

PENGARUH LAJU ALIRAN MASSA TERHADAP DAYA TURBIN AIR FRANCIS PADA SUB UNIT PLTA JELOK SEMARANG

Erry Thriana Sasongko, Khairul Muhajir, I.G. Gde Badrawada, Anton

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak No. 28 Balapan Yogyakarta 55222

ABSTRACT

The aim of this research is to know the influence of mass flow rate to power water turbine in sub unit PLTA Jelok Semarang.

The power of turbine to effect mass of flow rate and height, but this analyze only mass of flow rate factor always variable in every time. This analyze take a data of water flow rate during three months, December 2006 until Februari 2007 and after that doing calculation on turbine power to looking for the effect.

This analyze have a conclusion that turbine power decrease at the moment mass of flow rate to decrease at 4370 kg/s and output power at 5.323 MW in Januari 2007, on the other hand turbine power go up while mass of flow rate to be involved in go up with the highest point mass of flow rate at 10330 kg/s while output power at 12.218 MW in Februari 2007.

Key words : *Mass Of Flow Rate, Francis Turbine, Power Turbine.*

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa terhadap daya turbin air francis pada sub unit PLTA Jelok, Semarang

Daya turbin sangat dipengaruhi oleh faktor laju aliran massa dan tinggi tekan, tetapi analisa ini yang ditekankan adalah faktor laju aliran massa yang selalu berubah-ubah setiap waktu. Analisa ini mengambil data debit air selama 3 bulan dari desember 2006 sampai Februari 2007 dan setelah itu dilakukan penghitungan daya turbin untuk melihat pengaruhnya.

Pada analisa didapatkan daya turbin cenderung lebih kecil pada saat laju aliran massa mengalami penurunan dengan laju aliran massa terkecil dengan nilai 4370 kg/det dan daya output terkecil 5.323 MW pada bulan januari 2007 begitu pula sebaliknya daya turbin cenderung besar ketika laju aliran massa mengalami kenaikan dengan nilai laju aliran massa terbesar 10330 kg/det dan nilai daya output 12.218 MW pada bulan februari 2007.

Kata kunci : *Laju Aliran Massa, Daya Turbin, Turbin Francis*

PENDAHULUAN

Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Pada waktu air masuk ke roda jalan, sebagaimana dari energi tinggi jatuh telah bekerja didalam sudu pengarah diubah sebagai kecepatan arus masuk. Sisa energi tinggi jatuh dimanfaatkan/atau bekerja di sudu jalan, dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja disudu jalan dengan semaksimal mungkin. Pada sisi sebelah keluar roda jalan terdapat tekanan kerendahan (kurang dari 1 atm) dan kecepatan aliran air yang tinggi. Di dalam pipa isap kecepatan aliran akan berkurang dan tekanannya akan kembali naik, sehingga air akan dialirkan keluar lewat saluran air bawah dengan tekanan seperti tekanan keadaan semula.

Jalannya kecepatan dan tekanan air ketika melewati dan berproses di dalam turbin. Pipa isap pada turbin ini mempunyai tugas yang mirip dengan sudu hantar yang terdapat pada pompa sentrifugal, yaitu sama-sama mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan. Pada dasarnya turbin francis adalah turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam didalam air. Air yang masuk kedalam turbin bisa dialirkan melalui pengisian air dari atas atau melalui suatu rumah yang berbentuk spiral. Roda jalan semuanya selalu bekerja. Daya yang dihasilkan turbin bisa diatur dengan cara mengubah posisi pembukaan sudu pengarah dengan demikian kapasitas air yang masuk kedalam roda turbin bisa diperbesar atau diperkecil.

Tipe Turbin Francis

A. Tipe Tertutup

Pada tipe ini air masuk ke turbin melalui penstock yang menghubungkan ke rumah spiral dari

turbin. Spiral casing ini mengarahkan air secara sama ke sudu jalan, air lalu masuk ke penggerak dan akhirnya jatuh ke hilir melalui tube sementara. Turbin tipe tertutup terdiri dari dua tipe, horizontal dan vertikal. Tipe horizontal digunakan untuk head yang tinggi dan tipe vertikal untuk head yang rendah.

