



TUGAS AKHIR - TM141585

**PENGARUH SISTEM PROTEKSI GAS  
ACCUMULATOR TERHADAP SISTEM  
PERPIPAAN (STUDI KASUS DI UNIT INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) KARANG  
PILANG 1 PT PDAM SURYA SEMBADA  
SURABAYA)**

**ALDA VIONETTA JOURDY P  
NRP. 1021150000072**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**TUGAS AKHIR - TM1415502**

**PENGARUH SISTEM PROTEKSI GAS ACCUMULATOR  
TERHADAP SISTEM PERPIPAAN (STUDI KASUS DI  
UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM)  
KARANG PILANG 1 PT PDAM SURYA SEMBADA  
SURABAYA)**

**ALDA VIONETTA JOURDY P  
NRP. 1021150000072**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.  
NIP. 19620216 199512 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT - TM1415502**

**THE EFFECT OF GAS ACCUMULATOR AS  
PROTECTION SYSTEM FOR PIPING SYSTEM (CASE  
STUDY AT WATER TREATMENT PLANT (IPAM)  
KARANG PILANG 1 PT PDAM SURYA SEMBADA  
SURABAYA)**

**ALDA VIONETTA JOURDY P  
NRP. 1021150000072**

**Counselor Lecturer  
Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.  
NIP. 19620216 199512 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Vacation  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

**PENGARUH SISTEM PROTEKSI GAS  
ACCUMULATOR TERHADAP SISTEM PERPIPAAN  
(STUDI KASUS DI UNIT INSTALASI PENGOLAHAN  
AIR MINUM (IPAM) KARANG PILANG 1 PT PDAM  
SURYA SEMBADA SURABAYA)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh gelar Ahli Madya  
pada  
Bidang Konversi Energi  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :

**ALDA VIONETTA JOURDY PUTRI**

**NRP. 10211500000072**

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir:



**SURABAYA  
JULI 2018**

**PENGARUH SISTEM PROTEKSI GAS ACCUMULATOR  
TERHADAP SISTEM PERPIPAAN (STUDI KASUS DI  
UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM)  
KARANG PILANG 1 PT PDAM SURYA SEMBADA  
SURABAYA)**

**Nama Mahasiswa** : Alda Vionetta Jourdy Putri  
**NRP** : 10211500000072  
**Jurusan** : Departemen Teknik Mesin Industri  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.

**Abstrak**

*Water hammer adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam pipa secara tiba-tiba di daerah discharge pompa. Hal ini memiliki dampak negatif untuk sistem perpipaan. Penanganan yang cepat menjadi alasan utama untuk mengatasi water hammer, yaitu menggunakan proteksi water hammer. Penelitian ini mendiskusikan pengaruh salah satu sistem proteksi, yaitu gas accumulator pada sistem perpipaan di unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya*

*Pada penelitian ini, pemodelan sistem perpipaan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AFT Impulse 4.0. Sistem perpipaan yang disimulasikan merupakan sistem perpipaan dengan ada tidaknya pemasangan gas accumulator sebagai sistem proteksi.. Hal ini untuk mengetahui dampak dari pemasangan gas accumulator.*

*Hasil yang didapatkan pada simulasi berupa plot grafik dari fluktuasi tekanan yang terjadi pada sistem perpipaan. Dari adanya sistem proteksi, gas accumulator mampu meredam terjadinya lonjakan tekanan akibat water hammer dan mampu menstabilkan pipa lebih cepat supaya pipa terhindar dari kerusakan yang parah.*

***Kata kunci : water hammer, AFT Impulse, gas accumulator***

**THE EFFECT OF GAS ACCUMULATOR AS  
PROTECTION SYSTEM FOR PIPING SYSTEM (CASE  
STUDY AT WATER TREATMENT PLANT UNIT (IPAM)  
KARANG PILANG 1 PT PDAM SURYA SEMBADA  
SURABAYA)**

**Name** : Alda Vionetta Jourdy Putri  
**NRP** : 10211500000072  
**Department** : Departemen Teknik Mesin Industri  
**Academic Advisor** : Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.

**Abstract**

*Water hammer phenomenon is a phenomenon of the occurrence of pressure fluctuations arising from increasing and decreasing the flow velocity in the piping that occur suddenly at discharge pump area. It has negative impact for piping system. Fast handling being main reason to overcoming water hammer phenomenon, which uses water hammer protection. This research is for discuss about the effect of one of protection system, is gas accumulator on piping system at unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya*

*In this research, modeling piping system use software named AFT Impulse 4.0. Piping system which simulated is piping system with and without gas accumulator as protection system. This research is for know the impact of gas accumulator.*

*The results obtained in the simulation in the form of a plot graph of pressure fluctuations which occur in piping systems. From the existence of protection system, gas accumulator can reduce a bump pressure due to water hammer and can stabilize pipe faster, so the pipe can avoid the damage.*

**Keywords** : *water hammer, AFT Impulse, gas accumulator*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. Allah SWT, berkat rahmat dan hidayahNya, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.
2. Mama dan Papa yang selalu memberikan semangat serta doa supaya penulis menyelesaikan pendidikan.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS serta dosen pembimbing yang memberikan saran, masukan dan tambahan ilmu.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sampurno, M.T., selaku dosen yang telah memberikan arahan penulis selama menjalani masa perkuliahan
6. Paramietha, Saffroricho, Ananthasya, dan Thesar selaku saudara kandung penulis yang memberikan semangat dan selalu menemani penulis mengerjakan tugas akhirnya.
7. Pak Warno, Mas Adi, Mas Arif, Pak Hendro dan pihak-pihak dari PT PDAM Surya Sembada Surabaya yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir
8. Indradi Mulya atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi *partner* yang baik.
9. Pangki Ferdiansyah dan Amin Fachrur sebagai pihak yang selalu membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir
10. Alfi, Farobi, Kevin, dan Dharma selaku kelompok pompa penulis yang selalu membantu dan menyemangati penulis
11. Yulita, Anisa, Haura, Dini, Wiwid, Ulif, Tata, Tia, Amka, Fateh, dan Ganggit, selaku pihak yang selalu

mengingatkan penulis dan memotivasi penulis. Makasih sudah boleh tidur di kosan kalian.

12. Seluruh teman-teman angkatan 2015 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik , saran, motivasi dan kebahagiaan yang telah kalian berikan.
13. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Jurusan Teknik Mesin ITS.
14. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penilitian.....	3
1.6 Sistemika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Mekanika Fluida.....	5
2.2 Sifat-Sifat Fluida.....	5
2.2.1 Densitas.....	5
2.2.2 Viskositas.....	6
2.3 Water Hammer.....	7
2.3.1 Penyebab <i>Water hammer</i> .....	10
2.3.2 Pencegahan <i>Water hammer</i> .....	11
2.4 Aliran <i>Laminer</i> dan <i>Turbulen</i> .....	14
2.5 <i>Head</i> Efektif Instalasi Pompa.....	15
2.5.1 <i>Head</i> Statis.....	16
2.5.2 <i>Head</i> Dinamis.....	19
2.6 Proteksi <i>Water hammer</i> di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	23

2.7	Estimasi momeinersia <i>impeller</i> pompa dan motor penggerak.....	25
2.8	Perangkat Lunak AFT Impulse 4.0.....	26
2.9.1	Akbar, Marzal Taufiq (2009).....	26
2.9.2	Ferdiansyah Pangki (2017).....	27

**BAB III METODOLOGI..... 29**

3.1	Proses Pemodelan Sistem Perpipaan.....	29
3.2	Pemodelan dengan Menggunakan Layout.....	42
3.3	Skema Pemodelan Sistem Perpipaan pada Simulasi.....	46
3.4	Skenario Operasi Pompa.....	46
3.4.1	Skenario 1 Pompa <i>on</i> yang tiba-tiba <i>off</i> ( <i>Trip</i> dengan Inersia tanpa Aliran Balik) tanpa Sistem Proteksi.	47
3.4.2	Skenario 1 Pompa <i>on</i> yang tiba-tiba <i>off</i> ( <i>Trip</i> dengan Inersia tanpa Aliran Balik) dengan <i>Gas Accumulator</i> .....	47
3.5	Titik Analisa Permodelan Sistem Perpipaan.....	48
3.5.1	Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> Tanpa Menggunakan Sistem Proteksi.....	48
3.5.2	Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> menggunakan <i>Gas Accumulator</i> .....	49
3.6	Skema Diagram Alir .....	51

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 53**

4.1	Analisa Steady.....	53
4.2	Hasil Simulasi.....	53
4.2.1	Skenario 1 pompa <i>off</i> dan 1 pompa <i>standby</i> – tanpa sistem proteksi.....	54
4.2.2	Skenario 1 pompa <i>off</i> dan 1 pompa <i>standby</i> – dengan menggunakan <i>gas accumulator</i> .....	58
4.2.3	Perbandingan Tekanan terhadap Sistem Perpipaan Tanpa Sistem Proteksi dan Menggunakan <i>Gas Accumulator</i> .....	63

<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	70

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**  
**BIOGRAFI**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema Fenomena <i>Water hammer</i> Setelah Penutupan <i>Valve</i> Pada (a) $0 \leq t \leq L/a$ , (b) $L/a \leq t \leq 2L/a$ , (c) $2L/a \leq t \leq 3L/a$ , dan (d) $3L/a \leq t \leq 4L/a$ .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	<i>Check Valve</i> .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Relief Valve</i> .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	<i>Vacuum Breaker Valve</i> .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Surge Tank</i> .....	13
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Gas Accumulator</i> .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Flywheel</i> .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Head</i> Efektif Instalasi.....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Instalasi <i>Suction Lift</i> .....	18
<b>Gambar 2.10</b>	Instalasi <i>Suction Head</i> .....	19
<b>Gambar 2.11</b>	Moody Diagram.....	22
<b>Gambar 2.12</b>	<i>Gas accumulator</i> .....	24
<b>Gambar 2.13</b>	<i>Bladder accumulator</i> .....	25
<b>Gambar 3.1</b>	Tampilan Awal <i>software</i> AFT Impulse 4.0 .....	30
<b>Gambar 3.2</b>	Menu <i>System Properties</i> .....	30
<b>Gambar 3.3</b>	Permodelan Sistem Perpipaan .....	31
<b>Gambar 3.4</b>	Menu Spesifikasi Reservoir .....	32
<b>Gambar 3.5</b>	Menu Spesifikasi <i>Valve</i> .....	33
<b>Gambar 3.6</b>	Menu Spesifikasi Pompa.....	34
<b>Gambar 3.7</b>	Tabel Data Grafik Performa Pompa.....	34
<b>Gambar 3.8</b>	Pemilihan Model Transient pada Pompa .....	35
<b>Gambar 3.9</b>	Pemilihan Kondisi Pompa .....	35
<b>Gambar 3.10</b>	Menu Spesifikasi <i>Check Valve</i> .....	36
<b>Gambar 3.11</b>	Menu Spesifikasi <i>Branch</i> .....	37
<b>Gambar 3.12</b>	Menu Spesifikasi <i>Tee</i> .....	37
<b>Gambar 3.13</b>	Menu Spesifikasi <i>Gas Accumulator</i> ... ..	38
<b>Gambar 3.14</b>	Menu Spesifikasi Pipa.....	39
<b>Gambar 3.15</b>	Menu Fitting&Losses. ....	39
<b>Gambar 3.16</b>	Menu Section Pipes .....	40
<b>Gambar 3.17</b>	Menu Transient Control.....	40

<b>Gambar 3.18</b>	Tampilan Program Saat Akan Running.....	41
<b>Gambar 3.19</b>	Skema Instalasi Perpipaan di Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	42
<b>Gambar 3.20</b>	Model Sistem Perpipaan di Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya dengan <i>Software</i> AFT Impulse 4.0.....	42
<b>Gambar 3.21</b>	Kurva Performa Pompa Sentrifugal Torishima CDMV 700x600.....	44
<b>Gambar 3.22</b>	<i>Layout</i> Pemodelan Instalasi Perpipaan tanpa <i>Sistem Proteksi</i> .....	46
<b>Gambar 3.23</b>	<i>Layout</i> Pemodelan Instalasi Perpipaan dengan <i>Gas Accumulator</i> .....	46
<b>Gambar 3.24</b>	Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa <i>on</i> yang Mengalami <i>Trip</i> Tanpa Sistem Proteksi..	47
<b>Gambar 3.25</b>	Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa <i>on</i> yang Mengalami <i>Trip</i> dengan <i>Gas Accumulator</i> .....	47
<b>Gambar 3.26</b>	Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> Tanpa Sistem Proteksi.....	48
<b>Gambar 3.27</b>	Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> dengan <i>Gas Accumulator</i> .....	49
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Simulasi Untuk Analisa Kondisi <i>Steady</i> pada Pemodelan Sistem Perpipaan di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	53
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-150 .....	54
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1. ....	54

<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-150.....	55
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1.....	56
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-150.....	57
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1.....	57
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600 .....	59
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1.....	59
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600 .....	60
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1 .....	61
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600 .....	62
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1 .....	62
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600.....	64

<b>Gambar 4.15</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1 .....	64
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai ke-600.....	65
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai ke-1 .....	66
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik 0 sampai 600 .....	67
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik 0 sampai 600 .....	68

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Karakteristik untuk Fluida Air pada Suhu 30°C ...	41
<b>Tabel 3.2</b>	Spesifikasi Pompa Produksi di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM.....	42
<b>Tabel 3.3</b>	Spesifikasi Elektro Motor Penggerak Pompa di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM SURYA Sembada.....	43
<b>Tabel 3.4</b>	Spesifikasi <i>Gas Accumulator</i> di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	43
<b>Tabel 3.5</b>	Detail Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa <i>on</i> yang mengalami <i>trip</i> dengan Proteksi <i>Gas Accumulator</i> .....	46
<b>Tabel 3.6</b>	Detail Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa <i>OFF</i> dan 1 Pompa <i>Standby</i> dengan <i>Gas Accumulator</i> .....	48



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Water hammer* adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan tekanan aliran dalam pipa secara tiba-tiba di daerah *discharge* pompa. Hal ini biasanya diakibatkan oleh penutupan *valve* yang cepat, matinya pompa karena padamnya listrik maupun kegagalan operasi pada pompa. Penanganan yang tidak tepat dapat menyebabkan rusaknya atau pecahnya pipa utama sehingga mengakibatkan seluruh peralatan harus dimatikan.

Rumah pompa unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang milik PT PDAM Surya Sembada Surabaya adalah salah satu unit yang bergerak dalam sektor produksi dan juga distribusi air bersih untuk daerah Surabaya dan sekitarnya. Unit IPAM Karang Pilang ini memiliki 3 rumah pompa (*forwarding*) yang memiliki instalasi perpipaan yang berbeda dengan sistem proteksi *water hammer* yang berbeda pula. Untuk rumah pompa IPAM Karang Pilang 3 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *surge tank*, rumah pompa IPAM Karang Pilang 2 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa penambahan *flywheel* pada instalasi pompa produksinya, sedangkan rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *gas accumulator* Setiap proteksi diletakkan pada bagian *discharge* pompa.

Analisis mengenai perbandingan antara sistem perpipaan yang tidak memiliki sistem proteksi dan memiliki sistem proteksi pernah dilakukan oleh Akbar, Marzal Taufiq (2009) yang menyimpulkan sistem proteksi terbaik untuk di PDAM Probolinggo adalah menggunakan *surge tank* dibandingkan dengan *gas accumulator*. Selain itu analisis perbandingan sistem proteksi juga dilakukan Ferdiansyah, Pangki (2017) yang menyimpulkan sistem proteksi terbaik untuk di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya ialah menggunakan

*gas accumulator* dengan level volume air 55 liter dibandingkan dengan *surge tank*.

Mengingat pentingnya sistem proteksi, penulis ingin mempelajari pengaruh penggunaan *gas accumulator* terhadap perubahan tekanan akibat fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi perpipaan di unit rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 ini. Hal tersebut sebagai latar belakang dilakukannya penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Sistem Proteksi *Gas Accumulator* terhadap Sistem Perpipaan (Studi Kasus di Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya)” ini.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Penggunaan *gas accumulator* pada daerah *discharge* rumah pompa akan mempengaruhi ketahanan komponen perpipaan dalam melawan lonjakan tekanan yang terjadi akibat efek *water hammer* ketika pompa gagal beroperasi. Sistem proteksi *gas accumulator* sangat berpengaruh dalam meredam lonjakan tekanan yang terjadi. Sehingga aliran balik yang menuju pompa dapat diredam serta dampak dari *water hammer* mampu berkurang.

