

Uji Unjuk Kerja Pompa Pedal Multi Piston

Oegik Soegihardjo

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Firman Yoko Sukwanputra

Alumni Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Pompa pedal multi piston merupakan pompa bolak-balik (*reciprocating pump*) yang umumnya dirancang untuk menghasilkan kapasitas yang cukup besar dengan *head* yang rendah. Pada umumnya digunakan pada sumur dangkal ataupun pemindahan air di mana perbedaan ketinggian antara *suction* dan *discharge* tidak terlalu besar.

Pompa pedal multi piston yang akan diuji unjuk kerjanya merupakan pompa pedal multi piston dengan kapasitas rancangan 3000 liter/jam. Pengujian unjuk kerja dilakukan untuk mengukur efisiensi volumetris dan efisiensi *overall*. Dengan pengujian ini bisa diperoleh gambaran unjuk kerja pompa pedal multi piston yang dirancang tersebut.

Kata kunci: pompa pedal multi piston, *head*, efisiensi volumetris, efisiensi *overall*.

Abstract

Multi piston pedal pump is classified under reciprocating pump. This pump is generally designed for applications that require high capacity with low head. This pump is used for shallow well or to pump water in the system with low static and dynamic head.

This experiment will examine the performance of multi piston pedal pump with capacity 3000 liter/hour. Two parameters, volumetric efficiency and overall efficiency will be examined during the experiment. The goal is to know the actual performance of this pump.

Key words: multi piston pedal pump, head, volumetric efficiency, and overall efficiency.

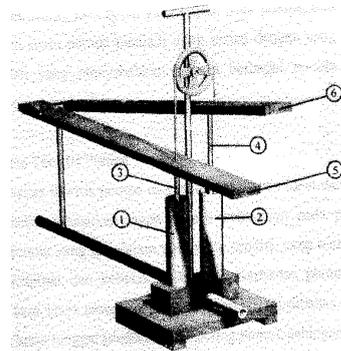
1. Pendahuluan

Pompa pedal multi piston yang diuji dalam penelitian ini merupakan jenis *duplex single acting pump*, menggunakan dua piston yang masing-masing digerakkan bolak-balik melalui sebuah pedal. Pedal digerakkan secara manual menggunakan kaki manusia, di mana setiap kaki menggerakkan sebuah pedal naik turun sebagai mana posisi seseorang pada saat mengendarai sepeda. Pada pompa pedal multi piston ini posisi lintasan gerakan kaki saat mengayuh pedal naik turun adalah menyerupai gerakan translasi; bukan gerakan rotasi sebagaimana pada orang yang mengayuh sepeda.

Pompa jenis ini umumnya digunakan untuk pemakaian yang memerlukan kapasitas besar dengan *head* yang rendah. Karena prinsipnya yang sederhana serta digerakkan secara manual dengan tenaga manusia, pompa jenis

ini cukup ideal untuk digunakan di daerah-daerah terpencil maupun pelosok yang tidak ada aliran listrik ataupun daerah-daerah yang sulit untuk mendapatkan bahan bakar.

Konstruksi pompa pedal multi piston dapat dilihat pada gambar 1, dengan bagian-bagiannya sebagai berikut: 1. silinder kiri, 2. silinder kanan, 3. batang piston untuk silinder kiri, 4. batang piston untuk silinder kanan, 5. pedal penggerak piston untuk silinder kiri, dan 6. pedal penggerak piston.



Gambar 1. Skema Konstruksi Pompa Pedal Multi Piston [6]

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 6 Nomor 1 April 2004.

Prinsip kerja pompa pedal multi piston ini adalah sebagai berikut: kedua pedal penggerak piston (5 dan 6) bergerak naik turun secara manual karena gerakan kaki manusia. Kedua pedal penggerak piston ini dihubungkan dengan batang piston (3 dan 4) yang akan menggerakkan piston yang berada di dalam silinder 1 dan 2. Karena gerakan bolak-balik piston dalam silinder 1 dan 2, maka air akan bergerak dari bagian hisap (*suction*) menuju ke bagian tekan (*discharge*).