B. Tipe Flume Terbuka

Turbin francis flume terbuka ini sebuah bak menggantikan spiral casing. Turbin ini digunakan untuk head 5 sampai 10 m di banyak turbin aliran aksial sangat cepat menggantikan turbin dari tipe ini. Turbin ini bagaimanapun juga masih digunakan yang mana dari air kecil dan head tinggi. Turbin ini dikelilingi oleh air. Sudu pengarah diatur oleh sebuah kontrol mekanik yang juga berada di air. Seperti head yang rendah tekanan di pengungkit dan sudu juga rendah. Kecenderungannya adalah peralatan tentang/terhadap turbin dengan regulator mekanik luar. Dalam hal ini poros dari turbin horizontal membawa melalui kelenjar di dinding bak sudu pengarah, penggerak dan lain-lain yang terendam dalam air adalah satu sisi dari dinding di sisi yang lain bantalan dan generator elektrik. Bantalan tidak berada dalam air ini mudah dimasuki air. Turbin flume terbuka tipe vertikal terendam air melalui sebuah poros vertikal dan bantalan yang pasti di dinding membawa muatan penuh. Generator biasanya terhubung secara horizontal melalui gear itu harus jalan saat kecepatan tinggi dari turbin.

Daerah Kerja Turbin Francis

Jenis konstruksi turbin ini pertama kali dilaksanakan sekitar tahun 1950 oleh orang Amerika yang bernama Howk dan francis. Sekarang turbin francis adalah yang paling banyak dipakai karena tinggi air jatuh dan kapasitasnya yang paling sering terdapat/atau sesuai dengan kebutuhannya. Dari hasil penggunaan dan penelitian yang terus menerus untuk pengembangan selanjutnya turbin francis sekarang sudah bisa digunakan untuk tinggi air jatuh sampai 700 m dengan kapasitas air dan kecepatan putar yang sudah memenuhi harapan. Turbin air francis dianggap sudah bisa dibuat dengan kecepatan air yang sama tingginya dimana kecepatan putar yang tinggi tersebut menghasilkan keuntungan terhadap berat dan harga turbin dan generatornya. Tidak ada kerugian tinggi air jatuh akibat adanya ruang bebas. Penempatan turbin francis didalam bangunan di bawah tanah adalah mungkin yang baik dan menguntungkan untuk turbin ini adalah bila tinggi permukaan air bawah sangat berubah-ubah. Tempat yang dibutuhkan untuk turbin francis adalah lebih kecil dan malah ada pusat tenaga listrik yang kecil memakai turbin ini. Rendemen turbin ini untuk beban penuh adalah baik tetapi akan memburuk bila bebannya tidak penuh.

Profil konstruksi Turbin Air

Turbin-turbin francis adalah jenis turbin yang paling banyak berubah-ubah yang dipakai saat ini. Desain inisial dari penggerak-penggerak lambat ($N=60$) adalah untuk aliran radial. Turbin francis bekerja dengan aliran air yang bertekanan. Jadi untuk turbin-turbin francis itu selalu mengalir penuh pada penggerak yang sama dengan selubung penuh dengan air. Penggerak dari turbin terdiri dari sebuah nomor dari pisau-pisau melengkung yang di las benar-benar pada dua shroud. Deretan pisau-pisau bervariasi dari 12 sampai 22 tergantung kepada kecepatan spesifik (nomor untuk kecepatan-kapacitan spesifik di atas 300) Pada semua yang terkumpul dari turbin francis di nyatakan dalam gambar. Air dari pipa pesat masuk kedalam selubung spiral dibawah tekanan dan mengalir melalui pintu-pintu kecil masuk kedalam penggerak. Setelah mengalir meninggalkan penggerak, air melalui sebuah tube yang terkenal sebagai tube sementara dan saluran buang. Tube sementara merupakan aliran hydraulically a closed conduit. Tube sementara merupakan a flaring tube lurus atau tipe busur dan hanya penting untuk reaksi (misalnya tekanan turbin). Tujuan dari turbin sementara adalah untuk mengetahui kecepatan dari tinggi aliran air yang keluar dari penggerak, juga untuk mengusahakan penggerak mempunyai tingkat aliran hilir tanpa mengorbankan tinggi air yang bersangkutan.

