

**(UJIAN SKRIPSI)**

**STUDI TINGGI TEKANAN WATER HAMMER TERHADAP TINGGI  
TEKAN LEMPARAN DEBIT PADA POMPA HIDRAM.**

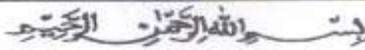


Oleh :

ANDI MUH. MASDAR R. : 10581 01311 10

MUH. TASDHIM : 10581 01339 10

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL PENGAIRAN  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2016**



PENGESAHAN

Skripsi atas nama Andi Muh. Masdar R. dengan nomor induk Mahasiswa 105 810 1311 10 dan Muh. Tasdhim dengan nomor induk Mahasiswa 105 810 1339 10 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 080/05/A-2-11/1/37/2016, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 16 Januari 2016

Makassar, 20 Rajab 1437 H / 28 April 2016 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar  
Dr. H. Irwan Akib, M.Pd. ....
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME .....

2. Penguji

- a. Ketua : Ir. H. Waruddin Laining, MS .....
- b. Sekretaris : Nenny T. Karim, ST., MT .....

3. Anggota

- : 1. Ir. H. Abd. Rakhim Nenda, MT .....
- 2. Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT .....
- 3. Hj. Arsyuni AM., ST., MT .....

Mengetahui :

Pembimbing I

Ir. H. Andi Rahmat, MT

Pembimbing II

Ir. Mahmuddin, ST. MT

Ketua Program Studi  
Teknik Pengairan

Muh. Syafaat S Kuba, ST.  
NBM : 975 288



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **STUDI TINGGI TEKANAN WATER HAMMER TERHADAP TINGGI TEKAN LEMPARAN DEBIT PADA POMPA HIDRAM.**

Nama : Andi Muh. Masdar R.  
Muh. Tasdhim

Stambuk : 105 810 1314 10  
105 810 1339 10

Makassar, 28 April 2016

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. H. Andi Fiahmat, MT.

Ir. Mahmuddin, ST. MT.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Muh. Syafaat S. Kuba, ST.

NBM : 975 288

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun Makalah Ujian Seminar Hasil ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun Judul Proposal Penelitian kami adalah: "**STUDI TINGGI TEKANAN WATER HAMMER TERHADAP TINGGI TEKAN LEMPARAN DEBIT PADA POMPA HIDRAM.**"

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Tugas ini terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan

kerendahan hati, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak **Dr. Irwan Akib, M.pd.** sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak **Hamzah Al Imran, ST., MT.** sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak **Muh. Syafaat S. Kuba, ST.** sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak **Ir. Andi Rahmat, MT.** selaku Pembimbing I dan Bapak **Mahmuddin, ST.,MT.** selaku pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya tugas akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Ayahanda, Ibunda dan Saudara-saudaraku yang tercinta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a, dorongan dan pengorbanannya.
7. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik, terkhusus Saudaraku Angkatan 2010 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan proposal penelitian yang sederhana

ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin.

Makassar, 12 September 2015



## DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....               | i       |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....         | ii      |
| <b>KETERANGAN PERBAIKAN</b> .....        | iii     |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....              | iv      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                  | vii     |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                | x       |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....               | xi      |
| <b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> ..... | xiii    |
| <b>BAB I      PENDAHULUAN</b>            |         |
| A. Latar Belakang.....                   | 1       |
| B. Rumusan Masalah .....                 | 2       |
| C. Tujuan Penelitian .....               | 2       |
| D. Manfaat Penelitian .....              | 3       |
| E. Batasan Masalah .....                 | 3       |
| F. Sistematika Penulisan.....            | 4       |
| <b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA</b>       |         |
| A. Penelitian Terdahulu .....            | 6       |
| B. Aliran Tertutup.....                  | 7       |
| C. Pompa Hidram .....                    | 17      |

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>BAB III</b> | <b>METODE PENELITIAN</b>  |    |
|                | A. Lokasi dan Waktu Penelitian .....  | 23 |
|                | B. Jenis Penelitian dan Sumber Data .....   | 23 |
|                | C. Alat dan Bahan.....  | 24 |
|                | D. Variabel yang diteliti.....  | 27 |
|                | E. Prosedur Penelitian.....   | 28 |
|                | F. Analisa Data .....   | 29 |
|                | G. Flow chart penelitian dan eksperimental .....  | 31 |
| <b>BAB IV</b>  | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>   |    |
|                | A. Data Hasil Pengamatan .....  | 32 |
|                | B. Analisa Hasil .....  | 38 |
|                | C. Pembahasan .....   | 43 |
|                | 1. Pengaruh Tinggi Datum dengan Kapasitas Aliran Tinggi Tekan Maksimum Pada Pompa Hidram..... | 43 |
|                | 2. Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Tekanan Water Hammer .....                              | 45 |
|                | 3. Pengaruh Beda Tinggi Tekanan antara Tekanan Yang Diukur Dengan Tekanan yang Di hitung..... | 47 |

**BAB IV      PENUTUP**

|                     |    |
|---------------------|----|
| A. Kesimpulan ..... | 50 |
| B. Saran.....       | 51 |

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

| Nomor  | Halaman |
|--|---------|
| 1. Koefisien Kekasaran Mutlak, $\varepsilon$ .....           | 12      |
| 2. Modulus Elastisitas Bulk dan Kerapatan Massa Fluida ..... | 12      |
| 3. Modulus Elastisitas Bahan Pipa .....                      | 16      |
| 3. sifat-sifat air pada tekanan atmosfer .....               | 17      |
| 4. Tabel Penelitian .....                                    | 28      |
| 5. Hasil Penelitian Tekanan Water Hammer .....               | 32      |
| 9. Hasil perhitungan dengan persamaan Bernoulli .....        | 41      |
| 10. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran.....                  | 42      |



## DAFTAR GAMBAR

| Nomor   | Halaman |
|---|---------|
| 1. Aliran Laminer , Kritik , dan Turbulen .....   | 9       |
| 2. Efek Water Hammer .....  | 13      |
| 3. Prinsip Kerja Hidram .....   | 19      |
| 4. Model Penelitian .....   | 24      |
| 5. Sketsa Pompa Hidram .....  | 25      |
| 6. Bahan yang digunakan .....   | 26      |
| 7. Peralatan yang digunakan .....   | 27      |
| 8. Alur penelitian dan Eksperimental .....  | 31      |
| 10. Beda Tekanan Antara Tekanan Water Hammer Dengan Tekanan Tetap.....  | 33      |
| 17. Hubungan Tekanan water hammer ( $P_1$ ) Hammer terhadap Tinggi Lemparan Debit. ....                         | 35      |
| 18. Hubungan Tekanan water hammer ( $P_2$ ) Hammer terhadap Tinggi Lemparan Debit. ....                         | 37      |
| 19. Hubungan Tinggi Tekanan Water Hammer terhadap Kapasitas Aliran Tinggi Tekan Maksimum Pada Pompa Hidram..... | 43      |
| 20. Hubungan Kecepatan Aliran Sebelum Katub Tertutup Terhadap Tekanan Water Hammer .....                        | 45      |
| 21. Hubungan Kecepatan Aliran Pada Saat Katub Tertutup Terhadap Tekanan Water Hammer.....                       | 46      |

22. Hubungan Beda Tinggi Tekanan antara Tekanan Yang Di  
Ukur Dengan Tekanan Yang Dihitung.. ..... 47



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN



|               |   |   |
|---------------|---|---|
| $L$           | = | Panjang pipa (m)                                  |
| $D$           | = | Diameter pipa (m)                                 |
| $A$           | = | Luas penampang pipa ( $m^2$ )                     |
| $T$           | = | suhu ( $^{\circ}C$ )                              |
| $k_m$         | = | Koefisien kehilangan pada bagian keluar pipa      |
| $\varepsilon$ | = | Nilai kekasaran mutlak (mm)                       |
| $\nu$         | = | Kekentalan kinematik ( $m^2/detik$ )              |
| $R$           | = | Bilangan Reynolds                                 |
| $V_s$         | = | Kecepatan aliran balik (m/s)                      |
| $K$           | = | Modulus bulk air (N/m)                            |
| $\rho$        | = | Massa jenis air ( $kg/m^3$ )                      |
| $c$           | = | Kecepatan rambat gelombang (m/s)                  |
| $\gamma$      | = | Berat jenis air ( $kg/m^2s^2$ )                   |
| $Z$           | = | Ketinggian datum (m)                              |
| $h_m$         | = | Kehilangan tinggi pada lubang keluar pipa (m)     |
| $h_f$         | = | Kehilangan tinggi oleh tahanan permukaan pipa (m) |
| $E$           | = | Modulus elastisitas pipa (pa)                     |
| $E_v$         | = | Modulus elastisitas pipa (pa)                     |
| $e$           | = | Ketebalan dinding pipa                            |
| $v_1$         | = | Kecepatan aliran di pipa hulu (m/det)             |
| $v_2$         | = | Kecepatan aliran di pipa hilir (m/det)            |

$h$  = Tinggi tekanan (m)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Pompa hidram (*Hydraulic Ram Pump*) telah digunakan semenjak dua abad lalu di banyak tempat di dunia. Pompa hidram pertama kali ditemukan oleh Jhon Whiteshurt pada tahun 1775 (Tri Adi Sisiwanto, 2014). Pada awalnya pompa hidram sangat populer karena kemudahan dan kesederhanaan dalam perawatannya. Namun karena perkembangan teknologi yang sangat pesat dan juga tingkat ketergantungan terhadap listrik semakin tinggi, pompa hidram mulai diabaikan. Seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap peralatan-peralatan yang menggunakan energi yang dapat diperbarui, pompa hidram mulai dilirik kembali. Pompa hidram berasal dari kata *Hydraulic Ram Pump* yang berarti pompa air dengan tenaga hantaman dari sistem hidraulika. Pompa hidram bekerja tanpa menggunakan energi listrik, bahan bakar ataupun tambahan energi dari luar. Pompa hidram memanfaatkan tenaga aliran yang jatuh dari sumber air untuk menciptakan tekanan hidrolis di dalam pompa. Energi dari aliran air yang jatuh di dalam pipa lurus tersebut berupa energi potensial yang dimanfaatkan menjadi tekanan dinamis sehingga mengakibatkan terciptanya hantaman air dan terjadilah tekanan tinggi di dalam pompa. Tekanan tinggi yang timbul dapat menghantarkan air ke tempat yang lebih tinggi. Pompa hidram ini mampu bekerja selama dua

puluh empat jam perhari. Perawatannyapun relatif mudah dan juga sangat sederhana.

Desa Bissoloro merupakan salah satu desa terpencil yang dimiliki oleh Kab. Gowa. dimana ketersediaan air baku di desa tersebut masih sangat memperhatikan. Masyarakat di desa ini umumnya memakai air sungai dan sebagian juga memakai mata air dari pegunungan sebagai sumber air baku. Untuk menanggulangi penyediaan air baku di desa tersebut kami bermaksud untuk membuat alat yang kami maksud diatas.

Mengingat akan pentingnya kegunaan alat yang disebut di atas, maka dari itu kami akan mencoba melakukan uji eksperimental terkait tentang. **“Studi Tinggi Tekanan Water Hammer Terhadap Tinggi Tekan Lemparan Debit Pada Pompa Hidram”**.

### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- 1). Bagaimana pengaruh tekanan *water hammer* terhadap debit aliran keluar?
- 2). Berapa besar tekanan *water hammer* yang terjadi?

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah sebagaimana yang diuraikan di atas, maka penulis merumuskan tujuan penelitian sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui pengaruh tekanan *water hammer* terhadap tinggi tekan lemparan debit aliran keluar.
- 2) Untuk mengetahui tekanan *water hammer* yang terjadi.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mendapatkan pengetahuan dan referensi tentang tekanan *water hammer* pada saluran tertutup.
- 2) Mengembangkan teknologi terbaru untuk penyediaan air baku.
- 3) Mengembangkan penggunaan tenaga air untuk penyediaan air baku.
- 4) Hasil penelitian ini penerapannya akan di manfaatkan di Desa Bissoloro Kec. Bungaya.

#### **E. Batasan Masalah**

Untuk menghindari pembahasan di luar cakupan studi dan untuk lebih terarahnya penelitian ini dengan tujuan yang ingin dicapai, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

- a). Penelitian ini bersifat eksperimental dengan metode uji coba.
- b). Supaya mendekati karakter aliran air sesuai dengan sumber mata air alam, penelitian ini menggunakan air yang bersumber dari sumur dangkal.
- c). Penelitian ini di fokuskan pada pengamatan tekanan *water hammer*
- d). Penelitian ini menggunakan karakter aliran sesuai dengan simulasi.

