

# Studi Numerik Variasi Pemilihan *Gas Accumulator* Untuk Pencegahan *Water Hammer* Pada Sistem Perpipaan Sepanjang 1 Kilometer dan Debit Aliran 800 GPM

Anindika Bagus Pradana, dan I Made Arya Djoni

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail:* aryadjoni@me.its.ac.id

**Abstrak**—Sistem jaringan perpipaan sangat penting dalam menunjang produksi pada bidang industri. Jaringan perpipaan mengalami beberapa fenomena seperti distribusi fluida dan *water hammer*. *Water hammer* sering terjadi di daerah discharge pompa saat pengoperasian dan gagalnya beroperasinya pompa. *Water hammer* dapat merusak jaringan perpipaan. Fenomena *water hammer* dapat terjadi hampir di setiap sistem instalasi perpipaan. Fenomena ini mempunyai dampak buruk apabila sistem perpipaan tersebut tidak memperhatikan akibat dari *water hammer*. Fenomena dalam sistem perpipaan mempunyai dampak negatif dengan selang waktu tertentu, *water hammer* adalah fenomena dimana dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanggulangan yang tidak tepat terhadap dampak tersebut dapat mengakibatkan instalasi tersebut harus dimatikan (*shutdown*). Pada simulasi ini digunakan sistem instalasi perpipaan dengan panjang 1 kilometer dan debit aliran 800 gpm. Pada sistem instalasi ini memiliki rangkaian pompa tunggal yang dilengkapi dengan gas accumulator di sisi discharge pompa. Ketika terjadi perubahan flow rate yang menyebabkan pompa beroperasi atau gagal beroperasi akan menimbulkan fenomena *water hammer*. Penelitian dilakukan secara numerik menggunakan software AFT Impulse 4.0. *Water hammer* dapat diminimalisasi dengan memasang gas accumulator pada daerah dekat discharge pompa. Variasi gas accumulator adalah gas accumulator merk NOK tipe AT 175-20 dengan volume maksimum 20 liter, tipe AT 210-60 dengan volume maksimum 60 liter dan tipe AT 230-120 dengan volume maksimum 100 liter. Hasil yang didapatkan pada simulasi menunjukkan pada jarak 4 meter dari rumah pompa masing-masing P max dan P min untuk sistem perpipaan dengan simulasi proses trip pompa tanpa proteksi *water hammer* adalah 1729 Kpa dan 381 Kpa, untuk sistem perpipaan dengan gas accumulator volume setting 20 liter adalah 1228 Kpa dan 927 Kpa, untuk sistem perpipaan dengan gas accumulator volume setting 60 liter adalah 1161 Kpa dan 984 Kpa, untuk sistem perpipaan dengan gas accumulator volume setting 100 liter adalah 1149 Kpa dan 1002 Kpa. Fluktuasi tekanan lebih stabil dengan proteksi *water hammer* berupa gas accumulator dengan volume setting 100 liter

**Kata Kunci**—software AFT impulse 4.0, pompa tunggal, *shutdown*, *water hammer*, gas accumulator.

## I. PENDAHULUAN

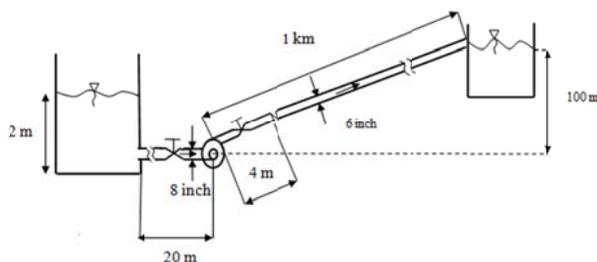
SISTEM perpipaan terus berkembang ke arah yang lebih baik. Pada mulanya manusia memindahkan air dari sungai ke rumah dengan menggunakan ember. lalu berkembang dari satu orang menjadi banyak orang yang berurutan sehingga proses pengambilan air menjadi lebih mudah. Melalui analogi sederhana ini manusia berfikir untuk lebih mengefisienkan waktu dan tenaga maka

dibuatlah distribusi melalui sistem perpipaan. Saat ini sistem perpipaan sudah amat maju, sebagai contoh sistem perpipaan yang dibuat untuk mengantarkan air dari satu sumber ke sumber lainnya dengan jarak dan elevasi tertentu. Sehingga dengan sistem ini akan dihemat waktu lebih banyak, walaupun kendala yang akan dihadapi lebih banyak.

