

Fenomena Osilasi dalam Tangki Pendatar Akibat Perubahan Kecepatan Aliran menggunakan Pendekatan Model Fisik Skala Laboratorium

Imam Suprayogi, Bochari, Joleha, dan Amril

Laboratorium Mekanika Fluida dan Plumbing Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Panam, Pekanbaru 28293
E-mail: drisuprayogi@yahoo.com

Abstract

Scientists have conducted many research and developed models of oscillation phenomenon in Surge Tank. Most of developed models for oscillation of phenomenon in surge tank were physical or mathematical. The method that used this research was a physical modeling laboratory of scale approach using surge tank and water hammer apparatus was built by Armfield. Inc United Kingdom. The main purpose of research observation of water level maximum in surge tank should be compared with theoretical values due to various flow velocity respectively 0.98 m/s, 1.404 m/s and 2.09 m/s. The main of research proved that the result of the model that use physical modeling laboratory of scale approach and analytic method were very difference for water level maximum (y_{maximum}) in surge tank.

Keywords: *Physical model laboratory of scale, Surge tank, The phenomena of oscillation, Water level maximum*

1. Pendahuluan

Aliran tidak tunak (*unsteady flow*) pada pipa merupakan persoalan yang penting dalam praktek rekayasa (*engineering practice*) karena aliran tunak menimbulkan persoalan-persoalan kelebihan tekanan (*excessive pressures*), getaran, kavitasi dan suara-suara bising yang jauh dari jangkauan analisis aliran tunak (Kodoatie, 2002).

Masih dikatakan Kodoatie (2002) pada dasarnya analisis *unsteady flow* pada pipa dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu elastisitas atau *water hammer theory* dan *surge* atau *rigid water column theory*. Teori *water hammer* berdasarkan asumsi bahwa elastisitas dari fluida dan dinding pipa harus diperhitungkan dalam analisis. Gelombang tekanan terbentuk oleh perubahan kecepatan karena sifat elastis dan berkembang ke seluruh sistem pipa. Teori ini lebih mencerminkan keakuratan dari sifat-sifat sistem aliran tidak tunak. Sedangkan teori *surge* didasarkan atas asumsi bahwa fluida adalah tidak elastis (*complete incompressible*) dan mengalir melalui pipa sangat kaku. Kondisi ini menyebabkan tidak akan terjadi *water hammer*, namun tetap akan ada perubahan tekanan untuk mengubah laju aliran air. Asumsi ini akan valid bilamana gerakan katup penutup lambat dan pipa sangat pendek. Hal ini akan mengakibatkan tekanan berubah seketika di seluruh sistem yang ada.

Menurut Dandekar dkk (1991) bahwa dalam perencanaan pipa pembawa air dari suatu reservoir ke

turbin pada pembangkit listrik air harus dipertimbangkan terhadap kondisi-kondisi khusus, terutama apabila sistem pipa pembawa air panjang. Dikatakan Tulis (1989) banyak penyebab yang dapat menimbulkan aliran dalam pipa menjadi aliran transien antara lain perubahan pada bukaan katup, pengoperasian dan pemberhentian operasi pompa, operasi fasilitas-fasilitas dalam sistem pipa seperti katup periksa, katup pembuang udara, katup pengurangan tekanan, pecahnya pipa dan perubahan kebutuhan beban dalam turbin hidrolik.

Menurut Patty (1991); Sangkawati (2005) bahwa pusat pembangkit listrik harus selalu disesuaikan dengan pemakaian listrik oleh konsumen. Oleh karenanya apabila terjadi keadaan dimana 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.