## F. Sistematika Penulisan

Penulisan ini merupakan susunan yang serasi dan teratur oleh karena itu dibuat dengan komposisi bab-bab mengenai pokok-pokok uraian sehingga mencakup pengertian tentang apa dan bagaimana, jadi sistematika penulisan diuraikan sebagai berikut:

BAB I. Merupakan bab pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. Merupakan tinjauan pustaka yang memuat secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah yang meliputi tentang, pompa hidran, water hammer dan aliran tertutup

BAB III. Merupakan metodologi penelitian yang menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian serta tahap-tahap dalam proses penelitian di lapangan, dimulai dari perakitan pompa hidran, dan pengambilan data pada kondisi yang bervariasi.

BAB IV. Merupakan Analisa Hasil dan Pembahasan yang menguraikan tentang hasil- hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat

deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh. Sedangkan pada bagian pembahasan adalah mengolah data hasil penelitian dengan tujuan untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB V. Merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran-saran dari penulis yang berkaitan dengan faktor pendukung dan faktor penghambat yang dialami selama penelitian berlangsung, yang tentunya diharapkan agar penelitian ini berguna untuk ilmu aplikasi rekayasa khususnya perakitan pompa hidran dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Penelitian Terdahulu

Eksperimental fenomena *water hammer* telah dilakukan dalam beberapa eksperimen yang sebelumnya yang bertujuan untuk menentukan karakteristik fenomena *water hammer*. Penelitian yang dilakukan oleh Andri Bagus Santoso (2003) mengenai pengaruh variasi *lyre* dan waktu penutupan valve terhadap karakteristik *water hammer* didapatkan kesimpulan bahwa penutupan valve outlet yang lebih cepat menyebabkan deformasi pipa yang lebih besar, serta pengaruh *lyre* dengan rasio a/b yang lebih besar memberikan kontribusi pengurangan efek *water hammer* pada dinding pipa yang lebih besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Feri Setiawan Efendi (2003) mengenai pengaruh variasi tumpuan dan waktu penutupan valve terhadap karakteristik *water hammer* didapatkan kesimpulan bahwa penutupan valve yang lebih cepat akan mengakibatkan peningkatan tekanan dan deformasi pipa yang semakin besar, serta jarak tumpuan yang lebih lebar akan mempermudah terjadinya defleksi.

Penelitian yang dilakukan oleh Tri Adi Sisiwanto, dan Hari Prastowo (2014) mengenai Analisa Pengaruh *Water Hammer* Terhadap Nilai Strees Pipa Pada Sistem Loading-Offloading didapatkan kesimpulan bahwa Dari hasil analisa diketahui bahwa kenaikan tekanan akibat fenomena *water hammer* sangat mempengaruhi naiknya nilai tegangan pada pipa. Hasil

analisa menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi ketika fenomena *water hammer* masih dapat diterima, tetapi kenaikan tekanan ketika terjadi fenomena *water hammer* melebihi dari batas yang diizinkan sehingga perlu dilakukan prosedur penutupan katup yang sesuai untuk menjaga agar pada saat dioperasikan pipa dalam kondisi aman.

## **B. Aliran Saluran Tertutup**

### **1. Jenis-jenis Aliran**

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang di alirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan dipermukaan zat cair disepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada pipa adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka. Misalnya

aliran air pada gorong-gorong. Pada kondisi saluran penuh air, desainnya harus mengikuti kaidah aliran pada pipa, namun bila mana aliran air pada gorong-gorong didesain tidak penuh maka sifat alirannya adalah sama dengan aliran pada saluran terbuka. Perbedaan yang lainnya adalah saluran terbuka mempunyai kedalaman air ( $y$ ), sedangkan pada pipa kedalaman air tersebut ditransformasikan berupa ( $P/y$ ). Oleh karena itu konsep analisis aliran pada pipa harus dalam kondisi pipa terisi penuh dengan air.

Zat cair riil didefinisikan sebagai zat yang mempunyai kekentalan, berbeda dengan zat air ideal yang tidak mempunyai kekentalan. Kekentalan disebabkan karena adanya sifat kohesi antara partikel zat cair. Karena adanya kekentalan zat cair maka terjadi perbedaan kecepatan partikel dalam medan aliran. Partikel zat cair yang berdampingan dengan dinding batas akan diam (kecepatan nol) sedang yang terletak pada suatu jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak dari dinding batas. Aliran zat cair riil disebut juga aliran viskos.

Aliran viskos adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas). Viskositas terjadi pada temperature tertentu. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi.

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam yaitu aliran laminar dan turbulen. Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan atau kekentalan besar. Apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel-partikel zat cair bergerak secara tidak teratur.



Gambar 2.3. Aliran Laminar (a), Kritik (b), dan Turbulen (c)

Gambar 1. Aliran Laminar (a), Kritik (b), dan Turbulen (c)

Pengaruh kekentalan adalah sangat besar sehingga dapat meredam gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang, yang sampai pada suatu batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari laminar ke turbulen.

Pada aliran turbulen gerak partikel-partikel zat cair tidak teratur. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan zat cair kecil.

## 2. Water Hammer

*Water hammer* adalah fenomena di mana suatu aliran fluida dihentikan secara tiba-tiba, baik itu disengaja (misalnya saluran ditutup tiba-tiba) atau karena mampet. Fenomena ini hanya terjadi pada saluran tertutup (pipa dsb). Ketika fluida dihentikan gerakannya secara tiba-tiba, tekanan akan terkumpul di ujung dekat dengan lokasi di mana aliran terhambat, sehingga tekanan akan terakumulasi di mana ketika itu aliran di belakangnya tidak terhentikan sehingga fluida menekan penampang saluran dan pecah.

Fenomena dalam sistem perpipaan mempunyai dampak negatif dengan selang waktu tertentu, *water hammer* adalah fenomena dimana dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanggulangan yang tidak tepat terhadap dampak tersebut dapat mengakibatkan instalasi tersebut harus dimatikan (*shutdown*). Misalnya bila sebuah pompa sedang bekerja tiba-tiba mati (karena dimatikan atau listrik padam), maka aliran air akan terhalang impiler sehingga mengalami perlambatan yang mendadak. Di sini terjadi lonjakan tekanan pada pompa dan pipa seperti peristiwa penutupan katup secara tiba-tiba. Lonjakan tekanan juga dapat terjadi jika pompa dijalankan dengan tiba-tiba atau katup dibuka secara cepat. Besarnya lonjakan atau jatuhnya tekanan karena benturan air, tergantung

pada : laju perubahan kecepatan aliran. Dalam hal katup tergantung pada kecepatan penutupan katup atau pembukaan katup dan dalam hal pompa tergantung cara menjalankan dan menghentikan pompa. Selain itu panjang pipa, kecepatan aliran dan karakteristik pompa, merupakan faktor-faktor yang sangat menentukan besarnya lonjakan atau jatuhnya tekanan karena pukulan air.

Peristiwa palu air (*water hammer*) terjadi pada jaringan pipa dengan sistem pengaliran tertekan. Peristiwa tersebut berupa perubahan tekanan yang terjadi karena perubahan kecepatan aliran di dalam pipa secara mendadak, misal karena penutupan katup, perubahan beban pada turbin hidraulik, dan sebagainya. Tekanan palu air tersebut merambat sepanjang jaringan pipa dengan kecepatan suara. Untuk menghindari rusaknya pipa atau peralatan hidraulik lainnya, maka sistem jaringan pengaliran tertekan harus dirancang untuk menerima tekanan oleh palu air tersebut. Peristiwa palu air tersebut merupakan peristiwa pengaliran tak tetap (*transient flow*), persamaan dasarnya merupakan persamaan diferensial parsial fungsi waktu dan tempat.

*Water Hammer* dapat terjadi pada setiap fluida, baik pada gas maupun pada air selama koefisien ekspansi termal dan volume spesifiknya memungkinkan, karena semua hal itulah yang menentukan apakah dengan temperatur dan tekanan tertentu suatu fluida dapat memberikan fenomena water hammer.

Tabel 1. Koefisien kekasaran mutlak,  $\varepsilon$ 

| Bahan   | Nilai $\varepsilon$ dalam mm |
|---|------------------------------|
| Kuningan, timah, gelas, semen yang diaduk secara sentrifugal lapisan batu bara. | 0.0015                       |
| Baja yang diperdagangkan atau besi tempa, pipa baja yang dilas.                 | 0.046                        |
| Polyvinyl choride (PvC)   | 0.05                         |
| Besi cor diaspal  | 0.12                         |
| Besi berlapis seng (galvanisir)   | 0.15                         |
| Besi cor  | 0.26                         |
| Papan dari kayu   | 0.18 – 0.9                   |
| Beton   | 0.3 - 3                      |
| Baja dikeling   | 9                            |

Sumber: Buku kehilangan energi pada pipa

Tabel 2. Modulus Elastisitas Bulk dan Kerapatan massa fluida

| Liquid        | Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Kerapatan massa $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ ) | Modulus Elastisitas Bulk, K (Gpa) |
|---------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| Benzene       | 15                                | 880  | 1,05                              |
| Ethyl alcohol | 0                                 | 790  | 1,32                              |
| Glycerin      | 15                                | 1260                                       | 4,43                              |
| Kerosin       | 20                                | 804  | 1,32                              |
| Mercury       | 20                                | 13570                                      | 26,2                              |
| Oil           | 15                                | 900  | 1,5                               |
| Air tawar     | 20                                | 999  | 2,19                              |
| Air laut      | 15                                | 1025                                       | 2,27                              |

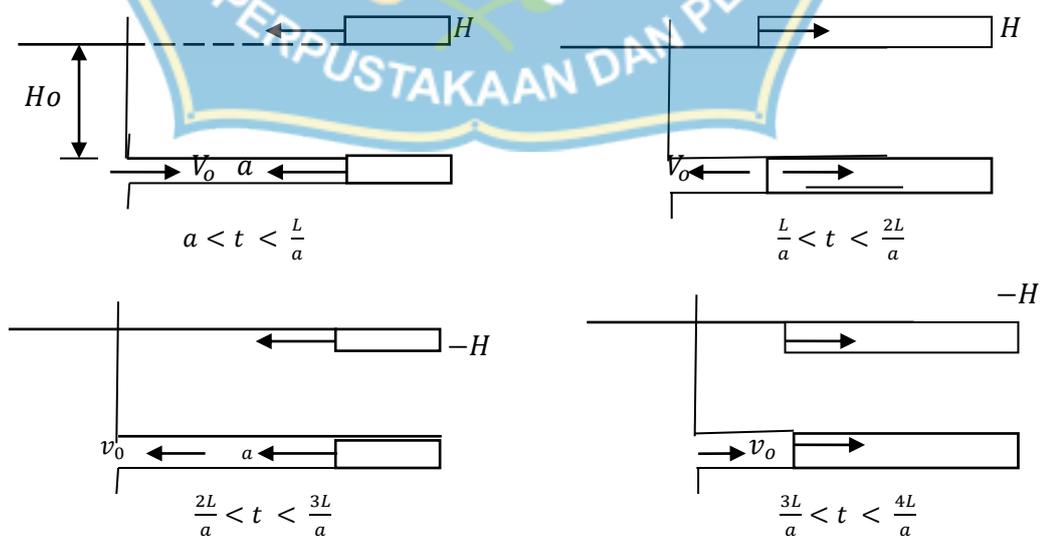
Sumber: Buku persamaan aliran transien pada saluran tertutup

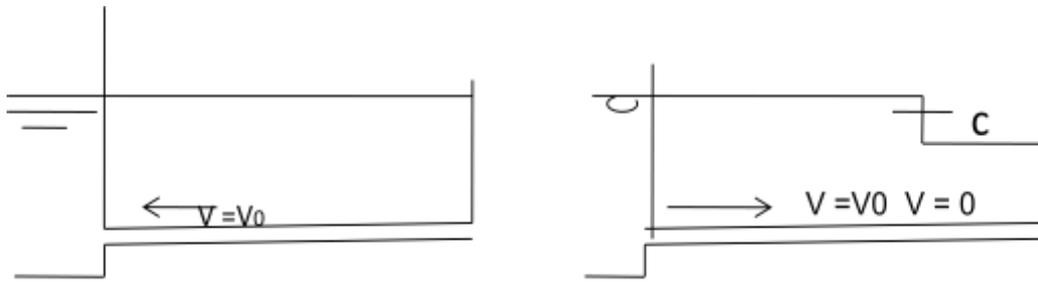
### 3. Efek Water Hammer dan Cara Pencegahannya

Bila kecepatan aliran massa air di dalam saluran pipa dikurangi atau dihentikan sama sekali, maka akan menimbulkan kenaikan tekanan di dalam pipa tersebut. Tekanan ini terjadi karena adanya kejutan aliran akibat perubahan energi kinetis massa air yang mengalir menjadi energi

regangan. Fenomena ini dikenal dengan nama pukulan air (water hammer). Energi regangan yang terjadi disamping diserap oleh massa air, juga diserap oleh dinding pipa untuk proses kompresi baik secara longitudinal maupun secara tangensial.

