
PERANCANGAN ALAT PRAKTIKUM PENGUJIAN HEADLOSS ALIRAN FLUIDA TAK TERMAMPATKAN

Dwi Ermadi^{1*}, Darmanto¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

^{*}ermadi.dwi@gmail.com

Abstrak

Alat praktikum pengujian headloss dirancang untuk digunakan dalam dunia akademik dikarenakan mahalnya alat praktikum buatan yang ada di pasaran. Alat dirancang berdasarkan konsep aliran fluida yang mengalir didalam pipa lurus dan komponennya berupa sambungan pipa, elbow, katub gerbang, katub globe, pembesaran dan pengecilan diameter pipa akan mengalami kerugian tekanan (headloss). Desain alat yang ergonomis memudahkan pengoperasiannya. Hasil pengujian dengan beragam debit fluida, didapatkan kerugian terbesar terjadi pada katub globe saat bukaan katubnya $\frac{1}{4}$ yaitu 776,7 mm dan kerugian terkecil terjadi pada pembesaran diameter pipa sebesar 3,6 mm. Sehingga Semakin besar debit fluida yang mengalir didalam pipa baik pipa lurus maupun melewati komponen pipa maka semakin besar headloss/ kerugian tekanan yang terjadi. Pengujian membuktikan bahwa alat yang dirancang memiliki tingkat akurasi akurasi tertinggi pada pengukuran kerugian pipa lurus dengan debit 36 liter/menit yaitu 99,7%, sedangkan yang akurasi terendah/ kesalahan pengukuran terbesar pada pengukuran kerugian katub globe untuk bukaan $\frac{1}{4}$ dengan debit 8 liter/menit yaitu 56,2%. Dengan demikian alat ini bisa dipakai untuk praktikum mata kuliah prestasi mesin.

Kata Kunci: Headloss, pipa, koefisien gesekan, alat praktikum

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, pemindahan suatu fluida dari satu tempat ke tempat yang lain dengan menggunakan media saluran tertutup baik berupa pipa maupun saluran terbuka adalah hal penting yang biasa dilakukan oleh manusia. Seperti mengambil air dari mata air yang kemudian didistribusikan melalui jaringan pipa ke rumah penduduk untuk konsumsi sehari-hari. Juga dari mengambil minyak dan gas bumi dari *reservoir* di kedalaman permukaan bumi, dialirkan melalui pipa dari anjungan ditengah laut ke tempat proses pengolahan minyak dan gas bumi di daratan. Gas bumi kemudian didistribusikan melalui ribuan meter jaringan pipa gas ke konsumen baik industri maupun rumah tangga. Kualitas udara didalam gedung-gedung dijaga pada tingkat yang nyaman dengan distribusi udara yang telah dikondisikan melalui jaringan pipa yang rumit.

Salah satu hal yang mempengaruhi proses pengaliran fluida adalah adanya hambatan yang terjadi di dalam pipa yang akan mengakibatkan perlunya tekanan awal yang tinggi atau besar. Bila tekanan awal yang bersumber dari tekanan alami maupun dari pemompaan tidak mencukupi untuk melawan hambatan dari dalam pipa, maka akan berakibat tidak mengalirnya fluida seperti yang diharapkan. Terkait hal ini maka beberapa faktor yang ikut mempengaruhi hambatan fluida didalam pipa antara lain jenis fluida yang dialirkan, variabel dari konstruksi pipa antara lain diameter, belokan dan cekikan pipa, dan desain distribusi fluida.

Bahwa pengetahuan yang mendalam terhadap faktor –faktor di atas akan dimanfaatkan untuk menghitung kebutuhan tekanan awal, besarnya debit yang dialirkan hingga diterima di tempat tujuan yang pada akhirnya akan menentukan efisiensi sistem distribusi. Nilai efisiensi akan menentukan biaya yang akan dikeluarkan yang pada akhirnya akan memperlihatkan sistem distribusi tersebut *feasible*/ layak bangun atau tidak.

