

Pengaruh Jarak Antara Katup dan Tangki Pengelak Terhadap Efek Water Hammer

(Effect of distance between the Valve and the Surge Tank against the Effect of Water Hammer)

Jenny Delly^{1a}, Welly Liku Padang^{1b}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Haluoleo
Kampus Hijau Tridarma Andounohu Kendari Sulawesi Tenggara 93232

^aEmail : jennydelly@rocketmail.com

^bEmail : wellylikupadang@yahoo.com

Abstrak

Water hammer merupakan suatu fenomena yang terjadi akibat dikuranginya atau dihentikan sama sekali kecepatan suatu aliran fluida di dalam saluran pipa secara mendadak. Bila kecepatan aliran massa air di dalam saluran pipa dikurangi atau dihentikan sama sekali, maka akan menimbulkan kenaikan tekanan yang menimbulkan kompresi pada dinding saluran pipa yang dapat menyebabkan saluran pipa pecah. Salah satu cara untuk mengatasi efek water hammer dengan menggunakan konstruksi tangki pengelak pada saluran pemasukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang mengalami efek water hammer, serta untuk mengetahui pengaruh jarak antara katup dan tangki pengelak terhadap efek water hammer. Alat pengujian yang digunakan adalah instalasi pipe surge/water hammer apparatus C7. Jenis pipa yang digunakan adalah pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) dengan diameter $\frac{3}{4}$ inci dan panjang pipa pemasukan 4 m. Adapun jarak antara katup dan tangki pengelak yang divariasikan yaitu 10 cm, 20 cm, 30 cm. Pengamatan dilakukan terhadap osilasi permukaan air di dalam tangki pengelak dan penutupan katup handle dilakukan secara mendadak. Data yang diambil menggambarkan hubungan variasi jarak antara katup dan tangki pengelak terhadap efek water hammer. Hasil penelitian diperoleh jarak antara katup dan tangki pengelak yang semakin dekat dapat mengatasi efek water hammer. Pada jarak 10 cm faktor keamanan tangki pengelak 4.41, sedangkan untuk jarak 20 cm faktor keamanan tangki pengelak 4.28 dan untuk jarak 30 cm faktor keamanan tangki pengelak 4.27.

Keywords: water hammer, tangki pengelak, jarak katup.

Pendahuluan

Water hammer merupakan suatu fenomena yang terjadi akibat dikuranginya atau dihentikan sama sekali kecepatan suatu aliran fluida di dalam saluran pipa secara mendadak. Fenomena yang paling mudah diamati adalah terdengarnya bunyi pukulan pada dinding pipa saluran. Suara pukulan tersebut disebabkan adanya perubahan energi kinetis yang dibawa oleh massa air menjadi energi regangan yang kemudian diserap oleh massa air yang membalik dan dinding pipa saluran dalam bentuk kompresi.

Untuk mengatasi efek water hammer dapat dilakukan dengan membangun instalasi pipa yang kuat, tetapi hal ini akan menyebabkan konstruksi menjadi mahal dan tidak ekonomis, karena itu dicari cara lain yang dapat dipergunakan sebagai sistem pengelak untuk menghindari efek water hammer yang akan terjadi, misalnya dengan menggunakan konstruksi tangki pengelak (surge tank), katup pembebas aliran, pemakaian tabung gas bertekanan atau sistem pengelak lainnya.

Surge tank hanya dapat berfungsi beberapa saat saja, yaitu pada saat katup keluaran ditutup dan pada saat katup dibuka. Surge tank dapat mensuply air pada saat katup dibuka dan menampung air bentangan pada saat katup ditutup. Dalam keadaan operasi normal tangki terisi zat cair sampai pada batas tertentu. Jika suatu saat dalam pipa keluar terjadi lonjakan tekanan, maka sebagian zat cair dari pipa akan masuk ke dalam tangki. Dengan demikian lonjakan tekanan dapat diatasi dan diredam. Setelah tekanan di dalam fluida menjadi normal kembali zat cair akan tertekan kembali masuk pipa.