Proses kompresi ini menjalar disepanjang pipa sebagai gelombang tekanan dan bergerak dengan kecepatan gelombang suara melalui medium air di dalam saluran pipa. Kenaikan tekanan yang menimbulkan kompresi pada dinding saluran pipa dapat menyebabkan saluran pipa pecah. Karena itu perlu dibangun suatu konstruksi instalasi pipa yang dapat mengurangi kenaikan tekanan, sehingga efek water hammer yang mungkin timbul dapat dikurangi. Di dalam membahas proses terjadinya water hammer berarti harus membahas mengenai perjalanan gelombang tekanan melalui medium air di dalam saluran pipa. Pada gambar di bawah akan dijelaskan proses perjalanan gelombang tekanan tersebut untuk kasus penutupan katub secara tiba-tiba.





Gambar 2. Efek Water Hammer

Penjelasan dari gambar di atas adalah sebagai berikut:

- a). air di dalam reservoir mengalir ke dalam pipa masih dalam keadaan sempurna di mana kecepatan aliran konstan karena tidak ada perlakuan (gambar a).
- b). Terjadi penutupan secara tiba-tiba sehingga kecepatan aliran sama dengan nol di daerah dekat katub. Tekanan juga akan bertambah serta gelombang akan dapat menuju reservoir (gambar b).
- c). Tekanan balik yang terjadi akan terus bertambah memenuhi seluruh pipa sehinggalah gelombang awal yang terjadi pada pipa bertambah sampai memenuhi pipa dan kecepatan dalam pipa menjadi sama dengan nol (gambar c).
- d). Gelombang yang memenuhi pipa akan bertambah dan kecepatan aliran gelombang tertentu menuju kearah sumbu penutupan dan berakhir pada waktu  $t = 2l/c$  dan gerakan gelombang balik mengakibatkan adanya aliran yang ditekan menuju reservoir dengan kecepatan (gambar d).
- f). Gelombang yang telah sampai ke sumber penutupan akan mengalami osilasi ke bawah, dimana  $V = V_0$  ,  $V = 0$ . Terjadi kembali kearah

sekitar sumber penutupan. Hal ini akan berlangsung sampai tekanan air akan mencapai keadaan stabil (gambar f).

#### 4. Penerapan Water Hammer

Aplikasi sistem perpipaan untuk distribusi fluida banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Fenomena water hammer merupakan salah satu parameter yang harus diperhitungkan dalam merancang sebuah sistem perpipaan. Fenomena ini terjadi akibat kenaikan gelombang tekanan ketika aliran dihentikan secara tiba-tiba, dimana gelombang tekanan yang terjadi bisa bernilai positif maupun negatif.

Sebagai contoh terdapat pada pompa hidram (water hammer pump) adalah teknologi pompa tanpa menggunakan bahan bakar listrik dan bahan bakar minyak, prinsip kerja pompa hidram adalah menggunakan sistem water hammer atau efek pukulan air, yang dapat mengalir air dari hilir sungai sampai ke daerah perbukitan tanpa menggunakan listrik dan BBM, di lihat dari harga listrik dan BBM yang mahal maka penggunaan pompa ini sangat efisien sekali. di Indonesia sudah banyak di terapkan khususnya di tempat-tempat yang minim air yang sumber airnya jauh dari pemukiman.

Tabel 3. Modulus Elastisitas bahan pipa

| Bahan                  | Young's Modulus<br>(dalam $10^9 Pa$ ) (walski<br>dkk, 2006) | Young's Modulus<br>(dalam $10^9 Pa$ )<br>(Berbagai literatur) |
|------------------------|---|---|
| Baja                   | 207   | 205 <sup>***</sup> ) 103 sd 227 <sup>***</sup> )              |
| Cast Iron              | 90  | 70 sd 90 <sup>***</sup> )                                     |
| Ductile Iron           | 172   | 162 sd 170 <sup>****</sup> )                                  |
| PVC (20 <sup>0</sup> ) | 3,3   | 2,4 sd 4,1 <sup>*</sup> )                                     |
| Polyethylene           | 0,8   |   |
| Beton                  | 20 sd 30  | 23 sd 32 +)   |
| Beton Bertulang        | 30 sd 60  |   |
| Asbestos Cement        | 24  |   |
| Kaca                   |   | 70  |

Sumber: Walski et all, 2006, \* Hidraulika Sistem Jaringan Perpipaan

Pompa Hydraulic ram (Hydram) adalah pompa air dijalankan dengan tenaga air itu sendiri. Bekerja seperti transformator hidrolik dimana air yang masuk kedalam pompa, yang mempunyai "hydraulic head" (tekanan) dan "debit" tertentu, menghasilkan air dengan hydraulic head yang lebih tinggi namun dengan debit yang lebih kecil Pompa ini memanfaatkan "Water hammer effect" untuk menghasilkan tekanan yang memungkinkan sebagian dari air yang masuk memberi tenaga kepada pompa, diangkat ke titik lebih tinggi dibandingkan head awal dari air tersebut. Pompa Hydram ini sangat sesuai untuk digunakan di daerah terpencil, dimana terdapat sumber air yang mempunyai head rendah, serta diperlukan memompa air kelokasi pemukiman yang mempunyai elevasi lebih tinggi dari sumber air tersebut. Pada kondisi seperti inilah pompa hydram menjadi sangat bermanfaat sekali, karena pompa ini tidak membutuhkan sumber daya lain selain energi kinetik dari air yang mengalir itu sendiri.

Tabel 4. sifat-sifat air pada tekanan atmosfer

| Suhu<br>°C | Rapat<br>massa<br>$\rho$ ( $kg/m^3$ ) | Viskositas<br>Dinamik $\mu$<br>( $Nd/m^2$ ) | Viskositas<br>Kinematik<br>$\nu$ ( $m^2/d$ ) | Tegangan<br>Permukaan<br>$\sigma$ ( $N/m$ ) | Modulus<br>Elastisitas<br>K ( $MN/m^2$ ) |
|------------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| 0.0        | 999.9                                 | $1.792 \times 10^{-3}$                      | $1.792 \times 10^{-6}$                       | $7.56 \times 10^{-2}$                       | 2040                                     |
| 5.0        | 1000                                  | 1.519                                       | 1.519  | 7.54  | 2060                                     |
| 10.0       | 999.7                                 | 1.308                                       | 1.308  | 7.48  | 2110                                     |
| 20.0       | 998.2                                 | 1.005                                       | 1.007  | 7.36  | 2200                                     |
| 30.0       | 995.7                                 | 0.801                                       | 0.804  | 7.18  | 2230                                     |
| 40.0       | 992.2                                 | 0.656                                       | 0.661  | 7.01  | 2270                                     |
| 50.0       | 988.1                                 | 0.549                                       | 0.556  | 6.82  | 2300                                     |
| 60.0       | 983.2                                 | 0.469                                       | 0.447  | 6.68  | 2280                                     |
| 70.0       | 977.8                                 | 0.406                                       | 0.415  | 6.50  | 2250                                     |
| 80.0       | 971.8                                 | 0.357                                       | 0.367  | 6.30  | 2210                                     |
| 90.0       | 965.3                                 | 0.317                                       | 0.328  | 6.12  | 2160                                     |
| 100.0      | 958.4                                 | $0.284 \times 10^{-3}$                      | $0.296 \times 10^{-6}$                       | $5.94 \times 10^{-2}$                       | 2070                                     |

Sumber: Buku Hidraulika

### C. Pompa Hidram

#### 1. Pengertian Pompa Hidram

Pompa Hidram adalah suatu alat yang digunakan untuk memompa dengan cara menaikkan air dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi dengan hasil guna tinggi dimana mampu mengalirkan air terus menerus.

Prinsip kerja Hidram adalah pemanfaatan gravitasi dimana akan menciptakan energi dari hantaman air yang menabrak faksi air lainnya untuk mendorong ke tempat yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan energi

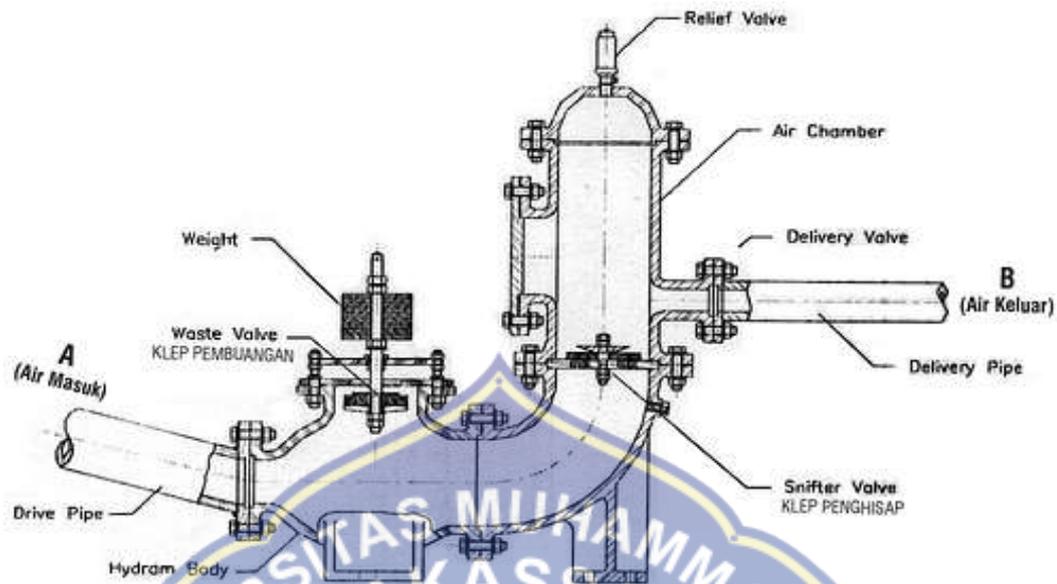
potensial dari hantaman air diperlukan syarat utama yaitu harus ada terjunan air yang dialirkan melalui pipa dengan beda tinggi elevasi dengan pompa Hidram minimal 1 meter.

Syarat utama kedua adalah sumber air harus kontunyu dengan debit minimal 7 liter per menit (Widarto, 2000). Besarnya debit pemompaan dapat dihitung dengan rumus  $Q_2 = Q_1 \times H_1 : H_2 \times j$ . Dimana  $Q_2$  adalah debit air yang dipompakan (liter/menit),  $Q_1$  adalah debit air yang masuk pompa (liter/menit),  $H_1$  adalah tinggi terjunan dalam meter,  $H_2$  adalah tinggi pemompaan dalam meter dan  $j$  adalah efisiensi pompa yaitu 0,5 -0,75. Dalam prakteknya diperoleh perbandingan tinggi terjunan dan tinggi pengangkatan air sebesar 1:6, akan menghasilkan debit pemompaan sebesar 1/3 dari debit air yang masuk ke pompa, sedang 2/3 debit air akan keluar melalui klep pembuangan setelah memberikan tenaga hantaman.

## 2. Cara Kerja Pompa Hidram

Prinsip kerja dari pompa Hidram dapat dilihat dari gambar berikut ini :

Bagian kunci dari Hidram adalah dua buah klep, yaitu: klep pembuangan dan klep penghisap. Air masuk dari terjunan melalui pipa A, klep pembuangan terbuka sedangkan klep penghisap tertutup. Air yang masuk memenuhi rumah pompa mendorong ke atas klep pembuangan hingga menutup. Dengan tertutupnya klep pembuangan mengakibatkan seluruh dorongan air menekan dan membuka klep penghisap dan air masuk memenuhi ruang dalam tabung kompresi di atas klep penghisap.