Pintu-pintu kecil diletakkan sepanjang bagian pinggir penggerak. Mereka diletakkan dalam pivot-pivot dan dapat berputar sekeliling mereka. Perputaran dari pintu-pintu kecil adalah diatur secara kontrol dan perubahan ukuran dari pembukaan pintu pemasukan turbin melalui pintu dimana turbin dapat mengalir dan mengawasi kecepatan mengalir yang berlebihan.

Kecepatan Liar

Ada kemungkinan bahwa pada waktu turbin bekerja karena sesuatu dan lain hal bebannya terpaksa dihentikan dengan tiba-tiba. Dalam hal ini ada gejala bahwa roda turbin akan berputar dengan sangat cepatnya yaitu apabila karena suatu hal *governor* tidak dapat bekerja dengan baik atau dalam keadaan rusak. Kecepatan ini dinamakan kecepatan liar. Oleh karena kekuatan turbin harus diperhitungkan terhadap kecepatan liarnya untuk mencegah kerusakan turbin atau generator.

Bagian-Bagian Utama Turbin

1. Scroll Casing / Spiral Casing (Rumah Siput)

Bagian ini terbuat dari pipa baja yang mengelilingi *runner blade*, semakin ujung semakin mengecil sehingga berbentuk rumah siput. Hal ini bertujuan agar air yang mengalir turbin dapat merata dan untuk menghindari kehilangan efisiensi. Bagian ini pangkal *spiral case* dihubungkan dengan

expansion join. Sambungan ini memberikan kelonggaran pada *spiral case* menuju penstock untuk memungkinkan bila terjadi pemuaian pipa ke arah aksial, pada bagian dalam pintu air dinamakan guide vane. Posisi dari *inlet spiral casing* tergantung pada saluran langsung air dari penstock yang kemungkinan akan merubah keserasian penempatan. Bahan *scroll casing* tergantung pada ketinggian air jatuh diantaranya :

1. *Concrete* tanpa *steel plate lining* untuk ketinggian sampai 300 m
2. *Welded rolled steel plate* untuk ketinggian air sampai 100 m
3. *Cast steel* untuk ketinggian air diatas 100 m.

2. Sudu pengarah (guide vane)

Sudu pengarah merupakan bagian dari turbin air yang berfungsi sebagai pintu masuk air dari spiral casing menuju runner blade selain itu guide vane juga berfungsi sebagai distributor agar air dikelilingi runner mempunyai debit yang sama rata, rata sebagai pengamanan turbin pada saat terjadi gangguan. Gerakan turbin diatur oleh suatu mekanisme peralatan dalam *governor cabinet*, gerakan buka tutup guide vane terjadi secara hidrolik dengan menggunakan servo meter. Fungsi kedua penting dari pintu-pintu kacil untuk melangsungkan air ke panggerak pada sudut yang dikehendaki.

Selubung spiral juga terkenal sebagai selubung *scroll* membawa air dari batang pipa ke turbin. Hal ini sangat penting *a winding duct* dari berbagai ukuran dengan bukaan pada sisi penggerak melalui mana air dapat mengalir ke penggerak. Untuk ketinggian sangat rendah misalnya 6-8m, selubung dapat *dispensed with* dan penggerak dapat diusahakan terbenam di flume terbuka. Ini merupakan sebuah perencanaan mutlak saat ini sampai untuk tinggi rendahnya turbin-turbin tubular yang disediakan. Untuk ketinggian 40 m >, selubung *scroll* dapat berbentuk bulat atau dari bentuk bagian T beton. Diluar batas ini, las atau selubung *cast* baja bulat *scroll*, digunakan.

Pada turbin air mengalir melalui penggerak, dimana penggerak itu sendiri berputar dengan kecepatan tertentu. Dalam usaha untuk mengetahui dengan pasti hubungan antara kecepatan-kecepatan tersebut harus dibuktikan sangat berguna bagi pemakaian. Ini semua disebut sebagai segitiga kecepatan.

Untuk V_1 dan V_2 : kecepatan mutlak air pada pemasukan dan pengeluaran pada penggerak. Dan U_1 dan U_2 : Kecepatan penggerak pada titik 1 dan 2 berturut-turut.

