

**PENGARUH PANJANG TANGKAI KATUP LIMBAH
PADA POMPA *HYDRAULIC RAM*
TERHADAP TEKANAN DAN EFISIENSI**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**PUTU GUNADA PRATAMA
NIM. 0510620076-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2009**



KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur kehadirat Ida Shang Hyang Widhi Wasa, karena atas limpahan rahmat dan Anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Adapun judul yang penulis ambil adalah : “Pengaruh Panjang Tangkai Katup Limbah Pada Pompa *Hydraulic Ram* Terhadap Tekanan dan Efisiensi”.

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., sebagai pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan serta arahan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
3. Ir. Suharto, MT., sebagai pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan serta arahan pada penulis dalam menyusun skripsi ini
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh civitas akademika Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah dengan setia melayani dan membimbing mahasiswanya..
5. I Wayan Radenia dan Kopang Alit Maruti, S.Pd selaku orang tuaku yang selalu memberikan dukungan dan bimbingan, Priska Dewi saudaraku yang selalu memberikan semangat.
6. Teman seperjuangan Erik, Ngurah, Mul, Lanang, Kacang, Uyak Silver, Adit, Andri, Agung, Tanoto, Fery, Mingsek, Kacang, penghuni Lab Fluida serta semua teman angkatan 2005 dan seluruh warga mesin yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis, terimakasih atas semangat dan motivasinya.
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, Juni 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
RINGKASAN	vi
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. Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	4
2.3. Karakteristik Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	13
2.4. Katup Limbah.....	15
2.5. Persamaan Energi.....	18
2.6. Tekanan.....	19
2.7. Efisiensi Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	20
2.8. Kerangka Pemikiran Teoritis.....	20
2.9. Hipotesis.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Metode Penelitian.....	21
3.2. Variabel Penelitian.....	21
a. Variabel Bebas.....	21
b. Variabel Terikat.....	21
c. Variabel Terkendali.....	21
3.3. Alat-alat Penelitian.....	21
3.4. Prosedur Pengambilan Data Penelitian.....	24



3.5. Diagram Alir Penelitian25

3.6. Data Tabel26

3.7. Skema Instalasi Penelitian Pompa *Hydraulic Ram*26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN28

4.1. Data Hasil Penelitian.....28

4.2. Pembahasan33

4.2.1. Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah Terhadap Tekanan.....34

4.2.2. Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah Terhadap Tekanan.....36

4.2.1. Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah Terhadap Debit yang Mampu Dipompakan.....41

BAB V PENUTUP.....44

5.1 Kesimpulan.....44

5.2 Saran44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1.	Data yang Diambil Untuk Tangkai Katup Limbah Dengan Panjang 10 mm	28
Tabel 4.2.	Data Hasil Pengujian Untuk Tangkai Katup Limbah Dengan Panjang 10 mm	29
Tabel 4.3	Data yang Diambil Untuk Tangkai Katup Limbah Dengan Panjang 20 mm	30
Tabel 4.4.	Data Hasil Pengujian Untuk Tangkai Katup Limbah Dengan Panjang 20 mm	31
Tabel 4.5.	Data yang Diambil Untuk Tangkai Katup Limbah Dengan Panjang 30 mm	32
Tabel 4.6.	Data Hasil Pengujian Untuk Tangkai Katup Limbah Dengan Panjang 20 mm	33



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	5
Gambar 2.2.	Instalasi Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	6
Gambar 2.3.	Jenis-jenis Katup Penghantar	10
Gambar 2.4.	Ruang Udara	11
Gambar 2.5.	Badan Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	12
Gambar 2.6.	Karakteristik <i>Hydraulic Ram</i>	13
Gambar 2.7.	Siklus Kerja Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	14
Gambar 2.8.	Jenis-jenis Katup Limbah	16
Gambar 3.1.	Pompa <i>Hydraulic Ram</i>	22
Gambar 3.2.	Preassure Gauge	22
Gambar 3.3.	Stopwatch	23
Gambar 3.4.	Gelas Ukur	23
Gambar 3.5.	Pompa Air	24
Gambar 3.6.	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.7.	Skema Instalasi Penelitian	26
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah Terhadap Tekanan (ditinjau dari debit yang dihasilkan)	34
Gambar 4.2.	Grafik Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Tekanan (ditinjau dari pembebanan yang diberikan)	36
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Efisiensi (ditinjau dari debit yang dihasilkan)	38
Gambar 4.4.	Grafik Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Tekanan (ditinjau dari pembebanan yang diberikan)	40
Gambar 4.5.	Grafik Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Debit yang Dipompakan	41

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Gambar Instalasi Penelitian	45
Lampiran 2	Gambar Instalasi Penelitian Lengkap	46



ABSTRAKSI

PUTU GUNADA PRATAMA, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, juni 2009, *Pengaruh Panjang Tangkai Katup Limbah Pada Pompa Hydraulic Ram Terhadap Tekanan dan Efisiensi*, Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., Ir. Suharto, MT.

Pompa *hydraulic ram* sangat cocok digunakan pada daerah terpencil yang kesulitan memperoleh bahan bakar dan suplai listrik. Penggunaan pompa *hydraulic ram* 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.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi panjang tangkai katup limbah pada pompa *hydraulic ram* terhadap tekanan dan efisiensi.

Pada penelitian ini panjang tangkai katup limbah yang digunakan adalah 10 mm, 20 mm, dan 30 mm, dapat diketahui bahwa waktu penutupan katup limbah sangat berpengaruh terhadap besarnya tekanan yang terjadi akibat efek *water hammer*, dimana semakin cepat waktu penutupan katup maka tekanan yang terjadi akan semakin besar, waktu penutupan katup juga mempengaruhi efisiensi dimana dengan semakin cepat waktu penutupan katup maka air yang terbuang melalui katup limbah akan semakin sedikit sehingga efisiensi pompa semakin besar. Panjang tangkai katup limbah sangat mempengaruhi waktu penutupan katup sehingga panjang tangkai katup limbah akan mempengaruhi tekanan dan efisiensi, semakin pendek tangkai katup limbah maka efisiensi dan tekanan yang dihasilkan akan semakin bertambah.

Kata kunci : Pompa *hydraulic ram*, katup limbah, efisiensi, tekanan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, kebutuhan, manusia akan energi semakin meningkat. Dengan meningkatnya kebutuhan akan energi tersebut menyebabkan tingkat konsumsi minyak bumi meningkat pula. Karena hampir sebagian besar aktivitas manusia menggunakan teknologi yang berbahan bakar minyak bumi sebagai sumber energinya termasuk pengoperasian pompa.

Hal ini mengakibatkan persediaan minyak bumi yang ada di alam semakin menipis sehingga mengakibatkan harga BBM semakin tinggi. Kondisi ini membuat ekonomi masyarakat semakin berat khususnya kalangan petani yang membutuhkan pompa sebagai alat untuk irigasi.

Melihat kondisi topografi indonesia yang banyak memiliki sumber air yang memiliki energi potensial, maka pompa *hydraulic ram* (hidram) adalah salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut di atas. Karena pompa hidram merupakan pompa yang bekerja secara hidrolik yaitu dengan memanfaatkan energi potensial aliran air dari sumber air untuk memompakan air ke tempat yang lebih tinggi.

Pompa *hydraulic ram* sangat cocok digunakan pada daerah terpencil yang kesulitan memperoleh bahan bakar dan listrik, penggunaan pompa *hydraulic ram* tidak terbatas hanya pada penyediaan air untuk kebutuhan rumah tangga, tetapi juga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air untuk pertanian, peternakan dan perikanan darat.

Di beberapa daerah pedesaan di Jepang, alat ini telah banyak digunakan baik sebagai penyediaan air untuk kegiatan pertanian. Konsep dari pompa air tanpa mesin ini adalah untuk memompa atau menaikkan air dari tempat rendah ke tempat yang lebih tinggi dengan cara kerja yang sederhana dan efektif dan tanpa menggunakan mesin sehingga mudah dan hemat operasionalnya tanpa BBM

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 dan 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.

Beberapa penelitian tentang penyempurnaan rancangan dan performansi pompa hidram telah dilakukan, namun belum ada yang mengkaji secara detail peningkatan tekanan yang terjadi akibat fenomena palu air pada pompa hidram. Padahal pompa hidram bekerja dengan mekanisme *Water hammer*.

Water hammer terjadi akibat proses membuka dan menutupnya katup pada pompa hidram sehingga perlu dilakukan penelitian tentang desain katup limbah yang ideal sehingga didapatkan efisiensi dan debit yang maksimum.

Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh panjang tangkai katup limbah terhadap tekanan dan efisiensi pada pompa hidram sehingga didapat kinerja pompa *hydraulic ram* yang lebih optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah : bagaimana pengaruh panjang tangkai katup limbah pada pompa *hydraulic ram* terhadap tekanan dan efisiensi ?

1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu luas, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Tinggi jatuh air dari sumber ke pompa hidram dibuat konstan yaitu 1,5 m
2. Besarnya debit air masukan dibuat konstan.
3. Panjang tangkai katup limbah yang digunakan : 10 mm, 20 mm, 30 mm
4. Tinggi pipa penghantar dibuat konstan yaitu 2 m

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh panjang tangkai katup limbah pada pompa *hydraulic ram* terhadap tekanan dan efisiensi

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu dan wawasan dalam bidang teknologi pembuatan dan pengoperasian pompa jenis *hydraulic ram*.
2. Sebagai dasar ataupun literatur bagi penelitian selanjutnya.

3. Diharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat sebagai alternatif pompa irigasi dan rumah tangga yang murah dalam pengoperasian dan perawatannya.



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 system pompa hidram, dengan ketinggian sumber air 1m, panjang pipa penghantar 6m, ketinggian pemompaan 10m, diameter pipa drive 1", diameter badan pompa 3", 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.

