

repository.ub.ac.id

**PENGARUH BEBAN KATUP LIMBAH
TERHADAP *HEAD* TEKAN DAN EFISIENSI POMPA HIDRAM**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

DANANG ARGIAN
NIM. 0510620027-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2010



DAFTAR PUSTAKA

- Afif, abu ; 2008 : Teori Dasar Pompa Sentrifugal ; UNISSULA, Semarang.
- Church, Austin H, Zulkifli Harahap ; 1993 : Pompa dan Blower Sentrifugal ; Gelora Aksara Pratama, Bandung.
- Foster, Bob ; 2003 : Fisika Terpadu ; Gelora Aksara Pratama, Bandung.
- Granet, Irving ; 1981 : *Fluid Mechanics for Engineering Technology* ; Prentice-Hall Inc., New York.
- Gunadiarta , I Made ; 2003 : Mekanika Fluida I ; Universitas Brawijaya, Malang.
- Hanafi, Jahja, Hans De Longh ; 1979 : Teknologi Pompa *Hidraulic Ram* ; Pusat Teknologi Pembangunan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Krist, Thomas ; 1991 : Hidraulika (Terjemahan Dines Ginting) ; Erlangga, Jakarta.
- Nekrasov, Boris ;1969 : *Hydraulics for Aeronautical Engineers* ; Peace Publisher, Moscow.
- Papanastasiou, Tasos ; 1994 : *Applied Fluid Mechanics* ; PTR Prtentice Half Inc, New Jersey.
- San, Gan Shu, Gunawan Santoso ; 2002 : Studi Karakteristik Volume Tabung Udara dan Beban Katup Limbah Terhadap Efisiensi Pompa *Hydraulic Ram* ; Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Suarda, Made, IKG Wirawan ; 2008 : Kajian Eksperimental Pengaruh Tabung Udara pada *Head* Tekanan Pompa Hidram ; Universitas Udayana, Bali.
- Triadmojo, Bambang ; 1996: Hidrolika I ; Beta Offset, Yogyakarta.
- Wahyudi, Imam, Fauzi Fachrudin ; 2008 : Korelasi Tekanan dan Debit Air Pompa Hidram Sebagai Teknologi Pompa Tanpa Bahan Bakar Minyak ; UNISSULA, Semarang.
- Widarto, L. , Sudarto C, FX. ; 1997 : Membuat Pompa *Hydrum* ; Kanisius, Yogyakarta.
- White, Fank ; 1994 : *Fluid Mechanics, Second Edition* ; McGraw Hill Inc., New Jersey.

<http://faizal.web.id/tutorial/pompa-hidrolik-ram-hidram.html>

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan Anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Adapun judul yang penulis ambil adalah : “Pengaruh Beban Katup Limbah Terhadap *Head* Tekan dan Efisiensi Pompa Hidram”.

Dalam penyelesaian penulisan skripsi ini, penulis dibantu oleh berbagai pihak, dan pada kesempatan ini penulis akan menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Dr. H. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Ir. Djoko Sutikno, M.Eng. dan Prof. Dr. Ir Rudy Soenoko, M.Eng.Sc., sebagai pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan serta arahan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
3. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh civitas akademika Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah dengan setia melayani dan membimbing mahasiswanya.
4. Djudjuk Kristiono dan Sri Mudjiati selaku orang tuaku yang selalu memberikan dukungan dan bimbingan, Gillang Pranata Yudha dan Dea Christiana saudaraku yang selalu memberikan semangat, juga Lik Sur yang selalu perhatian.
5. Yulis Nur Faidah yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis, terimakasih atas semangat dan motivasinya.
6. Zaki yang selalu membantuku dalam segala hal, terimakasih sudah menjadi sahabat terbaikku selama ini.
7. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya, dan juga bagi pembaca pada umumnya. Tentunya penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Januari 2010

Penyusun

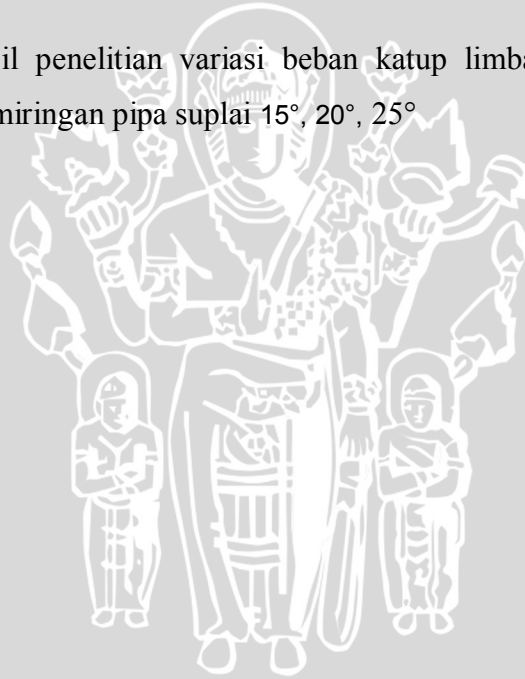
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Persamaan Energi	4
2.3. Aliran Fluida dalam Pipa	6
2.4. Pipa Berbelok (<i>Elbow</i>) dan siku	7
2.5. Pompa Hidram	9
2.6. Siklus Kerja Pompa Hidram	17
2.7. <i>Water Hammer</i>	19
2.8. <i>Head</i> Tekan	20
2.9. Efisiensi	20
2.10. Hipotesis	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Metode Penelitian	23
3.2. Variabel Penelitian	23
a. Variabel Bebas	23
b. Variabel Terikat	23
c. Variabel Terkendali	23

3.3. Rancangan Penelitian.....	23
3.4. Skema Instalasi Penelitian Pompa Hidram	24
3.5. Alat-Alat Penelitian	25
3.6. Prosedur Penelitian	28
3.7. Prosedur Pengambilan Data	28
3.8. Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1. Data Hasil Penelitian.....	30
4.2. Pembahasan	35
4.2.1. Hubungan antara Beban Katup Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap <i>Head</i> Tekan Pompa Hidram	35
4.2.2. Hubungan antara Beban Katup Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap Efisiensi Pompa Hidram.....	37
4.2.3. Hubungan antara Debit Hasil Pemompaan dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap <i>Head</i> tekan Pompa Hidram.....	39
4.2.4. Hubungan antara Debit Hasil Pemompaan dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap Efisiensi Pompa Hidram.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α	8
Tabel 2.2.	Angka Hambatan Pipa Licin dan Pipa Kasar	9
Tabel 2.3.	Kisaran Diameter Pompa Berdasarkan Debit Air Masuk	14
Tabel 4.1.	Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 15°	31
Tabel 4.2.	Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 20°	32
Tabel 4.3.	Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 25°	33
Tabel 4.4.	Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$	34



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Aliran <i>steady</i> dalam pipa	6
Gambar 2.2.	Perubahan Arah Pada Pipa	7
Gambar 2.3.	Pipa Belok (<i>Elbow</i>) 45°	8
Gambar 2.4.	Instalasi pompa hidram	10
Gambar 2.5.	Jenis-jenis katup limbah	12
Gambar 2.6.	Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	13
Gambar 2.7.	Jenis-jenis katup pengantar	15
Gambar 2.8.	Jenis-jenis katup udara	15
Gambar 2.9.	Tabung Udara	17
Gambar 2.10.	Tahapan pada proses pemompaan pompa hidram	18
Gambar 2.11.	Karakteristik <i>Head Tekan</i> Pompa Hidram terhadap Waktu	20
Gambar 3.1.	Skema Instalasi Penelitian	24
Gambar 3.2.	Pompa Hidram	25
Gambar 3.3.	<i>Pressure Gauge</i>	26
Gambar 3.4.	<i>Stopwatch</i>	27
Gambar 3.5.	Gelas Ukur	27
Gambar 3.6.	Pompa Air	28
Gambar 3.7.	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan <i>Head Tekan</i>	35
Gambar 4.2.	Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan Efisiensi	37
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan antara Debit dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan <i>Head Tekan</i>	39
Gambar 4.4.	Grafik Hubungan antara Debit dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan Efisiensi	41

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Gambar Instalasi Penelitian
Lampiran 2	Gambar Instalasi Lengkap



RINGKASAN

DANANG ARGIAN, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Pengaruh Beban Katup Limbah Terhadap Head Tekan dan Efisiensi Pompa Hidram*, Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.

Pompa hidram sangat cocok digunakan pada daerah terpencil yang kesulitan memperoleh bahan bakar dan suplai listrik. Penggunaan pompa hidram tidak terbatas hanya pada penyediaan air untuk kebutuhan rumah tangga, tetapi juga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air untuk pertanian, peternakan dan perikanan darat. Selain tidak membutuhkan bahan bakar, pompa ini juga memiliki beberapa keunggulan dibanding pompa jenis lain yaitu tidak membutuhkan pelumasan, bentuknya sederhana, biaya pembuatan serta pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan ketrampilan tinggi untuk membuatnya serta dapat bekerja selama dua puluh empat jam per hari. Akan tetapi pompa hidram juga memiliki beberapa kelemahan yaitu debit yang dihasilkan relatif kecil dan efisiensi yang relatif rendah dibanding pompa jenis lain.

Metode penelitian dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Variabel bebas yang digunakan adalah debit keluaran yang diatur terlebih dahulu dengan memvariasikan beban katup limbah yaitu 100 g, 200 g, 300 g dan 400 g. Untuk variabel terkontrolnya yaitu sudut kemiringan pipa suplai dengan sudut kemiringan 15°, 20° dan 25°. Data yang diambil adalah debit di katup limbah dan pipa penghantar, tekanan *gauge* pada tabung udara.

Dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin besar beban katup limbah, menyebabkan denyutan katup limbah semakin lambat. Hal ini akan menyebabkan efek *water Hammer* meningkat. Karena peningkatan efek *water hammer* akan berpengaruh terhadap semakin besarnya kenaikan tekanan dalam pompa. Sehingga nilai *head* tekannya menjadi tinggi. Namun debit air yang dihasilkannya akan menurun sehingga mempengaruhi nilai efisiensinya. Nilai *head* tekan yang paling besar didapatkan pada variasi beban katup limbah 400 g dan sudut kemiringan pipa suplai 25°. Sedangkan nilai efisiensi yang paling tinggi terjadi pada variasi beban 100 g dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 25°.

Kata kunci : Pompa hidram, beban katup limbah, *head* tekan, efisiensi.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi akan selalu berdampak terhadap kehidupan manusia terutama dalam hal pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Kemudahan-kemudahan yang didapat dari pemenuhan kebutuhan ini tidak lepas dari pemanfaatan energi yang ada di dunia. Suatu misal dalam hal transportasi, yang dulunya manusia harus memanfaatkan tenaga dari hewan atau bahkan harus berjalan kaki, seiring dengan kemajuan jaman kini kendaraan sudah memanfaatkan bahan bakar fosil sebagai sumber energinya. Namun yang menjadi kendala saat ini adalah semakin langka dan mahalnya bahan bakar tersebut karena bahan bakar fosil tidak dapat diperbaharui lagi. Tidak hanya dalam hal transportasi saja yang memiliki kendala, tetapi juga pada bidang industri, pembangkit listrik dan lain sebagainya. Untuk itu diperlukan suatu teknologi yang hemat energi dan tidak tergantung pada bahan bakar yang bersifat tidak mampu diperbaharui.

Indonesia sebagai negara yang beriklim tropis, pastilah banyak dijumpai sumber-sumber air yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti minum, mandi, mencuci ataupun untuk irigasi sawah. Yang menjadi kendala saat ini adalah kondisi topografi Indonesia memiliki kontur tanah yang tidak rata sehingga berakibat pada sulitnya suplai air dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Instalasi yang paling sesuai untuk kebutuhan tersebut adalah pompa air. Jenis pompa air yang lazim digunakan saat ini adalah pompa air bertenaga listrik, yang tentunya untuk daerah-daerah pedesaan atau di daerah terpencil yang tidak ada sumber listrik akan timbul banyak masalah. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan pompa air yang tidak menggunakan motor, sehingga tidak memerlukan listrik. Salah satu pilihan adalah pompa hidram yaitu pompa yang energi atau tenaga penggerakannya berasal dari tekanan atau hantaman air yang masuk ke dalam pompa melalui pipa.