Menurut Suryadi (1996) bahwa di dunia teknik sipil model yang lazim dipergunakan sebagai alat bantu analisa adalah model fisik dan model matematik. Dikatakan Legowo (1998), pada model fisik, peniruan geometri dan fenomena fisik obyek yang akan dimodelkan dilakukan

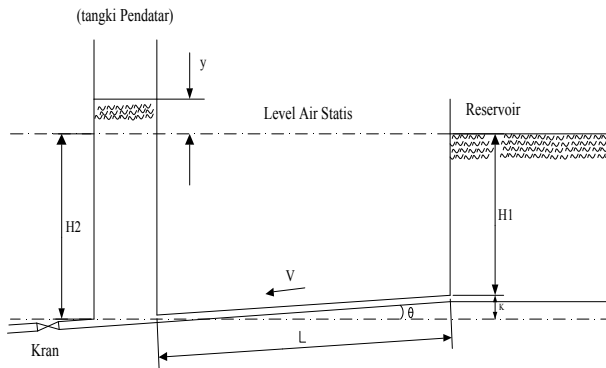
dengan cara membuat miniatur atau pengecilan ukuran menggunakan skala tertentu bagi fenomena yang akan diamati atau berpengaruh dominan pada proses yang diamati. Hasil pengamatan dan pengukuran pada model ini kemudian diterjemahkan untuk memperoleh gambaran mengenai besaran-besaran yang sesungguhnya terjadi atau akan terjadi pada prototip.

Masih dikatakan Legowo (1998), dalam model uji hidrolis, keunggulan model fisik dapat memberikan informasi lebih rinci pada titik-titik pusat perhatian pada pandangan tiga dimensi, disamping itu model fisik dapat mempresentasikan fenomena-fenomena yang belum pasti diketahui perumusannya. Dengan memanfaatkan keunggulan spesifik dari model fisik tersebut di atas, maka pada penelitian ini menitikberatkan fenomena osilasi akibat tangki pendatar (*surge tank*) menggunakan pendekatan model fisik skala laboratorium yang hasilnya akan dibandingkan dengan metode analitik.

Dasar Teori Osilasi dalam Tangki Pendatar Sederhana

Analisa Friksi dari Tangki Pendatar Sederhana

Prinsip dasar dari tangki pendatar dijelaskan pada Gambar 1 seperti di bawah ini :



Sumber: Anonim (2006) dalam Instructional Manual Pipe Surge and Water Hammer Apparatus. USA : Armfield Inc.

Gambar 1. Tangki Pendatar Sederhana

Dengan a adalah penampang melintang dari pipa dalam m^2 , A adalah penampang melintang dari tangki pendatar dalam m^2 , u adalah kecepatan pipa dalam m/dt , y adalah posisi tangki pendatar di atas posisi reservoir dalam m , q adalah debit melalui kran air m^3/dt dan $\frac{dy}{dt}$ adalah posisi tangki pendatar (naik atau turun terhadap kecepatan) dalam m .

Penerapan Hukum Newton Kedua untuk pergerakan air adalah hasil perkalian antara massa dan percepatan akan sama dengan gaya akibat perbedaan tekanan ditambah komponen dari berat air dikurangi gaya akibat gesekan dari pipa.

$$\rho.a.L.\frac{du}{dt} = \rho.a.g.H_1 - \rho.a.g.(H_2 + y) + \rho.a.g.L.\sin\theta - \rho.a.g.h_f$$

Jika θ adalah kecil kemudian $L.\sin\theta \approx K$ dan

$$H_2 = H_1 + K, \text{ maka}$$

$$\frac{L}{g}.\frac{du}{dt} + y + h_f = 0$$

Dengan h_f adalah kehilangan tinggi dari pipa.

Untuk kontinyu aliran dalam pipa adalah penjumlahan antara aliran dari tangki pendatar ditambah aliran yang melalui kran.

$$a.v = A.\frac{dy}{dt} + q$$

$$(1)$$

$$\text{atau } v = \frac{A}{a}.\frac{dy}{dt} + \frac{q}{a} \quad (2)$$

Substitusikan untuk u dari persamaan (2) ke persamaan (1)

$$\frac{L}{g}.\frac{d}{dt} \left[\frac{A}{a}.\frac{dy}{dt} + \frac{q}{a} \right] + y + h_f = 0 \quad (3)$$