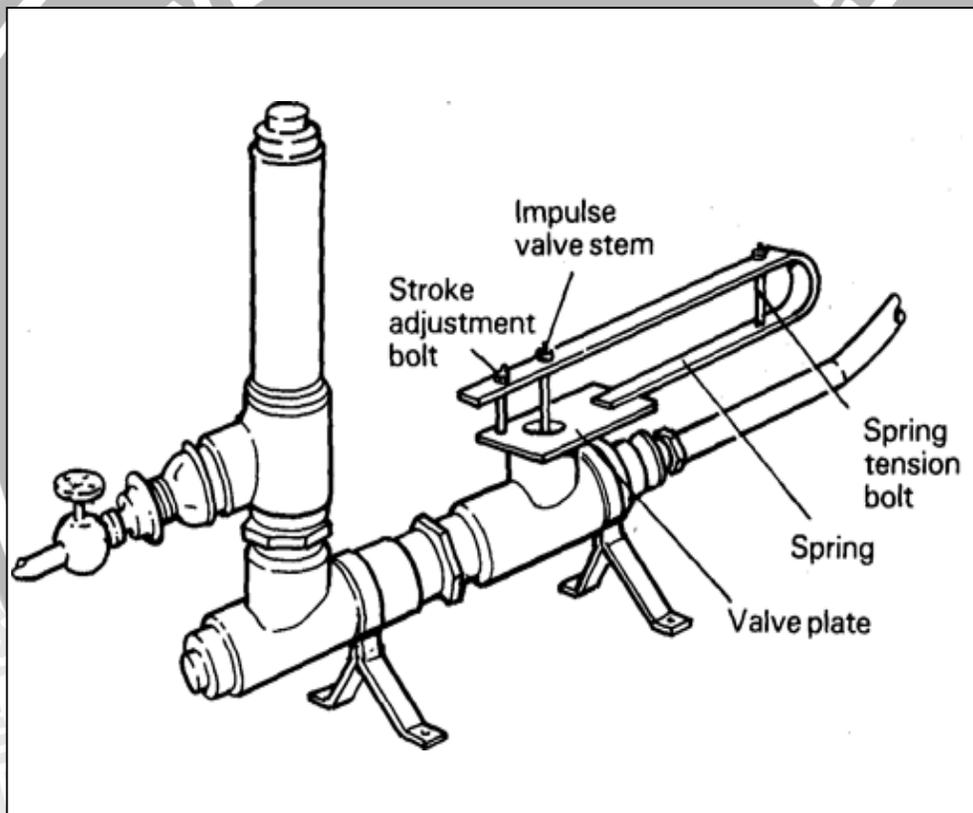
Gan Shu Shan dan Gunawan Santoso melakukan penelitian mengenai hubungan volume tabung udara dan beban katup limbah terhadap efisiensi pompa hydraulic ram, dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa factor volume tabung udara dan beban katup limbah berpengaruh terhadap efisiensi pompa hydraulic ram begitu pula interaksi kedua factor. Pengaturan optimal untuk mendapatkan efisiensi terbaik adalah saat volume tabung 1300 ml dan beban 400 gram untuk mendapatkan efisiensi

2.2 Pompa Hydraulic Ram

Pompa *hydraulic ram* merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan air dari tempat yang rendah menuju tempat yang lebih tinggi dengan memanfaatkan energi yang dimiliki oleh air itu sendiri.

Diawali dengan aliran air dari sumber masuk melalui pipa pemasukan menuju badan pompa dan keluar dari katup limbah, gaya tekan dari air akan mendorong katup limbah sehingga menutup secara tiba-tiba, hal ini mengakibatkan terjadinya efek *water hammer* sehingga tekanan dalam badan pompa meningkat. Tekanan yang tinggi ini akan menyebabkan katup penghantar terbuka dan air dialirkan melalui pipa penghantar ke bak penampungan.

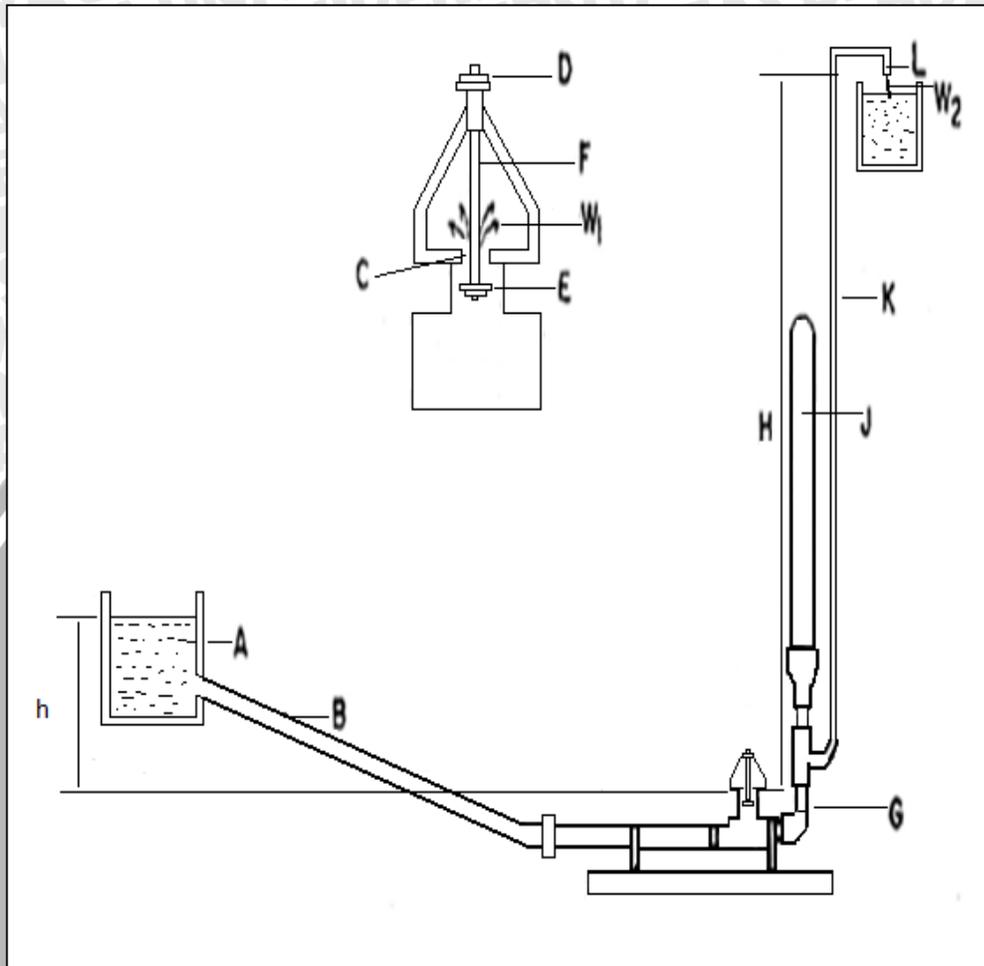
Akibat terbukanya katup penghantar maka tekanan di dalam badan pompa akan menurun sehingga katup penghantar menutup kembali dan katup limbah terbuka, air akan kembali mengalir dari sumber melalui pipa pemasukan, siklus ini terjadi secara berulang-ulang.



Gambar 2.1

Pompa Hydraulic Ram

Sumber : Lembaga Pengabdian Masyarakat Universitas Gajah Mada



Gambar 2.2
 Instalasi pompa *hydraulic ram*
 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
- H. Tinggi vertikal antara lubang katup dengan lubang pengeluaran pipa penghantar
- I. Katup penghantar
- J. Tabung 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

Pompa *hydraulic ram* bekerja tanpa menggunakan bahan bakar maupun tambahan energi dari luar, hal ini merupakan keunggulan pompa *hydraulic ram* dibandingkan dengan pompa jenis lain sehingga sangat tepat diaplikasikan untuk membantu kehidupan masyarakat yang tinggal di daerah terpencil dan daerah – daerah yang kesulitan untuk mendapatkan bahan bakar.

Pompa *hydraulic ram* dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih, bahkan dapat juga digunakan untuk keperluan pertanian seperti pada sistem irigasi, keuntungan lain yang dimiliki pompa *hydraulic ram* adalah tidak membutuhkan pelumasan, pemeliharaannya mudah, bentuknya sederhana sehingga mudah dibuat, dan biaya pembuatannya murah, seiring dengan krisis energi dan isu lingkungan pompa *hydraulic ram* menjadi semakin relevan untuk digunakan. Secara umum pompa hidram terdiri dari beberapa bagian yaitu :

1. Katup limbah

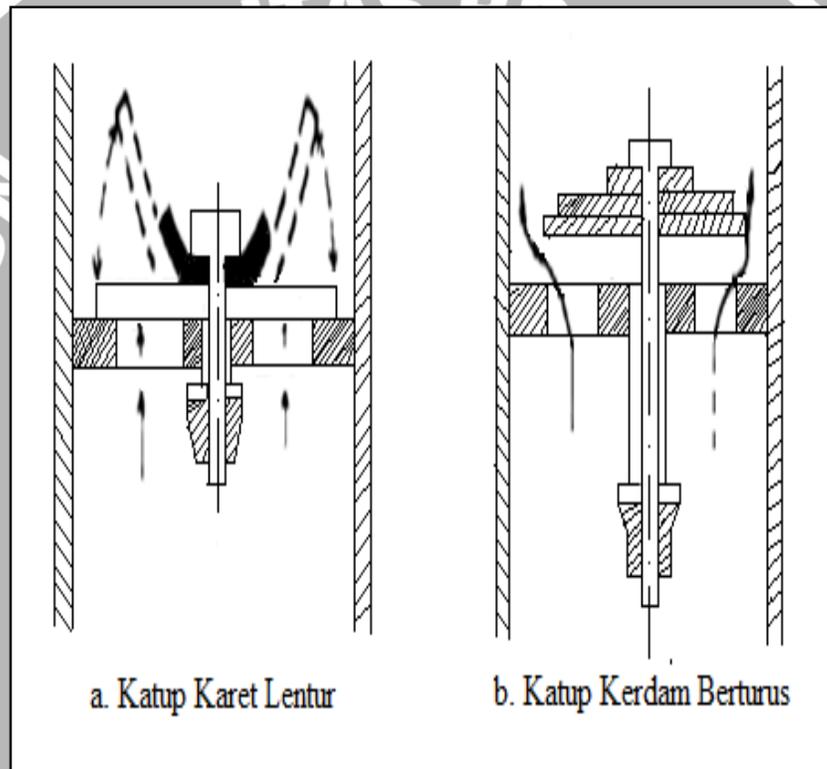
Katup limbah merupakan salah satu bagian penting dan sangat mempengaruhi kinerja dari pompa *hydraulic ram*, pada proses kerjanya katup limbah ini akan menutup dengan sangat cepat sehingga menimbulkan efek water hammer.

Hal mengakibatkan kenaikan tekanan pada badan pompa yang kemudian mengakibatkan terbukanya katup penghantar sehingga air dapat dialirkan menuju bak penampungan, oleh sebab itu katup limbah

harus dirancang dengan baik sehingga kinerja dari pompa *hydraulic ram* dapat maksimal.

2. Katup Penghantar

Katup penghantar harus memiliki lubang yang besar sehingga memungkinkan air yang dipompakan memasuki ruang udara tanpa hambatan pada aliran. Katup ini dapat dibuat dengan bentuk yang sederhana yang merupakan katup searah, katup ini dibuat dari karet kaku seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.3

Jenis-jenis katup penghantar

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

3. Ruang udara

Ruang udara digunakan untuk memampatkan udara dan menahan tekanan sehingga memungkinkan aliran air pada pipa penghantar lebih stabil. Jika ruang udara dipenuhi oleh air maka pompa akan bergetar

sehingga pompa harus segera dihentikan karena dapat menyebabkan tabung udara pecah. 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.

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.

Gaya dirumuskan:

$$F = P \cdot A \quad (2.1)$$

Keterangan :

F = Gaya (N)

P = Tekanan (N/m²)

A = Luas penampang (m²)

Untuk tabung udara memiliki dua tekanan yaitu tekanan air pada tabung udara dan tekanan udara pada tabung udara. Sehingga gaya tekan pada tabung udara dapat dirumuskan:

$$F_{\text{tabung udara}} = (P_{\text{air tabung}} + P_{\text{udara}}) \cdot A_k \quad (2.2)$$

$$= (\rho \cdot g \cdot h + P_{\text{udara}}) \cdot A_k$$

Keterangan:

$F_{\text{tabung udara}}$ = Gaya tekan tabung udara (N)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian kolom air pada tabung udara (m)

P_{udara} = Tekanan udara (N/m^2)

A_k = Luas permukaan katup tabung udara (m^2)

Untuk gaya angkat pada pompa hidram dirumuskan

$$F_{\text{tekan air}} = P_{\text{air}} \cdot A_p \quad (2.3)$$

Keterangan :

$F_{\text{tekan air}}$ = gaya tekan air (N)

P_{air} = Tekanan air akibat pemompaan (N/m^2)

A_p = Luas permukaan pompa (m^2)

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

1. Jika $F_{\text{tekan air}} > F_{\text{tabung udara}}$ katup penghantar akan membuka
2. Sedangkan $F_{\text{tekan air}} < F_{\text{tabung udara}}$ katup penghantar akan tertutup.



