

# LENGTH OF DRIVE PIPE TO HID RAM PUMP CHARACTERISTIC

## PANJANG *DRIVE PIPE* TERHADAP KARAKTERISTIK POMPA HIDRAM

Kuswartomo<sup>1)</sup>, Gurawan Djati Wibowo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Pebelan Kartasura, Tromol Pos 1 Surakarta Kode Pos 57102

e-mail: [wartomoums@gmail.com](mailto:wartomoums@gmail.com)

<sup>2)</sup> Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Pebelan Kartasura, Tromol Pos 1 Surakarta Kode Pos 57102

### ABSTRACT

Hid ram pumps is a very specific device to lift water. The uniqueness of this device is indicated by the hid ram energy's used to lift is energy of water that will pumped. Therefore, hid ram pumps is very environmentally friendly and save energy. Water energy used of hid ram pumps is potential energy of water from a elevation drove through drive pipe. This paper aim to understanding hid ram pumps characteristic as lifting the water as drive pipe variation length. In the research, the observation did with four drive pipe variation length, namely 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, and 2,5m. High water fall and drive pipe diameter is 1,5 m and 2 inch, respectively. This device is executed in Civil Engineering Laboratory of Muhammadiyah University of Surakarta. Variables that appear is described in the *gRAPH* of the relationship between the variables. The result indicate that the longer of drive pipe will generate the pump debit (Q) that bigger and flow ratio ( $Q/(Q+Q_L)$ ) is bigger, too. Increasing ratio of high falls by delivery high (h/H) indicate that decreasing of the pumps effectiveness and flow ratio is increase of drive pipe length variations.

**Key words:** inlet, discharge, efficiency

### ABSTRAK

Pompa hidram sebagai alat untuk menaikkan air yang sangat unik. Keunikan ini ditunjukkan karena energi yang digunakan untuk menaikkan air adalah tenaga air yang akan dipompa itu juga, sehingga pompa hidram ramah lingkungan dan hemat energi. Energi air yang digunakan pada pompa hidram adalah energi potensial air dari suatu ketinggian tertentu yang diantarkan melalui pipa hantar (drive pipe). Dalam makalah ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pompa sebagai penghantar air dalam kaitannya dengan variasi panjang drive pipe. Dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan dengan empat variasi panjang drive pipe yaitu 1,0 m, 1,5m, 2,0 m, dan 2,5 m dengan tinggi jatuh dan diameter drive pipe sebesar 1,5 m dan 2 inchi. Uji alat dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Variabel-variabel yang muncul dideskripsikan dalam bentuk grafik hubungan antar variabel-variabel tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin panjang drive pipe akan menghasilkan debit pemompaan (Q) yang semakin terbesar yang diikuti dengan ratio aliran ( $Q/(Q+Q_L)$ ) yang semakin besar pula. Bertambahnya ratio antara tinggi jatuh dengan tinggi pemompaan, (h/H), menunjukkan semakin berkurangnya efektifitas dari pompa. Pada meningkatnya ratio antara tinggi jatuh terhadap tinggi pemompaan, (h/H), memberikan nilai ratio aliran yang semakin besar pada berbagai variasi panjang drive pipe.

**Kata-kata kunci :** drive pipa, hidram, rasio aliran

### PENDAHULUAN

Pompa hidram merupakan salah satu teknologi pompa air hemat energi dan ramah lingkungan yang pertama kali di dunia. Sistem pompa hidram telah dikembangkan lebih dari 200 tahun. Pompa hidram pertama kali dibuat di Inggris oleh Edward Mangino (1772) yang disebut dengan "*pulsation engine*" (US Dept of Agriculture, 2007) dan John Whitehurst (1775) dengan katup limbah yang digerak secara manual. Pompa hidram otomatis dikembangkan oleh seorang bangsa Perancis bernama Joseph Montgolfier (1797) (Taye, 1998). Akhir-akhir ini, pompa hidram mulai meramaikan diberbagai diskusi di Indonesia. Hal ini disebabkan program hemat energi dan teknologi ramah lingkungan atau *green technology*.

