

ANALISIS KECEPATAN DAN WAKTU ALIRAN PADA VARIASI PANJANG PIPA INLET PADA POMPA HIDRAM

Kuswartomo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: wartomoums@gmail.com

Abstrak

Sesuai dengan namanya, pompa hidram sebagai pompa yang menggunakan energi air yang dipompa itu sendiri. Oleh karena itu, pompa hidram tidak memerlukan energi fosil untuk menggerakkan dan sangat ramah lingkungan. Energi air diperoleh dari perbedaan elevasi permukaan sumber air dengan elevasi ujung pipa penghantar. Sistem pompa hidram terdiri dari sumber air, pipa pesat, tabung udara, lubang pembuangan, klep penghantar, dan pipa penghantar. Masing-masing peralatan dalam pompa hidram tersebut bekerja secara sistematis.

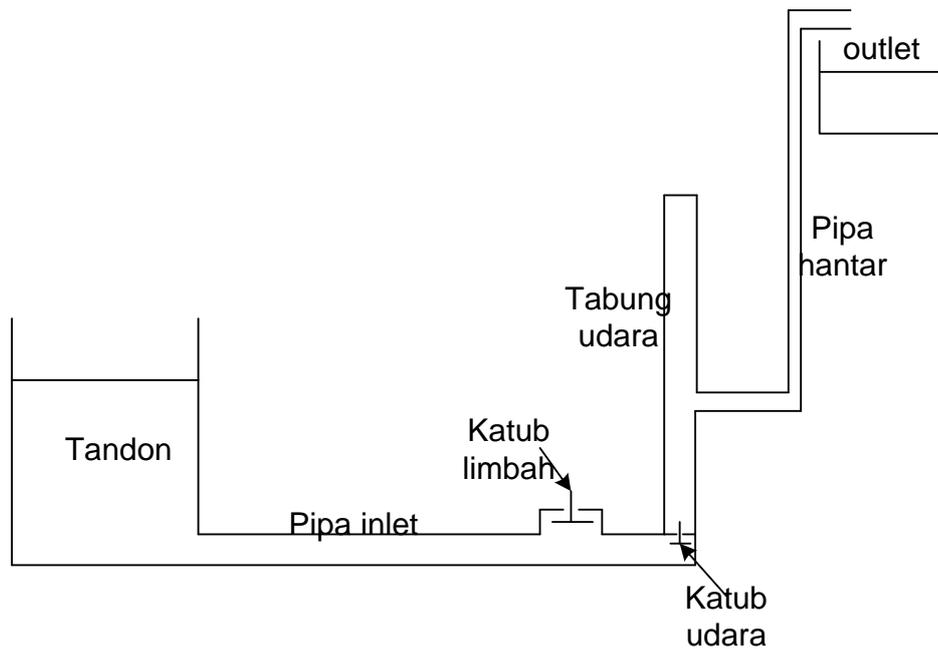
Pengujian model pompa hidram dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Instalasi model pompa hidram dilakukan dengan variasi panjang pipa inlet yaitu 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, dan 2,5 m. Variasi beban pada klep pembuangan adalah 0,92 kg, 0,69 kg, dan 0,46 kg. Pipa penghantar digunakan pipa dengan diameter 1 inci. Pengamatan dilakukan dengan mencatat waktu setiap kenaikan permukaan air pada pipa penghantar. Panjang aliran maksimum pada pipa penghantar ditentukan sebesar 290 m. Tinggi permukaan air di sumber dari drum dijaga konstan untuk mendapat tinggi energi yang stabil dengan mengisi drum menggunakan pompa air, sehingga debit pada pipa inlet juga konstan.

Pengamatan pada penelitian ini memberikan hasil bahwa berat beban pada klep pembuangan berbanding terbalik dengan jumlah osilasi klep pembuangan. Hubungan panjang pipa inlet berbanding terbalik dengan waktu yang dibutuhkan permukaan air dalam pipa penghantar pada ketinggian tertentu. Hal ini memberikan arti bahwa kecepatan aliran pada pipa penghantar tidak dipengaruhi oleh berat beban pada klep pembuangan akan tetapi dipengaruhi oleh panjang pipa inlet. Osilasi pada klep pembuangan tidak memberikan pengaruh pada waktu tempuh air pada pipa penghantar. Osilasi klep menunjukkan jumlah water hammer yang terjadi dan kemampuan water hammer.