Gambar 2.4

Ruang Udara

Sumber: dokumentasi pribadi

4. Pipa penghantar

Pompa hidram dapat memompa air dengan ketinggian yang cukup tinggi. Pipa penghantar dapat dibuat dari bahan apapun dengan syarat bahan tersebut mampu menahan tekanan air.

5. Badan Pompa

Badan pompa merupakan tempat terjadinya proses pemompaan. Bagian ini dilengkapi dengan dudukan agar pompa dapat berdiri tegak dan kokoh.



Gambar 2.5

Badan Pompa *Hydraulic Ram*

Sumber: Dokumentasi Pribadi

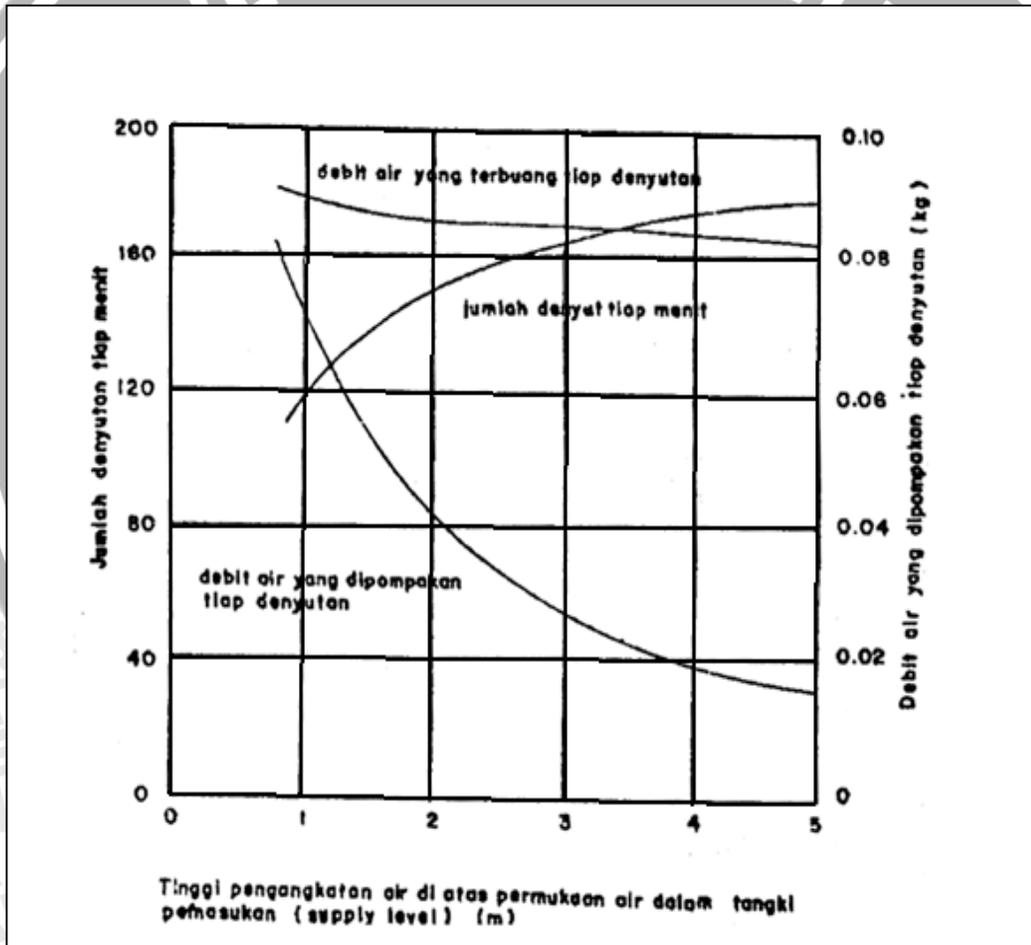
Agar dapat bekerja dengan baik dengan hasil yang maksimal, pompa *hydraulic ram* memerlukan beberapa persyaratan khusus, antara lain sebagai berikut :

1. Adanya terjunan air sebagai sumber tenaga potensial minimal satu meter.
2. Debit air yang cukup untuk menggerakkan pompa minimal 7 liter per menit.
3. Sudut terjunan air adalah 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.
4. 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 untuk menentukan diameter pompa berdasarkan debit air.

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

2.3 Karakteristik Pompa *Hydraulic Ram*

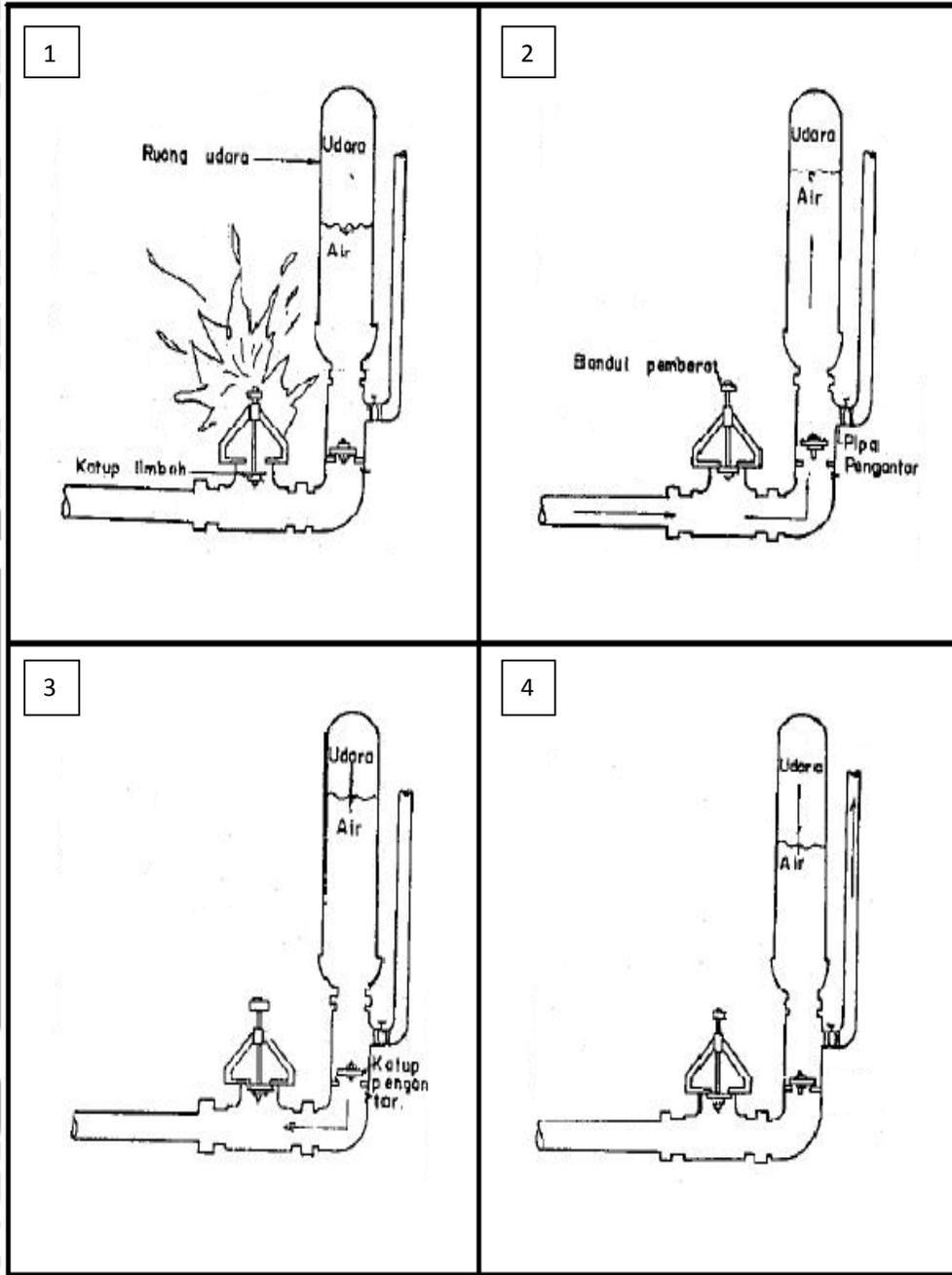
Karakteristik dari sebuah pompa *hydraulic ram* yang bekerja pada keadaan dimana jarak antara lubang dan katup limbah, tinggi vertikal tangki (*supply head*) tetap sedangkan tinggi pemompaan yang berubah-ubah, ternyata jumlah denyutan katup limbah tiap menit berubah seiring peningkatan pada tinggi pemompaan.



Gambar 2.6

Karakteristik *hydraulic ram*

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



Gambar 2.7
Siklus kerja pompa *hydraulic ram*

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

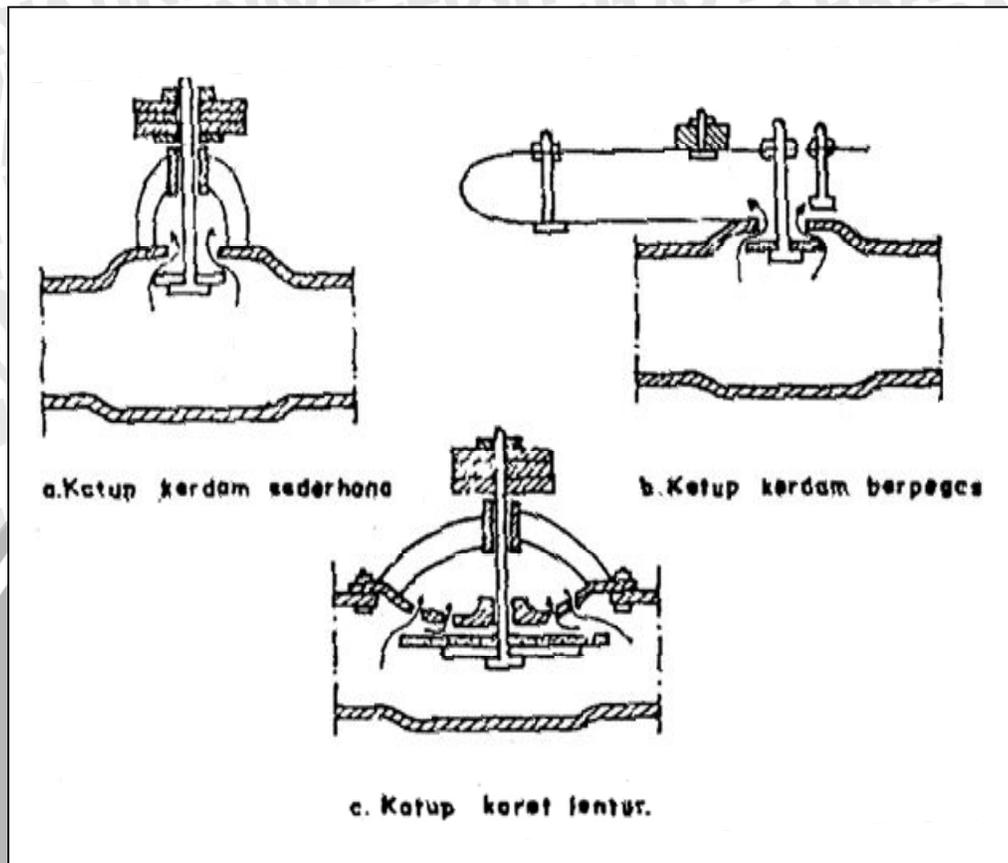
Keterangan gambar :

1. Kecepatan air mulai bertambah, air masuk ke badan pompa dan keluar melalui katup limbah yang sedang terbuka. Aliran bertambah sampai maksimum melalui katup limbah, tekanan bertambah secara bertahap.
2. Katup limbah tertutup, terjadi water hammer yang mengakibatkan tekanan meningkat sehingga katup penghantar terbuka, air masuk ke tabung udara.
3. katup penghantar mulai menutup karena tekanan pada badan pompa turun, disamping itu juga diakibatkan berat air dan tekanan pada tabung udara.
4. Katup penghantar tertutup, air ditekan oleh udara sehingga mengalir menuju tandon akhir.