2. Landasan Teori

Beberapa parameter penting dalam perancangan pompa pedal multi piston yang termasuk kategori *duplex single acting pump* akan dibahas secara ringkas pada bagian berikut.

Pompa pedal multi piston yang dirancang dan diuji dalam penelitian ini memiliki dua piston (*single acting*). Dengan demikian kapasitas teoritik dapat dihitung berdasarkan rumus [1],

$$Q = 2 F s n \quad (1)$$

di mana,

Q : kapasitas, liter/menit

F : luas penampang piston, dm²

s : panjang langkah piston, dm

n : frekuensi piston/menit (jumlah siklus/menit)

Tinggi kenaikan total statis (*total static head*) pompa merupakan jumlah dari tinggi kenaikan hisap statis dan tinggi kenaikan tekan statis, yang dapat dinyatakan dalam rumus [2],

$$H_z = H_s + H_d \quad (2)$$

di mana,

H_z : tinggi kenaikan total statis

H_s : tinggi kenaikan hisap statis

H_d : tinggi kenaikan tekan statis.

Tinggi kenaikan isap manometris pompa dinyatakan dalam rumus,

$$H_{ms} = \frac{P_{sr} - P_b}{\gamma} - H_s - \Delta h_s - \frac{c_s^2 - c_{sr}^2}{2g} \quad (3)$$

di mana,

H_{ms} : tinggi kenaikan isap manometris

P_{sr} : tekanan pada permukaan *reservoir* isap

P_b : tekanan barometer

γ : berat jenis cairan

H_s : tinggi kenaikan hisap statis

Δh_s : seluruh kerugian energi pada pipa isap

c_s : kecepatan aliran pada pipa isap

c_{sr} : kecepatan aliran pada permukaan *reservoir*

g : percepatan gravitasi

Tinggi kenaikan tekan manometris pompa dinyatakan dalam rumus,

$$H_{md} = \frac{P_{dr} - P_b}{\gamma} + H_d - \Delta h_d - \frac{c_d^2 - c_{dr}^2}{2g} \quad (4)$$

di mana,

H_{md} : tinggi kenaikan tekan manometris

P_{dr} : tekanan pada permukaan *reservoir* tekan

P_b : tekanan barometer

γ : berat jenis cairan

H_d : tinggi kenaikan tekan statis

Δh_d : seluruh kerugian energi pada pipa tekan

c_d : kecepatan aliran pada pipa tekan

c_{dr} : kecepatan aliran pada permukaan *reservoir*

g : percepatan gravitasi

Tinggi kenaikan manometris pompa merupakan kenaikan energi tekan per unit berat cairan yang melalui suatu pompa. Kenaikan energi tekan ini merupakan perbedaan tekanan antara manometer tekan dengan manometer isap, ditambah dengan jarak vertical antara lubang-lubang tap di mana manometer-manometer dipasang. Tinggi kenaikan manometris pompa dinyatakan dalam rumus,

$$H_m = H_{md} - H_{ms} + h_g \quad (5)$$

di mana,

H_m : tinggi kenaikan manometris pompa

H_{md} : tinggi kenaikan tekan manometris pompa

H_{ms} : tinggi kenaikan isap manometris pompa

h_g : kenaikan *head* geometris dalam pompa.