Untuk mengetahui besarnya hambatan dalam pipa, diperlukan perhitungan tekanan fluida yang masuk dan keluar dari rangkaian pipa. Oleh karenanya sebuah contoh rangkaian pipa yang sederhana dapat menjadi alat untuk menghitung hilangnya tekanan tersebut.

Akan tetapi alat untuk meneliti kehilangan tekanan ini sudah ada dipasaran namun dijual dengan harga yang relatif mahal untuk dipakai didunia pendidikan. Oleh karenanya perlu dirancang kemudian dibuat sebuah alat uji praktikum pengujian *headloss*/ kehilangan tekanan fluida yang tak termampatkan yang sederhana namun cukup akurat saat digunakan..Alat uji ini diharapkan dapat memberi gambaran dan pengetahuan yang jelas bahwa ada efek hambatan sebuah aliran fluida didalam pipa dalam skala kecil.

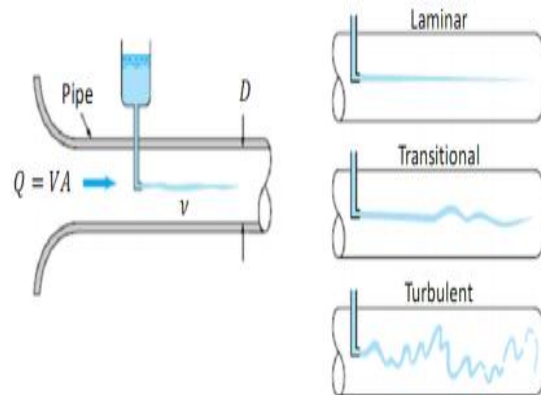
Berdasarkan perhitungan biaya produksinya, alat ini diharapkan juga memungkinkan untuk diproduksi secara masal untuk dipasarkan dengan pangsa pasar instuti pendidikan dan masyarakat umum.

Dasar Teori

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinyu (terus menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan dan gaya ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu (Streeter,Wylie: 1985). Fluida merupakan zat yang dapat mengalir yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. Zat tersebut dapat berupa cairan maupun gas. Aliran fluida dapat dipahami dari sifat-sifat dasar fluida yaitu kerapatan, berat jenis, tekanan, suhu dan kekentalan.

Fluida inkompresibel/ tak termampatkan adalah fluida yang kerapatannya tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu maupun tekanan.

Karakter struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Aliran fluida dalam pipa mungkin merupakan aliran laminar ataupun turbulen. Dua klasifikasi aliran fluida diatas dikemukakan kali pertama oleh Osborn Reynolds dengan menggunakan sebuah peralatan sederhana seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Eksperimen ilustrasi jenis aliran (Munson, dkk., 2005)

Untuk membedakan suatu aliran fluida turbulen atau laminar dapat menggunakan bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Reynolds. Bilangan itu dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (\text{Munson, dkk., 2005})$$

Dimana

Re= bilangan Reynolds (tak berdimensi)

V= kecepatan rata-rata (ft/s atau m/s)

D= Diameter pipa (ft atau m)

μ = viskositas

sehingga bila:

$Re < 2100$ maka aliran fluida bersifat lamier

$Re > 4000$ maka aliran fluida bersifat turbulen

$2100 < Re < 4000$, maka aliran fluida bersifat transisi (Raswari,2010)

Fluida tak termampatkan (inkompresibel) yang mengalir melalui suatu penampang sebuah pipa dan saluran apabila aliran bersifat tunak/ ajeg (*steady state*) dan tanpa gesekan (*inviscid*) akan memenuhi hukum yang dirumuskan oleh Bernoulli:

$$\left(z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}\right)_1 = \left(z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}\right)_2$$

Persamaan diatas lebih sering disebut dalam persamaan energi "*Head*" yang terdiri dari *head* ketinggian "*z*", *head* kecepatan " $V^2/2g$ " dan *head* tekanan " p/γ ". *Head* ketinggian menyatakan energi potensial yang dibutuhkan untuk mengangkat air setinggi "*m*" kolom air. *Head* kecepatan menyatakan energi kinetik yang dibutuhkan untuk mengalirkan air setinggi "*m*" kolom air. Yang terakhir, *head* tekanan adalah energi aliran dari "*m*" kolom air yang mempunyai berat sama dengan tekanan dari kolom "*m*" air tersebut.