Pompa hidram hanya dapat digunakan pada aliran sumber air yang memiliki elevasi, sebab pompa ini memerlukan energi terjunan air yang memiliki ketinggian lebih besar atau sama dengan 1 meter yang masuk ke dalam pompa. Air mengalir melalui pipa suplai, badan pompa, kemudian keluar melalui katup limbah yang terbuka. Pada kecepatan aliran yang mencukupi katup ini akan menutup dengan sangat cepat, akibatnya tekanan yang tinggi akan terjadi pada badan pompa. Selanjutnya air hanya dapat keluar lewat katup tekan ke dalam tabung udara serta mengkompresi udara yang ada pada tabung udara sampai kecepatan aliran menjadi nol. Udara yang telah dikompresi tersebut akan menekan air yang ada pada tabung udara ke pipa penyalur. Namun kelemahan dari pompa hidram adalah tidak semua air yang masuk terpompa ke pipa penyalur, namun sebagian terbuang pada katup limbah.

Perbedaan beban katup limbah pada pompa hidram secara tidak langsung akan menyebabkan perubahan denyutan katup limbah, sehingga akan berpengaruh terhadap efek *water hammer* yang terjadi. Hal ini tentunya akan mempengaruhi peningkatan tekanan pada badan pompa akan semakin tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh beban katup limbah terhadap *head* tekan dan efisiensi pompa hidram.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu: Bagaimana pengaruh beban katup limbah terhadap *head* tekan dan efisiensi pompa hidram?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam menganalisis pembahasan menjadi lebih spesifik dan terarah maka dalam penelitian ini perlu adanya beberapa batasan masalah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ketinggian pipa penghantar pada pompa hidram adalah 3 m.
2. Volume tabung udara pompa hidram yang digunakan pada penelitian ini adalah 3 liter.

3. Panjang pipa suplai untuk semua variasi dibuat sama yaitu 4,6m.
4. Diameter pipa yang digunakan pada setiap bagian pompa adalah 1,5 inci, kecuali pada pipa penghantar yaitu sebesar 0,5 inci.
5. Variasi beban katup limbah 100 g, 200 g, 300 g dan 400 g.
6. Pengamatan dilakukan setelah aliran mencapai kondisi *steady*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh beban katup limbah terhadap *head* tekan dan efisiensi pompa hidram.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat dijadikan sebagai referensi awal untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.
2. Mampu menerapkan ilmu-ilmu yang didapatkan selama perkuliahan terutama mengenai masalah mekanika fluida.
3. Dapat digunakan oleh masyarakat sebagai referensi dalam pembuatan pompa hidram.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Made Suarda dan IKG Wirawan (2008) melakukan studi tentang pengaruh tabung udara pada *head* tekan pompa hidram. Dalam penelitiannya pada sistem pompa hidram, dengan ketinggian sumber air 1m, panjang pipa penghantar 6m, ketinggian pemompaan 10m, diameter pipa drive 1 inchi, diameter badan pompa 3 inchi, panjang langkah 5 mm dan panjang pipa penyalur 10m, diperoleh *head* tekan pada pipa penyalur dan debit yang dipompakan 0,004m dan 0,00025 liter/detik untuk pompa hidram tanpa tabung udara sedangkan untuk pompa hidram dengan menggunakan tabung udara diperoleh *head* tekan pada pipa penyalur dan debit yang dipompakan 0,038m dan 0,0025 liter/detik. Hal ini disebabkan pada pompa hidram yang pompa hidram yang menggunakan tabung udara terdapat udara yang terkompresi sehingga menyebabkan kecepatan fluida dalam pompa menjadi lebih stabil sehingga mengurangi kerugian / *losses* akibat akselerasi dan gesekan sehingga daya berguna yang dihasilkan semakin besar, selain itu udara terkompresi juga membantu untuk menaikkan air ke bak penampungan sehingga aliran menjadi lebih kontinyu dan debit menjadi lebih besar.

Gan Shu Shan dan Gunawan Santoso melakukan penelitian mengenai hubungan volume tabung udara dan beban katup limbah terhadap efisiensi pompa hydraulic ram, dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa faktor volume tabung udara dan beban katup limbah berpengaruh terhadap efisiensi pompa *hydraulic ram* begitu pula interaksi kedua faktor.

2.2 Persamaan Energi

Energi yang ada pada tiap satuan berat dari aliran air pada saluran terdiri dari tiga bentuk dasar, yaitu: energi kinetik, energi tekanan dan energi elevasi di atas garis datum. Dari ketiga bentuk dasar energi tersebut akan didapatkan Persamaan Bernoulli, yang menyatakan bahwa konservasi energi merupakan

bentuk persamaan energi untuk aliran tanpa geseran dasar. Persamaan Bernoulli dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (\text{Granet, 1981 : 165}) \quad (2-1)$$

dengan:

P = tinggi tekanan di suatu titik (N/m^2)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V = kecepatan aliran (m/s)

z = ketinggian titik diatas datum (m)

Apabila $z_1 - z_2 = h$ dan $\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma}$

$$\text{maka : } h = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{2gh} \quad (\text{Granet, 1981 : 172}) \quad (2-2)$$

Pada aliran yang sebenarnya, persamaan tersebut dapat ditulis menjadi:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_l \quad (\text{Granet, 1981 : 166}) \quad (2-3)$$

Dimana H_l merupakan kehilangan energi karena adanya gesekan antara fluida dengan dinding pipa atau karena perubahan bentuk saluran yang sering disebut *head losses*.

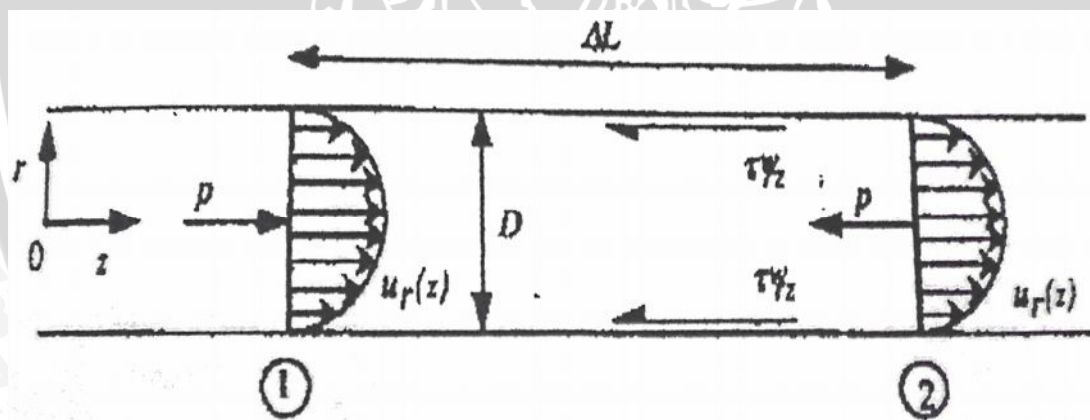
Head losses umumnya digolongkan menjadi:

- *Minor losses* : kerugian *head* yang disebabkan oleh alat-alat pelengkap lokal seperti misalnya perubahan bentuk saluran atau perubahan ukurannya. Apabila fluida mengalir melalui saluran dengan alat-alat tersebut, kecepatannya akan berubah. Contoh dari beberapa alat pelengkap lokal adalah: *gate, orifice, elbow* dan *valve*.
- *Mayor losses* : kerugian energi yang terjadi pada pipa lurus dengan luas penampang yang tetap, sehingga aliran dianggap *uniform*. Harganya bertambah sesuai dengan panjang salurannya. Kerugian seperti ini disebabkan oleh gesekan antara fluida dan dinding pipa, oleh sebab itu bisa timbul pada pipa kasar maupun pipa halus.

2.3 Aliran Fluida dalam Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan aliran penuh (Triatmodjo 1996 : 25). Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer. Tekanan dipermukaan zat cair disepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada pipa adalah adanya permukaan yang bebas berupa udara (pada saluran terbuka). Jadi seandainya pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka, misalnya aliran air pada gorong-gorong. Pada kondisi saluran penuh air, desainnya harus mengikuti kaidah aliran pada pipa, namun bila mana aliran air pada gorong-gorong didesain tidak penuh maka sifat alirannya adalah sama dengan aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2.1 : Aliran *Steady* Dalam Pipa

Sumber : Papanastasiou, 1993: 140

Berdasarkan gambar 2.1, aliran fluida pada bagian 1 dan 2 mengalir dengan laju yang konstan, sehingga kuantitas aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap. Jika tidak ada fluida yang ditambahkan, dipindahkan atau diletakkan diantara bagian 1 dan 2, volume fluida yang mengalir antara bagian 1 dan bagian 2 tiap satuan waktu adalah tetap, dirumuskan dengan:

$$(Q_1 = Q_2) = \text{konstan} \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-4)$$

Persamaan diatas adalah persamaan kontinuitas aliran. Jika $Q = A.v.\rho$ dengan $\rho =$ densitas fluida (kg/m^3), $v =$ kecepatan fluida di dalam pipa (m/s) dan $A =$ luas penampang saluran (m^2). Fluida yang mengalir di dalam pipa adalah *incompressible* sehingga $\rho_1 = \rho_2$, maka persamaan kontinuitas dapat dirumuskan dengan :

$$Q_1 = A.v_1 = Q_2 = A.v_2 \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-5)$$

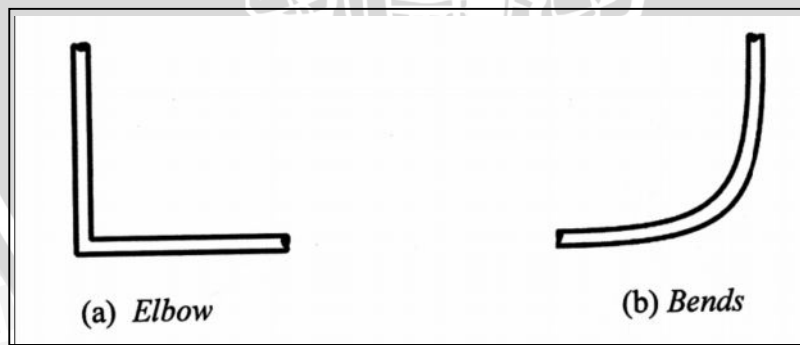
Dengan : $v =$ kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

$Q =$ debit aliran fluida (m^3/s)

$A =$ luas penampang (m^2)

2.4 Pipa Berbelok (*Elbow*) dan Siku

Perubahan arah pada pipa (berbelok dan bengkok) dapat menimbulkan kehilangan energi akibat dari perubahan tersebut, besarnya kehilangan energi ini tergantung pada sudut perubahan arah pipa. Kehilangan energi akibat perubahan arah pada pipa dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu pembelokan karena adanya sambungan yang terkesan tiba-tiba/tajam, pembelokan ini disebut *Elbow* dan pembengkokan secara berangsur-angsur pembengkokan ini disebut *Bends*. Perbedaan kedua perubahan arah itu bisa dilihat pada gambar 2.2 berikut ini.

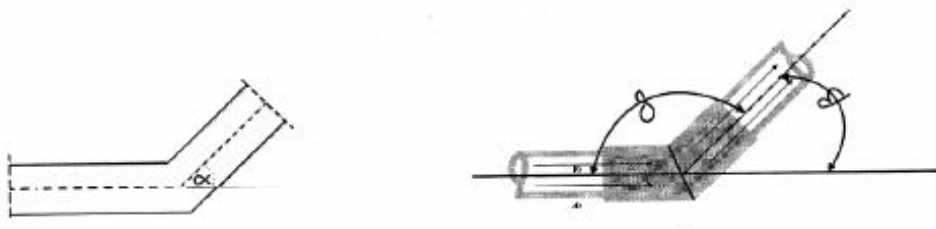


Gambar 2.2 Perubahan Arah Pada Pipa

Sumber : Krist, 1991:89

Elbow adalah pembelokan yang biasanya terjadi diakibatkan adanya sambungan pipa, sambungan yang dipakai adalah *fitting*/keni. *Fitting* yang biasa dijual dipasaran adalah sudut 45° dan 90°.

Kehilangan energi yang diakibatkan adanya perubahan arah adalah diakibatkan benturan air pada dinding. Kecepatan aliran air awal (v_1) berubah menjadi kecepatan aliran air setelah melalui pembelokan (v_2), dimana (v_1) lebih besar dibanding (v_2).



a.

b.