Studi tentang pompa hidram telah banyak dilakukan. Meskipun begitu, pompa hidram masih perlu dikaji sehingga memberikan sumbangan dalam pengetahuan perencanaan. Parameter-parameter yang diperlukan untuk menjadikan operasional hidram terbaik adalah panjang *drive pipe*, penampang *drive pipe*, diameter *drive pipe*, tinggi jatuh, tinggi hantaran, kehilangan tenaga di *drive pipe*, katup limbah, katup hantaran, kecepatan di *drive pipe* ketika katup limbah menutup, kecepatan aliran pada saat katup limbah membuka sempurna, beban katup, diameter katup limbah, dan ukuran tabung udara (Taye, 1998).

Jafri dan Limbong (2011) telah melakukan penelitian tentang hubungan beban dan panjang langkah katup limbah pada pompa hidram yang dipasang secara paralel. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa beban dan panjang langkah katup limbah memberikan pengaruh pada efisiensi pompa. Pada pompa yang dipasang secara paralel efisiensi akan turun pada penambahan beban dan panjang langkah katup limbah. Nilai beban katup limbah lebih memberikan pengaruh pada efisiensi pompa dibandingkan dengan panjang langkah.

Mohammed (2007) memberikan saran untuk mengoptimalkan operasional pompa hidram perlu dilakukan kombinasi-kombinasi antara lain tinggi jatuh dan aliran, panjang langkah dengan beban katup, panjang dengan diameter *drive pipe*, volume tabung udara dengan ukuran katup penghantar.

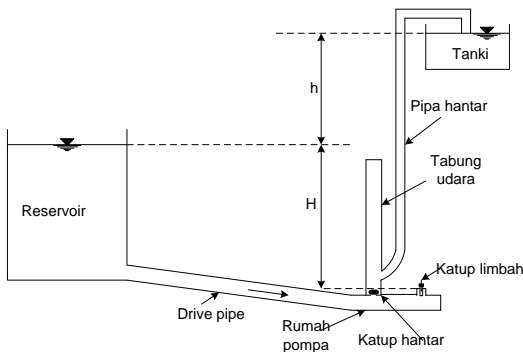
Gan Shu San & Gunawan Santoso (2002) melakukan penelitian tentang karakteristik volume tabung udara dan beban katup limbah terhadap efisiensi pompa *hydraulic ram*, dan menghasilkan kesimpulan bahwa faktor beban katup limbah dan volume tabung berpengaruh pada variabilitas dari efisiensi pompa hidram, begitu pula interaksi antar kedua faktor tersebut.

Made Suarda dan IKG Wirawan (2008) melakukan kajian eksperimental pengaruh tabung udara pada head tekanan pompa hidram dan menyimpulkan bahwa dengan pemakaian tabung udara, terjadi penurunan perubahan tinggi tekanan dalam pipa penghantar pada instalasi pompa hidram. Studi ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik pompa hidram dalam kaitannya dengan panjang *drive pipe*.

