

PENGARUH ASPEK RASIO TERHADAP PERUBAHAN TEKANAN DAN KOEFISIEN KERUGIAN FLUIDA PADA DIFFUSER SILINDER

Thomas Pagasis¹⁾

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kerugian tekan atau penurunan tekanan, dengan mengubah aspek rasio dan kerampingan suatu diffuser. Model eksperimen diuji pada sebuah terowongan angin subsonic di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, dengan cara menguji (diffuser) disambung dengan terowongan yang dibuat berdasarkan aspek rasio ($AR = 3$, $AR = 4$, $AR = 5$ dan $AR = 6$), yang diuji dengan variasi pembukaan katup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan aspek rasio dan kerampingan dapat mempengaruhi perubahan tekanan dan koefisien kerugian tekan, dimana semakin besar aspek rasio (AR) dan kerampingan (L/D_1) suatu diffuser silinder maka perubahan tekanan dan koefisien kerugian tekanan akan semakin besar pada berbagai bilangan Reynolds dan nilai optimum aspek rasio yang dihasilkan pada $AR = 3$.

Kata Kunci: Koefisien kerugian tekanan, perubahan tekanan, diffuser, aspek rasio.

I. PENDAHULUAN

Aliran fluida sepanjang saluran tertutup mengalami beberapa kerugian diantaranya koefisien kerugian tekan (K_D) atau perubahan tekanan (*pressure drop*). Kerugian ini dapat disebabkan oleh adanya gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding saluran serta adanya peralatan tambahan, perubahan bentuk, pembesaran, pengecilan dan sebagainya. Fluida yang mengalir dalam suatu saluran tertutup akan mengalami kehilangan energi akibat adanya gaya tahanan dan adanya pemisahan aliran (separasi). Untuk mengurangi atau memperkecil kehilangan energi ini, salah satu cara yang dapat dilakukan dalam suatu sistem saluran dipasang diffuser selinder yang dimaksud untuk mengurangi kecepatan dan golakan aliran, dan sebagai hasilnya adalah mengkonversi head kecepatan menjadi head tekanan. Menurut kajian *Robertson* dan *Ross* menunjukkan rendahnya efisiensi tekanan berkisar 83% sampai 93% untuk lapisan batas yang tebal di bagian masuk ke diffuser selinder dan berkurang sesuai dengan perubahan sudut pancar dari 5^0 sampai 10^0 , efisiensi energi berkisar 1,5% sampai 96,5% sama sekali tidak bergantung pada faktor-faktor tersebut asal separasi dapat dihindarkan (*Olson 1993*).

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Cenderawasih Jayapura Papua

Aliran melalui diffuser selinder sangat tergantung pada perbandingan luas penampang, bentuk geometris dan bilangan Reynolds. Koefisien pemulihan tekanan yang merupakan rasio antara peningkatan tekanan statik melintasi diffuser dengan tekanan dinamik sisi masuk. Hubungan yang kuat antara aspek rasio, rasio kerampingan dan sudut sebaran, dengan koefisien kerugian pada diffuser selinder, namun koefisien kerugian diffuser tidak dikorelasikan dengan kecepatan aliran atau Bilangan Reynolds.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pengaruh hubungan antara aspek rasio (AR), rasio kerampingan (L/D_1) terhadap perubahan tekanan dan koefisien kerugian untuk berbagai tingkat bilangan Reynold pada diffuser selinder dan menentukan nilai optimum aspek rasio yang dapat memberikan koefisien kerugian terkecil.

Kerugian yang dialami aliran ketika melalui bagian yang melebar sebagian besar ditimbulkan oleh efek pemisahan (separasi) yang dikenal sebagai rugi bentuk (*form losses*) disamping rugi gesekan pipa akibat geseran dinding. Rugi *head* dalam pembesaran yang mendadak dapat ditentukan melalui persamaan : kontinuitas, momentum dan energi, rugi head yang tinggi akibat separasi di tempat pembesaran dan dapat dikurangi bila pembesaran dibuat bertahap karena separasi terhindar.

Untuk penurunan tekanan atau head loss pada aliran turbulen yang telah berkembang sempurna dalam pipa bundar, umumnya dapat diterapkan pada saluran tidak bundar jika diameter (D) digantikan dengan diameter hidrolis (D_h) yang nilainya adalah:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (1)$$

dengan P adalah pinggir yang basah dan A adalah luas penampang, dengan menggunakan ekspresi-ekspresi untuk kekasaran relatif, angka *Reynolds* dan penurunan tekanan atau *head loss*.

Diffuser silinder (*pembaur*) merupakan ekspansi atau perluasan daerah yang dimaksudkan untuk mengurangi kecepatan aliran agar tekanan dapat naik kembali mendekati tekanan awal. Para insinyur senantiasa merancang bangun diffuser untuk menaikkan tekanan dan mengurangi energi kinetik aliran talang, tetapi sampai sekitar tahun 1950 perancangannya lebih merupakan paduan antara seni dan nasib untung serta banyak empirisme. Perubahan kecil dalam parameter-parameter rancang bangun menyebabkan perubahan besar dalam penampilan diffuser itu (*White, 1994*).

Jika rugi dan pengaruh grafitasi diabaikan, persamaan Bernoulli tak termampatkan meramalkan bahwa:

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 = P_o = \text{Konstan} \quad (2)$$

Dimana P_o adalah tekanan stagnasi yang akan diperoleh fluida kalau diperlambat sampai berhenti ($V = 0$) tanpa rugi. Akibat pokok suatu diffuser ialah koefisien pemulihan tekanan (*pressure recovery coefficient*) C_p , yang didefinisikan sebagai:

$$C_p = \frac{P_e - P_t}{P_{ot} - P_t} \quad (3)$$

Dimana indeks t dan e berarti lubang masuk (*throat*) dan lubang keluar (*exit*). C_p yang lebih besar berarti penampilan yang lebih baik.

Dengan memperhatikan diffuser berdinding selinder dimana penampang yang kecil sebagai lubang masuk dan penampang yang besar sebagai lubang keluar berturut-turut sebagai 1 dan 2, maka penerapan persamaan Bernoulli (2) pada diffuser ini menghasilkan ramalan bahwa:

$$P_{01} = P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 = P_{02} \quad (4)$$

$$C_{p \text{ tanpa gesekan}} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \quad (5)$$

Sementara itu, kontinuitas satu dimensi akan mensyaratkan bahwa:

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (6)$$

Jika persamaan (3) dan persamaan (5) digabungkan, kita dapat menyatakan penampilan dalam aspek rasio (AR) = $(D_2/D_1)^2$ yang merupakan parameter dasar dalam rancang bangun diffuser:

$$C_{p \text{ tanpa gesekan}} = 1 - \frac{AR}{AR^2} \quad (7)$$

Dalam rancangan bangun lazimnya AR = 5 : 1, sehingga menurut persamaan (2.18), $C_p = 0,96$ atau hampir mencapai pemulihan sempurna. Namun kenyataannya pengukuran C_p untuk aspek rasio ini menghasilkan paling tinggi 0,86 dan paling rendah 0,24. Alasan pokok yang menyebabkan perbedaan ini ialah pemisahan aliran yang menyebabkan lapisan batas kental menjauhi dinding dan sangat menurunkan penampilannya.

Selain kesulitan karena pemisahan lapisan batas, pola aliran dalam diffuser sangat berubah-ubah dan dianggap misterius dan acak hingga tahun 1955, ketika Kline mengungkapkan struktur pola-pola ini dengan teknik visualisasi dalam sebuah kanal air sederhana. (White, 1994).

Koefisien kerugian yang merupakan relasi dari koefisien pemulihan tekanan C_p adalah (Miller, 1985) :

$$K_d = C_{p \text{ tanpa gesek}} - C_p \quad (8)$$

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, dengan menguji 4 (empat) spesimen uji dalam bentuk diffuser dengan aspek ratio yang berbeda-beda, diuji pada sebuah *Sub-Sonic Wind Tunnel*, buatan *Plint & Partners LTD Engineers England*.

