

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN MODEL SISTEM HYDRAM PENGGERAK POMPA TORAK DENGAN DUA SUMBER ALIRAN: AIR KOTOR DAN AIR BERSIH

Made Suarda

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran Denpasar 80316

Telp.: +62-361-703321, Fax: +62-361-703321, E-mail : made.suarda@me.unud.ac.id

ABSTRAK

Saat ini di beberapa tempat telah dimanfaatkan pompa hydam untuk bisa mengangkat air dari suatu tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi, dengan memanfaatkan energi potensial sumber air yang akan dialirkan. Namun kendala yang dihadapi pada pompa hydam adalah dimana daerah pemasangannya terbatas, yaitu hanya pada daerah yang ada sumber mata airnya yang memiliki kapasitas aliran air cukup besar dan hanya mampu mengalirkan sebagian kecil air tersebut sehingga tidak mencukupi kebutuhan masyarakat setempat. Mengingat pada umumnya mata air tersebut berada di pinggir sungai, maka salah satu alternatif solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memodifikasi pompa hydam, yang merupakan gabungan dari konsep pompa hydam dan pompa torak. Efek palu air (hydam) yang terjadi pada badan pompa hydam digunakan untuk menggerakkan mekanisme pompa torak. Hydam dibangkitkan oleh aliran air sungai yang mempunyai kapasitas relatif besar sedangkan pompa torak digunakan untuk mengalirkan air bersih yang berasal dari mata-air, sehingga diharapkan seluruh kapasitas air dari mata-air tersebut dapat dialirkan ke wilayah pemukiman penduduk.

Pada penelitian ini, rancangan sistem hydam penggerak pompa torak ini menggunakan diameter badan pompa hydam 3 inchi dengan pipa penggerak (drive) 1,5 inchi yang panjangnya 6 meter, diameter piston torak 87 mm dengan panjang langkah torak 103 mm. Rancangan sistem pompa ini diuji pada beda ketinggian sumber air penggerak hydam 1 meter pada variasi massa katup limbah (800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200, 1250) gram dan panjang langkah (9 ~ 17) mm, dan ketinggian pemompaan pompa torak 5 meter. Rancangan pompa yang telah dibuat dan diuji pada ketinggian air penggerak 1 meter dan tinggi pemompaan 5 meter, dapat beroperasi dengan baik. Namun, jika dibandingkan antara hasil dari kajian teoritis dan hasil pengujian model rancangan pompa terjadi perbedaan yang cukup jauh, dimana performansi pompa hasil pengujian jauh lebih rendah dibandingkan hasil dari kajian secara teoritis. Secara teoritis diharapkan dapat memberikan kapasitas pemompaan sebesar 0,031 ltr/det dengan efisiensi 37,5%, namun hasil pengujian hanya memberikan kapasitas pemompaan 0,009 ltr/det dengan efisiensi 7,7%. Hal ini terjadi karena salah satunya terjadi akibat adanya gesekan yang cukup dominan antara torak dan silinder pada mekanisme pompa toraknya mengingat tidak terdapatnya pelumasan oli. Jika dioperasikan pada kondisi head penggerak dan head pemompaan yang lebih besar diharapkan akan dapat memberikan performansi yang lebih baik.

Keywords: pompa hydam, pompa torak, massa katup limbah, panjang langkah

1. Pendahuluan

Pompa Hydraulic ram atau yang sering disebut dengan pompa hydam adalah pompa yang tidak menggunakan energi listrik, yang bekerja secara automatic yaitu dengan memanfaatkan energi aliran air untuk mengangkat air dari sumber air setempat yang dituju (bisa mencapai 150 m). Energi dalam aliran air yang dimaksud disini adalah energi potensial yang kemudian dikuatkan dengan terjadinya efek palu air (*water hammer*). Energi potensial yang dimanfaatkan

berasal dari perbedaan ketinggian antara sumber air dengan rumah pompa, sehingga air akan mengalir ke bawah. Sedangkan efek palu air terjadi pada rumah pompa, dimana aliran air akan dihentikan secara tiba-tiba oleh katup limbah (*waste valve*) yang ada pada rumah pompa. Namun terdapat beberapa kendala yang dimiliki oleh pompa hydam, salah satunya yaitu pompa hydam hanya dapat menganagkat air dengan debit air yang tinggi saja. Sedangkan kebanyakan dari sumber air yang ada memiliki debit air yang kecil. Kendala yang



dihadapi pada pompa hidrolik ram adalah dimana daerah pemasangannya terbatas, yaitu hanya pada daerah yang ada sumber mata airnya yang mengalir sepanjang tahun dan memiliki ketinggian terjun tertentu, dan kapasitas air yang mampu dipompa/dialirkan adalah sebagian kecil dari aliran sumbernya sehingga membutuhkan sumber aliran yang lebih besar dibandingkan dengan aliran air aktual yang dihasilkan.

Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memodifikasi pompa torak dengan penggerak pompa hidram. Hal ini dilakukan karena sumber air bersih biasanya terletak dekat dengan aliran sungai dan memiliki debit yang kecil. Sehingga kemungkinan untuk mengangkat air bersih langsung dengan pompa hidram saja tidak bisa dilakukan karena pompa hidram memerlukan debit air yang besar. Pompa hidram itu sendiri digerakkan dengan memanfaatkan tekanan daripada aliran air sungai yang rata – rata memiliki debit yang besar. Dengan memanfaatkan tekanan air yang dihasilkan akibat efek palu air untuk menggerakkan torak pada pompa torak yang dikopel dengan membran diafragma. Dimana gerakan translasi dari torak ini akan berfungsi untuk menghisap air bersih yang kemudian dialirkan menuju ke tempat penampungan. Selain tidak memerlukan tenaga listrik, dan sesuai dengan program yang dicanangkan oleh pemerintah yaitu pemanfaatan teknologi tepat guna yang ramah terhadap lingkungan.

Adapun permasalahan yang dibahas adalah bagaimana merancang pompa hydram yang dimodifikasikan dengan pompa torak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan rancangan model pompa hydram yang dikombinasikan dengan pompa torak.

2. Tinjauan Pustaka

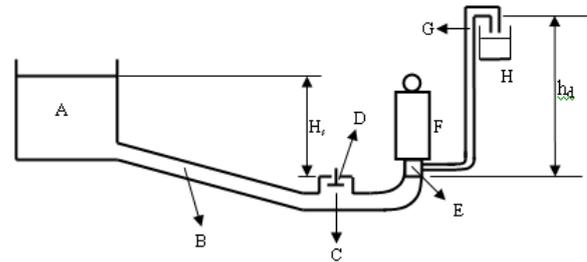
2.1. Pompa Hidrolik Ram

2.1.1 Pengertian Pompa Hidrolik Ram

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 irigasi 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.

2.1.2. Prinsip Kerja Pompa Hidrolik Ram

Hidraulic ram merupakan pompa yang bekerja secara otomatis dengan prinsip kerja seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Instalasi pompa hydraulic ram

Air mulai mengalir dari sumber air (A) ke badan pompa (C) melalui pipa drive (B) dan keluar melalui katup limbah (D) yang sedang terbuka. Aliran terus bertambah sampai maksimum dan tekanan dalam pipa drive juga bertambah secara bertahap. Jika kecepatan aliran air dalam pipa drive cukup cepat dan tekanan di pipa drive bertambah sehingga mampu mengangkat lempengan katup limbah, dengan demikian katup limbah tertutup. Katup limbah yang tertutup secara tiba-tiba tersebut akan menyebabkan aliran air dalam pipa drive dan badan pompa terhenti, hal ini akan menimbulkan efek palu air (water hammer) dan menyebabkan kenaikan tekanan pada badan pompa. Kenaikan tekanan pada badan pompa akan mendorong air menuju ke tabung udara (F) melalui katup penghantar (E). Air akan menekan udara dalam tabung udara, sehingga menyebabkan tekanan dalam tabung udara naik. Kenaikan tekanan pada tabung udara akan menutup katup penghantar dan menekan air ke dalam bak penampungan (H) melalui pipa penghantar (G).

Palu air pada badan pompa sebagian dikurangi dengan mengalirkan air ke dalam tabung udara dan sebagian lagi kembali ke pipa drive sehingga menyebabkan katup limbah terbuka (juga karena beratnya sendiri). Katup limbah yang terbuka menyebabkan air dari sumber air mengalir kembali melalui pipa drive, keluar melalui katup limbah yang terbuka dan siklus terulang kembali.

Pompa hydram adalah pompa yang hanya dapat digunakan pada aliran sumber yang mempunyai kemiringan, sebab pompa ini membutuhkan energi terjunan air dengan ketinggian lebih besar atau sama dengan 0,7 meter yang masuk ke dalam pompa [Breurram, 2001]. Air mengalir (dipercepat/ *acceleration*) melalui pipa penggerak (dengan panjang 4-6 kali ketinggian bak penampung) ke dalam badan pompa dan keluar melalui katup limbah yang terbuka. Pada kecepatan yang mencukupi katup ini akan menutup dengan sangat cepat. Akibatnya, tekanan yang tinggi akan terjadi di dalam pompa, yang mana air hanya dapat keluar lewat katup tekan ke dalam tabung udara, yang selanjutnya mengkompresi (*compression*) udara yang ada di dalam tabung tersebut sampai kecepatan aliran air



menjadi nol. Udara di dalam tabung udara yang dikompresi tadi akan menekan air di dalam tabung tersebut ke dalam pipa penyalur (*delivery pipe*) dan berikutnya mengalir ke dalam reservoir (*delivery*). Setelah tekanan air diatas katup tekan lebih tinggi dari tekanan statik air pada badan pompa maka katup tekan akan menutup dan aliran air akan berhenti dan bergerak kembali ke pipa penggerak (*recoil*). Hal ini akan mengakibatkan tekanan di dalam rumah pompa akan rendah dan akibat beban katup limbah maka katup limbah tersebut akan terbuka secara otomatis dan air akan mengalir lagi melalui katup limbah, siklus pemompaan akan terulang lagi.

