

DASAR PERENCANAAN *SURGE-TANK* (TANGKI-PENGELAK) SEBAGAI ALTERNATIF UNTUK MENGHINDARI KERUSAKAN SALURAN PIPA AKIBAT EFEK *WATER HAMMER* PADA INSTALASI TURBIN AIR

HM Ma'ruf*

Abstraksi

Jika kecepatan aliran massa air didalam pipa dikurangi atau dihentikan sama sekali akan menimbulkan kenaikan tekanan secara mendadak. Tekanan ini terjadi karena adanya kejutan aliran akibat perubahan energi regangan yang dikenal dengan fenomena "*effect water hammer*". Hal ini sering terjadi pada instalasi turbin air, karena adanya pengurangan beban secara mendadak. Fenomena ini sangat berbahaya bagi instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Salah satu cara untuk menghindari atau mengurangi kerusakan pada saluran pipa, yakni dengan memasang *surge tank* (tangki pengelak), hal ini dipilih karena kostrukasinya relatif murah, sederhana dan tidak memerlukan perawatan khusus. Hasilnya adalah tercapainya kondisi stabil dari permukaan air dari terjadinya osilasi permukaan air dalam tangki pengelak.

Kata Kunci : Fenomena *Effect Water Hammer*, Instalasi Turbin Air

PENDAHULUAN

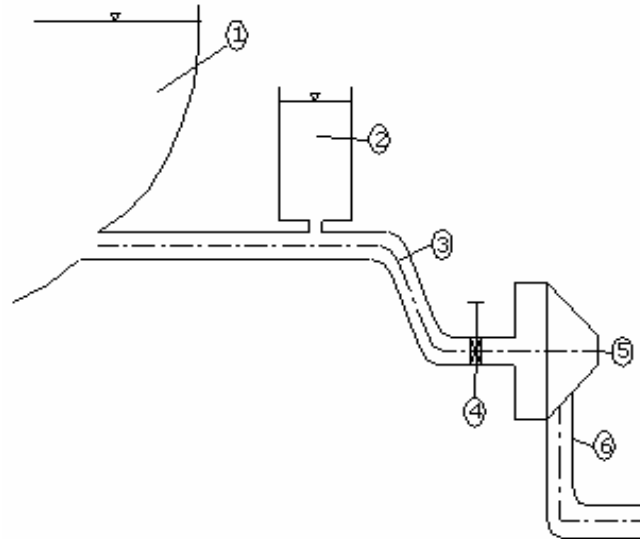
Apabila kecepatan suatu aliran massa air didalam sistem perpipaan pada instalasi Turbin Air dikurangi atau dihentikan sama sekali akibat pengurangan atau penambahan beban akan menimbulkan kenaikan tekanan didalam sistem aliran tersebut, tekanan ini terjadi akibat adanya kejutan aliran sehingga menimbulkan energi regangan. Energi regangan disamping diserap oleh massa air juga diserap oleh dinding pipa untuk proses kompresi, baik secara longitudinal maupun transfersal. Proses kompresi ini menjalar disepanjang pipa sebagai gelombang tekanan dan bergerak sama dengan kecepatan gelombang suara yang melalui medium air. Tekanan ini akan mengakibatkan pecahnya pipa. Salah satu cara untuk menghindari kerusakan pada saluran pipa yang mungkin terjadi akibat kenaikan tekanan karena adanya *effect water hammer* adalah dengan memasang tangki pengelak pada saluran pemasukan yang disebut *surge tank*.

TINJAUAN PUSTAKA

Pemasangan tangki pengelak adalah salah satu cara untuk mengurangi atau menghindari terjadinya *effect water hammer* pada sistem instalasi Turbin Air. Lokasi pemasangannya akan ikut menentukan seberapa besar pengaruh terhadap kenaikan tekanan akibat *effect water hammer* pada saluran pipa, semakin jauh letak tangki pengelak dari katup pengatur akan semakin panjang saluran pipa *penstock* yang merasakan pengaruh kenaikan tekanan akibat *effect water hammer* yang terjadi.