Sistem jaringan instalasi pipa baik sangat mendukung dalam mendistribusikan air tersebut dari satu tempat ke tempat lainnya. Banyak cara yang dilakukan guna mendapatkan perencanaan jaringan pipa yang baik. Jaringan pipa terdiri dari beberapa komponen, misalnya pipa jaringan itu sendiri, pompa, reservoir, katup, dll. Pompa yang digunakan untuk mengalirkan air dari sumber (resevoir) memiliki spesifikasi tertentu. Sehingga diperlukan perancangan dan pemilihan jenis pompa secara spesifik untuk memenuhi kebutuhan dalam mendistribusikan air pada resevoir tersebut. Pada kasus ini pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal.

Pada suatu instalasi pompa sentrifugal yang digunakan untuk mendistribusikan fluida dari satu tempat ke tempat lain sering ditemukan terjadinya kegagalan beroperasi pada instalasi tersebut. Kegagalan tersebut nantinya akan menyebabkan kenaikan tekanan yang sangat tajam sehingga menyerupai suatu pukulan yang disebut gejala pukulan air (*water hammer*). *Water hammer* dapat terjadi pada pompa apabila pompa sedang bekerja tiba – tiba mati mendadak (karena dimatikan atau listrik padam), maka aliran air akan terhalang impeller atau valve sehingga mengalami perlambatan secara cepat. Disini terjadi lonjakan tekanan pada pompa dan pipa seperti penutupan katup secara tiba – tiba. Lonjakan tekanan dapat terjadi jika pompa dijalankan dengan tiba-tiba atau katup dibuka secara cepat. Besarnya lonjakan atau besarnya tekanan karena benturan air (momentum dari fluida), tergantung pada laju perubahan kecepatan aliran. Dalam hal ini, kondisi katup tergantung pada kecepatan penutupan atau pembukaan, sedangkan pada pompa tergantung pola menjalankan dan menghentikan pompa. Selain hal tersebut ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi besarnya tekanan karena *water hammer* antara lain : panjang pipa, kecepatan aliran, dan karakteristik pompa.

*Water hammer* adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang diakibatkan oleh penutupan valve yang cepat ataupun matinya pompa secara tiba-tiba, hal ini dapat merusak baik pada sistem perpipaan maupun pada *impeller* pompa. Masalah yang sering timbul akibat *water hammer* dikarenakan pola operasi yang kurang baik atau ketidakstabilan listrik yang menyebabkan sistem berhenti



Gambar 1. Skema Instalasi Penelitian

Tabel 1. Spesifikasi pipa yang digunakan dalam pemodelan

Spesifikasi Pipa	Ukuran Pipa	
	6 inch	8 inch
Inner Diameter	152,4 mm	203,2 mm
Tebal Pipa	7,7 mm	13,335 mm
Modulus Elastisitas	155140 Psia	2,9421 x 10 <sup>7</sup> Psia
Poisson Ratio	0,24	0,24
Bahan	HDPE	Cast Iron

secara tiba – tiba. Pola operasi dan instalasi yang tepat sangat diperlukan untuk menghindari terjadinya *water hammer*.

Efek dari *water hammer* sulit diperkirakan karena terjadi secara cepat. Maka dari itu untuk mempermudah dalam memperoleh data mengenai fenomena *water hammer*

Penelitian ini akan dilakukan pemodelan dengan menggunakan software *AFT Impulse 4.0*. Pemodelan pada ini dilakukan sebagai tindak lanjut untuk mengetahui fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi pipa dan juga menerapkan metode proteksi sebagai salah satu pencegahan fenomena *water hammer* pada pipa sepanjang 1 kilometer dan debit aliran 800 gpm.