2.1.3. Kapasitas Pompa Hydram

Kapasitas air keluar katup limbah (Q_w) adalah

$$Q_w = \frac{V_w}{T_0} \quad (1)$$

dimana :

V_w = volume air keluar dari katup limbah (m^3)

$$V_w = \left(\frac{A_1 \cdot v_c^2}{g} \right) \cdot \left(\frac{L}{H'} \right) k_2$$

T_0 = waktu total siklus (detik)

$$T_0 = T_a + T_p$$

$$T_a = \left(\frac{v_c}{2g} \right) \cdot \left(\frac{L}{H'} \right) k_1$$

$$T_p = \frac{2L}{c}$$

$$k_1 = \frac{\ln \left[\frac{(1+a)}{(1-a)} \right]}{a}$$

$$k_2 = \frac{\ln \left[\cosh \left(\frac{a \cdot k_1}{2} \right) \right]}{a^2}$$

A_1 = Luas penampang pipa *drive* (m^2)

L = panjang pipa *delivery*

a = Rasio kecepatan (v_c/v_1) = 0,8 [Young, 1995]

H' = tinggi sumber air dikurangi kerugian (m)

k_1 = Fungsi dari rasio kecepatan ($a = v_c/v_1$)

V_w = Volume air keluar dari katup limbah (m^3)

T_a = waktu untuk akselerasi (detik)

T_p = waktu pemompaan (detik)

Sedangkan kapasitas air hasil pemompaan (Q_d) adalah

$$Q_d = \frac{V_p}{T_0} \quad (2)$$

dimana :

V_p = volume pemompaan tiap siklus (m^3)

$$V_p = \frac{V_1 \cdot v_c^2}{2 \cdot g \cdot h_d} \quad (3)$$

h_d = Tinggi pemompaan (m)

V_1 = Volume pipa *drive* (m^3)

Sehingga kapasitas air yang keluar dari sumber adalah

$$Q_s = Q_w + Q_d \quad (4)$$

dimana :

Q_s = kapasitas air yang keluar dari sumber (m^3/dt)

Q_w = kapasitas air keluar dari katup limbah (m^3/dt)

Q_d = kapasitas air hasil pemompaan (m^3/dt)

2.1.4. Efisiensi Pompa Hydram

Untuk mengetahui efisiensi pompa hidrolik ram dipergunakan persamaan *D-Aubuisson* yaitu.

$$\eta = \frac{q_d \cdot h_d}{Q_s \cdot H'_s} \cdot 100\% \quad (5)$$

dimana:

η = Efisiensi (%)

h_d = Ketinggian pemompaan (m)

H'_s = Ketinggian suplai air (m)

q_d = Kapasitas pemompaan (m^3/dt)

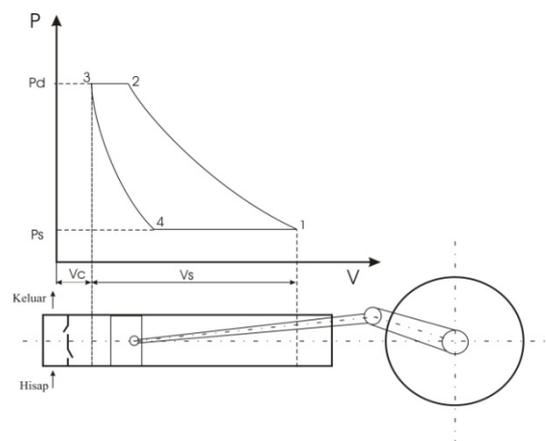
Q_s = Kapasitas air suplai (m^3/dt)

2.2. Pompa Torak

2.2.1. Pengertian Pompa Torak

Pompa Torak yang disebut juga Pompa reciprocating adalah pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*) yang merubah energi mekanis mesin/motor penggeraknya menjadi energi aliran fluida dengan menggunakan bagian pompa yang bergerak bolak-balik (piston/plunger di dalam silinder).

2.2.2. Prinsip Kerja Pompa Torak



Gambar 2. Skema single-acting pompa torak

Pada saat piston bergerak ke kanan akan terjadi langkah isap, dan sebaliknya bergerak ke kiri terjadi langkah tekan/buang. Pada saat mula langkah isap hanya



udara yang terisap dan permukaan cairan di dalam pipa isap akan makin naik, kemudian campuran cairan dan udara, selanjutnya cairan saja.

