l/dt)	W _s (Watt)	W _d (Watt)	% _s (%)	% _d (%)
10	1	0.77	1.43	1.03	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.86	1.43	1.03	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.86	1.43	1.03	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.77	1.42	1.09	1.05	1.05	1.05	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
15	1	0.77	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.86	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.86	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.78	1.41	1.17	1.13	1.13	1.13	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
20	1	0.77	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.86	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.86	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.78	1.41	1.17	1.13	1.13	1.13	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
25	1	0.75	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.84	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.84	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.75	1.41	1.16	1.13	1.13	1.13	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47

Tabel 6. Pengolahan data hasil pengujian katup tekan model 'Membran'

Zd (m)	n	v _s (m/dt)	v _d (m/dt)	H _{Ls} (m)	H _{Ld} (m)	H _s (m)	H _d (m)	Q _w (l/dt)	Q _d (l/dt)	W _s (Watt)	W _d (Watt)	% _s (%)	% _d (%)
10	1	0.78	1.53	1.03	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.86	1.53	1.03	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.86	1.53	1.03	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.79	1.50	1.07	1.03	1.03	1.03	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
15	1	0.77	1.49	1.15	1.15	1.15	1.15	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.86	1.49	1.15	1.15	1.15	1.15	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.86	1.49	1.15	1.15	1.15	1.15	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.78	1.47	1.15	1.11	1.11	1.11	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
20	1	0.76	1.44	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	2	0.85	1.44	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
	3	0.85	1.44	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
Rata-Rata	4	0.77	1.42	1.16	1.12	1.12	1.12	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	65.47
25	1	0.75	1.43	1.16	1.16	1.16	1.16	0.130	0.130	35.89	35.89	10.00	

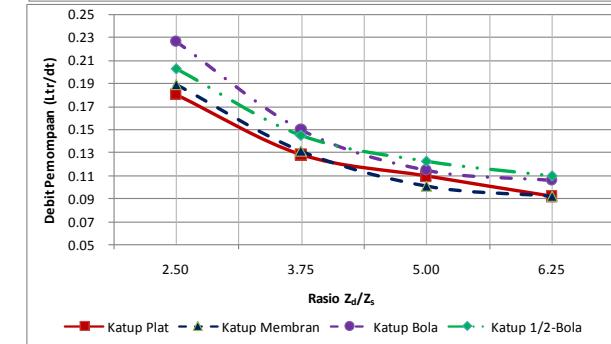
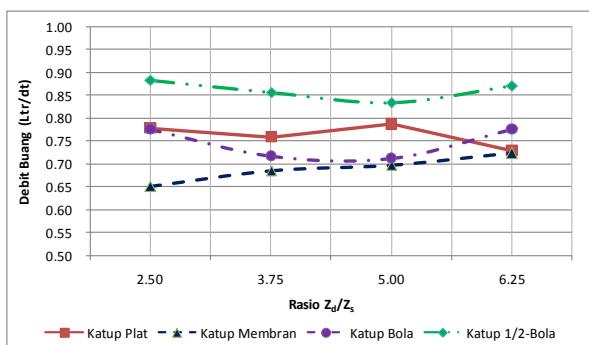
Zd (m)	n	vs (m/dt)	vd (m/dt)	HLs (m)	HLd (m)	Rs (m)	Hd (m)	Qs (L/dt)	Qd (L/dt)	Ws (Watt)	Wd (Watt)	η_s (%)	η_d (%)
25	1	BBT	1.00	0.25	3.00	3.75	14.00	0.00	0.00	40.50	22.54	82.92	82.73
	2	BBT	1.00	0.25	3.00	3.75	13.00	0.00	0.00	39.00	21.79	81.75	81.54
	3	BBT	1.00	0.25	3.00	3.75	12.00	0.00	0.00	38.00	21.53	81.05	80.85
Rata-Rata	0.95	1.00	0.24	3.07	3.76	14.00	0.00	0.20	40.05	21.85	81.06	80.93	
	1	BBT	1.34	0.20	2.00	3.05	11.05	0.00	0.04	34.00	15.47	84.57	84.35
	2	BBT	1.35	0.20	2.00	3.07	11.02	0.00	0.05	32.00	15.86	84.50	84.43
Rata-Rata	1.33	0.20	2.00	3.07	3.05	11.02	0.00	0.05	32.00	15.85	84.37	84.25	
	1	BBT	0.97	0.19	2.00	3.04	11.00	0.00	0.15	37.00	21.82	84.40	84.20
	2	BBT	0.97	0.19	2.00	3.03	11.00	0.00	0.15	35.00	21.61	84.32	84.10
Rata-Rata	0.98	0.19	2.00	3.03	3.03	11.00	0.00	0.15	35.00	21.60	84.34	84.14	
	1	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.00	0.15	35.00	21.50	84.30	84.08
	2	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.00	0.15	35.00	21.48	84.30	84.06
Rata-Rata	0.96	0.19	2.00	3.03	3.03	11.00	0.00	0.15	35.00	21.48	84.30	84.06	
	1	BBT	0.97	0.19	2.00	3.03	11.00	0.12	0.12	26.93	12.81	75.27	75.17
	2	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.12	0.12	26.70	12.70	75.20	75.08
Rata-Rata	0.96	0.19	2.00	3.03	3.03	11.00	0.12	0.12	26.80	12.75	75.18	75.02	
	1	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.12	0.12	26.60	12.70	75.15	75.00
	2	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.12	0.12	26.50	12.68	75.15	74.98
Rata-Rata	0.96	0.19	2.00	3.03	3.03	11.00	0.12	0.12	26.55	12.68	75.15	74.98	
	1	BBT	0.97	0.19	2.00	3.03	11.00	0.12	0.12	26.50	12.65	75.15	74.95
	2	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.12	0.12	26.50	12.65	75.15	74.95
Rata-Rata	0.96	0.19	2.00	3.03	3.03	11.00	0.12	0.12	26.55	12.65	75.15	74.95	
	1	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.11	0.11	26.55	12.65	75.15	74.95
	2	BBT	0.96	0.19	2.00	3.03	11.00	0.11	0.11	26.55	12.65	75.15	74.95
Rata-Rata	0.96	0.19	2.00	3.03	3.03	11.00	0.11	0.11	26.55	12.65	75.15	74.95	