Rumus secara umum dapat di tulis

$$h_f = f(v^u) \text{ dan } q = f(t) \text{ atau } q = f(y)$$

Penyederhanaan dilakukan jika nilai $q = 0$ (aliran melalui pipa adalah nol) dan jika kehilangan gesek diabaikan $f_f = 0$ maka perumusan pada persamaan (3) akan menjadi :

$$\frac{L}{g}.\frac{A}{a}.\frac{d^2y}{dt^2} + y = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{g.a}{LA}.\omega^2 = 0$$

$$\text{dimana } \omega = \sqrt{\frac{g.a}{LA}} \text{ dan periode osilasi } T_o = 2\pi\sqrt{\frac{LA}{ga}}$$

Untuk mendapatkan amplitudo maksimum y didapat dari $u = y \cdot \omega$ dimana u adalah orbital kecepatan dengan kasus $u = \frac{au_0}{A}$ dimana u_0 adalah kecepatan pipa kondisi tunak.

$$y = \frac{u}{\omega} = \frac{au_0}{A \frac{ga}{LA}}$$

Menurut Anonim (2006) maka maksimum amplitudo

$$y = u_0 \sqrt{\frac{LA}{ga}}$$

2. Bahan dan Metode

Metode penelitian disusun berdasarkan latar belakang penelitian, identifikasi masalah, perumusan masalah serta tujuan utama dari penelitian.

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Plumbing Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Waktu penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 – 20 Juli 2012.

2.2. Alat – Alat Penunjang Kegiatan

Alat penelitian menggunakan alat pipa pendatar dan palu air (*pipe surge and wáter hammer apparatus*) buatan Armfield Inc, Amerika Tahun 2006. Alat tersebut disajikan pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2 . Alat pipa pendatar (*Surge Tank Apparatus*)

Dengan a adalah penampang melintang dari pipa seluas $0.3204 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, A adalah penampang melintang dari tangki pendatar seluas $1.521 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ dan L adalah panjang dari pipa dengan panjang 3.0 m (Anonim, 2006). Perlengkapan alat pendukung yang lain adalah *stop watch* untuk menetapkan waktu untuk berbagai volume air di *volumetric tank*.

2.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk kebutuhan penelitian yang berjudul Fenomena Osilasi Dalam Tangki Pendatar (*Surge Tank*) Menggunakan Pendekatan Model Fisik Skala Laboratorium adalah data primer pengukuran tinggi air dalam tangki pendatar (*surge tank*) di atas statik (*reservoir*) (y) dalam mm sebagai fungsi waktu t (dt).

3. Hasil dan Pembahasan

Bersumber dari hasil penelitian di laboratorium menggunakan alat pipa pendatar (*pipe surge apparatus*) dapat disajikan seperti pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Hasil pengukuran waktu rata-rata (t) untuk kondisi volume air konstan menggunakan alat bantu *hydraulic bench*

No.	Volume Air (lt)	Waktu t_1 (menit)	Waktu t_2 (menit)	Waktu t_3 (menit)	Waktu rata-rata (menit)
1	20	1.08	1.09	1.14	1.10
2	20	0.72	0.75	0.76	0.74
3	20	0.50	0.50	0.50	0.50

Sumber : Hasil Pengukuran di Laboratorium

Masih bersumber dari Tabel 1, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara menghitung kecepatan aliran dalam pipa yang terjadi dengan menggunakan rumus yang disajikan seperti di bawah ini:

$$q = \frac{V}{t} \text{ maka } u = \frac{q}{a} = \frac{t}{a} = \frac{V}{a.t}$$

Dengan Q adalah laju debit dalam m^3/dt , V adalah volume air dalam tangki volumetrik selama periode waktu t dalam lt dan t adalah periode waktu dalam dt dan a adalah penampang melintang dari pipa dalam m^2 yang nilainya a adalah sebesar $0.3204 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Hasil perhitungan selengkapnya nilai kecepatan aliran pada pipa untuk kondisi nilai debit air konstan sebesar 20 liter disajikan seperti pada Tabel 2 dan Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada pipa untuk berbagai variasi perubahan waktu rerata pada kondisi debit air konstan