Sehubungan dengan dasar mekanik dari gerakan relatif maka dapat diketahui bahwa V_{r1} dan V_{r2} dapat ditulis dari V_1, u_1 dan V_2, u_2 berturut-turut dalam hal ini

$$\overline{V_{r1}} \quad \overline{V_1} = \overline{U_1}$$

Dengan : V_{r1} = Kecepatan relatif dari air pada titik pemasukan (m/s)

V_1 = Kecepatan mutlak air pada pemasukan (m/s)

V_{r2} = Kecepatan relatif dari air pada titik keluaran (m/s)

V_2 = Kecepatan mutlak air pada keluaran (m/s)

U_2 = Kecepatan penggerak pada titik keluaran (m/s)

Persamaan diatas dapat dinyatakan dalam peristilahan dari segitiga kecepatan hubungan tiga kecepatan pada pemasukan dan pada pengeluaran. Dan segitiga kecepatan ini hubungan antara berbagai kecepatan dapat dipastikan untuk mudahnya komponen-komponen dari V_1 dan V_2 dalam arah perputaran (tangensial) dan dalam arah radial biasanya terlihat pada segi-segi kecepatan

Komponen-komponen V_{u1} dan V_{u2} disebut sebagai kecepatan putaran dan V_{m1} dan V_{m2} disaebut sebagai kecepatan meridional atau kecepatan aliran. Hal itu dapat diperhatikan bahwa untuk turbin lambat $\beta < 90^\circ$ keduanya baik untuk penggerak francis. $V_{u2} = 0$ dan $V_2 = V_{m2}$ juga $V_{m1} = V_{m2}$ sebagai desain praktis.

Di dalam selubung scroll, diletakkan cincin kecepatan yang menyalurkan beban penggerak ke fondasi turbin. Cincin cepat umumnya terdiri dari 2 cincin lingkaran atas dan bawah disambung tegak oleh kolom-kolom kecil dikenal sebagai stay vanes. Air dari selubung gulungan mengalir terus ke baling-baling pengatur melalui bagian luar cincin-cincin kecepatan. Baling-balingnya berfungsi laju-lajur penahan beban begitu pula mengenai air yang di alirkan ke baling-baling pengatur.

3. Sudu gerak (guide vane)

Bagian ini disebut juga bilah rotor atau sudu gerak pada *runner blade* energi kinetik air yang dikenakan padanya diubah menjadi energi mekanik (rotor).

4. Poros utama

Terbuat dari dua bagian utama yaitu bagian atas *generator shaft* dan bagian bawah *turbin shaft* yang dikopling dengan kopling tetap (mur dan baut). Pada bagian bawah berlapis yaitu inner shaft sehingga berfungsi sebagai penggerak *runner blade* dan *main shaft*. Gap yang berfungsi membantu *gland packing* ketika lapisan tersebut berisi oli bertekanan tinggi yang disuplai dari *oil pressure* yang pengaturannya melalui *governor*.

5. Bantalan Utama

Bagian turbin yang berfungsi sebagai bantalan dari main shaft yang menahan goncangan bila turbin sedang beroperasi antara bagian bergerak dan kedua ujungnya dilindungi oleh labirin seal liner, untuk pelumasan *main guide bearing* dilakukan secara kontinyu selama turbin beroperasi dengan menggunakan *grase pump guide bearing*.

6. Shaft Seal

Permukaan *seal* terbuat dari logam babit perencananya tergantung pada kecepatan dan ukuran *radial clearance* 0.2-0.4 antara permukaan *seal* dan *sleeve* terbuat dari bahan anti korosi dan cocok dengan *shaft*. Dengan pompa khusus *clearance* pada *seal box* akan bekerja ketika tidak terdapat air pada saat turbin bekerja. Ini dikarenakan *seal box* dirancang agar antara *babit labirin* dan *shaft sleeve* tidak bersentuhan. *Labirin seal* sangat cocok untuk dioperasikan pada air yang mengandung pasir

