

Perancangan Sistem *Surge Absorber* Untuk Mencegah Terjadinya *Water Hammer* pada *Pipeline* Sistem Pendistribusian *Avtur* di DPPU Pertamina - Bandara Ngurah Rai

Agung Dwi Sulaksono, Totok Soehartanto, Gunawan Nugroho
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: totokstf@ep.its.ac.id

Abstrak—Aliran fluida *transient* erat kaitannya dengan fenomena fluida yang dikenal dengan *water hammer*. *Water hammer* yang tidak terkendali dapat berakibat buruk pada instalasi sistem perpipaan. Untuk menghindari dampak buruk keberadaan *water hammer* dapat dilakukan dengan cara memasang komponen perpipaan, salah satunya adalah *surge absorber*. Sehubungan dengan rencana pengembangan jalur perpipaan serta penambahan kapasitas pompa DPPU Pertamina maka diperlukan kajian mengenai performansi *surge absorber* yang telah terpasang dan *surge absorber* yang dibutuhkan untuk mencegah *water hammer* pada header pit sistem perpipaan DPPU Pertamina yang baru. Kajian tersebut dilakukan dengan cara membuat simulasi yang menggunakan *Method Of Characteristic* untuk menyelesaikan persamaan dasar *water hammer*. Dari hasil kajian yang telah dilakukan, diketahui bahwa delapan buah *surge absorber* yang terpasang pada sistem perpipaan DPPU Pertamina memiliki volume gas yang masih berada pada range kerjanya. Sedangkan untuk mengatasi *water hammer* pada jalur pipa tambahan, diperlukan penambahan 4 buah *surge absorber* yang diletakkan pada sistem perpipaan yang baru.

Kata Kunci— sistem perpipaan, *surge absorber*, *transient*, *water hammer*.

I. PENDAHULUAN

DALAM mekanika fluida, kondisi aliran fluida terbagi menjadi aliran fluida *steady* dan tipe aliran fluida *unsteady* atau yang lebih dikenal dengan aliran *hydraulic transients* [1]. Proses penyalurkan *avtur* di DPPU Pertamina Ngurah Rai dapat dikategorikan ke dalam kondisi aliran *hydraulic transients*. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan kondisi aliran fluida saat suatu sistem penyaluran *avtur* tersebut beroperasi dengan kata lain, kondisi aliran berubah terhadap waktu. Kondisi aliran fluida yang berubah-ubah disebabkan oleh beberapa hal yakni pompa yang berhenti bekerja saat pengisian *avtur* telah selesai, dan membuka atau menutupnya *valve* [2].

Aliran fluida *transient* ini erat kaitannya dengan fenomena fluida yang dikenal dengan *water hammer*. *Water hammer* dapat terjadi karena disebabkan oleh perubahan kecepatan dari suatu aliran fluida dalam pipa [3]. Pada beberapa kasus, *water hammer* yang tidak terkendali dapat

berakibat buruk pada instalasi sistem perpipaan. Efek buruk yang dihasilkan oleh fenomena tersebut diantaranya adalah merusak *valve*, menimbulkan getaran pada pipa, menyebabkan kavitasi pada *impeller* pompa, dan dapat memperpendek umur pemakaian peralatan [3]. Perubahan tekanan yang terlalu besar dapat menyebabkan pipa menjadi rusak atau pecah. Untuk menghindari dampak buruk keberadaan *water hammer* dapat dilakukan dengan cara memasang komponen perpipaan, salah satunya adalah *surge absorber*. *Surge absorber* dapat mereduksi perubahan tekanan dan energi yang berlebih pada suatu aliran fluida akibat kondisi *transient* dari sistem aliran fluida tersebut.

Kajian mengenai fenomena *water hammer* dan *surge absorber* pada sistem perpipaan di DPPU Pertamina Ngurah Rai menjadi sangat diperlukan sehubungan dengan rencana pengembangan sistem perpipaan di DPPU Pertamina Ngurah Rai. Dalam pengembangan tersebut, DPPU Pertamina Ngurah Rai berencana menambah 3 buah pompa sentrifugal dan 11 *hydrant pit valve* yang terbagi dalam 2 buah *header pit*. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai kemungkinan dinamika fluida dan fenomena *water hammer* yang terjadi pada sistem perpipaan DPPU Pertamina Ngurah Rai yang baru. Untuk kemudian melakukan analisa mengenai pemilihan *surge absorber* yang sesuai dengan dinamika fluida yang ada pada sistem perpipaan. Untuk menghitung persamaan kondisi *transient* yang rumit pada sistem jaringan pipa DPPU Pertamina, maka pada penelitian ini menggunakan metode komputasi *Method of Characteristic* untuk menyelesaikan persamaan dasar *water hammer* yang terjadi [4].