Benda uji terbuat dari bahan aluminium, dibuat sebagaimana pada gambar 1. dengan aspek aspek rasio (AR), dan kerampingan yang berbeda, dimana diameter keluar (D_2) dibuat konstan.

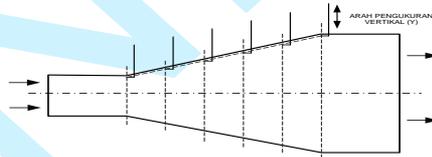


Gambar 1. Benda Uji

Keterangan gambar:

(1) Diameter pipa masuk; (2) Flens pipa; (3) Alat ukur pitot; (4) Ruang benda uji; (5) Diameter pipa keluar

Pengukuran distribusi *head* dimulai dari bagian sisi masuk benda uji (beberapa saat sebelum masuk), sepanjang saluran benda uji dan sampai pada bagian sisi keluar benda uji (beberapa saat sesudah keluar), baik arah *horizontal* maupun arah vertikal (gambar 2).



Gambar 2. Posisi Pengukuran Benda Uji Dalam Arah Vertikal

Tingkat kecepatan aliran fluida pada benda uji sangat ditentukan oleh bukaan katub pada *wind tunnel* dengan 4 macam posisi bukaan katub digunakan untuk pengujian setiap perubahan aspek rasio diffuser.

Besaran yang diukur secara langsung adalah *head* monometer aliran dari masing-masing titik pengukuran. Setiap benda uji dialiri udara dengan empat tingkat kecepatan dan untuk setiap tingkat kecepatan dijaga konstan selama pengukuran berlangsung. Adapun cara pengambilan data pada penelitian ini adalah :

1. Memasang benda uji pada seksi uji *Whind tunnel*.
2. Mencatat suhu dan tekanan udara dalam ruangan.
3. Motor listrik di-ON-kan, kemudian diatur tingkat kecepatan udara yang masuk dengan mengatur regulator (*Guide vane assembly*) ke posisi skala bukaan katup. yang diinginkan.
4. Mencatat suhu di dalam benda uji
5. Pengukuran distribusi head sepanjang benda uji (sesuai dengan titik pengukuran yang direncanakan) dan selama pengukuran kecepatan aliran masuk dijaga agar tetap konstan.
6. Mengatur regulator (*Guide vane assembly*) untuk mendapatkan kecepatan kedua dan ulangi langkah 2 sampai langkah 5 diatas. Begitu seterusnya hingga 4 tingkat kecepatan.
7. Melepaskan benda uji pertama dari seksi uji dan memasang benda uji ke dua. Ulangi langka 1 sampai dengan langkah 5. Begitu seterusnya hingga mendapatkan data untuk keempat benda uji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan tekanan tergantung pada aspek rasio (AR) dan kerampingan suatu diffuser, seperti pada grafik 1 dan grafik 2 dimana semakin besar aspek rasio (AR) dan kerampingan (L/D_1) maka perubahan tekanan yang dihasilkan juga semakin besar, dan seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds. Hal ini dapat terjadi karena dengan semakin besar aspek rasio (AR) dan kerampingan maka sudut sebarannya semakin besar sehingga menyebabkan kehilangan energi dan geseran dinding menjadi besar, dan aliran berkembang penuh akan lebih pendek akibat disipasi energi.

Persamaan regresi dan koefisien korelasi dari hubungan ΔP dengan AR pada bilangan Reynolds (Re) $2,168 \times 10^5$ sampai $3,167 \times 10^5$ secara umum dapat dituliskan:

$$\Delta P = a(AR) + c \quad (8)$$

dimana :

$$a = 25,49 \text{ s/d } 39,65$$

$$c = 25,31 \text{ s/d } 168,8$$

Koefisien korelasinya (R) = 0,990 s/d 0,998

Persamaan regresi dan koefisien korelasi dari hubungan ΔP dengan L/D_1 pada bilangan Reynolds (Re) $2,168 \times 10^5$ sampai $3,167 \times 10^5$ secara umum dapat dituliskan:

$$\Delta P = a (L/D_1) + c \quad (9)$$

dimana :

$$a = 85,47 \text{ s/d } 98,56$$

$$c = -120,0 \text{ s/d } 1,01$$

Koefisien korelasinya (R) = 0,995 s/d 0,999

Perubahan tekanan (ΔP) sebanding dengan bertambahnya bilangan Reynodls. Hal ini dapat terjadi karena bertambahnya bilangan Reynolds dapat menyebabkan aliran bergolak sehingga koefisien kerugian menjadi besar dan menyebabkan perubahan tekanan menjadi besar untuk aspek rasio dan kerampingan yang semakin besar.