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh G. Hagen tahun 1839 dan J. Poiseuille tahun 1840, sifat aliran laminar pada sebuah pipa horizontal adalah laju aliran akan berbanding langsung dengan penurunan tekanan, berbanding terbalik dengan viskositas, berbanding terbalik dengan panjang pipa dan berbanding dengan pangkat empat diameter pipa. Aliran diatas dikenal dengan sebutan aliran Hagen-Poiseuille yang diwujudkan dalam persamaan:

$$Q = \frac{\pi D^4 \Delta p}{128 \mu l} \quad (\text{Munson, dkk., 2005})$$

Perubahan tekanan dalam aliran fluida terjadi karena adanya perubahan ketinggian, perubahan kecepatan akibat perubahan penampang dan gesekan fluida. Pada aliran tanpa gesekan perubahan tekanan dapat dianalisa dengan persamaan Bernoulli yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan perubahan kecepatan. Sehingga perhatian utama dalam menganalisa kondisi aliran nyata adalah pengaruh dari gesekan. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan tekanan dibandingkan dengan aliran tanpa gesekan. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan akibat tekanan akibat gesekan atau kerugian ini dibagi menjadi dua yaitu kerugian mayor dan kerugian minor.

Kerugian mayor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran penampang pipa yang konstan. Sedangkan kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada alat kelengkapan pipa seperti katup, belokan, tee, filter dan pada penampang pipa yang tidak konstan. Kerugian ini untuk selanjutnya akan disebutkan sebagai *headloss*.

Untuk aliran laminar, berkembang penuh pada pipa horisontal, penurunan tekanan dapat dihitung secara analitis dengan persamaan:

$$h_{lmajor} = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Munson, dkk., 2002})$$

Sedangkan untuk aliran turbulen *headloss* dihitung dengan menggunakan diperoleh dengan menggabungkan persamaan Darcy-Weisbach berikut;

$$h_{lmajor} = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Munson, dkk., 2005})$$

Dimana *l* adalah panjang pipa, *V* adalah kecepatan aliran fluida dan *f* adalah faktor gesekan Darcy yang diperoleh dari diagram Moody. Diagram Moody adalah diagram faktor gesekan fungsi bilangan Reynolds dan kekasaran relatif pipa (ϵ). Nilai kekasaran relatif pipa untuk pipa PVC adalah 0,0015 (Munson, et al, 2005).

Kerugian minor diberikan dalam bentuk koefisien kerugian (*loss coefficient*) yang didefinisikan sebagai:

$$h_{lminor} = K_l \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Munson, dkk., 2005})$$

Nilai koefisien kerugian, *K_l* sangat tergantung pada geometri komponen sistem pipa yang antara lain ujung masuk dan keluar pipa, perubahan penampang, penampang melengkung dan fitting yang tersedia secara komersial seperti sambungan siku, *reducer*, katup dan saringan.

