

## **OSILASI DALAM TANGKI PENDATAR (SURGE - TANK) AKIBAT PENUTUPAN TURBIN SECARA MENDADAK**

Sri Sangkawati<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*Surge tank in hydro-power generation plant is placed on the transition between conveyance pipe channel and chute pipe. The dimension of surge tank is designed based on water mass oscillation result in minimum hydrodynamic pressure, such that it can determine form, type, and configuration of the tank.*

*The sudden increase in hydrodynamic pressure (positive water hammer) is caused by abrupt decrease in water discharge to the turbine to reduce load to the generator. This positive water hammer is dependent on the discharge and time of closure of the valve. Mathematical equation that describes mass oscillation in the reservoir-pipe channel-surge tank is dynamic and solution can be easily using numerical techniques.*

*This paper demonstrates the water hammer oscillation in a surge tank. The result shares that, <sup>1)</sup> when the ratio between surge tank area ( $A_s$ ) to the pipe area ( $A_T$ ),  $A_s/A_T$  below 5, the maximum increase in water pressure is significant, <sup>ii)</sup> when the ratio  $A_s/A_T$  greater than 5, the increase in water pressure is not significant and tends to have slight differences.*

**Key Words** : surge-tank, mass oscillations

### **PENDAHULUAN**

Dalam perencanaan pipa pembawa air dari suatu reservoir ke turbin pada pembangkit tenaga air harus dipertimbangkan terhadap kondisi-kondisi khusus, terutama apabila sistem pipa pembawa air panjang.

Banyak penyebab yang dapat menimbulkan aliran dalam pipa menjadi aliran transient (J.Paul Tullis, 1989), antara lain:

1. Perubahan pada bukaan katup.
2. Pengoperasian dan pemberhentian operasi pompa.
3. Operasi fasilitas-fasilitas dalam sistem pipa, seperti katup periksa, katup pembuang udara, katup pengurangan tekanan.
4. Pecahnya pipa.
5. Perubahan kebutuhan beban dalam turbin-turbin hidraulik.

Beberapa metoda untuk mengontrol kondisi di atas antara lain:

1. Menambah waktu dalam membuka maupun menutup katup-katup kontrol.
2. Perancangan khusus fasilitas-fasilitas untuk *flushing*, *filling*, pembuangan udara dari pipa.
3. Pembatasan kecepatan dalam pipa.
4. Menggunakan katup-katup pengurangan tekanan, tangki pendatar (*surge tank*), *air chamber*, dll.

Pengurangan beban pada generator yang tiba-tiba, otomatis akan mengurangi debit yang masuk ke turbin. Pengurangan debit ini mengakibatkan tekanan pukulan air positif (*positif water hammer*.) yang besarnya tergantung pada besarnya debit dan waktu penutupan katup.

Dimensi tangki pendatar antara lain tergantung dari besarnya osilasi permukaan air di dalam tangki, sehingga diperlukan

---

<sup>1</sup> Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Diponegoro Semarang

analisis osilasi permukaan air yang paling menguntungkan baik dari segi teknis maupun ekonomis.

### TANGKI PENDATAR

Tangki pendatar (*Surge Tank*) dan sering juga disebut tangki gelombang atau tangki pendatar pada umumnya ditempatkan pada bagian pipa pesat (*penstock*) yang merupakan perubahan pipa pesat bagian mendatar dengan pipa pesat bagian curam dengan fungsi sebagai berikut (O.F.Patty, 1995 dan) :

1. Menghilangkan atau mengurangi tambahan tekanan pada pipa pesat akibat penutupan turbin secara tiba-tiba sehingga menimbulkan tekanan pululan air. Gelombang yang timbul dapat keluar ke dalam tangki pendatar dan tidak mengakibatkan tambahan tekanan pada pipa pesat.
2. Menyediakan tampungan (*reservoir*) dengan permukaan bebas pada saat penutupan turbin.
3. Untuk mensuplai tambahan air bila ada penambahan beban. Air dapat dipenuhi dengan mengambilnya dari tangki pendatar, dan dengan demikian timbulnya kehampaan dalam pipa pesat yang mengakibatkan kerusakan pipa oleh tekanan udara dapat dihindarkan.