No.	Volume Air (m^3)	Waktu (dt)	Laju debit (m^3/dt)	Kecepatan Aliran (menit)
1	0.00020	70	0.0003	0.964
2	0.00020	44.64	0.0045	1.404
3	0.00020	0.50	0.50	2.09

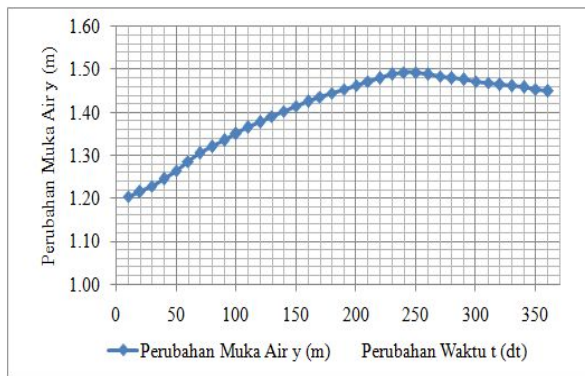
Sumber : Hasil Pengukuran di Laboratorium



Gambar 3. Pembacaan perubahan muka air sebagai fungsi waktu di *surge shaft* untuk berbagai variasi kecepatan aliran

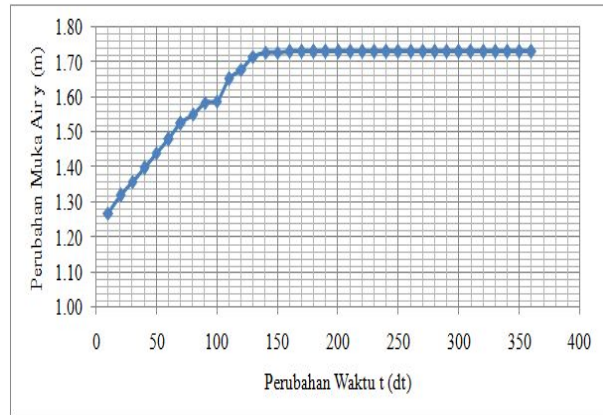
3.1. Penetapan Ketinggian Muka Air Maksimum pada Surge Tank Menggunakan Alat Bantu Pipa Pendatar

Masih bersumber dari Tabel 2 di atas, hasil perhitungan variasi kecepatan aliran pada pipa pendatar sebagai fungsi perubahan waktu rerata untuk kondisi volume air konstan menghasilkan nilai kecepatan aliran $u_1 : 0.904 \text{ m/dt}$, $u_2 : 1.404 \text{ m/dt}$ dan $u_3 : 2.09 \text{ m/dt}$. Pola hubungan antara ketinggian muka air dalam *surge shaft* (y) sebagai fungsi waktu hasil selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



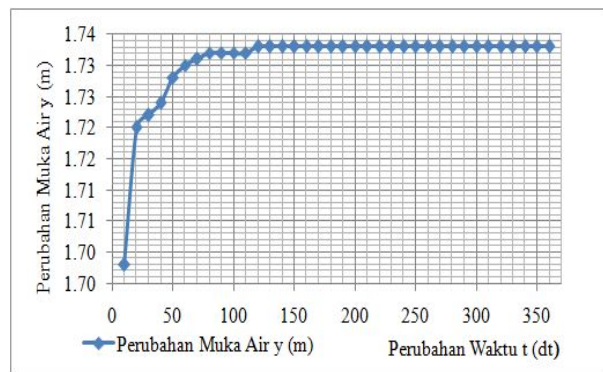
Sumber : Hasil Pengamatan di Laboratorium

Gambar 4. Grafik pola hubungan antara perubahan muka air terhadap perubahan waktu di *surge shaft* untuk kecepatan aliran dalam pipa sebesar 0.964 m/dt



Sumber : Hasil Pengamatan di Laboratorium

Gambar 5. Grafik pola hubungan antara perubahan muka air terhadap perubahan waktu di *surge shaft* untuk kecepatan aliran dalam pipa sebesar 1.404 m/dt