2.4 Katup Limbah

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



Gambar 2.8

Jenis-jenis katup limbah

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

Penelitian yang telah dilakukan pada sebuah *hydraulic ram* ukuran kecil, di mana tinggi vertikal tangki pemasukan (*supply head*) adalah 1,58m dan tinggi pemompaan (*delivery head*) adalah 3m. Hasil penelitian menunjukkan betapa efektifnya penyetelan katup limbah terhadap kerja pompa *hydraulic ram*. Data yang diperoleh tentang penyetelan katup limbah terhadap denyutan katup dan nilai efisiensi pompa hidram dapat dilihat pada tabel berikut :

Jumlah denyutan tiap menit	Air yang terbangung (L/menit)	Debit pemompaan (L/menit)	Efisiensi (%)
92	32,0	7,36	0,44
110	23,6	6,28	0,51
157	13,0	4,09	0,59

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 :

$$W = m.g \quad (\text{Foster, 2003; 135}) \dots \dots \dots (2-4)$$

Keterangan : W = berat (kg.m/s^2)
 m = massa (kg)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Gaya angkat oleh fluida dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = P.A \quad (\text{Foster, 2003; 126}) \dots \dots \dots (2-5)$$

Keterangan : F = gaya angkat
 P = tekanan pada badan pompa
 A = luas penampang katup limbah

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

1. jika W lebih besar daripada F maka katup limbah akan terbuka.



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

Pada pompa *hydraulic ram* berlaku hukum kontinuitas, adapun rumus hukum kontinuitas adalah sebagai berikut :

$$Q = A.V \quad (\text{Sularso,1983;17})\dots\dots\dots(2-6)$$

Keterangan : Q = debit fluida (m³/s)

A = luas penampang saluran (m²)

V = kecepatan fluida (m/s)

Pada system kerja pompa *hydraulic ram* tidak semua air yang masuk dari sumber dapat dialirkan menuju tandon akhir, tetapi ada air yang terbuang pada melalui katup limbah, jadi secara umum debit total pompa *hydraulic ram* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_t = Q_s + Q_w$$

$$Q_t = A_s.V_s + A_w.V_w$$

Keterangan : Q_t = debit total fluida yang masuk ke badan pompa (m³/s)

Q_s = debit air yang dipompakan (m³/s)

Q_w = debit air yang terbuang lewat katup limbah (m³/s)

2.5 Persamaan Energi

Energi yang ada pada tiap satuan berat dari aliran air pada saluran terbuka 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 :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (\text{Sularso,1983;15})\dots\dots\dots(2-7)$$

dengan:

P₁ = Tekanan pada titik satu (N/m²)

P₂ = Tekanan pada titik dua (N/m²)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)



g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V_1 = kecepatan aliran fluida pada titik satu (m/s)

V_2 = kecepatan aliran fluida pada titik dua (m/s)

z_1 = ketinggian pada titik satu (m)

z_2 = ketinggian pada titik dua (m)

2.6 Tekanan

Pompa *hydraulic ram* bekerja menggunakan prinsip palu air. Ketika aliran berhenti secara tiba-tiba maka akan terjadi perubahan momentum massa fluida yang akan menyebabkan peningkatan tekanan secara tiba-tiba pula. Tekanan inilah yang akan digunakan untuk menaikkan fluida ke tempat yang lebih tinggi. Berdasarkan penelitian dari *Plast O Matics Valve Inc* tekanan pada pompa *hydraulic ram* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{[(0.07)]vL}{t} + p_1 \quad (\text{Suarda, 2008; 2}) \dots \dots \dots (2-8)$$

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)

2.7 Efisiensi Pompa Hidram

Pompa *hydraulic ram* memiliki efisiensi yang tidak terlalu tinggi, biasanya berkisar antara 0,5-0,75%, hal ini disebabkan karena adanya air yang dibuang pada katup limbah selama proses pemompaan, untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh efisiensi pompa *hydraulic ram* yang



tinggi. Besarnya efisiensi pompa *hydraulic ram* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Q_s.H_s}{(Q_s+Q_w).H_d} \cdot 100\% \quad (\text{Suarda, 2008; 2}) \dots \dots \dots (2-9)$$

Keterangan :

η : efisiensi pompa *hydraulic ram*

Q_s : kapasitas air pemompaan (m^3/s)

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

H_s : ketinggian pemompaan (m)

H_d : ketinggian suplai air ke hidram (m)

2.8 Kerangka Pemikiran Teoritis

Kinerja pompa *hydraulic ram* sangat dipengaruhi oleh katup limbah, dimana proses penutupan katup limbah akan mengakibatkan efek *water hammer* sehingga terjadi lonjakan tekanan yang tinggi pada badan pompa yang menyebabkan katup penghantar terbuka dan air dapat dipompakan menuju bak penampungan.

Peningkatan tekanan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh waktu penutupan katup limbah. Perubahan panjang tangkai katup limbah akan mempengaruhi waktu yang diperlukan oleh katup limbah untuk menutup, sehingga perubahan panjang tangkai katup limbah akan mempengaruhi perubahan tekanan yang terjadi pada badan pompa.

2.9 Hipotesis

Semakin panjang tangkai katup limbah maka waktu yang diperlukan untuk menutup katup limbah akan semakin besar, waktu penutupan katup limbah yang semakin besar akan mengakibatkan tekanan yang dihasilkan makin kecil dan jumlah air yang terbuang pada katup limbah makin banyak, semakin banyak air yang terbuang pada katup limbah maka efisiensi akan makin kecil.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. 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 adalah beban pada katup limbah yaitu 100gr, 200gr, 300gr dan 400gr.

b. Variabel terikat

Adapun variabel terikat dalam pengujian ini, yaitu tekanan pada badan pompa dan efisiensi pompa hidram.

c. Variabel terkontrol

Adapun yang termasuk dalam variabel terkontrol dalam penelitian ini, yaitu: Panjang tangkai katup limbah yaitu 10 mm, 20 mm, dan 30 mm

3.3. Alat-alat Penelitian

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

1. Pompa hidram



Gambar 3.1 Pompa Hydraulic Ram

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Spesifikasi:

- Diameter pipa pemasukan : 1,5 inci
- Panjang pipa pemasukan : 4,85 m
- Panjang pipa penghantar : 3 m
- Diameter badan pompa : 1,5 inci
- Diameter pipa penghantar : 0,5 inci

2. Pressure gauge

Digunakan untuk mengukur tekanan pada saat pompa bekerja. Pressure gauge yang digunakan memiliki skala yang kecil sehingga perubahan tekanan dapat diketahui lebih akurat.



Gambar 3.2 preasure gauge

Sumber : dokumentasi pribadi

3. Stopwatch

Alat ini berfungsi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengisi gelas ukur sehingga diperoleh debit yang dihasilkan pompa hidram. Disamping itu alat ini juga digunakan untuk mengetahui waktu penutupan katup limbah dan debit air yang terbuang pada katup limbah.



Gambar 3.3 stopwatch

Sumber : dokumentasi pribadi

4. Gelas ukur

Alat ini berfungsi untuk mengukur volume yang dihasilkan pompa hidram yang bertujuan memperoleh debit yang dihasilkan oleh pompa hidram. Gelas ukur yang digunakan dalam penelitian mempunyai volume sebesar 1 L.



Gambar 3.4 gelas ukur

Sumber : dokumentasi pribadi

5. Pompa air

Pompa air digunakan untuk mengisi tandon sumber dengan air dan menjaga air pada tandon sumber tetap konstan, pada penelitian ini digunakan 2 pompa air.