METODE PENELITIAN

Metode Perancangan dan Perancangan Alat

Metode perancangan alat praktikum pengujian headloss melalui tahapan yaitu perancangan konseptual, rancangan bangun, pembuatan alat, pengujian alat dan analisa data. Pada saat perancangan alat praktikum dilakukan sesuai dengan tahap-tahap metodologi. Setelah desain dibuat maka untuk pembuatan alat diperlukan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Pipa PVC dengan diameter 1" dan 2"
2. Katup *globe* berukuran 1" sebanyak 5 buah dan katup gerbang dengan diameter 1" sebanyak 1"
3. Besi persegi berukuran 30 x 30 mm yang digunakan sebagai rangka atau dudukan berbentuk segitiga dengan tinggi 1.6 m dan lebar kaki 0.65 m.
4. Papan triplex dengan tebal 1 cm dengan ukuran 0.6 x 2.5 m dipakai sebagai dinding untuk penempatan pipa penelitian.
5. Selang plastik berukuran 5 x 8 mm sepanjang 11 m serta selang transparan sepanjang 6 meter.
6. Pipa gelas ukur berdiameter 12 mm dengan panjang 65 cm
7. Quick coupler berukuran 1/4" sebanyak 10 buah dengan maksimum pressure 20 kg/cm² yang digunakan untuk menghubungkan selang titik pengambilan data dengan selang yang terhubung dengan pipa ukur.
8. Rotameter yang dipakai untuk mengukur debit aliran fluida
9. Pompa yang dipakai sebagai alat pembantu pemberi tekanan awal sebelum dialirkan melalui pipa penelitian.
10. *Reservoir* berupa bak air sebagai tempat tempat sumber air untuk pompa sekaligus sebagai tempat pembuangan air setelah melewati pipa.

Gambar 2. menunjukkan hasil pembuatan alat percobaan:



Gambar 2. Alat percobaan

Sedangkan prosedur pengujian alat dilakukan sebagai berikut:

1. Isi *reservoir* dengan air. Perhatikan jumlah volume air yang dimasukkan ke dalam reservoir.
2. Buka katup tipe *globe* pada rangkaian pipa lurus dan tutup katup untuk rangkaian pipa yang diteliti.
3. Hidupkan pompa hingga aliran air mengalir melalui rangkaian pipa lurus yang diteliti.
4. Atur besaran bukaan katup tipe *globe* untuk memperoleh debit air maksimal 36 liter/menit
5. Catat debit air melalui rotameter.
6. Catat beda ketinggian air antara pipa ukur pertama dan kedua.
7. Mengulang langkah 4-6 dengan mengatur besaran bukaan katup untuk mendapatkan debit air 36, 30, 25, 20, 15 dan 10 liter /menit.

Prosedur diatas dilakukan untuk pengujian headloss untuk aliran pipa lurus. Adapun untuk pengujian *headloss* untuk sambungan pipa lurus, perubahan diameter (*konvergen* dan *divergen*), belokan, katup (*gate* dan *globe valve*) sama seperti diatas dimulai dari langkah 2 hingga 7.

Khusus untuk pengujian headloss pada katup tipe *globe* dan *gate*, ditambahkan satu langkah yaitu mengatur bukaan katup tipe *globe* dan *gate* dari bukaan penuh, bukaan $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{4}$ sebelum langkah 2. Apabila ketinggian head pada pipa ukur melebihi tinggi pipa, atur debit fluida yang mengalir sehingga head pada pipa bisa diukur. Selain itu untuk mengurangi efek turbulensi aliran fluida yang terlalu tinggi didepan titik pengukuran headloss, aliran fluida diatur dengan membuka katub bypass bersamaan dengan mengatur bukaan katub gerbang sesuai dengan debit yang diinginkan.

Untuk mendapatkan data yang akurat terkait pengujian alat praktikum yang telah dirancang bangun, sebaiknya pengambilan data dilakukan minimal tiga kali. Namun semakin banyak data yang diambil maka akan semakin akurat data dari pengujian alat.

