

**PENGARUH JARAK ANTARA KATUP LIMBAH DAN TABUNG
TEKAN TERHADAP *HEAD* TEKAN DAN EFISIENSI POMPA**

HYDRAM

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

**RENCY RENGGA ADI P.
NIM. 0510620082 - 62**

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

2012

a

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH JARAK ANTARA KATUP LIMBAH DAN TABUNG
TEKAN TERHADAP *HEAD* TEKAN DAN EFISIENSI POMPA
*HYDRAM***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

RENCY RENGGA ADI P.
NIM. 0510620082 - 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.
NIP. 19541009 198303 1 002

Ir. Ari Wahjudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JARAK ANTARA KATUP LIMBAH DAN TABUNG
TEKAN TERHADAP *HEAD* TEKAN DAN EFISIENSI POMPA
*HYDRAM***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

RENCY RENGGA ADI P.

NIM. 0510620082 - 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 30 January 2012

Skripsi 1

Ir. Hastono Wijaya, MT.
M.Eng.
NIP. 130 604 495
1 002

Skripsi 2

Ir. Djoko Sutikno,
NIP. 19541009 198303

Komprehensif

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 132 159 708

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar. Sholawat dan salam semoga selalu diberikan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah menyempurnakan peradaban manusia dengan Islam.

Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan masukan, bimbingan dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Rudy dan Ibu Tutik selaku kedua orang tua saya, dek Ria dan dek Rosa di rumah yang telah memberikan dukungan moril dan motivasi yang sangat berarti sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan benar.
6. Teman-teman M'OLIMO para penghuni terakhir kampus, yang selalu menunjukkan bentuk kebersamaannya yang tinggi dalam proses penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman M'OLIMO, Indil, Paijo, Anang bois, Ulo, Ale, Manto, Arip, dan Jiwanda yang telah membantu menyelesaikan penelitian sampai selesai.
8. Teman-teman kosan F243, Dedek teman sekamar yang usil, Bobby dan mas Vino yang selalu entertain, serta Soffa, Mamet, dan Agung yang telah menyediakan laptop dan kamarnya serta selalu memberi keceriaan dan semangat sehingga skripsi ini dapat segera diselesaikan.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif pada pembaca. Semoga memunculkan ide-ide baru, saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya.

Malang, Januari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
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	
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Pompa Hidram	3
2.2.1 Bagian-Bagian Pompa Hidram	5
2.3 Persamaan Energi	11
2.4 Diagram Siklus Pompa Hidram	12
2.5 <i>Water Hammer</i>	16
2.6 Denyutan Katup Limbah	17
2.7 Head Tekan Pompa Hidram	17
2.8 Efisiensi Pompa Hidram	18
2.9 Hipotesa	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	20
3.2 Variabel Penelitian	20
3.3 Rancangan Penelitian	20
3.4 Skema Instalasi Penelitian Pompa Hidram	22
3.5 Alat-Alat Penelitian	23
3.6 Prosedur Penelitian	25

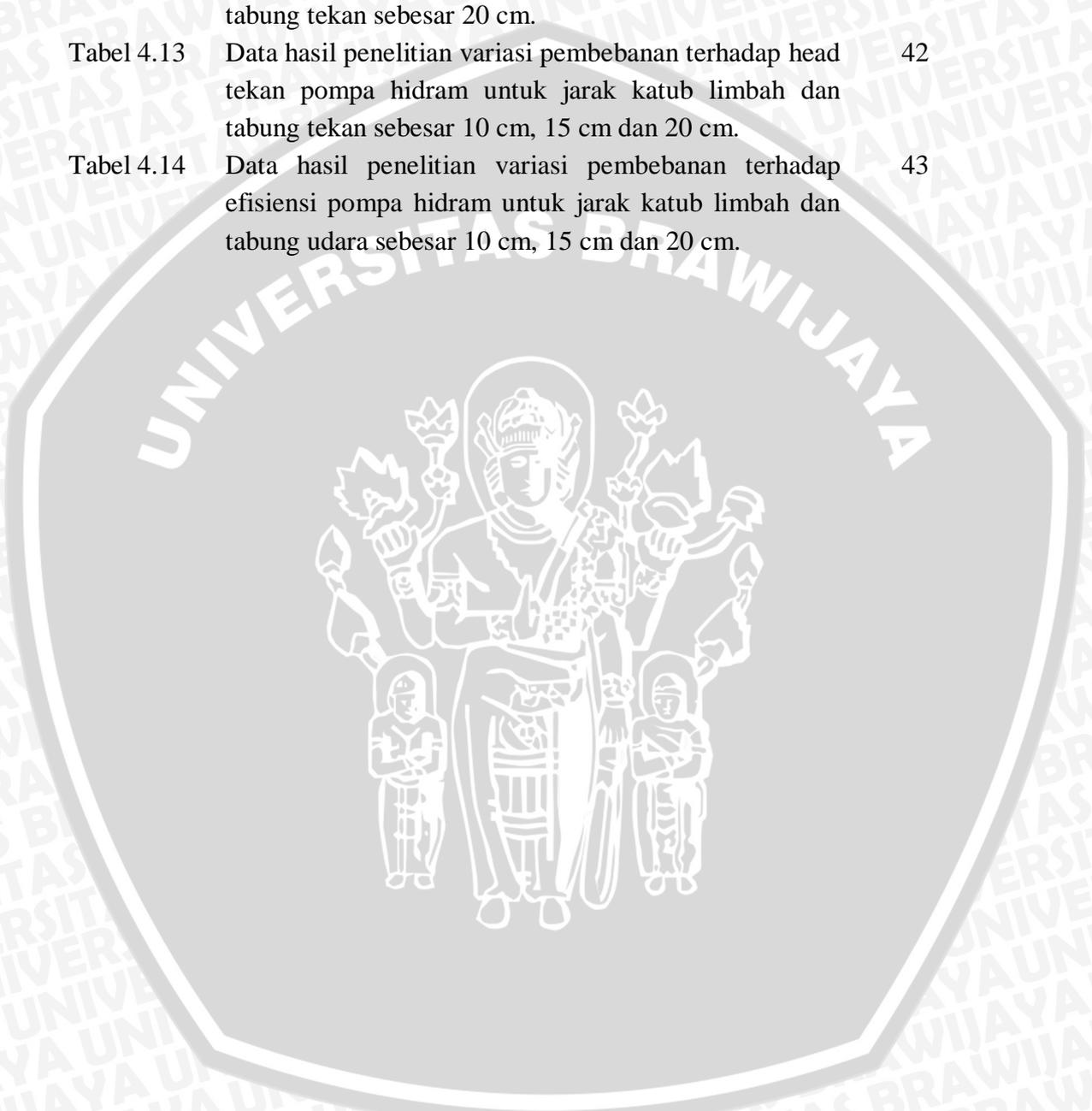
3.7	Prosedur Rangkaian Pengambilan Data.....	25
3.8	Diagram Alir Penelitian	26
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Data Hasil Penelitian	28
4.1.1	Data Hasil Pengujian.....	28
4.1.2	Contoh Perhitungan	34
4.1.3	Data Hasil Perhitungan	36
4.2	Grafik Hasil Perhitungan	44
4.2.1	Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Head Tekan Pompa Hidram	44
4.2.2	Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Efisiensi Pompa Hidram.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tabel diameter badan pompa hidram terhadap debit masukan air.	11
Tabel 2.2	Tabel denyutan katup limbah terhadap efisiensi pompa hidram.	16
Tabel 3.1	Tabel rancangan pengambilan data penelitian	21
Tabel 4.1	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.	28
Tabel 4.2	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.	29
Tabel 4.3	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.	30
Tabel 4.4	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.	31
Tabel 4.5	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.	32
Tabel 4.6	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.	33
Tabel 4.7	Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm	36
Tabel 4.8	Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.	37
Tabel 4.9	Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm	38
Tabel 4.10	Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.	39



Tabel 4.11	Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.	40
Tabel 4.12	Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.	41
Tabel 4.13	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm, 15 cm dan 20 cm.	42
Tabel 4.14	Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung udara sebesar 10 cm, 15 cm dan 20 cm.	43



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Instalasi pompa hidram.	4
Gambar 2.2	Katup limbah	6
Gambar 2.3	Katup pengantar	7
Gambar 2.4	Jenis-jenis katup udara	9
Gambar 2.5	Penampang pipa Bernoulli	12
Gambar 2.6	Tahapan pada proses pemompaan pompa hidram	13
Gambar 2.7	Diagram satu siklus kerja pompa hidram	14
Gambar 3.1	Skema Instalasi Penelitian	22
Gambar 3.2	<i>Pressure gauge</i>	23
Gambar 3.3	<i>Stopwatch</i>	24
Gambar 3.4	Gelas ukur	24
Gambar 3.5	Pompa air	25
Gambar 3.6	Diagram Alir	26
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Head Tekan Pompa Hidram.	44
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Efisiensi Pompa Hidram.	46

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto instalas pompa hidram.
Lampiran 2.	Jarak katup limbah dan tabung tekan.
Lampiran 3.	Tabel rapat massa air.



RINGKASAN

Rency Rengga Adi Pratama, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2011, *Pengaruh Jarak Antara Katup Limbah Dan Tabung Tekan Terhadap Head Tekan Dan Efisiensi Pompa Hydram*, Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng. dan Ir. Ari Wahjudi, MT.

Perkembangan jaman dan teknologi yang semakin pesat, menyebabkan kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi tersebut menyebabkan tingkat konsumsi minyak bumi meningkat pula. Ini mengakibatkan persediaan minyak bumi yang ada di alam semakin menipis sehingga membuat harga BBM semakin tinggi. Dengan kondisi topografi Indonesia yang banyak memiliki sumber air yang memiliki energi potensial, maka pompa hidram adalah salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut di atas.

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 memiliki beberapa bagian penting yaitu tangki sumber, pipa pemasukan, badan pompa, katup limbah, katup penghantar, tabung tekan, dan pipa penghantar. Prinsip kerja pompa hidram diawali dari air yang memiliki energi elevasi di tangki sumber. Kemudian dirubah menjadi energi kinetik pada pipa pemasukan karena adanya aliran air dari tangki sumber yang memiliki ketinggian tertentu menuju ke badan pompa. Kemudian energi kinetik tersebut dirubah menjadi energi tekan pada badan pompa yang disebabkan oleh penutupan katup limbah secara tiba-tiba sehingga mengakibatkan terjadinya efek *water hammer* dan tekanan air dalam badan pomapun menjadi meningkat. Hal ini menyebabkan katup penghantar terbuka sehingga air mengalir masuk menuju tabung tekan. Di dalam tabung tekan air mengalami peningkatan tekanan kembali akibat kompresi yang diberikan oleh udara dalam tabung tekan sehingga air mengalir kembali menuju katup penghantar dan menutupnya sehingga aliran air tidak bisa kembali ke badan pompa. Karena tekanan air dalam tabung tekan tinggi, maka air mengalir menuju tempat yang tekanannya lebih rendah yaitu di ujung pipa penghantar yang memiliki ketinggian lebih tinggi dari tabung tekan.