Gambar. 2.3 : Pipa Belok (*Elbow*) 45°

Sumber : a : Triatmodjo, 1996:64

b : Krist, 1991:89

Persamaan pada pipa pada gambar 2.3 untuk perubahan arah yang terjadi secara tiba-tiba (*elbow*) dan siku hampir sama dengan persamaan pada pipa bengkok (*bends*). Persamaan untuk kehilangan energi akibat pembelokan (*elbow*) pipa lebih sederhana, yaitu:

$$h_b = K_b \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Triatmodjo, 1996:64}) \quad (2-6)$$

$$\text{atau } h_b = K_b \cdot a \cdot V^2 / 180g \quad (\text{Triatmodjo, 1996:64}) \quad (2-7)$$

Dengan: h_b = kehilangan energi (m) V = kecepatan (m/s)

a = sudut *elbow* (°)

K_b adalah koefisien kehilangan energi pada belokan, yang ditunjukkan oleh tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α

α	20°	40°	60°	80°	90°
K_b	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Sumber : Triatmodjo, 1996:64

Pada pipa-pipa licin dan pipa-pipa kasar dapat digunakan angka-angka kehilangan pada tabel 2.2 berikut:



Tabel 2.2 Angka Hambatan Pipa Licin dan Pipa Kasar

Sudut Belokan	Angka Hambatan K_{kn}	
	Pipa Licin	Pipa Kasar
10°	0,03	0,04
15°	0,04	0,06
30°	0,13	0,15
45°	0,24	0,32
60°	0,47	0,68
90°	1,13	1,27

Sumber: Krist, 1991:89

2.5 Pompa Hidram

Pompa hidram adalah suatu alat yang digunakan untuk mengalirkan air dari tempat rendah ke tempat yang lebih tinggi dengan menggunakan energi potensial sumber air yang akan dialirkan sebagai daya penggerak, tanpa menggunakan energi luar. Pompa hidram bekerja menggunakan prinsip *water hammer*. Ketika aliran dihentikan secara tiba-tiba maka akan terjadi perubahan momentum massa fluida yang akan menyebabkan peningkatan tekanan secara tiba-tiba pula.

Pompa hidram memiliki beberapa tahapan sebelum terjadinya satu siklus pemompaan, tahapan tersebut antara lain :

1. Air turun dari bak suplai melalui pipa dengan kecepatan tertentu masuk ke rumah pompa.
2. Katup limbah pada pompa awalnya terbuka, maka aliran air dari bak suplai akan terpancing untuk melalui katup limbah.
3. Katup limbah akan tertutup karena air dari bak suplai mengalir terus menerus sehingga tekanan dalam rumah pompa meningkat.
4. Katup penghantar akan terbuka karena tekanan di dalam pompa sangat besar, sehingga air bisa mengalir pada pipa penghantar.
5. Air menuju tabung udara dan mengkompresi udara, sehingga udara yang bersifat *compressible* volumenya akan mengecil.
6. Tekanan udara pada tabung akan menekan air pada pipa penghantar dan menekan katup hantar sehingga tertutup.
7. Katup limbah kembali terbuka karena kapasitas air dalam rumah pompa menurun.

Pompa hidram memiliki kelebihan dan kelemahan dibandingkan dengan pompa yang lain yaitu :

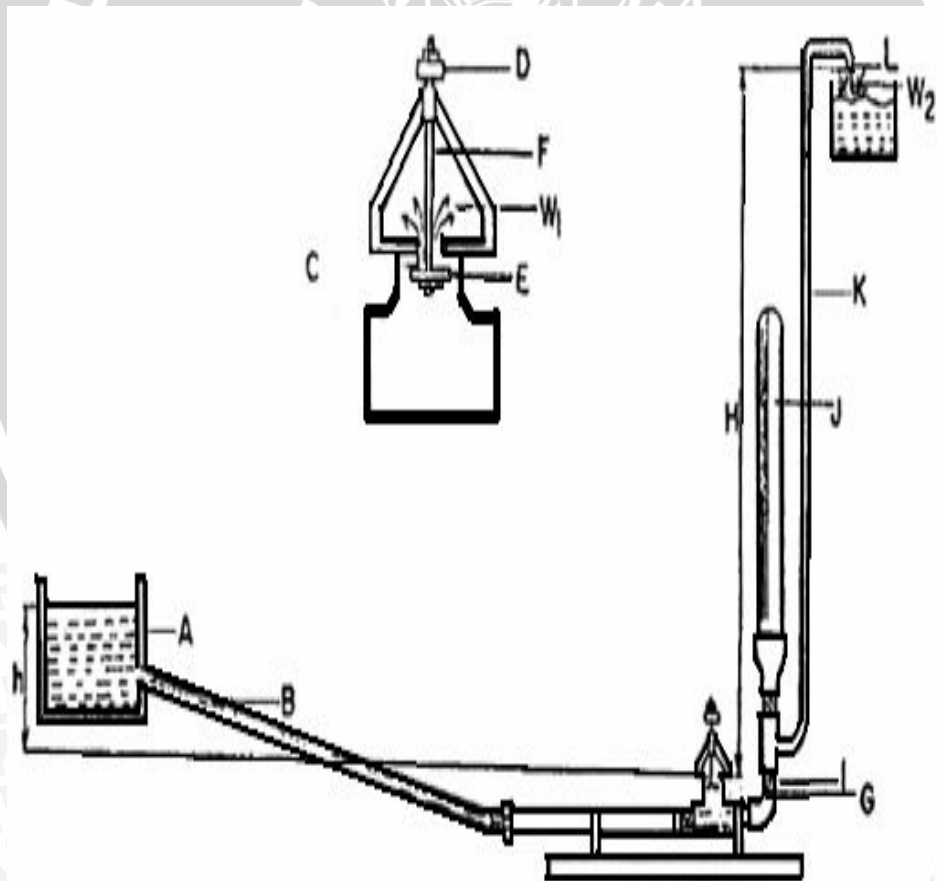
Kelebihan

1. Instalasinya sederhana sehingga perawatannya mudah dan murah.
2. Tidak menggunakan energi dari luar (listrik atau bahan bakar), sehingga biaya operasionalnya murah.
3. Dapat beroperasi 24 jam tanpa berhenti.

Kelemahan

1. Air yang masuk ke badan pompa harus kontinyu karena energi pemompaannya menggunakan hantaman dari air.
2. Debit yang dihasilkan tidak kontinyu.
3. Efisiensi yang dihasilkan sangat rendah.

Instalasi pompa hidram ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 : Instalasi Pompa Hidram

Sumber : <http://faizal.web.id>

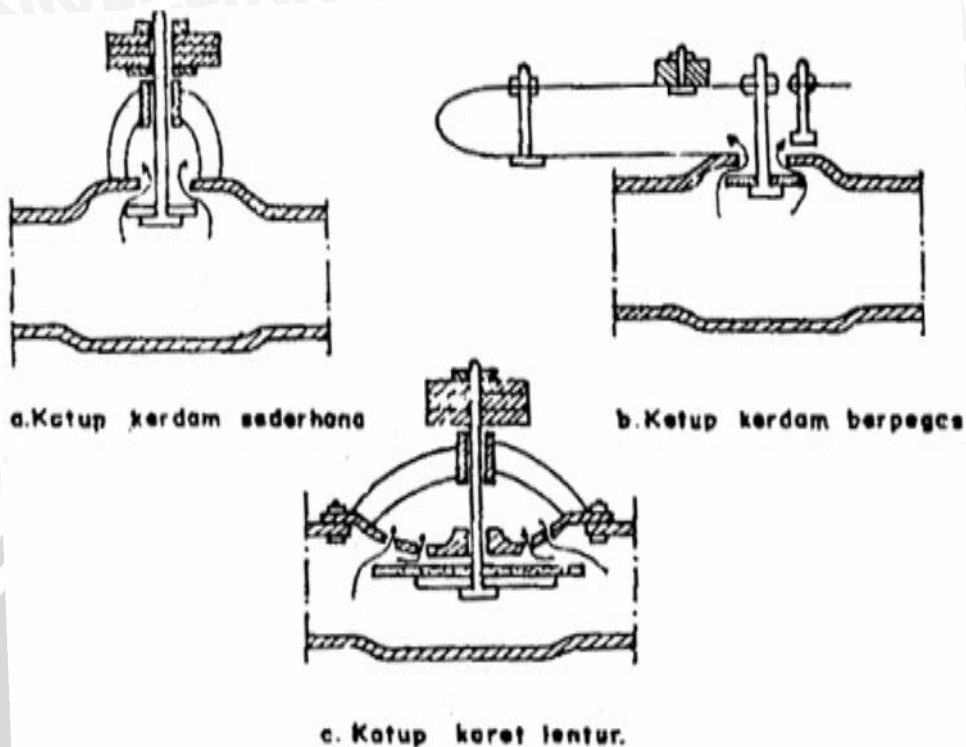
Keterangan :

- A. Tangki pemasukan
- B. Pipa pemasukan
- C. Lubang katup limbah
- D. Pemberat katup limbah
- E. Katup limbah
- F. Tangkai katup limbah
- G. Katup udara limbah
- H. Tinggi vertikal antara lubang katup dengan lubang pengeluaran pipa penghantar
- I. Katup penghantar
- J. Ruang udara
- K. Pipa penghantar
- L. Lubang pengeluaran pipa penghantar
- h. Tinggi vertikal antara permukaan air dalam tangki pemasukan dengan lubang katup limbah
- W₁. Debit air yang terbuang melalui katup limbah
- W₂. Debit pompa

Secara umum pompa hidram memiliki beberapa bagian penting antara lain:

1. Katup limbah (*waste valve*)

Katup limbah merupakan salah satu bagian penting dari pompa hidram, dan harus dirancang dengan baik sehingga berat dan gerakannya dapat disesuaikan. Beberapa jenis katup limbah yang dikembangkan secara umum seperti yang tertera pada gambar 2.5 .



Gambar 2.5 : Jenis-Jenis Katup Limbah

Sumber: <http://faizal.web.id>

Katup limbah dengan tegangan yang berat dan jarak antara lubang katup dengan karet yang cukup jauh, memungkinkan kecepatan aliran air dalam pipa pemasukan lebih besar, sehingga saat katup limbah menutup, terjadi energi tekanan yang besar dan menimbulkan efek *water hammer*. Katup limbah yang ringan dan gerakannya pendek akan memberikan pukulan atau denyutan yang lebih cepat dan menyebabkan hasil pemompaan yang lebih besar pada tinggi pemompaan yang lebih rendah. Sejauh ini katup limbah yang sering dipakai adalah jenis kerdam. Beberapa jenis pengembangan katup limbah adalah jenis katup kerdam dilengkapi dengan pegas yang bertujuan untuk menghindari pemakaian *sliding bearing* yang harus diganti apabila aus.

Proses membuka dan menutupnya katup limbah dapat dijelaskan sebagai hubungan antara massa katup limbah dan gaya angkat oleh fluida yang besarnya dipengaruhi oleh tekanan yang terjadi pada badan pompa.

Berat katup limbah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W = m.g \quad (\text{Foster, 2003 : 135}) \quad (2-8)$$

Keterangan : W = berat (kg.m/ s²)

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Gaya angkat oleh fluida dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = P.A \quad (\text{Foster, 2003 : 126}) \quad (2-9)$$

Keterangan : F = gaya angkat (kg.m/ s²)

P = tekanan pada badan pompa (N/m²)

A = luas penampang katup limbah (m²)

Hubungan yang terjadi pada proses membuka dan menutupnya katup limbah dapat dijelaskan sebagai berikut:

jika W lebih besar daripada F maka katup limbah akan terbuka sedangkan jika W lebih kecil daripada F maka katup limbah akan menutup.