II. URAIAN PENELITIAN

A. *Method Of Characteristic*

Jaringan pipa kompleks memiliki persamaan *water hammer* yang kompleks pula. Agar persamaan *water hammer* tersebut dapat diselesaikan maka diperlukan suatu metode komputasi. Salah satu metode komputasi yang sangat sering digunakan untuk menyelesaikan persamaan *water hammer* adalah *Method Of Characteristic* (MOC). MOC merupakan suatu metode yang digunakan untuk menyederhanakan persamaan

differential parsial. Untuk dapat menyelesaikan persamaan dasar *water hammer* persamaan differential parsial yang digunakan adalah persamaan differential parsial kekekalan momentum dan differential parsial kekekalan massa [3].

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + g \sin(\alpha) + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

Dimana P adalah tekanan (bar), V adalah kecepatan fluida (m/s), ρ adalah kerapatan fluida (kg/m^3), x adalah jarak pipa (m), t adalah waktu (s), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), D adalah diameter pipa (inch), f adalah faktor gesekan, α adalah sudut kemiringan pipa, dan a adalah kecepatan gelombang propagasi (m/s)

B. Kecepatan Gelombang (Acoustic) Water hammer

Kecepatan gelombang *water hammer* adalah satu dari elemen yang terdapat pada persamaan *Joukowsky* dan merupakan parameter vital untuk mendefinisikan intensitas pulsa *water hammer*. Kecepatan gelombang *water hammer* dapat dirumuskan sebagai berikut [4].

$$a^2 = \frac{\frac{K_f}{\rho}}{1 + \frac{K_f D}{eE}} \quad (3)$$

Dimana K_f adalah *modulus bulk* fluida (N/m^2), E adalah *modulus Young* dinding pipa (N/m^2), e adalah ketebalan dinding pipa (mm). Ketika kondisi *transient* terjadi pada sistem perpipaan, maka sistem tersebut harus menyesuaikan diri dengan kondisi baru. Untuk menyenyaikannya, kondisi baru tersebut harus dikomunikasikan ke seluruh sistem. Komunikasi ini dilakukan oleh perambatan kecepatan gelombang propagsai (*wavespeed*) fluida. *Wavespeed* dianalogikan dengan kecepatan suara dari fluida. Namun, *wavespeed* juga dipengaruhi oleh struktur pipa.

C. Surge absorber

Gas accumulator adalah suatu *tank* penyimpanan sementara dari fluida bertekanan yang sekaligus mereduksi besarnya energi dari fluida akibat kondisi *transient* fluida. Energi yang dimiliki fluida akan dikompresi oleh bahan peredam yang terdapat dalam *surge absorber* dan disimpan sementara dalamnya untuk kemudian dialirkan kembali menuju *pipeline*. *Surga Absorber* yang digunakan pada *pipeline* DPPU Pertamina berjenis *bladder accumulator*. Dimana didalam sebuah *bladder accumulator* terdapat sebuah kantong (*bladder*) yang menampung gas bertekanan. Gas yang digunakan adalah berupa gas nitrogen.

Definisi Variabel

Proses dalam mengurangi *shock pressure* dalam pipa dengan menggunkan *surge absorber* (*gas accumulator*) terjadi dalam tiga kondisi. Kondisi awal *Bladder Accumulator*, dalam kondisi pre-charged dengan P_0 dan V_0 . Dimana katub fluida dalam keadaan tertutup. Kemudian ketika tekanan

minimum bekerja, maka terdapat sejumlah volume fluida V_1 yang mengkompresi *Bladder*, hal yang sama pun juga terjadi ketika volume V_2 pada saat tekanan maksimum bekerja. Perbedaan antara kedua volume ini, dikatakan sebagai volume yang akan ditampung ΔV oleh *surge absorber* selama peristiwa *water hammer* terjadi. Dimana hubungan keduanya dapat dituliskan sebagai berikut [5]:

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (4)$$

Persamaan Sizing Surge absorber (Gas Accumulator)