Untuk meningkatkan head tekan dan efisiensi pompa hidram yang terjadi bisa dengan berbagai cara, salah satunya dengan memvariasikan jarak antara katup limbah dan tabung tekan. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental nyata. Variasi jarak yang digunakan sebesar 10 cm, 15 cm dan 20 cm. Sedangkan variasi pembebanan katup limbah yang dipakai sebesar 100 g, 200 g, 300 g, 400 g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar jarak antara katup limbah dan tabung tekan menyebabkan head tekan dan efisiensi pompa hidram akan semakin meningkat. Head tekan paling besar didapatkan pada pembebanan katup limbah sebesar 400 g dan jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm dengan nilai head tekan tertinggi yaitu sebesar 4,006 m. Efisiensi terbesar didapat pada pembebanan katup limbah sebesar 100 g dan jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm dengan nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 14,847 % .

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan jaman dan teknologi yang semakin pesat, menyebabkan kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi tersebut menyebabkan tingkat konsumsi minyak bumi meningkat pula. Sebab hampir sebagian besar aktivitas manusia menggunakan teknologi yang berbahan bakar minyak bumi sebagai sumber energinya termasuk alat pompa. Ini mengakibatkan persediaan minyak bumi yang ada di alam semakin menipis sehingga membuat harga BBM semakin tinggi. Hal ini membuat ekonomi masyarakat semakin berat khususnya kalangan petani yang membutuhkan pompa sebagai alat untuk irigasi.

Dengan kondisi topografi Indonesia yang banyak memiliki sumber air yang memiliki energi potensial, maka pompa 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 sebagian air ke tempat yang lebih tinggi. 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 *water hammer* pada pompa hidram. Padahal pompa hidram bekerja dengan mekanisme *water hammer*. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian tentang jarak katub limbah dan tabung tekan yang tepat sehingga mampu menghasilkan head tekan lebih tinggi

untuk head sumber pompa yang sama sehingga memperbaiki efisiensi pompa hidram.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah : bagaimana pengaruh variasi jarak antara katub limbah dan tabung tekan terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram.

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
2. Besarnya debit masukan air dibuat konstan.
3. Jarak katub limbah dan tabung udara di variasikan 10 cm, 15 cm, 20 cm.
4. Volume tabung tekan dibuat konstan.
5. Panjang pipa penghantar dibuat konstan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jarak katub limbah dan tabung tekan terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi jarak katub limbah dan tabung tekan terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu dan wawasan dalam bidang teknologi pembuatan pompa khususnya pompa jenis hidram.
3. Diharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat sebagai alternatif pompa irigasi & rumah tangga yang murah dalam pengoperasian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

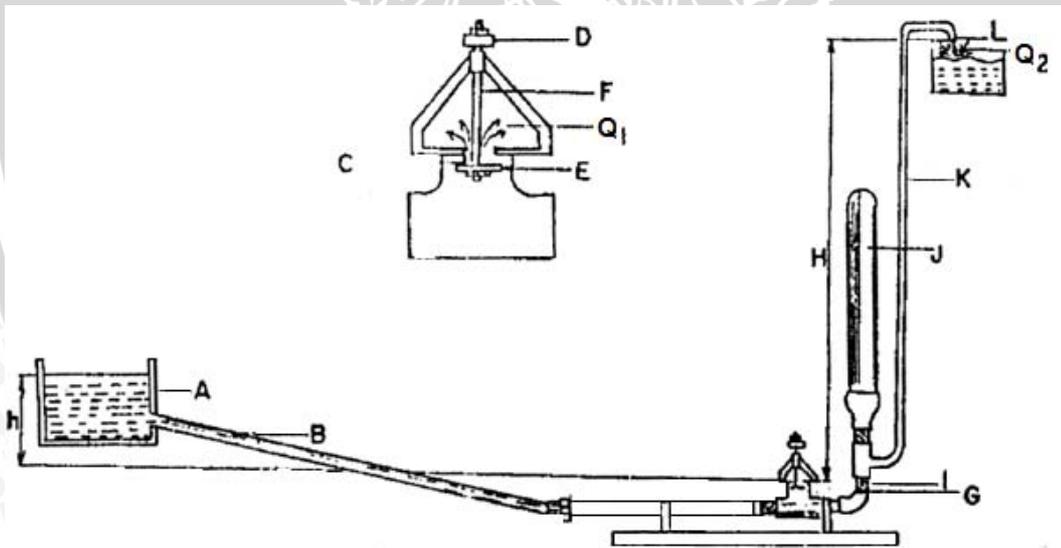
Made Suarda dan IKG Wirawan (2008) melakukan studi tentang pengaruh tabung tekan pada head tekan pompa hidram. Dalam penelitiannya pada system pompa hidram, dengan ketinggian sumber air 1m, panjang pipa penghantar 6m, ketinggian pemompaan 10m, diameter pipa drive 1", diameter badan pompa 3", panjang 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 tekan sedangkan untuk pompa hidram dengan menggunakan tabung tekan 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 tekan 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.

2.2 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. Instalasi pompa hidram seperti pada gambar 2.1 menunjukkan semua bagian yang terdapat pada pompa hidram pada umumnya, dari tangki pemasukan (A) sampai lubang pengeluaran pipa penghantar (L).

Cara kerja pompa hidram adalah dimulai dari fluida yang turun dari tangki pemasukan A melalui pipa pemasukan B dengan kecepatan tertentu masuk ke

rumah pompa. Karena katup limbah (C) yang berada dalam pompa awalnya terbuka, maka gerakan air dari sumber air tadi akan terpancing untuk melalui katup limbah. Dengan air dari tangki pemasukan yang mengalir terus menerus, maka tekanan dalam rumah pompa akan meningkat, sehingga katup limbah akan tertutup. Hal ini akan menyebabkan katup pengantar (I) terbuka akibat dari tekanan air di rumah pompa sehingga air akan naik melalui katup pengantar. Selanjutnya, air yang bertekanan ini akan menekan udara dalam tabung tekan (J). Karena udara bersifat *compressible* maka volume udara akan mengecil akibat tekanan air. Pada saat aliran dari rumah pompa sudah mengecil maka udara akan menekan air ke pipa penghantar (K) dan juga akan menekan katup hantar sehingga tertutup. Karena berat katup limbah, maka katup limbah akan terbuka sehingga air mengalir melalui katup limbah. Pompa hidram tidak menggunakan sumber energi dari luar untuk bekerja, tetapi pompa ini menggunakan pukulan atau hantaman air itu sendiri sebagai tenaga penggerakannya. Karena itu, masuknya air kedalam ruang pompa harus secara kontinyu.



Gambar 2.1 Instalasi pompa hidram

Sumber : <http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/3.cakram%20v2n1%20-%20suardaunud.pdf>

Keterangan :

A. Tangkipemasukan

- 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. Tabung tekan
- K. Pipa penghantar
- L. Lubang pengeluaran pipa penghantar
- h. Tinggi vertikal antara permukaan air dalam tangki pemasukan dengan lubang katup limbah
- Q₁. Debit air yang terbuang melalui katup limbah
- Q₂. Debit pemompaan

2.2.1 Bagian-Bagian Pompa Hidram

Pompa hidram memiliki beberapa bagian penting antara lain:

1. Katup limbah (*waste valve*)

Katup limbah seperti pada gambar 2.2 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.



Gambar 2.2 Katup limbah
Sumber: <http://faizal.web.id/tag/hidram>

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 *water hammer effect*. 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. Berepa 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 berat katup limbah dan gaya angkat oleh fluida yang besarnya dipengaruhi oleh tekanan yang terjadi pada badan pompa.

Berat katup limbah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W = m.g \quad (2.1)$$

Keterangan:

W = Berat (N)

m = Massa (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Gaya angkat oleh fluida dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = P.A \quad (2.2)$$

keterangan :

F = Gaya angkat (N)

P = Tekanan pada badan pompa (N/m^2)

A = Luas penampang katup limbah (m^2)

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.

2. Katup pengantar (*delivery valve*)

Katup pengantar seperti pada gambar 2.3 harus memiliki lubang yang besar sehingga memungkinkan air yang dipompa memasuki tabung tekan 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.



Gambar 2.3 Katup pengantar

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

3. Tabung Tekan

Tabung tekan berfungsi meneruskan dan melipat gandakan tenaga pemompaan, sehingga air dalam tabung tekan 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 tekan penuh dengan air maka ram akan terus bergetar keras dan dapat mengakibatkan tabung tekan 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 tekan begitu pula sebaliknya semakin pendek pipa penghantar maka semakin kecil volume tabung tekan.

Pada tabung tekan 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:

$$F = P \cdot A \tag{2.4}$$

Keterangan :

F = Gaya (N)

P = Tekanan (N/m²)

A = Luas penampang (m²)

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

$$\begin{aligned} F_{\text{tabung tekan}} &= (P_{\text{air tabung}} + P_{\text{udara}}) \cdot A_k \\ &= (\rho \cdot g \cdot h + P_{\text{udara}}) \cdot A_k \end{aligned} \tag{2.5}$$

Keterangan:

F_{tabung tekan} = Gaya tekan tabung tekan (N)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian kolom air pada tabung tekan (m)

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

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

Untuk gaya angkat pada pompa hidram dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{tekan\ air} = P_{air} \cdot A_p \quad (2.6)$$

Keterangan :

$F_{tekan\ air}$ = 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 $F_{tekan\ air} > F_{tabung\ tekan}$ katup penghantar akan membuka
2. Sedangkan $F_{tekan\ air} < F_{tabung\ tekan}$ katup penghantar akan tertutup.

4. Katup udara (*air valve*)

Udara yang tersimpan dalam tabung tekan 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 (gambar 2.4). Katup udara harus disesuaikan dengan tepat sehingga mengeluarkan semprotan air yang kecil pada saat terjadi denyutan kompresi. Jika katup udara terlalu besar, maka tabung tekan akan terisi udara terlalu banyak sehingga membuat pompa akan memompa udara. Jika katup udara kurang terbuka akan membuat masuknya udara untuk menggantikan udara yang terbangun kurang. Untuk bentuk katup udara seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



kawat halus bergerak secara otomatis ke luar dan ke dalam.



a. Katup sederhana dengan peralatan kawat anti karat.

b. Katup yang dapat diganti-ganti.

Gambar 2.4 Jenis-jenis katup udara
Sumber: <http://faizal.web.id/tag/hidram>

5. 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.

6. Tangki Sumber

Tangki sumber berfungsi untuk menampung sementara air dari sumber air agar memperbesar nilai head sumber sehingga dapat meningkatkan nilai performa. Pada jenis tertentu tangki sumber juga berfungsi sebagai penyaring kotoran atau polutan. Misalnya pada sumber air yang di gunakan untuk air minum.

7. Bak Penampung

Bak penampung berfungsi untuk menampung air yang dipompakan oleh pompa hidram melalui pipa penghantar. Untuk mendesain bak penampung harus mengetahui besarnya debit yang dihasilkan oleh pompa hidram. Pada umumnya ukuran dari bak penampung adalah sebesar volume air yang dipompakan oleh pompa hidram selama 12 jam.

Ini bertujuan agar tangki bisa menampung air hasil pemompaan pada jam-jam air tidak dibutuhkan.