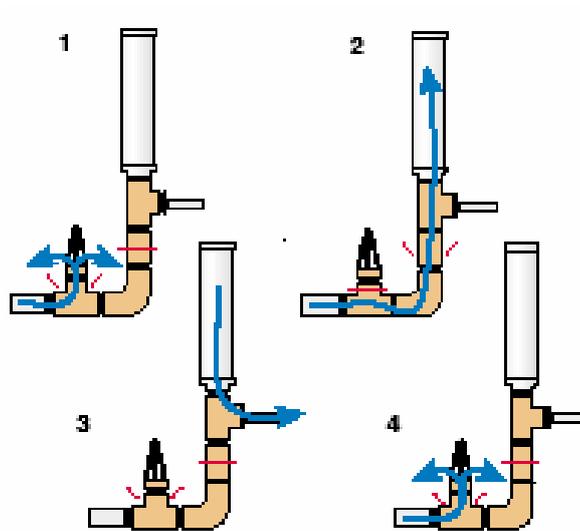
Kata kunci: pompa hidram, pipa hantar, hydraulics ram

Pendahuluan

Pompa hidram telah berkembang sejak abad ke 18 tepatnya pada tahun 1775 oleh seorang berbangsa Inggris bernama John Whithurst. Pada awal perkembangan pompa hidram dilakukan dengan secara manual dengan pipa pengunci (*stopcock*). Pompa hidram bekerja secara otomatis diperkenalkan oleh seorang bangsa Perancis yang bernama Joseph Montgolfier pada tahun 1797 (Tave, 1998). Pompa hidram mempunyai konstruksi yang sederhana. Pompa hidram secara otomatis berkembang hingga sekarang. Bagian-bagian dalam rangkaian pompa hidram adalah elevasi sumber air, pipa inlet, rumah pompa, tabung udara, dan pipa penghantar. Pada rumah pompa terdapat katub limbah dan katub udara. Bagian-bagian pompa hidram tersebut bekerja secara sistematis dengan tenaga penggerak adalah energi air yang akan dipompa. Energi air adalah energi potensialnya sehingga membutuhkan posisi pompa berada di bawah sumber air. Air yang berada di sumber air mengalir melalui pipa inlet sehingga akan menimbulkan water hammer mengakibatkan katub pada tabung udara membuka dan air masuk ke tabung udara tersebut, sebagian air keluar melalui katub limbah. Tekanan udara pada tabung udara meningkat dengan masuknya air melalui katub tabung udara. Pada saat tekanan udara sama dengan tumbukan air (*water hammer*), maka katub udara menutup dan air yang berada pada tabung udara dipompakan melalui pipa penghantar keluar dari tabung udara. Katub limbah menutup sehingga terjadi *water hammer* yang mengakibatkan membuka katub udara diikuti masuknya air pada tabung udara sehingga meningkatkan tekanan udara tersebut maka air akan dipompa melalui pipa penghantar dan diikuti menutupnya katub udara. Siklus ini berlangsung terus menerus dan sangat cepat. Model dan siklus yang terjadi dapat diilustrasikan dalam Gambar 1 dan 2 berikut ini.



Gambar 1. Ilustrasi instalasi sederhana pompa hidram



Gambar 2 Siklus kerja pompa hidram
 (Siregar, 2012)

Persamaan Bernoulli

Aliran yang terjadi pada pompa hidram adalah adanya perbedaan tinggi energi dan tinggi tekanan dalam sistem pompa tersebut. Oleh karena itu, persamaan Bernoulli dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran di dalamnya

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Sigma h_f + \Sigma h_e \tag{1}$$

dengan

- z_1 = elevasi muka air di tandon diukur dari rumah pompa
- p_1 = tekanan pada permukaan air di tandon
- v_1 = kecepatan aliran di tandon (mukaair di tandon dipertahankan konstan)

- γ = berat volume air
 z_2 = elevasi rumah pompa
 p_2 = tekanan pada katup limbah
 v_2 = kecepatan aliran pada pipa *inlet*
 Σh_f = jumlah kehilangan tenaga akibat gesekan
 Σh_e = kehilangan tenaga sekunder

Kehilangan tenaga akibat gesekan digunakan persamaan dari Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{Lv_2^2}{2gD} \quad (2)$$

dengan

- h_f = kehilangan tenaga karena gesekan
 f = koefisien gesek
 L = panjang pipa *inlet*
 v_2 = kecepatan pada pipa *inlet*
 g = percepatan gravitasi
 D = diameter pipa *inlet*