Pada katup limbah, apabila semakin besar bebannya maka akan membuat waktu tiap denyutannya akan semakin besar. Waktu denyutan yang semakin besar ini akan mempengaruhi nilai tekanan yang terjadi pada waktu terjadinya efek *water hammer*. Berdasarkan penelitian dari *Plast O Matics Valve Inc* tekanan pada pompa hydraulic ram dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{[(0.07)]vL}{t} + P_1 \quad (\text{Suarda, 2008 : 2}) \quad (2-10)$$

Keterangan :

P : Tekanan total (psi)

v : kecepatan aliran (ft/s)

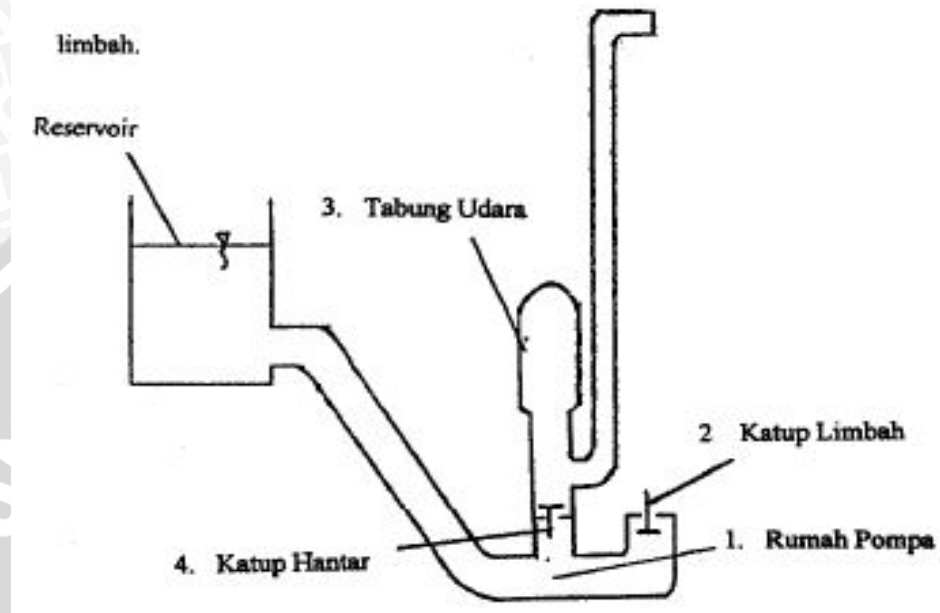
L : Panjang pipa penyalur (ft)

t : Waktu yang diperlukan katub untuk tertutup secara tiba- tiba. (s)

P_1 : Tekanan inlet (psi)

2. Rumah Pompa

Rumah pompa merupakan tempat terjadinya proses pemompaan. Bagian ini dilengkapi dengan dudukan agar pompa dapat berdiri tegak dan kokoh. Rumah pompa ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 : Pompa *Hydraulic Ram*
Sumber: San (2002:82)

Agar dapat bekerja dengan baik dengan hasil yang maksimal, pompa *hydraulic ram* memerlukan beberapa persyaratan khusus, antara lain sebagai berikut :

- Adanya terjunan air sebagai sumber tenaga potensial minimal satu meter.
- Debit air yang cukup untuk menggerakkan pompa minimal 7 liter per menit.
- Sudut terjunan air kurang lebih 1 : 5, yang merupakan perbandingan antara tinggi terjunan air atau tinggi air yang masuk ke dalam pompa dan tinggi pengangkatan air atau tinggi yang diukur dari rumah pompa ke bak penampungan air.
- Besarnya diameter pompa disesuaikan dengan debit air yang masuk ke dalam pompa, semakin besar debit yang masuk ke dalam pompa maka diameter pompa yang digunakan akan semakin besar. Berikut tabel 2.3 untuk menentukan diameter pompa berdasarkan debit air.

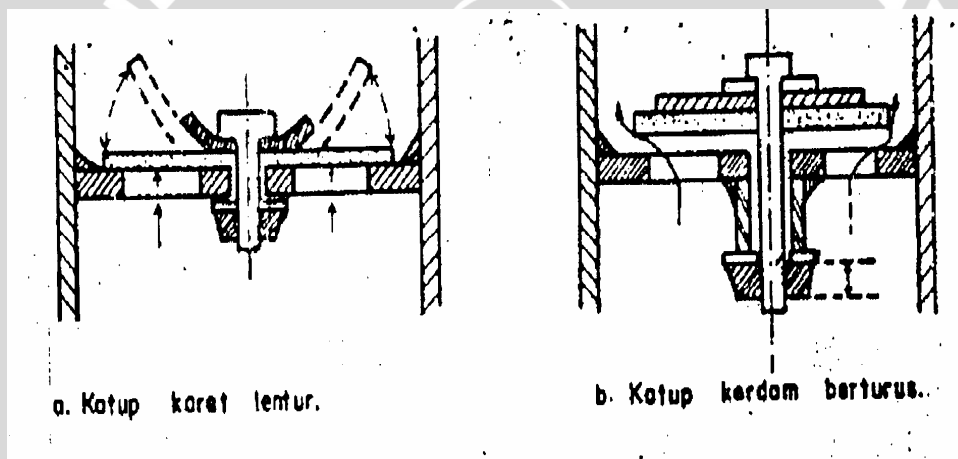
Tabel 2.3 Kisaran Diameter Pompa Berdasarkan Debit Air Masuk

Diameter Pompa (inci)	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
Debit air (liter/menit)	7-16	12-25	27-55	45-96	68-137	136-270

Sumber : Buku Petunjuk Pembuatan Pompa Hidram, 2001 : 11

3. Katup pengantar (*delivery valve*)

Katup pengantar harus memiliki lubang yang besar sehingga memungkinkan air yang dipompa memasuki ruang udara tanpa hambatan pada aliran. Katup ini dibuat dengan bentuk yang sederhana yang dinamakan katup searah (*non return*) katup ini dibuat dari karet kaku dan bekerja seperti pada katup kerdam, seperti pada gambar 2.7 berikut ini.



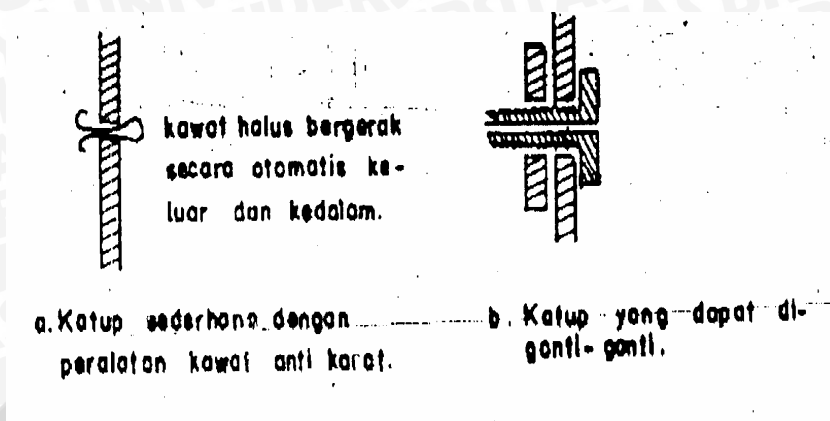
Gambar 2.7 : Jenis-jenis katup pengantar

Sumber: <http://faizal.web.id>

3. Katup udara (*air valve*)

Udara yang tersimpan dalam ruang udara dihisap perlahan lahan oleh turbulensi air yang masuk melalui katup penghantar dan hilang ke dalam pipa penghantar. Udara ini harus diganti dengan udara baru melalui katup udara. Katup udara harus disesuaikan dengan tepat sehingga mengeluarkan semprotan air yang kecil pada saat terjadi denyutan kompresi. Jika katup udara terlalu besar, maka tabung udara akan terisi udara terlalu banyak sehingga membuat pompa akan memompa udara. Jika katup udara kurang terbuka akan membuat masuknya udara untuk

menggantikan udara yang terbuang kurang. Untuk bentuk katup udara seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 : Jenis-Jenis Katup Udara

Sumber: <http://faizal.web.id>

4. Pipa penghantar (*delivery pipe*)

Pompa hidram dapat mengalirkan air pada ketinggian yang cukup tinggi. Dengan menggunakan pipa penghantar yang panjang akan membuat *ram* harus mengatasi gesekan fluida dengan dinding pipa. Pipa penghantar dapat dibuat menggunakan bahan jenis apapun, tetapi dengan syarat bahan tersebut dapat menahan tekanan air. Tetapi biasanya dipakai pipa dari paralon (PVC dengan ukuran diameter setengah dari ukuran diameter pipa pemasukan). Sepotong pipa besi yang digalvanisir dipasang pada pompa sebelum saluran penghantar. Ini mutlak dipakai apabila daya angkat vertikal melebihi kekuatan pipa penghantar terhadap tekanan maka bagian bawah pipa tersebut haruslah pipa besi digalvanisir. Daya angkat vertikal minimum adalah sekitar dua kali tinggi jatuh vertikal, dan daya angkat maksimum adalah sekitar dua puluh kali tinggi jatuh vertikal.

5. Tabung Udara

Tabung udara berfungsi meneruskan dan meningkatkan tenaga pemompaan, sehingga air dalam tabung udara dapat dipompa naik (Widarto,1997:12). Tabung udara harus dibuat sebesar mungkin untuk menempatkan udara dan menahan tegangan tekanan (*pressure pulse*) dari siklus *ram*, memungkinkan aliran air secara stabil melalui pipa penghantar

dan memperkecil *losses* akibat gesekan. Jika tabung udara penuh dengan air maka *ram* akan terus bergetar keras dan dapat mengakibatkan tabung udara pecah. Jika hal ini terjadi ram harus dihentikan segera. Beberapa ahli berpendapat bahwa volume udara harus sama dengan volume air dalam pipa penghantar. Semakin panjang pipa penghantar maka semakin besar pula volume tabung udara begitu pula sebaliknya semakin pendek pipa penghantar maka semakin kecil volume ruang udara. Untuk bentuk tabung udara seperti ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 : Tabung Udara

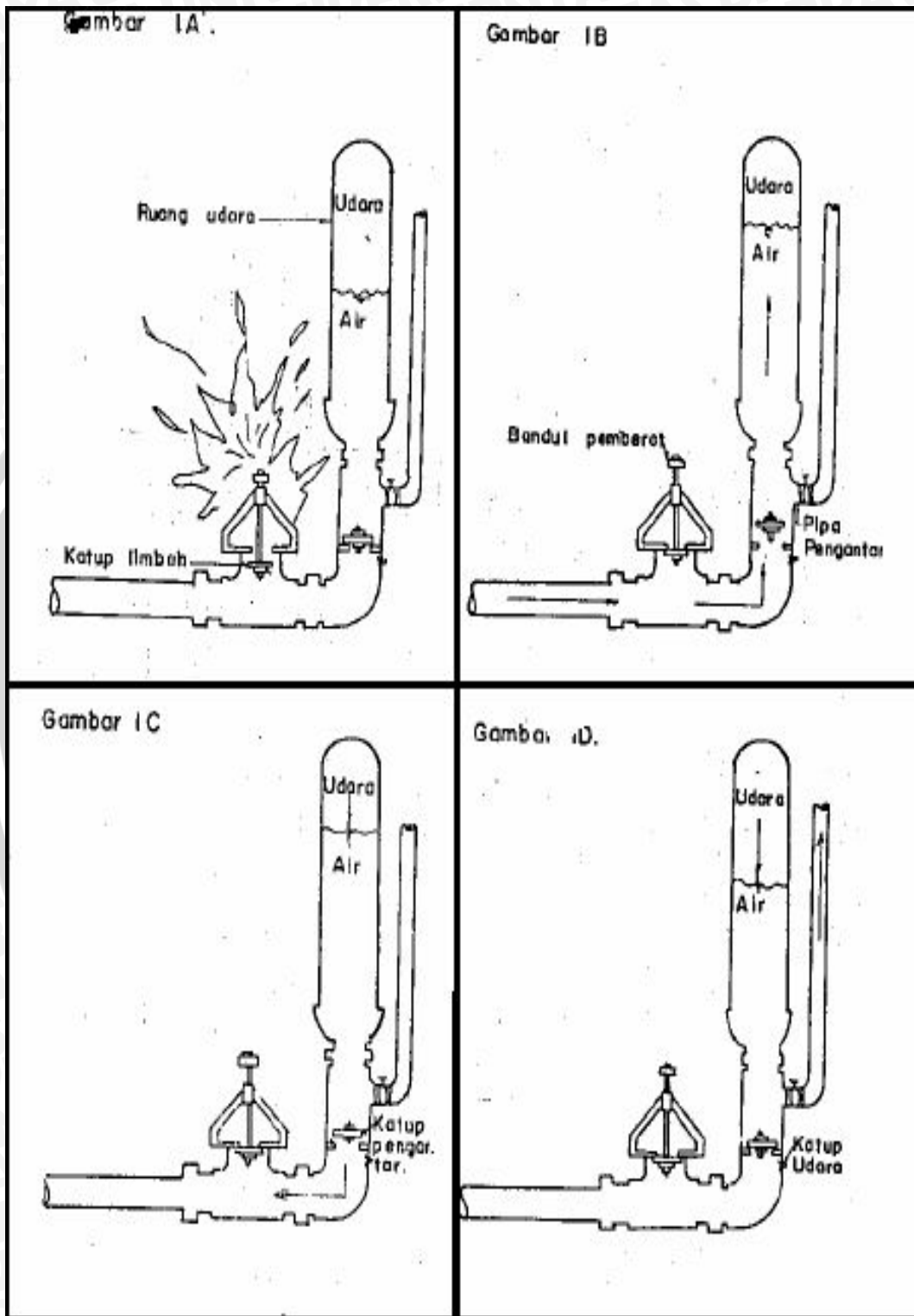
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada tabung udara terdapat katup untuk mengatur keluar masuknya air ke pompa hidram. Proses membuka dan menutupnya katup penghantar dapat dijelaskan sebagai hubungan antara gaya tekan katup penghantar dan gaya angkat oleh fluida yang besarnya dipengaruhi oleh tekanan yang dihasilkan oleh pompa hidram.

