

Analisis Pengaruh Panjang Dan Kekasaran Pipa Terhadap Efek Water Hammer

Ahmad Amri

Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar

Kampus UMI, JL. Urip Sumoharjo KM.05 Makassar

Tlp : 0411.443685

Abstrak

Water Hammer mengacuh pada fluktuasi tekanan yang disebabkan oleh peningkatan atau penurunan mendadak kecepatan aliran. Fluktuasi tekanan ini dapat memecahkan pipa induk saluran air. Permasalahan potensial Water hammer harus dipertimbangkan dalam mengevaluasi disain saluran, dan juga analisa surge (gelombang tekanan) harus dilakukan secara teliti pada setiap kejadian, untuk menghindari kegagalan pemakaian komponen yang mahal pada suatu sistem distribusi. Setiap perubahan besar disain sistem atau perubahan pengoperasian aliran seperti kebutuhan untuk laju aliran air yang sangat tinggi harus dipertimbangkan potensi terjadinya permasalahan waterhammer. Fenomena ini dan maknanya dalam kegiatan disain dan pengoprasian sistem penyediaan air belumlah dipahami secara luas dengan mengacuh pada frekwensi dan jumlah kerusakan yang disebabkan oleh water hammer. Pada penelitian ini yang diamati adalah efek water hammer yang terjadi akibat pengaruh panjang dan kekeraan pipa yang dipasang pada setiap penutupan katup. Hasilnya memperlihatkan bahwa tidak ada pengaruh panjang pipa uji terhadap efek water hammer karena jarak katup kontrol dengan surge tank konstan yaitu 20 cm, semakin kasar pipa uji efek water hammer semakin kecil dan semakin besar modulus elastisnya semakin besar efek water hammer yang terjadi.

Kata Kunci : Kekasaran, Panjan Pipa penyebab efek Water Hammer

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri yang pesat dewasa ini menuntut pemakaian energi yang semakin meningkat. Hal ini sangat dirasakan oleh negara - negara maju sehingga diperkirakan dengan hanya mengandalkan sumber energi tak terbarukan yang ada saat ini seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam yang telah lama dipakai maka pada beberapa tahun yang akan datang sumber energi tersebut diatas akan mengalami pengurangan yang cukup tajam bahkan mungkin akan habis.

Untuk mengantisipasi hal tersebut diatas agar tidak terjadi maka perlu adanya suatu sumber energi alternatif yang mampu menggantikan peran sumber energi terdahulu, namun tetap memberikan

keuntungan seperti halnya sumber energi yang digantikan. Salah satu langkah penting dalam mencari sumber - sumber energi alternatif adalah dengan jalan mengadakan riset dan penelitian yang hingga saat ini telah menghasilkan cukup banyak penelitian-penelitian baru dibidang konservasi energi, salah satu diantaranya adalah pemanfaatan sumber tenaga air.

Indonesia memiliki wilayah yang terbentang luas yang sebagian besar luas wilayahnya terdiri dari air, baik berupa danau, sungai, ataupun lautan. Dimana mengandung potensi energi yang beberapa diantaranya telah lama dimanfaatkan dalam skala besar, misalnya Pusat listrik Tenaga Air (PLTA) dan juga untuk skala kecil sudah banyak digunakan misalnya untuk distribusi air.

Pada pembangkit - pembangkit listrik tenaga air, turbin digerakkan oleh air yang disalurkan melalui pipa pipa. Dan salah satu permasalahan yang sering dihadapi pada instalasi turbin air, misalnya turbin jenis Pelton yaitu seringnya terjadi kerusakan pada pipa akibat pukulan air (*water hammer*).

Fenomena mengenai water hammer sudah mulai diselidiki sejak tahun 1904 oleh Nicolai Egorovich Joukowski dan tahun 1929 oleh Lorenzo Alleivi serta RW Angus yang masing-masing bekerja secara terpisah. Penelitian dilakukan baik secara teoritis maupun secara eksperimen. Penelitian untuk mengukur besar efek hammer yang terjadi masih dikembangkan sampai sekarang.

Water hammer merupakan suatu fenomena yang terjadi akibat dikurangnya atau dihentikan sama sekali suatu aliran fluida didalam saluran pipa secara mendadak. Fenomena paling mudah diamati dalam terjadinya bunyi pukulan pada dinding pipa saluran. Suara pukulan tersebut disebabkan adanya perubahan energi kinetis yang dibawah 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 ini 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 terjadi, misalnya dengan menggunakan konstruksi tangki pengelak (*surge tank*) katup pembebas (*relief valve*), pegas, accumulator, dan sistem pengelak lainnya.