Pada gambar 2., terlihat bahwa torak memulai langkah kompresinya pada titik 1. (Lihat diagram P-V). Torak bergerak ke kiri dan air dimampatkan hingga tekanannya naik ke tekanan Pd pada titik 2. Pada titik ini tekanan pipa keluar (*pressure tank*), hingga katup tekan (*discharge valve*) pada silinder head akan terbuka. Jika torak bergerak terus ke kiri, air akan didorong keluar silinder pada tekanan Pd. Di titik 3 torak mencapai titik mati atas (*top dead centre*), yaitu gerakan torak pada langkah kompresi dan pengeluaran.

2.2.3 Dimensi-dimensi Dasar Silinder dan panjang langkah

Dalam menghitung diameter pompa torak yang berdasarkan pada kecepatan piston (Khetagurov, 1968), maka diameter pompa adalah :

$$D = 0,0266 \sqrt{\frac{Q}{k \times C_m \cdot \eta_v}} \quad (6)$$

Untuk menentukan panjang langkah :

$$\psi = \frac{L_s}{D}$$

maka:

$$L_s = \psi \cdot D \quad (7)$$

Dimana:

- C_m = mean piston velocity
- k = koefisien langkah torak
- η_v = efisiensi volumetris

2.2.4. Kapasitas pompa torak

Untuk pompa torak Volume cairan yang dipindahkan selama satu langkah piston akan sama dengan perkalian luas piston dengan panjang langkahnya [Karassik, dkk, 1976], sehingga debit pompa adalah :

$$Q_{th} = \frac{A \cdot L_s}{T} = \frac{\pi d^2 \cdot L_s}{4 T} \quad (8)$$

dimana :

- Q_{th} = debit pompa torak teoritis (m³/dt)
- A = luas penampang piston (m²)
- L_s = Panjang langkah (m)
- T = waktu untuk satu kali siklus (det)

Sedangkan untuk kapasitas pompa yang sebenarnya adalah :

$$Q_{act} = \left(1 - \frac{1}{h_s + h_d}\right) \times Q_{th} \quad (9)$$

dimana:

- h_s = head hisap (m)
- h_d = head delivery (m)

2.3. Dasar Perancangan

2.3.1. Pipa Drive

Pipa *drive* berfungsi untuk mengalirkan air dari sumber ke badan pompa. Di dalam pipa ini terdapat penjalaran gelombang tekanan air akibat tertutupnya katup limbah, sehingga harus dipakai pipa dari besi. Panjang pipa *drive* (L) memenuhi persyaratan sebagai berikut.

$$L = 500 \cdot D_1 \quad (10)$$

atau

$$L = 6 \cdot H_s \quad (11)$$

Dimana:

- D₁ = Diameter pipa *drive* (m)
- H_s = Tinggi sumber air dengan katup limbah (m)

2.3.2. Persamaan-Persamaan Aliran Air di Dalam Pompa Hydran

Sesuai dengan prinsip kerjanya pompa hydran memanfaatkan penutupan tiba-tiba aliran air di dalam pipa untuk menghasilkan tekanan balik yang tinggi. Peningkatan tekanan yang terjadi akibat penutupan valve secara tiba-tiba dapat ditentukan dengan persamaan Joukowsky (Torishima, 1968)

$$\Delta H_p = \frac{c(V_2 - V_2^I)}{g} \quad (12)$$

Dimana :

- ΔH_p = Kenaikkan head tekanan (m)
- V₂ = Kecepatan aliran air di dalam pipa sebelum katup menutup (m/dt)
- V₂^I = Kecepatan aliran air di dalam pipa setelah katup menutup (m/dt)
- c = kecepatan gelombang suara di dalam air (m/dt)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt)

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

$$p_v = \rho_a g (H_s - H_L) \quad (13)$$

Dimana :

- p_v = Tekanan air pada katup limbah (N/m²)
- H_L = Total head loss pada saluran penggerak (m)

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

$$F_a = m_s a_s = \rho_a A_s L_s \frac{dV}{dt} \quad (14)$$

Dimana :

- F_a = Gaya percepatan air dalam pipa penggerak (N)
- m_s = Massa air yang dipercepat (kg)

Maka :

$$p_v = \frac{F_a}{A_s} = \rho_a L_s \frac{dV}{dt} \quad (15)$$

Sehingga ,



$$H_s - H_L = \frac{L_s}{g} \frac{dV}{dt} \quad (16)$$

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

$$H_s - f \frac{L_s}{D_s} \frac{V^2}{2g} - \sum \left(K \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{L_s}{g} a_s \quad (17)$$

Dimana :

- a_s = Percepatan aliran air dalam pipa penggerak (m/dt^2)
- H_s = Head terjunan air sumber (m)
- f = koefisien gesekan pipa
- L_s = panjang pipa penggerak (m)
- D_s = Diameter pipa penggerak (m)
- v = kecepatan aliran air di dalam pipa penggerak (m/dt)
- K = Koefisien kerugian perlengkapan pipa