Skema instalasi Turbin Air dengan menggunakan tangki pengelak yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 1 berikut.

* Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang



Gambar 1. Skema Instalasi Turbin Air

Keterangan Gambar :

1. Reservoir
2. Tangki pengelak / *surge tank*
3. *Penstock*
4. Katup pengatur aliran
5. Turbin air
6. Pipa buang

Fungsi Utama Tangki Pengelak

Apabila beban yang dibutuhkan pembangkit berkurang, kapasitas aliran didalam saluran pemasukan dikurangi dengan cara menutup katup pengatur sesuai dengan beban yang dibutuhkan. Hal ini menyebabkan kecepatan aliran massa air akan berkurang atau terhenti sama sekali, perubahan energi kinetik yang dibawa oleh massa air yang mengalir akan menimbulkan gaya dorong dan akan dipantulkan oleh katup kedalam tangki pengelak, akibatnya akan terjadi osilasi pada tangki pengelak.

Pada saat turbin mulai dioperasikan atau adanya peningkatan beban maka diperlukan penambahan debit air. Karena jarak reservoir dengan turbin relatif cukup

jauh, persediaan air yang disuplai akan membutuhkan waktu. Hal ini tidak boleh terjadi sehingga saluran di *penstock* diisi dahulu oleh air yang tersimpan di tangki pengelak.

Dasar Perencanaan *Surge-Tank* (Tangki-Pengelak)

Dalam hal ini tangki pengelak yang dipilih adalah jenis *differential surge tank*, yang merupakan modifikasi dari *simple surge tank* dan *restricted surge tank*.

1. Persamaan dasar matematis

$$H_0 - h_r = F_p \cdot V_0^2 + \frac{L}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

Dimana :

H_0 : *Head* total saluran (m)

H_r : Tinggi elevasi air minimum (m)

F_p : Faktor gesekan dalam pipa

V_0 : Kecepatan aliran air dari reservoir (m/s)

L : Panjang pipa laluan (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

2. Volume yang keluar dari tangki utama

(Chandry, M . Hanif , 1979)

$$Q_{pt} = F_p \cdot \frac{dh_t}{dt} \tag{2}$$

$$= A_{port} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_r - h_t)} \rightarrow h_t > h_r$$

$$Q_{pt} = F_p \cdot \frac{dh_t}{dt} \tag{3}$$

$$= A_{port} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_t - h_r)} \rightarrow h_r > h_t$$

Dimana :

Q_p : Debit aliran di penstock (m³/s)

A_{port} : Luasan lubang laluan tangki pengelak (m²)

h_t : Tinggi air dalam tangki secara normal (m)

h_r : Tinggi elevasi air minimum dalam tangki (m)

A_r : Luasan *orifice* pada tangki pengelak (m²)

3. Volume yang masuk ke turbin

$$Q_p = Q_o + Q_{pt} Q_r$$

$$Q_p = Q_o + Q_{pt} Q_r$$

Jadi volume yang mengalir melalui *penstock* adalah fungsi dari *head* dan bukaan katup.

4. Stabilitas permukaan air dalam tangki pengelak

Yang dimaksud dengan stabilitas adalah tercapainya kondisi stabil atau tenang dari permukaan air yang terjadi akibat osilasi dalam tangki pengelak. Apabila terjadi perubahan debit yang mengalir di dalam saluran *penstock*, akibat pengendalian aliran oleh katup pengatur, mengakibatkan terjadinya kenaikan atau penurunan permukaan air yang mengikuti Hukum Newton II di dalam tangki.