Sumber : Hasil Pengamatan di Laboratorium

Gambar 6. Grafik pola hubungan antara perubahan muka air terhadap perubahan waktu di *surge shaft* untuk kecepatan aliran dalam pipa sebesar 2.098 m/dt

Intepretasi hasil pengamatan grafik pola hubungan antara perubahan muka air terhadap perubahan waktu menggunakan pendekatan model fisik skala laboratorium yang disajikan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6, dengan memberikan perlakuan pengamatan di setiap kenaikan 10 detik untuk rentang waktu 60 detik pada *Surge Shaft* untuk berbagai variasi kecepatan aliran dalam pipa sebesar 0.904 m/dt , 1.404 m/dt dan 2.09 m/dt hasil menunjukkan bahwa tinggi muka air maksimum (y_{maks}) berturut – turut adalah 1.494 m , 1.73 m dan 1.735 m .

Masih bersumber intepretasi hasil pengamatan grafik pola hubungan antara perubahan muka air terhadap perubahan waktu menggunakan pendekatan model fisik skala laboratorium yang disajikan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 di atas, dengan memberikan perlakuan pengamatan di setiap kenaikan 10 detik untuk rentang waktu 60 detik pada *Surge Shaft* untuk berbagai variasi kecepatan aliran dalam pipa sebesar 0.904 m/dt , 1.404 m/dt

dan 2.09 m/dt waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncak tinggi muka air maksimum (y_{maks}) berturut – turut adalah 240 dt, 140 dt dan 120 dt.

3.2. Pencocokan Hasil Analisa Kajian antara Metode Analitik dengan Program Bantu Model Fisik Skala Laboratorium

Bersumber dari rumus empiris yang didiskripsikan pada persamaan 4 tersebut di atas, maka dapat dilakukan analisa tinggi muka air maksimum pada tangki pendatar (*Surge Tank*) dengan data – data pendukung adalah penampang melintang dari pipa (a) seluas $0.3204 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, penampang melintang dari tangki pendatar (A) seluas $1.521 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, panjang dari pipa dengan panjang (L) adalah 3.0 m, Gaya gravitasi bumi (g) sebesar 9.8 m/dt^2 dan kecepatan aliran (u) berturut – turut $u_1 : 0.904 \text{ m/dt}$, $u_2 : 1.404 \text{ m/dt}$ dan $u_3 : 2.09 \text{ m/dt}$.

Adapun langkah selanjutnya dilakukan perhitungan tinggi muka air maksimum pada tangki pendatar untuk variasi kecepatan aliran $u_1 : 0.904 \text{ m/dt}$, $u_2 : 1.404 \text{ m/dt}$ dan $u_3 : 2.09 \text{ m/dt}$ menggunakan pendekatan analitik yang hasil selengkapnya disajikan seperti di bawah ini :

Tinggi muka air maksimum pada tangki pendatar untuk kecepatan aliran 0.904 m/dt.

$$y_{maks1} = u_1 \sqrt{\frac{LA}{ga}} = 0.904 \sqrt{\frac{3.(0.001521)}{9.8.(0.0003284)}}$$

$$y_{maks1} = u_1 \sqrt{\frac{LA}{ga}} = 1.2 \text{ m}$$

Tinggi Muka Air Maksimum pada tangki pendatar untuk kecepatan aliran 1.404 m/dt

$$y_{maks2} = u_2 \sqrt{\frac{LA}{ga}} = 1.404 \sqrt{\frac{3.(0.001521)}{9.8.(0.0003284)}}$$

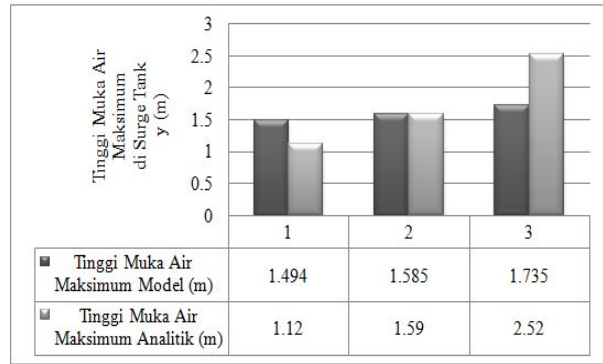
$$y_{maks2} = u_2 \sqrt{\frac{LA}{ga}} = 1.59 \text{ m}$$