Walaupun percepatan aliran ini cukup untuk memulai menutup katup limbah, ini terjadi jika gaya seret (drag) dan gaya tekan didalam air sama dengan berat katup limbah.

$$F_d = C_d A_v \rho_a \frac{V^2}{2} \quad (18)$$

Dimana :

- F_d = Gaya seret pada katup limbah (N)
- C_d = Koefisien seret pada katup limbah = 1,12 untuk circular disk [Taye,1998]
- A_v = Luas penampang katup limbah (m^2)
- ρ_a = Massa jenis air (kg/m^3)

Pompa torak bekerja dengan memanfaatkan tekanan air yang dihasilkan oleh efek palu air untuk menggerakkan torak itu sendiri. Tekanan air pada saat air menekan diafragma dapat dicari dari persamaan Bernoulli, yaitu :

$$p_v = \rho_a g (H_s - H_L) \quad (19)$$

Dimana :

- p_v = Tekanan air pada katup limbah (N/m^2)
- H_L = Total head loss pada saluran penggerak (m)
- H_s = Head terjunan air sumber (m)
- ρ_a = Massa jenis air (kg/m^3)
- g = Percepatan gravitasi ($9,8 m/dt^2$)

Gaya yang mempercepat air dapat ditulis menggunakan persamaan Newton, yaitu

$$F_a = m_s a_s = \rho_a A_s L_s \frac{dV}{dt} \quad (20)$$

Dimana :

- F_a = Gaya percepatan air dalam pipa penggerak (N)
- m_s = Massa air yang dipercepat (kg)
- a_s = Percepatan aliran air dalam pipa penggerak (m/dt^2)

ρ_a = Massa jenis air (kg/m^3)

L_s = panjang pipa penggerak (m)

$\frac{dV}{dt}$ = Perubahan kecepatan terhadap waktu (m/dt^2)

2.3.3. Pegas

Pegas dapat berfungsi sebagai pelunak tumbukan atau kejutan, ataupun sebagai pembagi rata dari tekanan. Namun dalam perancangan pompa (2,24), pegas digunakan sebagai pengembali gaya. Pegas dibuat dari berbagai jenis bahan. Pegas untuk pemakaian umum dengan diameter 9,2 mm biasanya terbuat dari kawat tarik keras yang dibentuk dingin (Sularso, 2002).

Dimana Konstanta Pegas yaitu :

$$k = \frac{Gd^4}{8nD^3} \quad (21)$$

Dimana :

- G = merupakan modulus geser
- n = jumlah lilitan aktif
- D = diameter lilitan rata-rata
- d = diameter kawat pegas

2.3.5. Tabung Udara / Air Vessels

Tabung udara/ Air Vessels merupakan ruangan tertutup yang berisi tekanan udara di bagian atas dan cairan yang dipompakan di bagian bawah. Satu Air Vessels di pipa hisap ditaruh dekat katup hisap, dan yang lainnya diletakkan di dekat katup tekan. Adapun kegunaan dari Air Vessels ini (Sumber : Rajput, 1998) adalah :

1. Untuk memperoleh cairan secara kontinyu
2. Menjaga daya pada saat pompa bergerak/pemompaan
3. Untuk menyalakan pompa pada kecepatan tinggi tanpa adanya bahaya separation.

Untuk kapasitas tabung (air vessel) untuk meredam water hammer yang terjadi dalam sistem pemipaa dapat ditentukan dengan persamaan "Rigid Water Column Theory" (Torishima, 1968).

$$V_T = \frac{Q_d^2}{2g} \left[\frac{L_d}{A_d H_d} - \frac{L_s}{A_s H_s} \right] \alpha \quad (22)$$

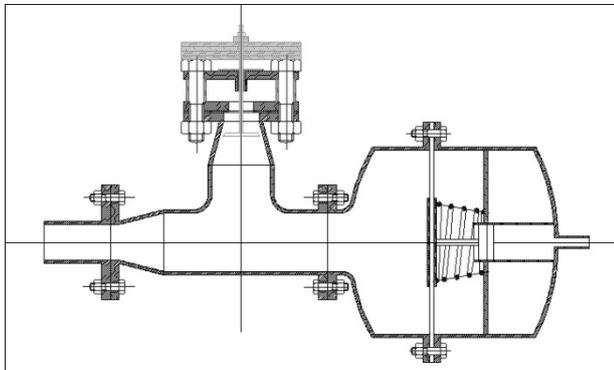
Dimana :