2.6 Siklus Kerja Pompa Hidram

Dalam proses pemompaan pada pompa hidram melalui beberapa tahapan, mulai dari air yang mengalir dari bak suplai menuju badan pompa, terjadinya

water hammer, terjadi kompresi di tabung udara, hingga terangkatnya air melalui pipa pengantar. Fenomena ini bisa dilihat seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 : Tahapan pada Proses Pemompaan Pompa Hidram

Sumber: <http://faizal.web.id>

Keterangan gambar :

- 1A. Air masuk ke badan pompa dan keluar melalui katup limbah yang sedang terbuka, kecepatan air bertambah.
- 1B. Katup limbah tertutup, terjadi *water hammer* yang mengakibatkan tekanan meningkat sehingga katup penghantar terbuka, air masuk ke tabung udara dan selanjutnya udara terkompresi oleh air yang masuk.
- 1C. Udara yang terkompresi memberi tekanan balik terhadap air yang masuk ke tabung udara hingga katup penghantar tertutup.
- 1D. Karena katup penghantar tertutup, air hanya bisa mengalir lewat pipa output menuju reservoir akhir.

Penelitian yang telah dilakukan pada sebuah hidram ukuran kecil, dimana tinggi vertikal bak suplai (*supply head*) adalah 1,58m dan tinggi pemompaan (*delivery head*) adalah 3m.

2.7 Water Hammer

Water Hammer adalah fenomena yang terjadi ketika aliran dihentikan secara tiba-tiba sehingga akan terjadi perubahan momentum massa fluida yang akan menyebabkan peningkatan tekanan secara tiba-tiba pula. Peningkatan tekanan akibat *water hammer* dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\Delta p_{wh} = \rho \cdot v_0 \cdot v_{sw} \quad (\text{Nekrasov, 1969 :160}) \quad (2-11)$$

$$\text{Untuk } v_{sw} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}}$$

Keterangan :

Δp_{wh} = Kenaikan Tekanan akibat efek *Water Hammer* (kg/cm²)

v_0 = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

v_{sw} = Kecepatan *Shock Wave* (m/s)

ρ = *Density* (kg sec²/m⁴)

K = *Volume modulus* (kg/cm²)

R = Jari-jari pipa (m)

δ = Ketebalan pipa (m)

E = Modulus elastisitas (kg/cm²)

2.8 Head Tekan

Head tekan (p / γ) menyatakan tingginya kolom zat cair tertentu dibandingkan terhadap tekanan absolut ataupun terhadap tekanan lebih (*gauge pressure* = p).

Untuk mencari nilai *head* tekan dapat menggunakan persamaan tekanan hidrostatik berikut ini :

$$p = \gamma \cdot h \quad (\text{Afif, 2008 : 2}) \quad (2-12)$$

dimana :

p = tekanan.

h = ketinggian zat cair (*head*)

Dengan demikian kita dapat menghitung *head* dengan persamaan:

$$h = \frac{p}{\gamma} \quad (\text{Afif, 2008 : 2}) \quad (2-13)$$

Sehingga pada pompa hidram *head* tekan dirumuskan dengan persamaan:

$$H = \frac{p_{\text{air}} + p_{\text{udara}}}{\gamma_{\text{air}}} \quad (\text{Afif, 2008 : 2}) \quad (2-14)$$

Keterangan:

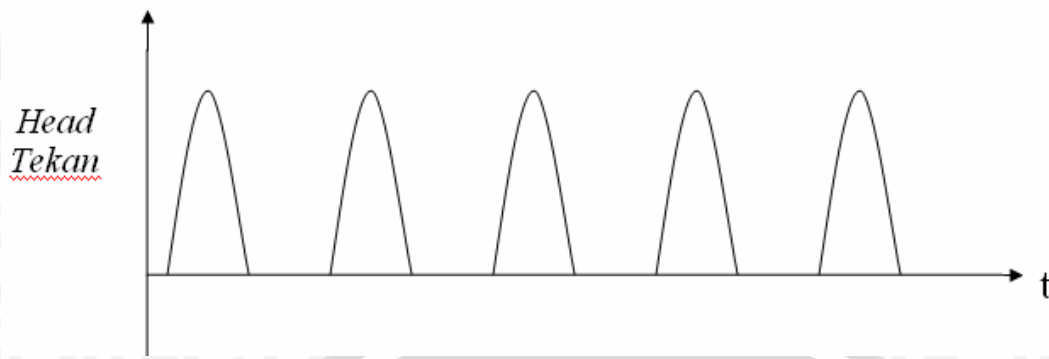
H = *Head* tekan pompa hidram (m)

p_{air} = Tekanan air pada pompa hidram (N/m^2)

p_{udara} = Tekanan udara pada pompa hidram (N/m^2)

γ_{air} = Berat jenis air ($\rho_{\text{air}} \cdot g$)

Pada pompa hidram, *head* tekan yang terjadi tidak kontinyu. Hal ini dikarenakan adanya denyutan yang terjadi pada katup limbah. Oleh karena itu karakteristik *head* tekan terhadap waktu pada pompa hidram ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 : Karakteristik *Head Tekan* Pompa Hidram terhadap Waktu

2.9 Efisiensi

Efisiensi adalah perbandingan antara daya output dibagi dengan daya input.

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \cdot 100\% \quad (\text{Afif, 2008 : 5}) \quad (2-15)$$

Dimana :

P_{output} = Daya yang dihasilkan

P_{input} = Daya yang digunakan

Pada pompa hidram inputnya berupa kapasitas air suplai, dapat diperoleh dari kapasitas air pada katup limbah ditambah kapasitas air pemompaan. Sedangkan berat jenis air pada pompa hidram adalah sama sehingga dapat dihilangkan yang akhirnya diperoleh persamaan empirik:

$$\eta = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_d + Q_w) \cdot H_s} \cdot 100\% \quad (\text{Suarda, 2008 : 2}) \quad (2-16)$$

Keterangan:

η : Efisiensi pompa hidram (%)

Q_d : Kapasitas air pemompaan (m^3/s)

Q_w : Kapasitas air pada katup limbah (m^3/s)

H_d : *Head* air pemompaan (m)

H_s : *Head* suplai air ke hidram (m)

2.10 Hipotesis

Semakin besar beban pada katup limbah menyebabkan denyutan katup limbah menjadi lambat, maka akan memperbesar efek *water hammer*, oleh karena itu mengakibatkan kenaikan tekanan pada badan pompa menjadi lebih besar sehingga berdampak terhadap meningkatnya *head* tekan, namun debit yang dihasilkan akan menurun, sehingga akan mempengaruhi nilai efisiensi pompa hidram.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang sebenarnya. Jenis penelitian ini dapat dipakai untuk menguji suatu perlakuan atau desain baru dengan membandingkan satu atau lebih kelompok pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada tiga macam variabel yang digunakan, yaitu :

a. Variabel bebas

Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini yaitu beban katup limbah (100 g, 200 g, 300 g, dan 400 g) dan debit pompa hidram.

b. Variabel terikat

Untuk variabel terikat dalam pengujian ini, adalah *head* tekan dan efisiensi pompa hidram.

c. Variabel terkendali

Variabel terkendali dalam penelitian ini adalah sudut kemiringan pipa suplai yaitu sebesar 15°, 20°, dan 25°.

3.3 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dengan melibatkan variabel bebas yaitu variasi beban katup limbah sebesar 100 g, 200g, 300 g, dan 400 g. Dengan perulangan sebanyak 3 kali.

Beban (g)	Data ke-	P. tabung (kg/cm ²)	H. Tekan (m)	Hd (m)	Q _w (l/menit)	H _s (m)	Qd (l/menit)	η (%)
	1							
	2							
	3							
	Rata-rata							

Keterangan:

Beban : Beban katup limbah (gram)

H_s : *Head* bak air suplai (m)

P.tabung : Tekanan tabung udara (kg/cm^2)

Q_w : Kapasitas air pada katup limbah (m^3/s)

Q_d : Kapasitas air pemompaan (m^3/s)

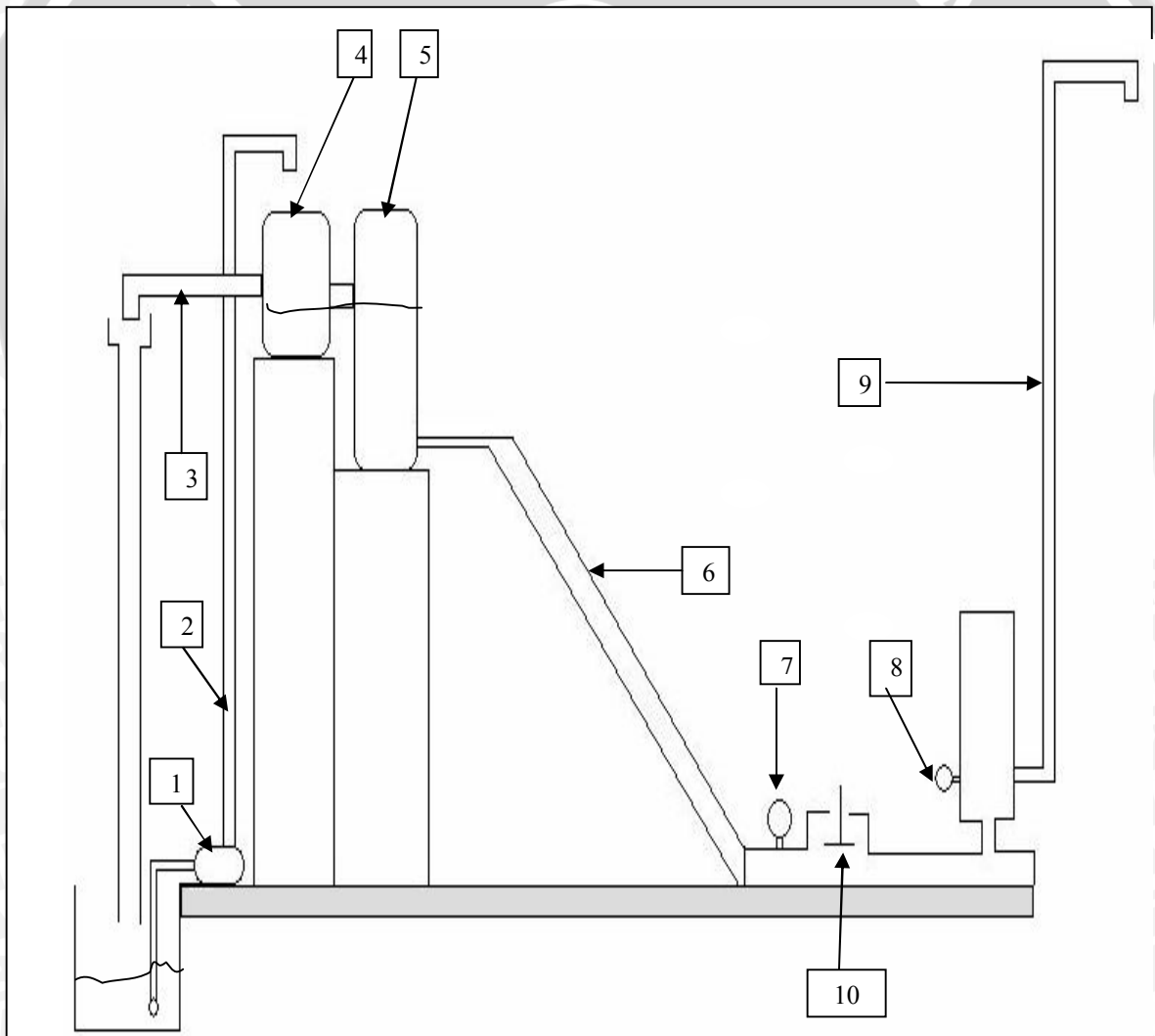
H_d : *Head* air pemompaan (m)

η : Efisiensi pompa hidram (%)

H.Tekan : *Head* tekan (m)

3.4 Skema Instalasi Penelitian Pompa Hidram

Dalam penelitian kali ini rancangan pompa hidram ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 : Skema Instalasi Penelitian

Keterangan gambar :

1. Pompa motor listrik
2. Pipa pengisi bak suplai 1
3. Pipa pembuangan bak suplai 1
4. Bak suplai 1
5. Bak suplai 2
6. Pipa pemasukan
7. *Pressure gauge*
8. *Pressure gauge*
9. Pipa penghantar (pipa *output*)
10. Katup limbah

Untuk instalasi penelitian yang sebenarnya ditunjukkan dalam lampiran 1 dan lampiran 2.