Efek *water hammer* sangat sulit diperkirakan karena terjadi secara cepat bahkan seper-sekian detik. Sehingga tanpa pengetahuan, informasi, dan juga perhitungan yang rinci, sulit menyatakan apakah efek *water hammer* ini membahayakan untuk sistem perpipaan atau tidak. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini penulis ingin mempelajari pengaruh penggunaan *gas accumulator* terhadap perubahan tekanan akibat fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi perpipaan di unit rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 ini, untuk mempermudah dalam memperoleh data fenomena *water hammer* pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software* AFT Impulse 4.0.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah diperlukan untuk memperoleh hasil permodelan yang tepat, batasan yang digunakan antara lain:

1. Analisa dilakukan pada saat kondisi aliran *transient*
2. *Head* aliran pada pompa konstan
3. Jarak *gas accumulator* terhadap pompa konstan
4. Pembahasan membandingkan antara ada tidaknya sistem proteksi menggunakan *software* AFT Impulse 4.0
5. Kesimpulan yang didapat hanya digunakan untuk studi kasus khusus di perpipaan rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari pemodelan ini adalah:

1. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan tanpa menggunakan sistem proteksi
2. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan menggunakan *gas accumulator*
3. Mempelajari perbandingan fluktuasi tekanan antara sistem perpipaan yang tidak memiliki sistem proteksi dan yang memiliki sistem proteksi

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari pelaksanaan kajian ini antara lain:

1. Memahami karakteristik *gas accumulator* dalam sistem perpipaan
2. Mencegah kerusakan pada sistem perpipaan yang ditimbulkan oleh fenomena *water hammer*

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa bab yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian secara umum, sistem instalasi perpipaan yang diteliti, dasar teori *water hammer*, fenomena *water hammer*, penyebab dan pencegahan *water hammer*, *software* AFT Impulse 4.0, metode karakteristik, sistem proteksi *water hammer* yang digunakan serta kajian-kajian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

## **BAB III METODOLOGI**

Bab ini terdiri atas penjelasan tentang prosedur analisa dan data-data yang diperoleh dari rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 1 – PT PDAM Surya Sembada Surabaya.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang data instalasi jaringan perpipaan, analisa sistem pada kondisi *steady*, data grafik hasil simulasi untuk setiap skema pemodelan dan scenario operasi pompa serta perhitungan tebal pipa yang direkomendasikan untuk sistem perpipaan dalam menahan tekanan maksimum akibat efek *water hammer*.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil analisa serta saran yang perlu diberikan dari hasil perhitungan dan pemodelan yang telah dilakukan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan.

## **LAMPIRAN**

Berisi tentang data-data tambahan yang menunjang tugas akhir.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mekanika Fluida**

Mekanika Fluida adalah cabang dari ilmu yang mempelajari mengenai zat fluida bergerak atau diam serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada batasnya. Mekanika fluida dapat dibagi menjadi fluida statis dan fluida dinamik. Fluida statis mempelajari fluida pada keadaan diam sementara fluida dinamis mempelajari fluida yang bergerak. Sedangkan fluida sendiri merupakan zat yang akan mengalami deformasi secara terus menerus (*continue*) jika diberikan tegangan geser (tangensial) seberapa kecil tegangan geser tersebut. Batas tersebut dapat berupa permukaan padat atau fluida lainnya.

Fluida memiliki sifat mengikuti perubahan bentuk wadah serta kemampuannya untuk mengalir menuju suatu tempat. Sifat ini dikarenakan salah satu dari sifat ketidakmampuan fluida melawan tegangan geser (*shear stress*). Misalnya pada suatu instalasi perpipaan, fluida tidak dapat bergerak kemanapun kecuali mengikuti instalasi perpipaan itu sendiri. Tetapi fluida juga dapat mengalami kelonjakan tekanan akibat kecepatan aliran yang tidak konstan dimana hal ini disebut fenomena *water hammer*

#### **2.2 Sifat-Sifat Fluida**

##### **2.2.1 Densitas**

Densitas ( $\rho$ ) didefinisikan sebagai kerapatan suatu zat. Densitas dapat dinyatakan dalam tiga bentuk, yaitu:

###### *1) Densitas Massa*

Merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Densitas massa dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana:  $m$  = massa (kg)  
 $\forall$  = volume ( $m^3$ )  
 $\rho$  = massa jenis ( $kg/m^3$ )  
 Harga standarnya pada tekanan  $p = 1,01325 \times 10^5$   
 $N/m^2$  dengan temperatur 288,15 K sehingga densitas udara  
 $1,23 \text{ kg}/m^3$  dan untuk air adalah  $1000 \text{ kg}/m^3$ .

## 2) Berat Spesifik (*Specific Weight*)

Berat spesifik ini didefinisikan sebagai perkalian antara rapat/densitas massa dan gravitasi dari suatu substansi yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\gamma = \rho \cdot g$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana:  $\gamma$  = berat spesifik ( $N/m^3$ )

Untuk  $\gamma$   $\gamma_{\text{udara}} = 12,07 \text{ N}/m^3$  dan  $\gamma$   $\gamma_{\text{air}} = 9,81 \times 10^3 \text{ N}/m^3$ .

## 3) Densitas Relatif (*Specific Gravity*)

Densitas relatif disebut juga *specific gravity* (SG) yaitu perbandingan antara berat spesifik suatu zat dengan berat spesifik air. Biasanya yang dijadikan acuan adalah kerapatan air pada suhu 4 derajat celsius.

$$SG = \frac{\gamma_{\text{zat}}}{\gamma_{\text{air}}}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

### 2.2.2 Viskositas

Viskositas adalah ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi, sedangkan viskositas sendiri disebabkan oleh gesekan molekuler antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena *gradient* kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Seluruh fluida (kecuali superfluida) memiliki ketahanan dari tekanan dan oleh karena itu disebut kental, tetapi fluida yang tidak memiliki

ketahanan tekanan dan tegangan disebut fluida ideal. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yaitu:

1) *Viskositas Dinamis* ( $\mu$ )

Merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas air bervariasi dan dipengaruhi oleh temperatur. Pada kondisi standar (temperatur kamar 26,5°C) besar viskositas dinamik adalah  $\mu_{\text{air}} = 8,6 \times 10^{-4}$  Ns/m<sup>2</sup> dan  $\mu_{\text{udara}} = 1,7894 \times 10^{-5}$  N s/m<sup>2</sup>

2) *Viskositas Kinematik* ( $\nu$ )

Merupakan perbandingan viskositas dinamik ( $\mu$ ) terhadap kerapatan/density ( $\rho$ ):

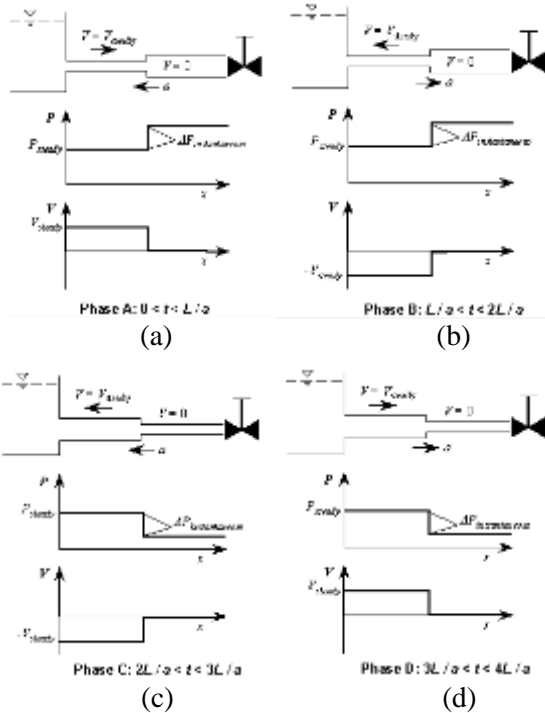
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Viskositas kinematik muncul dalam banyak terapan, misalnya dalam bilangan *reynold* yang tanpa dimensi. Untuk  $\nu_{\text{air}}$  pada temperatur 26,5°C ialah  $8,6 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s dan  $\nu_{\text{udara}} 1,4607 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s

### 2.3 *Water hammer*

*Water hammer* adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan tekanan aliran dalam perpipaan yang terjadi tiba-tiba. Hal ini diakibatkan oleh padamnya listrik, penutupan *valve* secara cepat ataupun terjadi kegagalan operasi pada pompa itu sendiri. Ketika hal ini terjadi maka air pun akan berhenti mengalir di dalam pipa secara tiba-tiba, kemudian gelombang tekanan yang timbul ditransfer ke *valve* dan dinding pipa. Gelombang tekanan akan berjalan mundur sampai rintangan yang berikutnya, seperti impeller, *valve*, pipa yang berbentuk ekstrim dan lainnya. Kemudian gelombang tekanan tersebut kembali berjalan maju dan berjalan mundur kembali (bolak-balik) sampai energi gelombang tekanan mengecil dan hilang.



**Gambar 2.1** Skema Fenomena *Water hammer* Setelah Penutupan *Valve* Pada (a)  $0 \leq t \leq L/a$ , (b)  $L/a \leq t \leq 2L/a$ , (c)  $2L/a \leq t \leq 3L/a$ , dan (d)  $3L/a \leq t \leq 4L/a$  (AFT Impulse User's Guide. 2008)

### Tahap 1 fase A : $0 < t < L/a$

Tahap pertama terjadi setelah katup telah ditutup tetapi sebelum gelombang yang dihasilkan telah melakukan perjalanan sepanjang pipa dan mencapai *reservoir* (lihat gambar 2.1). Gelombang bergerak pada kecepatan  $\alpha$ , bergerak dari katup ke reservoir (lihat gambar 2.1 Tahap A – gelombang awalnya bergerak dari kanan ke kiri). Fluida dari *reservoir* dari bagian depan gelombang (disebelah kiri) belum terkena efek dari penutupan katup, dengan demikian kecepatan dan tekanan tetap



*steady*. Sehingga sebelum gelombang mencapai *inlet reservoir*, fluida terus mengalir sepanjang pipa pada kecepatan  $V_{steady}$  meskipun katup ditutup. Bagian pipa ke kanan, dimana gelombang telah berlalu karena efek penutupan katup dan dengan demikian gerakan fluida telah berhenti (kecepatannya adalah nol). Energi kinetik fluida telah diubah menjadi energi potensial dengan meningkatkan tekanan fluida dan memperluas diameter pipa (pipa tereksansi). Gambar 2.1, tahap A, menunjukkan pada bagian kanan pipa mengembang karena efek flida yang berlebihan, dengan diameter asli di sebelah kiri.

### **Tahap 2 fase B : $L/a < t < 2L/a$**

Tahap kedua terjadi setelah gelombang telah tercermin dari *inlet reservoir*, gelombang bergerak kembali mnuju katup. Gelombang masih bergerak pada kecepatan  $a$  dan fluida bergerak dari reservoir ke katup (lihat gambar 2.1, Tahap B). Fluida *reservoir* dari bagian depan gelombang (disebelah kiri) terkena efek dari penutupan katup. Selanjutnya, tekanan tinggi yang dibangun selama tahap A mengakibatkan kelebihan cairan dalam pipa. Selama tahap B cairan ini dikeluarkan ke satu-satunya tempat yang bisa menerimanya yaitu *reservoir upstream*. Dengan demikian aliran balik terjadi untuk mengembalikan tekanan ke tingkat *steady*. Fluida *downstream* dari bagian depan gelombang (disebelah kanan) belum sampai ke bagian *upstream reservoir*, sehingga fluida tetap pada tekanan tinggi dan kecepatan nol.

### **Tahap 3 fase : $2L/a < t < 3L/a$**

Tahap ketiga terjadi setelah gelombang telah tercermin telah tercermin dari *inlet reservoir* yang bergerak kembali ke *reservoir* (lihat gambar 2.1, Tahap C). Gelombang masih bergerak pada kecepatan  $a$ . Pipa berusaha untuk membangun keseimbangan dengan mengalirkan fluida kembali ke *reservoir* untuk mengurangi tekanan tinggi. Selama tahap C tekanan turun dibawah nilai stabil. Penurunan tekanan besarnya sama dengan kenaikan tekanan pada tahap A, tetapi berlawanan tanda. Gelombang melewati pipa selama fase C, gerakan fluida berhenti dan tekanan berkurang.

#### Tahap 4 fase D : $3L/a < t < 4L/a$

Tahap keempat terjadi setelah gelombang telah tercermin dari *inlet reservoir* untuk kedua kalinya dan bergerak kembali menuju katup (lihat gambar 2.1, Tahap D). Fluida *upstream* dari bagan depan gelombang (di sebelah kiri) telah kembali ke nilai-nilai kecepatan dan tekanan yang stabil. Fluida *downstream* dari bagian depan gelombang (di sebelah kanan) masih pada tekanan rendah. Tahap keempat terjadi setelah gelombang tercermin dari *inlet reservoir* untuk kedua kalinya, perjalanan kembali ke katup dan tercermin dari katup, dan sekarang bergerak kembali ke *reservoir* (lihat gambar 2.1, Tahap C). Gelombang masih bergerak pada kecepatan  $a$ . Setelah gelombang mencapai katup untuk kedua kalinya, keempat fase ini akan berulan. Jika pipa tidak ada gesekan, gerakan gelombang akan berlanjut tanpa henti. Jika terdapat efek gesekan pada pipa maka kecepatan gelombang akan berkurang dari waktu ke waktu dan gerak akhirnya berhenti sama sekali

- Rumus terkait kenaikan tekanan

$$P = \rho gh$$

Dimana:

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = ketinggian (m)

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana:

$F$  = gaya (N)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

#### 2.3.1 Penyebab *Water hammer*

Pada sistem transportasi air hampir tidak pernah dalam kondisi *steady*. Tekanan dan arus aliran yang berubah-ubah sebagai akibat dari perubahan permintaan air, pemadaman listrik, kerusakan peralatan dan lain- lain. Perubahan kecepatan aliran tersebut dapat lebih tinggi maupun lebih rendah dari kecepatan aliran mula-mula. Perubahan kecepatan aliran air yang sangat cepat

dapat menimbulkan energi tekanan yang besar atau biasa disebut *water hammer*.

Penyebab *water hammer* sangat banyak, namun secara umum ada 4 (empat) penyebab terjadinya *water hammer* yaitu:

1. Pengoperasian pompa.  
Pengoperasian pompa dapat mengakibatkan peningkatan tekanan secara mendadak dan akhirnya menyebabkan fenomena *water hammer*.
2. Kegagalan pompa beroperasi.  
Kegagalan pompa beroperasi bisa disebabkan pemadaman listrik, rusaknya pompa dan lain-lain. Kegagalan pompa dapat menyebabkan turunnya tekanan di daerah *discharge* pompa, penurunan tekanan tersebut diikuti dengan fluktuasi tekanan yang beresilasi sehingga mengakibatkan fenomena *water hammer*.
3. Penutupan dan pembukaan *valve*.  
Penutupan dan pembukaan *valve* dapat merubah kecepatan aliran fluida dalam pipa dan perubahan kecepatan tersebut dapat lebih tinggi maupun lebih rendah dari kecepatan awal fluida. Perubahan kecepatan aliran tersebut akan menyebabkan *water hammer*.
4. Pengoperasian yang tidak benar.  
Pengoperasian sistem perpipaan yang tidak benar mengakibatkan perubahan tekanan mendadak yang menimbulkan *water hammer*.

### **2.3.2 Pencegahan *Water hammer***

Berikut ini adalah beberapa alat yang digunakan untuk pencegahan *water hammer* pada sistem perpipaan.

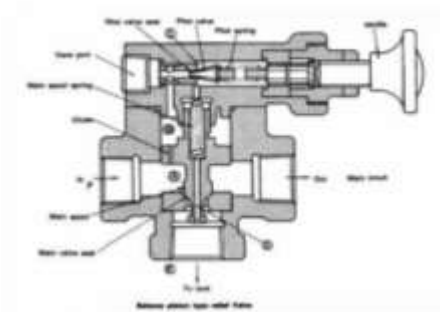
1. *Check Valve*.  
Peletakan *check valve* di *discharge* pompa dapat mencegah kerusakan pompa dari *water hammer*. Penutupan *valve* secara perlahan-lahan akan mengurangi peningkatan tekanan secara mendadak. Dibawah ini adalah gambar dari *check valve*:



**Gambar 2.2** *Check Valve*

2. *Relief Valve.*

Bila tekanan meningkat melebihi batas tertentu maka *relief valve* terbuka, sebaliknya jika tekanan turun hingga dibawah batas tertentu maka *relief valve* menutup. Dibawah ini adalah gambar dari *relief valve*:



**Gambar 2.3** *Relief Valve*

3. *Vacuum Breaker Valve.*

Jika tekanan turun hingga ke titik yang sangat rendah, maka diperlukan *vacuum breaker valve* untuk mengurangi penurunan tekanan. Ukuran *vacuum breaker valve* harus

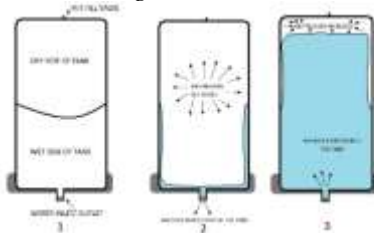
cukup besar untuk menampung udara agar tekanan dalam pipa tidak terlalu rendah. Di bawah ini adalah gambar dari *vacuum breaker valve*:



**Gambar 2.4** *Vacuum Breaker Valve*

4. *Surge Vessel / Tank*

*Surge vessel* adalah sebuah *tank/vessel* berbentuk seperti pipa yang sangat panjang yang salah satu ujungnya terhubung dengan udara luar dan ujung lainnya terhubung dengan pipa pada sistem perpipaan. *Surge vessel* dapat mengatasi tekanan positif maupun negatif. Di bawah ini adalah gambar dari *surge vessel*:

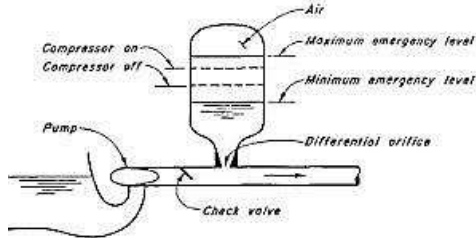


**Gambar 2.5** *Surge Tank*  
(AFT Impulse User's Guide. 2008)

5. *Gas accumulator*

*Gas accumulator* memiliki pengaturan jumlah air dan udara yang harus ada di dalam tangki, ketika kondisi di dalam tangki kekurangan air maka *valve* akan membuka sehingga air di dalam tangki naik, sedangkan apabila di

dalam tangki kelebihan air maka udara diinjeksikan ke dalam tangki sehingga jumlah udara dan air dalam tangki terjaga. Dibawah ini adalah gambar dari *gas accumulator*:



**Gambar 2.6** *Gas Accumulator*  
(AFT Impulse User's Guide. 2008)

6. *Flywheel*.