- V_T = kapasitas surge tank yang dibutuhkan (m^3)
- Q_d = laju aliran pada pipa tekan (m^3/s)
- L_d = panjang pipa tekan (m)
- L_s = panjang pipa hisap (m)
- A_d = luas penampang pipa tekan (m^2)
- A_s = luas penampang pipa hisap (m^2)
- h_d = beda ketinggian tabung dengan tangki tekan (m)
- h_s = beda ketinggian tabung dengan tangki hisap (m)
- α = angka keamanan = $2 \div 3$

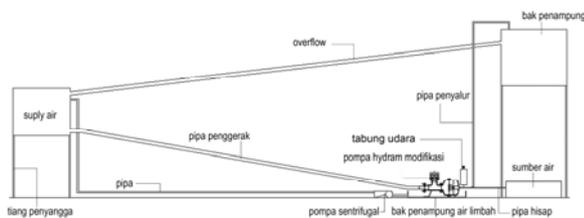


3. Metode

3.1. Skema Rancangan



Gambar 3. Badan pompa hydam penggerak pompa torak



Gambar 4 Skema Instalasi Pengujian

3.2. Prinsip Kerja Pompa Torak dengan Penggerak Hydam

Pada gambar 4, air mulai mengalir dari sumber air ke badan pompa hydam melalui pipa drive dan keluar melalui katup limbah yang sedang terbuka. Aliran terus bertambah sampai maksimum dan tekanan dalam pipa drive juga bertambah secara bertahap. Jika kecepatan aliran air dalam pipa drive cukup cepat dan tekanan di pipa drive bertambah sehingga mampu mengangkat lempengan katup limbah, dengan demikian katup limbah tertutup. Katup limbah yang tertutup secara tiba-tiba tersebut akan menyebabkan aliran air dalam pipa drive dan badan pompa terhenti, hal ini akan menimbulkan efek palu air (*water hammer*) dan menyebabkan kenaikan tekanan pada badan pompa.

Kenaikan tekanan pada badan pompa akan mendorong air menuju ke diafragma yang terdapat dalam pompa torak. Jika tekanan dalam pompa torak ini cukup tinggi maka akan dapat menggerakkan diafragma. Diafragma yang terdorong akibat tekanan yang tinggi akan menggerakkan piston menuju titik mati bawah ke titik mati atas dan akan menghasilkan langkah tekan. Katup limbah pada badan pompa hydam kemudian terbuka, yang dikarenakan beratnya sendiri, mengakibatkan tekanan pada badan pompa hydam menurun. Dengan menurunnya tekanan pada badan

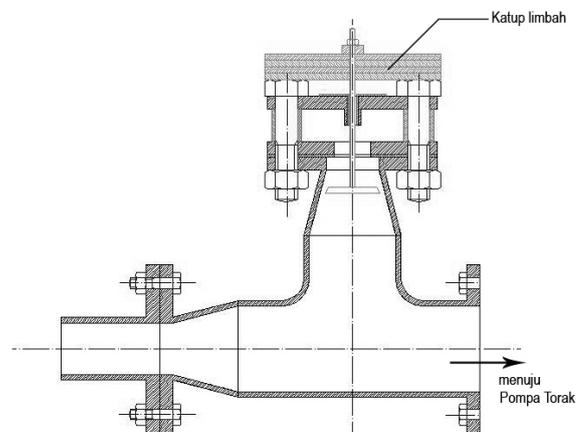
pompa hydam, maka secara otomatis tekanan yang terdapat pada badan pompa torak juga menurun. Dengan demikian piston akan bergerak dari titik mati atas ke titik mati bawah, yang akan mengakibatkan terjadinya langkah hisap. Akibat gerakan yang dihasilkan oleh torak tersebut, air dari sumber airpun akan terhisap ke dalam silinder piston. Dengan siklus yang terulang kembali, maka piston akan menekan air yang terdapat dalam silinder menuju bak penampungan/reservoir.

3.3. Perancangan

Dari hasil perancangan didapatkan:

- 1) Ketinggian air sumber penggerak hydam = 1 m
- 2) Ketinggian reservoir = 5 m
- 3) Pipa drive/penggerak: pipa galvanis diameter 1,5" dengan panjang 6 m
- 4) Badan pompa hydam

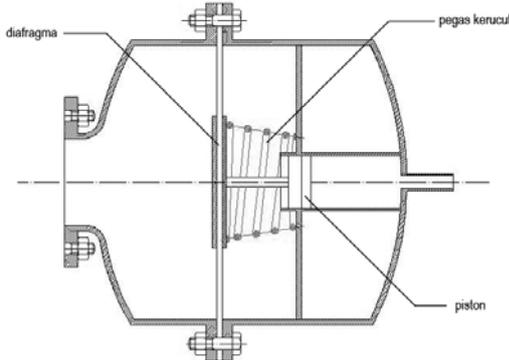
Badan pompa hydam dibuat dari 'tee' baja ukuran 76,2 x 76,2 mm kemudian menyambung ke pipa penggerak yang berdiameter 38 mm maka dilengkapi dengan 'reducer' baja ukuran 76,2 x 50,8 mm dan 50,8 x 38 mm. Semua sambungan-sambungan antar komponen akan digunakan sambungan 'flange' kecuali yang berukuran sama dengan atau lebih kecil dari 1" akan digunakan sambungan dengan 'water-mur' untuk mempermudah pelepasan dan perakitan kembali komponen-komponen pompa.