Gambar 3. Prinsip Kerja Hidram

Pada volume tertentu pengisian air dalam tabung kompresi optimal, massa air dan udara dalam tabung kompresi akan menekan klep penghisap untuk menutup kembali, pada saat yang bersamaan sebagian air keluar melalui pipa B. Dengan tertutupnya kedua klep, maka aliran air dalam rumah pompa berbalik berlawanan dengan aliran air masuk, diikuti dengan turunnya klep pembuangan karena arah tekanan air tidak lagi ke klep pembuangan tetapi berbalik ke arah pipa input A.

Di sinilah Hantaman *-ram-* palu air (*water hammer*) itu terjadi, dimana air dengan tenaga gravitasi dari terjunan menghantam arus balik tadi,  $\frac{2}{3}$  debit keluar lubang pembuangan, sementara yang  $\frac{1}{3}$  debit mendorong klep penghisap masuk ke dalam tabung pompa sekaligus mendorong air yang ada dalam tabung pompa untuk keluar melalui pipa output B. Energi hantaman yang berulang-ulang mengalirkan air ke tempat yang lebih tinggi.

### 3. Permasalahan Pompa Hidram

Beberapa permasalahan yang mungkin timbul dalam pengoperasian pompa hidram antara lain:

- a. Klep pembuangan tidak dapat naik atau menutup, disebabkan beban klep terlalu berat atau debit air yang masuk pompa kurang. Dapat diatasi dengan mengurangi beban atau memperdek as klep pembuangan.
- b. Klep pembuangan tidak mau turun atau membuka, karena beban klep terlalu ringan, jadi bisa diatasi dengan menambah beban klep.
- c. Tinggi pemompaan di bawah rasio rumus, yaitu setiap terjunan 1 meter dapat menaikkan setinggi 5 meter. Penyebab pertama adalah terjadinya kebocoran atau tidak rapatnya klep. Penyebab kedua rasio diameter pipa input dibanding pipa output lebih besar dari 1 berbanding 0,5. Dapat diatasi dengan memeriksa dan memperbaiki klep atau mengurangi diameter pipa output. Penyebab ketiga adalah terlalu banyaknya hambatan pada pipa output menuju baktandon, berupa banyaknya belokan pipa. Agar hal tersebut tidak terjadi, pada saat instalasi pipa sedapat mungkin dikurangi lekukan atau belokan pipa menuju tandon.

Kunci keawetan dan operasional pompa hidram adalah perawatan rutin, mengingat sumber air yang dipergunakan mengalir pada saluran umum yaitu: sungai, saluran irigasi atau mata air. Selain harus menjaga air yang mengalir terbebas kototan/sampah dengan cara membuat

saringan, dipakainya sumber air umum tersebut membuat debit air berubah-ubah, fluktuatif, yang bisa menyebabkan klep pembuangan berhenti bekerja -membuka-metutup. Cara membuat klep pembuangan bekerja lagi adalah dengan cara pemukul as klep dengan balok kayu.

Adapun beberapa persamaan yang digunakan dalam merencanakan pompa hidram adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan Tinggi Tekanan Water Hammer.

$$\Delta H_v = c \frac{(V_1 - V_2)}{g} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

$\Delta H$  = Perhitungan Tinggi Tekanan Water Hammer (kg/m<sup>2</sup>)

$v_1$  = Kecepatan aliran air di dalam pipa sebelum katup menutup (m/s)

$v_2$  = Kecepatan aliran air di dalam pipa sesudah katup menutup (m/s)

$g$  = Percepatan grafitasi (m/s<sup>2</sup>).

$C$  = Kecepatan rambat gelombang (m/s)

b. Persamaan Bernoulli

$$z_A \frac{\rho_A}{\gamma} + \frac{V^2 A}{2g} = z_B \frac{\rho_B}{\gamma} + \frac{V^2 B}{2g} + h_f + h_m \dots \dots \dots (3)$$

Dimana

$p$  = tekanan (Pa)

$v$  = kecepatan (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$\gamma$  = berat jenis air (9800 kg/m<sup>2</sup>s<sup>2</sup>)

$z$  = ketinggian (m)

$h_m$  = Kehilangan tinggi pada lubang keluar pipa (m)

$h_m$  = Kehilangan tinggi oleh tahanan permukaan pipa (m)

c. Persamaan Reynolds

$$R = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \dots \quad (4)$$

Dimana:

$R$  = Bilangan Reynolds

$V$  = Kecepatan Aliran (m/detik)

$D$  = Diameter pipa (mm)

$\nu$  = Kekentalan kinematik (m<sup>2</sup>/det)

d. Persamaan Swamee Sharma

$$f = \left\{ \left( \frac{64}{R} \right)^8 + 9,5 \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{R^{0,9}} \right) - \left( \frac{2500}{R} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad \dots \quad (5)$$

Dimana:

$f$  = Koefisien tahanan permukaan pipa atau dikenal dengan koefisien gesekan Darcy-Weisbach (faktor gesekan) yang nilainya ditentukan bilangan Reynolds

$R$  = Bilangan Reynold

$D$  = Diameter pipa (mm)

$\varepsilon$  = Nilai kekasaran mutlak (mm)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### A. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di samping Rusunawa Universitas Muhammadiyah Makassar dengan rencana waktu penelitian selama 3 bulan yaitu dimulai bulan September sampai dengan bulan November, dimana pada bulan pertama yakni diawal bulan September merupakan persiapan alat dan bahan, pada bulan kedua yakni bulan Oktober adalah perakitan alat dan bulan ketiga yakni bulan November pengambilan data pada tahap pengelolaan data.

#### B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

1. Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut.
2. Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data, yaitu:
  - a). Data primer, yaitu data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di lapangan.
  - b). Data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada, baik yang telah dilakukan di laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian water hammer pada saluran tertutup.

### C. Alat dan bahan

Secara umum, alat dan bahan yang digunakan dalam menunjang Penelitian adalah sebagai berikut :

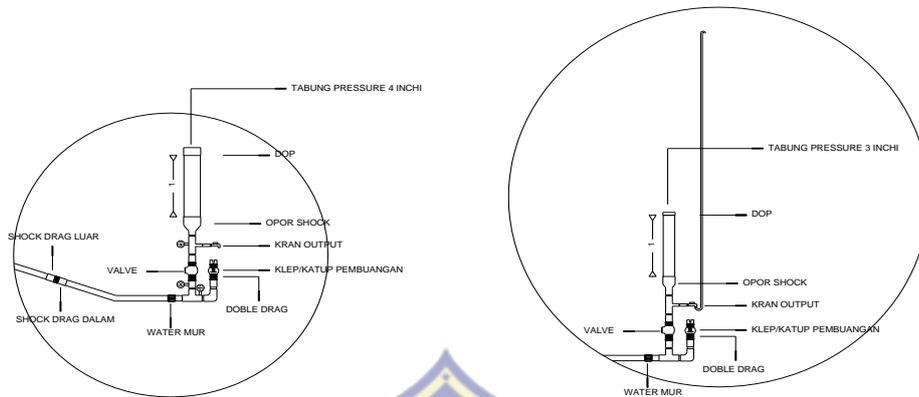


Gambar.4 Instalasi Pompa Hidram

Skala: 1:100

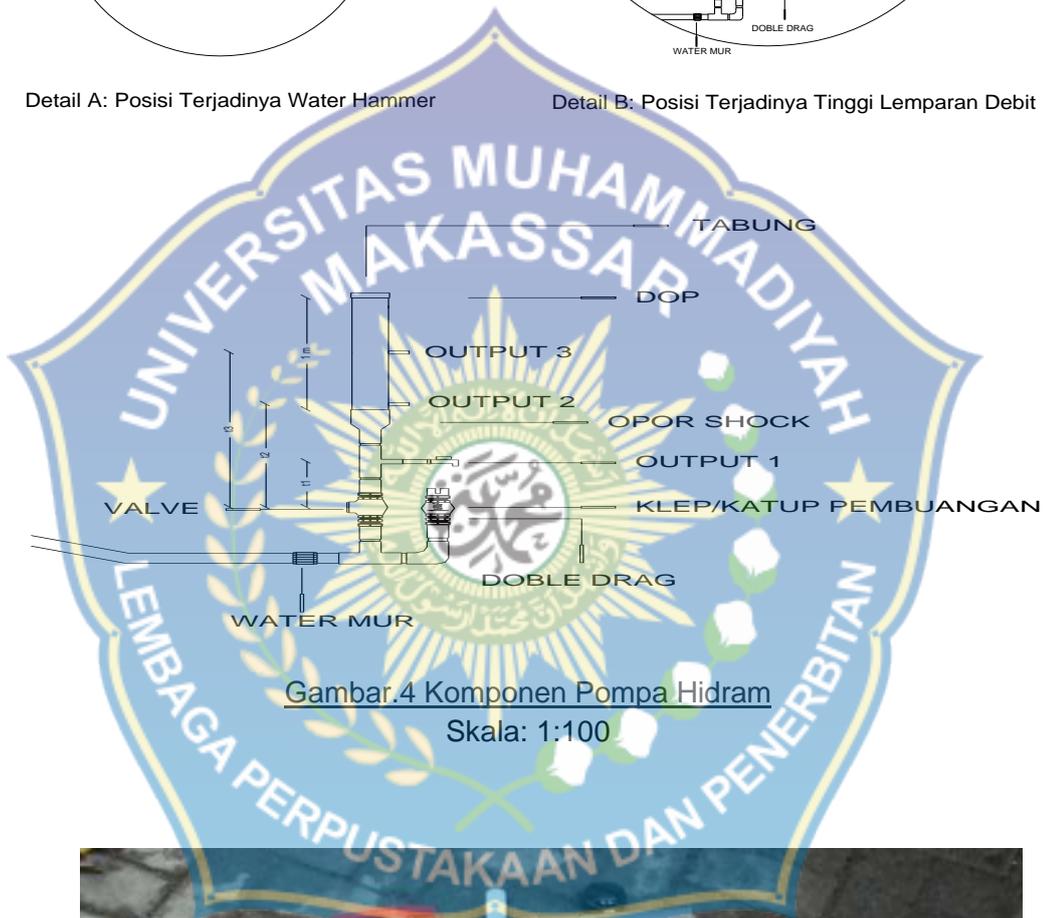
Gambar.4 Model Penelitian

Skala: 1:100



Detail A: Posisi Terjadinya Water Hammer

Detail B: Posisi Terjadinya Tinggi Lemparan Debit



Gambar.4 Komponen Pompa Hidram

Skala: 1:100



Gambar 6. Bahan yang digunakan



Gambar 7. Peralatan yang digunakan

### 1. Alat

- a). Stopwatch untuk mengukur waktu yang digunakan dalam pengukuran debit aliran.
- b). Gergaji besi digunakan untuk memotong pipa.
- c). Manometer digunakan untuk mengukur tekanan yang terjadi di dalam pompa hidram.
- d). Meter digunakan untuk mengukur panjang pipa.
- e). Kamera digital digunakan untuk merekam (dalam bentuk foto) momen-momen yang penting dalam keseluruhan kegiatan penelitian khususnya tahap-tahap dalam proses penelitian.
- f). Komputer, printer dan scanner digunakan untuk membantu dalam menganalisa data.
- g). Palu digunakan untuk membuat variasi tinggi datum.
- h). Gunting digunakan untuk mengunting karet dan seng untuk diambil sebagai ver katub.