Berdasarkan Tabel 5 sampai dengan Tabel 8 dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12, untuk membandingkan performansi atau unjuk kerja pompa hydram dengan berbagai model katup tekan yang telah diuji.



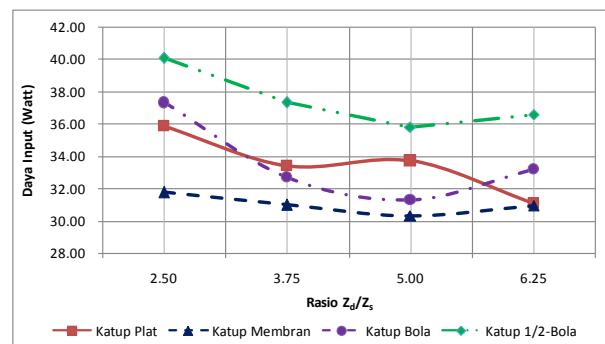
Gambar 9. Perbandingan head supply/drive dan head discharge

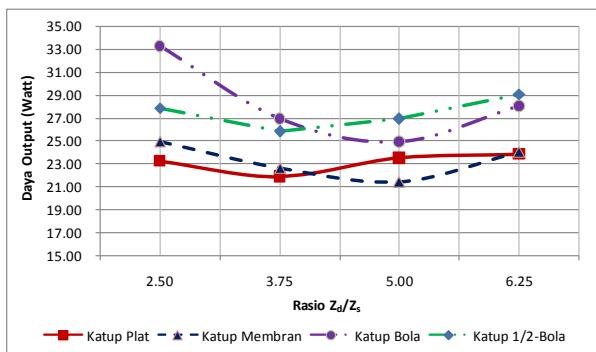
Gambar 9 menunjukkan besarnya head air penggerak pompa hydram (H_s) dan head tekan/discharge (H_d) pompa hydram. Karena keempat model katup tersebut diuji pada kondisi yang sama maka head kedua pompa tersebut juga hampir sama.