Gambar 5. Badan pompa hydam

- 5) Pompa torak
Badan pompa torak dibuat dari drum yang berbentuk silinder dengan diameter 250 mm, yang nantinya dalam badan pompa torak tersebut terdapat bagian-bagian pompa torak antara lain piston dengan diameter 50,8 mm, per kerucut, diafragma penggerak, pipa *suction* dan pipa *delivery*.

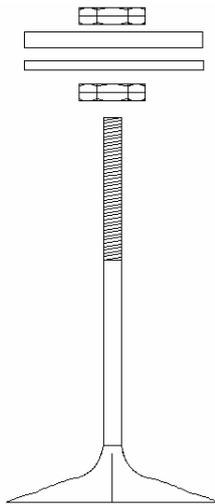




Gambar 6. Badan pompa torak

6) Katup limbah

Katup limbah dirancang seperti Gambar 7, dimana bagian karet yang biasanya dirakit menyatu dengan bidang katupnya, pada rancangan ini karet tersebut didesain menyatu dengan dudukan katupnya sehingga karet tersebut tidak ikut bergerak naik turun dan diharapkan umur pemakaiannya lebih panjang.



Gambar 7. Katup limbah

7) Tabung udara



Gambar 8. Tabung udara

Tabung udara dibuat mempergunakan pipa besi galvanis. Tiap sisinya ditutup dengan pelat setebal 5

mm. pada bagian atas dipasang pengukur tekanan, sedangkan pada bagian bawah di las dengan *overloop ring* agar mudah dipasangkan pada katup satu arah (*swing check valve*).

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan parameter-parameter rancangan sebagai berikut:

- a) ecepatan air pada pipa drive (v_1) = 1,988 m/det
- b) ecepatan air pada badan pompa (v_{1b}) = 0,497 m/det
- c) ecepatan air pada katup limbah (v_2) = 2,9 m/det
- d) ecepatan air pada diafragma (v_3) = 0,043 m/det
- e) iameter piston (D_p) = 0,087 m
- f) anjang langkah torak (L_s) = 0,103 m
- g) egas dengan diameter kawat (d_k) = 0,008 m
- h) onstanta pegas (k) = 51.567 N/m
- i) olume tabung udara (V_T) = 0,0012 m³
- j) apasitas air dari katup limbah (Q_p) = 0,483 ltr/det
- k) apasitas teoritis pemompaan (Q_p) = 0,0313 ltr/det
- l) fisiensi total pompa (η_{op}) = 37,5 %

Dari hasil pengujian model pompa pada variasi panjang langkah (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) mm, dan variasi massa katup limbah (800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200, 12500 gram, didapatkan hasil yang mempunyai efisiensi terbaik pada masing-masing panjang langkah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data performansi pompa hasil pengujian

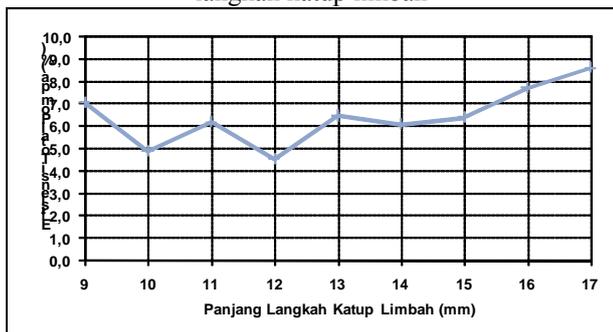
| No | Panjang Langkah (mm) | Massa Katup Limbah (gram) | Debit Katup Limbah (Ltr/det) | Debit Pemompaan (Ltr/det) | Daya Input (Watt) | Daya Output (Watt) | Efisiensi Total Pompa (%) |
|----|----------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 9 | 950 | 0,360 | 0,006 | 3,532 | 0,249 | 7,055 |
| 2 | 10 | 800 | 0,356 | 0,004 | 3,492 | 0,171 | 4,886 |
| 3 | 11 | 900 | 0,368 | 0,005 | 3,610 | 0,223 | 6,180 |
| 4 | 12 | 900 | 0,356 | 0,004 | 3,492 | 0,158 | 4,535 |
| 5 | 13 | 950 | 0,425 | 0,007 | 4,169 | 0,270 | 6,474 |
| 6 | 14 | 850 | 0,500 | 0,007 | 4,905 | 0,299 | 6,101 |
| 7 | 15 | 1000 | 0,411 | 0,006 | 4,032 | 0,258 | 6,402 |
| 8 | 16 | 800 | 0,388 | 0,009 | 4,787 | 0,370 | 7,722 |
| 9 | 17 | 850 | 0,612 | 0,001 | 6,327 | 0,517 | 8,612 |

Berdasarkan Tabel 1 dapat dibuat grafik performansi pompa seperti pada Gambar 9 dan 10.