Tangki pendatar dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai jenis (M.M. Dandekar, 1991 dan Aris Munandar, 1991):

1. Material konstruksi, beton, baja dan sebagainya.
2. Lokasi tangki pendatar, di bawah tanah atau di atas tanah
3. Lokasi terhadap sistem hidrolik, di hulu atau di hilir pembangkit tenaga.
4. Fungsi hidraulik :
  - Tangki pendatar silinder
  - Tangki pendatar deferensial
  - Tangki pendatar lobang terbatas
  - Tangki pendatar dengan ruangan

Tangki pendatar sederhana berbentuk silinder biasa, mempunyai diameter yang

besar, serta mempunyai daya hisap pukulan air yang baik. Bentuk ini jarang dipakai karena membutuhkan kapasitas yang relatif besar dan tidak ekonomis.

Tangki pendatar diferensial mempunyai pipa yang berbentuk silinder, dengan luas penampang 70-100% dari penampang pipa pesat, yang dinamakan pembangkit (*riser*) dan dipasang dalam tangki air. Pembangkit ini dihubungkan langsung dengan pipa pesat. Badan tangki air dan pipa pesat dibuat sedemikian sehingga keduanya terhubung melalui sebuah pintu (lubang kecil). Permukaan air dalam pembangkit akan naik turun dengan cepat sesuai dengan perubahan beban dari turbin air sehingga kecepatan aliran dalam pipa pesat dapat diatur. Bentuk ini umumnya banyak dipakai karena luas penampangnya kecil dan mempunyai daya serap gelombang yang besar.

Tangki pendatar dengan lubang terbatas (*restricted orifice*) mempunyai lubang diantara dasar tangki pendatar sederhana dan pipa pesatnya. Bentuknya seperti tangki pendatar diferensial yang pembangkitnya dihilangkan. Kapasitas tangki air sama kecilnya seperti pada jenis diferensial, tetapi disini banyak kekurangannya, yaitu tekanan pukulan air menjadi besar dan daya serap tidak begitu baik

Tangki pendatar dengan ruangan adalah semacam tangki pendatar sederhana, tetapi ditambah dengan ruang-ruang air (*water chambers*) di bagian atas dan bawah. Tangki yang berbentuk silinder penampangnya relatif kecil dan bertugas sebagai pembangkit. Ruang bagian atas gunanya untuk menghisap air yang membubung naik, sedangkan ruangan bagian bawah menambahkan air yang berkurang. Bentuk ini dipergunakan apabila surut muka air (*draw down*) yang besar, sedangkan pipa pesat panjang sekali. Untuk keadaan geologis tertentu bentuk ini ekonomis.

**DASAR TEORI OSILASI DALAM TANGKI PENDATAR**

Pusat pembangkit listrik harus selalu disesuaikan dengan pemakaian listrik oleh konsumen. Oleh karenanya apabila terjadi keadaan di mana pemakaian listrik tiba-tiba padam (nol), maka kebutuhan air juga akan menjadi nol. Di dalam pipa pesat terdapat inersia, air masih tetap mengalir, sehingga permukaan air di dalam tangki peredam naik lebih tinggi daripada ketinggian permukaan air pada kondisi seimbang. Kemudian permukaan air turun sampai lebih rendah daripada permukaan air dalam keadaan seimbang, selanjutnya naik lagi, turun dan seterusnya sehingga pada suatu saat terdapat keadaan seimbang, dan permukaan air di dalam tangki pendatar diam.