Untuk mengetahui spesifikasi *surge absorber* (*gas Accumulator*) yang diperlukan pada sistem pendistribusian avtur di DPPU Ngurah Rai, perlu diperhitungkan beberapa parameter karakteristik dari *surge absorber*. Parameter karakteristik tersebut adalah volume gas kompresi. Volume gas kompresi diperlukan pada suatu *gas accumulator* untuk mengurangi efek *water hammer* pada suatu sistem perpipaan. Secara matematis volume gas kompresi dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (5)$$

Dimana V_0 adalah volume gas kompresi *surge absorber* (liter), n adalah konstanta polytropic (1.4 untuk nitrogen), P_0 adalah tekanan pre - charge gas (bar), P_1 adalah tekanan minimum yang bekerja (bar), dan P_2 adalah tekanan maximum yang bekerja (bar).

Tekanan Pre-charge Surge absorber

Precharge adalah tekanan gas dalam *gas accumulator* tanpa cairan hidrolik yang masuk di sisi *Bladder*. *Surge absorber* sebelumnya telah berisi gas nitrogen saat fluida bertekanan belum masuk kedalam accumulator. Tekanan *precharge* untuk *Bladder Accumulator* biasa diatur sekitar sekitar 90% dari tekanan minimum sistem yang bekerja [5].

$$P_0 = 0,9 \times P_1 \quad (6)$$

Tekanan *Precharge gas accumulator* merupakan variabel yang sangat penting untuk memastikan accumulator bekerja secara optimal. Terlalu tinggi tekanan *precharge* yang digunakan sehingga volume gas *surge absorber* menjadi lebih besar menyebabkan kapasitas volume fluida yang memasuki *surge absorber* menjadi berkurang. Namun jika terlalu tekanan *precharge* terlalu kecil dan volume gas *surge absorber* terlalu kecil sehingga menyebabkan volume fluida yang ditampung *surge absorber* semakin besar akan dapat menyebabkan tekanan-tekanan pada *bladder* atau dapat menyebabkan kegagalan dalam perakitan *popet valve accumulator*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa tahapan, diantaranya melakukan pemahaman proses aliran fluida pada sistem pengisian bahan bakar (*Refueling system*) di DPPU Pertamina Ngurah Rai. Langkah selanjutnya adalah merancang suatu program simulasi yang dapat menggambarkan keseluruhan sistem perpipaan. Dari simulasi tersebut dapat diketahui kondisi *water hammer* yang terjadi pada *loading system*. Kondisi *water hammer* tersebut merepresentasikan data-data yang dibutuhkan untuk menghitung spesifikasi *surge absorber*. Setelah spesifikasi *surge absorber* diketahui, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi *loading system* setelah pemasangan *surge absorber*. Untuk kemudian dapat diketahui kondisi terakhir *water hammer* yang terjadi pada *loading system*. Langkah terakhir adalah membuat rekomendasi terkait topik yang diangkat.

B. Proses Aliran Fluida pada Loading system di DPPU Pertamina Ngurah Rai

Hal pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah membuat analogi dari proses *Loading system* (pengisian bahan bakar.) menuju pesawat terbang di DPPU Pertamina Ngurah Rai. Penyederhaan dibuat setelah melakukan pengkajian terhadap pipe diagram dan kondisi lapangan. Penyederhaan ini perlu dilakukan untuk mempermudah saat membuat program simulasi. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya proses pengisian bahan bakar dilakukan dengan bantuan pompa – pompa sentrifugal melalui *header pit*. Hanya saja pada penelitian ini akan dibahas mengenai kondisi *loading system* yang baru. *Loading system* yang baru akan mengalami penambahan kapasitas pompa sebanyak 3 buah dan penambahan 11 *hydrant valve* yang terdiri dari dua buah *header pit*.

Bentuk kondisi perpipaan yang akan ditambah pada *Loading system* DPPU Pertamina dibuat sama dengan kondisi perpipaan yang telah terpasang sebelumnya. Setelah mengetahui kondisi *Loading system* DPPU Pertamina maka langkah selanjutnya adalah membuat program simulasi. Program simulasi didasarkan pada mekanisme pengisian bahan bakar dan penyederhaan *pipe diagram* yang telah dilakukan sebelumnya.

C. Skenario Pengaktifan Valve dan Pompa

Setiap *hydrant pit valve* dan pompa yang bekerja akan menghasilkan kondisi *water hammer* yang berbeda-beda. Variasi pengaktifan *hydrant pit valve* dan pompa yang bekerja ini yang disebut sebagai skenario pengaktifan *valve*. Variasi pengaktifan *hydrant pit valve* dan pompa yang bekerja akan sangat banyak ditemukan pada kondisi perpipaan DPPU Pertamina. Oleh karena itu, pada penelitian ini skenario pengaktifan *valve* dan pompa hanya akan dibatasi pada beberapa skenario tertentu saja.

Bentuk skenario yang sama juga dilakukan terhadap lima *header pit* yang lain. Skenario ini dimaksudkan agar dapat mengetahui kondisi *water hammer* pada masing-masing

header pit saat satu *hydrant pit valve* sampai saat seluruh *hydrant pit valve* pada masing-masing *header pit* bekerja.

D. Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari kondisi *water hammer* yang terjadi pada masing-masing *header pit*. *Water hammer* dibangkitkan dengan cara menentukan kondisi *transient* pada *hydrant pit valve* dan pompa yang bekerja. *Hydrant pit valve* yang bekerja disesuaikan dengan jumlah *hydrant pit valve* yang terdapat pada masing-masing *header pit*. Untuk itu diperlukan skenario kerja yang melibatkan variasi pengaktifan *hydrant pit valve* dan pompa untuk mengetahui kondisi *water hammer* pada masing-masing *header pit*.

Dari skenario-skenario yang telah dijalankan pada masing-masing *header pit* maka akan didapatkan satu skenario dengan kondisi *water hammer* terekstrim. Yakni kondisi yang memiliki nilai selisih antara tekanan maksimal (P_{max}) dan Tekanan minimal (P_{min}) terbesar diantara skenario lain pada masing-masing *header line*. Pada Tabel 1 dapat kita lihat jumlah skenario yang dapat terjadi pada masing-masing *header pit*.

Tabel 1.
Skenario pada masing-masing *header line*

No. <i>Header pit</i>	Jumlah Skenario Pengaktifan valve	Jumlah valve aktif	Pompa aktif
1 A	15	3	1
1 B	15	3	1
2 A	15	4	2
2 B	15	4	2
3 A	9	4	2
3 B	9	3	1
4 A	27	3	2
4 B	27	3	2
5 A	12	1	1
5 B	12	1	1
6 A	15	2	1
6 B	15	5	1

Skenario dengan kondisi *water hammer* terekstrim ini akan memberikan informasi mengenai parameter-parameter *water hammer* pada masing-masing *header pit*. Parameter-parameter inilah yang kemudian dijadikan acuan untuk menghitung besarnya volume gas *surge absorber* yang sesuai untuk mereduksi *water hammer* yang terjadi pada masing-masing *header pit*.

E. Perhitungan Volume Gas Surge absorber

Kondisi *water hammer* pada masing-masing *header line* dapat direpresentasikan pada dengan melihat beberapa parameter-parameter penting. Yakni besarnya Tekanan maksimal dan Tekanan minimal yang terjadi selama kondisi *water hammer* atau *transient condition* terjadi.

Setelah mengetahui kondisi *water hammer* pada kondisi ekstrim, maka selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter pada kondisi tersebut untuk dijadikan data dalam perhitungan volume gas *surge absorber* yang dibutuhkan pada masing-masing *header line*. Tabel 2 memperlihatkan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menghitung

volume gas *surge absorber*. Pada tabel 2 terlihat empat parameter yang dibutuhkan untuk menghitung besarnya *surge absorber*, yang mana 2 diantaranya Tekanan pre-charge dan volume fluida yang ditampung tidak dapat dilihat secara langsung pada profil perubahan tekanan selama kondisi *water hammer* terjadi. Tekanan *pre-charge* didapat dari hasil perhitungan berdasarkan persamaan (6). Sedangkan volume yang ditampung didapatkan dari profil perubahan *flowrate* pada saat tekanan maksimal dan tekanan minimal pada selang waktu tertentu selama *water hammer* atau *transient condition* terjadi.

Tabel 2.

Parameter-parameter untuk menghitung volume gas *surge absorber*

Header pit	Tekanan Maksimal (bar)	Tekanan Minimal (bar)	Tekanan Precharge (bar)	Volume Yang Ditampung (Liter)
1 A	11,87011	8,58855	7,7296968	67
1 B	11,08096	8,572194	7,7149746	69
2 A	10,01659	7,023055	6,3207495	49
2 B	9,65346	6,68536	6,0168195	115
3 A	9,673206	6,833455	6,1501095	60
3 B	11,44225	9,38197	8,4437712	52
4 A	9,77212	6,42362	5,7812616	101
4 B	9,46659	5,97294	5,375646	139
5 A	10,36337	7,18241	6,4641708	95
5 B	10,30049	7,17903	6,4611225	68
6 A	10,12883	6,86693	6,1802361	74
6 B	9,38614	5,38249	4,8442437	108

Dari parameter-parameter yang telah ditentukan, maka parameter-parameter tersebut dapat secara langsung digunakan untuk menghitung besarnya volume gas *surge absorber* pada masing-masing *header pit* yang didasarkan pada persamaan (5). Hasil perhitungan volume gas *surge absorber* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3

Hasil perhitungan volume gas *surge absorber* pada masing-masing *header pit*

Header pit	Surge absorber Hasil Perhitungan (liter)	Surge Absorber yang Tersedia Dipasaran (liter)
1 A	348,756991	370
1 B	443,4615532	445
2 A	236,7375749	297
2 B	537,8075356	549
3 A	292,8603059	297
3 B	424,5408325	445
4 A	420,5742174	445
4 B	535,8130918	549
5 A	444,1564456	445
5 B	320,4844577	370
6 A	328,8718038	370
6 B	356,7732328	370

Pada tabel 4 terlihat bahwa terdapat 2 buah *surge absorber* yang memiliki volume gas dengan *range* kerja yang lebih kecil dari volume gas hasil perhitungan. Sedangkan enam

buah *surge absorber* yang lainnya memiliki volume gas dengan *range* kerja yang masih dapat digunakan untuk mengatasi *water hammer* di sistem perpipaan DPPU Pertamina yang baru. Untuk mengetahui apakah *surge absorber* masih dapat digunakan atau harus dilakukan penggantian maka perlu dilakukan pengujian dan perbandingan terhadap kinerja kedua *surge absorber* tersebut.

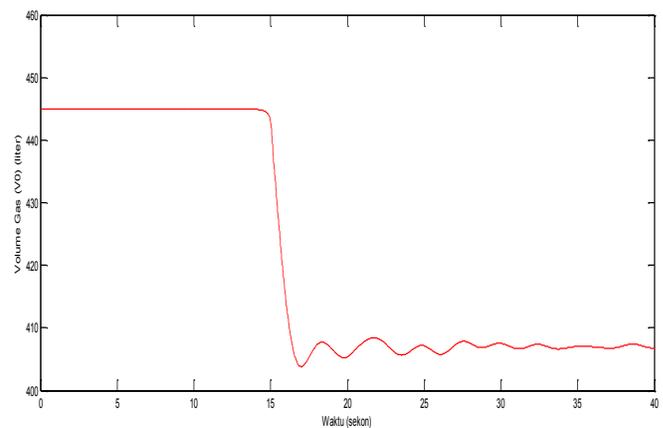
Tabel 4

Perbandingan Volume gas *surge absorber* yang telah terpasang (*existing*) di DPPU Pertamina dengan hasil perhitungan

Header pit	Volume gas <i>Surge absorber</i> Yang telah terpasang pada DPPU Pertamina	Volume gas <i>Surge absorber</i> hasil perhitungan
1 A	370	370
1 B	445	445
2 A	370	297
2 B	445	549
3 A	370	297
3 B	445	445
4 A	445	445
4 B	445	549
5 A		445
5 B		370
6 A		370
6 B		370

F. Evaluasi Terhadap Kinerja *Surge absorber*

Untuk mengetahui kinerja dari *surge absorber* pada *header pit* 2 B, maka perlu dilakukan perbandingan terhadap *surge absorber* yang *existing* terpasang pada *header pit* DPPU Pertamina dengan *surge absorber* hasil perhitungan. Dari hasil perbandingan diketahui bahwa *Surge absorber* yang *existing* terpasang pada *header pit* DPPU Pertamina masih dapat digunakan tanpa harus menggantinya dengan *surge absorber* yang memiliki volume gas yang lebih besar seperti pada hasil perhitungan.