7. Tube Sementara

Tube sementara berbentuk konikal dengan sebuah bagian lingkaran atau tube-tube bentuk sudu dengan pelebaran secara berangsur-angsur bentuk berubah pada bagian pemutar kebentuk empat persegi panjang pada bagian pengeluaran tube-tube sementara dibutuhkan untuk turbin-turbin francis dan kaplan sebagai fungsi dua lipatan

- Mereka mencapai pendapatan kembali dari tinggi kecepatan pada keluaran penggerak yang sebaliknya akan hilang sebagai suatu kehilangan keluar
- Mereka mengijinkan turbin untuk dipasang pada elevasi yang lebih tinggi tanpa kehilangan keuntungan yang didapat dari perbedaan elevasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari laju aliran massa terhadap daya turbin. Untuk mengetahui sejauh mana pemahaman akan turbin francis.

Daya input turbin dapat dihitung dengan formula, mengalir masuk per detik (Dandekar dan Sharma 1991 : 430)

$$P_t = \frac{\omega Q}{g} (Vu_1.u_1 - Vu_2.u_2)$$

Dengan ρ = Densitas Kg/ m^3

Q = Debit Air m^3 / s

g = Gravitasi m/s^2

Daya Input turbin sangat penting menaksir ketersediaan tenaga dari turbin dan untuk daya input dapat diformulasikan sebagai berikut (Dandekar dan Sharma 1991:430)

$$P = \frac{\omega Q h}{75}$$

Dengan ρ = Densitas Kg/ m^3

Q = Debit Air m^3 / s

h = Tinggi Tekan m

Analisis ini sangat penting untuk menilai penampilan turbin dan Effisiensi turbin dapat diformulasikan sebagai berikut (Jagdish Lal,1956 : 131)

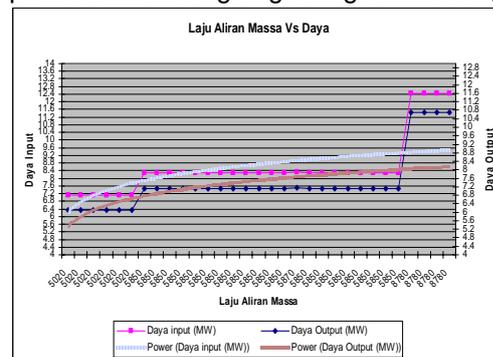
$$\eta_t = \frac{P_{output}}{P_{input}}$$

Efisiensi turbin tidak tetap nilainya, tergantung dari keadaan beban dan jenis turbinnya. Kinerja dari suatu turbin dapat dinyatakan dalam beberapa keadaan : tinggi terjun maksimum, tinggi terjun minimum, tinggi terjun normal, dan tinggi terjun rancangan. Pada tinggi terjun rancangan turbin akan memberikan kecepatan terbaiknya sehingga efisiensinya mencapai maksimum.

PEMBAHASAN

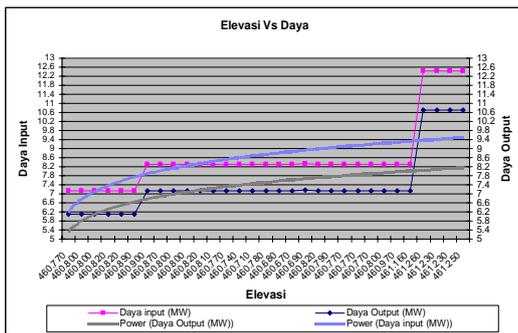
Untuk pembahasan ini dilakukan berdasarkan grafik dari hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.

Untuk grafik-grafik berikut adalah hasil dari perhitungan data untuk setiap hari dalam waktu tiga bulan. Dari grafik tersebut baris vertikal menunjukkan variable yang dipengaruhi sedangkan pada baris horizontal sebagai variabel pengaruh, berikut adalah pembahasan dengan grafik-grafik hubungan.



Gambar 1. Grafik hubungan laju aliran massa terhadap daya turbin

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa laju aliran massa sangat berpengaruh terhadap daya Turbin, jika laju aliran massa naik maka daya turbin akan cenderung mengalami kenaikan sedangkan jika debit air menurun maka daya turbin akan cenderung mengalami penurunan nilainya. Pada grafik di atas nilai terbesar dari laju aliran massa adalah pada hari ke 28-31 Desember 2006 yaitu 8780 Kg/det, penengaruhnya ke daya terbesar pada hari yang sama dengan nilai input 12.45 MW dan output 10.695 MW maka *trendline* kedua garis daya cenderung naik karena debit dan daya turbin juga mengalami kenaikan.