- i). Tang dan obeng digunakan untuk membuat katub modifikasi.
- j). Gelas ukur digunakan untuk mengukur banyaknya debit air yang keluar.
- k). Lem digunakan untuk melem semua sambungan

## 2. Bahan

- a). Pipa diameter  $\emptyset$  1.5 inchi, Pipa diameter  $\emptyset$  2 inchi
- b). Knee  $\emptyset$  1.5 inchi - 1 buah
- c). Plat sambungan Pipa ukuran  $\emptyset$  1.5 inchi sebanyak 6 buah
- d). Water mor ukuran  $\emptyset$  1.5 dan  $\emptyset$  2 inchi
- e). Stop krang ukuran  $\emptyset$  2 inchi
- f). klep dan valve ukuran  $\emptyset$  1.5 inchi
- g). Drak dalam dan drak luar ukuran  $\emptyset$  1,5 dan 2 inchi sebanyak 4 buah
- h). Baut untuk tuas klep hidraulik panjang 1 buah

### D. Variabel yang diteliti

Sesuai tujuan penelitian ini dilaksanakan pada daerah yang memiliki mata air yang cukup memadai dan mengacu pada rancangan yang telah disetujui untuk mendapatkan data sebagai bahan kajian. Adapun variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas :
  - a). Tinggi lemparan debit (m)
  - b). Tekanan water hammer ( $\text{kgf/cm}^2$ )
  - c). Tekanan tetap ( $\text{kgf/cm}^2$ )
  - d). Tekanan tekan ( $\text{kgf/cm}^2$ )
2. Variabel tidak bebas (terikat)
  - a). Panjang pipa (m)
  - b). Tinggi Datum (m)

Tabel 4. Tabel penelitian

| Variasi          |                  | Tinggi Lemparan Debit (m) | Tekanan Water hammer |                | Tekanan Tetap  |                | Tekanan tekan |
|------------------|------------------|---------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Panjang pipa (m) | Tinggi Datum (m) |                           | P <sub>1</sub>       | P <sub>2</sub> | p <sub>1</sub> | p <sub>2</sub> |               |
| 4 meter          | 0.5 m            |                           |                      |                |                |                |               |
|                  | 1 m              |                           |                      |                |                |                |               |
|                  | 1.5 m            |                           |                      |                |                |                |               |
| 8 meter          | 0.5 m            |                           |                      |                |                |                |               |
|                  | 1 m              |                           |                      |                |                |                |               |
|                  | 1.5 m            |                           |                      |                |                |                |               |
| 12 meter         | 0.5 m            |                           |                      |                |                |                |               |
|                  | 1 m              |                           |                      |                |                |                |               |
|                  | 1.5 m            |                           |                      |                |                |                |               |

Sumber: hasil penelitian

### E. Prosedur

Prosedur ini di bagi atas 2 bagian dan akan di jelaskan sebagai berikut:

1. Prosedur Penelitian
  - a). Studi literature
  - b). Membuat model penelitian dengan 3 variasi panjang pipa yaitu variasi pertama 4 m, kedua 8 m dan yang ketiga 12 m.

- c). Mengamati tekanan water hammer yang terjadi.
- d). Menganalisis data dengan beberapa persamaan.
- e). Dilakukan pengambilan data sesuai dengan penelitian.
- f). Menyimpulkan hasil penelitian yang telah ada.

## 2. Prosedur Simulasi

- a). Menyiapkan alat dan bahan sesuai dengan penelitian
- b). Pembuatan model penelitian
- c). Kalibrasi semua peralatan yang akan digunakan khususnya alat ukur kecepatan.
- d). Running
- e). Pengamatan tekanan ( $P_1$ ,  $P_2$ ) pada saat penelitian.

## F. Analisa Data

Data dari lapangan diolah sebagai bahan analisa terhadap hasil studi ini, sesuai dengan tujuan dan sasaran penelitian. Data yang diolah adalah data yang relevan yang dapat mendukung dalam menganalisa hasil penelitian.

Analisa data yang menyangkut hubungan antara variabel-variabel dalam penelitian dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

### a. Perhitungan Tinggi Tekanan Water Hammer

Untuk menganalisis Perhitungan Tinggi Tekanan Water Hammer, menggunakan persamaan (1) pada halaman 21.

b. Persamaan Bernoulli

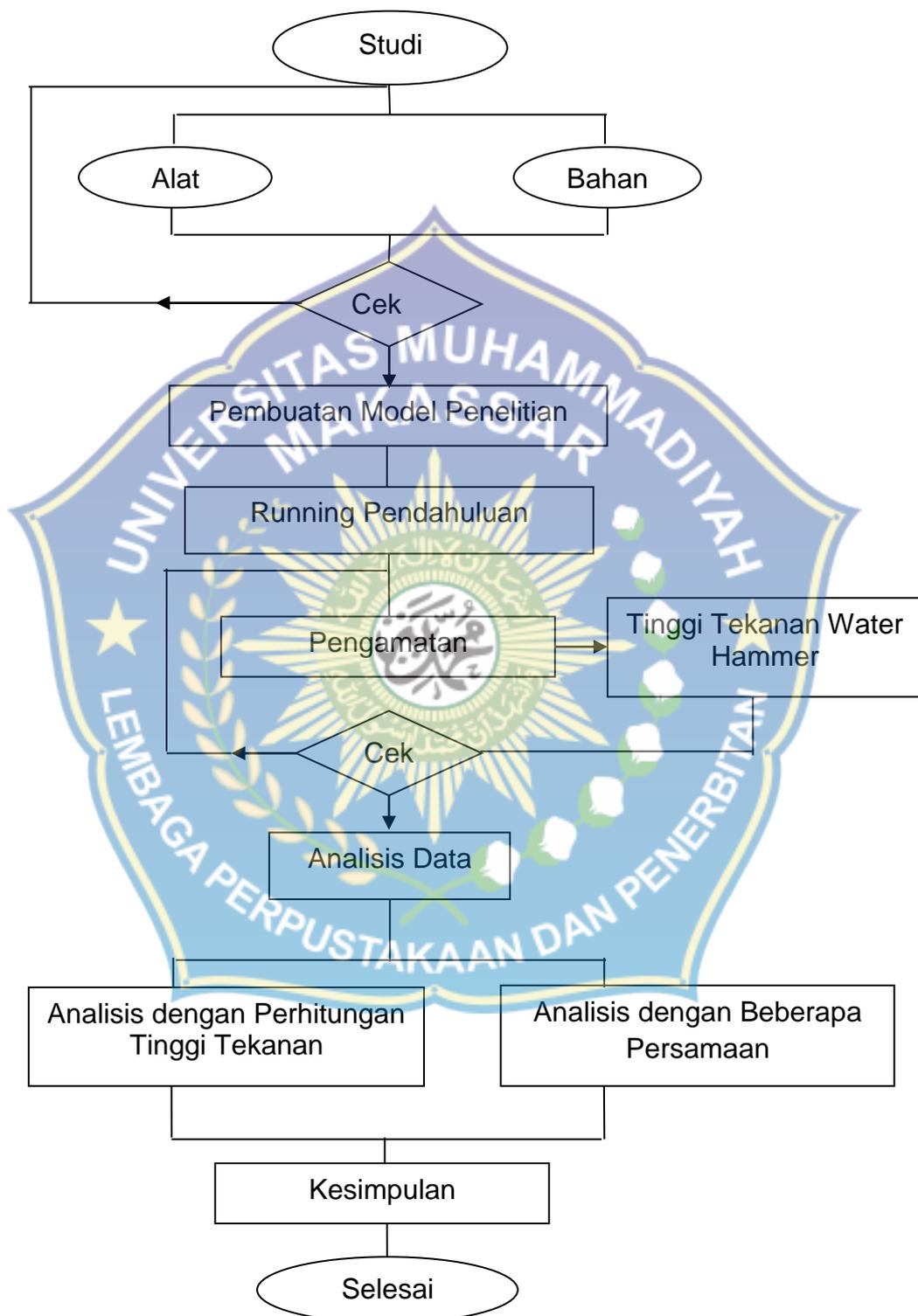
Untuk menganalisis Persamaan Bernoulli, menggunakan persamaan (3) pada halaman 22.

c. Persamaan Reynolds

Untuk menganalisis Persamaan Reynolds, menggunakan persamaan (3) pada halaman 22



### G. Flow Chart Penelitian dan Eksperimental



Gambar 8: Flow Chart

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Hasil Pengamatan

Penelitian ini merupakan penelitian experimental dengan pengamatan secara langsung untuk mengetahui tekanan water hammer yang terjadi dengan beberapa variasi yang diteliti. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besar tekanan yang terjadi pada pompa hidram, peneliti menggunakan alat pengukur tekanan yaitu manometer gouge.

Tekanan yang diamati dalam penelitian ini terdiri dari tekanan water hammer antara pipa penghantar dengan klep penghantar ( $P_2$ ), tekanan water hammer antara klep buang dengan pipa penghantar ( $P_1$ ), tekanan tekan antara tabung tekan dengan klep penghantar ( $P_3$ ).

Table 5. Hasil Penelitian Tekanan Water Hammer

| Variasi          |                  | Tinggi lemparan debit (h) | Tekanan water Hammer |       | Tekanan tetap |       | $\Delta P_1$ | $\Delta P_2$ |
|------------------|------------------|---------------------------|----------------------|-------|---------------|-------|--------------|--------------|
|                  |                  |                           | $P_1$                | $P_2$ | $p_1$         | $p_2$ |              |              |
| Panjang pipa (m) | Tinggi datum (m) |                           |                      |       |               |       |              |              |
| 4 m              | 0.5 m            | 6 m                       | 0.9                  | 0.8   | 0.1           | 0.3   | 0.9          | 0.8          |
|                  | 1.0 m            | 8 m                       | 1.3                  | 1.2   | 0.2           | 0.3   | 0.4          | 0.4          |
|                  | 1.5 m            | 9 m                       | 1.6                  | 1.4   | 0.2           | 0.4   | 0.3          | 0.2          |
| 8 m              | 0.5 m            | 9 m                       | 1.3                  | 1.2   | 0.3           | 0.4   | 1.3          | 1.2          |
|                  | 1.0 m            | 11 m                      | 1.9                  | 1.3   | 0.9           | 0.7   | 0.6          | 0.1          |
|                  | 1.5 m            | 14 m                      | 2.4                  | 2.2   | 1.2           | 1.1   | 0.5          | 0.9          |
| 12 m             | 0.5 m            | 13 m                      | 2.6                  | 2.4   | 1.5           | 1.3   | 2.6          | 2.4          |
|                  | 1.0 m            | 17 m                      | 2.9                  | 2.8   | 1.6           | 1.4   | 0.3          | 0.4          |
|                  | 1.5 m            | 21 m                      | 3.3                  | 3.1   | 1.9           | 1.7   | 0.4          | 0.3          |

Sumber Hasil Penelitian

Berikut ini adalah grafik tekanan water hammer yang terjadi pada pompa hidram.

### 1. Pengaruh Beda Tekanan Antara Tekanan Water Hammer Dengan Tekanan Tetap



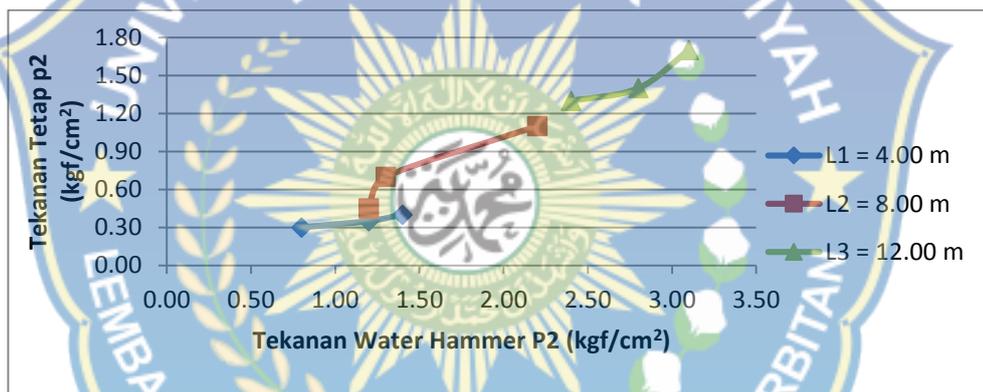
Gambar 10. Beda Tekanan Antara Tekanan Water Hammer Dengan Tekanan Tetap,

Pada gambar 10 dengan variasi panjang pipa ( $L$ ): 4.00 m dapat dilihat pada grafik, untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 0.90 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_1$ ): 0.10 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tekanan tetap ( $p_1$ ): 0.20 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.60 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_1$ ): 0.20 kgf/cm<sup>2</sup>.

Untuk panjang pipa ( $L$ ): 8.00 m dengan tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_1$ ): 0.30 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.90 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tekanan tetap ( $p_1$ ): 0.90 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki

tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.40 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_1$ ): 1.20 kgf/cm<sup>2</sup>.

Untuk panjang pipa ( $L$ ): 12.00 m dengan tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.60 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_1$ ): 1.50 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.90 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tekanan tetap ( $p_1$ ): 1.60 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 3.30 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_1$ ): 1.90 kgf/cm<sup>2</sup>.