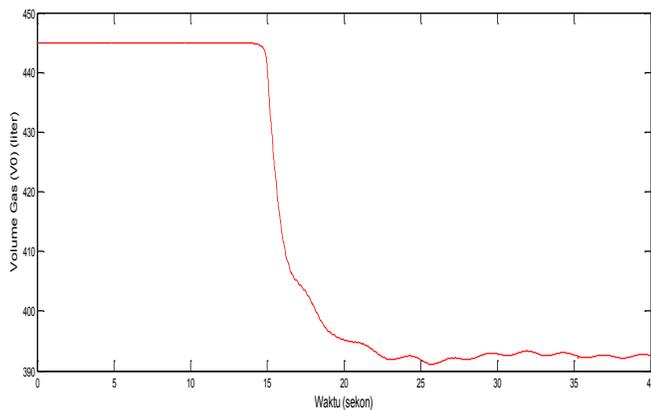


Gambar. 1. Kondisi volume gas *surge absorber* yang *existing* di *header pit* 2 B (445 liter) pada saat *water hammer* terjadi.

Sebagai yang ditunjukkan pada gambar 1 dimana pada saat *water hammer* terjadi hanya sebagian dari pada bagian *bladder* dari *surge absorber* yang terkompresi. Pada saat

kondisi *water hammer* terjadi baldder terkompresi sehingga volume *bladder* mencapai 403,785 liter. Dengan kata lain, *surge absorber* masih dapat digunakan untuk mengatasi kondisi *water hammer* yang lebih ekstrim dari kondisi *water hammer* yang ditampilkan pada penelitian ini.

Hal yang sama pun dilakukan terhadap *surge absorber* pada *header pit* 4 B. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 dimana pada saat *water hammer* terjadi hanya sebagian dari pada bagian *bladder surge absorber* yang terkompresi. Pada saat kondisi *water hammer* terjadi bagian *bladder* terkompresi sehingga volume *bladder* mencapai 391,0624 liter. Dengan kata lain, *surge absorber* masih dapat digunakan untuk mengatasi kondisi *water hammer* yang lebih ekstrim dari kondisi *water hammer* yang ditampilkan pada penelitian ini.



Gambar. 2. Kondisi volume gas *surge absorber* yang existing di *header pit* 4 B (445 liter) pada saat *water hammer* terjadi.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Terjadi perubahan yang signifikan antara tekanan maksimal kondisi transient sebelum dan sesudah pemasangan *surge absorber*.
- 2) Delapan *surge absorber* yang existing pada header line DPPU Pertamina Ngurah Rai masih dapat digunakan untuk mengatasi waterhammer yang terjadi pada sistem perpipaan DPPU Pertamina yang baru. Delapan *surge absorber* tersebut memiliki volume gas masing-masing sebesar 370 liter untuk *header pit* 1 A, 445 liter untuk *header pit* 1 B, 370 liter untuk *header pit* 2 A, 445 liter untuk *header pit* 2 B, 370 liter untuk *header pit* 3 A, 445 liter untuk *header pit* 3 B, 445 liter untuk *header pit* 4 A, dan 445 liter untuk *header pit* 4 B.
- 3) Diperlukan penambahan 4 buah *surge absorber* yang diletakkan pada header line sistem perpipaan yang baru. Empat buah *surge absorber* tersebut memiliki volume gas masing-masing sebesar 445 liter untuk *header pit* 5 A, 370 liter untuk *header pit* 5 B, 370 liter untuk *header pit* 6 A dan 370 liter untuk *header pit* 6

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhu, M., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, T., "Study on *Water hammer* Prevention in Pumping Water Supply Systems by Multi-valves", *Hybrid Information Technology ICHIT '06. International Conference*, Vol.1 (2006),pp.1-2.

- [2] Elbashir, M. A. M., and Amoah, A. O. K. 2007. " *Hydraulic Transient In A Pipeline Using Computer Model To Calculate And Simulate Transient*". Thesis Master Department of Building and Environmental Technology. Lund University
- [3] Streeter, V.L. Wylie, E. B. " *Fluid Mechanis*". New York: McGraw-Hill, 1985.
- [4] Ghidaoui. M. S., Zhao. M, McInnis. D. A., Axworthy. D. H., " A Review of *Water hammer* Theory and Practice". *Applied Mechanics Reviews*, Vol. 58 (2005), pp.49-71
- [5] Anonim, *Bladder Accumulator data*. Hydac International.