*Flywheel* bertujuan memperlambat putaran poros yang terhubung dengan *impeller* pompa ketika pompa berhenti beroperasi sehingga putaran *impeller* pompa masih dapat melawan aliran balik akibat *water hammer* dan akan mencegah putaran *impeller* pompa tersebut berbalik arah. Dibawah ini adalah gambar dari *flywheel*:



**Gambar 2.7** *Flywheel*

**2.4 Aliran Laminer dan Turbulen**

Aliran suatu *fluida* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu aliran *laminar* dan aliran *turbulen*. Aliran *laminar* yaitu partikel-

partikel *fluida* yang bergerak secara teratur mengikuti lintasan yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan yang sama. Aliran ini terjadi bila kecepatan kecil dan kekentalan yang besar. Sedangkan aliran disebut *turbulen* bila tiap partikel *fluida* bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu pipa. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan *fluida* yang kecil.

Koefisien gesekan untuk suatu pipa silindris merupakan *Bilangan Reynold (Re)*. Untuk menentukan tipe aliran apakah *laminar* atau *turbulen* dapat digunakan rumus di bawah ini :

$$Re = \frac{\bar{V} \cdot D}{\nu}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$Re$  = bilangan *Reynold*

$\bar{V}$  = kecepatan aliran *fluida* (m/s)

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$\nu$  = *viskositas kinematik* zat cair (m<sup>2</sup>/s)

Bila :  $Re \leq 2300$ , aliran bersifat *laminar*

$2300 \leq Re \leq 4000$ , aliran bersifat *transisi*

$Re \geq 4000$ , aliran bersifat *turbulen*

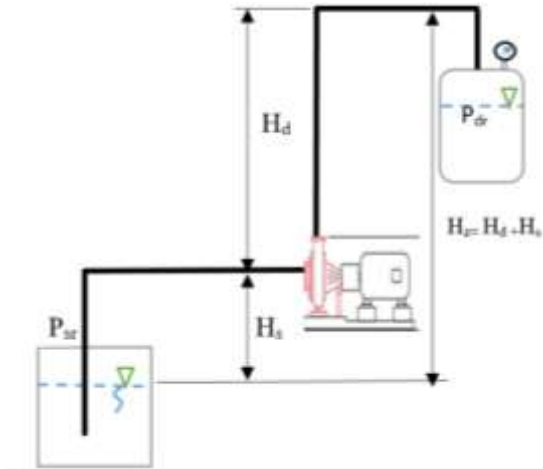
Aliran *transisi* merupakan dimana aliran dapat bersifat *laminar* atau *turbulen* tergantung dari kondisi pipa dan aliran.

## 2.5 *Head* Efektif Instalasi Pompa

Merupakan besarnya *head* yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen yang ada, diantaranya adalah karena perbedaan tekanan, perbedaan kecepatan, perbedaan kerugian (kerugian mekanis, volumetris, dinamis dan kerugian listrik). Persamaan *head* instalasi sebagai berikut :

$$H_{eff} = \sum H_{st} + \sum H_{din}$$

$$H_{eff} = \left( \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d - H_s) \right) + \left( \left( \frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g} \right) + \sum H_{LT} \right)$$



**Gambar 2.8** Head Efektif Instalasi  
(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

### 2.5.1 Head Statis

Adalah perbedaan tinggi permukaan fluida pada bagian hisap dengan bagian tekan. *Head statis* tidak dipengaruhi oleh debit, hanya pada perbedaan tekanan dan ketinggian.

$$\sum H_{st} = \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d + H_s)$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$H_{st}$  = Head Statis total (m)

$P_1$  = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)



$P_2$  = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

$\gamma$  = berat jenis *fluida*  $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

$H_d$  = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

$H_s$  = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

Head statis terdiri dari :

**1. Head tekanan (Pressure Head)**

Merupakan energi yang terdapat di dalam *fluida* akibat perbedaan tekanan antara *discharge reservoir* dan *suction reservoir*.

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$H_p$  = *Head statis total* (m)

$P_1$  = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)

$P_2$  = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

$\gamma$  = berat jenis *fluida*  $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

**2. Head ketinggian (Elevation Head)**

Merupakan perbedaan ketinggian dari permukaan *fluida* pada sisi *discharge reservoir* dan *suction reservoir* dengan acuan garis sumbu tengah pompa.

$$H_z = H_d + H_s$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$H_z$  = *Head elevasi* (m)

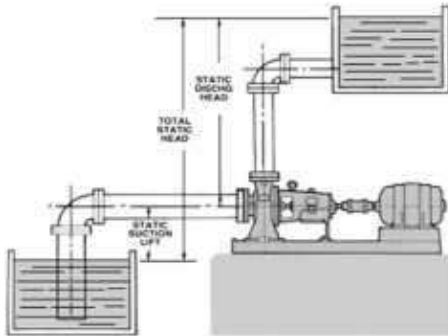
$H_d$  = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

$H_s$  = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

Terdapat dua macam ketinggian *head* instalasi , yaitu:

**a. Suction Lift**

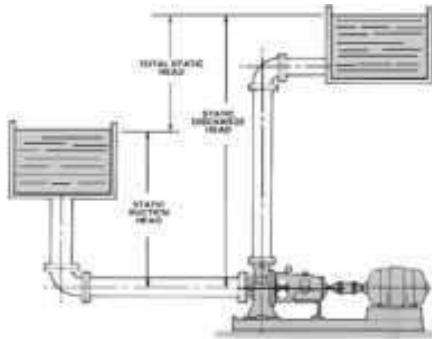
Suction lift adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari permukaan *fluida* yang harus dipompakan terhadap garis sumbu tengah pompa. *Suction Lift* diperoleh mulai dari garis tengah sumbu pompa sampai permukaan sumber suplai (*suction tank*). Gambar 2.3 merupakan contoh instalasi *suction Lift*. Nilai ( $H_d - H_s$ ) bernilai positif (+), karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih rendah dari sumbu tengah pompa.



**Gambar 2.9** Instalasi *Suction Lift*  
(Hicks. 1971)

**b. Suction Head**

*Suction head* adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari garis sumbu tengah pompa hingga ketinggian *fluida* yang dipompakan. *Suction head* diperoleh mulai dari permukaan sumber suplai (*suction tank*) yang berada di atas garis tengah sumbu pompa. Gambar 2.4 merupakan contoh instalasi *suction head*. Nilai ( $H_d - H_s$ ) bernilai negatif (-) , karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih tinggi dari sumbu tengah pompa.



**Gambar 2.10** Instalasi *Suction Head*  
(Hicks. 1971)

### 2.5.2 *Head Dinamis*

*Head* dinamis adalah *head* yang terdiri dari *velocity head* dan *head loss*. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$\sum H_{din} = \left( \frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g} \right) + \sum H_{LT}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$$\sum H_{din} = \text{Head dinamis (m)}$$

$$\sum H_{LT} = \text{kerugian tinggi tekan (m)}$$

$$\bar{V}_d = \text{kecepatan aliran discharge (m/s)}$$

$$\bar{V}_s = \text{kecepatan aliran suction (m/s)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (9,81 m/s}^2\text{)}$$

➤ *Head* dinamis terdiri dari :

1) ***Velocity Head***

adalah *head* yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan yang keluar dari *suction reservoir* dan masuk ke dalam

*discharge reservoir*. Velocity head ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_v = \frac{\bar{V}_d^2 - \bar{V}_s^2}{2 \cdot g}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$\bar{V}_d$  = kecepatan aliran *discharge* (m/s)

$\bar{V}_s$  = kecepatan aliran *suction* (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

## 2) Total Kerugian Tinggi-Tekan (*Head Loss Total*)

*Head Loss Total* (total kerugian tinggi tekan) merupakan jumlah suatu kerugian yang dialami aliran *fluida* selama bersirkulasi dimana kerugian itu tergantung pada geometri penampang saluran dan parameter-parameter *fluida* serta aliran itu sendiri. Kerugian tinggi tekan (*Head loss*) dapat dibedakan atas, kerugian dalam pipa (*major losses*) dan kerugian pada perubahan geometri (*minor losses*). Untuk persamaan total kerugian tinggi tekan adalah :

$$\sum H_{LT} = H_l + \sum H_{lm}$$

$$\sum H_{LT} = \left( f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \right) + \left( K \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

### 2.a) *Head Loss Mayor*

Kerugian aliran *fluida* yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara *fluida* dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran *fluida* (kerugian kecil).

Kerugian *head* akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari rumus berikut :

### Persamaan Darcy – Weisbach

$$H_l = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$H_l$  = kerugian *head* karena gesekan (m)

$f$  = faktor gesekan

$D$  = diameter pipa (m)

$\bar{V}$  = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

$g$  = gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Untuk aliran *laminar*, faktor gesekan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Untuk aliran *turbulen*, faktor gesekan dibedakan menjadi :

- a. Untuk pipa halus, hubungan antara bilangan *reynold* dengan faktor gesekan :

$$\text{Blasius : } f = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}$$

untuk  $3000 \leq \text{Re} \leq 100000$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

- b. Untuk pipa kasar dan halus , hubungan antara bilangan *reynold* dengan faktor gesekan :

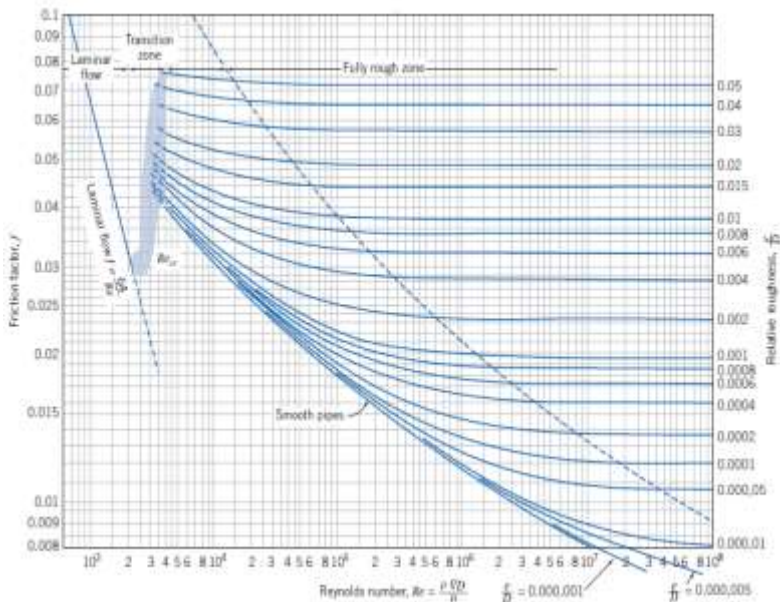
**Colebrook-White:**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right)$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Untuk menggunakan persamaan ini dilakukan dengan menggunakan iterasi yang membuat harga  $f$  dapat lebih akurat. Adapun cara lain untuk mempermudah mencari harga *friction factor* ( $f$ ), dapat menggunakan *moody diagram* dengan fungsi *reynold number* ( $Re$ ) dan  $e/d$  terhadap *friction factor* ( $f$ ).

Persamaan *Colebrook-White* berlaku untuk seluruh kisaran aliran *non laminar* dalam *diagram moody*.



**Gambar 2.11** Moody Diagram  
(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

## 2.b) **Head Loss Minor**

Selain kerugian *head loss mayor*, juga terdapat kerugian energi karena perubahan menampang pipa, entrance, sambungan, elbow, katup, dan asesoris perpipaan lainnya yang disebut dengan kerugian kecil (*Head Loss Minor*). Besarnya kerugian minor, yaitu :

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana :

$\bar{V}$  = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

$g$  = gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$K$  = koefisien kerugian (minor losses) pipa

Dimana harga  $K$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$K = f \cdot \frac{L_e}{D}$$

(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

Dimana harga  $K$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

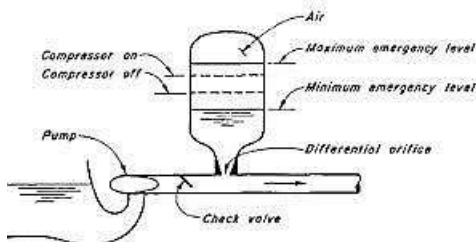
(Fox and McDonald 8<sup>th</sup> edition 2011)

## 2.6 Proteksi *Water hammer* di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Proteksi atau perlindungan terhadap sistem perpipaan dari *water hammer* merupakan sesuatu yang perlu dilakukan untuk menjaga agar tidak terjadi kerusakan pada komponen penyusunnya. Sistem proteksi yang saat ini yang digunakan adalah *gas accumulator* pada instalasi pompa dengan ukuran yang telah ditentukan sesuai desain awal. Pada penelitian ini dilakukan untuk melihat perbedaan pada sistem perpipaan yang diberi *gas accumulator* dan yang tidak diberi proteksi sama sekali. Pada penelitian ini akan menunjukkan berapa besar pengaruh *gas accumulator* dalam mereduksi fenomena *water hammer*.

- **Teori Gas Accumulator**

*Gas accumulator* adalah alat proteksi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya fluktuasi tekanan yang terjadi dalam sistem perpipaan akibat adanya aliran yang terhenti secara mendadak. *Gas accumulator* memiliki pengaturan jumlah air dan udara yang harus ada dalam tangki, ketika kondisi di dalam tangki kekurangan air maka *release valve* akan terbuka sehingga air di dalam tangki akan naik sedangkan apabila kondisi di dalam tangki kelebihan air maka udara diinjeksikan ke dalam tangki sehingga jumlah udara dan air di dalam tangki tetap terjaga. Gambar *gas accumulator* secara umum dapat dilihat pada gambar dibawah:



**Gambar 2.12** *Gas accumulator*  
(AFT Impulse User's Guide. 2008)

Salah satu tipe dari *gas accumulator*, yaitu *bladder accumulator*. Cara kerjanya ialah ketika tekanan naik, air akan masuk ke dalam *gas accumulator* sehingga *bladder* akan terkompresi dan menyebabkan udara bertekanan dibuang ke atmosfer. Lalu tekanan akan turun sepersekian detik sehingga *bladder* dalam kondisi ekspansi dan mendorong air untuk keluar dari *gas accumulator*. Proses kompresi dan ekspansi akan terjadi terus menerus hingga energi dari gelombang semakin mengecil dan hilang. Selain itu, *poppet valve* juga berfungsi mereduksi gelombang tekanan fluida akibat *water hammer* karena memiliki *friction factor* yang besar sehingga gelombang tekanan tidak langsung menghantam *bladder*.



Proses kompresi dan ekspansi di dalam *gas accumulator* berlangsung sesuai hukum Boyle-Mariotte, yaitu:

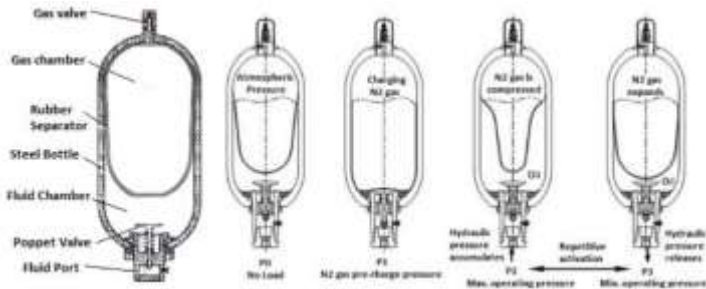
$$P_0 \cdot V_0^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$$

(AFT Impulse User's Guide. 2008)

Keterangan:

- $P$  = tekanan *gas accumulator* (bar)
- $V$  = volume gas dalam *gas accumulator* (m<sup>3</sup>)
- $n$  = politropik konstan.

Berikut merupakan gambar cara kerja dari *gas accumulator* mulai saat tidak ada beban hingga terjadinya proses kompresi dan ekspansi sampai energi tekanan berkurang.



**Gambar 2.13** *Bladder accumulator*  
(AFT Impulse User's Guide. 2008)

## 2.7 Estimasi momen inersia *impeller* pompa dan motor penggerak

Perhitungan untuk estimasi momen inersia *impeller* pompa beserta air yang tertahan pada *casing* pompa adalah sebagai berikut.

$$I_p = 1,5(10^7) \left( \frac{P}{N^3} \right)^{0,9556}$$

(AFT Impulse User's Guide. 2008)

Sedangkan perhitungan estimasi momen inersia untuk motor penggerak adalah sebagai berikut.

$$I_m = 118 \left( \frac{P}{N} \right)^{1,48}$$

(AFT Impulse User's Guide. 2008)

Keterangan:

$I_p$  = momen inersia pompa dan air pada *casing* pompa (kg.m<sup>2</sup>)

$I_m$  = momen inersia untuk motor penggerak (kg.m<sup>2</sup>)

$P$  = daya motor (kW)

$N$  = kecepatan putaran (rpm)

## 2.8 Perangkat Lunak AFT Impulse 4.0

AFT Impulse merupakan program grafis untuk pemodelan *water hammer* dan *surge transient* pada instalasi perpipaan yang menghubungkan dari proses sederhana sampai proses yang kompleks untuk membuat model instalasi *water hammer*. Program ini akan menghitung tekanan *transient* pada sistem perpipaan dengan menggunakan iterasi dan metode matriks. Sedangkan metode karakteristik digunakan untuk memecahkan massa *transient* dan persamaan momentum pada aliran di dalam pipa.