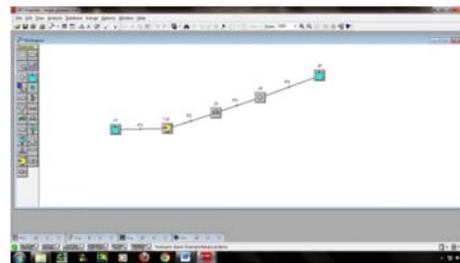
Pemilihan *gas accumulator* mempengaruhi ketahanan sistem terhadap dampak *water hammer*. *Gas accumulator* yang kecil mengakibatkan sistem jaringan perpipaan tersebut kurang mampu mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh *water hammer*. Perbedaan karakteristik *gas accumulator* melandasi divariasikannya ukuran volume *gas accumulator* pada penelitian ini.

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena *water hammer* yang terjadi pada pipa transmisi air dan juga untuk menganalisa fluktuasi tekanan statis pada pipa dekat discharge pompa berdasarkan tekanan izin pipa yang digunakan pada pipa transmisi air. Kemudian untuk dianalisa adalah grafik  $P = f(t)$  dan  $V = f(t)$  untuk menggambarkan distribusi tekanan pipa dan volume *gas accumulator* pada waktu terjadi *water hammer*. *Gas accumulator* yang digunakan memiliki variasi volume 20 liter, 60 liter dan 100 liter. Kemudian dari penelitian ini didapatkan hasil fluktuasi tekanan yang paling baik dari variasi volume *gas accumulator* yang digunakan untuk mencegah *water hammer*.

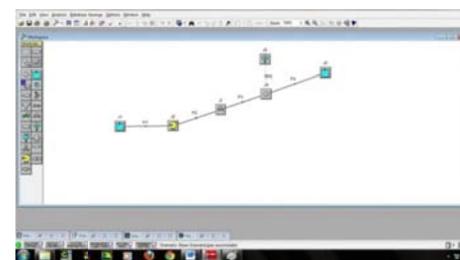
## II. METODE

### A. Metode Pemodelan Numerik

Instalasi penelitian yang digunakan dalam metode numerik berupa instalasi perpipaan sepanjang 1 kilometer dari discharge pompa.. Skema instalasi penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Pemodelan Komputasi Sistem Instalasi Tanpa Penggunaan Proteksi



Gambar 3. Pemodelan Komputasi Sistem Instalasi dengan Penggunaan Gas Accumulator

Data instalasi jaringan pipa yang direncanakan untuk disimulasikan berdasarkan *layout* dari instalasi pompa Gambar 1 yang dididapat dan data tersebut meliputi spesifikasi dari instalasi yang ditunjukkan pada Tabel 1).

Spesifikasi pipa yang diperoleh akan disesuaikan dengan database yang ada pada *AFT impulse*, dengan bantuan *AFT impulse* akan disusun instalasi berdasarkan *layout* pada gambar 4.1. dengan ketinggian *reservoir* tampung 100 meter dari pompa, instalasi yang dimodelkan meliputi instalasi tanpa proteksi dan instalasi dengan penggunaan *gas accumulator* dengan variasi volume. Kondisi instalasi untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar saat transient yang terjadi pompa kehilangan daya setelah 5 detik. Pemodelan 2 dan 3.

Pada pemodelan Gambar 2 dan 3 adalah pemodelan instalasi yang pada awalnya hanya digambar oleh skema yaitu pada gambar1. Instalasi ini dilengkapi oleh beberapa komponen diantaranya *reservoir* 1, *reservoir* 2, jaringan pipa, *check valve* dan *gas accumulator*. Dan juga terlihat bahwa pada gambar 2 dan 3 terdiri dari instalasi yang dilengkapi oleh *gas accumulator* maupun instalasi tanpa dilengkapi oleh *gas accumulator*. Titik J4 yaitu titik dimana ditentukan nya *gas accumulator* dipasang ataupun dilakukannya analisa. Hal ini ditentukan akibat proses panjang dan didapatkannya tekanan terbesar yaitu jarak 1 meter setelah *check valve*.