4.1. Dari gerakan massa air didalam tangki pengelak dapat ditulis (Chandry, M . Hanif, 1979) :

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{dv}{dt} + z + H_f = 0 \tag{5}$$

Kecepatan aliran pada pipa utama :

$$V_o = \frac{A_t}{A_o} \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{Q_p}{A_o}$$

$$A_o \cdot V_o = A_t \cdot \frac{dz}{dt} + Q_p \tag{6}$$

4.2. Kerugian *head* akibat gesekan di dinding saluran pipa (Chandry, M . Hanif, 1979) :

$$H_f = F_p \cdot V_o^2 \tag{7}$$

Dimana :

F_p : faktor gesekan saluran pada pipa pemasukan

H_f : kerugian head saluran pada pipa masukan (m)

V_o : kecepatan aliran air pada pipa masukan (m/s)

Dari persamaan (5), (6) dan (7) di dapat (Fox Robert, W., 1985) :

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{d}{dt} \left[\frac{A_t}{A_o} \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{Q_p}{A_o} \dots \right] + z + F_p \cdot V_o^2 = 0. \tag{8}$$

Bila $Q_p = 0$; $F_p \cdot V_o^2 = 0$; maka :

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{A_t}{A_o} \cdot \frac{d^2z}{dt^2} + Z = 0$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{L}{g} \cdot \frac{A_t}{A_o} = -Z$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -Z \cdot \frac{A_o}{L} \cdot \frac{g}{A_t} \tag{9}$$

Persamaan (9) adalah persamaan osilasi permukaan air didalam tangki pengelak tanpa peredam (gesekan diabaikan), bila :

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{A_o \cdot g \cdot Z}{L \cdot A_t} = 0$$

$$y = \sqrt{\frac{g \cdot A_o}{L \cdot A_t}} \quad (10)$$

Menjadi :

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + y^2 \cdot Z = 0 \quad (11)$$

4.3. Periode osilasi permukaan air tanpa peredam

$$T = 2 \pi / \psi = \frac{2 \cdot p}{\sqrt{\frac{g \cdot A_o}{L \cdot A_t}}}$$

Sehingga amplitudo osilasi permukaan air :

$$Z = \frac{V_t}{y} \quad \text{---} \quad V_t = A_o \cdot V_o / A_t$$

$$Z = A_o \cdot x \frac{V_o}{A_t} \cdot x \frac{1}{\sqrt{g \cdot x \frac{A_o}{L \cdot A_t}}}$$

$$Z = V_o \cdot x \sqrt{\frac{L \cdot x \cdot A_o}{g \cdot x \cdot A_t}}$$

Gambar osilasi permukaan air dapat dilihat seperti dibawah ini :

5. Osilasi permukaan air dalam tangki pengelak dengan memperhitungkan faktor peredam.

Pada kondisi yang sebenarnya faktor gesekan disepanjang pipa akan

mengakibatkan adanya peredaman disepanjang pipa tersebut, sehingga mengurangi osilasi permukaan air dalam tangki pengelak. Untuk itu tinggi maksimal yang boleh dicapai puncak osilasi dapat diketahui dengan menggunakan rumus-rumus pendekatan yang dikembangkan oleh COLE and MOSONYI yang dikenal dengan pendekatan logaritmik, dengan berbagai asumsi :

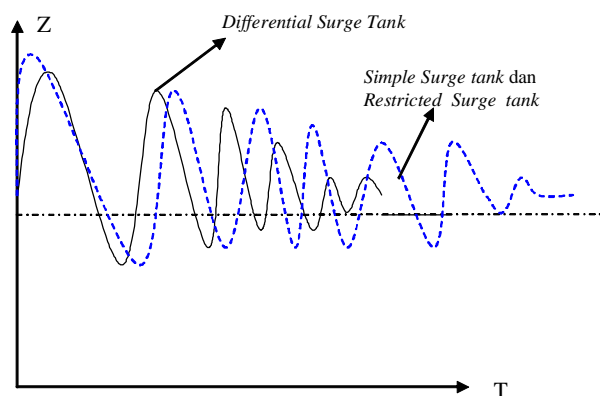
- Penampang tangki konstan
- Semua massa air yang memantul dari katup mengalir kedalam tangki pengelak

Pendekatan pertama dilakukan dengan memperhatikan tinggi puncak pertama dari osilasi permukaan air.