Persamaan yang menggambarkan osilasi massa (*mass oscillations*) di dalam system reservoir – pipa pesat – tangki pendatar (Gambar 1) adalah sebagai berikut: (R.E. Featherstone, 1992)

Persamaan dinamik:

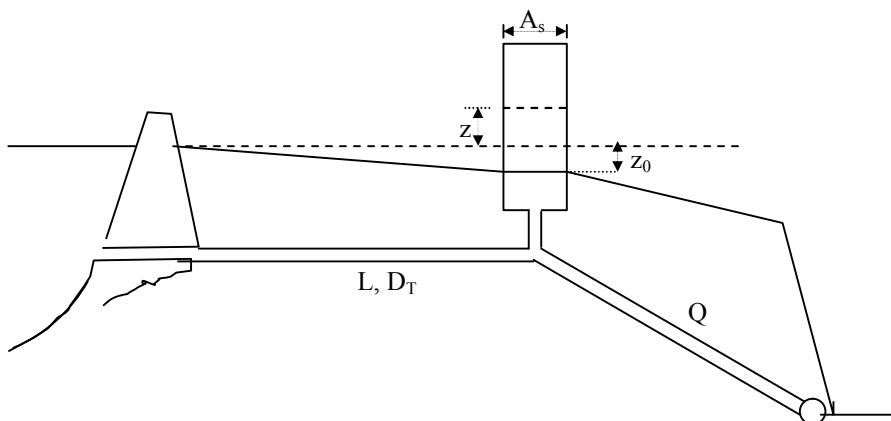
$$\frac{L}{g} \frac{dV}{dt} + z + F_s V_s |V_s| + F_T V |V| = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan kontinuitas :

$$VA_T = A_s \frac{dz}{dt} + Q \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- L = panjang pipa pesat dari reservoir sampai dengan tangki pendatar
- z = elevasi permukaan air di dalam tangki pendatar di atas permukaan air reservoir.
- F<sub>s</sub> = koefisien kehilangan tekanan pada pemasukan (*inlet*) tangki pendatar
- V<sub>s</sub> = kecepatan di dalam tangki pendatar  
=  $\frac{dz}{dt}$
- F<sub>T</sub> = koefisien kehilangan tenaga akibat gesekan pipa pesat  
=  $\frac{\lambda L}{2g.D_T}$
- D<sub>T</sub> = diameter pipa pesat
- V = kecepatan pipa pesat
- A<sub>T</sub> = luas penampang melintang pipa pesat
- A<sub>s</sub> = luas penampang melintang tangki pendatar
- Q = debit ke turbin



Gambar 1. Reservoir – pipa pesat – tangki pendatar

**PENYELESA METODE BE**

gan metode beda asiakan persamaan

dinamik dan persamaan kontinuitas osilasi permukaan air di dalam tangki akan menentukan tipe dan bentuk dari tangki pendatar.

Persamaan (1) dan persamaan (2) menjadi:

$$\frac{L}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} + z_m + F_T V_m |V_m| + F_s V_s |V_s| = 0 \dots (3)$$

$$V_m A_T = A_{s,m} \frac{\Delta z}{\Delta t} + Q_m \dots (4)$$

dimana subscript m adalah nilai rata-rata dalam interval, dan  $A_{s,m}$  adalah luas rata-rata dari tangki pendatar antara z dan z+ $\Delta z$ .

Penyelesaian langsung persamaan (3) dan persamaan (4) adalah sebagai berikut :

Dari Persamaan (4) :

$$\Delta z = \frac{\Delta t}{A_{s,m}} \left( V_i A_T + \frac{A_T}{2} \Delta V - Q_m \right) \dots (5)$$