8. Badan pompa

Badan pompa merupakan tempat terjadinya proses kerja pemompaan. Umumnya badan pompa terbuat dari besi cor agar kuat dalam menahan tekanan yang terjadi akibat *water hammer effect*. Bagian ini dilengkapi dengan dudukan agar pompa dapat berdiri tegak dan kokoh.

Agar dapat bekerja baik dengan hasil yang maksimal, pompa hidram harus memenuhi beberapa persyaratan khusus, antara lain sebagai berikut :

1. Adanya terjunan air sebagai sumber tenaga potensial minimal satu meter.
2. Debit air masuk yang cukup untuk menggerakkan pompa minimal 7 liter per menit.
3. Sudut terjunan air adalah 1 : 5, yang merupakan perbandingan antara sudut pipa pemasukan terhadap badan pompa hidram dengan sudut pipa penghantar terhadap rumah pompa.
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 ini tabel untuk menentukan diameter pompa berdasarkan debit air.

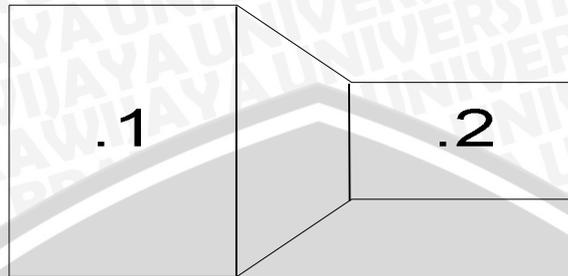
Tabel 2.1 Tabel diameter badan pompa hidram terhadap debit masukan air.
Sumber: Buku petunjuk pembuatan pompa hidram

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 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. Pada gambar 2.5 menunjukkan sebuah penampang pipa Bernoulli dimana dari penampang tersebut persamaan Bernoulli dapat ditulis sebagai berikut :



Gambar 2.5 Penampang pipa Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.3)$$

keterangan:

P_1 = Tekanan pada penampang satu (N/m^2)

P_2 = Tekanan pada penampang dua (N/m^2)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

V_1 = Kecepatan aliran fluida pada penampang satu (m/s)

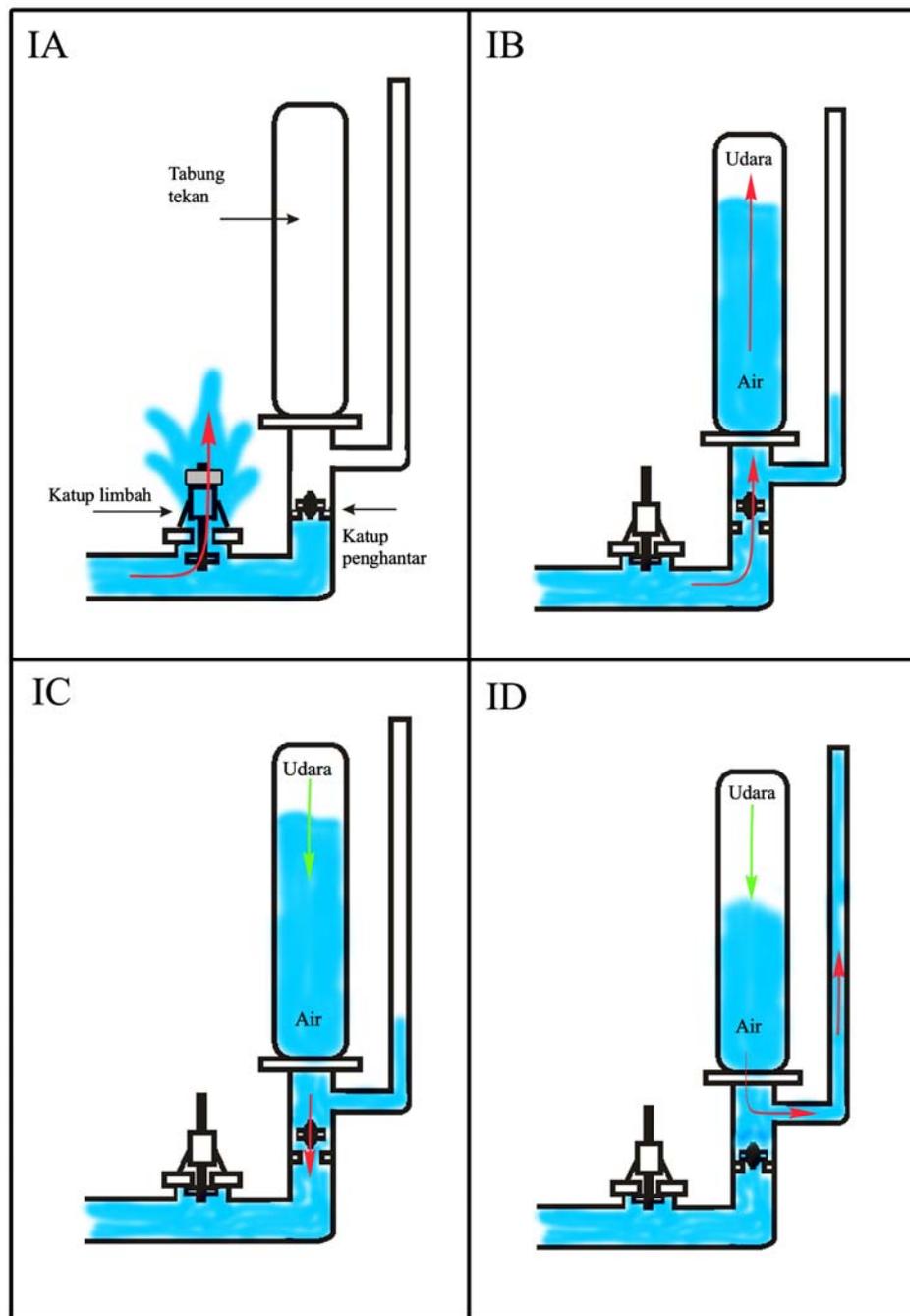
V_2 = Kecepatan aliran fluida pada penampang dua (m/s)

z_1 = Ketinggian pada penampang satu (m)

z_2 = Ketinggian pada penampang dua (m)

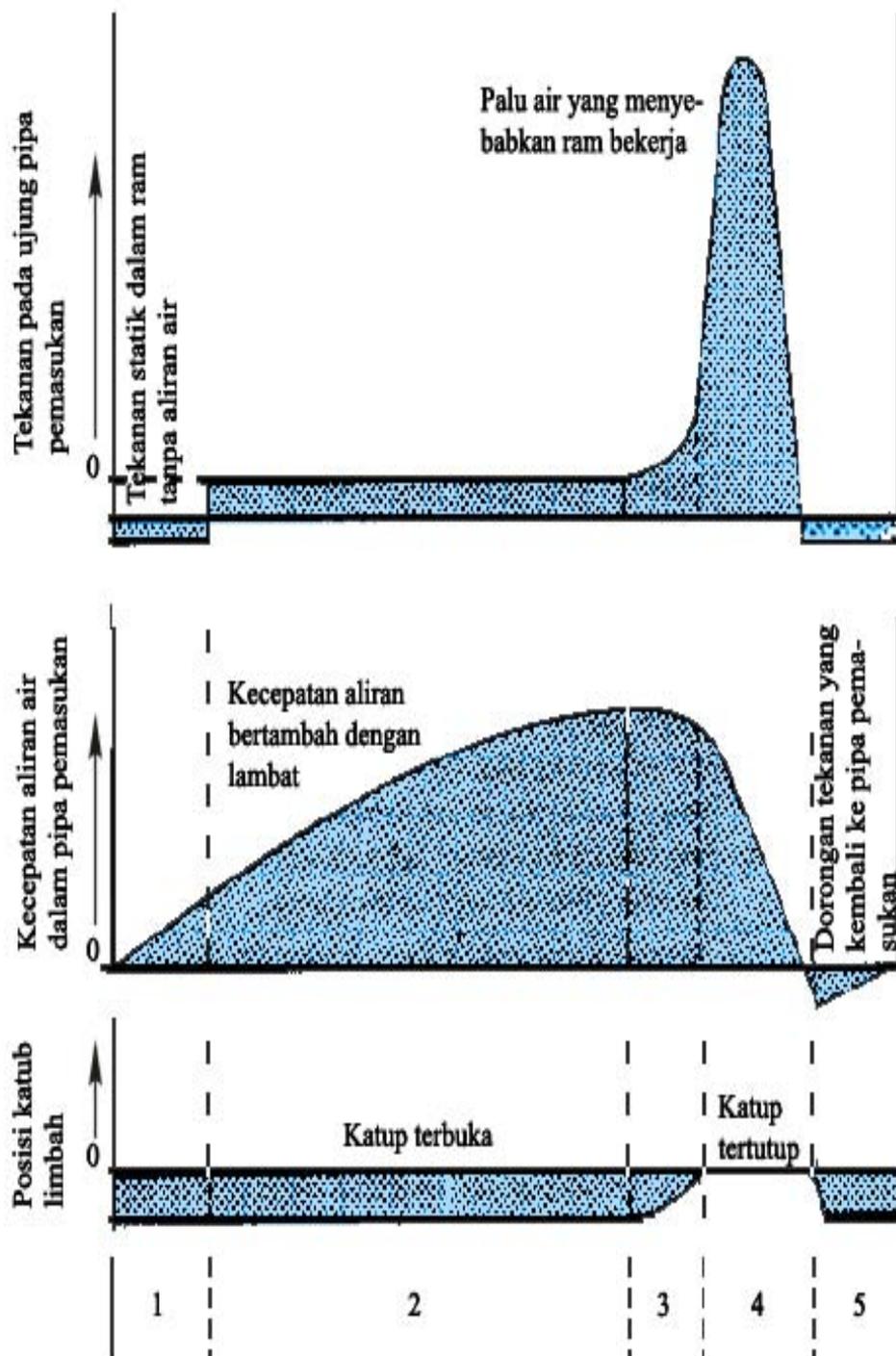
2.4. Diagram Siklus Pompa Hidram

Dalam proses pemompaan pada pompa hidram melalui beberapa tahapan, mulai dari air yang mengalir dari bak sumber menuju badan pompa, terjadinya *water hammer* akibat penutupan katup limbah, terjadi kompresi udara yang tertekan oleh air bertekanan yang dihasilkan dari *water hammer effect* pada tabung tekan, hingga terangkatnya air melalui pipa penghantar menuju bak penampung. Mekanisme ini dapat digambarkan seperti pada gambar 2.6 di bawah



Gambar 2.6 Tahapan pada proses pemompaan pompa hidram
 Sumber: <http://faizal.web.id/tag/hidram>

Selain itu tahapan kerja pompa hidram juga dapat digambarkan dalam bentuk diagram siklus kerja pada gambar 2.7 yang memperlihatkan perubahan tekanan pada ujung pipa pemasukan, kecepatan aliran air dalam pipa pemasukan dan posisi katup limbah pada satu siklus kerja pompa hidram.



Gambar 2.7 Diagram satu siklus kerja pompa hidram

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

Penelitian yang telah dilakukan pada sebuah hidram ukuran kecil, di mana tinggi vertikal tangki pemasukan (*supply head*) adalah 1,58m dan tinggi pemompaan (*delivery head*) adalah 3m.