Persamaan regresi dan koefisien korelasi dari hubungan ΔP dengan Re pada berbagai aspek rasio (AR) yang secara umum dapat dituliskan:

$$\Delta P = a(Re) - c \quad (10)$$

dimana :

$$a = 0,001 \text{ s/d } 0,002$$

$$c = 155,8 \text{ s/d } 213,8$$

Koefisien korelasinya (R) = 0,929 s/d 0,995

Berdasarkan hasil perhitungan yang dipresentasikan dalam bentuk grafik (grafik 4 dan grafik 5) dapat dijelaskan koefisien kerugian (K_D) sangat dipengaruhi oleh aspek rasio (AR), kerampingan (L/D_1) dan bilangan Reynolds, dimana semakin besar aspek rasio (AR) dan kerampingan (L/D_1) maka koefisien kerugian (K_D) yang dihasilkan juga semakin besar untuk berbagai bilangan Reynodls. Hal ini dapat terjadi karena semakin besarnya AR dan kerampingan (L/D_1) dapat menyebabkan kehilangan energi yang besar akibat geseran dinding yang semakin besar. Bertambahnya koefisien kerugian seiring dengan semakin besarnya bilangan Reynodls. Hal ini dapat terjadi karena bertambahnya bilangan Reynodls dapat menyebabkan aliran bergolak sehingga koefisien kerugian (K_D) meningkat untuk berbagai aspek rasio dan kerampingan.

Persamaan regresi dan koefisien korelasi dari hubungan K_D dengan AR pada bilangan Reynolds (Re) $2,168 \times 10^5$ sampai $3,167 \times 10^5$ secara umum dapat dituliskan:

$$K_D = a(AR)^2 - b(AR) + c \quad (11)$$

dimana :

$$a = 0,006 \text{ s/d } 0,014$$

$$b = 0,007 \text{ s/d } 0,055$$

$$c = 0,210 \text{ s/d } 0,316$$

Koefisien korelasinya (R) = 0,997 s/d 0,999

Persamaan regresi dan koefisien korelasi dari hubungan K_D dengan L/D_1 pada bilangan Reynolds (Re) $2,168 \times 10^5$ sampai $3,167 \times 10^5$ secara umum dapat dituliskan:

$$K_D = a(L/D_1)^2 - b(L/D_1) + c \quad (12)$$

dimana :

$$a = 0,056 \text{ s/d } 0,106$$

$$b = 0,266 \text{ s/d } 0,568$$

$$c = 0,544 \text{ s/d } 1,030$$

Koefisien korelasinya (R) = 0,996 s/d 0,999

Berdasarkan grafik 6. dapat dijelaskan bahwa perubahan koefisien kerugian tekanan (K_D) sebanding dengan bertambahnya bilangan Reynolds (Re) untuk berbagai aspek rasio yang semakin besar pada titik pengukuran yang sama. Hal ini dapat terjadi karena bertambahnya bilangan Reynolds menyebabkan tekanan semakin besar pada semua aspek rasio sehingga koefisien kerugian tekanan yang dihasilkan akan semakin besar pula.