Pemodelan dengan menggunakan AFT Impulse ini adalah sebagai alat bantu untuk melihat dampak yang ditimbulkan akibat fenomena aliran *transient* yang terjadi pada sistem perpipaan sehingga mampu dilakukan pertimbangan untuk mengambil keputusan di lapangan. Juga sebagai salah satu pendekatan yang bisa dijadikan dasar penilaian terhadap interaksi antar komponen perpipaan yang ada, dengan demikian bisa dilakukan pencegahan untuk menghindari potensi dampak yang ditimbulkan oleh fenomena *water hammer* dan juga sistem *transient* yang tidak diinginkan lainnya.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

### 2.9.1 Akbar, Marzal Taufiq (2009)

Melakukan analisa mengenai simulasi sistem proteksi *water hammer* pada transmisi air minum di PDAM Probolinggo. Pada penelitiannya Akbar membandingkan lonjakan tekanan yang terjadi ketika fenomena *water hammer* terjadi dengan 3 variabel,

yaitu tanpa alat proteksi, dengan alat proteksi *surge tank*, dan dengan alat proteksi *gas accumulator*. Pipa yang di analisa adalah pipa *discharge* setelah *check valve*. Dari hasil simulasinya yang menggunakan *software* AFT Impulse 4.0 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Tekanan maksimum tanpa penggunaan alat proteksi pada sisi *inlet* pipa 1758.23 kPa sedangkan pada bagian *outlet* 1456.84 kPa
- Tekanan maksimum dengan menggunakan *surge tank* pada sisi inlet bertekanan 1310.35 kPa dan 1239.65 kPa pada sisi *outlet*
- Tekanan maksimum dengan alat proteksi *gas accumulator* pada sisi *inlet* yaitu 955.55 kPa dan pada sisi *outlet* bertekanan 872.59 kPa

### **2.9.2 Ferdiansyah, Pangki (2017)**

Melakukan analisa mengenai simulasi sistem proteksi *water hammer* pada Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya. Pada penelitiannya, Pangki membandingkan lonjakan tekanan yang terjadi ketika fenomena *water hammer* terjadi dengan variasi *liquid height level* 1 meter, 3 meter, dan 5 meter pada *surge tank*, sedangkan variasi volume *gas accumulator* memakai 25 liter, 35 liter, dan 55 liter. Dari hasil simulasinya menggunakan *software* AFT Impulse 4.0, pada pipa *interconnection* didapatkan:

- Variasi volume 55 liter, 35 liter dan 25 liter pada *gas accumulator* memiliki lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) sebesar 9,3 bar, 9,1 bar dan 8,9 bar pada saat detik ke-0.1. Meskipun variasi volume 55 liter memiliki lonjakan tertinggi tetapi fluktuasi tekanan lebih stabil dari pada variasi yang lain. Semua variasi volume mengalami penurunan secara bertahap dan terjadi beberapa lonjakan kembali pada waktu tertentu.
- Variasi *liquid height level* 5 meter, 3 meter, dan 1 meter pada *surge tank* memiliki lonjakan tekanan maksimum

(*peak pressure*) sebesar 23,42 bar pada detik ke 0.19, 24.04 bar pada detik ke 0.37 dan 23.6 bar pada saat detik ke-0.32. Maka *liquid height level* 5 meter memiliki *peak pressure* paling rendah daripada variasi lainnya

- Jika dibandingkan antara *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* dan volume *gas accumulator* 55 liter, volume *gas accumulator* 55 liter dianggap lebih efektif untuk mereduksi terjadinya lonjakan dan fluktuasi tekanan.

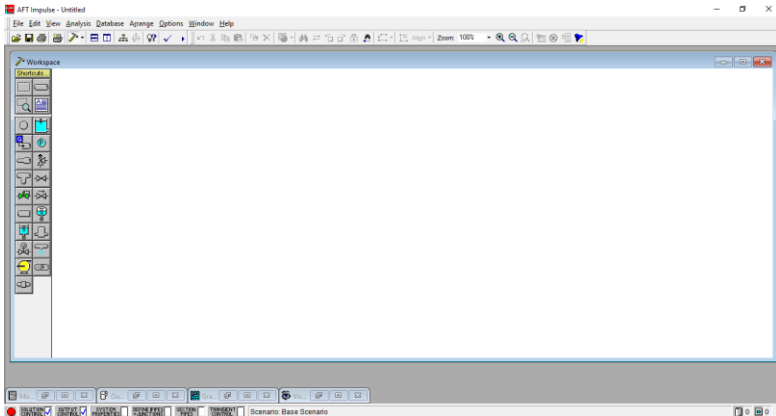
## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Proses Pemodelan Sistem Perpipaan**

Penelitian ini mengacu pada instalasi rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya yang menuju ke daerah Wonokitri yang letak *reservoir*-nya lebih tinggi dari *reservoir* di Karang Pilang. Data awal pemodelan ini adalah skema gambar pompa beserta karakteristik perpipaan yang akan dimodelkan, seperti halnya karakteristik pompa, spesifikasi pipa, spesifikasi *junction*, spesifikasi fluida, dan spesifikasi alat proteksi *water hammer*.

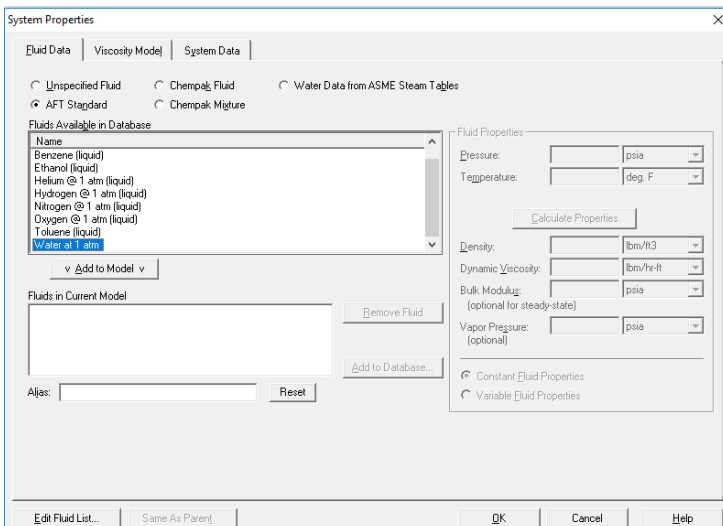
*Software* yang digunakan untuk mensimulasikan pemodelan yang akan dibuat dalam penelitian ini dengan metode komputasi, yaitu dengan *software* AFT Impulse 4.0. Kelebihan dari *software* ini ialah lebih praktis, biaya yang relatif murah, hasil yang diperoleh lebih cepat dan tidak memerlukan tenaga sehingga lebih efisien. Namun metode komputasi ini juga memiliki kekurangan, yaitu tetap memerlukan tinjauan dan komparasi dari hasil eksperimen (*real*) agar dihasilkan data yang *valid*. Berikut adalah cara untuk menggunakan *software* AFT Impulse 4.0:

- a. Buka *software* AFT Impulse dan akan muncul tampilan awal sebagai berikut:



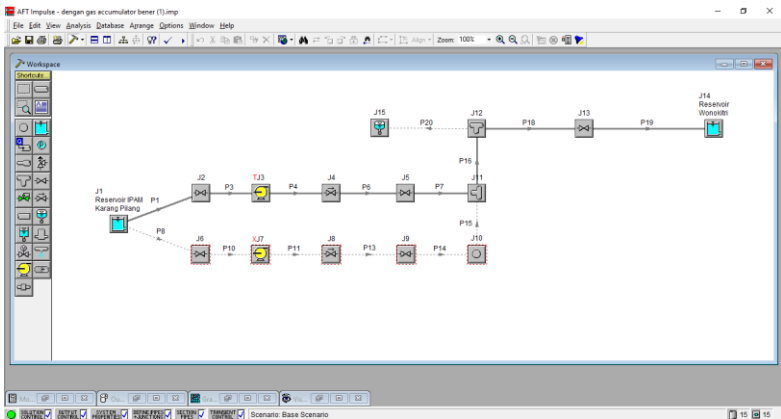
**Gambar 3.1** Tampilan Awal *software* AFT Impulse 4.0

- b. Klik *system properties* yang belum tercentang pada kolom kiri bawah, pilih AFT Standard dan pilih fluida yang dibutuhkan lalu klik *Add to model* dan isi temperatur dari fluida. Setelah itu klik *calculate properties* dan klik OK.



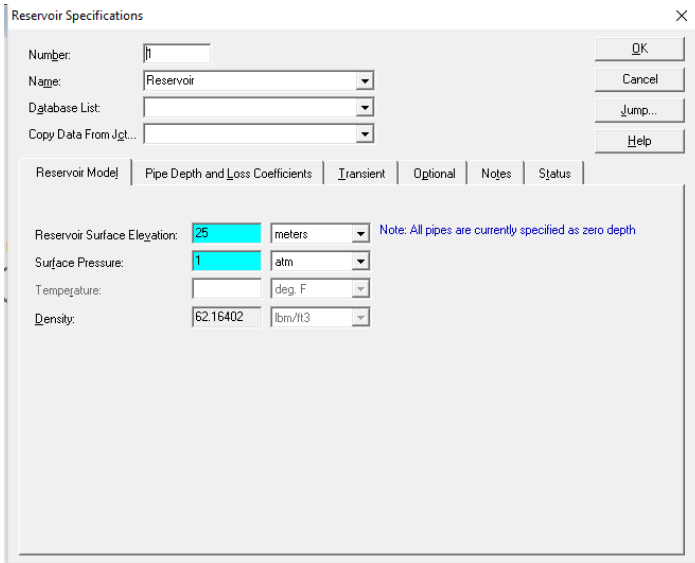
**Gambar 3.2** Menu *System Properties*

- c. Pilih *junction* yang digunakan di sistem perpipaan seperti *reservoir*, *valve*, pompa, *check valve*, *tee*, *branch*, dan *gas accumulator* dengan cara *drag* ke layout. Setelah itu, klik *icon pipe drawing tool* dan klik dari *junction* satu ke yang lain untuk membuat pipa



**Gambar 3.3.** Permodelan Sistem Perpipaan

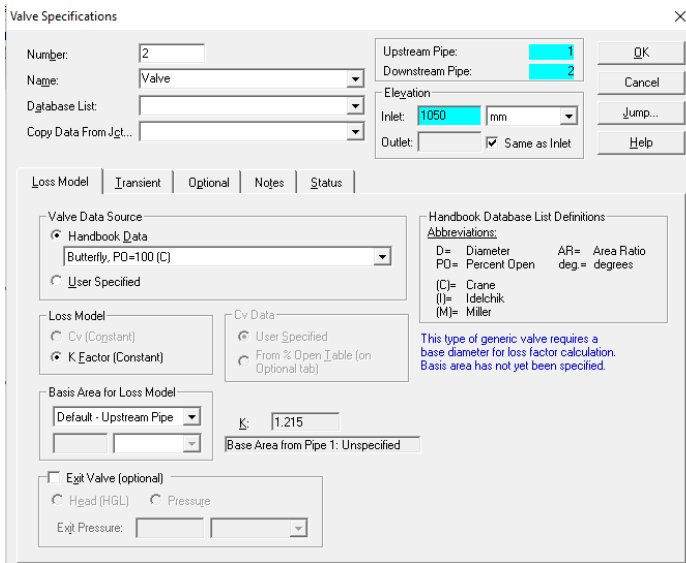
- d. Isi spesifikasi peralatan dengan cara *double-click* ikon masing-masing *junction*
- Reservoir
    - Untuk reservoir, spesifikasi yang diisi cukup pada tab “reservoir model” yaitu *reservoir surface elevation* dan *surface pressure* dan klik OK.



**Gambar 3.4.** Menu Spesifikasi Reservoir

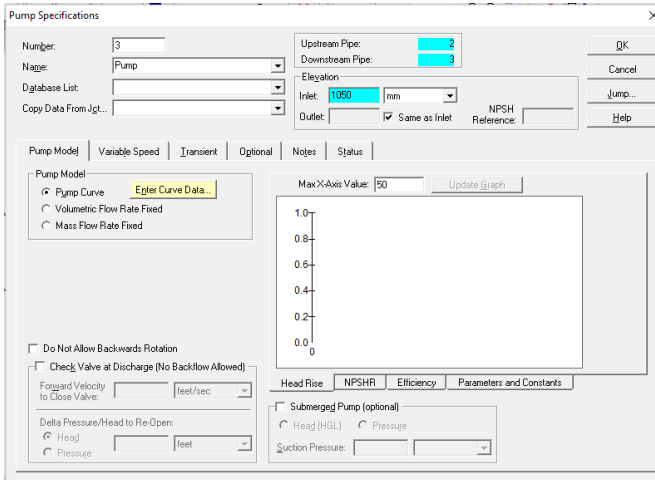
- Valve  
Untuk valve, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “loss mode” klik handbook data dan pilih tipe valve yang digunakan dan klik OK.





**Gambar 3.5** Menu Spesifikasi Valve

- Pompa  
 Untuk pompa, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “pump model” klik pump curve, lalu enter curve data. Masukkan data dari grafik performa pompa ke tabel dan klik OK. Pada tab “transient” lalu pilih transient model. Pada tab “optional” lalu pilih *number of pumps at location* lalu pilih sesuai dengan tipe pengoperasian pompa, dan pada *special condition* isi sesuai dengan kondisi pompa. Lalu klik OK.



**Gambar 3.6** Menu Spesifikasi Pompa

**Raw Data:**

Data Point	Q (liter/sec)	dH (meters)	NPSHR (meters)	Power (kW)
1	0	60.5		320
2	83.33334	60		320
3	166.6667	59		340
4	250	58.2		360
5	333.3333	57.5		380
6	416.6667	56.8		390
7	500	55.2		401
8	583.3333	54		420
9	666.6667	52.7		440
10	750	51.3		450
11	833.3333	49.5		475
12	916.6667	47.6		500
13	1000	45.8		510
14	1030	44.2		510
15	1083.3333	43.7		520

**Curve Fitting:**

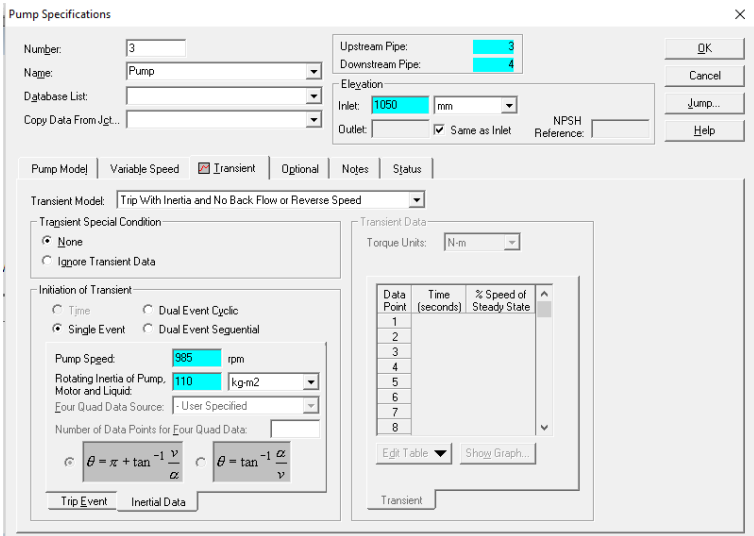
Curve Fit Type: Polynomial  
 Curve Fit Order: 2

Head Rise  
 Net Positive Suction Head Required  
 Power

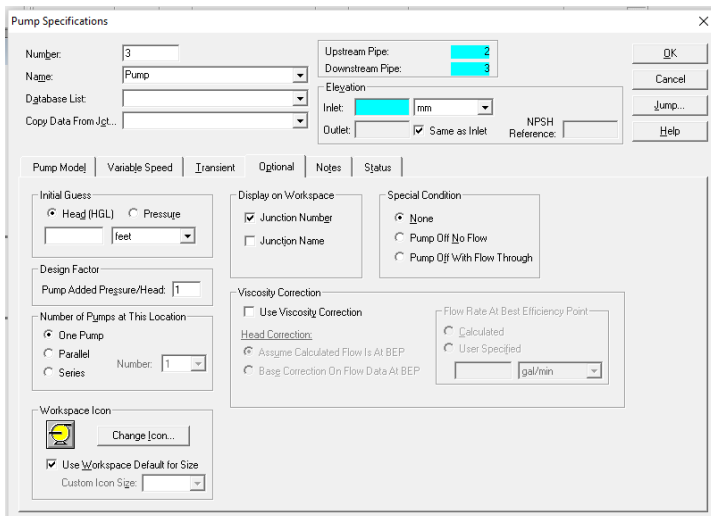
$\Delta H = a + bQ + cQ^2 + dQ^3 + eQ^4$

PUMP CURVE	
a	59.99218
b	-2.525411E-03
c	-1.230911E-05
NPSH	
None	
EFFICIENCY	
a	313.6573
b	0.171526

**Gambar 3.7** Tabel Data Grafik Performa Pompa

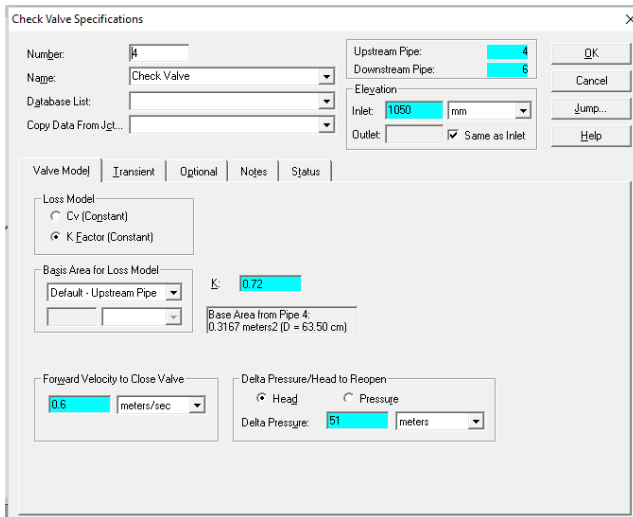


**Gambar 3.8** Pemilihan Model Transient pada Pompa



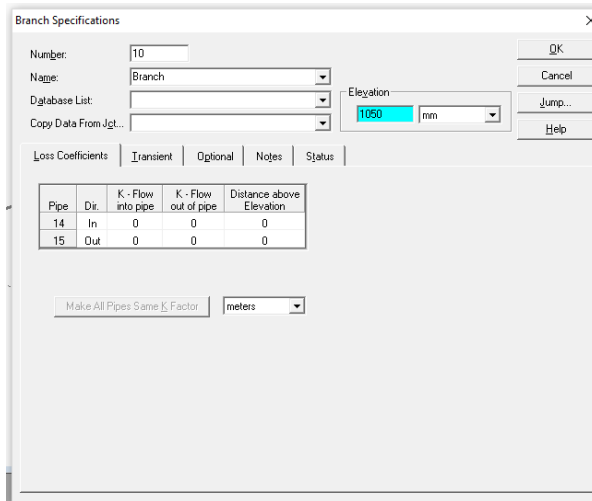
**Gambar 3.9** Pemilihan Kondisi Pompa

- Check Valve  
Untuk *check valve*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “valve model” klik K Factor dan isi *friction factor*. Isi *forward velocity of close valve* dan *delta pressure*. Lalu klik OK.