Keterangan gambar :

1. Posisi katup limbah terbuka penuh, air dari sumber masuk ke badan pompa dan keluar melalui katup limbah. Kecepatan aliran air dalam pipa pemasukan semakin meningkat. Tekanan air di badan pompa masih di bawah tekanan udara luar dikarenakan aliran air masih belum mengisi penuh badan pompa.
2. Posisi katup limbah terbuka penuh. Kecepatan aliran air semakin meningkat sampai mencapai titik maksimum. Tekanan air meningkat di atas tekanan udara luar setelah badan pompa terisi penuh oleh aliran air.
3. Katup limbah mulai menutup. Kecepatan aliran air semakin menurun dan tekanan air dalam pompa semakin meningkat seiring terus menutupnya katup limbah.
4. Katup limbah tertutup penuh, kecepatan aliran air menurun secara tiba – tiba sehingga tekanan air dalam badan pompa meningkat secara signifikan yang mengakibatkan terjadinya aliran balik air dari katup limbah menuju katup penghantar. Tekanan air meningkat secara drastis sehingga menyebabkan katup penghantar terbuka dan aliran balik air masuk ke tabung tekan. Setelah air masuk ke tabung tekan, tekanan air di dalam badan pompa menjadi turun sampai berada di bawah tekanan udara luar yang disebabkan oleh badan pompa tidak terisi penuh oleh air. Karena tekanan menurun, maka katup penghantar mulai tertutup dan katup limbah mulai terbuka kembali.
5. Katup limbah terbuka penuh, air dari pipa penghantar masuk kembali ke badan pompa menuju katup limbah. Kecepatan aliran air meningkat namun tekanan masih berada di bawah tekanan udara luar karena badan pompa masih belum terisi penuh oleh aliran air. Selanjutnya sikluspun terulang kembali.

Data yang diperoleh tentang penyetelan katup limbah terhadap denyutan katup dan nilai efisiensi pompa hidram dapat dilihat pada table 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Tabel denyutan katup limbah terhadap efisiensi pompa hidram

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

Jumlah denyutan tiap menit	Air yang terbuang (kg/menit)	Debit pemompaan (kg/menit)	Efisiensi (%)
92	32,0	4,09	4,4
110	23,6	6,28	5,1
157	13,0	7,36	5,9

2.5 Water Hammer

Water Hammer adalah fenomena yang terjadi ketika aliran fluida diberhentikan 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:

$$\Delta P_{wh} = \rho \cdot v_0 \cdot v_{sw} \quad (2.7)$$

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

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/m³)

K = Volume modulus (N/m²)

R = Jari-jari pipa (m)

δ = Ketebalan pipa (m)

E = Modulus elastisitas (N/m²)

2.6 Denyutan Katup Limbah

Denyutan katup limbah yang dimaksud di sini adalah proses membuka dan menutupnya katup limbah yang terjadi pada selang waktu tertentu. Dalam hal ini, banyaknya denyutan katup limbah tersebut sangat dipengaruhi oleh besarnya beban katup limbah itu sendiri. Perubahan besarnya pembebanan katup limbah disini akan mempengaruhi besarnya waktu menutupnya katup limbah. Seperti yang di jelaskan sebelumnya, semakin berat pembebanan katup limbah (W) maka akan menyebabkan semakin besar gaya angkat fluida (F) yang dibutuhkan untuk menutup katup limbah. Yang berarti semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mengakumulasikan F hingga nilainya lebih besar dari W dan menutup katup limbah. Berarti semakin besar waktu katup limbah itu dalam posisi terbuka dan semakin kecil waktu katup limbah itu dalam posisi tertutup sehingga diartikan semakin sedikitnya denyutan yang terjadi pada katup limbah tersebut (dalam kondisi pembebanan katup limbah ditingkatkan). Semakin sedikitnya denyutan yang terjadi, berarti semakin kecil waktu yang dibutuhkan katup dalam posisi tertutup, sehingga menyebabkan tekanan akibat proses water hammer yang terjadi semakin besar. Hal ini sesuai dengan rumusan berikut :

$$P_{wh} = (0.070vL)/t + P_i$$

Keterangan:

- P_{wh} = Kenaikan tekanan akibat terjadinya water hammer
- v = Perubahan kecepatan aliran fluida yang terjadi dalam pipa
- L = Panjang pipa dari sumber air
- t = Waktu menutupnya katup limbah
- P_i = Tekanan masuk (saat belum terjadi proses water hammer)

2.7 Head Tekan Pompa Hidram

Head tekan adalah kemampuan pompa untuk mengangkat fluida. Head tekan umumnya dinyatakan dalam satuan meter. Pada pompa hidram head tekan dirumuskan dengan persamaan:

$$H_p = \frac{P_{air} + P_{udara}}{\gamma_{air}}$$
$$H_p = \frac{P_{tabung}}{\gamma_{air}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

- H_p = 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)
 P_{tabung} = Tekanan tabung tekan (N/m^2)
 γ_{air} = Berat jenis air (kg/m^3)

2.8 Efisiensi Pompa Hidram

Efisiensi adalah perbandingan antara daya output dibagi dengan daya input.

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \cdot 100\% \quad (2.12)$$

keterangan :

$$P_{output} = \gamma_{air} \cdot Q_{pompaan} \cdot H_{pompaan}$$

$$P_{input} = \gamma_{air} \cdot Q_{sup ply} \cdot H_{sup ply}$$

Sehingga

$$\eta = \frac{\gamma_{air} \cdot Q_{pompaan} \cdot H_{pompaan}}{\gamma_{air} \cdot Q_{sup ply} \cdot H_{sup ply}} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

Pada pompa hidram inputnya berupa kapasitas air supply dapat di jabarkan kapasitas air pada katup limbah + kapasitas air pemompaan. Sedangkan berat jenis air pada pompa hidram adalah sama sehingga dapat dihilangkan sehingga diperoleh persamaan empirik:

$$\eta = \frac{Q_d \cdot H_d}{(Q_d + Q_w) \cdot H_s} \cdot 100\% \quad (2.14)$$

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 : Ketinggian air pemompaan (m)
 H_s : Ketinggian supply air ke hidram (m)

2.9 Hipotesa

Semakin besar jarak katup limbah terhadap tabung tekan mengakibatkan perubahan momentum air dalam badan pompa semakin meningkat sehingga kenaikan tekanan akibat *water hammer* semakin besar pula yang berdampak pada naiknya head tekan dan meningkatnya efisiensi pompa hidram.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan 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 yaitu pembebanan pada katup limbah yaitu sebesar 100 g, 200 g, 300 g, 400 g.

b. Variabel terikat

Adapun variabel terikat dalam pengujian ini, yaitu head tekan dan efisiensi pompa hidram.

c. Variabel terkontrol

Adapun yang termasuk dalam variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah jarak katub limbah dan tabung tekan yaitu sebesar 10 cm, 15 cm, dan 20 cm.

3.3 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dengan melibatkan satu variabel terkontrol yaitu variasi jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Dengan perulangan sebanyak 3 kali.



Tabel 3.1 Tabel rancangan pengambilan data penelitian

Data ke	J.K.T (m)	H _d (m)	P (N/m ²)	Q _T (m ³ /s)	Q _w (m ³ /s)	Q _s (m ³ /s)	H _s (m)	η (%)
1								
2								
3								
4								
5								

Keterangan:

JKT : jarak katub limbah dan tabung tekan (m)

H_s : Ketinggian supply air ke hidram (m)

P_t : Tekanan tabung udara (N/m²)

Q_t : Kapasitas tabung tekan total (m³/s)

Q_w : Kapasitas air pada katup limbah (m³/s)

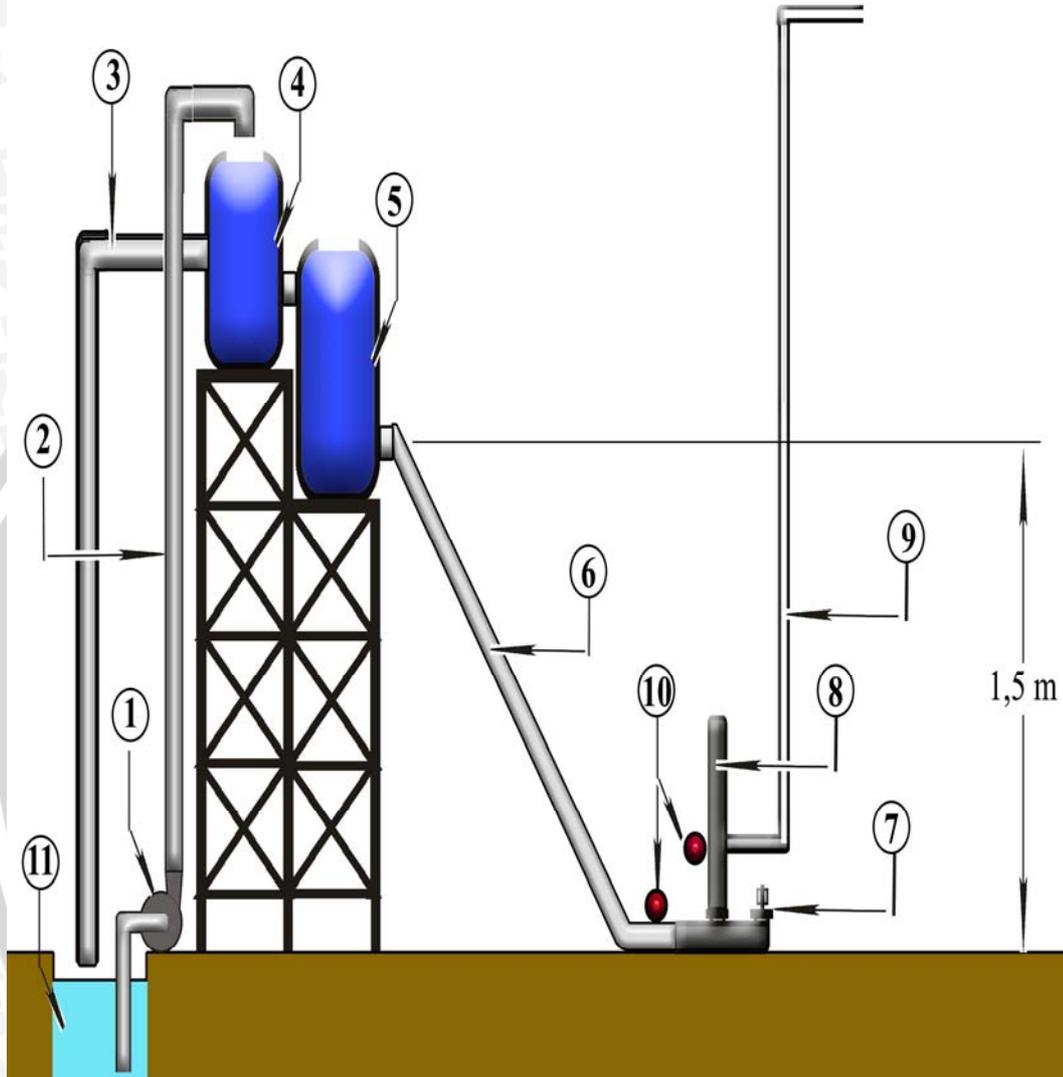
Q_d : Kapasitas air pemompaan (m³/s)

H_d : Ketinggian air pemompaan (m)

η : Efisiensi pompa hidram (%)

3.4 Skema Instalasi Penelitian Pompa Hidram

Pada gambar 3.1 di bawah ini ditunjukkan bagian-bagian instalasi penelitian pompa hidram yang di susun untuk pengambilan data penelitian.