Persamaan regresi dan koefisien korelasi dari hubungan K_D dengan bilangan Reynolds (Re) pada berbagai aspek rasio dapat dituliskan:

$$K_D = a(Re)^c \quad (13)$$

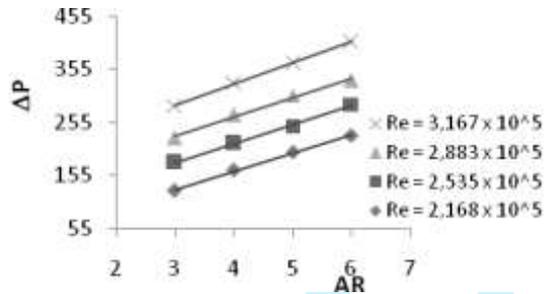
dimana :

$$a = 7 \times 10^{-8} \text{ s/d } 6 \times 10^{-6}$$

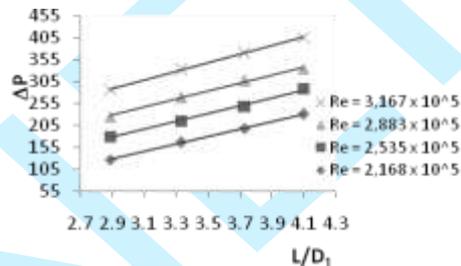
$$c = 0,884 \text{ s/d } 1,199$$

Koefisien korelasinya (R) = 0,925 s/d 0,997

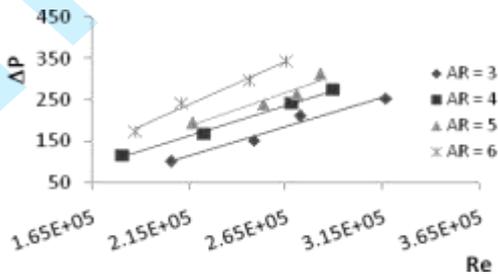
Pengaruh sudut sebaran terhadap koefisien kerugian yang dikemukakan White, dapat dibandingkan dengan hasil penelitian tersebut pada grafik 7.



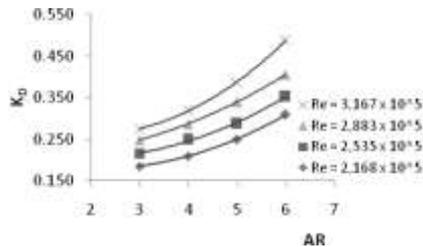
Grafik 1. Perubahan Tekanan (ΔP) Terhadap Aspek Rasio (AR) untuk Berbagai Bilangan Reynolds



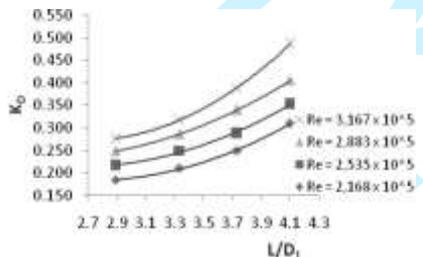
Grafik 2. Perubahan Tekanan (ΔP) Terhadap Kerampingan (L/D_1) untuk Berbagai Bilangan Reynolds



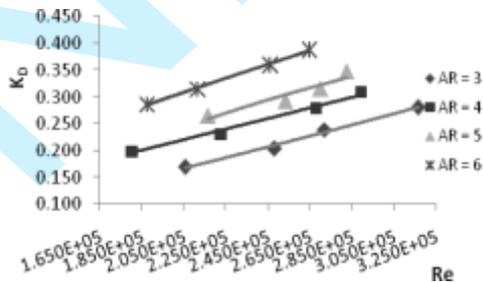
Grafik 3. Perubahan Tekanan (ΔP) Terhadap Terhadap Bilangan Reynolds untuk Berbagai Aspek Rasio (AR)



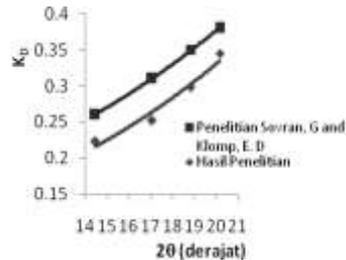
Grafik 4. Koefisien Kerugian (K_D) Terhadap Aspek Rasio (AR) untuk Berbagai Bilangan Reynolds



Grafik 5. Koefisien Kerugian (K_D) Terhadap Kerampingan (L/D_1) untuk Berbagai Bilangan Reynolds



Grafik 6. Koefisien Kerugian (K_D) Terhadap Terhadap Bilangan Reynolds untuk Berbagai Aspek Rasio (AR)