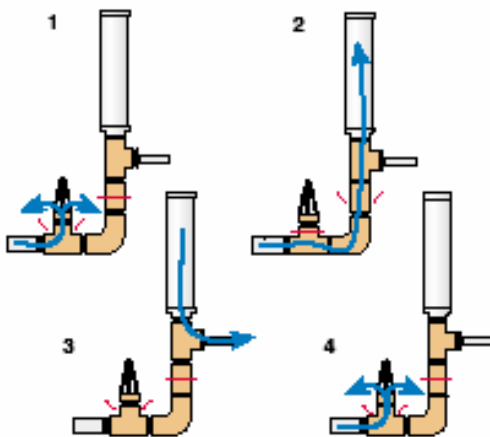
**LANDASAN TEORI**

**Instalasi dan Sistem Kerja Pompa Hidram**

Instalasi pompa hidram dapat dilihat dalam Gambar 1. Prinsip kerja pompa hidram dimulai dengan mengalirkan air dari reservoir pen-supply melalui *drive pipe* masuk ke rumah pompa hingga penuh. Air tersebut menekan katup limbah sehingga katup tersebut menutup. Pada saat proses menutupnya katup limbah, ada sebagian air yang terbuang melalui lubang katup. Pada saat katup limbah menutup RApat terjadilah tekanan tinggi pada rumah pompa akibat dari momentum aliran air dalam *drive pipe* sehingga air menekan katup hantar dan masuk ke dalam tabung udara. Tekanan akibat momentum tersebut kembali menekan air dalam tabung udara masuk ke pipa hantar yang mengakibatkan katub pada tabung hantar menutup. Proses ini mengakibatkan tekanan udara dalam rumah pompa menurun sehingga kemampuan untuk mengangkat beban pada katup limbah menurun sehingga katup limbah menutup dan air yang berada pada reservoir mengalirkan air kembali melalu *drive pipe*. Bersamaan menutup katup limbah dan menglirnya air air dari reservoir tersebut maka timbullah momentum aliran air dan mmebuka kembali katup hantar. Keja-dian ini berulang-ulang secara cepat. Secara garis besar kerja pompa hidram dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 1. Instalasi pompa hidram

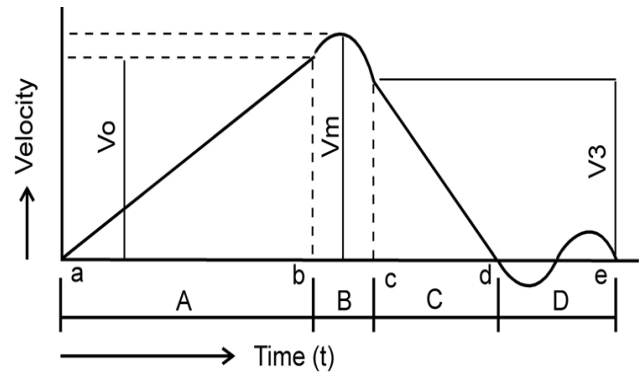


Gambar 2. Sistem kerja pompa hidram (Sumber : Siregar, opened 2012)

Kecepatan aliran yang terjadi menurut Gambar 2 di atas dijelaskan seperti dalam Gambar 3. Dalam Gambar 3 terjadi 4 proses perubahan kecepatan adalah (Taye, 1998)

1. Kecepatan pada saat air mengalir melalui *drive pipe*
2. Kecapatan pada saat katup limbah dalam proses menutup dengan dibarengi keluarnya air dari lubang katup limbah

3. Pada titik c katup limbah tertutup penuh dan air menekan katup penghantar sehingga terjadilah penurunan kecepatan hingga titik d.
4. Kecepatan yang terjadi pada saat mulai menutupnya katup hantar



Gambar 3. Hubungan kecepatan dan waktu (Sumber: Tave, 1998)

**Momentum pada Pompa Hidram**

Prinsip usaha-energi pada aliran dalam *drive pipe* ke rumah pompa akan menghasilkan perubahan momentum. Perubahan momentum yang terjadi terjadi menghasilkan gaya yang bekerja dalam rumah pompa selama waktu tertentu.

$$Ft = m.(v_2 - v_1) \tag{1}$$

atau

$$F = m.(v_2 - v_1)/t \tag{2}$$

dengan:

- F = gaya
- t = waktu
- m = massa aliran
- v<sub>1</sub> = kecepatan aliran
- v<sub>2</sub> = kecepatan air saat katup limbah tertutup

Massa aliran dapat dinyatakan sebagai jumlah aliran per detik atau  $\rho Q$ , maka Persamaan (2) dapat dinyatakan sebagai berikut ini.

$$F = \rho Q(v_2 - v_1) \tag{3}$$

dengan:

$\rho$  = massa jenis air.