Gambar 3.1 Skema Instalasi Penelitian
Sumber : Dokumentasi pribadi

Keterangan gambar :

1. Pompa
2. Pipa pengisi tandon 1
3. Pipa pembuangan tandon 1
4. Tandon 1
5. Tandon 2
6. Pipa pemasukan
7. Katup limbah

8. Tabung tekan
9. Pipa penghantar
10. Preasure gauge
11. Sumber air pengisi tandon

3.5 Alat-Alat Penelitian

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

1. Pompa hidram

- Spesifikasi:
- diameter pipa pemasukan : 1,5 inci
 - panjang pipa pemasukan : 3,5 m
 - panjang pipa penghantar : 6 m
 - diameter pipa penghantar : 0.5 inci
 - diameter badan pompa : 1,5 inci
 - volume tabung tekan : 2 liter

2. *Pressure gauge*

Pressure gauge yang ditunjukkan pada gambar 3.2 merupakan alat untuk mengukur tekanan pada badan pompa hidram dan tabung tekan pompa hidram. Digunakan *Pressure gauge* dengan skala 0 - 3 kg/cm².



Gambar 3.2 *Pressure gauge*

3. *Stopwatch*

Stopwatch yang ditunjukkan pada gambar 3.3 berfungsi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengisi gelas ukur sehingga nantinya memperoleh debit yang dihasilkan pompa hidram.



Gambar 3.3 *Stopwatch*

4. *Gelas ukur*

Gelas ukur yang ditunjukkan pada gambar 3.4 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 mempunyai volume sebesar 2 L.



Gambar 3.4 *Gelas ukur*

5. Pompa air

Pompa air seperti pada gambar 3.5 digunakan untuk mengisi air ke dalam tandon sumber. Pompa air yang digunakan adalah pompa air merk shimizu yang memiliki debit maksimal 42 liter/menit dengan head tekan maksimum 9 m.



Gambar 3.5 Pompa air

3.6 Prosedur Penelitian

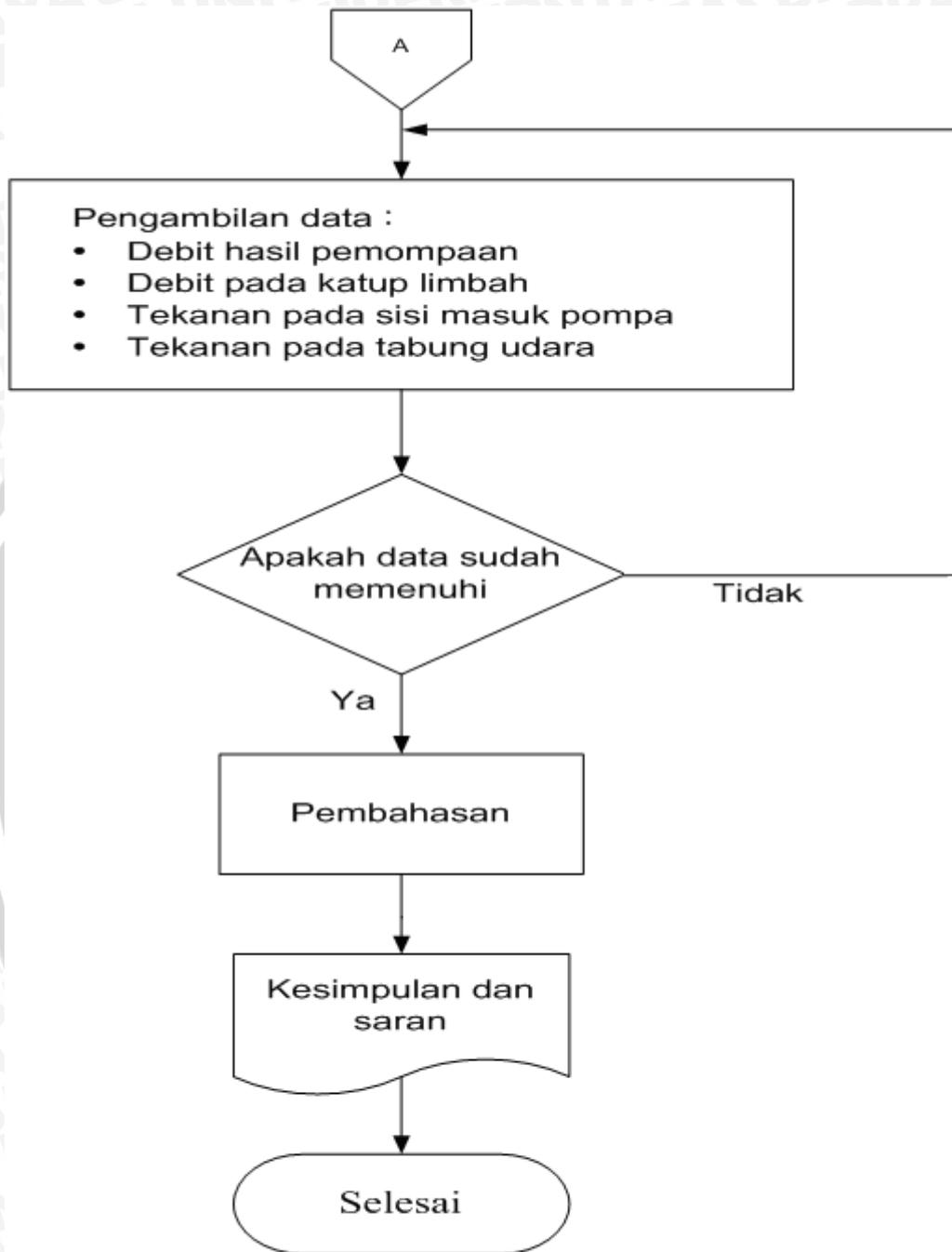
1. Mengisi tangki pemasukan dengan air sampai volume tertentu dan volume air pada bak sumber dibuat konstan.
2. Setelah tangki pemasukan terisi air dengan volume tertentu lalu membuka keran pada pipa pemasukan.

3.7 Prosedur Rangkaian Pengambilan Data

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 1 liter dengan stop watch 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 3.6 Diagram Alir

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Data hasil pengujian.

Pada tabel 4.1 sampai tabel 4.6 dibawah ini ditunjukkan hasil pengujian pengaruh jarak antara katup limbah dan tabung tekan terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram :

Tabel 4.1 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Denyutan Katup Limbah (n) (denyut/menit)	P tabung (kg/cm ²)
100	1	78	0,250
	2	76	0,275
	3	77	0,275
	Rata - rata	77	0,267
200	1	73	0,325
	2	70	0,325
	3	73	0,300
	Rata - rata	72	0,317
300	1	67	0,350
	2	69	0,300
	3	68	0,325
	Rata - rata	68	0,325
400	1	66	0,350
	2	65	0,350
	3	64	0,375
	Rata - rata	65	0,358

Tabel 4.2 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Denyutan Katup Limbah (n) (denyut/menit)	P tabung (kg/cm ²)
100	1	67	0,300
	2	68	0,300
	3	66	0,325
	Rata - rata	67	0,308
200	1	60	0,350
	2	63	0,350
	3	63	0,325
	Rata - rata	62	0,342
300	1	58	0,350
	2	59	0,350
	3	57	0,350
	Rata - rata	58	0,350
400	1	56	0,350
	2	55	0,375
	3	54	0,375
	Rata - rata	55	0,367

Tabel 4.3 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Denyutan Katup Limbah (n) (denyut/menit)	P tabung (kg/cm ²)
100	1	58	0,350
	2	57	0,350
	3	56	0,325
	Rata - rata	57	0,342
200	1	53	0,375
	2	51	0,400
	3	52	0,375
	Rata - rata	52	0,383
300	1	48	0,375
	2	49	0,400
	3	47	0,400
	Rata - rata	48	0,392
400	1	45	0,400
	2	45	0,400
	3	42	0,400
	Rata - rata	44	0,400

Tabel 4.4 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Q Air Pemompaan (Qd) (l/menit)	Q Katup Limbah (Qw) (l/menit)	Head Tekan (Hp) (m)	Head Supply (Hs) (m)
100	1	1,750	21,500	2,504	1,5
	2	1,550	21,750	2,754	1,5
	3	1,750	21,250	2,754	1,5
	Rata - rata	1,683	21,500	2,671	1,5
200	1	1,400	24,000	3,255	1,5
	2	1,450	23,500	3,255	1,5
	3	1,475	23,250	3,004	1,5
	Rata - rata	1,442	23,583	3,171	1,5
300	1	1,300	23,500	3,505	1,5
	2	1,350	23,750	3,004	1,5
	3	1,375	23,500	3,255	1,5
	Rata - rata	1,342	23,583	3,255	1,5
400	1	0,950	23,500	3,505	1,5
	2	0,975	24,250	3,505	1,5
	3	0,950	23,750	3,756	1,5
	Rata - rata	0,958	23,833	3,589	1,5

Tabel 4.5 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Q Air Pemompaan (Qd) (l/menit)	Q Katup Limbah (Qw) (l/menit)	Head Tekan (Hp) (m)	Head Supply (Hs) (m)
100	1	1,700	22,000	3,004	1,5
	2	1,725	23,250	3,004	1,5
	3	1,750	23,000	3,255	1,5
	Rata - rata	1,725	22,750	3,088	1,5
200	1	1,600	25,750	3,505	1,5
	2	1,650	27,000	3,505	1,5
	3	1,625	24,250	3,255	1,5
	Rata - rata	1,625	25,667	3,422	1,5
300	1	1,475	26,250	3,505	1,5
	2	1,525	26,000	3,505	1,5
	3	1,550	26,500	3,505	1,5
	Rata - rata	1,517	26,250	3,505	1,5
400	1	1,150	27,000	3,505	1,5
	2	1,100	27,500	3,756	1,5
	3	1,075	27,250	3,756	1,5
	Rata - rata	1,108	27,250	3,672	1,5

Tabel 4.6 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Q Air Pemompaan (Qd) (l/menit)	Q Katup Limbah (Qw) (l/menit)	Head Tekan (Hp) (m)	Head Supply (Hs) (m)
100	1	1,975	27,250	3,505	1,5
	2	1,950	28,000	3,505	1,5
	3	1,975	29,500	3,255	1,5
	Rata - rata	1,967	28,250	3,422	1,5
200	1	1,850	30,500	3,756	1,5
	2	1,875	31,000	4,006	1,5
	3	1,750	30,250	3,756	1,5
	Rata - rata	1,825	30,583	3,839	1,5
300	1	1,700	31,250	3,756	1,5
	2	1,725	30,250	4,006	1,5
	3	1,650	30,500	4,006	1,5
	Rata - rata	1,692	30,667	3,922	1,5
400	1	1,250	32,000	4,006	1,5
	2	1,250	31,250	4,006	1,5
	3	1,325	31,000	4,006	1,5
	Rata - rata	1,275	31,417	4,006	1,5