3.5 Alat-alat Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, spesifikasi dan cara kerjanya adalah sebagai berikut :

1. Pompa hidram

Pompa hidram yang dipakai dalam penelitian ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 : Pompa Hidram

Sumber : Dokumentasi Pribadi

- Spesifikasi:
- diameter pipa pemasukan : 1,5 inci
 - panjang pipa pemasukan : 4,6 m
 - panjang pipa penghantar : 3 m
 - diameter pipa penghantar : 0,5 inci
 - diameter badan pompa : 1,5 inci
 - sudut kemiringan pipa suplai : 15°, 20°, 25°
 - ketinggian bak air suplai : 1,2 m, 1,6m, 2m

2. *Pressure gauge*

Alat untuk mengukur tekanan pada pipa pemasukan dan tabung udara pompa hidram. Digunakan *Pressure gauge* dengan skala 0 - 10 kg/cm² seperti pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 : *Pressure Gauge*

Sumber : Dokumentasi Pribadi

3. *Stopwatch*

Alat ini berfungsi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengisi gelas ukur sehingga nantinya memperoleh debit yang dihasilkan pompa hidram. *Stopwatch* yang digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 : *Stopwatch*

Sumber : Dokumentasi Pribadi

4. Gelas ukur

Alat ini berfungsi untuk mengukur volume yang dihasilkan pompa hidram, yang nantinya bertujuan memperoleh debit yang dihasilkan oleh pompa hidram. Gelas ukur yang digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 : Gelas Ukur

Sumber : Dokumentasi Pribadi

5. Pompa Motor Listrik

Pompa motor listrik digunakan untuk mengisi bak sumber dengan air dan menjaga air pada bak sumber tetap konstan, pada penelitian ini digunakan 2 pompa motor listrik. Pompa listrik yang digunakan seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 : Pompa Motor Listrik

Sumber : Dokumentasi Pribadi

3.6 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

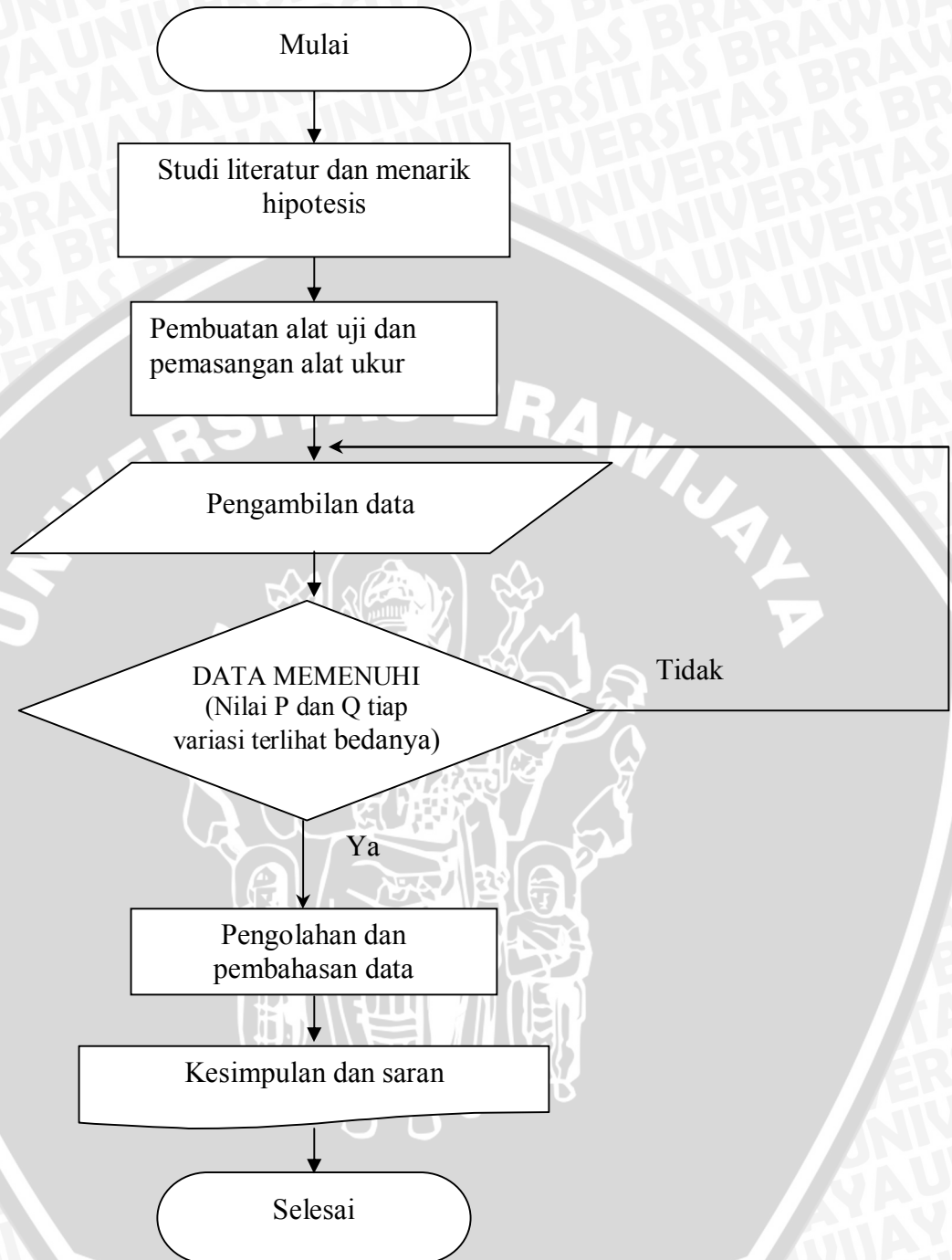
1. Mengisi tangki pemasukan dengan air sampai volume tertentu dan volume air pada bak sumber dibuat konstan.
2. Setelah tangki pemasukan terisi air dengan volume tertentu lalu membuka keran pada pipa pemasukan.

3.7 Prosedur pengambilan data

Prosedur pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. *Setting* semua peralatan penelitian sesuai dengan prosedur penelitian yang dilakukan.
2. Mengisi tangki pemasukan dengan air sampai volume tertentu dan volume air pada bak sumber dibuat konstan
3. Membuka keran pada pipa pemasukan.
4. Setelah pompa hidram bekerja catat data tekanan pada pipa pemasukan dan tabung udara yang terukur pada *pressure gauge*.
5. Catat waktu yang diperlukan untuk mengisi gelas ukur dengan volume 2 L dengan *stopwatch* untuk memperoleh debit pompa hidram.
6. Prosedur ini diulang untuk tiap-tiap variasi pengujian dengan menutup keran pada pipa pemasukan terlebih dahulu.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dari penelitian terhadap pompa hidram dengan variasi beban katup limbah didapatkan beberapa data yang ditunjukkan pada tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4. Adapun dalam perhitungan nilai *head* tekan dan efisiensi didapatkan dari perhitungan seperti pada contoh perhitungan berikut ini :

Pada sudut kemiringan pipa suplai 15° dan beban katup limbah 100 gram

- Perhitungan *Head* Tekan

$$H_d = \frac{P_{air} + P_{udara}}{\gamma_{air}}$$

$$= \frac{P_{Tabung}}{\rho \cdot g} \frac{N/m^2}{kg/m^3 \cdot m/s^2}$$

$$= \frac{0,22kg/cm^2 \cdot 9,81m/s^2}{1000kg/m^3 \cdot 9,81m/s^2}$$

$$= \frac{2200kg/m^2}{1000kg/m^3}$$

$$= 2,2 \text{ m}$$

- Perhitungan Efisiensi

$$\eta = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_d + Q_w) \cdot H_s} \cdot 100\%$$

$$= \frac{1,120liter / menit \cdot 2,2m}{(1,120liter / menit + 28,5liter / menit) \cdot 1,2m} \cdot 100\%$$

$$= 7,067\%$$

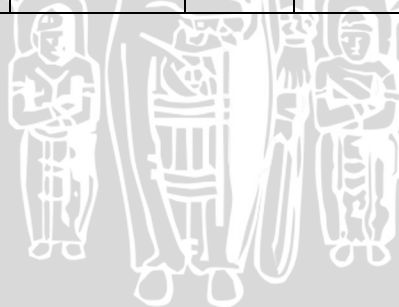
Untuk data hasil penelitian yang lengkap ditunjukkan dalam tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.1 Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 15°

Beban (g)	Data ke-	P.abung (kg/cm ²)	H Tekan/Hd (m)	Hs (m)	Q _w (l/menit)	Q _d (l/menit)	η (%)
100	1	0,220	2,200	1,2	28,500	1,120	7,067
	2	0,230	2,300	1,2	26,400	0,930	6,648
	3	0,215	2,150	1,2	25,200	1,300	8,960
	Rata-rata	0,222	2,217	1,2	26,700	1,117	7,559
200	1	0,250	2,500	1,2	24,190	0,850	7,209
	2	0,260	2,600	1,2	25,100	0,640	5,492
	3	0,250	2,500	1,2	24,200	0,755	6,425
	Rata-rata	0,253	2,533	1,2	24,497	0,748	6,379
300	1	0,280	2,800	1,2	28,000	0,420	3,515
	2	0,275	2,750	1,2	28,400	0,370	3,004
	3	0,285	2,850	1,2	29,620	0,550	4,413
	Rata-rata	0,280	2,800	1,2	28,673	0,447	3,648
400	1	0,300	3,000	1,2	29,500	0,265	2,269
	2	0,310	3,100	1,2	30,500	0,270	2,311
	3	0,310	3,100	1,2	34,350	0,250	1,903
	Rata-rata	0,307	3,067	1,2	31,450	0,262	2,150

Tabel 4.2 Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 20°

Beban (g)	Data ke-	P. tabung (kg/cm ²)	H Tekan/Hd (m)	Hs (m)	Q _w (l/menit)	Q _d (l/menit)	η (%)
100	1	0,290	2,900	1,6	28,500	2,100	12,679
	2	0,295	2,950	1,6	26,150	1,950	13,042
	3	0,285	2,850	1,6	30,150	2,050	11,559
	Rata-rata	0,290	2,900	1,6	28,267	2,033	12,398
200	1	0,300	3,000	1,6	29,800	1,350	8,283
	2	0,300	3,000	1,6	29,840	1,410	8,624
	3	0,305	3,050	1,6	29,800	1,300	8,122
	Rata-rata	0,302	3,017	1,6	29,813	1,353	8,345
300	1	0,310	3,100	1,6	29,850	1,200	7,633
	2	0,310	3,100	1,6	29,850	1,205	7,663
	3	0,315	3,150	1,6	29,600	1,170	7,631
	Rata-rata	0,312	3,117	1,6	29,767	1,192	7,643
400	1	0,350	3,500	1,6	29,800	1,100	7,965
	2	0,330	3,300	1,6	29,500	0,740	5,145
	3	0,340	3,400	1,6	29,350	0,900	6,445
	Rata-rata	0,340	3,400	1,6	29,550	0,913	6,495



Tabel 4.3 Data hasil penelitian variasi beban katup limbah dengan sudut kemiringan pipa suplai sebesar 25°.