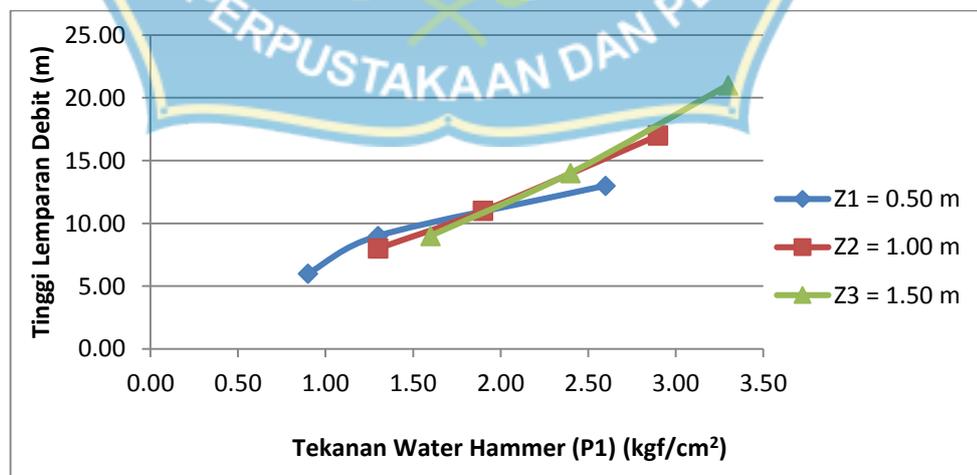
Gambar 11. Beda Tekanan Antara Tekanan Water Hammer Dengan Tekanan Tetap, Dengan Panjang Pipa 12 m.

Pada gambar 11 dengan variasi panjang pipa ( $L$ ): 4.00 m dapat dilihat pada grafik, untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 0.80 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_2$ ): 0.30 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ) 1.00 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.20 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tekanan tetap ( $p_2$ ): 0.35 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.40 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_2$ ): 0.40 kgf/cm<sup>2</sup>.

Untuk panjang pipa (L): 8.00 m dengan tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.20 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_2$ ): 0.40 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tekanan tetap ( $p_2$ ): 0.70 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.20 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_2$ ): 1.10 kgf/cm<sup>2</sup>.

Untuk panjang pipa (L): 12.00 m dengan tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.40 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_2$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.80 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tekanan tetap ( $p_2$ ): 1.40 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 3.10 kgf/cm<sup>2</sup> dan memiliki tinggi tekanan tetap ( $p_2$ ): 1.70 kgf/cm<sup>2</sup>.

## 2. Pengaruh Tinggi Tekanan Water Hammer Terhadap Tinggi Tekan Lemparan Debit Aliran Keluar.



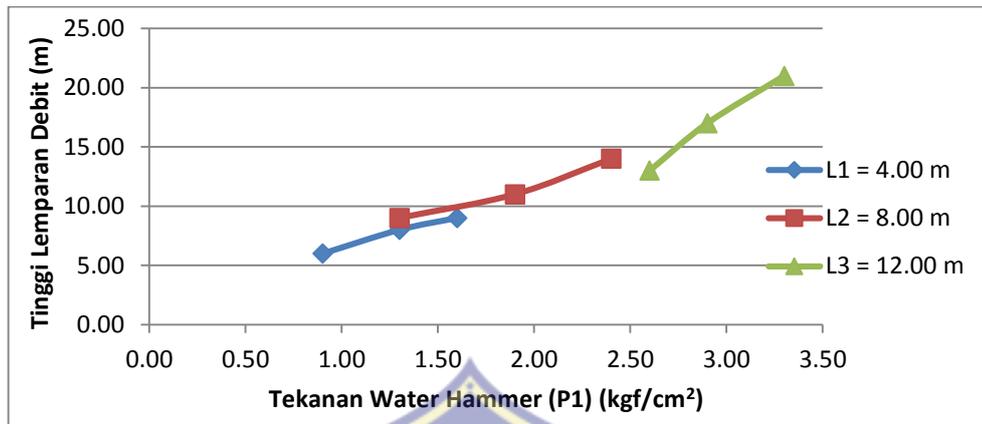
Gambar 12. Hubungan Tekanan water hammer ( $P_1$ ) Hammer terhadap Tinggi Lemparan Debit.

Pada gambar 12 menjelaskan bahwa untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 0.90 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 6.00 m, tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 9.00 m, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.60 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 13.00 m.

Tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 8.00 m, tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.90 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 11.00 m, dan ,tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.90 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 17.00 m.

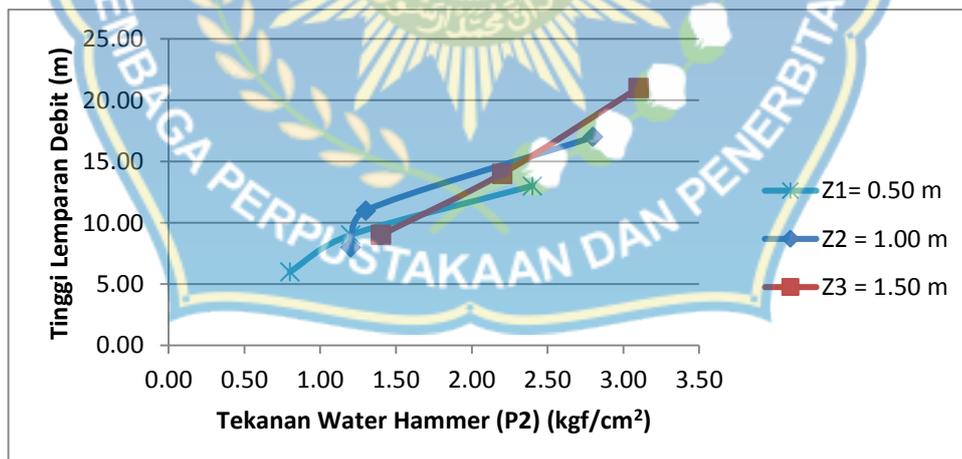
Tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.60 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 9.00 m, tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.40 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 14.00 m, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 3.30 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 21.00 m.

Maka dapat disimpulkan bahwa besarnya tekanan yang terjadi pada ( $P_1$ ) serta besarnya tinggi lemparan debit yang keluar dipengaruhi oleh tinggi datum, semakin tinggi datum suatu pompa hidram semakin tinggi pula tekanan water hammer dan tinggi lemparan debit yang dihasilkan.



Gambar 13. Hubungan Tekanan water hammer ( $P_1$ ) Hammer terhadap Tinggi Lemparan Debit .

Pada gambar 13 menjelaskan bahwa makin tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ) yang dihasilkan oleh pompa hidram makin tinggi pula tinggi lemparan debitnya. Dengan mengamati grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan water hammer sangat berpengaruh terhadap tinggi lemparan debit yang dihasilkan oleh suatu pompa hidram.



Gambar 14. Hubungan Tekanan water hammer ( $P_2$ ) Hammer terhadap Tinggi Lemparan Debit.

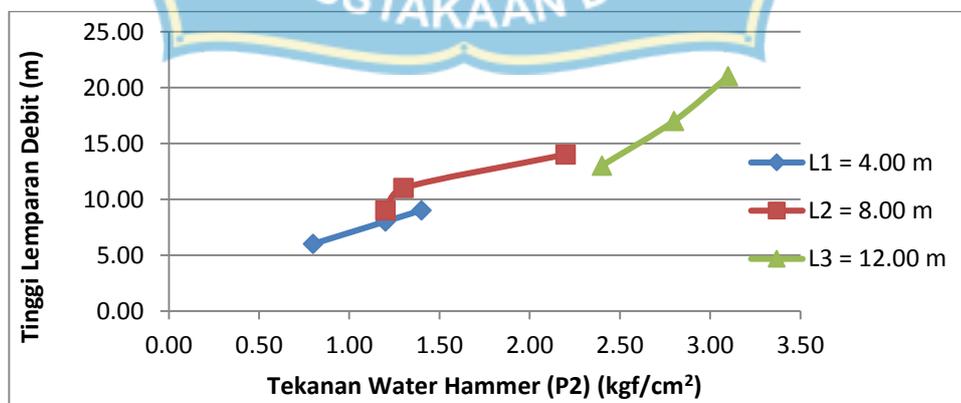
Pada gambar 14 menjelaskan bahwa untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 0.80 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 6.00 m, tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.20 kgf/cm<sup>2</sup>

menghasilkan tinggi lemparan (h): 9.00 m, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.40 kgf/cm<sup>2</sup>, menghasilkan tinggi lemparan (h): 13.00 m.

Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.20 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 8.00 m, tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 11.00 m, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.80 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 17.00 m.

Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.40 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 9.00 m, tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.20 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 14.00 m, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 3.10 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan tinggi lemparan (h): 21.00 m.

Maka dapat disimpulkan bahwa besarnya tekanan yang terjadi pada ( $P_2$ ) serta besarnya tinggi lemparan debit yang keluar dipengaruhi oleh tinggi datum, semakin tinggi datum suatu pompa hidram semakin tinggi pula tekanan water hammer dan tinggi lemparan debit yang dihasilkan.



Gambar 15. Hubungan Tekanan water hammer ( $P_2$ ) Hammer terhadap Tinggi Lemparan Debit.

Pada gambar 15 menjelaskan bahwa makin tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ) yang dihasilkan oleh pompa hidram makin tinggi pula tinggi lemparan debitnya. Dengan mengamati grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan water hammer sangat berpengaruh terhadap tinggi lemparan debit yang dihasilkan oleh suatu pompa hidram.

## B. Analisa Hasil

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan maka rumus yang digunakan yaitu rumus Bernoulli :

1). Kecepatan aliran sebelum katub tertutup ( $V_1$ )

Debit masuk adalah satuan volume air yang mengalir persatuan waktu menuju pompa hidram sebelum katub tertutup. Kejadian water hammer sangat ditentukan oleh kecepatan aliran menuju katub. Untuk menghitung kecepatan aliran secara teoritis menggunakan rumus Bernoulli. (Persamaan 3 halaman 22)

Diketahui:

$$\Delta z = 0.5 \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$D = 0.06 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi (0.06)^2 = 0.0020 \text{ m}^2$$

$$T = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon = 0.05 \text{ m (diambil dari tabel kekasaran massa pada hal. 12)}$$

$$k_m = 0.8 \text{ m}$$

Ditanyakan:  $Q_B$

Jawab:

Digunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V^2_A}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V^2_B}{2g} + h_1 + h_m$$

Karena tekanan atmosfer di A dan B sama dan kecepatan di A dianggap

o, maka:

$$Z_A = Z_B + \frac{V^2_B}{2g} + h_f + h_m$$

$$Z_A - Z_B = \frac{V^2_B}{2g} + h_f + h_m$$

$$\Delta z = \frac{V^2_B}{2g} + h_m + h_f + h_m$$

Dengan memasukkan persamaan masing-masing  $h_f$  dan  $h_m$ , maka :

$$Z_A = \frac{V^2_B}{2g} + k_m \frac{V^2_B}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2_B}{2g}$$

$$0.5 = \frac{V^2_B}{2g} + (1 + 0.8 + f \frac{1000}{0.06})$$

Asumsi I :  $V_B = 1 \text{ m}^2/\text{detik}$

Nilai kekentalan kinematik sesuai dengan persamaan:

$$v = 1,792 \times 10^{-6} \left( 1 + \left[ \frac{T}{50} \right]^{1,165} \right)^{-1}$$

$$= 1,792 \times 10^{-6} \left( 1 + \left[ \frac{26}{50} \right]^{1,165} \right)^{-1}$$

$$= 2,468 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{detik}$$

Bilangan Reynolds sebagaimana persamaan:

$$Re = \frac{V_B \cdot D}{\nu} = \frac{1 \cdot 0,05}{2,468 \times 10^{-7}} = 243111,83 > 4000 = \text{ok}$$

Syarat persamaan Reynolds yaitu di mana hasil dari perhitungan Reynolds harus lebih besar dari 4000.