Gambar 9. Kapasitas pemompaan pada berbagai panjang langkah katup limbah



Gambar 10. Efisiensi total pompa pada berbagai panjang langkah katup limbah

Dari Tabel 1 serta Grafik pada gambar 9 dan 10, dapat dilihat bahwa setelah katup limbah pada panjang langkah 16 mm dan massa katup limbah 800 gram memberikan performansi pompa yang terbaik, walaupun pada panjang langkah 17 mm dan massa katup limbah 850 gram memberikan efisiensi tertinggi namun menghasilkan debit pemompaan yang sangat kecil.

Jika dibandingkan antara hasil dari kajian teoritis dan hasil pengujian model rancangan pompa terjadi perbedaan yang cukup jauh, dimana performansi pompa hasil pengujian jauh lebih rendah dibandingkan hasil dari kajian secara teoritis. Secara teoritis diharapkan dapat memberikan kapasitas pemompaan sebesar 0,031 ltr/det dengan efisiensi 37,5%, namun hasil pengujian hanya memberikan kapasitas pemompaan 0,009 ltr/det dengan efisiensi 7,7%.

Secara keseluruhan, efisiensi pompa pada pengujian ini masih sangat kecil, salah satunya disebabkan karena adanya kerugian gesekan yang cukup besar antara piston dan silinder pompa torak mengingat pada mekanisme gerakan torak ini tidak terdapat pelumasan oli, dan tentunya pelumasan oli ini tidak mungkin dilakukan karena dikawatirkan akan mencemari air.

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Rancangan pompa yang telah dibuat dan diuji pada ketinggian air penggerak 1 meter dan tinggi pemompaan 5 meter, dapat beroperasi dengan baik. Namun, jika

dibandingkan antara hasil dari kajian teoritis dan hasil pengujian model rancangan pompa terjadi perbedaan yang cukup jauh, dimana performansi pompa hasil pengujian jauh lebih rendah dibandingkan hasil dari kajian secara teoritis. Secara teoritis diharapkan dapat memberikan kapasitas pemompaan sebesar 0,031 ltr/det dengan efisiensi 37,5%, namun hasil pengujian hanya memberikan kapasitas pemompaan 0,009 ltr/det dengan efisiensi 7,7%. Hal ini terjadi karena salah satunya terjadi akibat adanya gesekan yang cukup dominan antara torak dan silinder pada mekanisme pompa toraknya mengingat tidak terdapatnya pelumasan oli. Jika dioperasikan pada kondisi head penggerak dan head pemompaan yang lebih besar diharapkan akan dapat memberikan performansi yang lebih baik.

5.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, untuk mengurangi kerugian gesekan yang terjadi, bagian pompa torak ini dapat diganti dengan pompa membran mengingat pada mekanisme pompa membran relatif tidak ada gesekan.

Acknowledgements

Terimakasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik – Universitas Udayana atas dukungan dana (DIPA) yang diberikan untuk mengikuti seminar pada SNTTM-9 di Palembang ini.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim, 2004, *Ram Pump Information*, [Online, diakses: 25-3-2004], URL: www.rampumps.com
- [2] Breurram, 2001, *Ram Pumps*, Working Group Development Techniques (WOT), [Online, diakses: 4-9-2001], URL: www.wot.utwente.nl
- [3] Chi, M., dan Diemer, P., 2002, *Hydraulic Ram Handbook*, Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen
- [4] Green dan Charter, 2004, *The Vulcan Hydraulic Ram Pump*, [Online, diakses: 3-3-2004], URL: www.greenandcarter.com
- [5] Jennings, G.D., 1996, *Hydraulic Ram Pumps*, North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina.
- [6] Streeter, V.L., dan Wylie, E.B., 1975, *Fluid Mechanics*, 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [7] Taye, T., 1998, *Hydraulic Ram Pump*, Journal of the ESME, Vol. II, Juli 1998, Addis Ababa, Ethiopia.



- [8] Tessema, A.A., 2000, *Hydraulic Ram Pump System Design and Application*, ESME 5th Conference on Manufacturing and Process Industry, September 2000, Addis Ababa, Ethiopia.
- [9] Torishima, 1968, *Torishima Pump Hand Book*, Torishima Pump MFG. Co., Ltd..
- [10] US AID, 1982, *Designing a Hydraulic Ram Pump*, Water for the World Technical Note No. RWS4.D.5, [Online, diakses: 3-3-2004], URL: <http://www.lifewater.org>.