Beban (g)	Data ke-	P.Tabung (kg/cm ²)	H Tekan/Hd (m)	Hs (m)	Qw (l/menit)	Qd (l/menit)	η (%)
100	1	0,350	3,500	2,0	23,350	2,500	17,252
	2	0,340	3,400	2,0	22,430	2,600	18,001
	3	0,340	3,400	2,0	22,050	2,650	18,592
	rata-rata	0,343	3,433	2,0	22,610	2,583	17,944
200	1	0,360	3,600	2,0	23,800	2,000	14,224
	2	0,370	3,700	2,0	25,840	1,980	13,422
	3	0,365	3,650	2,0	24,800	2,135	14,746
	rata-rata	0,365	3,650	2,0	24,813	2,038	14,122
300	1	0,365	3,650	2,0	22,850	1,470	11,245
	2	0,365	3,650	2,0	28,400	1,620	10,039
	3	0,380	3,800	2,0	23,620	1,670	12,789
	rata-rata	0,370	3,700	2,0	24,957	1,587	11,273
400	1	0,395	3,950	2,0	33,300	1,060	6,211
	2	0,380	3,800	2,0	30,300	1,020	6,308
	3	0,385	3,850	2,0	30,350	0,950	5,956
	rata-rata	0,387	3,867	2,0	31,317	1,010	6,157

Tabel 4.4 Data hasil penelitian variasi beban dengan sudut kemiringan pipa suplai 15°, 20°, 25°

Beban Katub	Sudut K.Pipa Suplai			Sudut K. Pipa Suplai			Sudut K. Pipa Suplai		
	15°	20°	25°	15°	20°	25°	15°	20°	25°
Limbah	Debit (l/menit)			Head Tekan (m)			Efisiensi (η)		
100	1,117	2,033	2,583	2,217	2,900	3,433	7,559	12,398	17,944
200	0,748	1,353	2,039	2,533	3,017	3,650	6,379	8,345	14,122
300	0,447	1,192	1,587	2,800	3,117	3,700	3,648	7,643	11,273
400	0,262	0,913	1,010	3,067	3,400	3,867	2,150	6,495	6,157

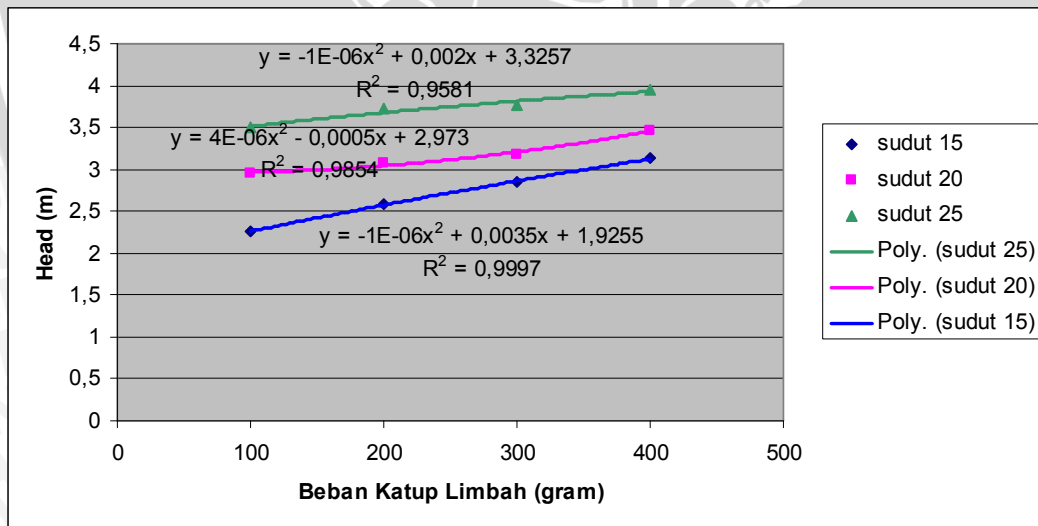


4.2 Pembahasan

Dari data hasil pengujian dengan sudut kemiringan pipa suplai sebagai variabel terkontrol dan beban katup limbah sebagai variabel bebas maka didapatkan karakteristik *head* tekan dan efisiensi yang berbeda beda. Untuk mempermudah dalam menganalisa hubungan antara variasi beban katup limbah dengan *head* tekan dan efisiensi pompa hidram, maka data hasil perhitungan tersebut akan digambarkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.1 dan gambar 4.2. Karena beban katup limbah juga berpengaruh terhadap debit air yang dihasilkan pompa, maka juga perlu membahas grafik hubungan antara debit air yang dihasilkan terhadap *head* tekan dan efisiensi pompa hidram.

4.2.1 Hubungan antara Beban Katup Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap *Head* Tekan Pompa Hidram.

Dari data yang didapatkan, diperoleh grafik hubungan antara beban katup limbah dan variasi sudut kemiringan pipa suplai terhadap *head* tekan pompa hidram sebagai berikut.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Beban Katup Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan *Head* Tekan

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa *head* tekan akan terus meningkat seiring dengan peningkatan beban pada katub limbah. Hal ini berlaku pada semua variasi

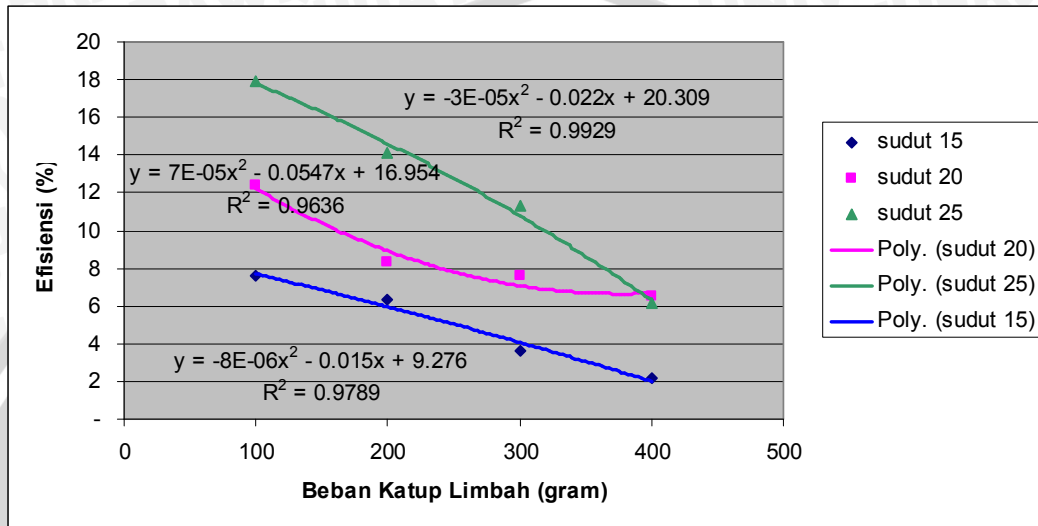
sudut kemiringan pipa suplai. Dikarenakan semakin besar beban katub limbah maka peningkatan tekanan akibat efek *water hammer* pada pompa hidram akan semakin besar. Ini akan mengakibatkan tekanan untuk memompa air semakin besar. Semakin besar peningkatan tekanan akibat *water hammer* maka semakin besar tekanan pada tabung udara sehingga juga akan meningkatkan *head* tekan pompa hidram. Hal ini sesuai dengan persamaan *head* tekan pompa

$$H_d = \frac{P_{udara} + P_{air}}{\gamma}.$$

Untuk variasi sudut kemiringan pipa suplai dengan beban yang sama, terlihat bahwa terjadi peningkatan *head* tekan seiring perubahan sudut dari yang terkecil hingga sudut yang terbesar. Semakin besarnya sudut kemiringan pipa suplai maka bak sumber air akan semakin tinggi. Hal ini akan menyebabkan kecepatan jatuhnya air dari bak sumber menuju pompa meningkat, yang sesuai dengan persamaan $V_\alpha = \sqrt{2gh}$. Peningkatan kecepatan ini berakibat terhadap meningkatnya efek *water hammer* pada pompa hidram sehingga perubahan momentumnya lebih besar. Dengan momentum besar maka gaya yang dihasilkan juga bertambah besar karena gaya adalah momentum per satuan waktu. Dengan gaya yang lebih besar dan bekerja pada luas penampang yang sama maka menghasilkan tekanan yang lebih besar. Tekanan yang lebih besar ini akan meningkatkan *head* tekan pompa hidram.

4.2.2 Hubungan antara Beban Katup Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap Efisiensi Pompa Hidram.

Dari data yang didapatkan, diperoleh grafik hubungan antara beban katup limbah dan variasi sudut kemiringan pipa suplai terhadap efisiensi pompa hidram sebagai berikut.



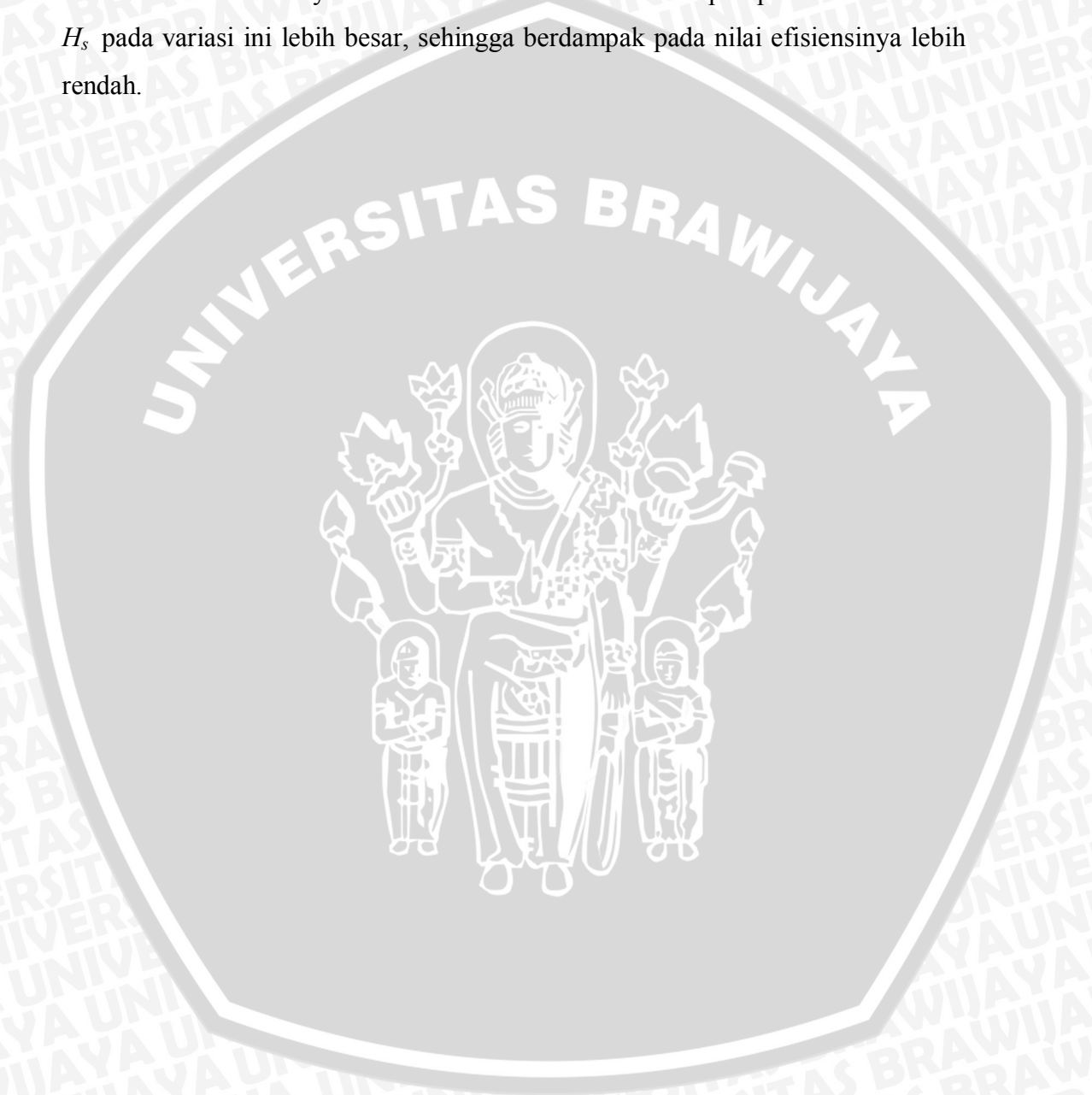
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Beban Katup Limbah dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan Efisiensi