Dimana :

$$V_m = V_i + \frac{\Delta V}{2}$$

$$z_m = z_i + \frac{\Delta z}{2}$$

$$V_s = \frac{\Delta z}{\Delta t}$$

sehingga persamaan (3) menjadi :

$$\frac{L}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} + z_i \pm F_T \left( V_i + \frac{\Delta V}{2} \right) + \frac{\Delta t}{2 A_s} \left( V_i A_T + \frac{A_T}{2} \Delta V - Q_m \right) \pm \frac{F_s}{A_s^2} \left( A_T^2 \left( V_i^2 + V_i \Delta V + \frac{\Delta V^2}{4} \right) - 2 A_T \left( V_i + \frac{\Delta V}{2} \right) Q_m + Q_m^2 \right) = 0$$

Untuk,

$$F_R = F_s \left( \frac{A_T}{A_s} \right)^2 + \frac{\lambda L}{2 g D_T}$$

Maka,

$$\pm \frac{F_R}{4} \Delta V^2 + \left( \frac{L}{g \Delta t} + \frac{A_T}{4 A_{s,m}} \Delta t \pm \left( F_R V_i - \frac{F_s A_T Q_m}{A_s^2} \right) \right) \Delta V + z_i + \frac{A_T}{2 A_{s,m}} V_i \Delta t - \frac{Q_m}{2 A_{s,m}} \Delta t \pm \left( F_R V_i^2 + \frac{F_s}{A_s^2} Q_m \left( -2 V_i A_T + Q_m \right) \right) = 0 \dots (6)$$

Dapat disederhanakan menjadi bentuk :

$$a \Delta V^2 + b \Delta V + c = 0 \dots (7)$$

sehingga,

$$\Delta V = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \dots (8)$$

**PERHITUNGAN OSILASI DALAM SISTEM RESERVOIR – PIPA PESAT - TANGKI PENDATAR AKIBAT PENUTUPAN TURBIN SECARA MENDAK**

Perhitungan osilasi permukaan air yang terjadi di dalam tangki pendatar akibat turbin ditutup secara tiba-tiba dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan (8) di atas.

$\Delta V$  adalah perubahan kecepatan yang ditentukan secara eksplisit pada setiap langkah waktu  $\Delta t$ , dan perubahan z ditentukan dari persamaan (5). Besarnya debit Q dalam persamaan-persamaan di atas adalah nol dan langkah  $\Delta t$  diambil 10 detik. Perhitungan dilakukan untuk panjang pipa = 8000m, diameter pipa = 4 m dan debit 45 m<sup>3</sup>/detik.

Tabel 1 dan Gambar 2 adalah merupakan ringkasan hasil perhitungan osilasi air di dalam tangki untuk berbagai diameter tangki pendatar. Bila diameter pipa adalah  $A_T$  dan diameter tangki pendatar  $A_s$ , maka  $A = A_T/A_s$ . Dalam Tabel 1 dan Gambar 2 besarnya  $A_1 = 1, A_2 = 4, A_3 = 9, A_4 = 16$  dan  $A_5 = 25$ . Sedangkan Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan variasi

Osilasi dalam Tangki Pendatar (Surge - Tank) akibat Penutupan Turbin secara Mendadak

kecepatannya. Berturut-turut V4, V8, V12, V16 dan V20 adalah kecepatan pipa untuk perbandingan luas penampang melintang

tangki pendatar terhadap luas penampang melintang pipa 1, 4, 9, 16 dan 25.