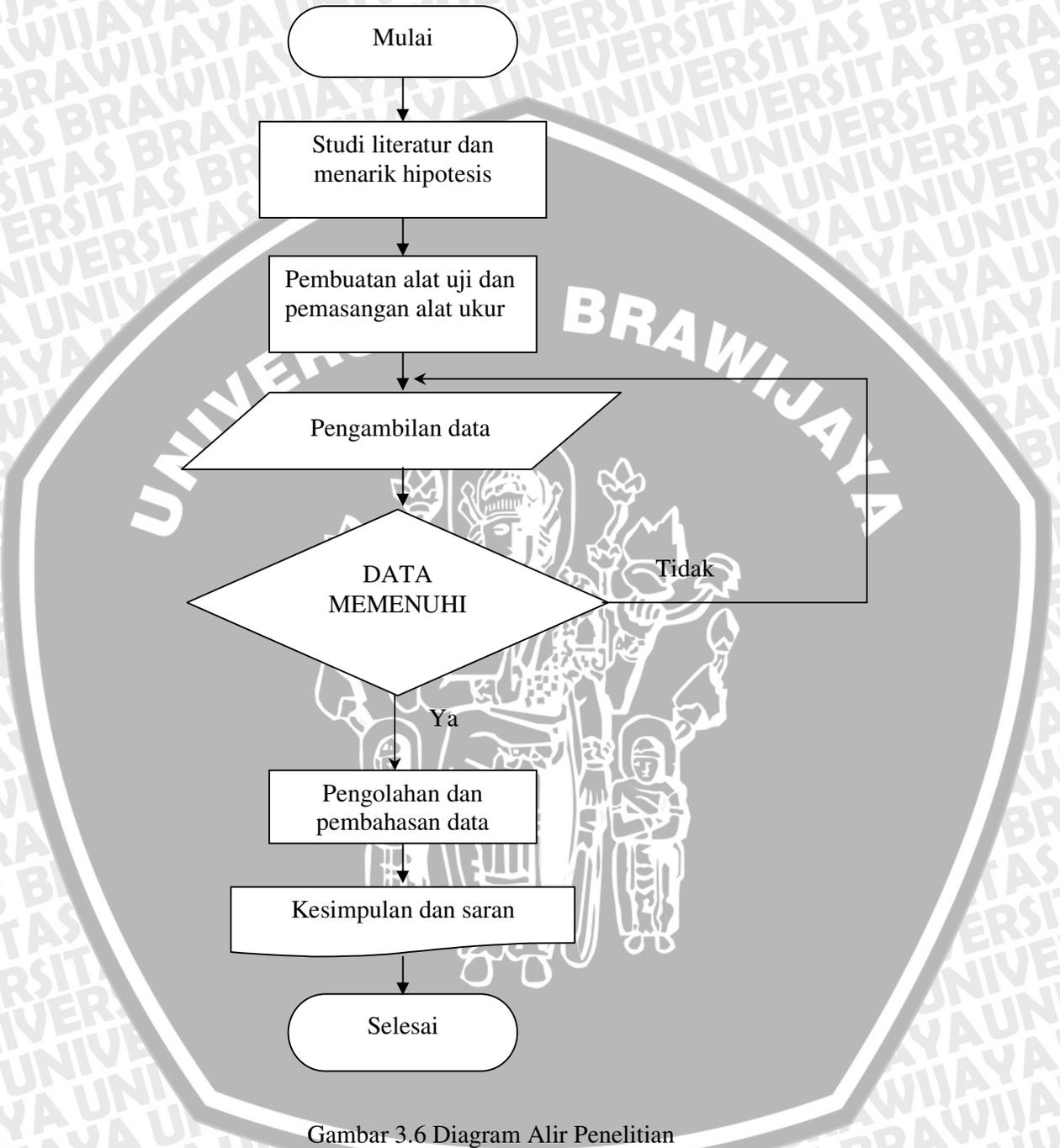


Gambar 3.5 Pompa air
Sumber : dokumentasi pribadi

3.4 Prosedur Pengambilan Data Penelitian.

1. Mengisi bak sumber dengan air sampai penuh dan volumenya tidak berubah selama pengambilan data.
2. Mengatur panjang tangkai katup limbah.
3. Membuka keran pada pipa pemasukan sehingga air dari bak sumber masuk ke pompa.
4. Mencatat besarnya tekanan yang ditunjukkan oleh preasure gauge pada inlet pompa dan pada tabung udara.
5. Mengukur debit air yang terbuang pada katup limbah.
6. Mengukur debit air pada pipa penghantar.
7. Mengukur waktu penutupan katup limbah.
8. Menutup keran pada pipa pemasukan sehingga pompa berhenti beroperasi.
9. Mengatur panjang katup limbah sesuai dengan yang telah ditentukan.
10. Prosedur ini diulang untuk tiap-tiap variasi pengujian.

3.5 Diagram Alir Penelitian



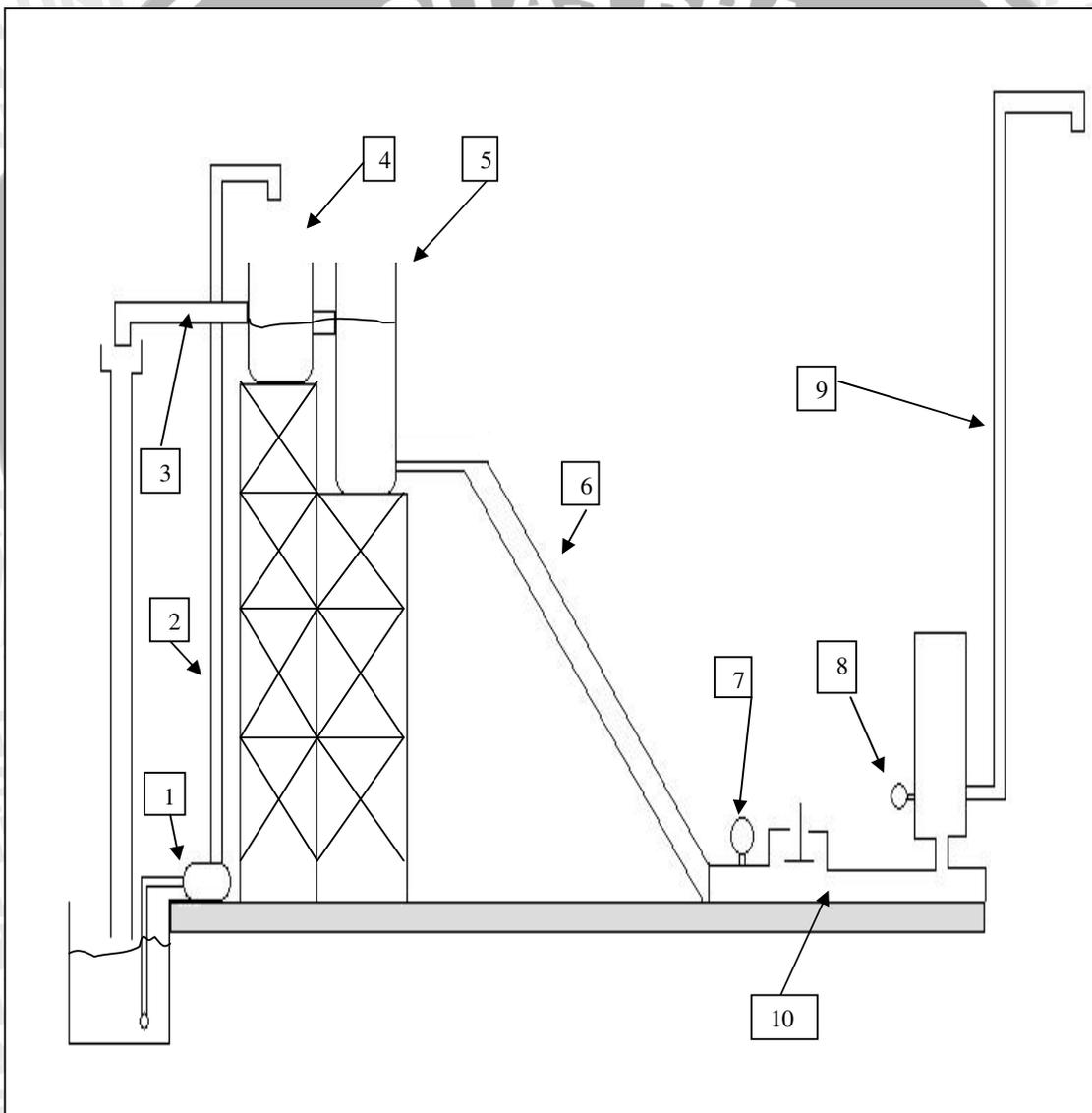
Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian



3.6. Data Tabel

No	Panjang Tangkai Katup Limbah (mm)	Waktu Penutupan Katup (s)	Tekanan yang dihasilkan (Psi)	Debit yang Dihasilkan (m ³ /s)	Debit yang Terbuang (m ³ /s)	Efisiensi (%)
1	10					
2	20					
3	30					

3.7 Skema Instalasi Penelitian Pompa Hydraulic Ram



Gambar 3.7 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan gambar :

1. Pompa
2. Pipa pengisi tandon 1
3. Pipa pembuangan tandon 1
4. Tandon 1
5. Tandon 2
6. Pipa pemasukan
7. Preassure gauge
8. Preassure gauge
9. Pipa penghantar
10. Pompa *hydraulic ram*



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Tabel 4.1 data yang diambil untuk tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm

Beban (gr)	ulangan	Qs (m ³ /s)	Qw (m ³ /s)	P1 (psi)	Jumlah denyut
100	1	0.000031	0.00051233	2.844	142
	2	0.000033	0.00051033	2.844	145
	3	0.000035	0.00050833	2.844	150
	4	0.000034	0.00050933	2.844	147
	5	0.000036	0.00050733	2.844	151
	Rata-rata	0.000033	0.000510333	2.844	147
200	1	0.000025	0.00051833	2.844	125
	2	0.000021	0.00052233	2.844	117
	3	0.000021	0.00052233	2.844	115
	4	0.000023	0.00052033	2.844	123
	5	0.000023	0.00052033	2.844	120
	Rata-rata	0.000022	0.000521333	2.844	120
300	1	0.000017	0.000528	2.844	111
	2	0.000015	0.00053	2.844	106
	3	0.000023	0.000522	2.844	119
	4	0.000024	0.000521	2.844	121
	5	0.000021	0.000524	2.844	117
	Rata-rata	0.00002	0.000525	2.844	115
400	1	0.00002	0.00052583	2.844	114
	2	0.000015	0.00053083	2.844	106
	3	0.000014	0.00053183	2.844	104
	4	0.000023	0.00052283	2.844	122
	5	0.000013	0.00053283	2.844	104
	Rata-rata	0.000017	0.000528833	2.844	110

Table 4.2 data hasil pengujian untuk tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm

Beban	Qs(m ³ /s)	P1(psi)	Jmlh denyut	t(sekon)	P2(psi)	Qw(m ³ /s)	eff(%)
100gr	0.000031	2.844	142	0.422535211	4.273721524	0.00051233	7.60736663
	0.000033	2.844	145	0.413793103	4.363998592	0.00051033	8.098164477
	0.000035	2.844	150	0.4	4.514461704	0.00050833	8.588962325
	0.000034	2.844	147	0.408163265	4.424183637	0.00050933	8.343563401
	0.000036	2.844	151	0.397350993	4.544553727	0.00050733	8.834361248
Rata-rata	0.0000338	2.844	147	0.408368515	4.424183837	0.00050953	8.294483616
200gr	0.000025	2.844	125	0.48	3.762146142	0.00051833	6.134973089
	0.000021	2.844	117	0.512820513	3.521405962	0.00052233	5.153377395
	0.000021	2.844	115	0.52173913	3.461219917	0.00052233	5.153377395
	0.000023	2.844	123	0.487804878	3.701962097	0.00052033	5.644175242
	0.000023	2.844	120	0.5	3.61168303	0.00052033	5.644175242
Rata-rata	0.0000226	2.844	120	0.500472904	3.61168343	0.00052073	5.546015672
300gr	0.000017	2.844	111	0.540540541	3.351101947	0.000528	4.159021407
	0.000015	2.844	106	0.566037736	3.200177193	0.00053	3.669724771
	0.000023	2.844	119	0.504201681	3.592578754	0.000522	5.626911315
	0.000024	2.844	121	0.495867769	3.652948456	0.000521	5.871559633
	0.000021	2.844	117	0.512820513	3.532210053	0.000524	5.137614679
Rata-rata	0.00002	2.844	115	0.523893648	3.465803281	0.000525	4.892966361
400gr	0.00002	2.844	114	0.526315789	3.446915395	0.00052583	4.885499167
	0.000015	2.844	106	0.566037736	3.205068496	0.00053083	3.664124375
	0.000014	2.844	104	0.576923077	3.144606521	0.00053183	3.419849417
	0.000023	2.844	122	0.491803279	3.688764294	0.00052283	5.618324042
	0.000013	2.844	104	0.576923077	3.144607521	0.00053283	3.175574458
Rata-rata	0.000017	2.844	110	0.00052883	0.547600592	3.325992445	4.152674292

Beban(gr)	Qs(m ³ /s)	P1(psi)	Jmlh denyut	t(sekon)	P2(psi)	Qw(m ³ /s)	eff(%)
100	0.000033	2.844	147	0.408163	7.267677	0.000510333	8.09816
200	0.000022	2.844	120	0.5	6.4551649	0.000521333	5.333333
300	0.00002	2.844	115	0.521739	6.3153154	0.000525	4.848485
400	0.000017	2.844	110	0.545455	6.1694656	0.000528833	4.121212

Tabel 4.3 data yang diambil untuk tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm

Beban (gr)	ulangan	Qs (m ³ /s)	Qw (m ³ /s)	P1 (psi)	Jumlah denjut
100	1	0.000021	0.000523	2.844	113
	2	0.000024	0.00052	2.844	121
	3	0.000021	0.000523	2.844	115
	4	0.000026	0.000518	2.844	126
	5	0.000023	0.000521	2.844	115
	Rata-rata	0.000023	0.000521	2.844	118
200	1	0.000021	0.000523333	2.844	112
	2	0.000018	0.000526333	2.844	107
	3	0.00002	0.000524333	2.844	110
	4	0.00002	0.000524333	2.844	109
	5	0.000021	0.000523333	2.844	112
	Rata-rata	0.00002	0.000524333	2.844	110
300	1	0.000019	0.000526	2.844	106
	2	0.00002	0.000525	2.844	109
	3	0.000015	0.00053	2.844	97
	4	0.000016	0.000529	2.844	100
	5	0.00002	0.000525	2.844	108
	Rata-rata	0.000018	0.000527	2.844	104
400	1	0.000011	0.000534333	2.844	88
	2	0.000011	0.000534333	2.844	87
	3	0.000015	0.000530333	2.844	90
	4	0.000013	0.000532333	2.844	89
	5	0.000015	0.000530333	2.844	91
	Rata-rata	0.000013	0.000532333	2.844	89

Tabel 4.4 data hasil pengujian untuk tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm

Beban	Qs(m ³ /s)	P1(psi)	Jmlh denyut	t(sekon)	P2(psi)	Qw(m ³ /s)	eff(%)
100gr	0.000021	2.844	113	0.530973451	3.405209035	0.000523	5.147058824
	0.000024	2.844	121	0.495867769	3.646245754	0.00052	5.882352941
	0.000021	2.844	115	0.52173913	3.465468965	0.000523	5.147058824
	0.000026	2.844	126	0.476190476	3.796893579	0.000518	6.37254902
	0.000023	2.844	115	0.52173913	3.465466965	0.000521	5.637254902
Rata-rata	0.000023	2.844	118	0.509301991	3.55585686	0.000521	5.637254902
200gr	0.000021	2.844	112	0.535714286	3.377145078	0.00052333	5.14391007
	0.000018	2.844	107	0.560747664	3.226406036	0.00052633	4.409065774
	0.00002	2.844	110	0.545454545	3.316849261	0.00052433	4.898961971
	0.00002	2.844	109	0.550458716	3.286700853	0.00052433	4.898961971
	0.000021	2.844	112	0.535714286	3.377145078	0.00052333	5.14391007
Rata-rata	0.00002	2.844	110	0.545617899	3.316849261	0.00052433	4.898961971
300gr	0.000019	2.844	106	0.566037736	3.200173193	0.000526	4.648318043
	0.00002	2.844	109	0.550458716	3.290728246	0.000525	4.892966361
	0.000015	2.844	97	0.618556701	2.928509035	0.00053	3.669724771
	0.000016	2.844	100	0.6	3.019064088	0.000529	3.914373089
	0.00002	2.844	108	0.555555556	3.260542895	0.000525	4.892966361
Rata-rata	0.000018	2.844	104	0.578121742	3.139803491	0.000527	4.403669725
400gr	0.000011	2.844	88	0.681818182	2.658468241	0.00053433	2.689488197
	0.000011	2.844	87	0.689655172	2.628264446	0.00053433	2.689488197
	0.000015	2.844	90	0.666666667	2.718871829	0.00053033	3.667483904
	0.000013	2.844	89	0.674157303	2.688670035	0.00053233	3.17848605
	0.000015	2.844	91	0.659340659	2.749075624	0.00053033	3.667483904
Rata-rata	0.000013	2.844	89	0.67432759	2.688670035	0.00053233	3.17848605

Beban(gr)	Qs(m ³ /s)	P1(psi)	Jmlh denyut	t(sekon)	P2(psi)	Qw(m ³ /s)	eff(%)
100	0.000023	2.844	118	0.508475	6.3993359	0.000521	5.575758
200	0.00002	2.844	110	0.545455	6.160327	0.000524333	4.848485
300	0.000018	2.844	104	0.576923	5.9832765	0.000527	4.363636
400	0.000013	2.844	89	0.674157	5.5321393	0.000532333	3.151515

Tabel 4.5 data yang diambil untuk tangkai katup limbah dengan panjang 30 mm

Beban (gr)	ulangan	Qs (m ³ /s)	Qw (m ³ /s)	P1 (psi)	Jumlah denjut
100	1	0.000016	0.00053	2.844	87
	2	0.000018	0.000528	2.844	94
	3	0.000018	0.000528	2.844	93
	4	0.000019	0.000527	2.844	97
	5	0.000017	0.000529	2.844	94
	Rata-rata	0.0000175	0.0005285	2.844	93
200	1	0.000015	0.000531	2.844	79
	2	0.000014	0.000532	2.844	78
	3	0.000014	0.000532	2.844	77
	4	0.000015	0.000531	2.844	78
	5	0.000015	0.000531	2.844	78
	Rata-rata	0.0000143	0.0005317	2.844	78
300	1	0.00001	0.000536333	2.844	69
	2	0.000006	0.000540333	2.844	65
	3	0.000007	0.000539333	2.844	67
	4	0.000006	0.000540333	2.844	67
	5	0.000006	0.000540333	2.844	67
	Rata-rata	0.000012	0.000534333	2.844	67
400	1	0.000006	0.000540833	2.844	54
	2	0.000007	0.000539833	2.844	61
	3	0.000007	0.000539833	2.844	59
	4	0.000008	0.000538833	2.844	62
	5	0.000007	0.000539833	2.844	59
	Rata-rata	0.0000087	0.000538133	2.844	59



Table 4.6 data hasil pengujian untuk tangkai katup limbah dengan panjang 30 mm

Beban	Qs(m ³ /s)	P1(psi)	Jmlh denyut	t(sekon)	P2(psi)	Qw(m ³ /s)	eff(%)
100gr	0.000016	2.844	87	0.689655	2.631474105	0.00053	3.907203907
	0.000018	2.844	94	0.638298	2.843157263	0.000528	4.395604396
	0.000018	2.844	93	0.645161	2.812916526	0.000528	4.395604396
	0.000019	2.844	97	0.618557	2.933878474	0.000527	4.63980464
	0.000017	2.844	94	0.638298	2.843158263	0.000529	4.151404151
Rata-rata	0.0000176	2.844	93	0.645994	2.812916926	0.000528	4.297924298
200gr	0.000015	2.844	79	0.759494	2.389549211	0.000531	3.663003663
	0.000014	2.844	78	0.769231	2.359309474	0.000532	3.418803419
	0.000014	2.844	77	0.779221	2.329068737	0.000532	3.418803419
	0.000015	2.844	78	0.769231	2.359308474	0.000531	3.663003663
	0.000015	2.844	78	0.769231	2.359308474	0.000531	3.663003663
Rata-rata	0.0000146	2.844	78	0.769281	2.359308874	0.000531	3.565323565
300gr	0.00001	2.844	69	0.869565	2.088419778	0.000536	2.440513997
	0.000006	2.844	65	0.923077	1.967387057	0.00054	1.464308398
	0.000007	2.844	67	0.895522	2.027904418	0.000539	1.708359798
	0.000006	2.844	67	0.895522	2.027905418	0.00054	1.464308398
	0.000006	2.844	67	0.895522	2.027905418	0.00054	1.464308398
Rata-rata	0.000007	2.844	67	0.895842	2.027904418	0.000539	1.708359798
	0.000006	2.844	54	1.111111	1.636031994	0.000541	1.462969499
	0.000007	2.844	61	0.983607	1.848039107	0.00054	1.706797749
	0.000007	2.844	59	1.016949	1.787465361	0.00054	1.706797749
	0.000008	2.844	62	0.967742	1.878324981	0.000539	1.950625999
	0.000007	2.844	59	1.016949	1.787465361	0.00054	1.706797749
Rata-rata	0.000007	2.844	59	1.019272	4.6309266	0.00054	1.706797749

Beban(gr)	Qs(m ³ /s)	P1(psi)	Jmlh denyut	t(sekon)	P2(psi)	Qw(m ³ /s)	eff(%)
100	0.0000175	2.844	93	0.645161	5.6563885	0.0005285	4.242424
200	0.0000143	2.844	78	0.769231	5.2027775	0.0005317	3.466667
300	0.000012	2.844	67	0.895522	4.8713663	0.000534333	2.909091
400	0.0000087	2.844	59	1.016949	4.6309266	0.000538133	2.109091

4.2 Pembahasan

Dari data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

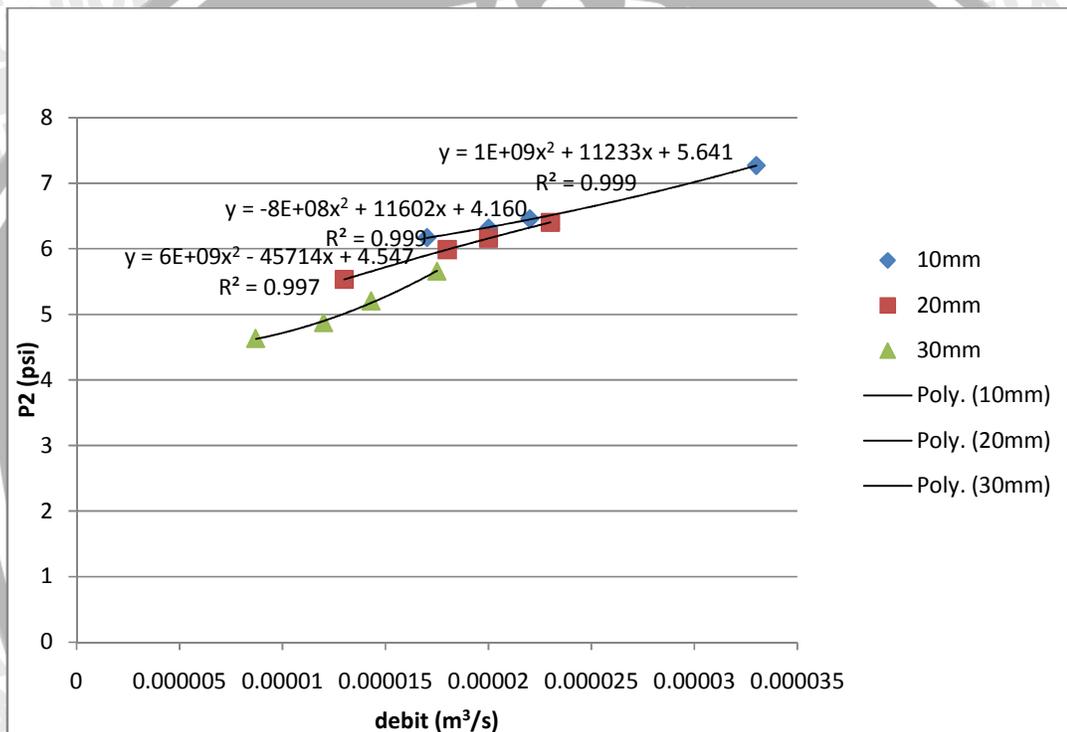
4.2.1 hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap tekanan

4.2.2 hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap efisiensi

4.2.3 hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap debit yang mampu dipompakan

Untuk memudahkan dalam menunjukkan hubungan antara panjang tangkai katup limbah dengan tekanan dan efisiensi, data hasil perhitungan yang telah dilakukan digambarkan dalam grafik yaitu pada gambar 4.1 sampai gambar 4.5

4.2.1 Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Tekanan



Gambar 4.1

Grafik hubungan pengaruh panjang tangkai katup limbah terhadap tekanan (ditinjau dari debit yang dihasilkan)

Pada gambar 4.1 di atas menunjukkan hubungan antara panjang tangkai katup limbah terhadap tekanan (P2) yang ditimbulkan akibat efek water hammer terhadap debit yang dihasilkan. Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar debit yang dipompakan maka P2 juga semakin membesar.