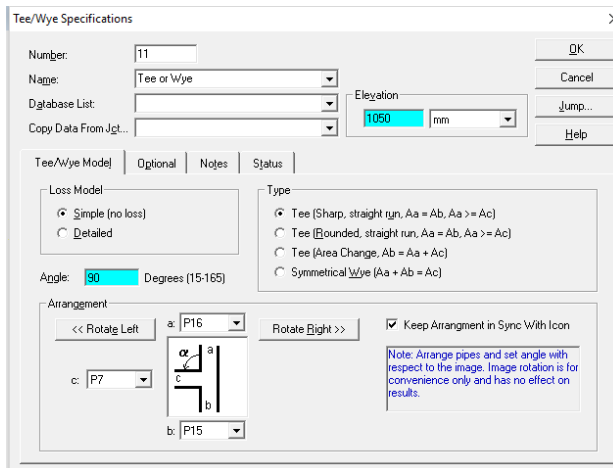
**Gambar 3.10** Menu Spesifikasi Check Valve

- Branch  
Untuk *branch*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet dan klik OK.



**Gambar 3.11** Menu Spesifikasi Branch

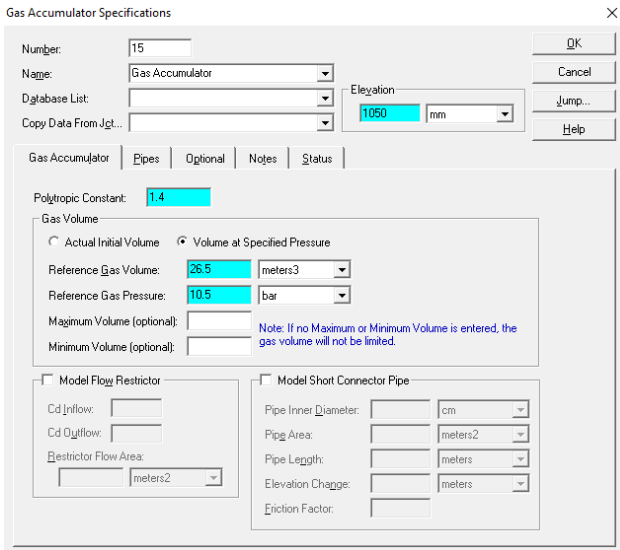
- Tee  
Untuk *tee*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, dan pilih pipa yang dihubungkan dan klik OK.



**Gambar 3.12** Menu Spesifikasi Tee

- Gas Accumulator

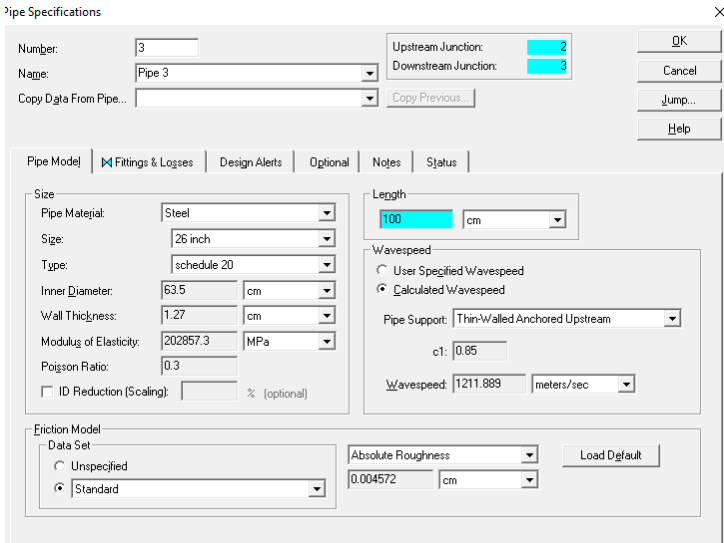
Untuk *gas accumulator*, spesifikasi yang diisi adalah elevation inlet, pada tab “gas accumulator” yang perlu diisi adalah *polytropic constant, reference gas volume, reference gas volume*. Lalu klik OK.



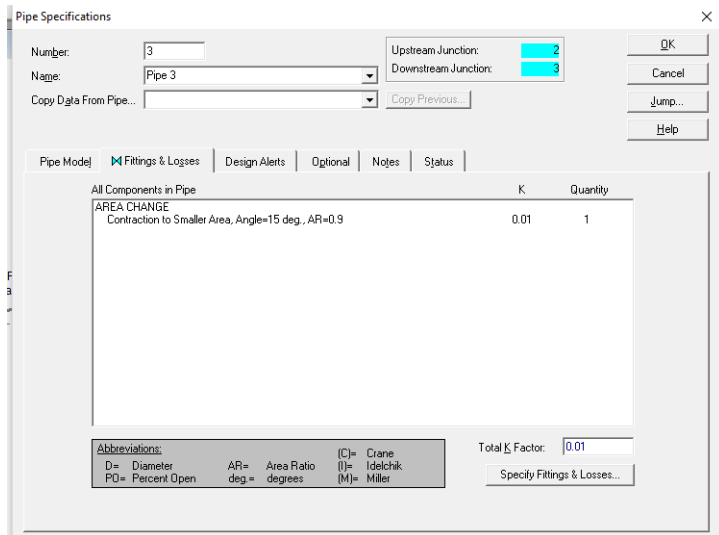
**Gambar 3.13** Menu Spesifikasi *Gas Accumulator*

- Pipa

Untuk pipa, spesifikasi yang diisi pada tab “pipe model” yang perlu diisi adalah *length*, pilih *pipe material, size, type*. Pada tab “fitting&losses” klik *specify fitting&losses*. Lalu klik OK.



**Gambar 3.14** Menu Spesifikasi Pipa



**Gambar 3.15** Menu Fitting&Losses

c. Klik menu *section pipe* pada kolom kiri bawah dan klik *search*. Lalu klik OK.

Section Pipes

Search for Sectioning Options

Min. Sections in Controlling Pipe: 1

Max. Sections in Controlling Pipe: 10

Max. Percentage Error: 10

Percentage Increment: 0.05

Sort Sectioning by Minimum Error

Search Results:

Sections in Controlling Pipe	Average Error (Percent)	Maximum Error (Percent)	Pipe with Maximum Error
1	1.233	1.8186	2
3	1.000	0.9250	1
4	1.000	0.9250	1
6	1.000	0.9363	1
7	2.000	1.8725	2
8	2.000	1.8186	2
10	1.000	0.9250	1
11	1.000	0.9250	1
13	1.000	0.9363	1

Combine Pipes

Combining Pipes Can Dramatically Reduce the Model Run Time!

Number of Pipes That Could Be Combined = 3

Controlling Pipe: 10

Ideal Number of Sections in Controlling Pipe: 0.925

Time Step (sec): 0.000892

Sectioning For Model:

Pipe	Length (meters)	Wavespeed (meters/sec)	Ideal # of Sections	Integer # of Sections	Error (Percent)	Modified Wave Speed (meters/sec)	B (MPa per kg/sec)
1	2.000	1.233	1.8186	2	9.973	1.121	2.359E-03
3	1.000	1.212	0.9250	1	8.108	1.121	3.540E-03
4	1.000	1.212	0.9250	1	8.108	1.121	3.540E-03
6	1.000	1.197	0.9363	1	6.807	1.121	3.035E-03
7	2.000	1.197	1.8725	2	6.807	1.121	3.035E-03
8	2.000	1.233	1.8186	2	9.973	1.121	2.359E-03
10	1.000	1.212	0.9250	1	8.108	1.121	3.540E-03
11	1.000	1.212	0.9250	1	8.108	1.121	3.540E-03
13	1.000	1.197	0.9363	1	6.807	1.121	3.035E-03

Note: The units used above are the preferred units for length, velocity and area specified in the Parameters and Unit Preferences

Gambar 3.16 Menu Section Pipes

Transient Control

Transient Solver Control | Pipe Station Output | Junction Output | Force Output

Simulation Duration

Start Time: 0 seconds

Stop Time: 300

Time Step Size (seconds): 8.92E-04

Total Time Steps: 336299

Artificial Transients

Stop Run if Artificial Transient Detected

Artificial Transient Criteria (%): 0.5

Ignore Flows Less Than: 0 ltr/sec

Save Output To File

Every Time Step

Every: 20 Time Steps

Variable Resistance

Use Variable Pipe Resistance

Model Transient Cavitation

Model: Discrete Vapor Cavity Model

Psi (weighting factor): 0.5

Initial Void Fraction:

Void Fraction Reference Pressure: MPa

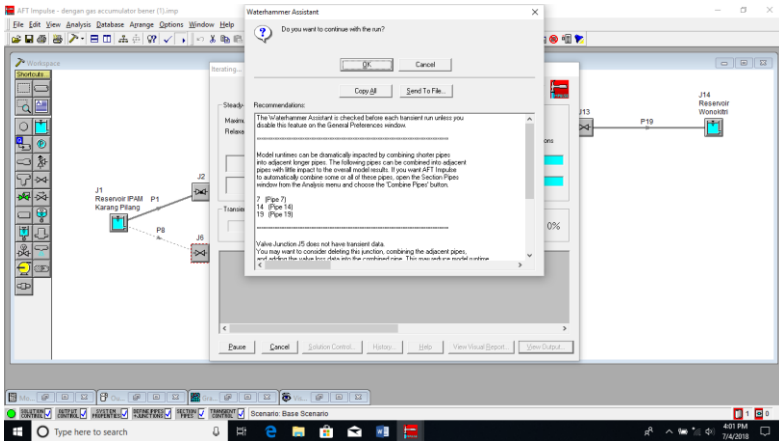
Estimated Output File Size: File Size: 9.0 MB

Estimated Run Time: Run Time: 4.16 hours

Gambar 3.17 Menu Transient Control



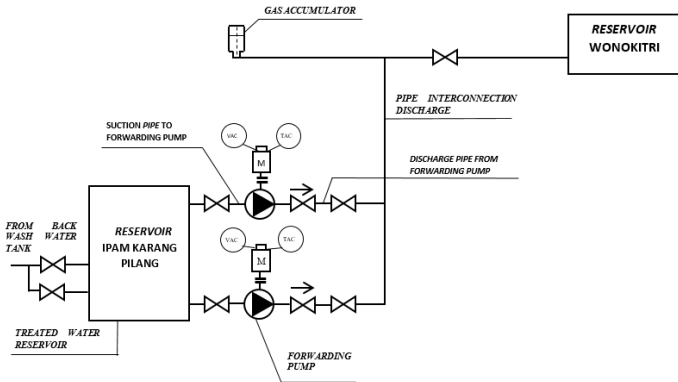
- e. Setelah semua properties tercentang biru pada kolom kiri bawah, barulah bias dilakukan running program dengan cara mengeklik tombol running pada *toolbar* utama. Setelah itu klik OK.



**Gambar 3.18** Tampilan Program Saat Akan Running

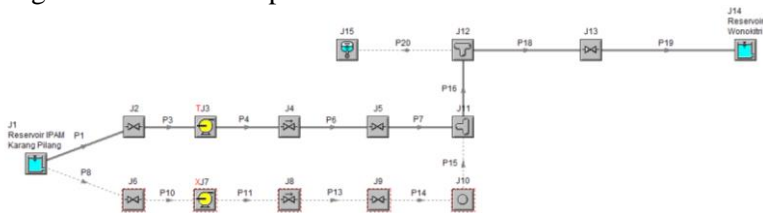
- f. Setelah running barulah bias melihat grafik dan data fluktuasi tekanan.

### 3.2 Pemodelan dengan Menggunakan Layout



**Gambar 3.19** Skema Instalasi Perpipaan di Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Dari skema diatas kemudian dilakukan pembuatan pemodelan hingga menyerupai dengan susunan instalasi perpipaan di Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada untuk mendapatkan hasil simulasi yang maksimal. Namun karena keterbatasan dari *software* maka instalasi dilakukan pemodelan yang lebih sederhana seperti dibawah ini:



**Gambar 3.20** Model Sistem Perpipaan di Rumah Pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya dengan *Software* AFT Impulse 4.0

Gambar diatas merupakan pemodelan pada *software* sesuai dengan instalasi perpipaan di rumah pompa unit IPAM

Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya mulai dari *reservoir* air bersih di Karang Pilang hingga menuju *reservoir* di Wonokitri. Dimana terdapat total 2 buah pompa yang terpasang dengan keterangan hanya 1 buah pompa yang beroperasi dan 1 buah pompa *standby*. Pompa *standby* dimaksudkan agar apabila terjadi hal yang tidak diinginkan, seperti tiba-tiba 1 buah pompa mengalami kendala dan harus dimatikan sementara waktu, pompa *standby* akan menggantikan pompa tersebut untuk beroperasi. Berikut adalah data-data pada simulasi:

**1. Fluida dalam pipa:**

- Fluida : Air pada tekanan 1 atm
- Suhu : 30°C
- Karakteristik Air :

**Tabel 3.1** Karakteristik untuk Fluida Air pada Suhu 30°C

Densitas	995.77191 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas Dinamik	7,91 x 10 <sup>-4</sup> kg/sec-m
Bulk Modulus	215013,5 mH <sub>2</sub> O std.

**2. Spesifikasi Pipa**

Spesifikasi pipa yang digunakan pada pemodelan sistem perpipaan IPAM Karang Pilang 1 ini terlampir secara detail pada lampiran 1.

**3. Spesifikasi *Reservoir & Junction*:**

Data *reservoir* dan jenis sambungan perpipaan serta elevasinya terlampir pada lampiran 2.

**4. Spesifikasi Pompa Produksi:**

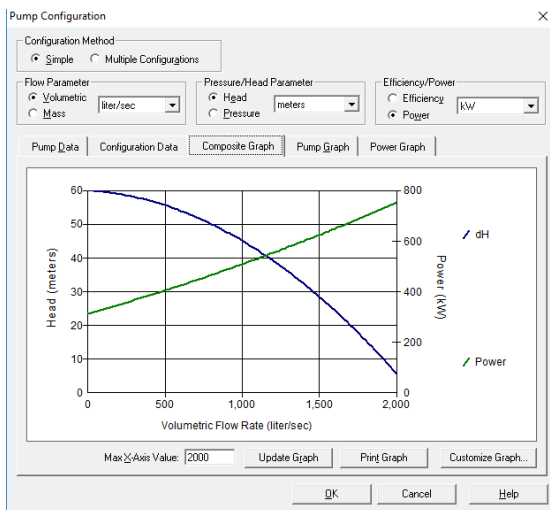
Pompa yang digunakan merupakan pompa sentrifugal (jenis pompa *positive suction*) dimana posisi pompa berada di bawah posisi *reservoir*. Terdapat 1 buah pompa yang dioperasikan dan didistribusikan ke *reservoir* wonokitri dan 1 buah pompa dalam keadaan *standby*. Berikut detailnya :

- Pompa 1 : memasok permintaan *flow rate* sebesar 1030 liter/detik
- Pompa 2 : pompa *standby*.