Prinsip kerja dari pada konstruksi tangki pengelak ini adalah dengan mengalihkan regangan yang timbul melalui massa air yang membalik dan mengalirkannya kedalam tangki pengelak.

Dengan demikian energi pengelak yang diserap oleh dinding pipa menjadi lebih kecil sehingga dapat mengurangi kemungkinan bahaya terhadap konstruksi pipa saluran.

Salah satu cara yang juga dapat mengatasi masalah kenaikan tekanan akibat water hammer adalah melalui kesesuaian diameter pipa penstock dengan tinggi jatuh serta diameter tangki pengelak. Karena salah satu faktor yang cukup penting pada suatu instalasi yang memanfaatkan air adalah besarnya diameter pipa pipa yang digunakan yang dapat berpengaruh pada kinerja suatu sistem bila terjadi perubahan diameter pipa yang digunakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Uraian Tentang Water hammer

Bila kecepatan aliran massa air didalam saluran pipa dikurangi atau dihentikan sama sekali maka menimbulkan tekanan dalam pipa tersebut. Tekanan ini terjadi karena adanya kejutan aliran akibat perubahan energi kinetis massa air yang menjadi energi regangan. Fenomena ini dikenal dengan nama pukulan air (*water hammer*). Water hammer dapat terjadi didalam saluran (konduit) tertutup yang dialiri penuh bila terdapat perlambatan atau percepatan aliran (Streeter, 1995).

Energi regangan yang terjadi disamping diserap oleh massa air juga diserap oleh dinding pipi untuk proses kompresi baik secara longitudinal maupun tangensial. Proses kompresi ini menjalar disepanjang pipa sebagai gelombang tekanan dan bergerak dengan kecepatan gelombang suara melalui medium air didalam saluran pipa. Namun tekanan kritis tidak sampai terjadi pada pipa yang berdiameter kecil dimana laju aliran fluida didalamnya adalah kecil/lambat (Meritt, 1983).

Efek water hammer terjadi jika adanya perubahan diameter pada pipa

pemasukan (Alamsiah,2003). Besarnya efek water hammer yang terjadi sangat tergantung pada kecepatan aliran massa fluida dalam saluran serta waktu penutup kutup yang akan memberikan perlambatan fluida. Makin besar perubahan kecepatan aliran menyebabkan makin besar pula efek water hammer yang terjadi bila waktu penutup lebih kecil dari waktu penutup katup kritis ($T_c = 2L/a$), maka efek water hammer yang terjadi pada dinding saluran pipa akan maksimal.

Kenaikan tekanan yang menimbulkan kompresi pada dinding saluran pipa dapat menyebabkan saluran pipa pecah. Karena itu perlu dibangun suatu konstruksi instalasi pipa yang dapat menaikkan tekanan, sehingga efek water hammer yang mungkin timbul dapat dihindari.

III. METODE PENELITIAN

Proses Terjadinya Water Hammer.

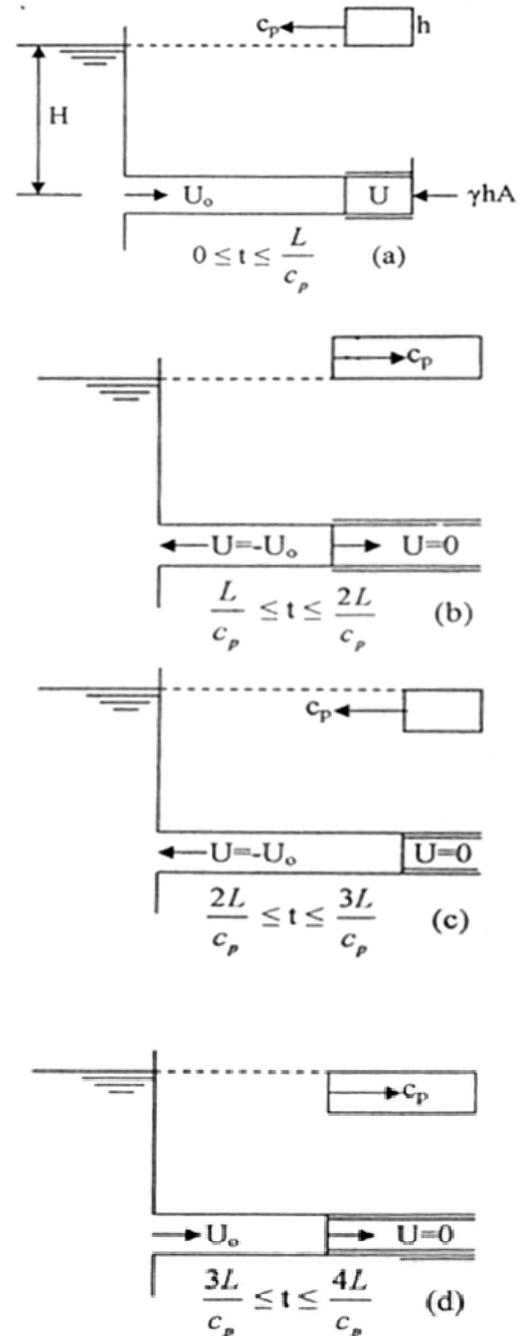
Didalam membahas proses terjadinya water hammer berarti harus membahas mengenai perjalanan gelombang tekanan melalui medium air didalam saluran pipa.