Berdasarkan persamaan Coolebrook&White, koefisien gesek pipa adalah (Cengel dan Cimbala, 2006)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (3)$$

dengan

- f = koefisien gesek pipa *inlet*
 k = tinggi kekasaran pipa *inlet* (terbuat dari paralon, $k = 0,0000015$)
 Re = bilangan Reynold
 D = diameter pipa *inlet*

Kehilangan sekunder yang terjadi adalah pada pengecilan keluar dari tendon dan *elbow*. Kehilangan tenaga saat pengecilan keluar dari tendon adalah

$$h_{e1} = 0,5 \frac{v_2^2}{2g} \quad (4)$$

- h_{e1} = kehilangan sekunder pada *outlet* tendon
 Kehilangan tenaga akibat *elbow*

$$h_{e2} = 0,98 \frac{v_2^2}{2g} \quad (5)$$

- h_{e2} = kehilangan sekunder akibat *elbow*

Water hammer

Water hammer sebagai prinsip dasar bekerjanya pompa hidram. Water hammer yang terjadi akan memberikan tumbukan pada katub limbah dan katub tabung udara, sehingga katub-katub tersebut terangkat. Kemampuan water hammer yang terjadi tersebut dapat dinyatakan tiap satuan waktu sebagai berikut

$$F = \rho Q(\Delta v) \quad (6)$$

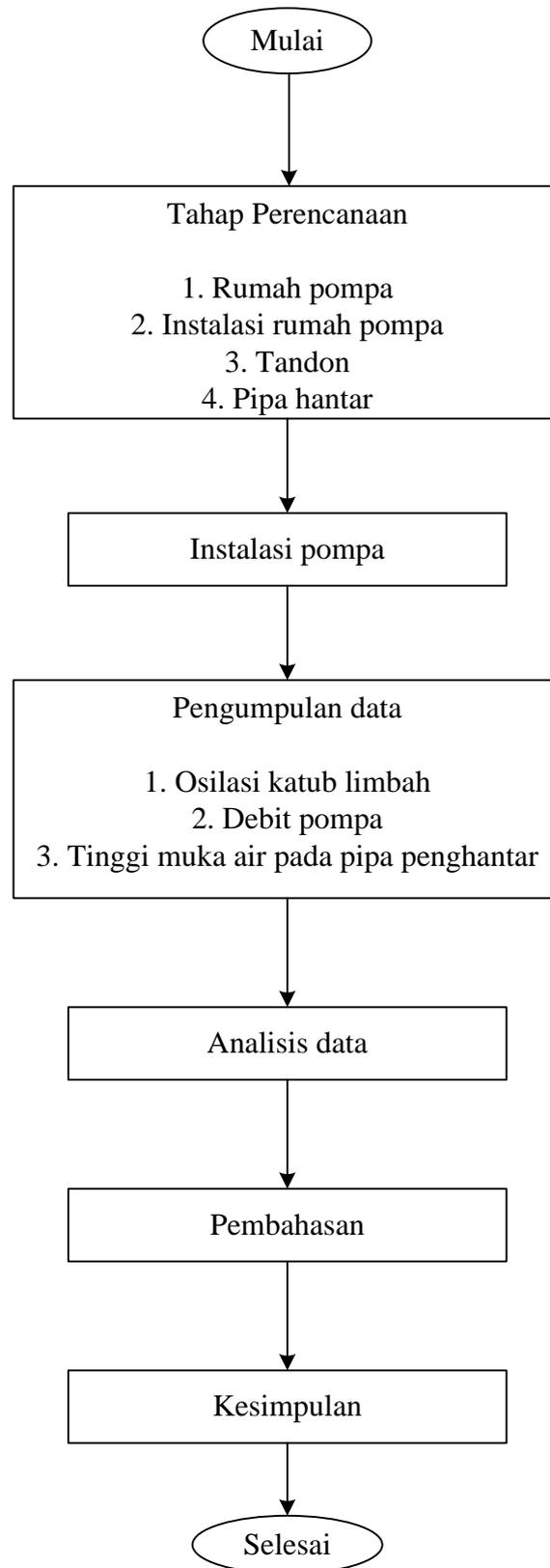
dengan

- F = gaya tumbukan
 ρ = massa jenis air
 Q = debit aliran
 Δv = perubahan kecepatan aliran