4.1.2 Contoh perhitungan :

Data yang diperoleh dari pengujian pengaruh jarak antara katup limbah dan tabung tekan terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram adalah :

1. Diambil contoh data dari rata – rata pembebanan 100 g dan jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm :

Beban katup limbah (W)	: 100 (g)
Tekanan tabung tekan (Pt)	: 0.267 (kg/cm ²)
Kapasitas air pemompaan (Qd)	: 1,683 (liter/menit)
Kapasitas air katup limbah (Qw)	: 21,500 (liter/menit)
Ketinggian supply air ke hidram (Hs)	: 1,5 (m)

2. Pengolahan data :

- a. Perhitungan Head Tekan

$$\begin{aligned} P_t &= 0.267 \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = 0,267 \times (9,8 \times 10^4) \text{ (N/m}^2 \text{)} \\ &= 26.113,3 \text{ (N/m}^2 \text{)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_p &= \frac{P_{air} + P_{udara}}{\gamma_{air}} \\ &= \frac{P_{Tabung}}{\rho \cdot g} \frac{N/m^2}{kg/m^3 \cdot m/s^2} \\ &= \frac{26.113,3(N/m^2)}{997,5(kg/m^3) \cdot 9.81(m/s^2)} \\ &= \frac{26.113,3(kg/m^2)}{9785,48(kg/m^3)} \\ &= 2,671 \text{ (m)} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Efisiensi

$$\begin{aligned} Q_d &= 1,683 \text{ (liter/menit)} = \frac{1,683 \times 10^{-3}}{60} \text{ (m}^3/s \text{)} \\ &= 0,0002805 \text{ (m}^3/s \text{)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_w &= 21,500 \text{ (liter/menit)} = \frac{21,500 \times 10^{-3}}{60} \text{ (m}^3/s \text{)} \\ &= 0,0003583 \text{ (m}^3/s \text{)}. \end{aligned}$$

$$H_p = H_d = 2,671 \text{ (m)}.$$

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

$$= \frac{0,00002805 \text{ (m}^3 / \text{s)} \cdot 2,671 \text{ (m)}}{(0,00002805 \text{ (m}^3 / \text{s)} + 0,0003583 \text{ (m}^3 / \text{s)}) \cdot 1,5 \text{ (m)}} \cdot 100(\%)$$

$$= 12,928 (\%)$$



4.1.3 Data hasil perhitungan :

Pada tabel 4.7 sampai 4.14 dibawah ini ditunjukkan data hasil perhitungan pengaruh jarak antara katup limbah dan tabung tekan terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram :

Tabel 4.7 Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Denyutan Katup Limbah (n) (denyut/menit)	P tabung (kg/cm ²)	Head Tekan (H _p) (m)
100	1	78	0,250	2,504
	2	76	0,275	2,754
	3	77	0,275	2,754
	Rata - rata	77	0,267	2,671
200	1	73	0,325	3,255
	2	70	0,325	3,255
	3	73	0,300	3,004
	Rata - rata	72	0,317	3,171
300	1	67	0,350	3,505
	2	69	0,300	3,004
	3	68	0,325	3,255
	Rata - rata	68	0,325	3,255
400	1	66	0,350	3,505
	2	65	0,350	3,505
	3	64	0,375	3,756
	Rata - rata	65	0,358	3,589

Tabel 4.8 Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Denyutan Katup Limbah (n) (denyut/menit)	P tabung (kg/cm ²)	Head Tekan (H _p) (m)
100	1	67	0,300	3,004
	2	68	0,300	3,004
	3	66	0,325	3,255
	Rata - rata	67	0,308	3,088
200	1	60	0,350	3,505
	2	63	0,350	3,505
	3	63	0,325	3,255
	Rata - rata	62	0,342	3,422
300	1	58	0,350	3,505
	2	59	0,350	3,505
	3	57	0,350	3,505
	Rata - rata	58	0,350	3,505
400	1	56	0,350	3,505
	2	55	0,375	3,756
	3	54	0,375	3,756
	Rata - rata	55	0,367	3,672

Tabel 4.9 Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Denyutan Katup Limbah (n) (denyut/menit)	P tabung (kg/cm ²)	Head Tekan (H _p) (m)
100	1	58	0,350	3,505
	2	57	0,350	3,505
	3	56	0,325	3,255
	Rata - rata	57	0,342	3,422
200	1	53	0,375	3,756
	2	51	0,400	4,006
	3	52	0,375	3,756
	Rata - rata	52	0,383	3,839
300	1	48	0,375	3,756
	2	49	0,400	4,006
	3	47	0,400	4,006
	Rata - rata	48	0,392	3,922
400	1	45	0,400	4,006
	2	45	0,400	4,006
	3	42	0,400	4,006
	Rata - rata	44	0,400	4,006

Tabel 4.10 Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Q Air Pemompaan (Q _a) (l/menit)	Q Katup Limbah (Q _w) (l/menit)	Head Tekan (H _p) (m)	Head Supply (H _s) (m)	Efisiensi (η) (%)
100	1	1,750	21,500	2,504	1,5	12,563
	2	1,550	21,750	2,754	1,5	12,214
	3	1,750	21,250	2,754	1,5	13,970
	Rata - rata	1,683	21,500	2,671	1,5	12,928
200	1	1,400	24,000	3,255	1,5	11,960
	2	1,450	23,500	3,255	1,5	12,611
	3	1,475	23,250	3,004	1,5	11,949
	Rata - rata	1,442	23,583	3,171	1,5	12,180
300	1	1,300	23,500	3,505	1,5	12,249
	2	1,350	23,750	3,004	1,5	10,773
	3	1,375	23,500	3,255	1,5	11,994
	Rata - rata	1,342	23,583	3,255	1,5	11,680
400	1	0,950	23,500	3,505	1,5	9,080
	2	0,975	24,250	3,505	1,5	9,032
	3	0,950	23,750	3,756	1,5	9,630
	Rata - rata	0,958	23,833	3,589	1,5	9,248

Tabel 4.11 Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Q Air Pemompaan (Q _d) (l/menit)	Q Katup Limbah (Q _w) (l/menit)	Head Tekan (H _p) (m)	Head Supply (H _s) (m)	Efisiensi (η) (%)
100	1	1,700	22,000	3,004	1,5	14,367
	2	1,725	23,250	3,004	1,5	13,834
	3	1,750	23,000	3,255	1,5	15,343
	Rata - rata	1,725	22,750	3,088	1,5	14,509
200	1	1,600	25,750	3,505	1,5	13,670
	2	1,650	27,000	3,505	1,5	13,458
	3	1,625	24,250	3,255	1,5	13,627
	Rata - rata	1,625	25,667	3,422	1,5	13,582
300	1	1,475	26,250	3,505	1,5	12,432
	2	1,525	26,000	3,505	1,5	12,947
	3	1,550	26,500	3,505	1,5	12,913
	Rata - rata	1,517	26,250	3,505	1,5	12,764
400	1	1,150	27,000	3,505	1,5	9,546
	2	1,100	27,500	3,756	1,5	9,630
	3	1,075	27,250	3,756	1,5	9,502
	Rata - rata	1,108	27,250	3,672	1,5	9,568

Tabel 4.12 Data hasil perhitungan variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm.

Beban (g)	Pengulangan	Q Air Pemompaan (Q _a) (l/menit)	Q Katup Limbah (Q _w) (l/menit)	Head Tekan (H _p) (m)	Head Supply (H _s) (m)	Efisiensi (η) (%)
100	1	1,975	27,250	3,505	1,5	15,792
	2	1,950	28,000	3,505	1,5	15,215
	3	1,975	29,500	3,255	1,5	13,616
	Rata - rata	1,967	28,250	3,422	1,5	14,847
200	1	1,850	30,500	3,756	1,5	14,318
	2	1,875	31,000	4,006	1,5	15,232
	3	1,750	30,250	3,756	1,5	13,692
	Rata - rata	1,825	30,583	3,839	1,5	14,412
300	1	1,700	31,250	3,756	1,5	12,917
	2	1,725	30,250	4,006	1,5	14,408
	3	1,650	30,500	4,006	1,5	13,706
	Rata - rata	1,692	30,667	3,922	1,5	13,671
400	1	1,250	32,000	4,006	1,5	10,040
	2	1,250	31,250	4,006	1,5	10,272
	3	1,325	31,000	4,006	1,5	10,947
	Rata - rata	1,275	31,417	4,006	1,5	10,416

Tabel 4.13 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap head tekan pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm, 15 cm dan 20 cm.

Beban Katup Limbah (g)	n (denyut/menit)			Pt (kg/cm2)			Hp (m)		
	J.K.T	J.K.T	J.K.T	J.K.T	J.K.T	J.K.T	J.K.T	J.K.T	J.K.T
	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
100	77	67	57	0,267	0,308	0,342	2,671	3,088	3,422
200	72	62	52	0,317	0,342	0,383	3,171	3,422	3,839
300	68	58	48	0,325	0,350	0,392	3,255	3,505	3,922
400	65	55	44	0,358	0,367	0,400	3,589	3,672	4,006

Keterangan :

W : Beban Katup limbah (g).

n : Banyaknya denyutan katup limbah (denyutan/menit)

Pt : Tekanan pada tabung tekan (kg/cm2)

Hp : Head tekan pompa hidram (m)

J.K.T : Jarak antara katup limbah dan tabung tekan (cm)

Tabel 4.14 Data hasil penelitian variasi pembebanan terhadap efisiensi pompa hidram untuk jarak katub limbah dan tabung udara sebesar 10 cm, 15 cm dan 20 cm.