$$\frac{Z_1 - Z_0}{b} = \ln \frac{b}{b - Z_1}$$

b = faktor peredam tangki pengelak

$$b = \frac{L \cdot x \cdot A_o}{2 \cdot x \cdot F_p \cdot x \cdot g \cdot x \cdot A_t}$$



Gambar 2. Osilasi Permukaan Air

Untuk konstruksi *throttle surge tank* :

$$\frac{Z_1 - Z_0}{b} = \ln \left[\frac{b - h_{T0}}{b - Z_1} \right]$$

Dimana :

$$b = \frac{L \times A_0}{2 \times F_p \times F_T \left(\frac{A_0}{A_t} \right)^2 \times g \times A_t}$$

Atau :

$$b = \frac{L \times A_0}{2 \times F_s \times g \times A_t}$$

Besarnya $F_s = F_p + F_T \times \left(\frac{A_0}{A_t} \right)^2$

$$h_{T0} = K_T \times \frac{V_p^2}{2g}$$

Dimana :

F_p = Faktor gesekan saluran pipa pemasukan

F_T = Faktor gesekan pada penampang *throtlle*

H_{T0} = Kerugian *head* pada penampang *throtlle*

K_T = Konstanta gesekan pada penampang yang membesar secara mendadak

Z_0 = Kondisi awal dari permukaan air dalam tangki pengelak

Z_1 = Tinggi ekstrem (maksimum/minimum) dari osilasi permukaan air dalam tangki pengelak

6. Luas kritis permukaan tangki pengelak

Untuk mencapai kondisi yang setabil, diperlukan luas permukaan tangki pengelak yang tertentu, karena luas permukaan minimum yang memenuhi syarat ini disebut "Luas kritis permukaan tangki pengelak", yang besarnya :

$$A_{tc} = \frac{V_0}{2g} \times \frac{L \times A_0}{H_s \times H_{fo}} \quad (12)$$

Dimana :

H_{fo} = kerugian *head* antara *reservoir* dengan tangki pengelak akibat kecepatan aliran (V_0)

H_s = $H - H_{fo}$ adalah *head netto* antara tangki pengelak dan garis tengah *penstock* pada saat aliran *steady*

H = tinggi permukaan air dalam *surge tank* (tangki pengelak)

Rumus ini dipakai dengan asumsi perubahan beban relatif kecil, sehingga rugi-rugi kecepatan dapat diabaikan. Tetapi bila kerugian *head* akibat kecepatan aliran tidak diabaikan :

$$A_{tc} = \frac{V_0}{2g} \times \frac{L \times A_0}{(H_s - 2H_{fo})(H_{fo} - H_{fo}')$$

Dalam aplikasinya luas permukaan kritis tangki pengelak seperti persamaan diatas, selalu dikalikan dengan faktor keamanan yang besarnya antara 1,6 s/d 2,0 kali luas permukaan kritis.

SIMPULAN

Dalam merencanakan *surge tank* (tangki pengelak), masih banyak modifikasi yang lain, ini adalah salah satu alternatif yang ditawarkan, karena diantara modifikasi-modifikasi yang ada seperti :

Tangki pengelak sederhana

Restrected orifice surge tank

Differential surge tank

Ternyata sistem yang dikaji merupakan alternatif pilihan yang disarankan, karena diambil dari rancangan modifikasi dari sistem tangki pengelak sederhana/*simple surge tank* dan *restrected surge tank*.

Disini faktor ekonomis, praktis dan tidak memerlukan perawatan khusus merupakan pilihan yang lain disamping faktor perencanaan diatas.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandry, M. Hanif, 1979, *Applied Hydraulic Transients*, British Columbia Hydro and Power Authority Vancouver, Canada.
- Fox Robert, W., 1985, *Introduction to Fluid Mechanics*, Third Edition, Jhon Willey & Sons
- Hulscher, Wim Fraenkel Peter, 1994, *The Power Guide*, Second edition, Technology and Development, University of Twante.
- Raswari, 1987, **Sistem Perpipaan**, Universitas Indonesia.