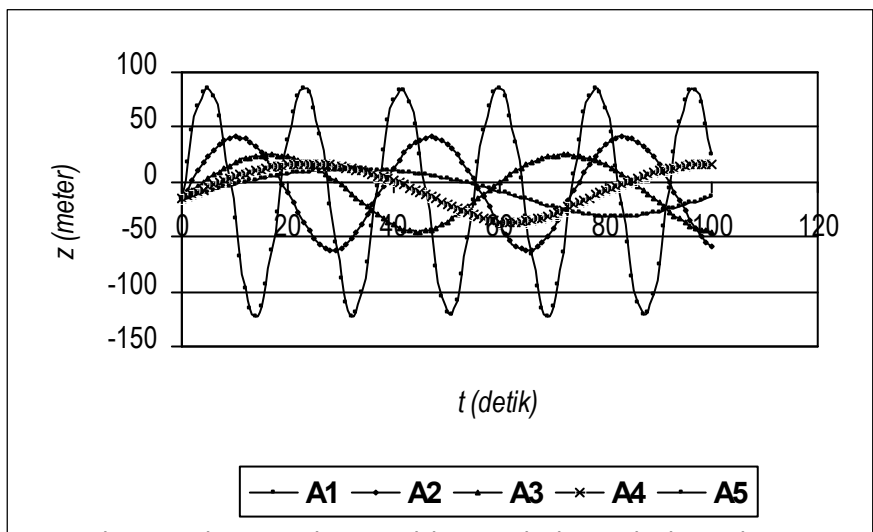
Tabel 1. Permukaan air di dalam tangki pendatar dengan berbagai diameter

t (detik)	Z (meter)				
	A1	A2	A3	A4	A5
0	-15,674	-15,674	-15,674	-15,674	-15,674
5	84,926	23,932	3,200	-4,807	-8,645
10	-32,512	40,789	17,255	4,501	-2,261
20	38,472	-10,235	22,602	15,361	7,235
30	-87,382	-60,668	-2,923	14,078	11,437
40	74,634	13,072	-39,233	0,913	9,993
45	25,024	38,625	-45,234	-9,182	7,168
50	-119,544	34,899	-36,799	-20,268	3,009
55	-16,401	3,447	-18,934	-30,281	-2,375
60	84,973	-39,707	0,333	-36,268	-8,775
65	-31,796	-62,489	15,405	-35,792	-15,811
70	-114,416	-42,549	23,462	-29,067	-22,790
75	37,903	0,339	23,402	-18,744	-28,580
80	67,506	33,419	15,231	-7,696	-31,730
85	-86,813	39,409	0,073	2,155	-31,185
90	-74,456	15,801	-19,222	9,754	-27,145
95	74,341	-26,461	-37,010	14,565	-20,877
100	25,647	-59,573	-45,252	16,336	-13,788