Tinggi kenaikan efektif pompa, H_e, (*effective head*) atau tinggi kenaikan total dari pompa (*total head*) merupakan kenaikan energi dari cairan antara *inlet* dan *outlet* pompa per unit berat cairan yang dipompa. Dengan memperhatikan instalasi pompa secara keseluruhan, tinggi kenaikan efektif pompa dihitung berdasarkan rumus,

$$H_e = \frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma} + H_z + \Delta h_s + \Delta h_d + \frac{c_{dr}^2 - c_{sr}^2}{2g} \quad (6)$$

Daya indikatif, P_i, merupakan daya total yang diberikan pada cairan oleh plunyer/piston untuk menghasilkan kapasitas sebesar Q_i. Daya efektif pompa, P_e, merupakan daya output pompa untuk menghasilkan kapasitas actual Q_r dengan head efektif H_e. Daya indikatif dan daya efektif pompa dihitung berdasarkan rumus,

$$P_i = \gamma Q_i H_i + P_{hf} \quad (7)$$

$$P_e = \gamma Q_r H_e \quad (8)$$

$$P_e = (\gamma Q_r H_e) / 550 \quad (9)$$

P_{hf} merupakan daya yang hilang karena gesekan antara cairan yang dipompa dengan

dinding silinder. Daya yang hilang tersebut muncul dalam bentuk energi panas. Pada rumus (9), P_e dinyatakan dalam satuan HP (*horse power*).

Untuk menyatakan besarnya efisiensi pompa, dikenal beberapa macam efisiensi. Macam-macam efisiensi pompa dinyatakan sebagai efisiensi hidrolis (η_h), efisiensi volumetric (η_v), efisiensi indikatif (η_i), efisiensi mekanis (η_m), dan efisiensi total (*overall efficiency*, η_{op}). Berbagai efisiensi pompa tersebut dinyatakan dalam rumus berikut,

$$\eta_h = H_e / H_i \tag{10}$$

$$\eta_v = Q_r / Q_i \tag{11}$$

$$\eta_i = P_e / P_i \tag{12}$$

$$\eta_m = P_i / P_{sh} \tag{13}$$

$$\eta_{op} = P_e / P_{sh} \tag{14}$$

3. Spesifikasi dan Prosedur Pengujian

Spesifikasi pompa pedal multi piston yang dirancang untuk pengujian, beserta instalasinya dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Pompa Pedal Multi Piston dan Instalasinya

Diameter piston	102, 3 mm
Panjang langkah piston	200 mm
Kapasitas rancangan	3000 liter/jam
Panjang pipa hisap	2 m
Diameter pipa hisap	2 in
Jumlah <i>elbow</i> pada saluran masuk	2 buah
Jumlah <i>tee</i> pada saluran masuk	1 buah
Jumlah <i>lift check valve</i> pada saluran masuk	1 buah
Panjang pipa tekan	1,5 m
Jumlah <i>elbow</i> pada saluran tekan	3 buah
Jumlah <i>tee</i> pada saluran keluar	1 buah
Jumlah <i>lift check valve</i> pada saluran keluar	1 buah
Bahan pipa hisap dan tekan	<i>galvanized iron</i>

Percobaan pengujian pompa pedal multi piston ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja sebenarnya dari pompa hasil rancangan. Pada pengujian ini akan dihitung besarnya efisiensi volumetric dan efisiensi total dari pompa hasil rancangan. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu waktu siklus konstan dan waktu siklus berubah. Untuk pengujian pada kondisi waktu siklus konstan, dipilih waktu per langkah 2 detik, yang dalam pengujian dianggap merupakan waktu per langkah yang ideal untuk pengoperasian manual dengan tenaga manusia. Sedangkan untuk kondisi waktu siklus berubah dipilih waktu per langkah mulai 1 sampai 4 detik.

Prosedur pengujian:

1. Menjalankan pompa pedal dengan cara menekan pedal ke atas maupun ke bawah (dengan kaki), sesuai dengan waktu per langkah yang diinginkan.
2. Mengukur kapasitas actual yang dihasilkan pompa, baik untuk waktu per siklus konstan (waktu per langkah piston 2 detik) maupun waktu per siklus berubah (waktu per langkah piston 1 sampai 4 detik).
3. Menghitung kapasitas teoritis pompa berdasarkan jumlah siklus yang terjadi per menit ($n = 15$ untuk waktu per langkah piston 2 detik; $n = 7,5; 10; 15; 20$ dan 30 untuk waktu per langkah piston 4; 3; 2; 1,5 dan 1 detik).
4. Menghitung efisiensi volumetric pompa pedal.
5. Menghitung efisiensi *overall* pompa pedal.