a. Penutup katup dengan tiba - tiba.

Pada gambar (1) dijelaskan proses penjalaran gelombang tekanan pada penutup katub tiba – tiba .

1. Apabila katub ditutup dengan tiba-tiba maka energi kinetis yang mengalir dengan kecepatan V_0 akan menutup katub, fluida terdekat dengan katub berhenti. ($V = 0$) dan berubah menjadi energi regangan (strain energy), sehingga memberikan kenaikan tekanan didalam saluran pipa yang disebut tekan water hammer. peristiwa ini akan menimbulkan tekanan yang menjalar disepanjang pipa dari katub B ke reservoir A dengan kecepatan. Perambatan gelombang tekanan ini akan sampai di A setelah selang waktu sebesar $t = L/a$, dan pada saat ini seluruh

kolam air didalam saluran pipa berada pada keadaan diam (gbr. 1a)



Gambar 1. Urutan peristiwa untuk satu siklus penutupan katup secara tiba-tiba

Kondisi diatas bukanlah kondisi seimbang karena tekanan dalam pipa di A masih lebih kecil dari pada

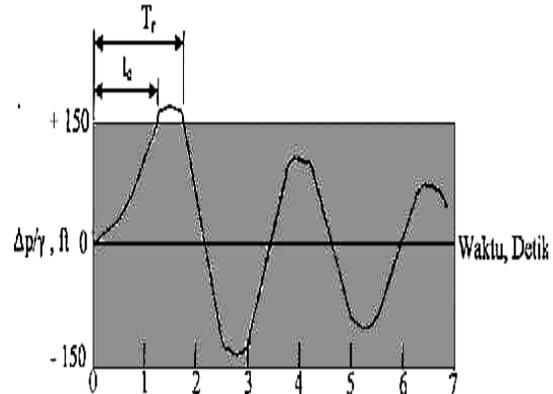
tekanan reservoir di A. Akibat energi regangan pada lapisan air di A berubah kembali menjadi energi kinetis, sehingga fluida mulai mengalir mundur dari ujung hulu. Aliran ini mengembalikan tekanan sampai nilai normal sebelum penutupan, dinding pipa kembali normal, dan fluida mempunyai kecepatan V_0 dalam arah mundur. Proses perubahan ini berjalan didalam pipa melalui katub dengan kecepatan suara a . Pada saat $2L/a$, gelombang tiba pada katub tekanan kembali normal sepanjang pipa dan kecepatan dimana V_0 dalam arah mundur (gambar 1b).

2. Energi yang semula digunakan untuk melakukan deformasi kembali berubah menjadi energi kinetis, sehingga massa air dipantulkan kembali dengan kecepatan V_0 ke arah reservoir. Pada saat gelombang tekanan mencapai katub, maka energi kinetis massa air kembali berubah menjadi energi regangan, sehingga dinding pipa mengalami deformasi. Deformasi dinding pipa pada tekanan ΔP_{wh} dibawah tekanan normal ini menjalar disepanjang saluran pipa dengan kecepatan a , setelah selang waktu $T = 3L/a$, maka deformasi dinding saluran pipa mencapai reservoir A, dan massa air kembali berada dalam keadaan diam (gambar 1c)
3. Seperti pada poin ke (2) kondisi ini tidak merupakan kondisi keseimbangan karena tekanan reservoir diluar pipa lebih besar dari pada diluar pipa. Hal ini menyebabkan massa air akan kembali mengalir dari reservoir A ke katub B, dan energi regangan berubah kembali menjadi energi kinetis. Akibatnya terjadi kenaikan tekanan reservoir A sebesar ΔP_{wh} dan kemudian menjalar kembali ke katub B sebagai gelombang dengan kecepatan A .

b. Penutupan Dengan Cepat ($t_c < T_r$)

Secara fisik adalah tidak mungkin untuk menutup katub seketika ; kita akan melihat kasus yang besarnya dimana tertutup penuh atau sebagian, untuk waktu t_c yang besarnya dari nol tapi kurang dari

$$T_r = \frac{2L}{C_p}$$



Gambar 2. Penutupan katub penuh pada waktu t_c (1 detik) kurang dari T_r (1,40 detik). Pengukuran perubahan tekanan actual pada katub.

Jelasnya perlu diperhatikan bahwa jarak x dari inlet, seperti B pada gambar 2, waktu perjalanan gelombang tekanan adalah $\partial x / C_p$. Jadi tergantung pada berapa cepat katubnya ditutup dan karena t_c tidak mungkin nol, maka pasti jarak x_0 sehingga

$$t_c = \frac{2x_0}{C_p}$$

Jelasnya :

$$x_0 = \frac{C_p t_c}{2} \dots\dots (2.1)$$

Jadi, pada titik E pada gambar 2, pada jarak x_0 dari inlet, waktu untuk perjalanan gelombang tekanan pasti t_c pada jarak yang cukup dekat dari inlet ($x < x_0$) waktu tempuhnya lebih pendek. Tapi seperti yang kita lihat pada gambar 5 dibutuhkan waktu t_c untuk tekanan pada

titik tersebut naik dari nol ke nilai maksimum. Sehingga pada titik yang lebih dekat ke inlet dari E refleksi gelombang tekanan akan tiba sebelum dicapai tekanan maksimum. Efek ini akan mereduksi tekanan water hammer maksimum pada titik dimana $x < x_0$. Pada daerah dekat inlet, untuk x yang lebih kecil refleksi gelombang balik datang lebih cepat dan mereduksi jadi besar. Sebagai hasil pada kasus sebenarnya, tekanan maksimum water hammer yang terjadi adalah ΔP pada semua titik dimana $x < x_0$ dan akan turun dari ΔP pada x_0 menjadi nol pada inlet. Kenaikan tekanan maksimum ΔP tidak dapat terjadi untuk semua saluran masuk reservoir. Modifikasi garis tekanan hidrolis transien ini disebut “penutupan dengan cepat” pada gambar 2. variasi linear dari tekanan maksimum transien pada x_0 biasanya diasumsikan dan meskipun hasilnya mirip pada gambar 5 (untuk $t < t_c$), bentuk aktual dari kurvanya tergantung pada bagaimana katupnya dibuka.

IV. PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian dengan perhitungan dapat dilakukan pembahasan yang mengacu pada tujuan penelitian. Untuk jelasnya berikut ini ditampilkan hasil penelitian didalam bentuk grafik. Dari grafik terlihat bahwa untuk panjang pipa yang berbeda dan jenis pipa uji yang berbeda, terlihat untuk ketiga jenis pipa yang digunakan memperlihatkan fenomena sebagai berikut:

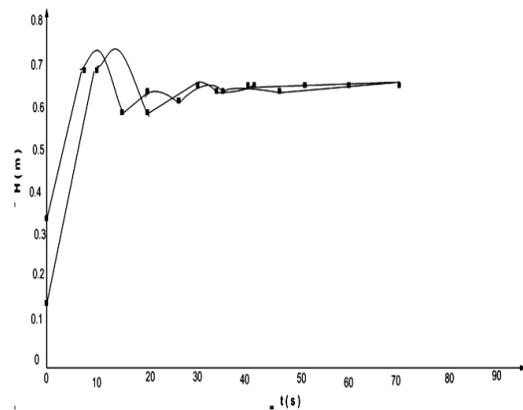
1. Semakin panjang pipa uji maka waktu yang dibutuhkan oleh gelombang tekanan untuk berisolasi sampai gelombang tekanan teredam semakin lama. hal ini juga dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$T_{kr} = \frac{2L}{C_p}$$

yang memberikan hubungan antara waktu kritis untuk gelombang tekanan berbanding langsung dengan

panjang. Ini berlaku untuk ketiga jenis pipa uji yakni pipa galvanis, PVC, Stainless Steel karena fenomena yang terlihat semuanya sama. Semakin panjang pipa maka kedudukan awal (H_0) air didalam surge tank semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh karena adanya kerugian aliran yang terjadi di sepanjang pipa kerugian tersebut berupa kerugian aliran akibat gesekan (HL) dan kerugian pada sambungan-sambungan. Ini berlaku pada ketiga jenis pipa yakni pipa Galvanis, pipa PVC, pipa Stainless steel. karena fenomena terlihat semuanya sama.