Proses selanjutnya adalah menentukan data yang dipergunakan dalam pemodelan instalasi. Data ini akan dipergunakan sebagai spesifikasi pemodelan awal yang ditunjukkan pada sistem instalasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

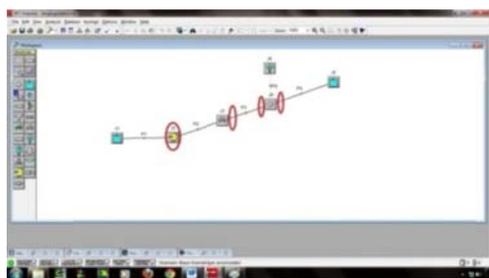
Pipa yang digunakan adalah pipa HDPE tipe SDR 23 dengan diameter 6 inch dan asphalt dipped cast iron dengan diameter 8 inch karena tidak terdapat pada pilihan tipe pipa maka menggunakan unspecified. Fluida dalam pipa adalah air dengan temperatur 30<sup>0</sup> C pada tekanan 1 atm. Dengan menggunakan pertingkat lunak *AFT Impulse* dapat diketahui data fluida seperti yang diperlihatkan gambar dibawah ini.

Tabel 2.  
Karateristik Air

Densitas	0.9957721 gram/cm <sup>3</sup>
Viskositas dinamik	7,918974 x 10 <sup>-6</sup>
Bulk Modulus	2108,486 Mpa
Tekanan Uap	4,275716 x 10 <sup>-3</sup> Mpa

Tabel 3.  
Variasi Gas Accumulator

	volume	tipe	tekanan kerja
gas accumulator 1	20	AT 175-20	17,2 Mpa
gas accumulator 2	60	AT210-60	20,6 Mpa
gas accumulator 3	100	AT 230-120	22,6 Mpa



Gambar 4. Daerah yang dianalisa pada permodelan dengan bantuan AFT Impulse

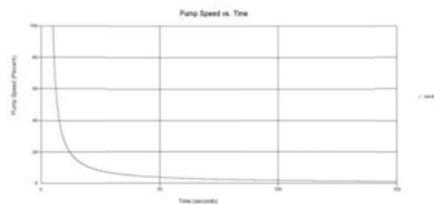
Dalam simulasi ini menggunakan variasi pada gas accumulator. Digunakan tiga buah gas accumulator untuk membandingkan gas accumulator mana yang memiliki kemampuan meminimalisasi water hammer paling baik. Ketiga gas accumulator tersebut bermerek NOK dan mempunyai politropik konstan yang sama yaitu 1,4. Berikut ini adalah variasi gas accumulator.

**B. Metode Numerik**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode komputasi, yaitu dengan menggunakan software AFT impulse untuk mensimulasikan pemodelan yang telah dibuat. Pemilihan metode komputasi dikarenakan beberapa keuntungan dibandingkan metode eksperimen yaitu lebih praktis, biaya relatif murah, serta hasil yang diperoleh lebih cepat dengan data yang lebih banyak.

Prosedur pemodelan menunjukkan urutan – urutan pemodelan yang dilakukan. Untuk langkah-langkah pemodelan dapat di tunjukkan dibawahini :

1. Pemilihan pompa : Pemilihan pompa didasarkan pada debit yang dibutuhkan menurut perhitungan yang telah dilakukan.
2. Membuat pemodelan instalasi yaitu Pembuatan pemodelan komputasi ,yang dilakukan adalah :
  - a) Menyusun junction yang diperlukan yaitu meliputi : reservoir, pompa,check valve, dan sambungan – sambungan perpipaan.
  - b) Menghubungkan junction – junction tersebut dengan pipa.
  - c) Memasukkan spesifikasi dari instalasi yang meliputi : debit air, spesifikasi pipa dan junction.
3. Checking: Perhitungan kemampuan karateristik pompa dalam mentransmisikan air dari reservoir 1 ke reservoir 2.