Beban Katup	Q _d (l/menit)			Q _w (l/menit)			H _p (m)			H _s (m)			η (%)		
	J.K.T 10 cm	J.K.T 15 cm	J.K.T 20 cm	J.K.T 10 cm	J.K.T 15 cm	J.K.T 20 cm	J.K.T 10 cm	J.K.T 15 cm	J.K.T 20 cm	J.K.T 10 cm	J.K.T 15 cm	J.K.T 20 cm	J.K.T 10 cm	J.K.T 15 cm	J.K.T 20 cm
100	1,683	1,725	1,967	21,500	22,750	28,250	2,671	3,088	3,422	1,500	1,500	1,500	12,928	14,509	14,847
200	1,442	1,625	1,825	23,583	25,667	30,583	3,171	3,422	3,839	1,500	1,500	1,500	12,180	13,582	14,412
300	1,342	1,517	1,692	23,583	26,250	30,667	3,255	3,505	3,922	1,500	1,500	1,500	11,680	12,764	13,671
400	0,958	1,108	1,275	23,833	27,250	31,417	3,589	3,672	4,006	1,500	1,500	1,500	9,248	9,568	10,416

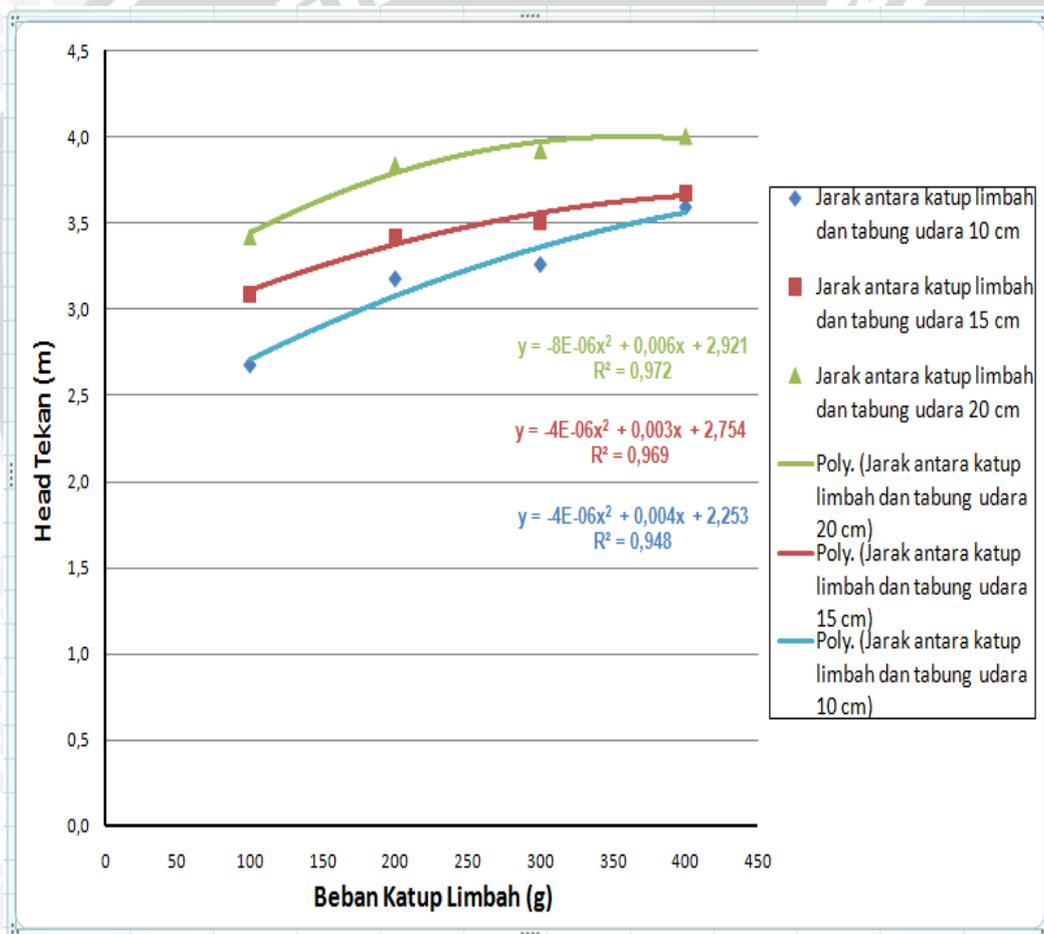
Keterangan :

- W : Beban Katup limbah (g).
- Q_d : Kapasitas air pemompaan (l/menit)
- Q_w : Kapasitas air yang terbuang (l/menit)
- H_p : Tinggi air pemompaan (m)
- H_s : Tinggi supplay air ke padan pompa (m)
- η : Efisiensi pompa hidram (%)
- J.K.T : Jarak antara katup limbah dan tabung tekan (cm)

4.2 Grafik Hasil Perhitungan

Dari data hasil pengujian dengan variasi jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebagai variabel kontrol dan pembebanan katup limbah sebagai variable bebas maka didapatkan karakteristik head tekan dan efisiensi yang berbeda beda. Untuk mempermudah analisis hubungan antara variasi jarak antara katup limbah dan tabung tekan dengan head tekan dan efisiensi pompa hidram, maka data hasil perhitungan tersebut akan digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 sebagai berikut :

4.2.1 Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Head Tekan Pompa Hidram.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Head Tekan Pompa Hidram.

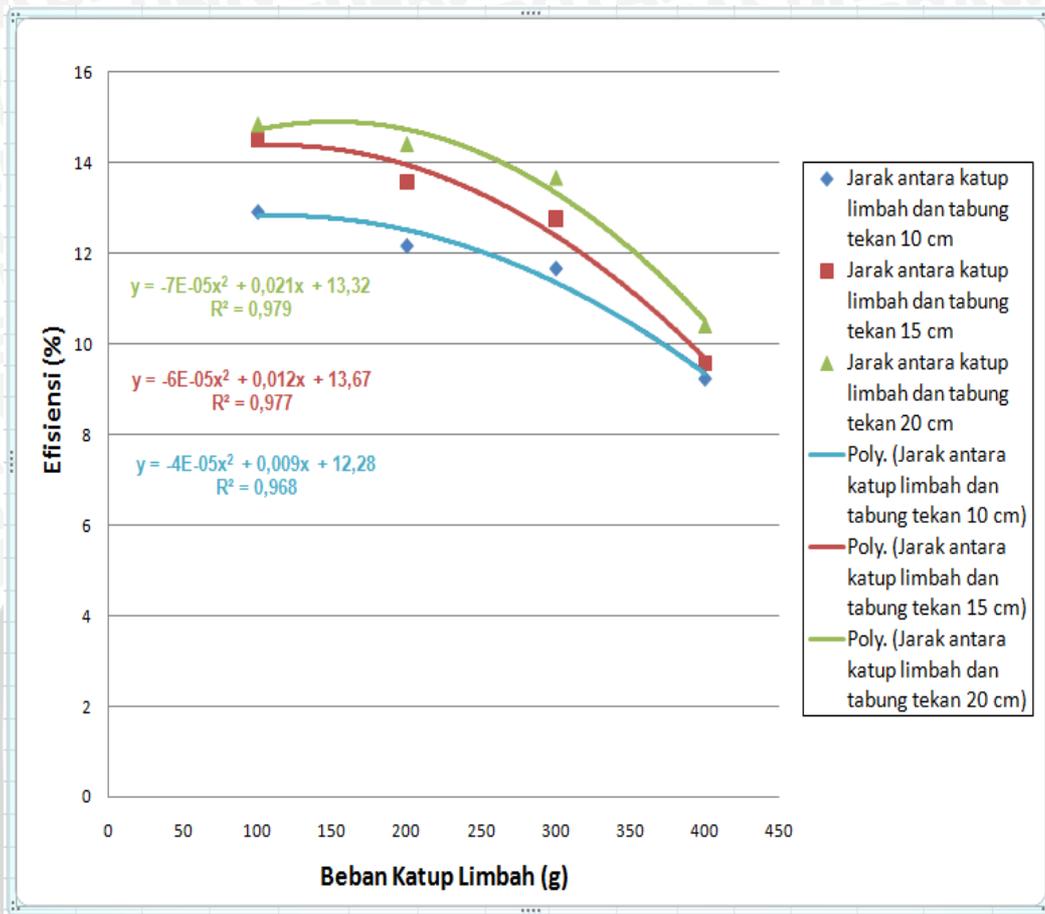
Pada grafik gambar 4.1 terlihat bahwa nilai terendah head tekan terjadi pada jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 10 cm dengan beban katup limbah 100 g yaitu sebesar 2,671 m, dan head tekan akan terus meningkat seiring dengan

peningkatan beban pada katup limbah. Hal ini juga berlaku pada grafik untuk variasi jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm dan 20 cm. Nilai head tekan tertinggi terjadi pada jarak katup limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm dengan beban katup limbah 400 g yaitu sebesar 4,006 m. Semakin besar beban katup limbah maka peningkatan tekanan akibat efek *water hammer* pada pompa hidram akan semakin besar. Ini mengakibatkan tekanan untuk memompa air semakin besar juga. Semakin besar peningkatan tekanan akibat efek *water hammer* maka semakin besar tekanan pada tabung tekan sehingga juga meningkatkan head tekan pompa hidram.

Kemudian untuk peningkatan jarak antara katup limbah dan tabung tekan pada beban yang sama, terlihat bahwa terjadi peningkatan head tekan seiring meningkatnya jarak antara katup limbah dan tabung tekan. Hal ini disebabkan semakin besarnya jarak antara katup limbah dan tabung tekan akan membuat volume air dalam badan pompa yang menerima efek *water hammer* akan semakin besar, dengan volume air yang lebih besar maka massa air untuk melakukan *water hammer* semakin besar sehingga perubahan momentumnya akan membesar juga. Dengan momentum besar maka gaya yang dihasilkan juga akan tambah besar karena gaya adalah momentum per satuan waktu. Dengan gaya yang lebih besar dan bekerja pada luas penampang yang sama maka akan menghasilkan tekanan yang lebih besar. Apabila tekanan yang dihasilkan dari *water hammer effect* semakin besar maka massa air yang masuk pada tabung tekan semakin besar, maka akan semakin besar pula tekanan pada tabung tekan sehingga nilai head tekan pompa akan meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan head tekan pompa

$$H_p = \frac{P_{\text{tabung}}}{\gamma_{\text{air}}}$$

4.2.2 Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Efisiensi Pompa Hidram.

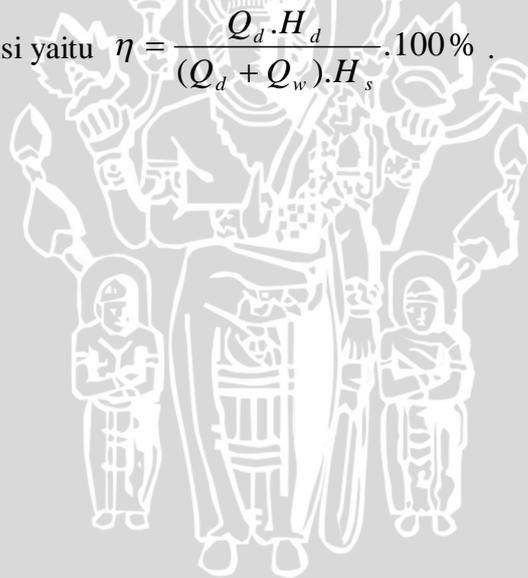


Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Beban Katub Limbah dan Variasi Jarak antara Katup Limbah dan Tabung Tekan Terhadap Efisiensi Pompa Hidram.

Pada grafik gambar 4.2 terlihat bahwa nilai efisiensi terkecil terjadi pada pembebanan katup limbah sebesar 400 g untuk jarak antara katup limbah dan tabung tekan 10 cm yaitu sebesar 9,248 % dan efisiensi akan terus meningkat seiring dengan penurunan beban pada katup limbah. Hal ini juga berlaku pada grafik untuk variasi jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 15 cm dan 20 cm. Nilai efisiensi tertinggi terjadi pada jarak katup limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm dengan pembebanan katup limbah 100 g yaitu sebesar 14,847 %. Dengan pengurangan beban pada katup limbah maka debit yang dihasilkan dari proses pemompaan akan semakin besar dan head tekan akan semakin kecil. Nilai efisiensi dapat naik seiring dengan penurunan beban katup limbah karena efek peningkatan debit air pemompaan lebih besar daripada efek penurunan head tekan sehingga nilai efisiensi dapat meningkat.