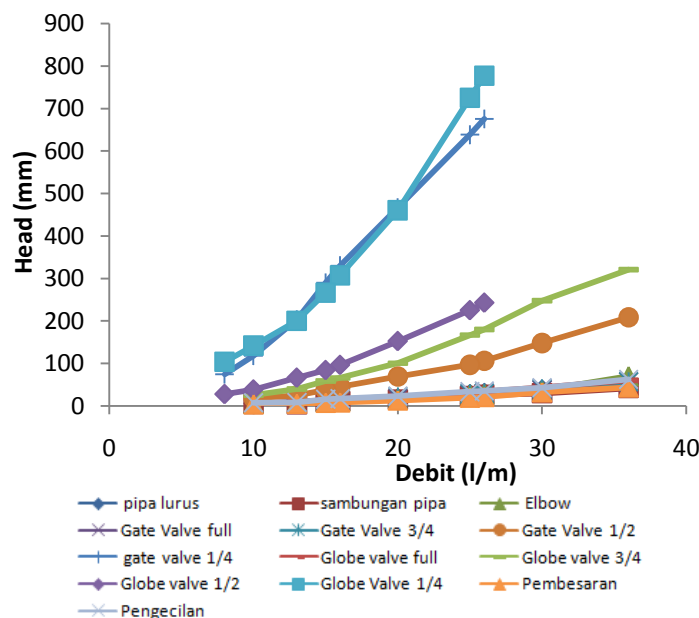
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian alat percobaan headloss aliran fluida (air) yang telah dilakukan sebanyak tiga kali pengambilan data dan kemudian diambil nilai rata-ratanya dapat dilihat pada tabel 1.

Dari semua data yang diperoleh dari pengujian alat praktikum yang meliputi kerugian fluida saat melalui pipa lurus, sambungan pipa lurus, lengkungan/ elbow pipa, katub gerbang, katub globe, pembesaran dan pengecilan diameter pipa dapat dilihat bahwa kerugian akan naik saat debit fluida yang mengalir semakin besar. Kerugian terbesar terjadi pada katub globe saat bukaan katubnya $\frac{1}{4}$ yaitu 776,7 mm dan kerugian terkecil terjadi pada pembesaran diameter pipa sebesar 3,6 mm.

Terlihat juga bahwa semakin besar debit fluida yang mengalir maka semakin besar *headloss*nya. Hal ini disebabkan oleh naiknya kecepatan fluida saat melewati pipa ataupun komponen pipa. Kecepatan fluida berpengaruh terhadap:

1. Besaran bilangan Reynolds aliran fluida dimana bilangan ini digunakan untuk menentukan nilai koefisien gesek. Semakin besar bilangan Reynolds semakin kecil nilai koefisien gesek.
2. Sesuai dengan persamaan Darcy-Weisbach, kecepatan fluida dan koefisien gesek berbanding lurus dengan nilai headloss. Fluida yang bergerak cepat akanmeningkatkan tegangan geser fluida pada bidang pipa yang dilewatinya sehingga kerugian yang ditimbulkan akan besar.



Gambar 3. Grafik debit – headloss

Sedangkan nilai akurasi atau tingkat kesalahan pengukuran kerugian pipa aktual hasil pengujian dibandingkan dengan perhitungan kerugian secara teoritis juga beragam. Nilai akurasi tertinggi pada pengukuran kerugian pipa lurus dengan debit 36 liter/menit yaitu 99,7%, sedangkan yang akurasi terendah/ kesalahan pengukuran terbesar pada pengukuran kerugian katub globe untuk bukaan $\frac{1}{4}$ dengan debit 8 liter/menit yaitu 56,2%.

Tabel 1. nilai rata-rata headloss

Q	A	B	C	D	E
36	50.8	41.6	69.8	43.6	62.1
30	38.0	29.7	36.5	32.0	42.6
25	27.2	22.4	26.9	19.4	33.2
20	17.4	14.6	16.8	12.8	22.8
15	11.5	9.3	9.5	7.3	15.5
10	5.7	4.2	5.3	3.6	7.2

Q	F	G	H	I	J
36	56.3	57.1	208.3	60.5	320.7
30	37.1	40.3	147.8	43.4	247.7
25	27.1	28.9	96.8	30.4	166.7
20	16.9	21.9	69.2	20.6	100.7
15	10.3	13.3	37.5	12.3	58.6
10	5.3	5.9	18.2	5.6	25.7

Q	K	L	M
26	675.0	242.7	776.7
20	466.7	152.4	460.0
16	330.0	96.3	306.7
13	203.0	66.4	200.0
10	118.3	38.6	141.7
8	74.7	27.9	103.7