1. Water Hammer

Bila kecepatan aliran massa air di dalam saluran pipa dikurangi atau dihentikan sama sekali, maka akan menimbulkan kenaikan tekanan dalam pipa tersebut. Tekanan ini terjadi karena adanya kejutan aliran akibat perubahan energi kinetis massa air yang mengalir menjadi energi regangan. Fenomena ini dikenal dengan nama pukulan air (*water hammer*). Water hammer dapat terjadi dalam saluran tertutup

yang dialiri penuh bila terdapat perlambatan atau percepatan aliran.

Energi regangan yang terjadi disamping diserap oleh massa air, juga diserap oleh dinding pipa untuk proses kompresi baik secara longitudinal maupun tangensial. Kenaikan tekanan yang menimbulkan kompresi pada dinding saluran pipa dapat menyebabkan saluran pipa pecah. Karena itu perlu dibangun suatu konstruksi instalasi pipa yang dapat mengurangi kenaikan tekanan, sehingga efek water hammer dapat dihindari/dikurangi.

Besarnya efek water hammer yang terjadi sangat tergantung pada kecepatan massa fluida di dalam saluran serta waktu penutupan katup yang akan memberikan perlambatan fluida. Makin besar perubahan kecepatan aliran menyebabkan makin besar efek water hammer yang terjadi. Bila waktu penutupan katup lebih kecil dari waktu penutupan kritis, maka efek water hammer yang terjadi pada dinding saluran pipa akan maksimal.

Untuk menghindari atau mengurangi efek water hammer yang menyebabkan kenaikan tekanan sehingga menimbulkan kerusakan pada dinding pipa, dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

- Menutup katup pengatur aliran secara perlahan-lahan.

Penutupan katup secara perlahan-lahan berarti bahwa lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menutup katup pengatur aliran lebih besar daripada lamanya waktu penutupan kritis, sehingga kenaikan tekanan akibat efek water hammer yang terjadi di depan katup tidak mencapai kenaikan tekanan maksimal. Cara ini tidak selalu menguntungkan, misalnya saat katup pengatur harus ditutup secara mendadak karena terjadi pengurangan beban secara tiba-tiba, sehingga debit air melalui pipa penstock harus dikurangi dengan cepat.

- Memakai konstruksi tangki pengelak

Pemakaian konstruksi tangki pengelak adalah cara yang paling disukai pada instalasi turbin air. Tangki pengelak dibangun sedekat mungkin dengan katup pengatur aliran sehingga panjang saluran penstock yang mengalami efek water hammer tidak terlalu besar. Apabila pada suatu saat terjadi pengurangan beban secara tiba-tiba dimana katup pengatur aliran harus ditutup secara cepat, maka energi regangan yang timbul akibat adanya efek water hammer dipergunakan untuk mendorong massa air yang dipantulkan katup pengatur aliran kedalam tangki pengelak. Kondisi ini mengakibatkan energi regangan yang seharusnya diserap oleh dinding pipa semakin kecil dan tidak membahayakan lagi konstruksi saluran.

- Menggunakan katup pembebas aliran

Katup pembebas aliran direncanakan untuk bekerja secara otomatis, dan dapat bekerja pada perubahan tekanan yang kecil. Apabila tekanan naik melebihi tekanan yang ditentukan maka katup pembebas secara otomatis akan terbuka dan massa air akan mengalir keluar. Energi regangan yang seharusnya diserap oleh dinding saluran pipa dialihkan ke dalam bentuk gaya dorong untuk mengalirkan massa air melalui katup pembebas, sehingga tidak membahayakan konstruksi saluran pipa.

- Pemakaian tabung gas bertekanan

Pemakaian tabung gas bertekanan adalah suatu ruangan udara atau gas yang tertutup dan kemudian dihubungkan dengan saluran pipa yang dialiri fluida di dalamnya. Apabila terjadi penutupan katup pengatur aliran, maka massa fluida akan mengalir ke dalam tabung gas bertekanan dan mendesak udara atau gas yang berada di dalamnya, akibatnya massa udara akan terkompressi. Tabung gas bertekanan biasanya dipergunakan pada instalasi yang kemungkinan besar tidak akan memberikan efek water hammer yang besar.

2. Tangki Pengelak (Surge Tank)

Salah satu cara untuk menghindari kerusakan pada saluran pipa yang mungkin terjadi akibat kenaikan tekanan karena adanya efek water hammer adalah dengan memasang tangki pengelak pada saluran pemasukan. Tangki pengelak lebih dikenal dengan nama surge tank.

Pemakaian tangki pengelak pada saluran pemasukan lebih disukai karena konstruksinya yang relatif murah dan sederhana serta tidak memerlukan perawatan khusus. Ada dua macam fungsi utama dari tangki pengelak yaitu :

- Apabila beban yang dipikul pembangkit berkurang, maka kapasitas aliran dalam saluran pemasukan harus dikurangi dengan cara menutup katup pengatur aliran baik secara cepat maupun perlahan-lahan. Hal ini menyebabkan terjadinya perlambatan pada aliran massa air yang mengalir di dalam saluran pipa, sehingga kecepatan aliran massa air akan berkurang atau berhenti sama sekali. Perubahan energi kinetis yang dibawa oleh massa air yang mengalir berubah ke dalam bentuk lain sehingga tidak menimbulkan kenaikan tekanan di dalam saluran pipa. Energi tersebut menimbulkan gaya dorong dan akan mengalirkan massa air yang dipantulkan dari katup ke dalam tangki pengelak, akibatnya terjadi osilasi pada permukaan air yang berada dalam tangki pengelak. Jadi, dalam hal ini

tangki pengelak berfungsi sebagai alat untuk menghindari/mengurangi kenaikan tekanan akibat adanya efek water hammer. Dengan dipasangnya tangki pengelak menyebabkan energi regangan yang seharusnya diserap oleh dinding pipa menjadi lebih kecil dan tidak lagi membahayakan instalasi pipa.

- b. Pada saat turbin air mulai dijalankan atau pada saat terjadi permintaan beban, maka diperlukan penambahan debit air yang mengalir melalui penstock. Karena itu katup pengatur aliran harus dibuka secara cepat maupun secara perlahan-lahan. Umumnya jarak antara reservoir dengan rumah turbin cukup jauh, sehingga massa air yang mengalir dari reservoir menuju turbin membutuhkan waktu yang relatif lama, hal ini menyebabkan pencapaian kondisi steady state dari waktu yang sama. Dengan memasang tangki pengelak pada jarak yang tidak jauh dari rumah turbin, maka masalah ini dapat diatasi.

Konstruksi tangki pengelak dapat direncanakan sesuai dengan kebutuhan instalasi yang bersangkutan. Beberapa jenis konstruksi tangki pengelak antara lain :

- a. Tangki pengelak sederhana (simple surge tank)
Simple surge tank adalah jenis tangki pengelak yang paling sederhana. Bentuk tangkinya berupa silinder dengan diameter jauh lebih besar daripada pipa pemasukan. Antara saluran pipa pemasukan dengan tangki pengelak dihubungkan dengan sebuah lubang atau sebuah saluran penghubung yang pendek.
- b. Restricted orifice surge tank
Konstruksi dari restricted orifice surge tank hampir sama dengan simple surge tank, tetapi penampang lubang atau saluran penghubung antara pipa pemasukan dengan surge tank harus lebih kecil dibanding dengan penampang pipa pemasukan. Jenis konstruksi seperti ini sering juga disebut sebagai throttle surge tank, karena kerugian head yang terdapat pada sistem ini disamping kerugian head orifice juga ada kerugian pada sistem throttling.
- c. Differential surge tank
Sistem tangki pengelak dengan konstruksi jenis ini merupakan gabungan dari simple surge tank dan restricted orifice surge tank. Sistem ini terdiri dari dua komponen utama yaitu tangki utama dan riser yang berupa pipa. Besar penampang dari riser mendekati penampang daripada pipa penghubung.

Setiap perencanaan tangki pengelak harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Lokasi tangki pengelak harus ditetapkan sedemikian rupa sehingga perubahan tekanan akibat adanya efek water hammer dapat diatasi dengan baik.
- Tangki pengelak harus stabil yaitu setiap osilasi permukaan air di dalam tangki yang ditimbulkan oleh perubahan beban baik kecil maupun besar harus dapat direndam secara alamiah.
- Dimensi daripada tangki pengelak haruslah memenuhi :
 - Dapat menampung kenaikan maksimal permukaan air di dalam tangki yang mungkin terjadi tanpa memakai saluran pelimpahan.
 - Pada waktu pembukaan katup total, penurunan permukaan air di dalam tangki tidak boleh menyebabkan terbawanya udara ke dalam saluran pemasukan atau penstock.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

1. Spesifikasi Instalasi

Spesifikasi instalasi untuk jarak antara katup dengan tangki pengelak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm adalah sebagai berikut :

- Panjang pipa pemasukan : $L = 4 \text{ m}$
- Diameter pipa pemasukan :
 $D_o = 0.02145 \text{ m}$
- Tebal pipa pemasukan :
 $t_p = 0.0043 \text{ m}$
- Diameter surge tank :
 $D_s = 0.0445 \text{ m}$
- Luas penampang surge tank :
 $A_s = 1.5545 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- Diameter pipa penghubung :
 $D_p = 0.01904 \text{ m}$
- Luas penampang pipa penghubung
 $A_p = 2.8458 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- Bahan pipa pemasukan :
PVC (Poly Vinil Cloride)
- Modulus elastisitas pipa pemasukan :
 $E_p = 2.413 \times 10^9 \text{ N/m}^2$



Gambar 1. Tangki Pengelak



Gambar 2. Pipa Pemasukan (Pipa PVC)

2. Alat Uji Yang Digunakan

Alat uji yang digunakan yaitu :

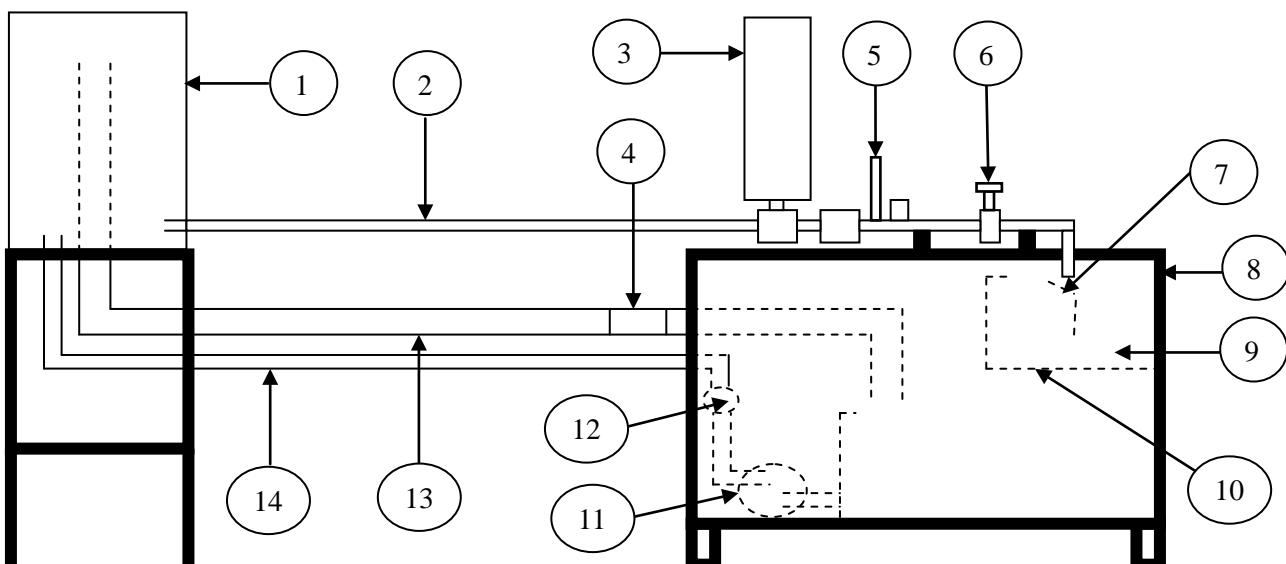
- Instalasi pipe surge/water hammer apparatus C7
- Pompa sentrifugal dengan sumber tenaga

adalah listrik arus bolak-balik dengan tegangan 220 V.

- Busur derajat digunakan sebagai alat bantu mengatur pembukaan katup pengatur aliran.
- Stopwatch digunakan untuk mengatur debit aliran serta waktu osilasi permukaan air dalam surge tank.
- Spidol digunakan untuk memberi tanda batas osilasi permukaan air pada surge tank.
- Sambungan pipa
- Gergaji, lem dan amplas

3. Spesifikasi Air

- Massa jenis (ρ) = 996.8 kg/m^3 pada temperatur 26°C
- Modulus Bulk (E_b) = $2.17 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
- Viskositas dinamis (μ) = $8.806 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$ pada temperatur 26°C



Gambar 3. Instalasi Pipe Surge/Water Hammer Apparatus C7

Keterangan :

- Reservoir atas
- Pipa uji (Pipa pemasukan water hammer)
- Tangki Pengelak
- Pipa kontrol
- Katup handle
- Katup pengalihan pipa surge
- Pengalih aliran
- Meja kontrol
- Tangki ukuran B
- Tangki ukuran A
- Pompa sentrifugal
- Katup supplay
- Pipa pembuangan
- Pipa supplay
- Pipa supplay

4. Pengambilan Data

Pengamatan dilakukan terhadap osilasi permukaan air di dalam surge tank dan waktu penutupan katup handle dilakukan secara serentak.

Untuk itu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Membuka penuh katup pengatur aliran dan katup handle. Kemudian mengatur katup supplay sedemikian rupa sehingga volume air

pembuangan sekecil mungkin tetapi tidak sama dengan nol. Membiarkan beberapa saat sampai permukaan air di dalam surge tank stabil.

- Mengukur debit aliran air dalam pipa dengan mengukur waktu penampungan air untuk volume air yang telah ditentukan yang masuk pada tangki ukuran.

Hasil dan Pembahasan

Besarnya efek water hammer dipengaruhi oleh karakteristik fluida yaitu kecepatan aliran (V_o), bilangan Reynolds (Re), faktor gesek (f), dan kerugian head total hasil pengamatan (H_f^*). Fluida merupakan suatu zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser. Fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Umumnya, makin besar laju deformasi fluida maka makin besar pula tegangan geser yang terjadi pada fluida tersebut. Sebagaimana dinyatakan oleh Newton bahwa tegangan geser dalam sebuah fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan terhadap aliran dalam ruang yang normal. Pada tabel 1 memperlihatkan karakteristik fluida pada saat katup pengatur terbuka penuh.

Tabel 1
Karakteristik Aliran Fluida
Hasil Perhitungan

Jarak (cm)	V_o (m/s)	Re	f	H_f^* (m)
10	0.764793	18570	0.026	0.231
20	0.779070	18916	0.026	0.234
30	0.794419	19289	0.026	0.251

Dari tabel 1 diatas terlihat bahwa pada saat jarak antara katup dengan surge tank sebesar 10 cm memiliki kecepatan aliran fluida yang kecil, dibanding jarak antara katup dengan surge tank 20 cm dan 30 cm. Selain itu, semakin jauh jarak antara katup dengan surge tank, maka kerugian head yang terjadi pada surge tank makin besar. Hal ini disebabkan karena semakin jauh jarak antara katup dengan surge tank, maka efek tekanan balik yang ditimbulkan semakin besar akibat besarnya laju aliran fluida.