Untuk variasi jarak antara katup limbah dan tabung tekan, semakin meningkatnya jarak antara katup limbah dan tabung tekan pada beban yang sama efisiensi cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya jarak antara katup limbah dan tabung tekan akan membuat volume air dalam badan pompa yang menerima efek *water hammer* akan semakin besar, dengan volume air yang lebih besar maka massa air untuk melakukan *water hammer* semakin besar sehingga perubahan momentumnya akan membesar pula. Dengan momentum yang terjadi semakin besar maka gaya yang dihasilkan juga akan bertambah besar karena gaya adalah momentum per satuan waktu. Dengan gaya yang lebih besar dan bekerja pada luas penampang yang sama maka akan menghasilkan tekanan yang lebih besar. Apabila tekanan yang dihasilkan dari *water hammer effect* semakin besar maka massa air yang masuk pada tabung tekan semakin besar, dan akan semakin besar pula tekanan pada tabung tekan sehingga nilai head tekan pompa akan meningkat. Dengan meningkatnya nilai head tekan pompa hidram maka semakin tinggi pula nilai efisiensi pompa hidram yang dihasilkan. Hal ini sesuai

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



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan perhitungan pada bab sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar jarak antara katup limbah dan tabung tekan mengakibatkan nilai head tekan pada pompa hidram semakin meningkat. Head tekan paling besar didapatkan pada pembebanan katup limbah sebesar 400 g dan jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm dengan nilai head tekan tertinggi yaitu sebesar 4,006 m. Serta semakin besar jarak antara katup limbah dengan tabung tekan juga menyebabkan efisiensi pompa hidram semakin meningkat pula. Efisiensi terbesar didapat pada pembebanan katup limbah sebesar 100 g dan jarak antara katup limbah dan tabung tekan sebesar 20 cm dengan nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 14,847 % .

5.2 Saran

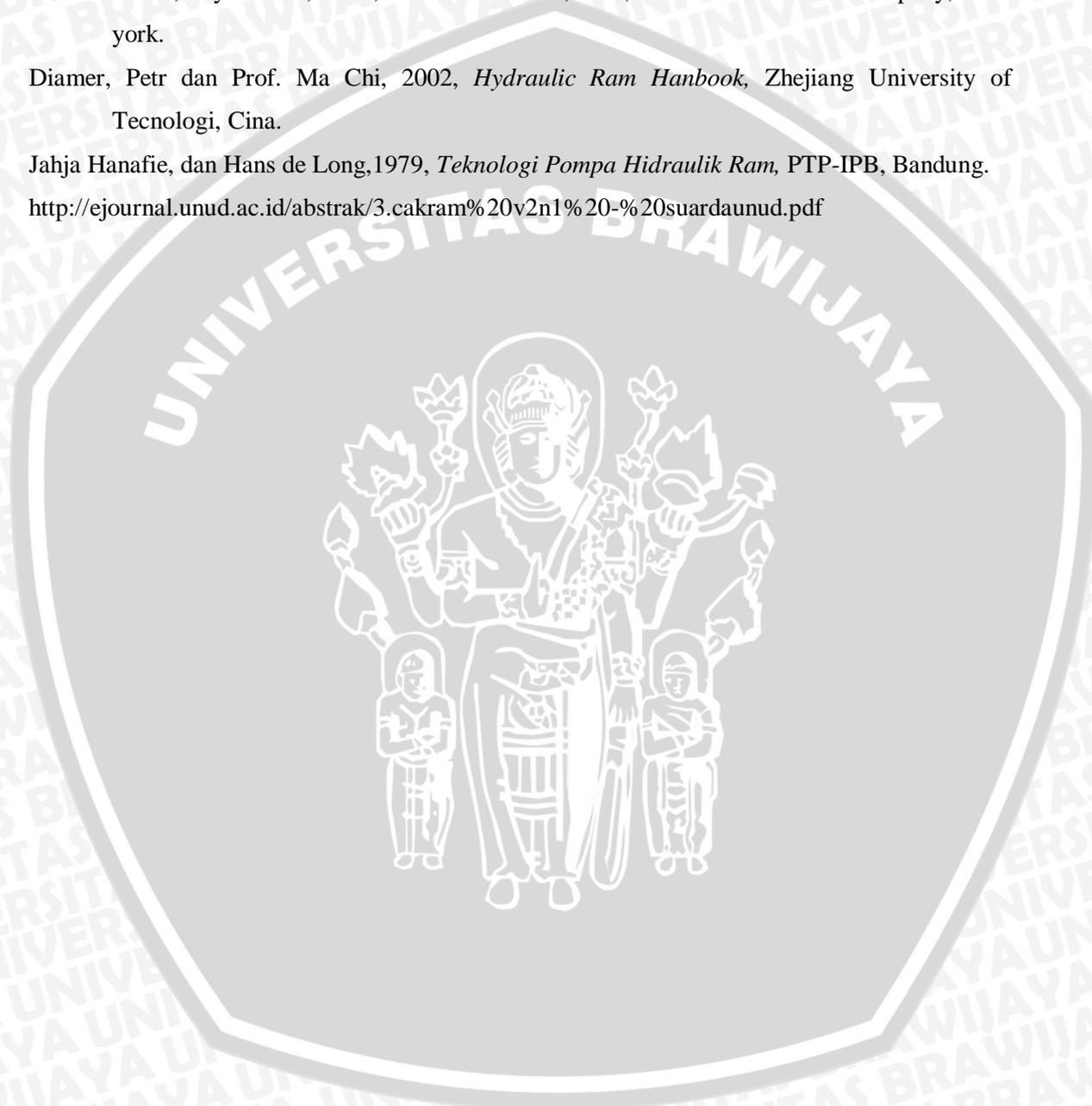
Dari seluruh rangkaian proses yang telah dilalui dalam pengerjaan skripsi ini, dapat kami berikan saran sebagai berikut :

1. Untuk selanjutnya hendaknya dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang jarak katup limbah dan tabung udara dengan variasi jarak yang lebih besar untuk mengetahui head tekan dan efisiensi pompa hidram.
2. Untuk selanjutnya hendaknya dilakukan penelitian yang lebih mendalam dengan menggunakan berbagai jenis katup penghantar terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram.
3. Untuk selanjutnya agar dilakukan penelitian yang lebih mendalam pada efek sudut elevasi pipa tangki sumber terhadap head tekan dan efisiensi pompa hidram.



DAFTAR PUSTAKA

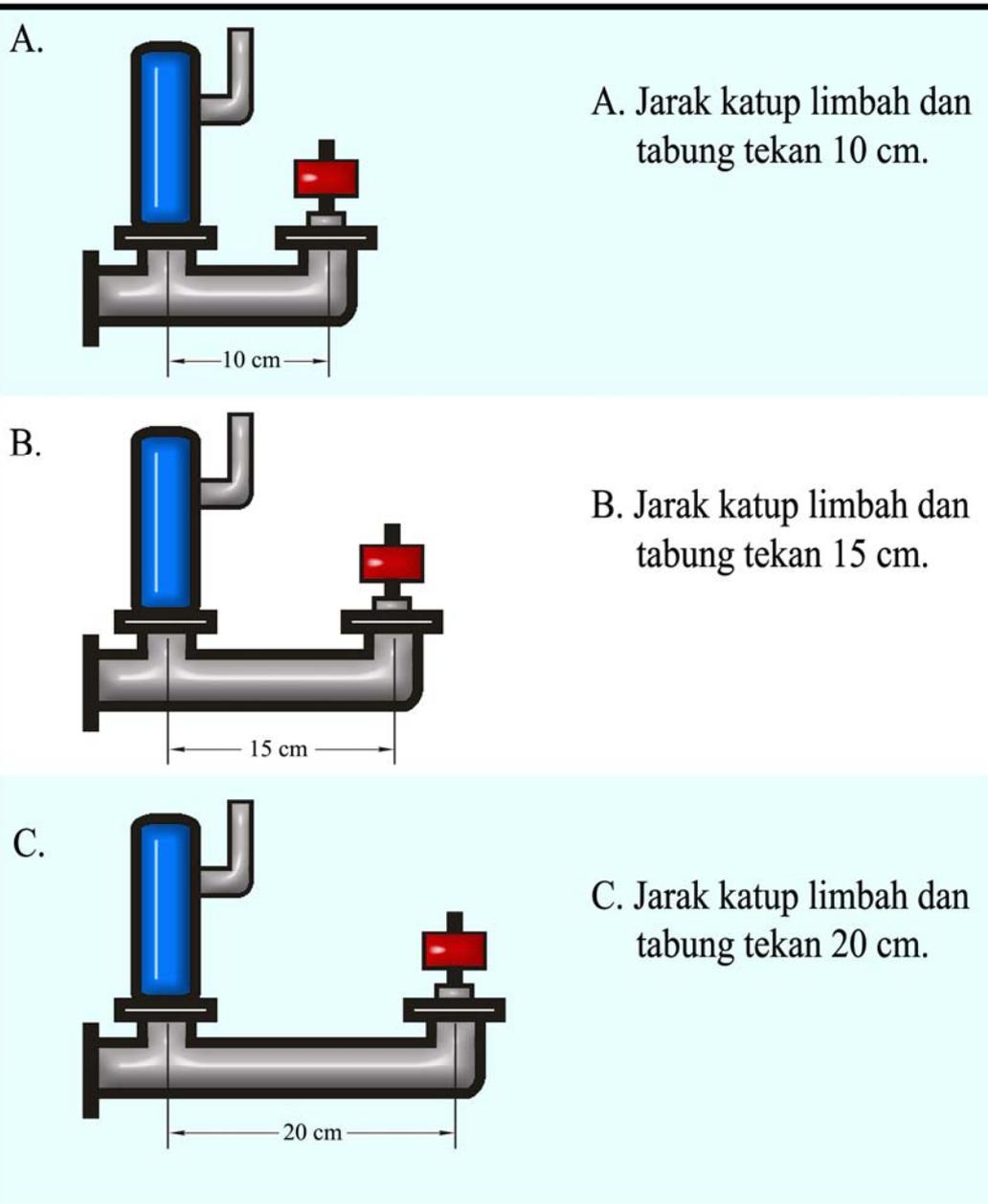
- Sularso, dan Hanuro Tahara, 1987, *Pompa dan Kompresor Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*, Penerbit Pradya Pranita, Jakarta.
- Torishima, 1968, *Torishima Pump Head Book*, Penerbit Torishima Pump. MFG. Co. Ltd.
- Streeter V. L., Wylie E.B., 1975, *Fluid Mechanics*, 6-ed, McGraw-Hill book Company, New York.
- Diamer, Petr dan Prof. Ma Chi, 2002, *Hydraulic Ram Handbook*, Zhejiang University of Teknologi, Cina.
- Jahja Hanafie, dan Hans de Long, 1979, *Teknologi Pompa Hidraulik Ram*, PTP-IPB, Bandung.
- <http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/3.cakram%20v2n1%20-%20suardaunud.pdf>



Lampiran 1. Foto instalas pompa hidram.



Lampiran 2. Jarak katup limbah dan tabung tekan.



Lampiran 3. Tabel rapat massa air.

Temperature - t - (°C)	Density - ρ - (kg/m ³)	Specific Weight - γ - (kN/m ³)
0	999.9	9.806
5	1000	9.807
10	999.7	9.804
20	998.2	9.789
30	995.7	9.765
40	992.2	9.731
50	988.1	9.690
60	983.2	9.642
70	977.8	9.589
80	971.8	9.530
90	965.3	9.467
100	958.4	9.399