Gambar 10. Perbandingan debit air penggerak dan air hasil pemompaan

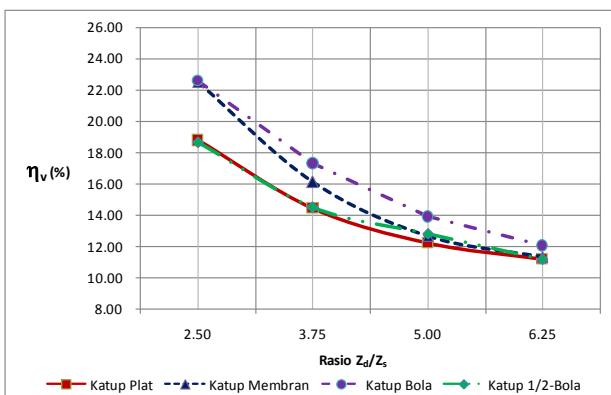
Gambar 10 menunjukkan bahwa katup tekan model ‘membran’ membutuhkan debit air penggerak (Q_s) yang paling kecil, kemudian diikuti oleh katup model ‘bola’ selanjutnya katup tekan model plat, dan katup tekan model ‘setengah-bola’ paling boros debit air penggerak. Disamping itu, debit pemompaan pompa (Q_d) hydram dengan menggunakan katup tekan model ‘bola’ secara umum memberikan debit pemompaan yang lebih besar sedangkan katup tekan model ‘plat’ memberikan debit pemompaan yang paling kecil. Jadi katup tekan model ‘bola’ membutuhkan debit air penggerak (Q_s) yang relatif lebih kecil namun dapat memberikan debit pemompaan (Q_d) yang lebih tinggi. Semakin tinggi head pemompaan atau tinggi tekan (H_d) maka semakin kecil debit pemompaan (Q_d) yang dihasilkan.





Gambar 11. Perbandingan daya air penggerak dan daya pemompaan

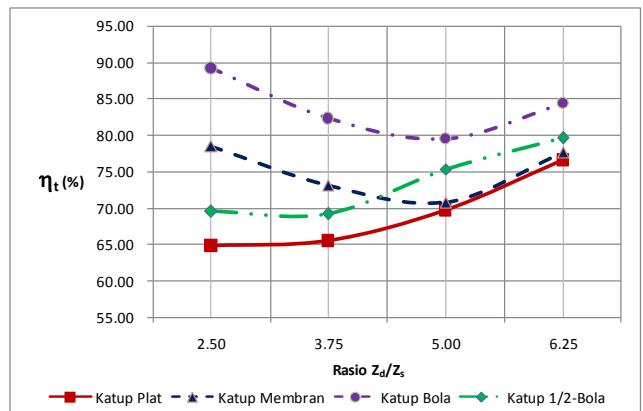
Karena model katup tekan model ‘bola’ membutuhkan air penggerak yang paling kecil, maka membutuhkan daya penggerak pompa (W_s) yang paling kecil pula, selanjutnya diikuti katup tekan model bola dan plat, sedangkan katup tekan model ‘setengah-bola’ membutuhkan penggerak pompa (W_s) yang paling besar karena debit air penggeraknya paling besar pula, seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Namun, pompa hydram dengan katup tekan model ‘bola’ dan ‘setengah-bola’ memberikan daya pemompaan (W_s) yang lebih besar dibandingkan dengan katup tekan model ‘membran’ dan ‘plat’, seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Secara umum semakin tinggi head pemompaan maka semakin kecil daya output pompa yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi head pemompaan maka panjang pipa salurannya juga semakin panjang sehingga head lossesnya atau kerugian energinya juga semakin besar, sehingga mengakibatkan daya output pompa menurun.



Gambar 12. Perbandingan efisiensi volumetris

Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin tinggi head pemompaan atau tinggi tekan maka semakin kecil efisiensi volumetris yang dihasilkan. Karena katup tekan model ‘bola’ menghasilkan efisiensi volumetris (η_v) yang paling tinggi, yaitu 22,58% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 2,50 menurun menjadi 12,03% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 6,25, selanjutnya diikuti oleh katup tekan model

‘membran’ dan ‘setengah-bola’, sedangkan katup tekan model ‘plat’ menghasilkan efisiensi volumetris (η_v) yang paling rendah, yaitu 18,78% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 2,50 menurun menjadi 11,18% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 6,25.



Gambar 13. Perbandingan Efisiensi total

Karena dengan energi sumber penggerak yang sama katup tekan model ‘bola’ menghasilkan daya pemompaan yang lebih besar, maka efisiensi total (η_t) yang dihasilkannya pun lebih tinggi, yaitu sekitar 89,18% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 2,50 kemudian menurun hingga sekitar 79,55% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 5,00 kemudian meningkat lagi menjadi 84,39% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 6,25, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5. Kemudian diikuti oleh katup tekan model ‘membran’ dan ‘setengah-bola’, sedangkan katup tekan model ‘plat’ menghasilkan efisiensi total (η_t) paling rendah, yaitu sekitar 64,80% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 2,50 kemudian meningkat hingga sekitar 76,60% pada rasio head statis (Z_d/Z_s) 6,25.