Grafik 7. koefisien kerugian (K_D) terhadap sudut sebaran (θ)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan gambar dan hasil perhitungan pengaruh aspek rasio (AR) dan kerampingan (L/D_1) terhadap perubahan tekanan (ΔP) dan Koefisien Kerugian (K_D) untuk berbagai bilangan Reynolds dapat disimpulkan sbb:

1. Perubahan tekanan (ΔP) sangat tergantung pada aspek rasio (AR) dan kerampingan dimana semakin besar aspek rasio dan kerampingan untuk berbagai bilangan Reynolds, maka perubahan tekanan yang dihasilkan juga semakin besar, yaitu:
 - Untuk aspek rasio $AR = 6$ dan kerampingan $L/D_1 = 4,098$ diperoleh nilai perubahan tekanan (ΔP) = 174,167 N/m^2 sampai dengan 343,638 N/m^2 .
 - Untuk aspek rasio ($AR = 5$) dan kerampingan $L/D_1 = 3,731$ diperoleh nilai perubahan tekanan (ΔP) = 157,772 N/m^2 sampai dengan 324,359 N/m^2 .
 - Pada aspek rasio $AR = 4$ dan kerampingan $L/D_1 = 3,333$ diperoleh nilai perubahan tekanan (ΔP) = 123,087 N/m^2 sampai dengan 284,731 N/m^2 .
 - Pada aspek rasio $AR = 3$ dan kerampingan $L/D_1 = 2,890$ diperoleh nilai perubahan tekanan (ΔP) = 100,760 N/m^2 sampai dengan 253,918 N/m^2 .
2. Perubahan koefisien kerugian (K_D) berbanding lurus dengan aspek rasio (AR) dan kerampingan (L/D_1) dimana semakin besar aspek rasio dan kerampingan untuk berbagai bilangan Reynolds, maka perubahan tekanan juga semakin besar, yaitu:
 - Untuk aspek rasio $AR = 6$ dan kerampingan $L/D_1 = 4,098$ diperoleh nilai minimum koefisien kerugian tekanan (K_D) = 0,287 dan nilai maksimum (K_D) = 0,418.
 - Untuk aspek rasio ($AR = 5$) dan kerampingan $L/D_1 = 3,731$ diperoleh nilai minimum koefisien kerugian tekanan (K_D) = 0,250 dan nilai maksimum (K_D) = 0,351
 - Pada aspek rasio $AR = 4$ dan kerampingan $L/D_1 = 3,333$ diperoleh nilai minimum koefisien kerugian tekanan (K_D) = 0,205 dan nilai maksimum (K_D) = 0,310

- Pada aspek rasio $AR = 3$ dan kerampingan $L/D_1 = 2,890$ diperoleh nilai minimum koefisien kerugian tekanan (K_D) = 0,169 dan nilai maksimum (K_D) = 0,281
3. Nilai optimum yang dianggap paling bagus diperoleh pada aspek rasio ($AR = 3$), yaitu nilai koefisien kerugian terkecil (K_D) = 0,169.

B. SARAN

- Dalam menentukan aspek rasio diffuser (konis) pada kondisi yang memungkinkan sebaiknya digunakan aspek rasio $AR = 3$.
- Sebaiknya dalam penentuan penurunan tekanan dan koefisien kerugian pada diffuser konis disarankan menggunakan parameter-parameter yang lain guna mendapatkan optimalnya penampilan diffuser konis.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Miller Donald S, 1985. *Internal Flow Systems*, Volume 5 in the BHRA Engineering Series , BHRA Fluid Engineering.
- Olsom R.M. & Wright S.J., 1993, *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*, Edisi Kelima, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Suardi, 2004, *Pengaruh Aspek Rasio Terhadap Koefisien Kerugian dan Kecepatan Aliran Fluida pada Diffuser Segi Empat*, Tesis tidak diterbitkan, Makassar: Program Pasca UNHAS.
- Streeter V.L. & Wylie E.B, 1993, *Mekanika Fluida*, Edisi Kedelapan, Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- White F.M., 1988, *Mekanika Fluida*, Edisi Kedua, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.