Dengan menggunakan persamaan Swamee Sharma:

$$f = \left\{ \left( \frac{64}{R} \right)^8 + 9,5 \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{R^{0,9}} \right) - \left( \frac{2500}{R} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125}$$

$$= \left\{ \left( \frac{64}{243111,83} \right)^8 + 9,5 \left[ \ln \left( \frac{2,846 \times 10^{-7}}{3,7 \cdot 0,05} + \frac{5,74}{243111,83^{0,9}} \right) - \left( \frac{2500}{243111,83} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125}$$

$$= 0,974$$

$$\text{Maka } \Delta z \text{ coba} = \frac{12}{2 \cdot 9,81} \left( 1 + 0,8 + 0,974 \cdot \frac{4}{0,06} \right) = 9,07 \text{ m} > 0,5 \text{ m}$$

Ternyata kecepatannya perlu dikurangi, sehingga untuk asumsi kedua:

Asumsi 2:  $V_B = 2,50 \text{ m/detik}$

Bilangan Reynolds di dapatkan:

$$Re = \frac{V_B \cdot D}{\nu} = \frac{2,50 \cdot 0,06}{2,468 \times 10^{-7}} = 607779,58$$

Dan nilai  $f = 0,974$

$$\text{Maka, } \Delta z \text{ coba} = \frac{2,50^2}{2 \cdot 9,81} \left( 1 + 0,8 + 0,974 \cdot \frac{0,04}{0,06} \right) = 0,5 \text{ m}$$

Dengan demikian asumsi kedua yang benar dan selanjutnya,

$$Q_i = A \cdot V_B = 0,028 \cdot 2,50 = 0,07 \text{ m}^3/\text{det}$$

Table 8. Hasil perhitungan dengan persamaan Bernoulli

| L<br>(m) | Z<br>(m) | v<br>$m^2 / \text{det}$ | f      | Re        | $Q_i = A \cdot V_B$<br>$m^3 / \text{det}$ | $V_B$<br>m/det |
|----------|----------|-------------------------|--------|-----------|---|----------------|
| 4.00 m   | 0.50 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 0.9740 | 243111.80 | 0.07                                      | 2.50           |
|          | 1.00 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.3504 | 364667.40 | 0.09                                      | 3.07           |
|          | 1.50 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.5393 | 382511.60 | 0.13                                      | 3.64           |
| 8.00 m   | 0.50 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.5184 | 381004.20 | 0.11                                      | 1.50           |
|          | 1.00 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.5701 | 392501.50 | 0.14                                      | 2.10           |
|          | 1.50 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.6115 | 486223.60 | 0.18                                      | 2.55           |
| 12.00 m  | 0.50 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.5996 | 434819.90 | 0.17                                      | 1.47           |
|          | 1.00 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.6836 | 507779.10 | 0.22                                      | 1.70           |
|          | 1.50 m   | $2.468 \times 10^{-7}$  | 1.8316 | 618345.40 | 0.26                                      | 2.15           |

Sumber: Hasil Perhitungan

## 2). Perhitungan Tinggi Tekanan Water Hammer

Diketahui:

$P = 0.9 \text{ kg/cm}^3$  (diambil dari data hasil penelitian tekanan water hammer)

$g = 9.8 \text{ m/det}^2$

$\gamma = 996.45$  (diambil dari hasil interpolasi dengan suhu  $26^\circ\text{C}$ )

$c = 280$

Ditanyakan:  $\Delta H_v$

Jawab:

$$h = \frac{p}{\gamma} = \frac{0.9}{996.60} = 9 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{h \cdot g}{c} = \frac{9 \times 9.8}{280} = 0.316 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_v &= c \frac{(V_1 - V_2)}{g} \\ &= 280 \frac{(0.316 - 0.09)}{9.8} \\ &= 280 \frac{(0.226)}{9.8} \end{aligned}$$

$$\Delta H_v = 6.45 \text{ m}^3/\text{detik}$$

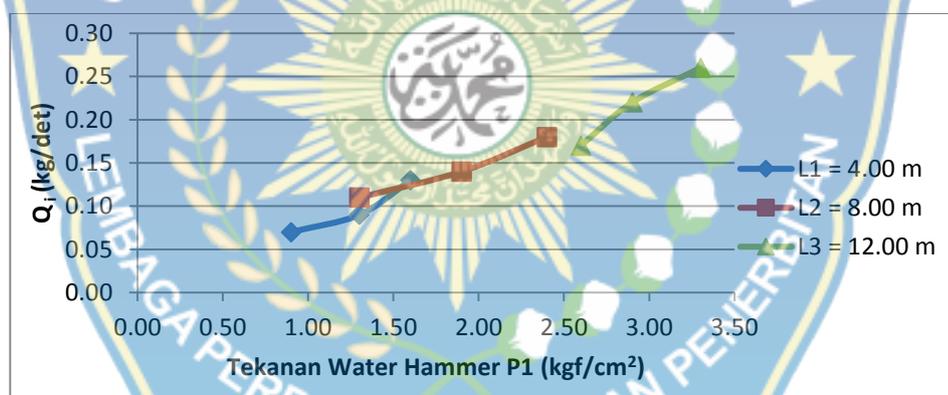
Table 9. Hasil Perhitungan Tinggi Tekanan Water Hammer

| L (m)   | Z (m)  | Tinggi lemparan debit (m) | P (kgf/cm <sup>2</sup> ) | h     | V <sub>1</sub> (m/s) | V <sub>2</sub> (m/s) | $\Delta H = c \frac{V_1 - V_2}{g}$ |
|---------|--------|---------------------------|--------------------------|-------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 4.00 m  | 0.50 m | 6.00                      | 0.80                     | 9.00  | 0.32                 | 0.09                 | 6.45                               |
|         | 1.00 m | 8.00                      | 1.20                     | 13.00 | 0.46                 | 0.13                 | 9.30                               |
|         | 1.50 m | 9.00                      | 1.40                     | 16.00 | 0.56                 | 0.16                 | 11.45                              |
| 8.00 m  | 0.50 m | 9.00                      | 1.20                     | 13.00 | 0.46                 | 0.13                 | 9.94                               |
|         | 1.00 m | 11.00                     | 1.30                     | 19.00 | 0.67                 | 0.19                 | 13.59                              |
|         | 1.50 m | 14.00                     | 2.20                     | 24.00 | 0.84                 | 0.24                 | 17.12                              |
| 12.00 m | 0.50 m | 13.00                     | 2.40                     | 26.00 | 0.91                 | 0.26                 | 18.58                              |
|         | 1.00 m | 17.00                     | 2.80                     | 29.00 | 1.02                 | 0.29                 | 20.72                              |
|         | 1.50 m | 21.00                     | 3.10                     | 33.00 | 1.16                 | 0.33                 | 23.58                              |

Sumber: Hasil Perhitungan

### C. Pembahasan

#### 1. Pengaruh Tinggi Tekanan Water Hammer Terhadap Kapasitas Aliran Tinggi Tekan Maksimum Pada Pompa Hidram.

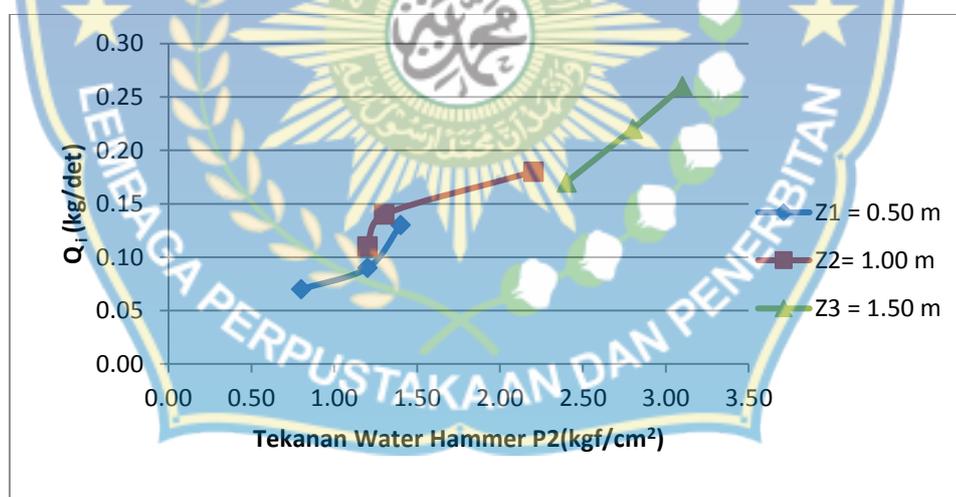


Gambar 16. Hubungan Tinggi Tekanan Water Hammer Terhadap Kapasitas Aliran Tinggi Tekan Maksimum Pada Pompa Hidram.

Pada gambar 16 menjelaskan bahwa untuk panjang pipa ( $L_1$ ): 4.00 m dengan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 0.90 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.07 kg/det, tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.09 kg/det, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.60 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.13 kg/det.

Untuk panjang pipa ( $L_2$ ): 8.00 m dengan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.30  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.11  $\text{kg/det}$ , tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 1.90  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.14  $\text{kg/det}$ , dan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.40  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.18  $\text{kg/det}$ .

Untuk panjang pipa ( $L_3$ ): 12 m dengan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.60  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.17  $\text{kg/det}$ , tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 2.90  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.22  $\text{kg/det}$ , dan tinggi tekanan water hammer ( $P_1$ ): 3.30  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.26  $\text{kg/det}$ .



Gambar 17. Hubungan Tinggi Tekanan Water Hammer Terhadap Kapasitas Aliran Tinggi Tekan Maksimum Pada Pompa Hidram.

Pada gambar 17 menjelaskan bahwa untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 0.80  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.07  $\text{kg/det}$ , tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.20  $\text{kgf/cm}^2$  menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.09  $\text{kg/det}$  dan tinggi

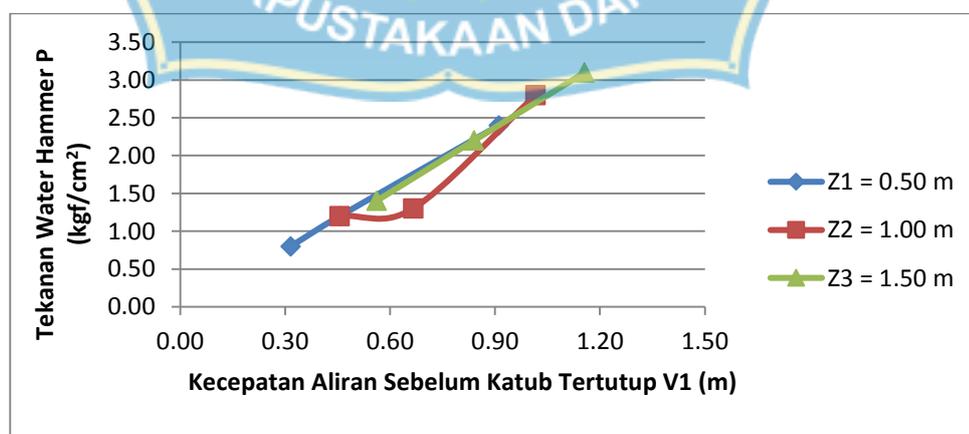
tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.40 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.13 kg/det.

Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m dengan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.20 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.11 kg/det, tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 1.30 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.14 kg/det, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.20 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.18 kg/det.

Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m dengan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.40 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.17 kg/det, tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 2.80 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.22 kg/det, dan tinggi tekanan water hammer ( $P_2$ ): 3.10 kgf/cm<sup>2</sup> menghasilkan aliran tinggi maksimum ( $Q_i$ ): 0.26 kg/det.

## 2. Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Tekanan Water Hammer

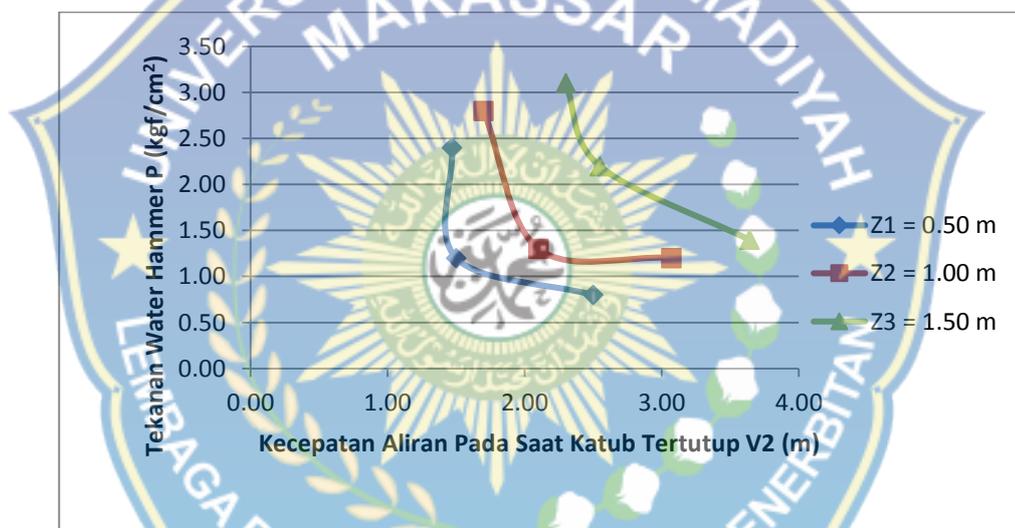
- a. Pengaruh Tekanan Water Hammer Terhadap Kecepatan Aliran Sebelum Katub Tertutup.