Hasil pengujian untuk melihat unjuk kerja pompa melalui perhitungan efisiensi volumetric maupun *overall* dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 2. Data dan Hasil Perhitungan Efisiensi Volumetric untuk Waktu Siklus Konstan

Waktu per-langkah piston (detik)	Kapasitas actual (dm^3/det)	Kapasitas actual (dm^3/jam)	Kapasitas teoritis (dm^3/jam)	Efisiensi Volumetric (%)
2	0.70	2520	2957,5	85,21
2	0,72	2592	2957,5	87,64
2	0,75	2700	2957,5	91,29
2	0,72	2592	2957,5	87,64
2	0,71	2556	2957,5	86,42
2	0,74	2664	2957,5	90,08
2	0,71	2556	2957,5	86,42
2	0,70	2520	2957,5	85,21
2	0,71	2556	2957,5	86,42
2	0,75	2700	2957,5	91,29

Tabel 3. Data dan Hasil Perhitungan Efisiensi Volumetric untuk Waktu Siklus Berubah

Waktu per-langkah piston (detik)	Kapasitas actual (dm^3/det)	Kapasitas actual (dm^3/jam)	Kapasitas teoritis (dm^3/jam)	Efisiensi Volumetric (%)
4	0.26	936	1478,5	63,30
3	0,49	1764	1971,7	89,46
2	0,72	2592	2957,5	87,64
1,5	0,84	3024	3943,3	76,68
1	0,95	3420	5915,0	57,82

Tabel 4. Data dan Hasil Perhitungan Efisiensi Overall untuk Waktu Siklus Konstan.

Waktu per langkah piston (det)	Gaya yang disuplai (N)	Kapasitas actual (dm ³ /jam)	Daya yang disuplai ke pompa (Watt)	Daya efektif (Watt)	Head efektif (m)	Efisiensi overall (%)
2	103,9	2520	20,8	13,0	3,03	62,69
2	105,9	2592	21,2	13,4	3,00	63,29
2	107,9	2700	21,6	14,0	2,93	64,73
2	105,9	2592	21,2	13,4	3,00	63,29
2	103,9	2556	20,8	13,2	2,98	63,59
2	107,9	2664	21,6	13,8	2,97	63,86
2	103,9	2556	20,8	13,2	2,98	63,59
2	103,9	2520	20,8	13,0	3,03	62,69
2	103,9	2556	20,8	13,2	2,98	63,59
2	107,9	2700	21,6	14,0	2,93	64,73

4. Analisis

Pada pengujian pompa pedal dengan waktu siklus konstan (waktu per langkah piston 2 detik) yang hasilnya tertera sebagaimana di table 2, harga efisiensi volumetric berfluktuasi antara 0,85 % sampai 0,91 %. Walaupun pengujian ini dilakukan dengan waktu per langkah piston 2 detik, pada kenyataannya hal ini sulit dilakukan, apalagi dilakukan dengan cara manual (menekan pedak ke atas dan ke bawah menggunakan kaki). Faktor inilah yang menyebabkan harga efisiensi volumetric pada pengujian dengan waktu siklus konstan mengalami fluktuasi. Nilai efisiensi volumetric yang didapat dari hasil pengujian mengindikasikan bahwa unjuk kerja pompa pedal yang dirancang sudah cukup baik.

Pada pengujian pompa pedal dengan waktu siklus berubah (waktu per langkah piston yang ditetapkan dalam pengujian ini adalah 1; 1,5; 2; 3 dan 4 detik sebagaimana tertera dalam table 3), mengingat kapasitas actual pompa pedal akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah siklus per menitnya, maka hasil pengujian menunjukkan peningkatan kapasitas tersebut. Walaupun kapasitas actual pompa pedal meningkat seiring dengan peningkatan jumlah siklus per menitnya, hal ini tidak secara otomatis meningkatkan harga efisiensi volumetricnya.

Pada kondisi waktu per langkah piston 4 detik (kecepatan piston rendah), harga efisiensi volumetric rendah karena terjadi keterlambatan pembukaan katup isap dan keterlambatan penutupan katup tekan, sehingga jumlah air yg dipindahkan sedikit. Dengan peningkatan kecepatan piston (waktu per langkah piston lebih kecil), efisiensi

volumetric akan meningkat. Pada suatu kondisi tertentu, efisiensi volumetric tidak akan meningkat lagi dan bahkan akan menurun, walaupun kecepatan piston dinaikkan. Penurunan ini terjadi karena pada saat langkah isap, sebelum air yang dihisap seluruhnya masuk ke ruang pompa, katup isap telah tertutup saat pompa melakukan langkah berikutnya (langkah tekan). Fenomena yang sama juga terjadi pada saat langkah tekan, yaitu pada saat air dalam ruang pompa di dorong keluar oleh piston belum sepenuhnya habis, katup tekan telah tertutup karena piston kembali melakukan langkah isap. Kondisi ini harus dihindari pada saat pengoperasian pompa, karena pompa tidak bekerja pada kondisi yang optimal.

Dari hasil pengujian untuk mengukur nilai efisiensi *overall* pompa pedal pada waktu siklus konstan (waktu per langkah piston 2 detik sebagaimana pada table 4), harga rata-rata efisiensi *overall* sebesar 63,6 %. Dilihat dari sisi ini, nampaknya unjuk kerja pompa pedal tidak terlalu baik. Hal-hal yang menyebabkan rendahnya harga nilai efisiensi *overall* pompa pedal antara lain disain mekanisme pedal yang tidak dilengkapi *bearing*, sehingga gesekannya cukup besar sehingga diperlukan gaya lebih besar untuk menggerakkan pedal; kurang halusny dinding silinder yang menyebabkan semakin besarnya gaya yang diperlukan untuk menggerakkan piston; terjadi penyumbatan pada pipa isap akibat kotoran yang ada di kolam di tempat pengujian dilakukan.

5. Kesimpulan

Efisiensi volumetric rata-rata pompa pedal hasil pengujian dengan waktu siklus konstan (waktu per langkah piston 2 detik) menunjukkan harga yang cukup baik, yaitu sebesar 87,7%.

Efisiensi volumetric tertinggi (89,46 %) dicapai pada saat waktu per langkah piston sebesar 3 detik (pengujian dengan waktu siklus berubah).

Efisiensi *overall* rata-rata yang dicapai tidak terlalu tinggi (63,6 %), mengindikasikan adanya bagian-bagian yang masih perlu disempurnakan.

Kapasitas rancangan yang diinginkan (3000 liter/jam) bisa dicapai oleh pompa pedal yang diuji tersebut, yaitu pada pengujian dengan waktu per langkah piston 1,5 detik dengan efisiensi volumetric sebesar 76,68%.

Daftar Pustaka

1. Bianchi, L.W.P., Bustraan, P., et all., *Pompa*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
2. Djoni, I.M.A., *Pompa & Kompresor*, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, ITS, Surabaya.
3. Karassik, I.J., Messina, J.P., et all., *Pump Handbook*, McGraw-Hill Book Co., International Edition, Singapore, 2001.
4. *Reciprocating Pumps*, http://hawsepipe.net/chiefhelp/Pumps/Positive_Displacement/Reciprocating.htm
5. Stewart, H.L., *Pumps*, Macmillan Publishing Company, 5th edition, New York, 1991.
6. Sukwanputra, F.Y., *Pompa Pedal Multi Piston*, Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2002
7. Warring, R.H., *Pumps: Selection, Systems and Applications*, Trade & Technical Press Ltd, 2nd edition, Surrey, England, 1984