Gambar 2. Grafik hubungan elevasi dan daya

Pada grafik diatas elevasi sangat sedikit pengaruhnya terhadap daya turbin walaupun grafik diatas menunjukkan ada pengaruh yaitu ketika elevasi naik diikuti dengan kenaikan daya turbin air. Pada grafik terlihat elevasi terbesar pada hari ke 28 yaitu 461.26 tetapi daya yang dihasilkan sama dengan hari ke 27 yang elevasinya lebih rendah sedikit dan naik turun elevasi tidak terlalu signifikan.

KESIMPULAN

Dari analisa data tentang pengaruh laju aliran massa terhadap daya turbin francis pada Sub Unit PLTA Jelok Semarang, Jawa Tengah dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Daya turbin cenderung lebih kecil pada saat laju aliran massa mengalami penurunan dengan laju aliran massa pada hari ke-1 bulan januari dengan nilai laju aliran massa 9080 kg/det dan daya output 11.060 MW dan laju aliran massa terkecil dengan nilai 4370 kg/det dan daya output terkecil 5.323 MW pada bulan januari 2007 begitu pula sebaliknya daya turbin cenderung besar ketika laju aliran massa mengalami kenaikan dengan nilai laju aliran massa hari ke-2 dengan nilai 9340 kg/det dan daya output naik sebesar 11.377 MW dan laju aliran massa terbesar 10330 kg/det dan nilai daya output 12.218 MW pada bulan Februari 2007.
2. Elevasi tidak begitu berpengaruh terhadap daya turbin akan tetapi karena perubahan elevasi tidak begitu signifikan sehingga daya turbin relatif sedikit naik ketika dibarengi dengan naiknya elevasi. Untuk nilai elevasi terendah dengan nilai 460.760 meter dan nilai daya outputnya 5.323 MW pada bulan januari 2007 dan nilai elevasi tertinggi dengan nilai 461.930 dengan nilai daya output 11.77 MW.
3. Untuk faktor efisiensi selalu tetap dikarenakan kondisi turbin dijalankan dengan beban penuh sehingga relatif sama terhadap dayanya dan juga turbin bekerja pada tinggi tekan yang direncanakan dan daya yang sesuai dengan turbin.
4. Debit air mengalami kenaikan ketika elevasinya naik, akan tetapi dikarenakan elevasinya naiknya

tidak signifikan sehingga nilai debit air juga kenaikannya tidak terlalu besar. Nilai debit air terkecil dengan nilai 4.37 m³/det dan nilai debit air terbesar dengan nilai 10.33 m³/det.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto (1982), *Penggerak Mula Turbin*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Abel (1980), *Perencanaan Turbin Air*, Erlangga, Jakarta.
- Dandekar, M.M. dan Sharma, K.N. (1991), *"Pembangkit Listrik Tenaga Air"*, Alih Bahasa: Bambang Styadi, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Dietzel, Fritz (1983), *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Alih Bahasa: Dakso Sriyono, Erlangga, Jakarta.
- Creager dan Justin (1950), *"Hydroelectric Handbook"*, William & Sons, Inc. New York.
- Jagdish (1956), *Hydraulic Machines*, Metropolitan Book Private., Netaji Subhas Road, Delhi.
- Noviandi (2005), *"Perancangan Ulang Turbin Air Type Francis Berkapasitas 100 Kw, Tugas Akhir"*, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.
- Rubianto (2006), *"perancangan Ulang Runner Turbin Air"*. Tugas akhir, Institut sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.
- Rohniawan (2006), *"Perancangan Ulang Turbin Air Francis pada PLTA Jelok Semarang"*, Tugas Akhir, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.
- Sularso dan Tahara, Haruo (2004), *"Pompa dan Kompresor"*, cetakan ke-empat, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Streeter (1999), *"Mekanika Fluida"* Jilid I, edisi kedelapan, Alih Bahasa: Arko Prijono, Erlangga, Jakarta.