Gambar 5. Grafik speed pompa

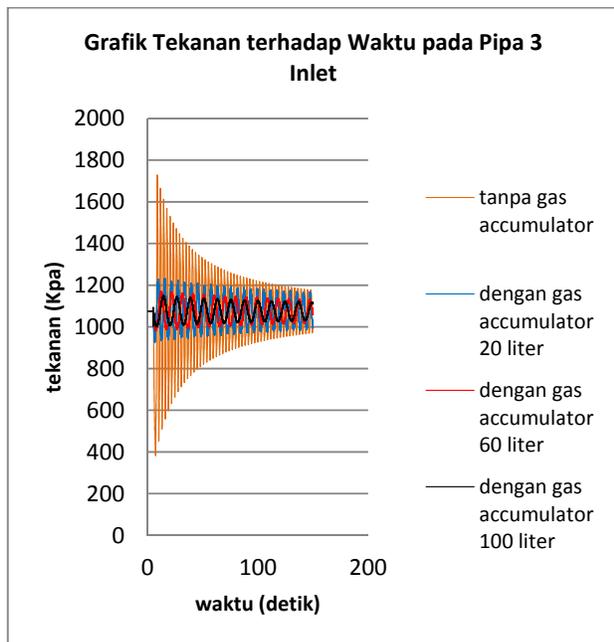
4. Data Input : Memasukan data input yang merupakan variasi yang dilakukan pada simulasi yaitu kondisi transient.
5. Running Process : Sebelum running dilakukan perlu adanya checking parameter terlebih dahulu, setelah parameter terpenuhi perlu adanya pembatasan terhadap hasil output yang disimpan, pada simulasi ini batasan pengamatan yang akan disimpan yaitu dari detik ke 5 sampai ke 150 dan ini dilakukan untuk proses trip maupun start up pompa.
6. Visualisasi : Hasil visualisasi yang diperoleh dari running proses adalah berupa grafik fungsi tekanan terhadap waktu.
7. Hasil Akhir: Dari grafik P(t) dianalisa untuk mengetahui daerah yang rawan terjadi kerusakan akibat adanya water hammer dan juga dilakukannya metode proteksi dengan memvariasikan pemilihan gas accumulator.
8. Komparasi dan proteksi : Dilakukannya proses yang sama dari langkah nomer 1 namun menggunakan metode proteksi gas accumulator dengan variasi volume. Kemudian dibandingkan hasil yang didapat pada proses trip pompa maupun start up pompa.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data hasil simulasi di dapat dari running process yang dilakukan dengan bantuan AFT Impulse. Data yang digunakan dari hasil simulasi meliputi data tekanan terhadap waktu dengan variasi ukuran gas accumulator , data volume gas accumulator terhadap waktu dan data speed pompa. Titik- titik yang dianalisa terlihat pada bagian gambar 4.5 yang diberi tanda lingkaran.Titik- titik tersebut sudah mewakili titik- titik pada pipa lainnya.Titik tersebut adalah P3 inlet, P3 outlet, P4 inlet dan gas accumulator. Namun pada penelitian kali ini pembahasan yang dilakukan dititik beratkan pada daerah pipa 3 inlet karena daerah tersebut paling dekat dengan discharge pompa. Dan pembahasan kali ini akan dilakukan pada proses trip pompa maupun pada start up pompa.

Pembahasan pada proses trip pompa dilakukan simulasi dari maksimum ke minimum dimodelkan dengan cara debit fluktuasi di transienkan pada detik ke 5 setelah debit pompa mencapai maksimum kemudian steady. Lalu nantinya akan dianalisa dari detik ke 5 hingga detik ke 150 terhadap perubahan tekanan yang terjadi pada titik yang telah ditentukan untuk di analisa.

Dari gambar 5 terlihat, pompa J2 (gambar 4.6) mengalami trip pada detik ke 5. Hal ini diatur sedemikian rupa untuk mengetahui terjadinya perubahan kecepatan pompa terhadap waktu. Sehingga terlihat pada (gambar 4.6) bahwa pompa J2 mengalami trip pada detik ke lima setelah mencapai kecepatan maksimum kemudian kecepatan pompa J2 menurun seiring bertambahnya waktu dan mencapai konstan pada detik 100 .

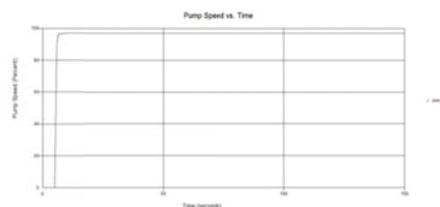


Gambar 6. Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa 3 inlet

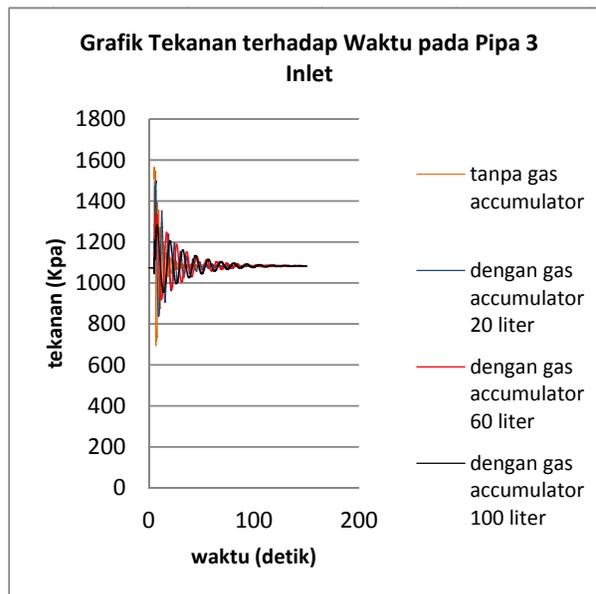
Dari gambar 6 terlihat bahwa fluktuasi terbesar adalah grafik tanpa menggunakan gas accumulator, tekanan maksimumnya mencapai 1729,278 kpa pada detik ke 8,656 dan tekanan minimumnya mencapai 381,9753 kpa pada detik ke 7,20317. Pada sistem perpipaan dengan menggunakan gas accumulator 20 liter memiliki tekanan maksimum 1228,018 kpa pada detik ke 9,674 dan minimum 9927,6623 kpa pada detik ke 6,6148. Pada sistem perpipaan yang menggunakan proteksi water hammer berupa gas accumulator 60 liter memiliki tekanan maksimum 1161,895 kpa pada detik ke 11,679 dan minimum 984,566 kpa pada detik ke 7,479. Pada sistem perpipaan dengan menggunakan gas accumulator 100 liter memiliki tekanan maksimum 1149,074 kpa pada detik ke 14,196 dan minimum 10002,33 kpa pada detik ke 8,175. Jika dibandingkan dengan grafik yang menggunakan gas accumulator 20 liter, 60 liter dan 100 liter terlihat fluktuasi tekanan semakin kecil. Dari grafik terlihat semakin besar gas accumulator semakin baik meredam water hammer. Aliran mulai mendekati konstan pada detik ke 130 pada sistem tanpa menggunakan proteksi namun berkebalikan dengan sistem perpipaan yang menggunakan gas accumulator bahwa aliran sudah mulai konstan pada detik ke 5 hingga detik ke 150. Dari simulasi trip pompa hampir tidak terjadi perubahan tekanan setelah ditransienkan pada kondisi steady hingga kondisi pompa mati dan seakan akan kembali lagi ke tekanan 1075,697 kpa pada saat kondisi steady.

Simulasi proses start up pompa dimodelkan dengan cara debit fluktuasi di transienkan pada waktu detik ke 5 setelah pompa dimatikan kemudian dinyalakan kembali, waktu transient pada J2 (gambar 4.11 adalah 0.2 detik). Pompa J2 (gambar 4.11) di modelkan akan mengalami start up dan terlihat bahwa kecepatan pompa mengalami kondisi konstan pada detik ke 0.3.