Dari karakteristik masing-masing pompa operasi, debit total yang menuju reservoir di Wonokitri, yaitu 1030 liter/detik. Berikut ini adalah karakteristik pompa :

**Tabel 3.2** Spesifikasi Pompa Produksi di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM

Merk	Toroshima
Tipe	CDMV 700x600
Nomor Seri	P501018
Jenis	Sentrifugal
Kapasitas	1030 liter/detik
Head	44 m



**Gambar 3.21** Kurva Performa Pompa Sentrifugal Torishima CDMV 700x600

## 5. Spesifikasi Motor Penggerak Pompa Produksi:

Motor yang digunakan di rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 1 merupakan elektro motor yang terhubung secara vertikal dengan masing-masing pompa produksi. Berikut karakteristik motor penggerak pompa:

**Tabel 3.3** Spesifikasi Elektro Motor Penggerak Pompa di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Merk	Hyundai
Tipe	HLA 7636-6
Nomor Seri	88 MSTV 0339
Daya	800 kW
Voltase	6000 V
Ampere	91 A
Putaran	990 rpm

## 6. Spesifikasi Alat Proteksi Water Hammer

- Spesifikasi *Bladder Accumulator*

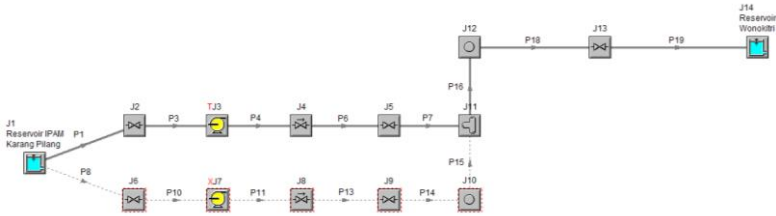
Pada rumah pompa Unit IPAM Karang Pilang 1 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *gas accumulator* yang diletakkan sejauh 47,86 meter dari rumah pompa. Spesifikasi dan skema *gas accumulator* yang digunakan Karang Pilang 1 ditunjukkan dibawah ini:

**Tabel 3.4** Spesifikasi *Gas Accumulator* di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

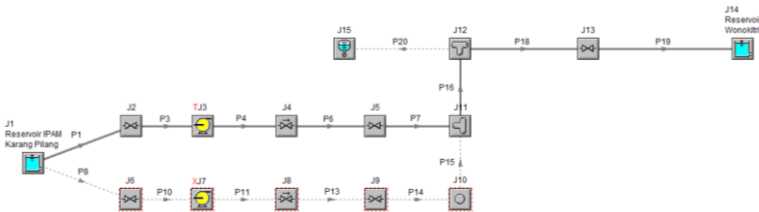
Tekanan Kerja	10,5 bar
Kapasitas	53 m <sup>3</sup>
Diameter	2,1 m

### 3.3 Skema Pemodelan Sistem Perpipaan pada Simulasi

Untuk melihat pengaruh serta karakteristik dari alat proteksi *water hammer* yang digunakan, maka pada simulasi ini dilakukan skema pemodelan sistem perpipaan sebagai berikut:



**Gambar 3.22** *Layout* Pemodelan Instalasi Perpipaan tanpa *Sisten Proteksi*

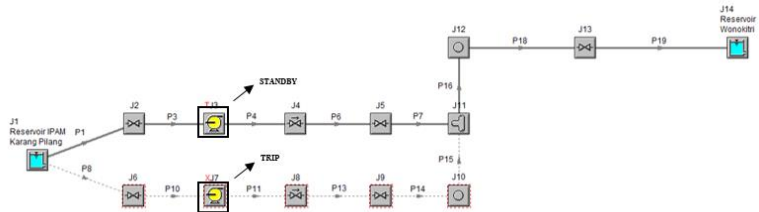


**Gambar 3.23** *Layout* Pemodelan Instalasi Perpipaan dengan *Gas Accumulator*

### 3.4 Skenario Operasi Pompa

Setiap pompa mampu mengalirkan fluida dengan debit 1030 liter/detik. Pada skema operasi yang diterapkan di rumah pompa (*forwarding*) unit IPAM Karang Pilang 1 menuju Wonokitri, hanya 1 pompa yang beroperasi (1030 liter/detik). Pemodelan penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem proteksi *water hammer* pada kondisi ekstrim, misalnya pompa mati tiba-tiba dikarenakan aliran listrik yang bermasalah, jadwal perbaikan ataupun karena kegagalan pompa beroperasi.

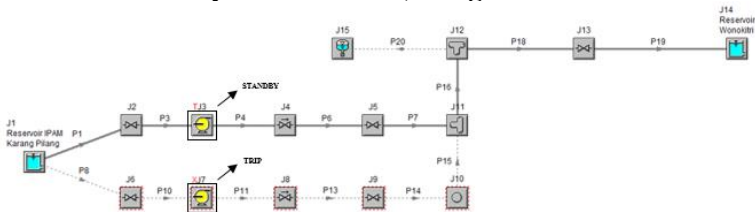
### 3.4.1 Skenario 1 Pompa *on* yang tiba-tiba *off* (*Trip* dengan Inersia tanpa Aliran Balik) tanpa Sistem Proteksi



**Gambar 3.24** Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa *on* yang Mengalami *Trip* Tanpa Sistem Proteksi

Pada gambar 3.24 merupakan skenario yang menjelaskan bahwa pompa 1 yang beroperasi dan tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip dengan inersia tanpa adanya aliran balik (kondisi transient) sedangkan pompa 2 pada kondisi standby. Analisa pemodelan dilakukan tanpa menggunakan sistem proteksi.

### 3.4.2 Skenario 1 Pompa *on* yang tiba-tiba *off* (*Trip* dengan Inersia tanpa Aliran Balik) dengan *Gas Accumulator*



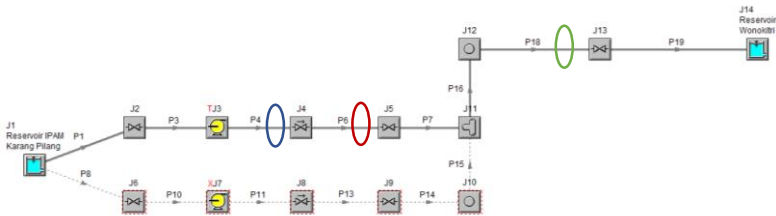
**Gambar 3.25** Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa *on* yang Mengalami *Trip* dengan *Gas Accumulator*

Pada gambar 3.25 merupakan skenario yang menjelaskan bahwa pompa 1 yang beroperasi dan tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip dengan inersia tanpa adana aliran balik (kondisi transient) sedangkan pompa 2 pada kondisi standby. Analisa pemodelan dilakukan dengan menggunakan sistem proteksi *gas accumulator*.

### 3.5 Titik Analisa Permodelan Sistem Perpipaan

Analisa permodelan instalasi perpipaan pada simulasi dilakukan pada beberapa titik yang terkena dampak utama dari *water hammer*. Daerah yang dipilih untuk dianalisa merupakan daerah utama yang terkena dampak utama saat terjadinya fenomena *water hammer* seperti halnya pada bagian *discharge* pompa, *interconnection discharge* pipa, dan daerah proteksi *water hammer*. Titik yang dianalisa akan digambarkan sebagai berikut:

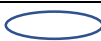


#### 3.5.1 Skenario 1 Pompa OFF dan 1 Pompa Standby Tanpa Menggunakan Sistem Proteksi



**Gambar 3.26** Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa OFF dan 1 Pompa Standby Tanpa Sistem Proteksi

Detail titik analisa tersebut dijelaskan pada tabel dibawah:

**Tabel 3.5** Detail Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa on yang mengalami *trip* dengan Proteksi Gas Accumulator

No	Warna Titik	Nomor Pipa	Posisi Pipa
1		P4	<i>Discharge</i> pompa 1
2		P6	Setelah <i>check valve</i>
3		P18	Setelah <i>elbow</i>

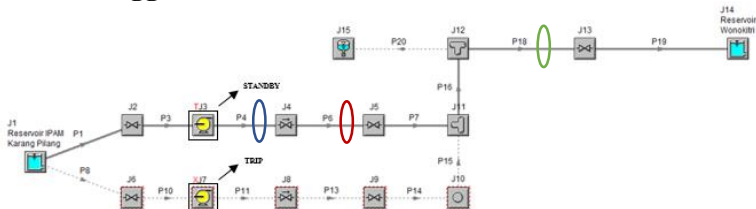
Titik analisa dilakukan pada pipa P4 *inlet* untuk melihat dampak yang terjadi pada daerah *discharge* pompa 1 saat pompa tetap beroperasi ketika ada kegagalan pompa beroperasi. Selain itu,



pipa P6 adalah pipa setelah *check valve* karena *check valve* juga berperan dalam meredam *water hammer* sebelum memasuki pompa utama sehingga P6 rentan mengalami lonjakan tekanan saat terjadi *water hammer*. Oleh karena itu daerah ini sangat penting dianalisa mengingat kemungkinan terjadi lonjakan tekanan sangat tinggi. Sedangkan titik analisa pada P18 dianalisa untuk melihat kondisi fluktuasi tekanan pada saat *water hammer* terjadi, mengingat pipa ini adalah pipa setelah *elbow* yang akan dipasang sistem proteksi dan bertugas meredam lonjakan tekanan sehingga pada akhirnya dapat dilakukan perbandingan dengan kondisi fluktuasi tekanan di pipa-pipa dekat *discharge* pompa.

Titik-titik ini merupakan titik yang akan dianalisa akibat terjadinya fenomena *water hammer* tanpa menggunakan sistem proteksi karena pada titik tersebut mengalami lonjakan dan fluktuasi tekanan yang tinggi.




### 3.5.2 Skenario 1 Pompa OFF dan 1 Pompa Standby menggunakan Gas Accumulator



**Gambar 3.27** Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa OFF dan 1 Pompa Standby dengan Gas Accumulator

Detail titik analisa tersebut dijelaskan pada tabel dibawah:

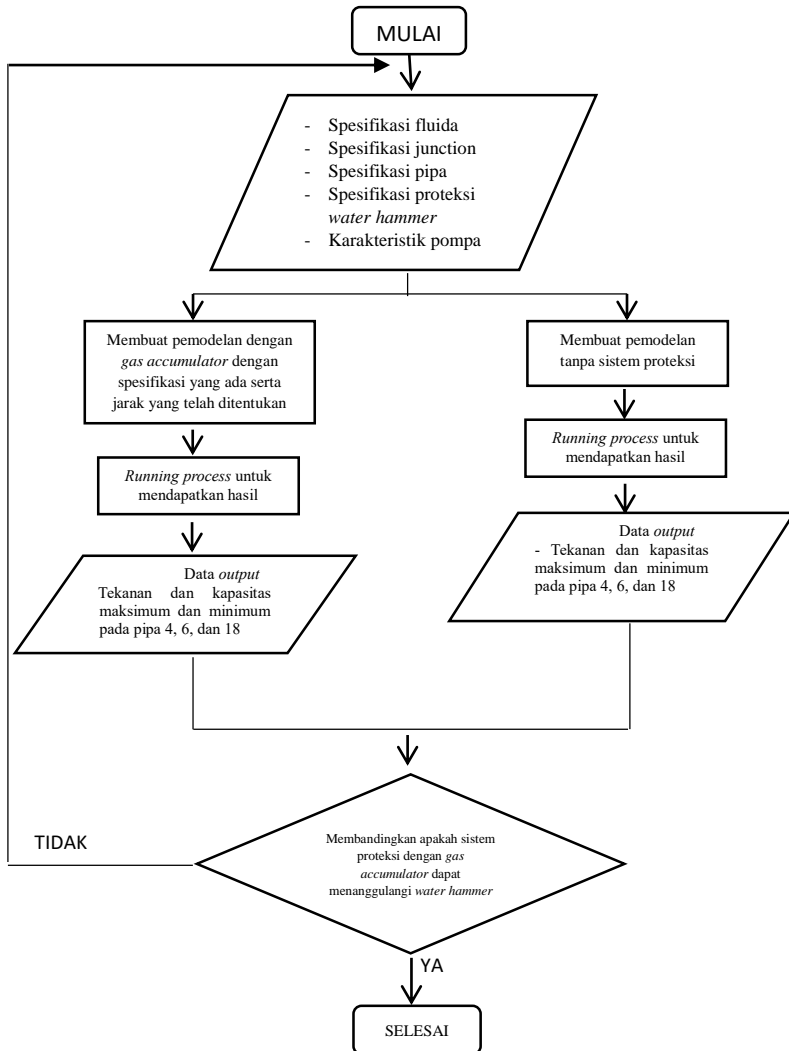
**Tabel 3.6** Detail Titik Analisa pada Simulasi dengan Skenario 1 Pompa *OFF* dan 1 Pompa *Standby* dengan *Gas Accumulator*

No	Warna Titik	Nomor Pipa	Posisi Pipa
1		P4	<i>Discharge</i> pompa 1
2		P6	Setelah <i>check valve</i>
3		P18	Setelah <i>elbow</i>

Titik analisa dilakukan pada pipa P4 *inlet* untuk melihat dampak yang terjadi pada daerah *discharge* pompa 1 saat pompa tetap beroperasi ketika ada kegagalan pompa beroperasi. Selain itu, pipa P6 adalah pipa setelah *check valve* karena *check valve* juga berperan dalam meredam *water hammer* sebelum memasuki pompa utama sehingga P6 rentan mengalami lonjakan tekanan saat terjadi *water hammer*. Oleh karena itu daerah ini sangat penting dianalisa mengingat kemungkinan terjadi lonjakan tekanan sangat tinggi. Sedangkan titik analisa pada P18 dianalisa untuk melihat kondisi fluktuasi tekanan pada saat *water hammer* terjadi, mengingat pipa ini adalah pipa setelah *tee* yang terdekat dengan *gas accumulator* yang dipasang yang mana tugasnya ialah meredam lonjakan tekanan sehingga pada akhirnya dapat dilakukan perbandingan dengan kondisi fluktuasi tekanan di pipa-pipa dekat *discharge* pompa.

Titik-titik ini merupakan titik yang akan dianalisa akibat terjadinya fenomena *water hammer* dengan proteksi *gas accumulator* karena pada titik tersebut mengalami lonjakan dan fluktuasi tekanan yang tinggi.

### 3.6 Skema Diagram Alir

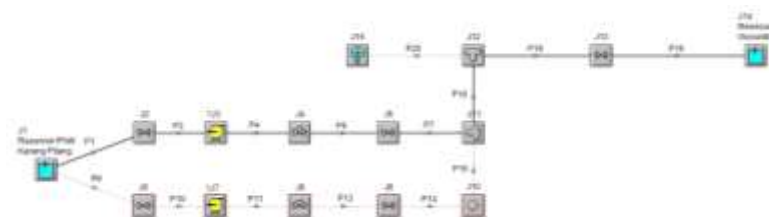


*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Steady

Dengan satu pompa yang beroperasi pada *forwarding* unit IPAM Karang Pilang 1, diinginkan kapasitas mencapai 1030 liter/s, tetapi dari pemodelan dengan *software* AFT impulse kapasitas tersebut tidak tercapai. Hal yang menyebabkan kapasitas tidak tercapai yakni pemasangan pompa secara paralel, *fitting* yang terdapat pada instalasi perpipaan, jarak yang cukup jauh untuk pendistribusian air yaitu  $\pm 10$  km, serta skema instalasi perpipaan sendiri. Semakin kompleks instalasi perpipaan maka akan semakin tinggi pula *head pipe line* nya, sehingga menyebabkan kapasitas menurun. Berikut gambar pemodelan perpipaan di IPAM Karang Pilang 1:



**Gambar 4.1** Hasil Simulasi Untuk Analisa Kondisi *Steady* pada Pemodelan Sistem Perpipaan di IPAM Karang Pilang 1 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

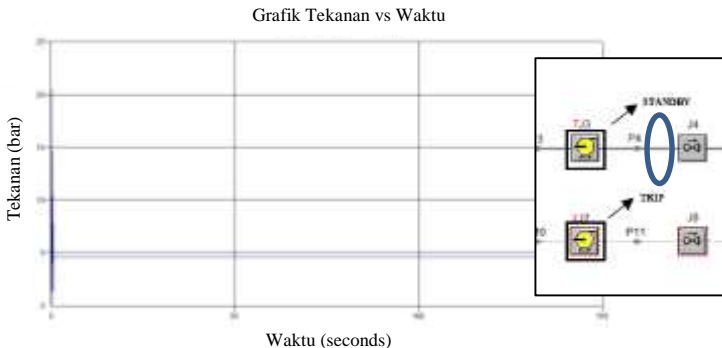
### 4.2 Hasil Simulasi

Dilakukan *running process* pada *software* AFT Impulse 4.0 untuk mendapatkan hasil dari variasi sistem perpipaan tanpa proteksi dan menggunakan *gas accumulator*. Skenario yang digunakan adalah skenario saat 1 pompa *on* yang tiba-tiba *off* dan 1 pompa *standby*. Berikut hasil dari simulasi :

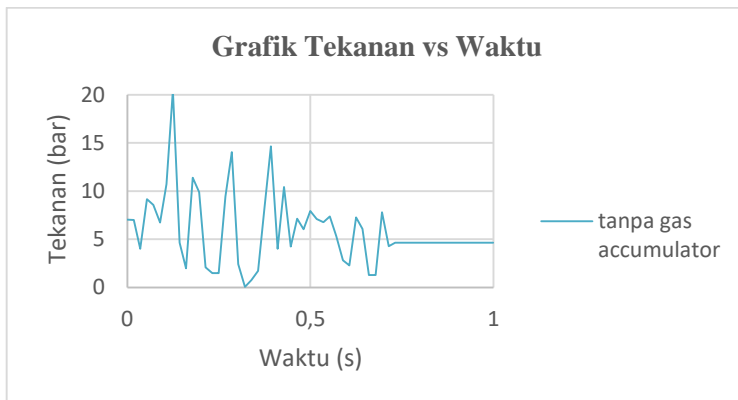
#### 4.2.1 Skenario 1 pompa *off* dan 1 pompa *standby* – tanpa sistem proteksi

Dilakukan analisa pada skenario ini yang menjelaskan bahwa pompa 1 beroperasi dan tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip sedangkan pompa 2 pada kondisi standby. Berikut merupakan hasil dari simulasi :

- Titik analisa pada pipa P4 *inlet* (pipa *discharge* pompa 1)



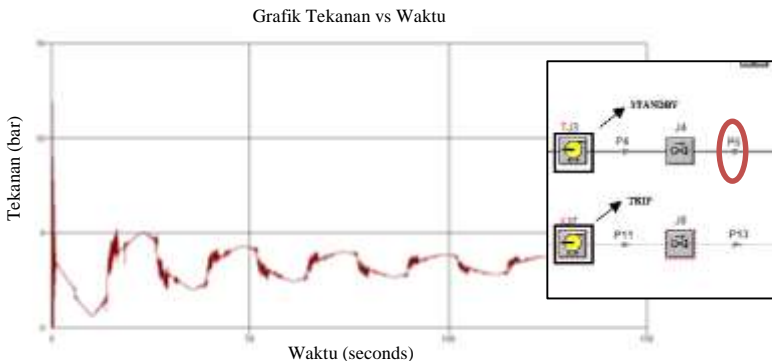
**Gambar 4.2** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-150



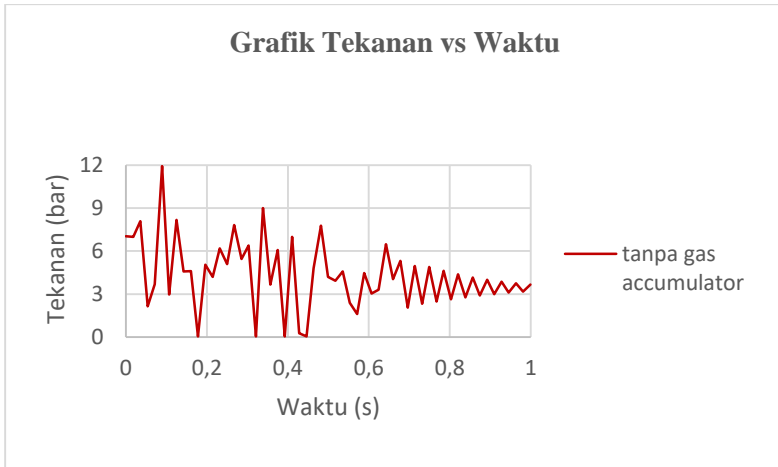
**Gambar 4.3** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1

Pipa P4 (lingkaran berwarna biru) merupakan *discharge* pompa 1 dimana saat pompa 1 mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.2 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* tanpa sistem proteksi. Terlihat jelas pada gambar 4.3 lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) 20,46 bar pada saat detik ke-0.12 dan minimum sebesar 0,04 bar pada saat detik ke-0.32. Sedangkan untuk fluktuasi terstabil dari P4 (pipa *discharge* pump 1) yaitu di tekanan 4,63 bar pada saat detik ke-0,73. Hal ini terjadi pada kondisi variasi yaitu permasalahan bila Rumah Pompa Produksi Unit IPAM Karang Pilang 1 tidak memiliki sistem proteksi supaya bisa melihat seberapa parah sistem perpipaan bila tanpa sistem proteksi.