Efek water hammer yang terjadi di pengaruhi oleh jarak antara katup dengan surge tank, karena semakin jauh jarak antara katup dengan surge tank, maka efek water hammer yang di timbulkan akan menjadi besar. Hal ini dapat di lihat dari faktor keamanan surge tank.

Dari tabel 2 terlihat bahwa semakin dekat jarak surge tank dengan katup, maka faktor keamanan dari surge tank tersebut semakin baik. Hal ini disebabkan karena momentum yang terjadi akibat penutupan katup menyebabkan kenaikan tekanan disepanjang pipa, sehingga dengan jarak antara katup dengan surge tank yang dekat, maka kenaikan tekanan tersebut dapat diredam.

Tabel 2
Faktor Keamanan Surge Tank
Hasil Perhitungan

Jarak (cm)	V_o (m/s)	n
10	0.764793	4.41
20	0.779070	4.28
30	0.794419	4.27

Untuk jarak katup dengan surge tank yang besar, maka faktor keamanan dari surge tank tersebut kurang baik. Hal ini disebabkan karena momentum yang terjadi akibat penutupan katup, menyebabkan kenaikan tekanan yang tidak diredam dengan cepat sehingga dapat terjadi kerusakan pada pipa

Kesimpulan

1. Jarak antara katup dan tangki pengelak yang semakin dekat dapat mengatasi efek water hammer, yang memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.764793 m/s, bilangan Reynolds 18570, faktor gesek 0.026 dan kerugian head 0.231 m, sedangkan semakin jauh jarak antara katup dengan tangki pengelak memiliki kerugian head yang besar 0.251 m.
2. Jarak antara katup dan tangki pengelak 10 cm faktor keamanan tangki pengelak 4.41, sedangkan untuk jarak 20 cm faktor keamanan tangki pengelak 4.28 dan untuk jarak 30 cm faktor keamanan tangki pengelak 4.27.

Nomenklatur

Ap	Luas penampang pipa penghubung (m^2)
As	Luas penampang surge tank (m^2)
Do	Diameter pipa pemasukan (m)
Dp	Diameter pipa penghubung (m)
Ds	Diameter surge tank (m)
Ep	Modulus elastisitas pipa pemasukan (N/m^2)
Eb	Modulus Bulk (N/m^2)
f	Faktor gesek
H_f^*	Kerugian head total hasil pengamatan (m)
n	Faktor keamanan surge tank
Re	Bilangan Reynolds
tp	Tebal pipa pemasukan (m)
V_o	Kecepatan aliran (m/s)
ρ	Massa jenis (kg/m^3)
μ	Viskositas dinamis (Ns/m^2)

Referensi

Anwar, Yos Rizal. Studi Pendahuluan Tentang Efek Water Hammer Dan Penggunaan Tangki Pengelak Pada Saluran Pipa Pemasukan Turbin. Tugas Sarjana. Institut Teknologi Bandung. 1980.

Greeff, Isabella L. Piping and the Energy Balance. Journal of Department of Chemical, Engineering University of Pretoria. South Africa. 1999.

Hwang, Ned H.C. Fundamentals of Hydraulics Engineering System. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. 1981.

King, Reno C. Piping Handbook 4th Edition. Mc Graw Hill Book Company. 1967.

Kodoatie, Robert J. Hidrolika Terapan. Aliran Pada Saluran Terbuka Dalam Pipa. Andi Offset. Yogyakarta. 2002.

Manga, John B. Dasar-Dasar Pompa Dan Perencanaan. Makassar. 1999.

Olson, Reuben M. Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 1993.

Streeter, Victor L. Mekanika Fluida Jilid I. Erlangga. Jakarta. 1988.

Streeter, Victor L. Mekanika Fluida Jilid II. Erlangga. Jakarta. 1995.

White, Frank M. Mekanika Fluida Jilid I. Erlangga. Jakarta. 1988.

White, Frank M. Mekanika Fluida Jilid II. Erlangga. Jakarta. 1991.