Tinggi Muka Air Maksimum pada tangki pendatar untuk kecepatan aliran 2.09 m/dt

$$y_{maks3} = u_3 \sqrt{\frac{LA}{ga}} = 2.09 \sqrt{\frac{3.(0.001521)}{9.8.(0.0003284)}}$$

$$y_{maks3} = u_3 \sqrt{\frac{LA}{ga}} = 2.52 \text{ m}$$

Setelah didapat nilai tinggi muka air maksimum pada tangki pendatar (*Surge Tank*) y_{maks1} , y_{maks2} dan y_{maks3} berturut-turut 1.20 m, 1.59 m dan 2.52 m selanjutnya dilakukan studi komparasi dengan hasil pengamatan menggunakan pendekatan model fisik skala laboratorium yang hasil selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Hasil perbandingan perhitungan muka air maksimum pada *surge tank* untuk berbagai variasi perubahan waktu rerata pada kondisi volume air konstan menggunakan metode analitik dan model fisik skala laboratorium

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang kajian Fenomena Osilasi dalam Tangki Pendatar (*Surge Tank*) Akibat Perubahan Variasi Kecepatan Aliran Menggunakan Pendekatan Model Fisik Skala Laboratorium menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tinggi muka air maksimum untuk berbagai variasi kecepatan aliran untuk volume air konstan menggunakan pendekatan model fisik skala laboratorium maka akan diperoleh nilai y_{maks1} , y_{maks2} dan y_{maks3} berturut-turut adalah 1.494 m, 1.73 m dan 1.735 m sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi muka air maksimum (y_{maks}) berturut – turut adalah 240 dt, 140 dt dan 120 dt.
2. Hasil analisa tinggi muka air maksimum untuk menggunakan pendekatan analitik untuk berbagai variasi kecepatan aliran untuk volume air konstan maka akan diperoleh nilai y_{maks1} , y_{maks2} dan y_{maks3} berturut-turut adalah 1.20 m, 1.59 m dan 2.52 m.
3. Hasil pencocokan tinggi muka air maksimum pada tangki pendatar antara model fisik skala laboratorium dan metode analitik untuk berbagai variasi kecepatan aliran untuk volume air konstan maka diperoleh nilai perbedaan tinggi muka air maksimum berturut-turut y_{maks1} , y_{maks2} dan y_{maks3} yang cukup signifikan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Riau yang telah berkenan memberi bantuan dana penelitian dan tak lupa kepada Ketua Laboratorium Mekanika Fluida dan Plumbing Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau yang telah berkenan memberi ijin penggunaan *Surge Tank and Water Hammer Apparatus* untuk keperluan pengambilan data primer.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2006. Instructional Mannual Pipe Surge and Water Hammer Apparatus. USA : Armfield Inc.
- Dandekar, M.M dan Sharma, K.K. 1991. Pembangkit Listrik Tenaga Air. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Kodoatie. R. 2003. Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa. Jogyakarta : Penerbit ANDI.
- Patty. O. P. 1994. Tenaga Air. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Sangkawati, S. 2005. Osilasi Dalam Tangki Pendatar (Surge Tank) Akibat Penutupan Turbin Secara Mendadak. Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil Volume 13, Nomor 2, Edisi XXXII Juni 2005, Semarang.
- Suryadi. 1986. Pengenalan Analisa Dengan Model Matematik Pada Masalah Air. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan No.2 Tahun,1-KW.II.
- Tulis, P.J. 1989. Hydraulics of Pipeline, New York John Wiley & Son.
- Legowo, S.1998. Pengkajian Pendangkalan Muara Sungai Di Pantai Utara Pulau Jawa Barat dan Rekayasa Pemecahannya. Bandung : Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu (RUT III/3) Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung (ITB).