- Titik analisa pada pipa P6 *inlet* (pipa setelah *check valve*)



**Gambar 4.4** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-150

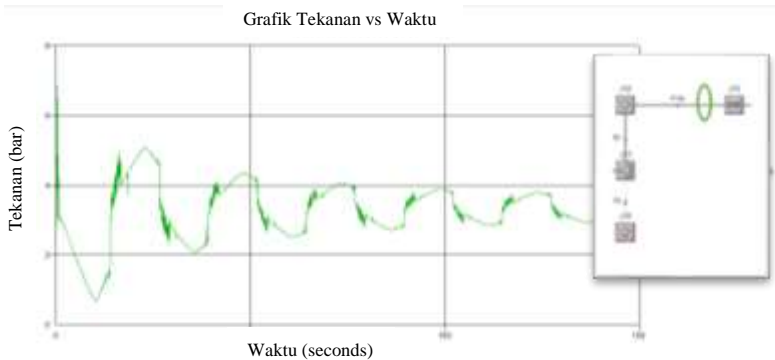


**Gambar 4.5** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1

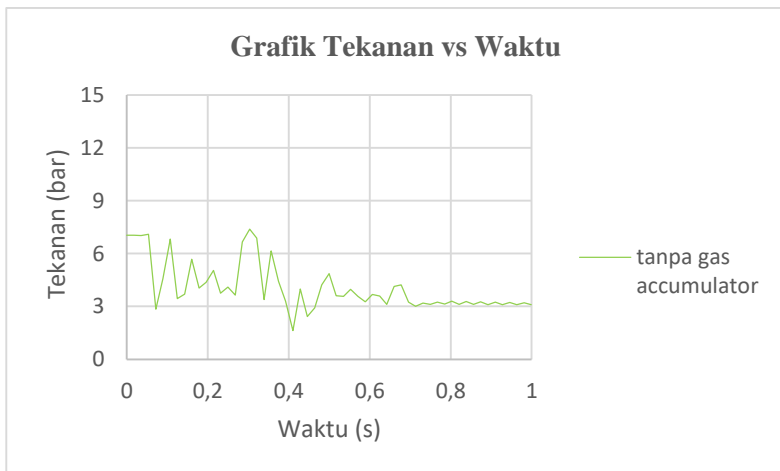
Pipa P6 (lingkaran berwarna merah) merupakan pipa setelah check valve yang terletak setelah pompa 1. Dimana pompa tersebut mengalami kegagalan operasi (trip). Gambar 4.4 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena water hammer tanpa sistem proteksi. Terlihat pada gambar 4.5, pipa P6 memiliki lonjakan tekanan maksimum (peak pressure) sebesar 11,9 bar pada saat detik ke-0,089 dan tekanan minimum sebesar 0,042 bar pada saat detik ke-0,17. Sedangkan untuk pipa P6 fluktuasi terstabil belum dapat terlihat karena adanya batas untuk me-running program hanya sampai 600 detik. Namun dari gambar 4.4 terlihat bahwa lonjakan fluktuasi makin kecil dan hampir mendekati kondisi stabil. Hal ini terjadi pada kondisi variasi yaitu permisalan bila Rumah Pompa Produksi Unit IPAM Karang Pilang 1 tidak memiliki sistem proteksi supaya bisa melihat seberapa parah sistem perpipaan bila tanpa sistem proteksi.



- Titik analisa pada pipa P18 inlet (pipa setelah *elbow*)



**Gambar 4.6** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-150



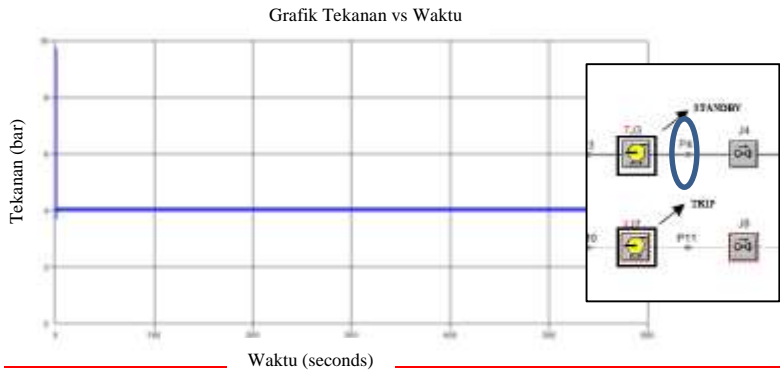
**Gambar 4.7** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1

Pipa P18 (lingkaran berwarna hijau) merupakan pipa setelah *elbow* yang merupakan pipa yang akan menuju langsung ke reservoir wonokitri. Dimana pompa *forwarding* pada rumah pompa unit Karang Pilang 1 tersebut mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.6 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* tanpa sistem proteksi. Terlihat pada gambar 4.7, pipa P18 memiliki lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) sebesar 7,38 bar pada saat detik ke-0,3 dan tekanan minimum sebesar 0,69 bar pada saat detik ke-10,27. Sedangkan untuk pipa P18 fluktuasi terstabil belum dapat terlihat karena adanya batas untuk *me-running* program hanya sampai 600 detik. Namun dari gambar 4.6 terlihat bahwa lonjakan fluktuasi makin sedikit dan hampir mendekati kondisi stabil. Hal ini terjadi pada kondisi variasi yaitu permissalan bila Rumah Pompa Produksi Unit IPAM Karang Pilang 1 tidak memiliki sistem proteksi supaya bisa melihat seberapa parah sistem perpipaan bila tanpa sistem proteksi.

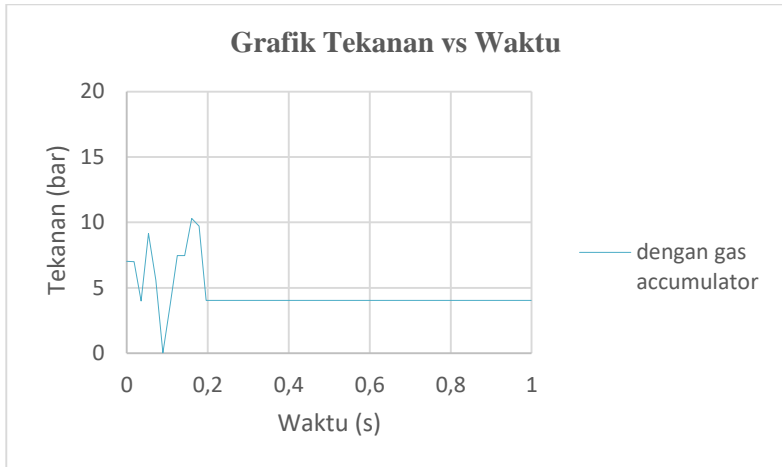
#### **4.2.2 Skenario 1 pompa *off* dan 1 pompa *standby* – dengan menggunakan *gas accumulator***

Dilakukan analisa pada skenario ini yang menjelaskan bahwa pompa 1 beroperasi dan tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip* sedangkan pompa 2 pada kondisi *standby*. Berikut merupakan hasil dari simulasi :

- Titik analisa pada pipa P4 *inlet* (pipa *discharge* pompa 1)



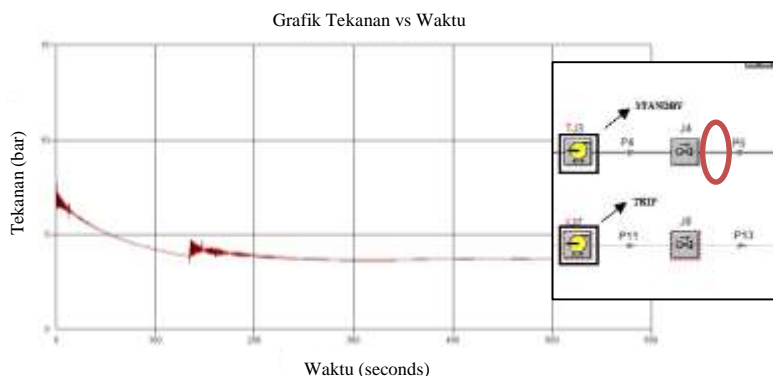
**Gambar 4.8** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600



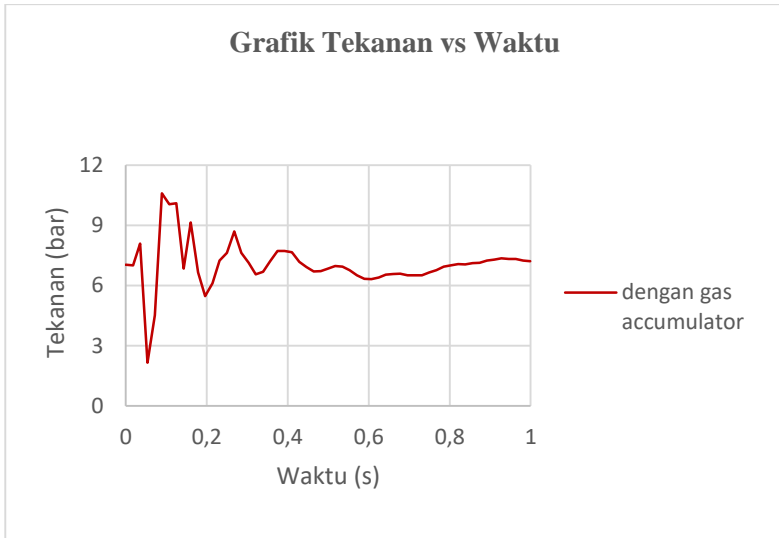
**Gambar 4.9** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1

Pipa P4 (lingkaran berwarna biru) merupakan *discharge* pompa 1 dimana saat pompa 1 mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.8 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan *gas accumulator*. Terlihat jelas pada gambar 4.9 lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) 10,31 bar pada saat detik ke-0.16 dan minimum sebesar 0,04 bar pada saat detik ke-0.089. Sedangkan untuk fluktuasi terstabil dari P4 (pipa *discharge* pump 1) yaitu di tekanan 4,04 bar pada saat detik ke-0,19. Hal ini terjadi pada kondisi aktual yaitu Rumah Pompa Produksi Unit IPAM Karang Pilang 1 memiliki sistem proteksi berupa *gas accumulator* dan bisa melihat efek dari sistem proteksi tersebut

- Titik analisa pada pipa P6 *inlet* (pipa setelah *check valve*)



**Gambar 4.10** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600

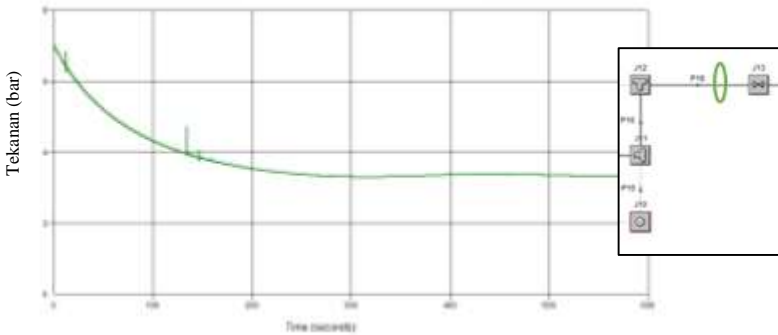


**Gambar 4.11** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1

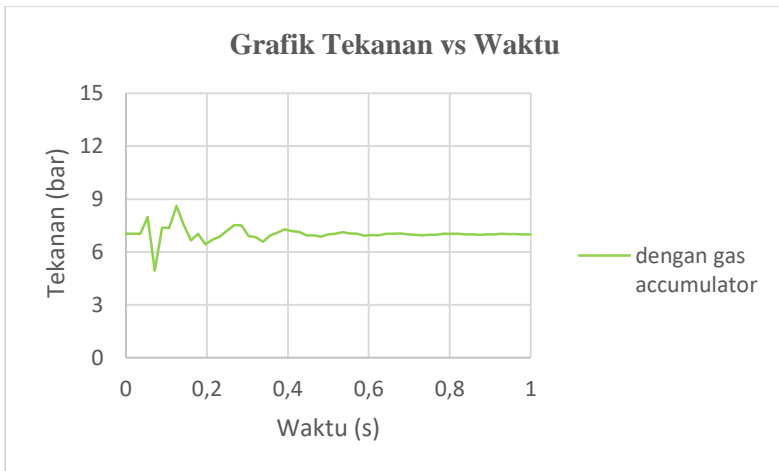
Pipa P6 (lingkaran berwarna merah) merupakan pipa setelah check valve yang terletak setelah pompa 1. Dimana pompa tersebut mengalami kegagalan operasi (trip). Gambar 4.10 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena water hammer dengan sistem proteksi *gas accumulator*. Terlihat pada gambar 4.11, pipa P6 memiliki lonjakan tekanan maksimum (peak pressure) sebesar 10.59 bar pada saat detik ke-0.089 dan tekanan minimum sebesar 2,115 bar pada saat detik ke-0,05. Sedangkan untuk fluktuasi terstabil dari P6 (pipa *discharge* pump 1) yaitu di tekanan 3,6 bar mulai pada saat detik ke-254. Hal ini terjadi pada kondisi aktual yaitu Rumah Pompa Produksi Unit IPAM Karang Pilang 1 memiliki sistem proteksi berupa *gas accumulator* dan bisa melihat efek dari sistem proteksi tersebut.

- Titik analisa pada pipa P18 inlet (pipa setelah *elbow*)

Grafik Tekanan vs Waktu



**Gambar 4.12** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600



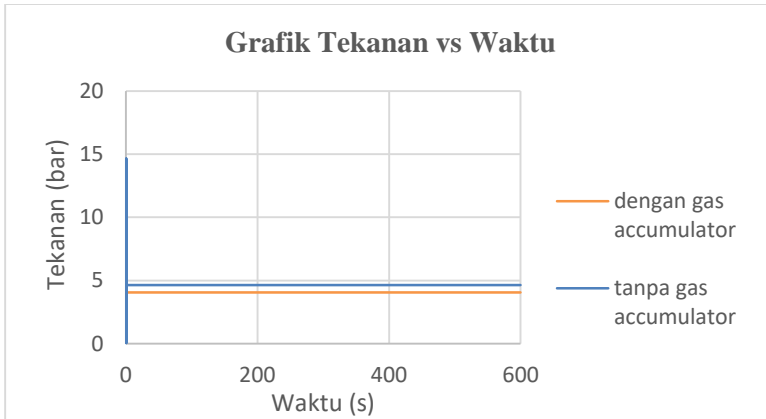
**Gambar 4.13** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet tanpa sistem proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1

Pipa P18 (lingkaran berwarna hijau) merupakan pipa setelah *elbow* yang merupakan pipa yang akan menuju langsung ke reservoir wonokitri. Dimana pompa *forwarding* pada rumah pompa unit Karang Pilang 1 tersebut mengalami kegagalan operasi (trip). Gambar 4.12 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena water hammer dengan sistem proteksi berupa *gas accumulator*. Terlihat pada gambar 4.13, pipa P18 memiliki lonjakan tekanan maksimum (peak pressure) sebesar 8,61 bar pada saat detik ke-0,12 dan pada gambar 4.12, pipa P18 memiliki tekanan minimum sebesar 3,302 bar pada saat detik ke-314. Sedangkan untuk fluktuasi terstabil dari P18 (pipa setelah *elbow*) yaitu di tekanan 3,3 bar mulai pada saat detik ke-240. Hal ini terjadi pada kondisi aktual yaitu Rumah Pompa Produksi Unit IPAM Karang Pilang 1 memiliki sistem proteksi berupa *gas accumulator* dan bisa melihat efek dari sistem proteksi tersebut.