Secara umum katup tekan model ‘bola’ memberikan unjuk kerja atau performansi : debit pemompaan, daya output, efisiensi volumetris maupun efisiensi total yang paling baik, kemudian diikuti oleh katup tekan model ‘membran’ dan ‘setengah-bola’, sedangkan katup tekan model ‘plat’ yang hingga saat ini paling umum digunakan pada pompa hydram justru memberikan performansi yang paling rendah. Untuk itu pada desain aplikasi pompa hydram berikutnya disarankan untuk menggunakan katup tekan model bola. Katup tekan model ‘membran’ juga dapat menjadi pilihan alternatif pada aplikasi yang mempunyai potensi debit mata air yang relatif kecil karena katup ini membutuhkan debit air penggerak paling irit walaupun performansinya masih lebih rendah dibandingkan katup tekan model ‘bola’.

Kesimpulan

Dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan yaitu :

1. Katup tekan model ‘bola’ memberikan unjuk kerja

- atau performansi seperti debit pemompaan, daya output, efisiensi volumetris maupun efisiensi total yang paling baik, kemudian diikuti oleh katup tekan model ‘membran’ dan ‘setengah-bola’, sedangkan katup tekan model ‘plat’ memberikan performansi yang paling rendah.
2. Secara umum semakin tinggi head tekan pemompaan maka performansi pompa baik debit pemompaan, daya output, dan efisiensinya semakin kecil.
- Saran**
- Untuk implementasi pompa hydram disarankan untuk menggunakan katup tekan model ‘bola’ sebagai ganti katup model plat, karena telah terbukti mampu memberikan performansi yang lebih baik. Katup tekan model ‘membran’ juga dapat menjadi pilihan alternatif pada aplikasi yang mempunyai potensi debit mata air yang relatif kecil karena katup ini membutuhkan debit air penggerak paling irit walaupun performansinya masih lebih rendah dibandingkan katup tekan model ‘bola’.
 - Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan pengujian pada rasio head yang lebih tinggi hingga pompa tersebut tidak mampu lagi menghasilkan debit pemompaan, mengingat phenomena performansi pada katup tekan model ‘bola’ dan ‘membran’ berfluktuasi, sedangkan pada katup tekan model ‘setengah-bola’ dan ‘plat’ cenderung meningkat. Untuk itu dibutuhkan lokasi penelitian yang mempunyai beda ketinggi elevasi yang lebih tinggi.
- Ucapan Terima kasih**
- Terimakasih disampaikan kepada Universitas Udayana. Paper ini diseminarkan sebagai pertanggungjawaban pelaksanaan penelitian Dana RM Universitas Udayana tahun 2013 untuk skim Penelitian Fundamental.
- Referensi**
- Chi, M., dan Diemer, P., *Hydraulic Ram Handbook*, Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen (2002)
- David, J.P., dan Edward, H.W., *Schaum’s Outline of Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, Singapore (1985)
- Jennings, G.D., *Hydraulic Ram Pumps*, North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina (1996)
- Rajput, R. K., *A Textbook of Fluid Mechanics and Hidroulic Machines*, S1 Version, S. Chad and Company Ltd, New Delhi (2002)
- Streeter, V.L., dan Wylie, E.B., *Fluid Mechanics*, 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York (1975)
- Suarda M., Wirawan IKG, *Kajian Eksperimental Pengaruh Tabung Udara Pada Head Tekanan Pompa Hidram*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM Vol. 2, Nomor 1, Juni 2008, ISSN 1979-2468, Hal.10-14. (2008)
- Suarda M., Sukadana IKG, *Penerapan Teknologi Pompa Hydram Untuk Meningkatkan Produktivitas Usaha Tani Sari Murni Banjar Kebon Jero*, Laporan Pengabdian Masyarakat program Iptek bagi Masyarakat (IbM) (2010)
- Suarda M., *Perancangan dan Pengujian Model Sistem Hydram Penggerak Pompa Torak Dengan Dua Sumber Aliran: Air Kotor dan Air Bersih*, Prosiding: Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM-IX), Palembang, ISBN: 978-602-97742-0-7, Tgl. 13-15 Oktober 2010, Hal. MI-021 - MI-125. (2010)
- Taye, T., *Hydraulic Ram Pump*, Journal of the ESME, Vol. II, Juli 1998, Addis Ababa, Ethiopia (1998)
- Tessema, A.A., *Hydraulic Ram Pump System Design and Application*, ESME 5th Conference on Manufacturing and Process Industry, September 2000, Addis Ababa, Ethiopia (2000)
- Young, B., *Design of Homologous Ram Pump*, Journal of Fluids Engineering, Transaction of the ASME, Vol. 119, June 1997, pp.360-365 (1997)