2. Grafik hubungan antara H (m) dengan t (s) terlihat semakin panjang pipa uji dengan kekerasan yang sama debit yang sama. Kedudukan awal (H) semakin kecil dan waktu yang ditempuh oleh gelombang tekanan untuk berisolasi semakin besar sampai gelombang tekanan teredam, ini berlaku pada semua ketiga jenis pipa uji



Gambar 3 Hubungan antara waktu osilasi (t) dengan setinggi air (H) di dalam surge tank untuk pipa Galvanis.

Semakin panjang pipa amplitudo awal (frekwensi gambar awal) semakin besar, dimana energi kinetic (KE) sebanding dengan panjang pipa. Energi potensial (PE) yang terdapat

dalam fluida yang terkompresi akibat penutupan katup sebanding dengan panjang pipanya, berlaku untuk ketiga jenis pipa uji yakni pipa Galvanis, pipa Stainless Steel karena fenomena yang terlihat semuanya sama.

3. Semakin panjang pipa uji, pada jenis yang sama, debit yang sama kedudukan air maksimum (H_1) di dalam surge tank semakin kecil, hal ini disebabkan oleh pipa uji bertambah panjang juga kerugian aliran berupa kerugian aliran akibat gesekan dan kerugian pada sambungan – sambungan ini. Ini berlaku untuk ketiga jenis pipa uji yakni pipa Galvanis, pipa PVC, pipa Stainless Steel karena kerena fenomena yang terlihat semuanya sama.

V. KESIMPULAN

1. Panjang pipa uji berpengaruh terhadap efek water hammer (ΔP^1), hanya saja tidak nampak pada perubahan permukaan surge tank, untuk itu diperlukan alat ukur yang lebih teliti untuk menentukan perubahan permukaan air di dalam surge tank.
2. Kekasaran berpengaruh terhadap efek water hammer, dimana panjang pipa uji 4 m, 8 m, 12 m diperoleh untuk pipa Galvanis ($\epsilon = 0,00000527$ m) tekanan water hammer (ΔP^1) = $9,07 \cdot 10^{11}$ N/m², untuk pipa uji PVC ($\epsilon = 0,00000282$ m) tekanan water hammer (ΔP^1) = $1 \cdot 10^{12}$ N/m² dan pipa uji Stainless Steel ($\epsilon = 0,0000043$ m) tekanan water (ΔP^1) = $9,86 \cdot 10^{11}$ N/m².

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1997, *A Unified Framework For Engineering Science: Principles and sample Curricula*, http://www.foundationcolitin.org/home/sophomore/SEC_problems1.html, (diakses 15/7/2003)
- Anonim, *Water Hammer Calculation Hydraulic Transien Anlysis*. <http://www.Imnoeng.com/WaterHammer/WaterHammer.htm>, (diakses 23/7/2003)
- Anwar, Y.R , 1980, *Studi Pendahuluan Tentang Efek Water Hammer Dan Penggunaan Tangki Pengelak pada Saluran Pipa Pemasukan Turbin* , Skripsi ITB
- Brater, E.F. dan william H.K., 1967 *Handbook Of Hydraulics*, sixth edition, Mc Graw Hill Book company New York
- Franzini, J.B dan Finnemore, J.E 1997, *Fluid Mechanics With Engineering Application*, ninth edition, Mc Graw Hill Book Company, New York
- Haiko Sami, dkk. 2002, *Modeling Of Water Hammer Phenomenon-Based Pressure Intensifier*, IHA, tempere University of technology, Finland.
- Lahlou Michael, 2003 *Tech Brief Water Hammer*, National Drinking Water Cleringhouse West Virginia University <http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/WI03/WaterHammer.html>, (diakses 19/7/2003)
- Parmakian John. 1986, *Pump Handbook*, Mc grawa Hill Book company, New York.
- Plint, 1986 *Instalation And Operating Instruction*, Plint & partners Ltd, England.
- Streeter, V.L., 1995, *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta.
- Anonim, 1997, *A Unified Framework For Engineering Science: Principles and sample Curricula*, <http://www.foundationcolitin.org/home/sophomore/SEC>