Pada saat katup tutup terjadilah penghentian massa aliran secara tiba-tiba. Gaya yang terjadi pada saat katup limbah tertutup sebesar:

$$F = - \rho Qv_1 \tag{4}$$

Tanda minus memberikan arti bahwa terjadi perambatan gaya berbalik arah pada aliran saat katup limbah tertutup yang mengakibatkan membukanya katup hantar dan memasukkan air ke tabung udara.

**Prinsip Bernoulli**

Prinsip Bernoulli pada pompa hidram tersebut sebagai berikut (lihat Gambar 1)

$$Z_R + \frac{P_R}{\gamma} + \frac{\bar{v}_R^2}{2g} = Z_{kl} + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\bar{v}_{kl}^2}{\gamma} + h_{le} \tag{5}$$

dengan:

- $Z_R$  = elevasi muka air di reservoir
- $p_R$  = tekanan udara di atas muka air reservoir
- $v_R$  = kecepatan air di reservoir
- $\gamma$  = berat volume air
- $Z_{kl}$  = elevasi katup limbah
- $p_l$  = tekanan pada katup limbah
- $v_{kl}$  = kecepatan aliran di katup limbah
- $h_{le}$  = kehilangan energi total pada hidram

Muka air di reservoir dipertahan konstan sehingga kecepatan air di resevoir sama dengan nol dan kecepatan air di reservoir juga sama dengan nol. Pada saat katup limbah tertutup maka kecepatan aliran di katup limbah sebesar nol. Nilai  $Z_R - Z_{kl} = H$ , sehingga tekanan yang terjadi pada katup limbah sebesar (Taye, 1998)

$$p_l = \gamma(H-h_{le}) \quad (6)$$

dengan:

$h_{le}$  = kehilangan total pada pompa hidram, kehilangan tenaga primer dan sekunder

Tekanan air sebesar  $p_l$  tersebut yang mendorong sehingga katup limbah menutup. Tekanan tersebut berangsur-angsur akan menurun nilainya seiring dengan masuknya air ke tabung udara.

### Kehilangan Tenaga

Kehilangan tenaga kehilangan tenaga primer.

$$h_f = f \frac{Lv^2}{2gD} \quad (7)$$

dengan:

$f$  = koefisien gesek pipa, Coolebrook dan White

$$= -2 \log \left[ \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

$Re$  = bilangan Reynold

$k$  = angka kekasaran drive pipe

$L$  = panjang drive pipe

$D$  = diameter drive pipe

$v$  = kecepatan pada drive pipe.

Kehilangan sekunder dinyatkan dengan persamaan berikut

$$h_e = k \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

dengan:

$h_e$  = kehilangan tenaga sekunder

$k$  = konstanta.

### METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian di Laboratorium Kampus Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Kriteria perencanaan model adalah sebagai berikut;

1. Penentuan tinggi jatuh antara reservoir pensuplai dengan garis sumbu pipa pada katup limbah, dengan perencanaan tinggi jatuh 1,5 m
2. Drive pipe dari reservoir ke rumah pompa hidram direncanakan 2 inchi, dengan variasi panjang pipa 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m.

3. Agar supaya reservoir mempunyai permukaan air yang konstan maka digunakan pompa listrik dengan daya sebesar 2 hp.
4. Pipa penghantar ditentukan sebesar 1 inchi dengan titik-titik outlet ditentukan pada 4 elevasi yang berbeda (2 m, 3 m, 4 m, 5m).

Analisis data dilakukan dengan metode deskriptif kuantitatif. Metode ini dilakukan dengan membuat grafik hubungan antar variabel-variabel yang berpengaruh. Variabel-variabel yang akan dianalisis adalah debit pompa, debit limbah, ratio aliran, head pemompaan.

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Aplikasi Hukum II Newton gaya angkat pada katup limbah yang terjadi akibat aliran setiap drive pipe dapat dinyatakan dalam Persamaan (9).

Hukum II Newton

$$F = Ma \quad (9)$$

dengan:

$a$  = percepatan sesaat

$$F = p_l \cdot A \quad (10)$$

$$(H-h_{le}) = \frac{M}{A\gamma} a \quad (11)$$

dengan:

$M$  = massa aliran =  $\rho VA$

$\gamma$  = berat volume aliran =  $\rho g$ ,

Sehingga selisih tinggi energi untuk mengangkat katup limbah sebesar:

$$(H-h_{le}) = \frac{a}{g} L \quad (12)$$

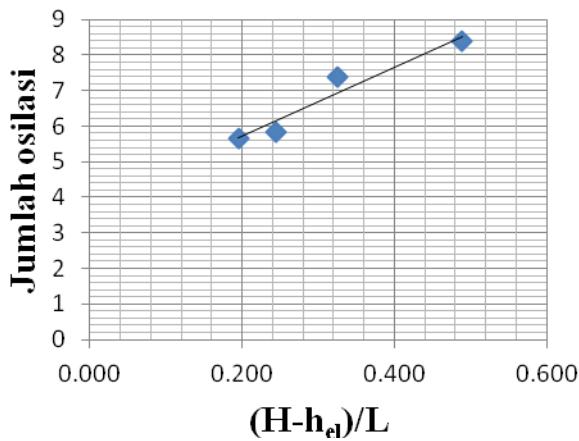
atau dalam bentuk persamaan tak berdimensi menjadi:

$$\frac{(H-h_{le})}{L} = \frac{a}{g} \quad (13)$$

Kemampuan untuk mengangkat katup limbah proporsional terhadap perubahan kecepatan gerak dari katup limbah yang terjadi pada setiap saatnya dan panjang dari drive pipe. Oleh karena itu daya angkat katup limbah sebagai hasil dari momentum aliran yang mengenai katup. Persamaan di atas memberikan petunjuk bahwa jumlah osilasi katup limbah berbanding terbalik dengan panjang drive pipe dan berbanding lurus dengan selisih energi yang terjadi pada pompa hidram (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Panjang drive pipe, selisih energy, dan jumlah osilasi

L (m)	1,0	1,5	2,0	2,5
H-h <sub>el</sub> (m)	0,4893	0,4886	0,4880	0,4873
Jumlah Osilasi	8,3800	7,3800	5,8500	5,6700



Gambar 4. Grafik hubungan antara jumlah osilasi dengan  $(H-h_{e1})/L$

Nilai gravitasi yang terdapat dalam persamaan di atas dapat diartikan bahwa jumlah osilasi katup limbah dipengaruhi berat katup limbah. Besarnya jumlah osilasi berbanding terbalik dengan berat katup limbah seperti ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\frac{a}{M} = \frac{(H-h_{e1})}{wL} \quad (14)$$

dengan:

a = percepatan gerak katup limbah

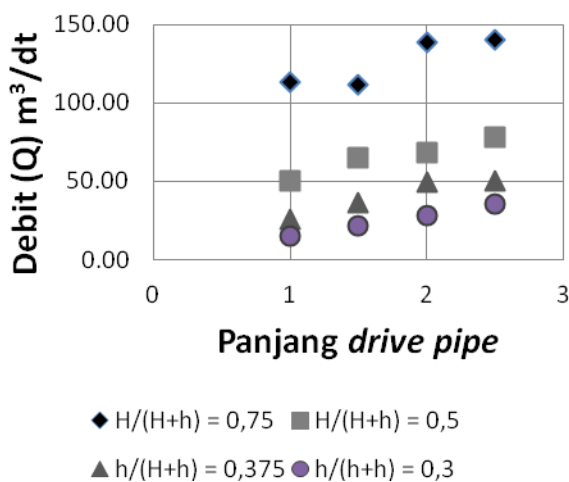
M = massa katup limbah

w = berat katup limbah

Kehilangan sekunder perlu diperhatikan untuk mendapatkan debit pemompaan yang lebih. Panjang, diameter, dan jenis pipa *drive pipe* memberikan pengaruh pada daya angkat pompa. Perencanaan katup limbah yang presisi akan menjadikan rasio aliran meningkat karena jumlah volume air yang keluar dari katup limbah akan berkurang. Penurunan debit pemompaan setiap kenaikan 1 meter sangat signifikan yaitu lebih kurang 50% (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Data hasil eksperimen dan perhitungan

$\frac{h}{(H+h)}$	Head H+h (cm)	Drive pipe (m)	1	1,5	2	2,5
0,75	200	Q (cm <sup>3</sup> /dt)	113,33	111,33	138,67	140,67
		Q <sub>L</sub> (cm <sup>3</sup> /dt)	486,70	392,50	376,80	436,46
		Ratio aliran (%)	19,07	22,14	26,90	24,40
0,5	300	Q (cm <sup>3</sup> /dt)	50,67	65,33	68,67	78,00
		Q <sub>L</sub> (cm <sup>3</sup> /dt)	628,00	502,40	628,00	502,33
		Ratio aliran (%)	7,48	11,57	9,88	13,50
0,375	400	Q (cm <sup>3</sup> /dt)	25,33	36,33	49,33	50,00
		Q <sub>L</sub> (cm <sup>3</sup> /dt)	580,90	549,50	628,00	659,40
		Ratio aliran (%)	4,18	6,22	7,29	7,05
0,3	500	Q (cm <sup>3</sup> /dt)	15,00	21,33	28,00	35,33
		Q <sub>L</sub> (cm <sup>3</sup> /dt)	580,90	580,90	628,00	627,87
		Ratio aliran (%)	2,52	3,55	4,29	5,36

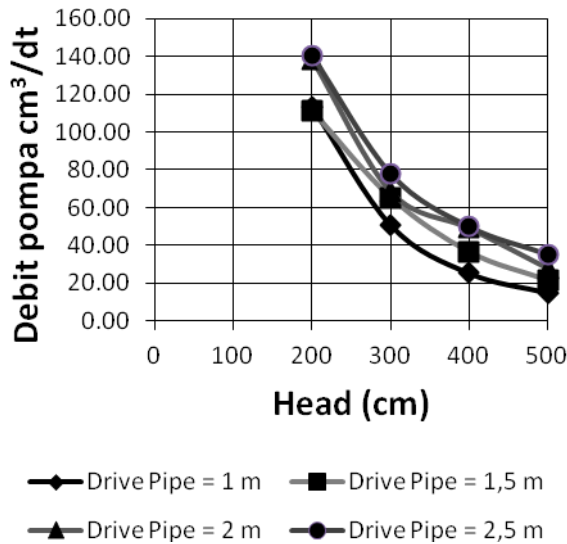


Gambar 5. Grafik hubungan antara panjang pipa dengan debit pemompaan (Q)

Grafik pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa panjang *drive pipe* akan meningkatkan debit pemompaan. Panjang pipa tersebut akan memperbesar momentum akibat besarnya massa air yang mengalir melalui *drive pipe*. Momentum inilah yang memberikan tekanan pada rumah pompa sehingga semakin besarnya momentum yang terjadi akan menambah tekanan yang ditimbulkan. Bertambahnya tekanan menjadikan gaya tekan pada katup hantar dan katup limbah bertambah besar. Gaya tekan tersebut akan mempengaruhi kemampuan daya angkat katup limbah sehingga lebih cepat menutup. Pada saat katup limbah tertutup sempurna terjadi momentum yang akan mengakibatkan gaya balik. Gaya balik inilah yang menekan katup hantar sehingga memberikan tekanan yang tinggi pada katup penghantar dan katup hantar terbuka. Bersamaan terbukanya katup hantar, terjadilah aliran air menuju ke tabung udara lebih banyak. Besarnya aliran yang masuk ke dalam tabung udara meningkatkan tekanan udara sehingga memberikan kemampuan pemompaan besar pula.

Grafik dalam Gambar 6 menunjukkan bahwa Kemampuan pemompaan semakin menurun dengan bertambahnya *head* pada pipa penghantar. Penurunan kemampuan pompa untuk mengalirkan air disebabkan oleh bertambahnya tekanan hidrostatik dalam pipa hantar. Pompa hidram dengan tinggi jatuh aliran dari reservoir sebesar 1,5 m, diameter *drive pipe* sebesar 2

inci, dan panjang *drive pipe* 2,5 m memberikan penurunan debit rata-rata sebesar lebih kurang 50%. Besarnya prosentase penurunan debit tersebut mengakibatkan pompa hidram tidak akan dapat menaikkan air pada ketinggian 8 m ke atas. Salah satu upaya untuk meningkatkan head pada pompa hidram dengan cara meningkatkan gaya balik dari momentum aliran. Momentum dapat ditingkatkan dengan menambah debit aliran yang berada pada *drive pipe*. Besarnya tinggi jatuh akan menambah debit aliran yang terjadi pada *drive pipe*, sehingga meningkatkan tekanan udara pada tabung udara. Tekanan udara pada tabung udara yang memberikan tenaga untuk dapat menaikkan air pada ketinggian tertentu.



Gambar 6. Grafik hubungan antara tinggi hantar dengan debit pompa

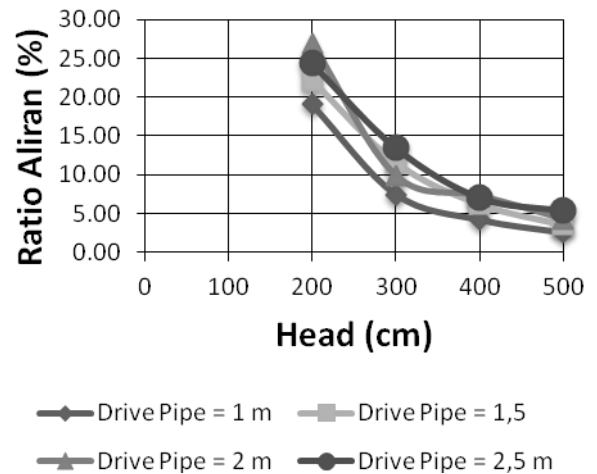
Kecenderungan grafik hubungan antara head dengan rasio aliran adalah menurun seperti terlihat pada Gambar 7. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *head* di pipa penghantar maka semakin banyak pula jumlah air yang terbuang melalui katup limbah pada tinggi jatuh air sebesar 1,5 m dan variasi panjang *drive pipe*. Hal ini mengakibatkan tekanan udara pada tabung udara tidak dapat mengimbangi hidrostatis pada penghantar. Penurunan rasio aliran yang relatif besar, yaitu rata-rata penurunan rasio aliran mencapai lebih kurang 50%. Hal ini dimungkinkan antara ukuran lubang dan katup limbah kurang presisi sehingga katup limbah tidak tertutup secara sempurna. Ketidaksempurnaan tertutupnya katup limbah ditunjukkan masih sangat besar air yang terbuang melalui lubang limbah. Ketidaksempurnaan tertutupnya katup limbah menyebabkan masih ada air yang keluar melalui lubang limbah. Pada Tabel 1 terlihat masih besarnya debit yang melalui lubang limbah. Debit aliran yang melalui lubang limbah sangat lebih besar dari debit air yang dipompa keluar pipa hantar. Oleh karena itu, agar supaya rasio debit meningkat disarankan perbaikan pada lubang dan katup limbah.

Seperti pada gambar 6 dan 7, Gambar 8 memberikan korelasi berbanding terbalik antara *head* pompa dengan rasio aliran. Penambahan tinggi jatuh (H) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan rasio aliran yang terjadi. Pada nilai *ratio head* yang tinggi memberikan rasio aliran yang tinggi pula.

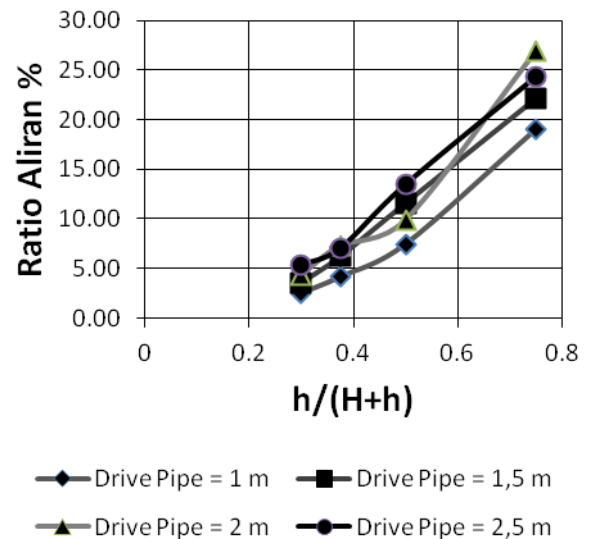
**KESIMPULAN**

1. Jumlah osilasi katup limbah berbanding terbalik dengan berat katup limbah dan panjang *drive pipe*.

2. Karakteristik pompa hidram sangat dipengaruhi tinggi jatuh dari pensuplai air, panjang pipa, perencanaan katup dan lubang limbah, katup hantar.



Gambar 7. Grafik hubungan antara head (H) dengan rasio aliran ( $Q/(Q+Q_l)$ )



Gambar 8. Grafik hubungan antara rasio aliran dengan  $h/(H+h)$

**DAFTAR PUSTAKA**

\_\_\_\_\_, US Dept of Agriculture (2007). *Technical Notes:Hydraulic Ram Pumps*, [http://ftp-fc.sc.egov.eor/Technical\\_Notes/Range/Range26.pdf](http://ftp-fc.sc.egov.eor/Technical_Notes/Range/Range26.pdf),  
 Gan Shu San dan Gunawan Santoso (2002). “Studi Karakteristik Tabung Udara dan Beban Katub Limbah Terhadap Efisiensi Pompa Hydraulic Ram.” *Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra*, Surabaya.  
 Jafri, M., dan, Limbong, I., S. (2012). *Analisa Unjuk Kerja Pompa Hidram Paralel Dengan Variasi Berat Beban dan Panjang Langkah Katup Limbah*, <http://ejournal.lemlitunc.com/page24.php>, (open 2012)  
 Made Suarda dan IGK Wirawan (2008). “Kajian Eksperimental Pengaruh Tabung Udara Pada Head Tekanan Pompa Hydram.” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Universitas Udayana, Bali.

- Mohammed, S., N. (2012). *Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump*, <http://leipt.academicdirect.org>, (opened 2012)
- Siregar, H.P., (2010). *Analisis Perencanaan dan Instalasi Pompa Hydraulic Ram di Desa Jinkang – Tanjung Kerta, Semarang*, [http://180.246.204.45/bahanajar/download/ebooks\\_kimia/makalah/instalasi%20Pompa%20Hydraulic%20Ram.pdf](http://180.246.204.45/bahanajar/download/ebooks_kimia/makalah/instalasi%20Pompa%20Hydraulic%20Ram.pdf), (opened 2012)
- Taye, T., (1998). *Hydraulic Ram Pump*, <http://www.afrcantechologyforum.com/ESME/hydram1/hydram1.htm#Ref1>
- Cahyanta, Y., dan Indrawan (1996). “Studi Terhadap Prestasi Pompa Hydraulic Ram Dengan Variasi Beban Katup Limbah”. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Cakram.