Dari grafik 7 terlihat pompa mulai menyala di detik ke 5. Pompa mengalami kenaikan kecepatan dari detik 5 sampai dengan detik ke 5,2. Hal tersebut terjadi karena ketika pompa start up hingga kecepatan pompa mencapai 100 %.



Gambar 7. Grafik speed pompa



Gambar 8. Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa 3 inlet

Dari gambar 8 terlihat bahwa fluktuasi terbesar adalah grafik tanpa menggunakan gas accumulator, tekanan maksimumnya mencapai 1541,717 kpa pada detik ke 5,5302 dan tekanan minimumnya mencapai 693,7331 kpa pada detik ke 6,604. Pada sistem perpipaan dengan menggunakan gas accumulator 20 liter memiliki tekanan maksimum 1495,836 kpa pada detik ke 6,594 dan minimum 837,1374 kpa pada detik ke 9,18302. Pada sistem perpipaan yang menggunakan proteksi water hammer berupa gas accumulator 60 liter memiliki tekanan maksimum 1335,942 kpa pada detik ke 7,315 dan minimum 919,0295 kpa pada detik ke 11,9456. Pada sistem perpipaan dengan menggunakan gas accumulator 100 liter memiliki tekanan maksimum 1278,79 kpa pada detik ke 8,0933 dan minimum 955,4661 kpa pada detik ke 13,95615. Jika dibandingkan dengan grafik yang menggunakan gas accumulator 20 liter, 60 liter dan 100 liter terlihat fluktuasi tekanan semakin kecil. Dari grafik terlihat semakin besar gas accumulator semakin baik meredam water hammer. Terjadi perbedaan bahwa sistem perpipaan tanpa menggunakan gas accumulator mulai steady pada detik ke 48 namun system perpipaan yang menggunakan gas accumulator mengalami steady pada detik ke 130 yaitu pada tekanan 1075.697 Kpa. Hal ini dikarenakan terjadinya penurunan tekanan di tiap – tiap system perpipaan yang mengakibatkan semakin lamanya proses steady pada setiap sistem perpipaan tersebut.

IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik sistem perpipaan pompa tunggal menunjukkan bahwa tekanan terbesar akibat fenomena

*water hammer* terjadi pada pipa 3 *inlet* yaitu pada proses *trip* pompa sebesar 1729 Kpa dan pada proses *start up* pompa yaitu sebesar 1541Kpa. Fluktuasi tekanan pada pipa 3 *inlet* terbesar adalah pada simulasi sistem perpipaan tanpa menggunakan gas *accumulator*. Sistem perpipaan yang menggunakan gas *accumulator* 20 liter dan 60 liter mengalami fluktuasi tekanan lebih kecil. Fluktuasi tekanan paling kecil terdapat pada simulasi sistem perpipaan dengan menggunakan gas *accumulator* 100 liter. Semakin besar ukuran volume gas *accumulator* maka semakin baik meredam fluktuasi tekanan. Pemasangan proteksi yang paling baik pada sistem perpipaan ini adalah gas *accumulator* dengan volume 100 liter karena dibandingkan jenis gas *accumulator* dengan volume 20 liter dan 60 liter jenis gas *accumulator* ini menghasilkan tekanan maksimum yang jauh lebih rendah dari tekanan ijin pipa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada laboratorium Mekanika dan Mesin-Mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS yang telah banyak mendukung kelancaran penelitian kali ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Applied Flow Technology, 2008, **AFT Impulse User's Guide,"** *Water Hammer Modeling in Piping System"*, AFT Impulse version 4.0, United States of America.
- [2] Chaudhry, M. H., "*Applied Hydraulic Transients*", 2<sup>nd</sup> edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, 1987.
- [3] Wylie, E.B., V.L. Steeter, and L. Suo, 1993,"*Fluid Transients in Systems*", Prentice Hall, Englewood Hills, New Jersey.