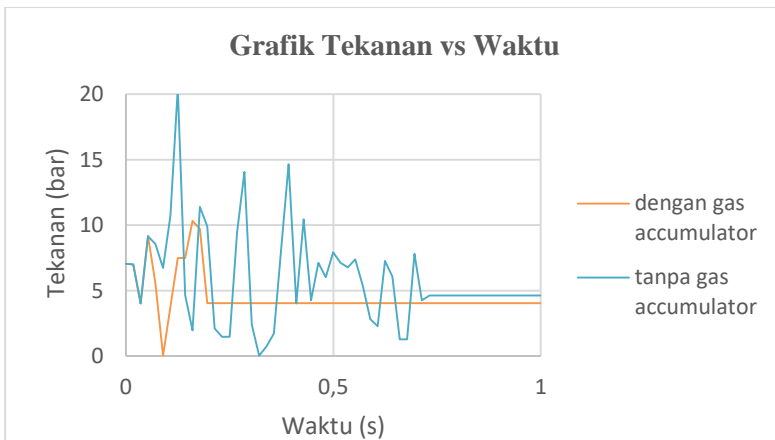
#### **4.2.3 Perbandingan Tekanan terhadap Sistem Perpipaan Tanpa Sistem Proteksi dan Menggunakan Gas Accumulator**

Dilakukan analisa perbandingan pada skenario ini yang akan membandingkan titik-titik analisa yang mengalami *water hammer*. Perbandingan dilakukan dengan variasi tanpa sistem proteksi dan menggunakan *gas accumulator*. Berikut merupakan hasil dari simulasi :

- Titik analisa pada pipa P4 *inlet* (pipa *discharge* pompa 1)



**Gambar 4.14** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai detik ke-600



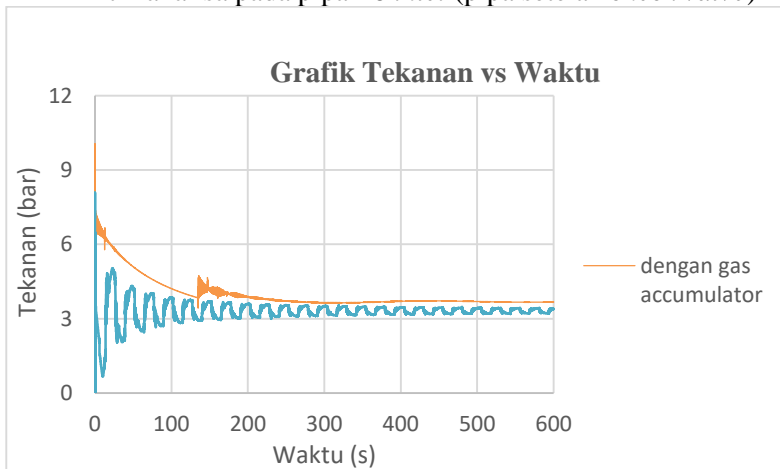
**Gambar 4.15** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P4 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai detik ke-1



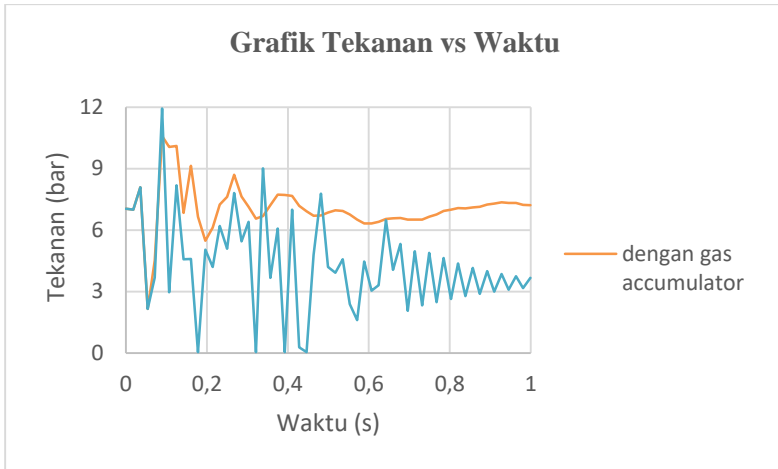
Pipa P4 merupakan *discharge* pompa 1 dimana saat pompa 1 mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.14 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi ada tidaknya sistem proteksi berupa *gas accumulator*. Terlihat jelas pada gambar 4.15 lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) terlihat lebih besar pada pipa yang tidak memiliki sistem proteksi, selain itu waktu stabil pipa terlihat lebih panjang pada pipa yang tidak memiliki sistem proteksi.

Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan semakin stabilnya lonjakan tekanan yang diakibatkan fenomena *water hammer* pada sistem perpipaan yang memiliki sistem proteksi. Karena volume udara yang berada di dalam *water hammer* dapat menahan/menghambat gelombang tekanan yang datang akibat fenomena *water hammer*.

- Titik analisa pada pipa P6 *inlet* (pipa setelah *check valve*)



**Gambar 4.16** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai ke-600



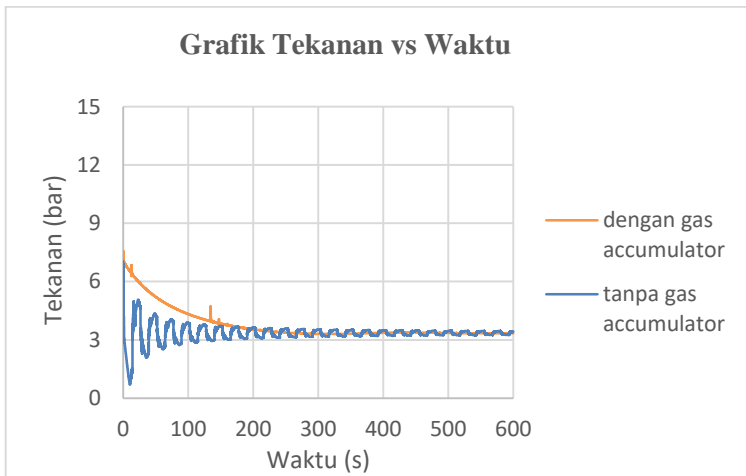
**Gambar 4.17** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P6 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik ke-0 sampai ke-1

Pipa P6 merupakan pipa setelah check valve yang terletak setelah pompa 1. Dimana pompa tersebut mengalami kegagalan operasi (trip). Gambar 4.16 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi ada tidaknya sistem proteksi berupa *gas accumulator*. Terlihat jelas pada gambar 4.17 lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) terlihat lebih besar pada pipa yang tidak memiliki sistem proteksi, selain itu waktu stabil pipa terlihat lebih panjang pada pipa yang tidak memiliki sistem proteksi.

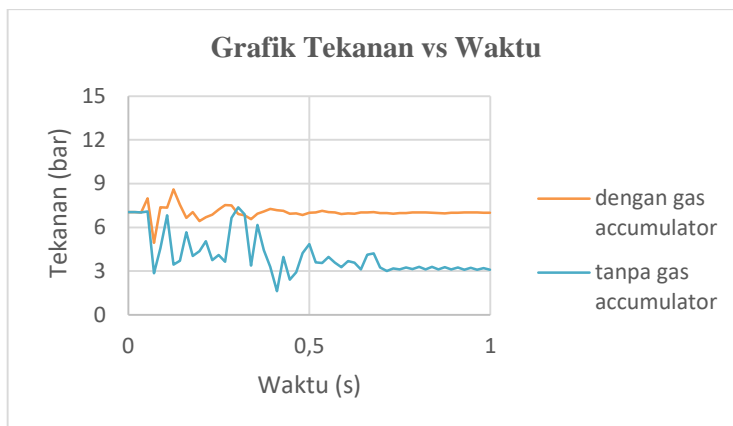
Walaupun tekanan stabil pada pipa yang memiliki sistem proteksi lebih besar dibandingkan dengan pipa yang tidak memiliki sistem proteksi, fluktuasi yang terjadi pada pipa yang tidak memiliki sistem proteksi lebih besar. Hal ini lebih beresiko merusak pipa serta pompa dibandingkan dengan tekanan stabil yang lebih besar.. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan semakin stabilnya lonjakan tekanan yang diakibatkan fenomena *water hammer* pada sistem perpipaan yang

memiliki sistem proteksi. Karena volume udara yang berada di dalam *water hammer* dapat menahan/menghambat gelombang tekanan yang datang akibat fenomena *water hammer*.

- Titik analisa pada pipa P18 inlet (pipa setelah *elbow*)



**Gambar 4.18** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik 0 sampai 600



**Gambar 4.19** Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet dengan Variasi Ada Tidaknya Sistem Proteksi detik 0 sampai 600

Pipa P18 merupakan pipa setelah *elbow* yang merupakan pipa yang akan menuju langsung ke reservoir wonokitri. Dimana pompa *forwarding* pada rumah pompa unit Karang Pilang 1 tersebut mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.18 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi ada tidaknya sistem proteksi berupa *gas accumulator*. Terlihat pada gambar 4.19 lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) terlihat lebih besar pada pipa yang memiliki sistem proteksi, namun untuk waktu stabil pipa terlihat lebih panjang pada pipa yang tidak memiliki sistem proteksi.

Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan semakin stabilnya lonjakan tekanan yang diakibatkan fenomena *water hammer* pada sistem perpipaan yang memiliki sistem proteksi. Karena volume udara yang berada di dalam *water hammer* dapat menahan/menghambat gelombang tekanan yang datang akibat fenomena *water hammer*.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari simulasi yang dilakukan berupa variasi ada tidaknya sistem proteksi berupa *gas accumulator* pada unit IPAM Karang Pilang 1 untuk melihat apa manfaat dan tujuan pemasangan *gas accumulator*, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem perpipaan yang tidak memiliki sistem proteksi dan mengalami kegagalan pengoperasian pompa rentan memiliki lonjakan tekanan yang besar yang dapat merusak pipa dan pompa.
2. Sistem perpipaan yang tidak memiliki sistem proteksi dan mengalami kegagalan pengoperasian pompa membutuhkan waktu yang lama agar tekanan pada pipa stabil.
3. Penggunaan *gas accumulator* pada pipa P6 memiliki tekanan stabil yang lebih tinggi dari sistem perpipaan yang tidak memiliki *gas accumulator*, *peak pressure* yang lebih rendah dan memiliki waktu yang lebih pendek agar tekanan pada pipa stabil.
4. Penggunaan *gas accumulator* pada pipa P18 memiliki *peak pressure* yang lebih tinggi dari sistem perpipaan yang tidak memiliki *gas accumulator* dan tingkat redaman yang lebih stabil dari
5. Penggunaan *gas accumulator* dapat mereduksi terjadinya lonjakan dan fluktuasi tekanan akibat fenomena *water hammer*.

#### **5.2 Saran**

Dari simulasi yang dilakukan berupa variasi ada tidaknya sistem proteksi berupa *gas accumulator* pada unit IPAM Karang Pilang 1 untuk melihat apa manfaat dan tujuan pemasangan *gas accumulator*, saran yang perlu dipertimbangkan tanpa melihat sisi ekonomisnya, sebagai berikut :

1. Dibutuhkan adanya *genset* untuk menanggulangi pemadaman listrik supaya pompa tidak mati saat beroperasi.
2. Dalam mendukung kemajuan dari suatu perusahaan sebaiknya diperlukan keprofesionalan dari seluruh karyawan.
3. Data-data yang diperlukan mengenai kelengkapan atau peralatan sebaiknya tersedia dengan baik agar jika terjadi kerusakan, dapat cepat ditangani.
4. Untuk menunjang performa pompa dan mencegah kerusakan pipa, sebaiknya diadakan perawatan rutin pada komponen-komponen utama dan penunjang sistem perpipaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, Marzal Taufiq, 2009. **Simulasi Pemilihan Sistem Proteksi Water Hammer pada Transmisi Air Minum**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [2] Applied Flow Technology, 2008. **AFT Impulse User's Guide, Water Hammer Modeling in Piping System, AFT Impulse version 4.0**. United States of America: Applied Flow Technology.
- [3] Fox, Robert W., Mc Donald, Pritchard 2004 **Introduction to Fluid Mechanics, 6<sup>th</sup> Edition**, John Willey and son, Inc.
- [4] Ferdiansyah, Pangki. 2017. **Evaluasi Unjuk Kerja Pengaruh Proteksi Water Hammer (Surge Tank dan Gas Accumulator Tipe AS) pada Sistem Perpipaan Studi Kasus di Rumah Pompa Produksi Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [5] PDAM Kota Surabaya. 2009. **Data-data Teknis IPAM Karang Pilang I**. Surabaya: PT PDAM Surya Sembada Surabaya.
- [6] Sularso, Harou Tahara. 1983. **Pompa dan Kompresor**. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [7] Wylie, E.B., V.L. Streeter., dan L. Suo. 1993. **Fluid Transients in Systems**. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs
- [8] <https://www.wosupply.com/media/1239/sopf.pdf>

## LAMPIRAN 1

Spesifikasi pipa yang digunakan pada unit rumah pompa karang pilang 1 adalah sebagai berikut.

**Tabel Spesifikasi Pipa Pada Simulasi**

<b>Nomor Pipa</b>	<b>Panjang Pipa (milimeter)</b>	<b>Material Pipa</b>	<b>Diameter Pipa (milimeter)</b>	<b>Tebal Pipa (milimeter)</b>
<b>P1</b>	2000	<i>Steel</i>	777	17,4
<b>P3</b>	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
<b>P4</b>	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
<b>P6</b>	1000	<i>Steel</i>	685	12,7
<b>P7</b>	2000	<i>Steel</i>	685	12,7
<b>P8</b>	2000	<i>Steel</i>	777	17,4
<b>P10</b>	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
<b>P11</b>	1000	<i>Steel</i>	635	12,7
<b>P13</b>	1000	<i>Steel</i>	685	12,7
<b>P14</b>	2000	<i>Steel</i>	685	12,7
<b>P15</b>	8860	<i>Steel</i>	1000	35
<b>P16</b>	20000	<i>Steel</i>	1000	35
<b>P18</b>	160000	<i>Steel</i>	1000	35
<b>P19</b>	8000000	<i>Steel</i>	1000	35
<b>P20</b>	5000	<i>Steel</i>	641	9,52



## LAMPIRAN 2

Spesifikasi sambungan serta komponen penyusun perpipaan yang digunakan pada pemodelan adalah sebagai berikut:

**Tabel *Junction* Pipa**

<b>Nomor <i>Junction</i></b>	<b>Jenis <i>Junction</i></b>	<b>Elevasi (milimeter)</b>
<b>J1</b>	Reservoir IPAM Karang Pilang	4000
<b>J2</b>	<i>Butterfly valve</i>	1050
<b>J3</b>	<i>Pump 1</i>	1050
<b>J4</b>	<i>Check valve</i>	1050
<b>J5</b>	<i>Butterfly valve</i>	1050
<b>J6</b>	<i>Butterfly valve</i>	1050
<b>J7</b>	<i>Pump 2</i>	1050
<b>J8</b>	<i>Check valve</i>	1050
<b>J9</b>	<i>Butterfly valve</i>	1050
<b>J10</b>	<i>Branch</i>	1050
<b>J11</b>	<i>Tee</i>	1050
<b>J12</b>	<i>Branch</i>	1050
<b>J13</b>	<i>Butterfly valve</i>	1050
<b>J14</b>	<i>Reservoir Wonokitri</i>	25000
<b>J15</b>	<i>Gas accumulator</i>	1050

### LAMPIRAN 3

Perhitungan momen inersia *impeller* pompa dan motor penggerak:

1. Perhitungan momen inersia untuk *impeller* pompa dan air yang tertahan pada *casing* pompa:

➤ Daya pompa (P) = 800 kW

➤ Putaran motor (N) = 985 rpm

- $I_p = 1,5(10^7) \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0,9556} = 1,5(10^7) \left(\frac{800}{985^3}\right)^{0,9556} = 23,37 \text{ kg.m}^2$

✚ Momen inersia dari *impeller* pompa dan air yang tertahan pada *casing* pompa adalah  $I_p = 23,37 \text{ kg.m}^2$ .

2. Perhitungan momen inersia untuk motor penggerak pompa:

- $I_m = 118 \left(\frac{P}{N}\right)^{1,48} = 118 \left(\frac{800}{985}\right)^{1,48} = 86,73 \text{ kg.m}^2$

✚ Momen inersia untuk motor penggerak pompa adalah  $I_m = 86,08 \text{ kg.m}^2$ .

Maka, Total =  $23,37 \text{ kg.m}^2 + 86,73 \text{ kg.m}^2$   
=  $110,1 \text{ kg.m}^2$

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama Alda Vionetta Jourdy Putri. Penulis dilahirkan di Surabaya, 31 Mei 1997, merupakan anak bungsu dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal, SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya, SMPN 35 Surabaya, dan SMAN 2 Surabaya. Pada tahun 2015, penulis menempuh pendidikan Diploma (D3) Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 10211500000072. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan dan perkuliahan. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi. Kegiatan organisasi yang pernah diikuti penulis antara lain menjadi Staff SOSMAS BEM FTI ITS Periode 2016-2017, dan menjadi staff ahli PSDM HMDM 2016-2017. PT. POMI, Probolinggo Jawa Timur merupakan tempat kerja praktek penulis selama satu bulan pada tanggal 17 Juli s/d 18 Agustus 2017 di Unit 3.

*Email: [aldavionetta@gmail.com](mailto:aldavionetta@gmail.com)*