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tandon air menggunakan drum plastik, pipa inlet terbuat dari paralon diameter 2 inch dengan panjang bervariasi, yaitu 1 m, 1,5 m, 2 m, dan 2,5 m. Rumah pompa terbuat dari galvanis dengan katub-katub dibuat dari karet yang keras. Untuk mengisi tandon digunakan pompa listrik dengan daya 2 Hp. Pipa hantar terbuat dari selang plastik berukuran 1 inci dengan panjang 15 m. Pada katub limbah diberikan beban logam yang telah ditimbang sebelumnya sesuai perencanaan, yaitu 0,46 kg, 0,69 kg, dan 0,93 kg. Diameter kolom limbah 2 inci dan dengan panjang kolom 5 cm.

Tahapan penelitian dapat dilihat bagan alir pada Gambar 3 berikut ini



Gambar 3. Bagan alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

Debit aliran dalam pipa inlet

Debit aliran dalam dilakukan dengan trial and error dari nilai koefisien gesek pada persamaan Bernoulli dalam persamaan (1) yang dikontrol dengan persamaan (3), sehingga nilai koefisien pada persamaan (1) samadengan koefisien gesek pada persamaan (3). Hasil trial and error dihasilkan debit yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Debit aliran pada pipa inlet

L pipa inlet (m)	Bilangan Reynold (Re)	Koefisien gesek (f)	Debit (m ³ /dt)
1	141390,41	0,011879	0,0056412
1,5	139242,26	0,011911	0,0055555
2	137179,02	0,011941	0,0054732
2,5	135195,46	0,011972	0,0053941

Osilasi katub limbah

Osilasi katub limbah ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 2. Separuh Osilasi katub limbah

Beban (kg)	osilasi			
	L pipa inlet 1 m	L pipa inlet 1,5 m	L pipa inlet 2 m	L pipa inlet 2,5 m
0,46	8,38	7,38	5,85	5,67
0,69	6,33	5,71	5,13	5,04
0,92	5,17	4,92	4,33	4,46

Water hammer yang terjadi pada rumah pompa akan membuat gerakan naik-turun katub limbah, maka jumlah terjadinya water hammer dapat dihitung dengan separuh osilasi yang terjadi. Dalam Tabel 1 terlihat jumlah water hammer akan berkurang ketika berat beban pada katub limbah bertambah. Osilasi katub limbah tidak menunjukkan kemampuan dari water hammer. Hal ini dapat dilihat dalam Tabel 1 tersebut, panjang pipa inlet berbanding terbalik dengan osilasi katub limbah. Oleh karena itu, kemampuan pompa untuk mengalirkan air melalui pipa penghantar tidak secara langsung dipengaruhi oleh jumlah osilasi katub limbah.

Gaya tekan pada katub udara

Gaya tekan air yang bekerja pada katub udara dengan variasi panjang pipa inlet disajikan dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Perhitungan tekanan pada katub udara berdiameter 2,54 cm

L pipa inlet (m)	Gaya water hammer (N)	Tekanan pada katub udara (kg/m ²)
1,0	28,3675	5598,39
1,5	37,5697	7414,48
2,0	46,5036	9177,61
2,5	55,1844	10890,78

Gaya tekan air akibat dari terjadinya water hammer akan bekerja pada katub udara sehingga katub tersebut terbuka dan air terdorong masuk ke tabung udara. Pada saat tekanan akibat water hammer seimbang dengan tekanan udara dalam tabung udara maka air berhenti masuk ke tabung udara dan katub tabung udara menutup. Tekanan udara berganti memompa air melalui pipa penghantar. Pada panjang pipa inlet 2,5 m memberikan gaya water hammer terbesar sehingga tekanan pada katub udara juga terbesar. Tabel 3 memberikan penjelasan secara jelas bahwa tekanan pada katub udara sebanding dengan pertambahan panjang pipa inlet, yaitu pada panjang pipa inlet 2,5 m. Hal ini disebabkan bertambahnya massa aliran air yang berada pada pipa inlet.