Untuk tangkai katup limbah dengan panjang 30 mm mampu menghasilkan debit antara $0.0000087 \text{ m}^3/\text{s}$ sampai dengan $0,0000175 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan untuk tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm mampu menghasilkan debit antara 0,000013 sampai dengan 0,000023, dan debit paling besar didapat pada penggunaan tangkai katup limbah dengan panjang 10mm yaitu antara 0,000017 sampai dengan 0,000033.

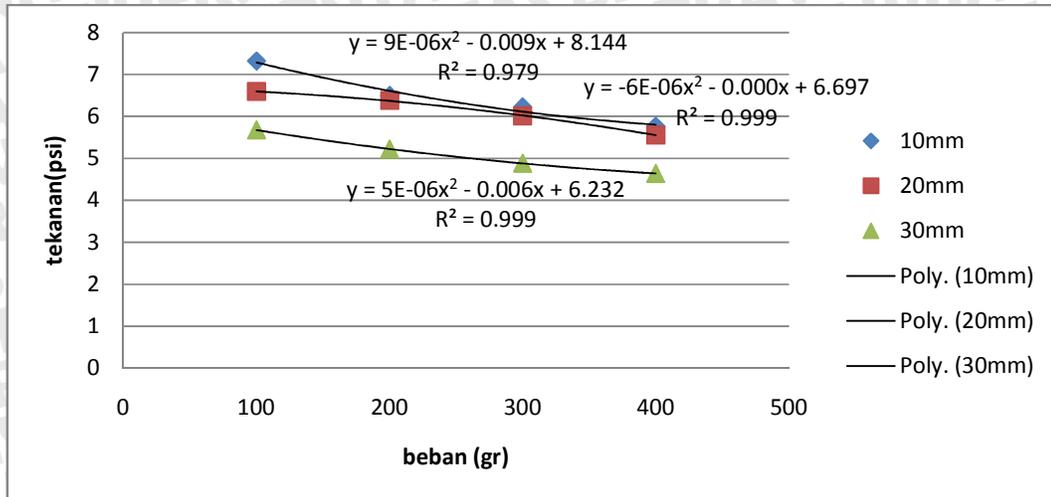
Jadi dengan semakin bertambah panjang tangkai katup limbah yang digunakan maka besarnya debit yang mampu dipompakan akan semakin kecil, hal ini diakibatkan dengan semakin panjang tangkai katup limbah maka waktu penutupan katup akan semakin lama sehingga jumlah air yang terbuang pada katup limbah akan semakin besar sehingga air yang mampu dipompakan semakin kecil.

Pada gambar 4.1 juga dapat dilihat hubungan antara panjang tangkai katup limbah dengan tekanan yang dihasilkan, semakin panjang tangkai katup limbah maka tekanan yang terjadi akan semakin kecil, hal ini diakibatkan karena dengan bertambahnya panjang tangkai katup limbah maka waktu yang diperlukan untuk menutup katup akan semakin lambat, dimana hubungan antara waktu penutupan dan tekanan yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{[(0.07)]vL}{t} + p_1$$

Pada persamaan di atas dapat dilihat bahwa tekanan yang terjadi berbanding terbalik dengan waktu penutupan katup, dengan tangkai katup limbah yang lebih pendek maka penutupan katup akan lebih cepat sehingga tekanan yang dihasilkan akan semakin besar.

Untuk melihat hubungan yang lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2

Grafik hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap tekanan (ditinjau dari pembebanan yang diberikan)

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara panjang tangkai katup limbah terhadap peningkatan tekanan akibat efek water hammer, pada grafik ditunjukkan perbandingan besarnya tekanan akibat variasi beban dan panjang tangkai katup limbah yang berbeda.

Panjang tangkai katup limbah yang digunakan adalah 10 mm, 20 mm dan 30 mm, gambar 4.2 menyatakan bahwa untuk beban yang sama didapatkan hasil untuk tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki tekanan akhir yang paling besar dibandingkan dengan tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm dan 30 mm.

Besarnya tekanan yang ditimbulkan dipengaruhi oleh beberapa factor, yaitu panjang pipa penghantar, kecepatan aliran air, dan kecepatan penutupan katup limbah, hubungan ketiga variable tersebut dapat dilihat pada rumus berikut:

$$P = \frac{[(0.07)]vL}{t} + p_1$$

Dalam pengujian yang dilakukan nilai kecepatan dan panjang pipa konstan, jadi yang akan mempengaruhi nilai tekanan akhir adalah kecepatan penutupan katup, seperti yang terlihat pada persamaan di atas bahwa besarnya nilai tekanan akhir berbanding terbalik terhadap besar nilai kecepatan penutupan katup limbah, semakin cepat katup limbah menutup maka nilai tekanan akhir yang dihasilkan akan semakin besar, begitu

pula sebaliknya, semakin lambat katup limbah menutup maka tekanan yang dihasilkan akan semakin kecil.

Pada gambar 4.2 ditunjukkan bahwa tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki tekanan yang paling besar, hal ini dapat dijelaskan bahwa panjang tangkai yang semakin pendek akan mengakibatkan waktu yang diperlukan untuk menutup katup limbah akan semakin sedikit atau semakin kecil jika dibandingkan dengan katup limbah dengan tangkai yang lebih panjang, seperti sudah kita ketahui pada persamaan di atas nilai tekanan berbanding terbalik dengan waktu penutupan katup, jadi hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa semakin cepat waktu penutupan katup maka tekanan yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Besarnya tekanan yang terjadi juga dapat dipengaruhi oleh penurunan kecepatan yang terjadi, pompa *hydraulic ram* bekerja dengan memanfaatkan efek *water hammer* dimana tekanan yang terjadi merupakan akibat dari penurunan kecepatan secara tiba-tiba, hal ini diakibatkan oleh proses kerja katup limbah.

Pada saat katup limbah terbuka maka aliran air akan memiliki nilai kecepatan yang besarnya tertentu, kemudian akibat tertutupnya katup limbah secara tiba-tiba maka aliran air akan secara tiba-tiba terhenti, kecepatan menjadi nol secara mendadak sehingga timbul efek tekanan yang besar, hal ini dapat dilihat pada rumus Bernoulli.

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = C$$

Pada rumus Bernoulli di atas dijelaskan bahwa nilai akan selalu konstan, jika kecepatan meningkat maka tekanan yang akan mengalami penurunan nilai, begitu juga sebaliknya jika kecepatan menurun maka nilai tekanan akan bertambah, hal ini disebabkan karena nilai penjumlahan yang terjadi akan selalu tetap.

Berdasarkan rumus Bernoulli di atas maka dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan awal yang dimiliki oleh aliran air maka tekanan yang dihasilkan akibat penutupan katup akan semakin besar.

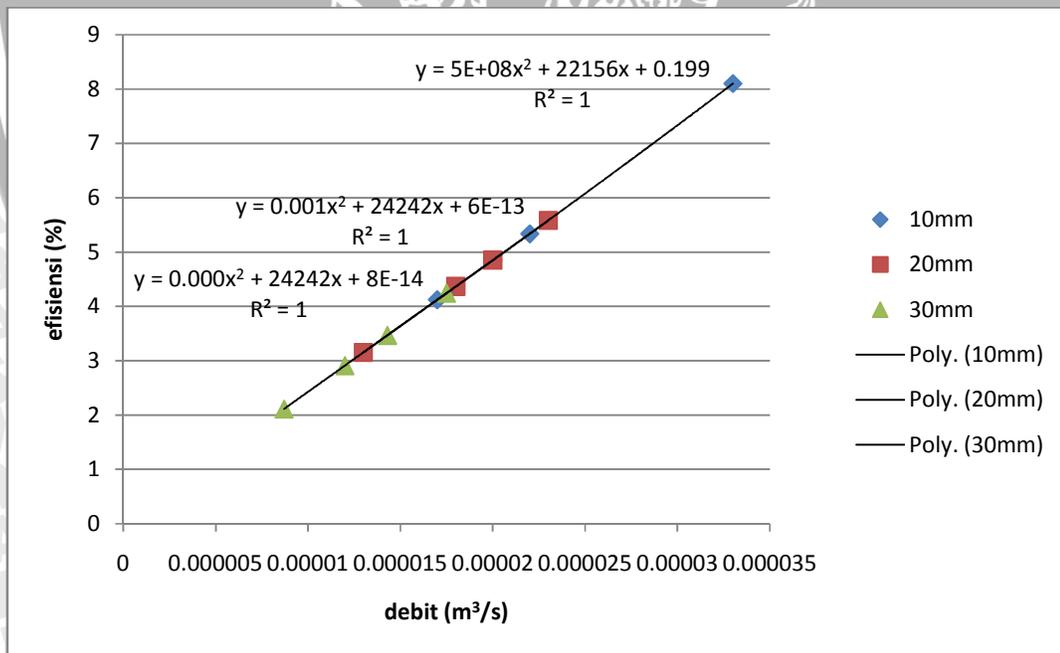
Penurunan kecepatan aliran air yang terjadi dapat dikaitkan dengan waktu yang diperlukan untuk menutup katup limbah, misalkan kita anggap aliran air memiliki nilai

sebesar v_1 , karena terjadi penutupan katup limbah maka kecepatan berubah menjadi nol, waktu penutupan katup limbah memiliki peranan yang penting disini, dimana semakin cepat katup limbah menutup maka kecepatan aliran air tidak sempat menurun menjadi v_2 tetapi langsung menjadi nol sehingga tekanan yang ditimbulkan semakin besar.

Pada tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm waktu yang diperlukan untuk menutupan katup limbah paling cepat sehingga kecepatan awal aliran air yang besarnya v_1 tidak sempat mengalami penurunan kecepatan tetapi langsung terhenti sehingga tekanan yang dihasilkan paling besar.

Berbeda dengan tangkai katup limbah dengan panjang yang lebih besar, dimana sebelum terhenti kecepatan awal aliran air sempat mengalami penurunan dari v_1 menjadi v_2 baru kemudian terhenti, hal ini mengakibatkan tekanan yang terjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan tekanan yang ditimbulkan akibat panjang tangkai katup limbah yang lebih pendek.