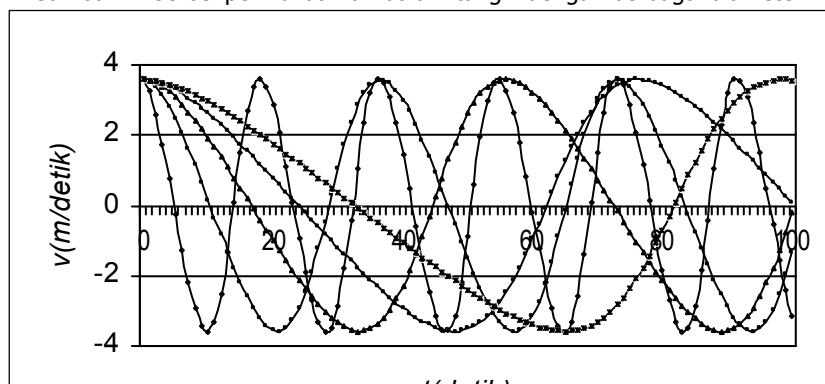
Tabel 2. Variasi kecepatan dalam pipa

T(detik)	Kecepatan V (m/detik)
----------	-----------------------

	V4	V8	V12	V16	V20
0	3,5795	3,5795	3,5795	3,5795	3,5795
5	-0,2437	2,4560	3,0717	3,2926	3,3956
10	-3,6034	0,1526	1,9202	2,6214	2,9593
15	1,5294	-2,2114	0,4911	1,7534	2,3864
20	2,8520	-3,5544	-0,9972	0,7910	1,7398
30	-2,8662	1,0531	-3,3435	-1,1955	0,3488
40	1,4573	3,0064	-2,2837	-2,9307	-1,0669
50	-0,9056	-1,5133	2,6180	-3,5175	-2,3978
55	3,5828	-3,3215	3,5638	-2,7324	-2,9689
60	-0,2207	-3,1414	3,2126	-0,9608	-3,4018
65	-3,6044	-0,1436	2,1363	1,2508	-3,5795
70	1,4996	3,0080	0,7355	2,9000	-3,3087
75	2,8672	3,3965	-0,7553	3,5527	-2,3599
80	-1,8580	1,6851	-2,1537	3,4210	-0,6981
85	-2,8850	-0,7537	-3,2234	2,8323	1,2217
90	3,1843	-2,8890	-3,5610	2,0057	2,7051
95	1,4787	-3,5071	-2,5945	1,0621	3,4443
100	-3,1207	-1,3211	-0,2098	0,0696	3,5649



Gambar 2. Osilasi permukaan air dalam tangki dengan berbagai diameter



Gambar 3. Kecepatan dalam pipa

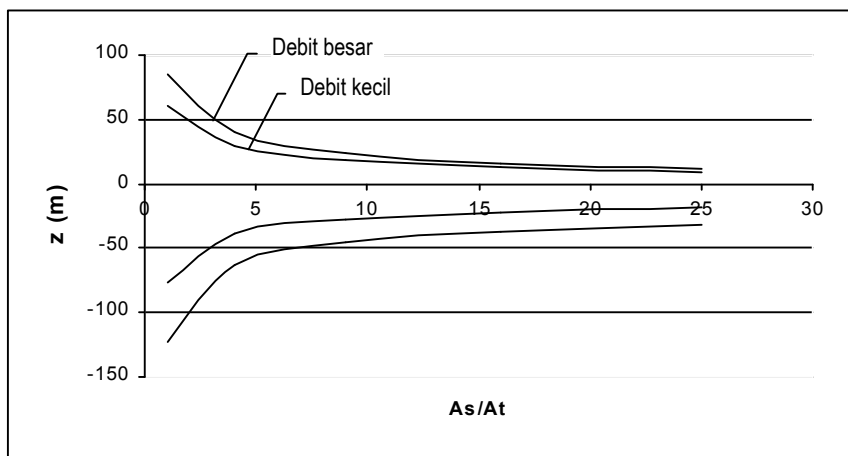
### KESIMPULAN

Perhitungan osilasi permukaan air dalam tangki pendatar menggunakan metoda beda hingga dengan mudah diselesaikan.

Untuk perbandingan luas penampang melintang tangki dengan luas penampang melintang pipa sama dengan satu sampai

lima ( $A_s/A_T = 1 - 5$ ), kemiringan kurva kenaikan permukaan air besar (Gambar 4).

Sebaliknya untuk nilai  $A_s/A_T$  lebih besar dari lima ( $A_s/A_T > 5$ ), kemiringan kurva kenaikan permukaan air sangat landai. Hal ini berarti, tinggi tangki tidak berbeda jauh walaupun diameter tangki semakin besar. Kondisi ini dapat dipakai untuk perencanaan awal dalam menentukan dimensi tangki pendatar.



Gambar 4. Grafik z terhadap  $A_s/A_T$

### DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, A, Kuwahara, S, (1991), *Teknik Tenaga Listrik*, Estacan kelima, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Bhatatacharya, P.K., (1988) *Water Power Engineering*, Khanna Publishers, Delhi.

Featherstone & C. Nalluri, (1982) *Civil Engineering Hydraulics*, Essential Theory

With Worked Examples, Granada London  
Toronto Sydney New York.

Dandekar M.M, Sharma, K.K., (1991),  
*Pembangkit Listrik Tenaga Air*, Universitas.  
Indonesia, Jakarta.

Patty, O.,F., (1995), *Tenaga Air* ,  
Erlangga, Jakarta.

Paul Tullis, J. (1989), *Hydraulics of  
Pipelines*, John Wiley & Son, New York.

Pickford, John (1969), *Analysis of Surge*,  
Macmillan and Co LTD.