Kecepatan dan waktu tinggi pemompaan

Kecepatan dan waktu tinggi pemompaan dilakukan pengamatan variasi beban dan panjang pipa inlet yang telah direncanakan. Tinggi pemompaan direncanakan pada ketinggian 2,50 m, 3,00 m, 3,50 m, 4,00 m, 4,50 m, dan 5,00 m. Dalam Tabel 4, tabel 5, dan tabel 6 terlihat dengan jelas bahwa ke beban pada katub limbah tidak menunjukkan hubungan dengan waktu pemompaan untuk mencapai ketinggian tertentu dan kecepatan aliran pada pipa penghantar. Pipa inlet yang panjang akan memberikan jumlah massa air yang berada pada pipa tersebut juga besar sehingga momentum yang terjadi pada katub udara besar juga (lihat Tabel 3). Kecepatan dan waktu mencapai

ketinggian pemompaan tertentu dipengaruhi oleh panjang dari pipa inlet. Berdasarkan mekanisme kerja pompa hidram tersebut untuk mendapatkan kecepatan dan waktu aliran untuk mencapai suatu ketinggian pemompaan tertentu perlu ditimbulkan momentum yang besar.

Tabel 4. Selesih waktu setiap kenaikan pemompaan dengan panjang pipa inlet 1,0 m

Tinggi pemompaan (m)	Selisih waktu (menit)		
	Beban katup limbah 0,46 kg	Beban katup limbah 0,69 kg	Beban katup limbah 0,96 kg
2,50	4,53	5,56	5,75
3,00	6,49	6,26	8,6
3,50	8,75	8,47	15,49
4,00	13,32	11,98	22,18
4,50	18,08	14,21	20,17
5,00	25,29	17,91	25,52

Tabel 5. Selesih waktu setiap kenaikan pemompaan dengan panjang pipa inlet 1,5 m

Tinggi pemompaan (m)	Selisih waktu (menit)		
	Beban katup limbah 0,46 kg	Beban katup limbah 0,69 kg	Beban katup limbah 0,96 kg
2,50	3,6	3,73	3,73
3,00	5,04	6,6	6,6
3,50	6,03	7,03	7,03
4,00	9,47	9,05	9,05
4,50	11,8	12,84	15,07
5,00	13,34	14,18	19,24

Tabel 6. Selesih waktu setiap kenaikan pemompaan dengan panjang pipa inlet 2,0 m

Tinggi pemompaan (m)	Selisih waktu (menit)		
	Beban katup limbah 0,46 kg	Beban katup limbah 0,69 kg	Beban katup limbah 0,96 kg
2,50	3,93	3,41	3,41
3,00	4,27	5,08	7,29
3,50	4,78	5,68	7,44
4,00	7,01	7,97	9,48
4,50	8,22	10,45	12,94
5,00	11,72	12,37	15,67

Tabel 7. Selesih waktu setiap kenaikan pemompaan dengan panjang pipa inlet 2,5 m

Tinggi pemompaan (m)	Selisih waktu (menit)		
	Beban katup limbah 0,46 kg	Beban katup limbah 0,69 kg	Beban katup limbah 0,96 kg
2,50	3,64	3,47	4,04
3,00	4,76	4,71	6,21
3,50	4,63	5,66	6,41
4,00	6,54	7,48	7,99
4,50	7,4	8,98	9,53
5,00	14,54	16,05	10,61

Kesimpulan

1. Jumlah osilasi yang terjadi pada katub limbah tidak memberikan pengaruh secara langsung pada kecepatan waktu aliran pada pipa penghantar untuk mencapai tinggi pemompaan tertentu. Jumlah osilasi katup limbah hanya menunjukkan jumlah water hammer yang terjadi pada rumah pompa, hanya lebih seringnya terjadi water hammer akan mempercepat dan memperpendek waktu aliran pada pipa penghantar untuk mencapai ketinggian pemompaan.
2. Momentum massa air dapat diperbesar dengan menambah panjang pipa inlet sehingga mempercepat dan memperpendek waktu aliran untuk mencapai suatu ketinggian pemompaan.

Daftar Pustaka

- Cengel, A., Y., dan Cimbala, J., M., (2006), “*Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*” McGraw-Hill companies Inc., pp.341
- Siregar, H., P., “*Analisis Perencanaan dan Instalasi Pompa Hydraulic Ram di Desa Jinkang – Tanjung Kerta, Sumedang*”,
http://180.246.204.45/bahanajar/download/ebooks_kimia/makalah/instalasi%20Pompa%20Hydraulic%20Ram.pdf, opened 2011,
- Tave, T, (1998), “*Hydraulic Ram Pump*”, www.africantechologyforum.com/ESME/HydRam2.htm.