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa nilai efisiensi untuk setiap grafik, terendah pada beban 400 g dan akan meningkat seiring pengurangan beban pada katub limbah. Dengan pengurangan beban pada katub limbah maka debit yang dihasilkan dari proses pemompaan akan semakin besar dan *head* tekan akan semakin kecil. Nilai efisiensi naik seiring dengan penurunan beban katub limbah karena efek peningkatan debit air pemompaan lebih besar daripada efek penurunan *head* tekan sehingga nilai efisiensi dapat meningkat. Hal ini sesuai

dengan persamaan efisiensi $\eta = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_d + Q_w) \cdot H_s} \cdot 100\%$

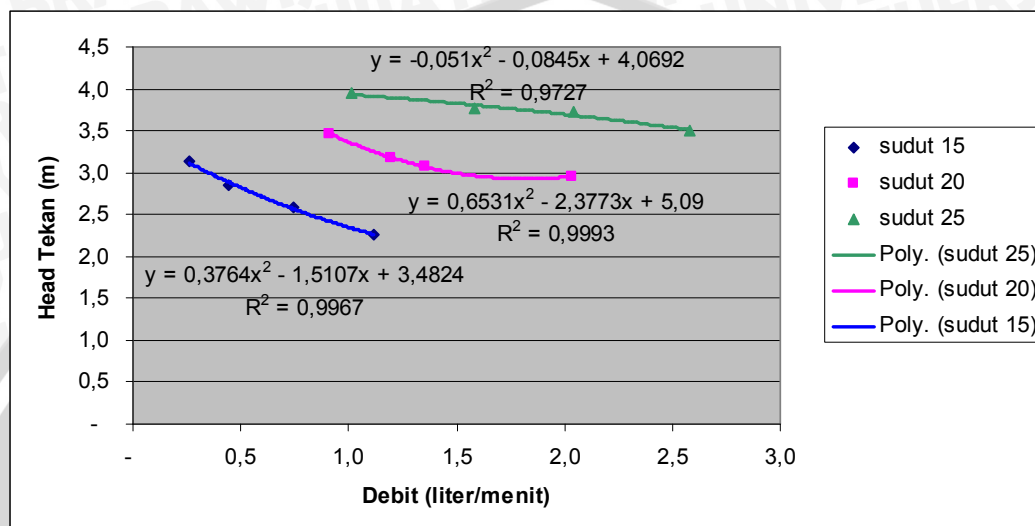
Untuk variasi sudut kemiringan pipa suplai, semakin besar sudut pada beban yang sama efisiensi cenderung meningkat, meskipun nilai H_s yang menyatakan tinggi bak suplai akan semakin besar. Sesuai yang dijelaskan pada pembahasan grafik 4.2.1, semakin tinggi H_s akan meningkatkan *head* tekan pompa hidram, sehingga efisiensi pompa juga meningkat. Namun nilai efisiensi

pada sudut 25° lebih rendah daripada nilai efisiensi sudut 20° ketika katup limbah diberi beban 400 g. Hal ini disebabkan karena *losses* akibat belokan pada sudut kemiringan pipa suplai 25° lebih besar daripada sudut 20° . Sesuai dengan persamaan $h_b = K_b \cdot a \cdot V^2 / 180g$ dimana semakin besar α maka nilai h_b akan semakin besar. Besarnya *losses* ini menurunkan efisiensi pompa. Selain itu nilai H_s pada variasi ini lebih besar, sehingga berdampak pada nilai efisiensinya lebih rendah.



4.2.3 Hubungan antara Debit Hasil Pemompaan dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap *Head* tekan Pompa Hidram.

Dari data yang didapatkan, diperoleh grafik hubungan antara debit hasil pemompaan dan variasi sudut kemiringan pipa suplai terhadap *head* tekan pompa hidram sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Debit dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan *Head* Tekan

Berdasarkan gambar 4.3 hubungan antara debit hasil pemompaan dan variasi sudut kemiringan pipa suplai terhadap *head* tekan pompa hidram untuk sudut 15° dan debit 0,262 – 1,117 liter/menit didapatkan nilai *head* tekan 2,2 – 3,067 m, untuk sudut 20° dan nilai debit 0,913 – 2,033 liter/menit didapatkan nilai *head* tekan 2,9 - 3,4 m, sedangkan untuk sudut 25° dan nilai debit 1,010 - 2,583 liter/menit didapatkan nilai *head* tekan 3,5 - 3,867 m. Untuk semua variasi sudut kemiringan pipa suplai menggunakan beban katup limbah 100-400 gram. Pada gambar 4.3 didapatkan kecenderungan bahwa setiap peningkatan debit air pemompaan akan diikuti oleh penurunan *head* tekan pada pompa hidram. Hal ini disebabkan karena adanya pengaturan beban pada katup limbah. Apabila beban katup limbah kecil maka denyutan katup limbah akan cepat, sehingga debit air yang terpompa lebih banyak. Namun *head* tekan yang dihasilkan pompa akan mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan persamaan Bernoulli

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$
 dimana nilai v yang mempengaruhi debit

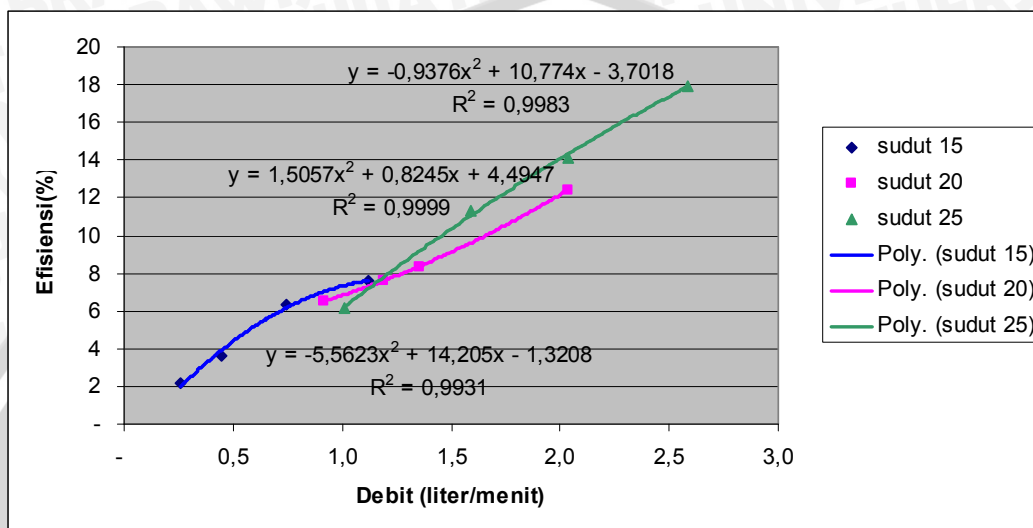
berbanding terbalik dengan nilai p yang mempengaruhi *head* tekan.

Pada ketiga variasi sudut kemiringan pipa suplai didapatkan kisaran debit pemompaan yang sama yaitu pada debit 1,010 – 1,117 liter/menit. Pada kisaran debit ini, untuk sudut 25° memiliki nilai *head* tekan yang paling besar, kemudian diikuti oleh variasi sudut 20° lalu sudut 15°. Hal ini disebabkan pada sudut 25° memerlukan beban katup limbah yang lebih berat agar mencapai kisaran debit tersebut. Beban yang berat membuat denyutan katup limbah akan semakin lambat, sehingga air yang terkumpul di badan pompa akan semakin banyak. Hal ini akan menyebabkan tekanan di dalam pompa semakin meningkat. Oleh karena itu *head* yang dihasilkan pompa akan lebih tinggi. Selain itu juga dipengaruhi oleh ketinggian bak sumber airnya lebih tinggi daripada variasi sudut 20° dan sudut 15°. Semakin tinggi bak sumber akan meningkatkan kecepatan jatuhnya air ke pompa, sehingga akan meningkatkan efek *water hammer*. Hal ini akan meningkatkan tekanan dalam pompa menjadi tinggi. Peningkatan tekanan inilah yang nantinya akan meningkatkan *head* tekan pompa. Hal ini juga berlaku pada variasi sudut 20° dan 15°.



4.2.4 Hubungan antara Debit Hasil Pemompaan dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai terhadap Efisiensi Pompa Hidram.

Dari data yang didapatkan, diperoleh grafik hubungan antara debit hasil pemompaan dan variasi sudut kemiringan pipa suplai terhadap efisiensi pompa hidram sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Debit dan Variasi Sudut Kemiringan Pipa Suplai dengan Efisiensi

Berdasarkan gambar 4.4 grafik hubungan antara debit hasil pemompaan dan variasi sudut kemiringan pipa suplai terhadap *head* tekan pompa hidram untuk sudut 15° dan nilai debit 0,262 – 1,117 liter/menit menghasilkan nilai efisiensi 2,150 – 7,559 %, untuk sudut 20° dan debit 0,913 – 2,033 liter/menit dihasilkan nilai efisiensi 6,495 – 12,398 %, sedangkan untuk sudut 25° dan debit 1,010-2,583 liter/menit , nilai efisiensinya 6,157 – 17,994 %. Untuk semua variasi sudut kemiringan pipa suplai menggunakan beban katup limbah 100-400 gram untuk mengatur besar debitnya. Pada gambar 4.4 didapatkan kecendrungan bahwa setiap peningkatan debit air pemompaan akan diikuti oleh peningkatan nilai efisiensi pada pompa hidram. Hal ini di karenakan setiap peningkatan debit hasil pemompaan akan memperbesar nilai *output* pompa hidram. Walaupun disisi lain peningkatan debit pemompaan akan mengurangi *head* tekan tetapi debit

berpengaruh lebih besar kearah peningkatan efisiensi. Hal ini sesuai dengan

$$\text{persamaan efisiensi } \eta = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_d + Q_w) \cdot H_s} \cdot 100\%$$

Pada ketiga variasi sudut kemiringan pipa suplai didapatkan nilai efisiensi yang paling besar pada sudut 25° kemudian dibawahnya pada variasi sudut 20° dan yang paling kecil pada sudut 15°. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya sudut kemiringan pipa suplai maka *head* tekan pompa hidram akan semakin besar, sehingga efisiensinya pun akan meningkat. Namun pada kisaran debit pemompaan yang sama yaitu pada debit 1,010 – 1,117 liter/menit. Pada kisaran debit ini, variasi sudut 15° memiliki nilai efisiensi yang paling besar, kemudian diikuti oleh variasi sudut 20° lalu sudut 25°. Hal ini disebabkan karena pada sudut 15° memiliki ketinggian bak sumber (H_s) yang rendah daripada variasi sudut yang lain. Selain itu pada variasi sudut 15° memiliki *losses* akibat belokan yang lebih kecil daripada variasi yang lain. Sesuai dengan persamaan $h_b = K_b \cdot a \cdot V^2 / 180g$ dimana semakin kecil α maka nilai h_b (*head losses*) akan semakin kecil. Hal – hal inilah yang menyebabkan efisiensi pada sudut kemiringan pipa suplai sebesar 15° pada kisaran debit 1,010 – 1,117 liter/menit lebih besar daripada yang lain.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis pada bab sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Semakin besar beban katup limbah berpengaruh terhadap meningkatnya nilai head tekan, namun debit yang dihasilkan akan semakin kecil, sehingga efisiensi pompa hidram akan semakin rendah.

- Nilai head tekan pompa hidram yang paling besar didapatkan pada beban katup limbah 400 gram dan debit 1,010 liter/detik (diperoleh dengan sudut kemiringan pipa suplai 25°) yaitu sebesar 3,867 m.
- Nilai efisiensi paling besar didapatkan pada pembebanan katup limbah 100 gram dan debit 2,583 liter/detik (diperoleh dengan sudut kemiringan pipa suplai 25°) yaitu sebesar 17,994 %.

5.2 Saran

Dari seluruh rangkaian proses yang telah dilalui dalam pengerjaan skripsi ini, dapat kami berikan saran sebagai berikut :

1. Untuk selanjutnya hendaknya dilakukan penelitian yang lebih mendalam dengan menggunakan berbagai jenis katub penghantar terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram..
2. Dapat dilakukan penelitian mengenai pengaruh jarak antara katub limbah dengan katup penghantar terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram.

Lampian 1 : Gambar Instalasi Penelitian



Lampiran 2 : Gambar Instalasi Lengkap



Lampiran 3 : Grafik fungsi dari Angka Reynold (*Reynolds Number*)