4.2.2 Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Efisiensi



Gambar 4.3

Grafik hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap efisiensi (ditinjau dari debit yang dihasilkan)

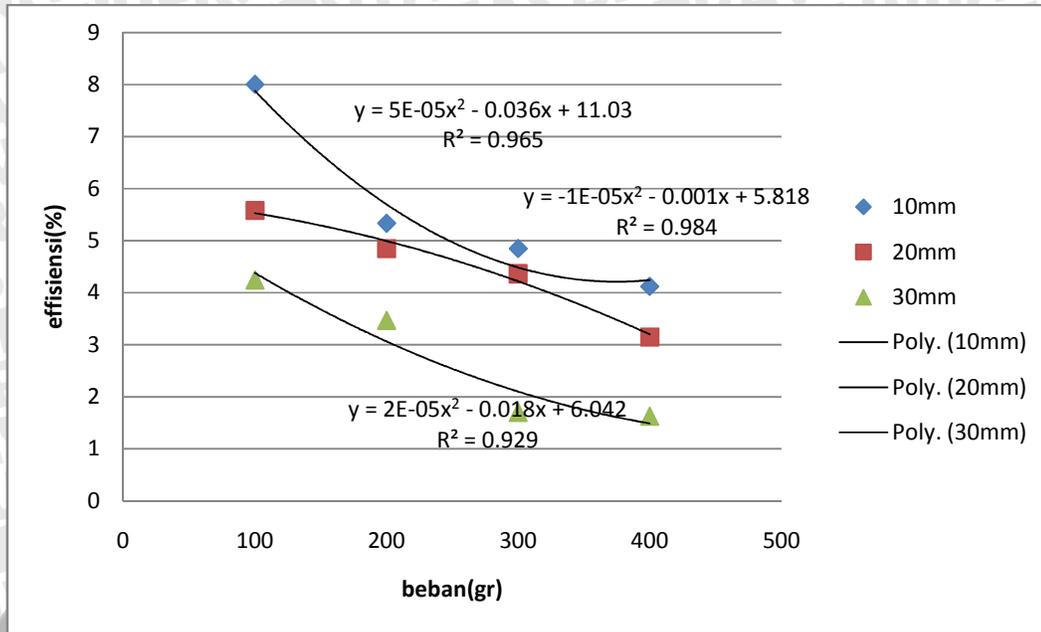
Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara panjang tangkai katup limbah terhadap efisiensi berdasarkan debit yang dipompakan. Dari gambar 4.3 dapat dinyatakan bahwa efisiensi nilainya bertambah pada penambahan besarnya debit yang mampu dipompakan, jadi semakin besar debit yang mampu dipompakan maka nilai efisiensi akan semakin besar pula, dengan kata lain nilai efisiensi berbanding lurus dengan jumlah debit yang dipompakan.

Gambar 4.3 dapat menyatakan bahwa semakin panjang tangkai katup limbah maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin kecil. Berdasarkan pengolahan data hasil percobaan didapatkan nilai efisiensi masing-masing panjang tangkai katup limbah yaitu 2,1%-4,2% untuk tangkai katup limbah dengan panjang 30 mm, 3,1%-5,6% untuk tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm, dan 4,1%-8% untuk tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm.

Tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki nilai efisiensi yang paling besar jika dibandingkan dengan tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm dan 30 mm, karena dengan langkah yang lebih pendek maka penutupan katup dapat terjadi lebih cepat sehingga air yang terbuang pada katup limbah jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan tangkai katup yang lebih panjang. Dengan berkurangnya air yang terbuang pada katup limbah maka air yang dipompakan bisa lebih banyak sehingga efisiensi meningkat, hal tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:

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

hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap efisiensi yang lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut



Gambar 4.4
 Hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap efisiensi
 (ditinjau dari pembebanan yang diberikan)

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap efisiensi, dapat dilihat pada grafik bahwa tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki efisiensi yang paling besar.

Efisiensi pada pompa hydraulic ram dipengaruhi oleh besarnya debit yang dihasilkan dan debit yang dipompakan, hubungan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

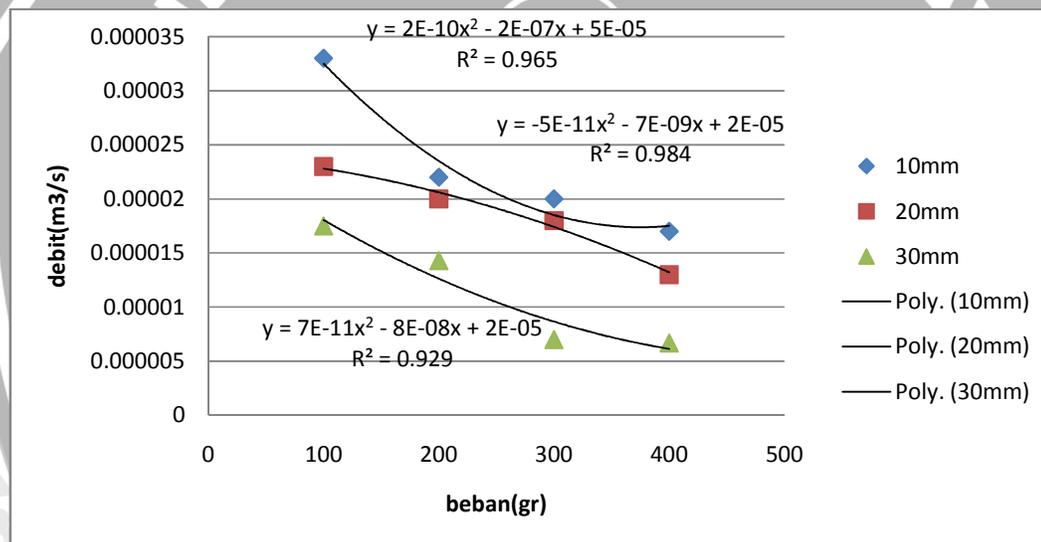
pada persamaan di atas dapat kita ketahui bahwa efisiensi pompa *hydraulic ram* merupakan perbandingan antara besarnya debit yang dipompakan dan debit total yang masuk ke dalam pompa.

Karena nilai debit total memiliki nilai yang hampir sama, tinggi terjunan air sumber dan tinggi pemompaan adalah konstan maka besarnya nilai efisiensi dipengaruhi oleh debit yang dipompakan oleh pompa *hydraulic ram*.

Dari gambar 4.4 dapat kita ketahui bahwa nilai efisiensi yang paling besar tercapai pada tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm, hal ini disebabkan karena pada tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki langkah yang lebih pendek sehingga waktu yang diperlukan untuk menutup katup limbah semakin cepat, sehingga mempengaruhi besarnya debit air yang terbuang pada katup limbah.

Semakin cepat waktu penutupan katup limbah maka air yang terbuang akan semakin sedikit sehingga air yang dipompakan akan semakin banyak, hal ini mengakibatkan efisiensi pompa lebih besar jika dibandingkan dengan pemakaian tangkai katup limbah yang lebih panjang.

4.2.3 Hubungan Panjang Tangkai Katup Limbah terhadap Debit yang Mampu Dipompakan



Gambar 4.5

Grafik hubungan panjang tangkai katup limbah terhadap debit yang dipompakan

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa panjang tangkai katup limbah mempengaruhi besarnya debit yang mampu dipompakan oleh pompa *hidraulik ram*, pada grafik di atas ditunjukkan perbandingan tiga panjang tangkai katup limbah yang berbeda, yaitu tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm, 20 mm, dan 30 mm.

Pada pembebanan yang sama, katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki debit yang paling besar, kemudian diikuti oleh tangkai katup limbah dengan panjang 20

mm dan tangkai katup limbah dengan panjang 30 mm memiliki nilai debit yang paling kecil.

Pada pompa *hydraulic ram* dikenal istilah debit yang terbuang, yaitu besarnya debit yang keluar atau terbuang pada saat katup limbah terbuka, semakin lama katup limbah terbuka maka akan semakin banyak air yang terbuang, waktu penutupan katup limbah sangat dipengaruhi oleh panjang tangkai katup limbah, dimana semakin panjang tangkai katup limbah yang digunakan maka waktu yang diperlukan untuk menutup katup limbah akan semakin lama, hal ini yang mengakibatkan debit air yang terbuang akan semakin besar.

Tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki waktu penutupan yang paling kecil sebagai akibat dari langkah yang paling pendek, maka debit yang terbuang akan lebih kecil daripada tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm dan 30 mm.

Karena debit air yang masuk ke dalam pompa jumlahnya tetap, sedangkan debit yang terbuang jumlahnya paling kecil maka besarnya debit yang dipompakan memiliki jumlah yang lebih besar daripada tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm dan 30 mm.

$$Q_t = Q_w + Q_s$$

Dari rumus di atas dapat dilihat hubungan antara debit total, debit yang terbuang pada katup limbah dan debit yang dipompakan, jika pada rumus tersebut Q_w kita geser ke ruas kiri maka persamaan tersebut akan menjadi

$$Q_s = Q_t - Q_w$$

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya nilai Q_t adalah hampir sama untuk variasi yang berbeda, sehingga besar nilai Q_s akan berbanding terbalik dengan nilai Q_w . Semakin besar jumlah air yang terbuang pada katup limbah maka debit yang dihasilkan akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya, jika debit yang terbuang pada katup limbah semakin kecil maka debit yang dipompakan akan semakin besar.

Hal tersebut menunjukkan alasan tangkai katup limbah dengan panjang 10 mm memiliki nilai Q_s yang lebih besar jika dibandingkan dengan tangkai katup limbah dengan panjang 20 mm dan 30 mm.

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa perubahan nilai besarnya debit yang dipompakan akan semakin menurun pada setiap penambahan beban pada katup limbah, hal ini diakibatkan karena dengan bertambahnya beban, maka diperlukan waktu yang lebih besar untuk menutup katup limbah sehingga air yang terbuang akan semakin besar, hal ini mengakibatkan debit yang dipompakan akan semakin kecil.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan analisa grafik, hasil percobaan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu panjang tangkai katup limbah berpengaruh terhadap efisiensi dan tekanan akibat *water hammer* pada pompa *hydraulic ram*, semakin panjang tangkai katup limbah maka tekanan dan efisiensi akan semakin kecil.

5.2 Saran

1. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap panjang tangkai katup limbah yang ideal untuk pompa *hydraulic ram* sesuai dengan diameter pompa.
2. Dalam penelitian hendaknya lebih diperhatikan penggunaan skala yang tidak terlalu besar pada alat ukur yang digunakan sehingga memudahkan dalam pengambilan data.



Daftar Pustaka

- Church, Austin H & Zulkifli Harahap ;1993 : Pompa dan Blower Sentrifugal ; Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Dietzel,Fritz & Sriyono,dakso ; 1990 : Turbin Pompa dan Kompresor ; Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Foster, Bob ; 2003 : Fisika Terpadu ; Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Gan Shu San & Gunawan, Santoso; 2007: Studi Karakteristik Volume Tabung Udara dan Beban Katup Limbah terhadap Efisiensi Pompa *Hydraulic Ram*, Surabaya.
- Hanafi, Jahja & Hans, De Longh ; 1979 : Teknologi Pompa Hidraulik Ram ; Pusat Teknologi Pembangunan ITB, Bandung.
- Imam,Wahtudi & Fauzi, Fachrudin ; 2008 : Korelasi Tekanan dan Debit Air Pompa Hidram Sebagai Teknologi Pompa Tanpa Bahan Bakar Minyak, Jakarta.
- Suarda & Wirawan ; 2008 : Kajian Eksperimental Pengaruh Tabung Udara pada Head Tekanan Pompa Hidram, Denpasar.
- Sudjono, 2002, Lembaga Pengabdian Masyarakat Universitas Gajah Mada ,Yogyakarta.
- Sularso & Haruo Tahara ; 1983 : Pompa dan Kompresor Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan ; Pradnya Paramita, Jakarta.
- Widarto & Sudarto ; 2001 ; Buku Petunjuk Pembuatan Pompa Hidram ; Medias Yayasan Penerbit PU, Yogyakarta.
- www.faizal.web.id/tutorial/pompa-hidraulik-ram-hidram.html

Lampiran 1 : Gambar Instalasi Penelitian



Lampiran 2 : Gambar Instalasi Lengkap