Gambar 18. Hubungan Kecepatan Aliran Sebelum Katub Tertutup Terhadap Tekanan Water Hammer.

Pada gambar 18 menjelaskan bahwa kecepatan Aliran sebelum katub tertutup ( $v_1$ ) dapat diketahui bahwa semakin tinggi tekanan water hammer yang terjadi pada suatu pompa hidram kecepatan aliran sebelum katub tertutup semakin rendah, begitupun sebaliknya. semakin rendah tekanan water hammer yang terjadi pada suatu pompa hidram kecepatan aliran sebelum katub tertutup semakin tinggi.

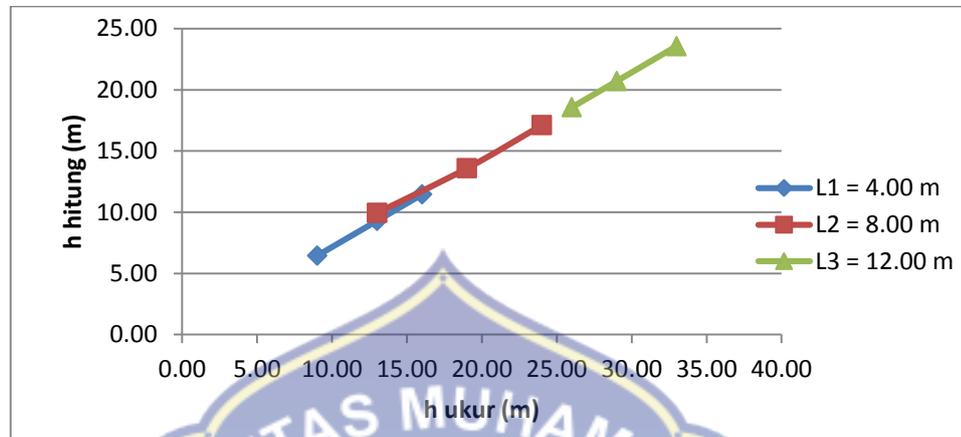
b. Pengaruh Kecepatan Aliran Pada Saat Katub Tertutup Terhadap Tekanan Water Hammer



Gambar 19. Hubungan Kecepatan Aliran Pada Saat Katub Tertutup Terhadap Tekanan Water Hammer.

Pada gambar 19 menjelaskan bahwa kecepatan Aliran pada saat katub tertutup ( $v_2$ ) dapat diketahui bahwa semakin tinggi tekanan water hammer yang terjadi pada suatu pompa hidram kecepatan aliran sebelum katub tertutup semakin tinggi pula, begitupun sebaliknya. semakin rendah tekanan water hammer yang terjadi pada suatu pompa hidram kecepatan aliran sebelum katub tertutup semakin rendah

### 3. Pengaruh Beda Tinggi Tekanan antara Tekanan Yang Di Ukur Dengan Tekanan Yang Di Hitung.



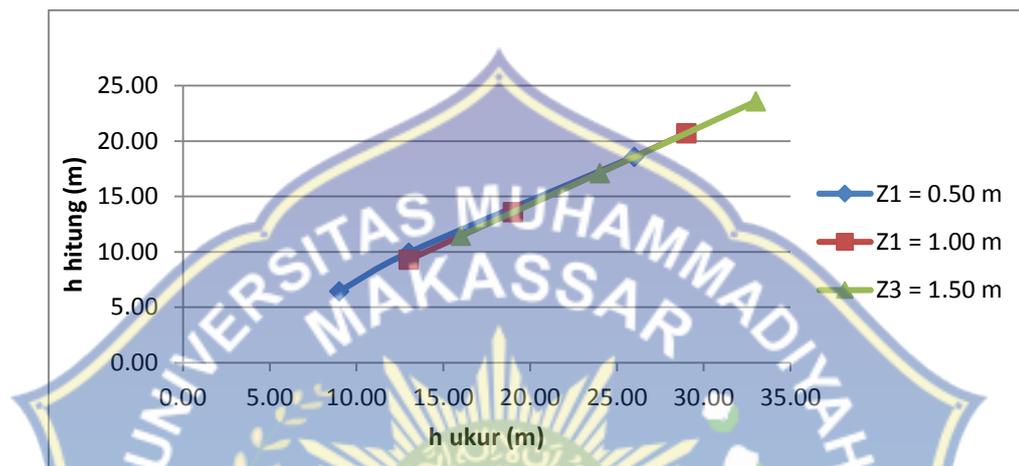
Gambar 20. Hubungan Beda Tinggi Tekanan antara Tekanan Yang Di Ukur Dengan Tekanan Yang Dihitung

Pada gambar 20 dengan variasi panjang pipa ( $L$ ): 4.00 m dapat dilihat pada grafik, untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 9.00 m dan  $h$  hitung: 6.45 m. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 13.00 m dan  $h$  hitung: 9.30 m. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 16.00 m dan  $h$  hitung: 11.45 m. Sehingga dapat dilihat bahwa tinggi tekanan lebih besar terjadi pada  $h$  ukur.

Untuk variasi panjang pipa ( $L$ ): 8.00 m dapat dilihat pada grafik, untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 13.00 m dan  $h$  hitung: 9.94 m. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 19.00 m dan  $h$  hitung: 13.59 m. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 24.00 m dan  $h$  hitung: 17.12 m. Sehingga dapat dilihat bahwa tinggi tekanan lebih besar terjadi pada  $h$  ukur.

Untuk panjang pipa ( $L$ ): 12 m dapat dilihat pada grafik, untuk tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 26.00 m dan  $h$  hitung: 18.58

m. Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 29.00 m dan  $h$  hitung: 20.72 m. Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 33.00 m dan  $h$  hitung: 23.58 m. Sehingga dapat dilihat bahwa tinggi tekanan lebih besar terjadi pada  $h$  ukur.



Gambar 21. Hubungan Beda Tinggi Tekanan antara Tekanan Yang Di Ukur Dengan Tekanan Yang Di Hitung

Pada gambar 21 dengan variasi tinggi datum ( $Z_1$ ): 0.50 m dapat dilihat pada grafik, untuk panjang pipa ( $L$ ): 4.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 9.00 m dan  $h$  hitung: 6.450 m. Untuk panjang pipa ( $L$ ): 8.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 13.00 m dan  $h$  hitung: 9.940 m. Untuk panjang pipa ( $L$ ): 12.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 26.00 m dan  $h$  hitung: 18.580 m. Sehingga dapat dilihat bahwa tinggi tekanan lebih besar terjadi pada  $h$  ukur.

Untuk tinggi datum ( $Z_2$ ): 1.00 m dapat dilihat pada grafik, untuk panjang pipa ( $L$ ): 4.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 13.00 m dan  $h$  hitung: 9.300 m. Untuk panjang pipa ( $L$ ): 8.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 19.00 m dan  $h$  hitung: 13.59 m. Untuk panjang pipa ( $L$ ): 12.00 m memiliki  $h$  ukur

sebesar: 29.00 m dan  $h$  hitung: 20.72 m. Sehingga dapat dilihat bahwa tinggi tekanan lebih besar terjadi pada  $h$  ukur.

Untuk tinggi datum ( $Z_3$ ): 1.50 m dapat dilihat pada grafik, untuk panjang pipa ( $L$ ): 4.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 16.00 m dan  $h$  hitung: 11.45 m. Untuk panjang pipa ( $L$ ): 8.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 24.00 m dan  $h$  hitung: 17.12 m. Untuk panjang pipa ( $L$ ): 12.00 m memiliki  $h$  ukur sebesar: 33.00 m dan  $h$  hitung: 23.58 m. Sehingga dapat dilihat bahwa tinggi tekanan lebih besar terjadi pada  $h$  ukur.



## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan water hammer menghasilkan tinggi tekan lemparan debit maksimal semakin tinggi pula. Jika tekanan water hammer  $P_1 = 0.9$  dan  $P_2 = 0.8$  menghasilkan tinggi lemparan debit 6 m. Dan jika tekanan water hammer  $P_1 = 3.3$  dan  $P_2 = 3.1$  menghasilkan tinggi lemparan debit 21 m.
- 2). Tekanan water hammer yang terjadi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan bertambahnya tinggi datum dan panjang pipa. Jika panjang pipa 4 m dan tinggi datum 0.5 m menghasilkan tekanan water hammer maksimal  $P_1 = 0.9$  dan  $P_2 = 0.8$ . Dan jika panjang pipa 12 m dan tinggi datum 1.5 menghasilkan tekanan water hammer maksimal  $P_1 = 3.3$  dan  $P_2 = 3.1$ .

## B. Saran

Dari pengamatan di dalam penelitian ini penulis memberikan saran-saran untuk peneitian lebih lanjut, yaitu :

- 1). Penelitian masalah water hammer pada pompa hidram perlu dikembangkan lagi dengan variasi pipa input yang bercabang.
- 2) Untuk penelitian selanjutnya agar memakai pipa paralon yang tebal untuk mengantisipasi terjadinya retakan akibat water hammer.
- 3). Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa dua parameter yang sangat menyebabkan meningkatnya water hammer yaitu tinggi datum dan panjang pipa maka disarankan untuk dapat dikembangkan dalam penelitian selanjutnya.
- 4). Satu hal yang sangat disarankan untuk diperhatikan dalam simulasi pompa hidram adalah kalibrasi klep buang dan keseimbangan debit aliran masuk ke pompa hidram supaya tidak terjadi peluapan air pada reservoir penampung. Bila hal ini terjadi maka akan sulit dilakukan efisiensi debit pada klep buang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andri Bagus Santoso. 2003, *Pengaruh Variasi Lyre dan Waktu Penutupan Valve Terhadap Karakteristik Water Hammer*. (<https://www.google>. Diakses 10 November 2004)
- Dinar M. F.\*, Hari Anggit. *Uji Efisiensi Pompa Hidram dengan Variasi Volume Tabung Udara*, Bandung, 2013. (<https://www.google>. Diakses 2 Desember 2013).
- Dua K. S. Y. Klaas, M.sc., MEngSc., MASCE, 2009, *Desain Jaringan Pipa*, (prinsip dasar dan aplikasi), Penerbit Mandar Maju. Bandung.
- Feri Setiawan Efendi. 2003, *Pengaruh Variasi Tumpuan dan Waktu Penutupan Valve Terhadap Karakteristik Water Hammer*. (<https://www.google>. Diakses 12 Januari 2005)
- Muhammad Ilham Maulana. *Analisis karakteristik prototipe pompa hidram Pada head rendah*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2013. (<https://www.google>. Diakses 14 maret 2013)
- M. Selpan M. 2009, *Aliran pada Saluran Tertutup (Pipa)*, muhfari.wordpress.com. (<https://muhfari.files.wordpress.com/2011/1/1/aliran-fluida-pada-aluran-tertutup-pipa.pdf>)
- Made Suarda dan IKG Wirawan. 2008. Kajian Eksperimental Pengaruh Tabung Udara pada Head Tekanan Pompa Hidram. *Jurnal Teknik Mesin Cakram*. 10 -14.
- Priyono Sutikno, Ms – 5044. *Perancangan Sistem Fluida Hidroulik Transien*, (water hammer), (Penerbit ITB).
- Tri Adi Siswanto, 2014, *Analisa Pengaruh Water Hammer Terhadap Nilai Strees Pipa Pada Sistem Loading-Offloading*, (e-mail: triadi\_siswanto@yahoo.com). (<https://www.google>. Diakses 4 maret 2014).
- Triatmojo B, *Mekanika Fluida*, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik. Universitas Gadjad Mada, Yogyakarta 1992/1993.
- Triatmodjo B, CES., DEA. 1996, *Hidraulika*, Penerbit Beta Offset / Yogyakarta.
- Widarto, L. & FX. Sudarto C. Ph. (2000). *Teknologi Tepat Guna: Membuat Pompa Hidram*. Kanisius. Yogyakarta.

## Dokumentasi Simulasi



Proses pembuatan dudukan / stang



Proses perakitan alat



Proses pemotongan pipa untuk variasi tabung.



Proses penyambungan pipa untuk variasi panjang pipa



Proses pemasangan tabung untuk simulasi



Proses persiapan untuk simulasi



Proses simulasi



Proses pengambilan sampel debit



# LAMPIRAN