Keterangan:

Q = debit

A = pipa lurus

B = sambungan pipa

C = elbow

D = pembesaran diameter pipa

E = pengecilan diameter pipa

F = katub gerbang bukaan penuh

G = katub gerbang bukaan $\frac{3}{4}$ H = katub gerbang bukaan $\frac{1}{2}$

I = katub globe bukaan penuh

J = katub globe bukaan $\frac{3}{4}$

K = katub gerbang bukaan $\frac{1}{4}$

L = katub globe bukaan $\frac{1}{2}$

M = katub globe bukaan $\frac{1}{4}$

semua bersatuan mm. dikarenakan nilai headloss pada katub gerbang bukaan $\frac{1}{4}$, katub globe bukaan $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{4}$ melebihi pipa ukur, maka debit maksimal diturunkan menjadi $26 \text{ m}^3/\text{s}$ dan interval debit diatur konstan.

Terjadinya perbedaan antara perhitungan teoritis dengan pengukuran aktual *headloss* disebabkan antara lain:

1. Kesulitan mengukur perbedaan tinggi pipa ukur terutama saat pengukuran dengan selisih ketinggian yang kecil. Hal ini disebabkan oleh efek meniscus cekung pada pipa ukur gelas sehingga menimbulkan kesulitan menentukan titik acuan pengukuran.
2. Air untuk pengujian dalam kondisi tidak sama dengan kondisi air untuk perhitungan teoritis nilai viskositas kinetiknya.
3. Aliran fluida yang mengalir saat pengujian alat terlalu turbulen sehingga meningkatkan nilai headloss. Untuk mengurangi turbulensi aliran, maka dibuat bypass pipa ke reservoir setelah pompa sebelum masuk ke dalam jaringan pipa.
4. Tidak adanya data serta homogenitas tingkat kehalusan pipa/ koefisien gesek pipa PVC yang dipakai.
5. Kerugian yang timbul dari panjang selang yang dipakai dari titik pengukuran ke pipa ukur tidak diperhitungkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Atas hasil pengujian alat dapat diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar debit fluida yang mengalir didalam pipa baik pipa lurus maupun melewati komponen pipa maka semakin besar *headloss*/ kerugian tekanan yang terjadi. Selain itu tingkat kesalahan pengukuran headloss aktual saat pengujian alat praktikum beragam. Tingginya angka kesalahan disebabkan oleh kesalahan dalam pengukuran manual pada pipa ukur, tingginya kesulitan mengatur fluida agar tidak terlalu turbulen saat melewati titik ukur *headloss*, tidak tersedianya data dan homogenitas kehalusan/ koefisien gesekan pipa serta nilai viskositas air yang berbeda. Dengan demikian alat praktikum ini sesuai dengan desain rancangan konseptual sehingga alat ini dapat digunakan untuk praktikum mata kuliah prestasi mesin.

Untuk meningkatkan kinerja alat serta perbaikan dimasa mendatang maka disarankan untuk memanfaatkan peralatan ukur seperti flowmeter dan pressure gauge yang model digital sehingga akan diperoleh pengukuran yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Khurmi, R.S, Gupta, J.K, 1980, *A Textbook of Machine Design*, Eurasia Publishing House, LTD, New Delhi
- Munson, B.R, Young, D.F, Okiishi, T.H, 2005, *Fundamentals of fluid mechanic Fourth Edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York
- Raswari, 2010, *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta
- Ridwan, 2000, *Mekanika Fluida*, Penerbit Gunadarma, Jakarta
- Rike, Jim, 2005, *Petroleum Engineering In-house training Volume III Production*, Rike Service Incorporated, Texas
- Streeter, V.L, Wylie, E.B, 1985, *Fluid Mechanics Eight Edition*, McGraw-Hill, Inc, New York
- Sularso, Tahara, Haruo, 2000, *Pompa dan Kompresor*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta