

26800/H/06



TUGAS AKHIR  
KONVERSI ENERGI

PENGARUH ALUR BUJURSANGKAR DAN SEGITIGA  
TERHADAP KARAKTERISTIK LAPIS BATAS ALIRAN  
TURBULEN PADA PELAT DATAR

Oleh :

RACHMAT FIRDAUS

2100202006

RTM

S32.0527

Fir

p-1

2006.



PERPUSTAKAAN  
ITS

Tgl. Terima	6-9-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	226499

PROGRAM PASCA SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2006

# PENGARUH ALUR BUJUR SANGKAR DAN SEGITIGA TERHADAP KARAKTERISTIK LAPIS BATAS TURBULEN PADA PELAT DATAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik ( M.T )**  
Di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**RACHMAT FIRDAUS**

Nrp. 2100. 202. 006

Tanggal Ujian : 04 Agustus 2006

Periode Wisuda : September 2006

Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :

1. Dr. Ir. Sutardi, M.Eng  
NIP 131 918 689

(Pembimbing)

2. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA  
NIP 131 652 212

(Penguji)

3. Dr.- Ing. Herman Sasongko  
NIP 131 577 243

(Penguji)

4. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng  
NIP 131 902 444

(Penguji)

**Direktur Program Pascasarjana,**  
  
**Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc. PhD**  
NIP 130 541 829

# PENGARUH ALUR BUJURSANGKAR DAN SEGITIGA TERHADAP KARAKTERISTIK LAPIS BATAS ALIRAN TURBULEN PADA PELAT DATAR

Nama : Rachmat Firdaus  
Pembimbing : Dr. Ir. Sutardi, M.Eng.

## ABSTRAK

Perhatian pada aliran turbulen saat ini semakin besar karena aplikasinya yang semakin luas seperti aerodinamik pada pesawat terbang, hidrodinamik pada kapal dan peralatan industri lainnya. Unjuk kerja suatu alat yang bekerja pada kondisi turbulen sangat dipengaruhi oleh adanya efek gesekan yang ditimbulkan. Efek gesekan timbul akibat adanya lapis batas (*boundary layer*) pada aliran karena efek *viscous* dari fluida. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik *boundary layer* turbulen setelah melewati alur bujursangkar dan segitiga terhadap pelat datar halus tanpa alur.

Penelitian ini dilaksanakan didalam wind tunnel pada  $R_\theta = 995$  dan  $R_\theta = 1444$  dengan tiga *speciment*. Pelat datar diberi alur tunggal bujursangkar dan segitiga yang berjarak 20 cm dari *leading edge* dan pelat datar tanpa alur. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan alat ukur *stagnation pressure tube*, mulai dari *downstream* alur ( $x/d = 0$ ) ke belakang sampai jarak  $x/d = 5$  dan ketinggian dari  $y = 0,35$  mm sampai  $y = 20,5$  mm. Parameter yang dianalisa adalah kecepatan ( $u$ ), tegangan geser dinding ( $\tau_w$ ), *shape factor* ( $H$ ) dan waktu tak berdimensi ( $t^+$ ) berdasarkan analisa visualisasi aliran. Visualisasi aliran dilakukan baik didalam alur maupun di belakang alur yang bertujuan untuk memperkuat analisa dari hasil perhitungan.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya reduksi *drag* sebesar 2 % untuk pelat beralur bujursangkar terhadap pelat datar halus untuk kedua harga  $R_\theta$ . Sedangkan pada alur segitiga terjadi kenaikan *drag* sebesar 13% untuk  $R_\theta = 995$  dan 7 % untuk  $R_\theta = 1444$  terhadap pelat datar halus. Profil kecepatan menunjukkan terjadi penurunan harga *shape factor* ( $H$ ) pada alur bujursangkar terhadap pelat lainnya yang mengindikasikan adanya kenaikan intensitas turbulensi aliran. Hasil dari visualisasi aliran menunjukkan suatu interaksi aliran diatas dan didalam alur, yaitu adanya aliran yang masuk ke alur (*inflow*) dan aliran yang keluar dari alur (*ejection*). Durasi proses *ejection* dalam satuan tak berdimensi sebesar  $t^+ = 13$  pada alur bujursangkar dan  $t^+ = 10$  untuk alur segitiga.

Kata kunci: Turbulen, Alur bujursangkar, Alur segitiga.

# EFFECT OF SQUARE AND TRIANGULAR GROOVES ON THE CHARACTERISTIC OF A TURBULENT BOUNDARY LAYER ON A FLAT PLATE

By: Rachmat Firdaus  
Advisor: Dr. Ir. Sutardi, M.Eng.  
Mechanical Engineering ITS

## ABSTRACT

Recently, interest of turbulent flows is very high due to their wide range of applications such as aerodynamics, hydrodynamics and industrial apparatus. The performance of the apparatus under turbulent condition is affected by friction. The friction effect created by boundary layer of flow is due to the viscous effect. The main objectives of this investigation are to find the characteristics of turbulent boundary layer flows over triangular and square grooves on a flat plate compared to that one over the smooth wall.

The experiment was carried out in a low speed wind tunnel at  $R_\theta = 995$  and  $R_\theta = 1444$  using three specimens, flat plates modified by single triangular groove and square groove located at 20 cm from leading edge, and a flat plate without groove. Velocity measurement is performed using the stagnation pressure tube, starting from downstream side of the groove ( $x/d = 0$ ) to  $x/d = 5$  in the streamwise direction. The measured parameters are velocity profile ( $u$ ), shear stress ( $\tau_w$ ), shape factor ( $H$ ) and dimensionless time ( $t^+$ ) from visualization study. The flow visualization was performed for the flow inside and outside of the groove to strengthen the quantitative analysis. The experimental result shows drag reduction of 2% for the square groove at both  $R_\theta$ . On the otherhand, there are drag increase of 13 % at  $R_\theta = 995$  and 7% at  $R_\theta = 1444$  for triangular groove. The velocity profiles show decreasing in shape factor ( $H$ ) for square groove, which indicates the increase in turbulence intensity. The flow visualization shows non dimensional ejection time ( $t^+$ ) = 13 and  $t^+ = 10$  for square groove and triangular groove respectively.

**Keywords** : Turbulent, Square groove, Triangular groove

**PENGARUH ALUR BUJURSANGKAR DAN SEGITIGA  
TERHADAP KARAKTERISTIK LAPIS BATAS ALIRAN  
TURBULEN PADA PELAT DATAR.**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Magister Sarjana Teknik  
Bidang Studi Konversi Energi  
Program Pasca Sarjana  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Mengetahui/Menyetujui  
Dosen Pembimbing



11/08 2006

**DR. Ir. Sutardi, MEng**  
**NIP. 131 918 689**

**Surabaya, Agustus 2006**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah memberi karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH ALUR BUJURSANGKAR DAN SEGITIGA TERHADAP KARAKTERISTIK LAPIS BATAS ALIRAN TURBULEN PADA PELAT DATAR”**.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis dan wajib diselesaikan oleh setiap mahasiswa program strata dua (S-2) untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Sutardi, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta bantuan, baik moril maupun materiil pada saat penulis melakukan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Triyogi Yuwono DEA, selaku Dekan FTI – ITS dan dosen penguji yang banyak memberi masukan dan saran.
3. Bapak Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng, selaku Kaprodi Pasca Sarjan Teknik Mesin FTI – ITS yang telah memberikan fasilitas selama penulis kuliah di Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS
4. Bapak Dr. Ing. Herman Sasongko, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS dan dosen penguji yang banyak memberi masukan dan saran.
5. Bapak Dr. Ir. Prabowo, selaku dosen wali dan dosen penguji yang banyak memberi masukan dan saran.
6. Rekan-rekan yang telah memberikan dukungan demi kelancaran studi penulis.

Surabaya, Agustus 2006

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	
KATA PENGANTAR .....	
DAFTAR ISI .....	
DAFTAR SYMBOL .....	
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Landasan Teori	
2.1.1 Konsep Lapis Batas ( <i>Boundary layer</i> ) .....	8
2.1.2 Aliran Laminar dan Turbulen .....	9
2.1.3 Intensitas Turbulensi .....	11
2.1.4 Gaya Hambat <i>Drag</i> .....	12
2.1.4.1 Koefisien Drag .....	13
2.1.4.3 Tegangan Geser Pada Dinding .....	14
2.2 Penelitian Sebelumnya.....	20
2.2.1 Pengaruh Alur Bujursangkar terhadap Boundary Layer.....	20
2.2.2 Kemungkinan pengurangan drag dengan menggunakan pelat datar beralur tipe d.....	22
2.2.3 Turbulen Boundary layer yang melewati smooth wall dengan Transvers Square cavities.....	24
2.2.4.The Turbulent boundary layer over single V-shaped grooves.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Parameter yang Diukur .....	30
3.2 Peralatan dan Benda Uji percobaan.....	33
3.3 Prosedur Pengambilan Data .....	39

3.4	Analisa Data .....	40
3.5	Langkah Penelitian .....	42
BAB IV ANALISA HASIL EKSPERIMEN .....		43
4.1	Distribusi Koefisien Tekanan ( $C_p$ ) Di Dalam Alur .....	44
4.2	Koefisien Pressure Drag ( $C_D$ ). Di dalam Alur.....	47
4.3	Profil Kecepatan.....	48
4.4	Perhitungan Koefisien Gesek.....	56
4.5	Perhitungan Reynold Number.....	60
4.6	Distribusi Shape Faktor.....	61
4.7	Analisa Koefisien Friksi.....	63
4.8	Hasil Visualisasi .....	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		74
5.1	Kesimpulan .....	74
5.2	Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA .....		76
LAMPIRAN		

## DAFTAR SYMBOL

Symbol dimensi pada benda kerja (pelat datar)

- $L$  : panjang pelat
  - $b$  : lebar pelat
  - $s$  : jarak strip dengan sisi upstream alur
  - $t$  : tebal pelat
  - $w$  : lebar alur
  - $d$  : kedalaman alur
- $C_D$  : Koefisien drag
- $C_f$  : koefisien friksi
- $C_p$  : koefisien pressure
- $F_{df}$  : Friction drag
- $F_{Dp}$  : Pressure drag
- $H$  : shape factor
- $p$  : tekanan statis
- $p_o$  : tekanan stagnasi
- $p_\infty$  : tekanan statis freestream
- $R_\theta$  : Reynolds number terhadap momentum thickness
- $u$  : kecepatan lokal
- $U_o$  : kecepatan *freestream*
- $u^+$  : dimensionless velocity,  $u/u^*$
- $u^*$  : friction velocity,  $(\tau_w/\rho)^{1/2}$
- $u'$  : kecepatan fluktuasi
- $\bar{u}$  : kecepatan rata-rata
- $\sqrt{u'^2}$  : turbulence intensity
- $t$  : waktu sirkulasi aliran di dalam alur.
- $t^+$  : dimensionless time,  $\frac{t.(u^*)^2}{\nu}$
- $x$  : Jarak horizontal terhadap down stream alur



**BAB I PENDAHULUAN**

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Pada dekade sekarang ini perhatian pada aliran turbulen semakin besar. Hal ini disebabkan aplikasinya pada industri semakin besar seperti pengaruh unjuk kerja peralatan industri, aerodinamik pada pesawat, hidrodinamik pada kapal dan kendaraan lainnya. Pengaruh aliran turbulen juga terjadi pada alat penukar kalor seperti condensor dan eveporator.

Efek gesekan merupakan faktor penting pada terbentuknya *drag* (gaya hambat). Dalam aplikasinya *drag* sangat berpengaruh pada unjuk kerja. Hal ini dikarenakan makin besar *drag* yang terjadi maka makin besar pula biaya yang harus dikeluarkan (pemakaian bahan bakar). Pada suatu sistem perpipaan, efek gesekan merupakan kehilangan energi (*head loss*) sehingga dengan menurunkan *head loss* tersebut akan dicapai efisiensi yang maksimum. Maka dari itu berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi *drag* tersebut.

Aliran pada pelat datar, total hambatan hanya diakibatkan oleh efek gesekan pada dinding. Efek gesekan timbul akibat adanya gradien kecepatan pada lapis batas karena efek viscous dari fluida. Oleh karena itu berbagai penelitian difokuskan bagaimana mengurangi efek gesekan yang timbul pada aliran diatas pelat datar.

Berbagai investigasi baik secara eksperimen maupun numerik telah dilakukan sejak abad 19 sampai sekarang. Percobaan- percobaan tersebut difokuskan pada aliran turbulen yang melewati pelat datar, baik itu menggunakan fluida air maupun udara dengan kondisi yang bermacam-macam pula.

Berbagai model penelitian pada pelat datar yang telah dilakukan diantaranya adalah dengan memberikan alur bujur sangkar pada pelat tersebut. Hasil yang ingin dicapai dari penelitian-penelitian tersebut adalah adanya pengaruh yang dihasilkan oleh alur yang dapat mereduksi gesekan tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Tani (1987) menggunakan alur bujursangkar pada *depth ratio*  $d/\delta = 0,24$  dan freestream  $U_o = 12\text{m/s}$ . Hasil penelitian menunjukkan suatu reduksi drag didapatkan oleh adanya kenaikan wake parameter. Choi dan Fujisawa (1993) dengan menggunakan alur bujur sangkar *depth ratio*  $d/\delta = 0,4$  dan freestream  $U_o = 12\text{m/s}$  menunjukkan suatu reduksi drag sebesar 1 %. Sedangkan yang dilakukan oleh Elavarasan dkk (1996) dengan bentuk alur yang sama tetapi dengan *depth ratio*  $d/\delta = 0,125$  menunjukkan kenaikan drag sebesar 3,4 %. Perhitungan skin friction oleh Tani, Choi & Fujisawa dengan menggunakan metode Clauser chart, sedangkan yang dilakukan Elavarasan dkk menggunakan mean velocity gradient pada dinding. Penelitian pada pelat datar dengan alur segitiga sudah pernah dilakukan walaupun tidak sebanyak seperti pada pelat beralur bujursangkar akan tetapi sudah memberi sedikit informasi yang penting. Penelitian yang dilakukan oleh Tantirige (1994) dengan pelat datar yang diberi alur segitiga dengan kedalaman alur 0,8 mm dan 1,5 mm menunjukkan suatu profil kecepatan dan intensitas turbulensi yang berbeda dengan pelat datar halus. Penelitian tersebut tidak menyebutkan tentang drag yang ditimbulkan.

Hal inilah yang melandasi peneliti untuk melakukan eksperimen dengan bentuk alur bujursangkar tetapi dengan *depth ratio*  $d/\delta = 0,5$  dan parameter yang berbeda dengan sebelumnya. Peneliti juga melakukan uji pelat datar yang diberi alur segitiga dengan kedalaman alur yang lebih besar yaitu  $d = 10$  mm. Metode yang

digunakan untuk perhitungan koefisien gesek adalah metode Clauser- chart karena dengan alat ukur yang ada pengambilan data untuk metode ini lebih dimungkinkan.

## I.2 Rumusan masalah

Efek gesekan sangat dipengaruhi oleh kondisi lapis batas (*boundary layer*). Efek gesekan ini yang menimbulkan tegangan geser pada dinding. Dengan memberikan alur yang berbentuk bujur sangkar (*square groove*) dan alur segitiga (*triangular groove / alur V*), diharapkan adanya perubahan profil kecepatan rata-rata didalam lapis batas dibandingkan dengan pelat datar tanpa alur. Perubahan kecepatan ini akan menghasilkan distribusi/profil kecepatan yang berbeda dibandingkan dengan pelat datar halus, yang akan menentukan besar kecilnya drag akibat gesekan.

Bentuk alur bujur sangkar dan alur segitiga yang dipasang secara tegak lurus dengan arah aliran diharapkan dapat berpengaruh perubahan tegangan geser yang terjadi. Penelitian pada alur bujur sangkar yang dilakukan oleh Elavarasan dkk menunjukkan suatu kenaikan drag sebesar 3,4 %. Kenaikan ini merupakan integrasi antara kenaikan drag yang tajam pada daerah dekat alur (akibat *favourable pressure gradient*) dan penurunan drag pada daerah setelahnya (kemungkinan akibat melemahnya *streamwise vorticity* karena hilangnya dinding sesaat yang merupakan penyebab utama sumber vorticity).

Dari penelitian ini diharapkan suatu hasil pengaruh dari kedua bentuk alur yang memberi kontribusi adanya perubahan *drag*. Selain itu dengan adanya alur baik yang berbentuk bujur sangkar maupun segitiga akan terbentuk distribusi tekanan didalam alur. Distribusi tekanan di bibir *downstream* alur ini akan menentukan harga *favourable pressure gradient* yang berakibat pula pada kenaikan koefisien *drag*

akibat geseran maupun tekanan (*shear drag* dan *pressure drag*). Hal inilah yang menarik untuk dikaji dimana pada pemberian alur diharapkan adanya reduksi *drag*. Bagaimana bentuk dan dimensi alur bujursangkar dan alur segitiga dengan parameter yang ada memberi kontribusi reduksi secara total.

Proses visualisasi dari penelitian ini dapat menunjukkan struktur aliran yang melewati pelat beralur dan pelat halus. Struktur aliran didalam alur bujursangkar dan alur segitiga serta periodik dari aliran vortex didalam alur tersebut dapat menjelaskan kemungkinan terjadinya reduksi *drag*. Dari hasil visualisasi diharapkan dapat memperkuat analisa hasil perhitungan secara kuantitatif.

### I.3 Batasan Masalah

Aliran fluida dianggap dua dimensi dengan sumbu  $(x,y)$  dimana  $x = 0$  pada ujung alur di downstream (ke belakang bernilai positif dan ke depan bernilai negatif).

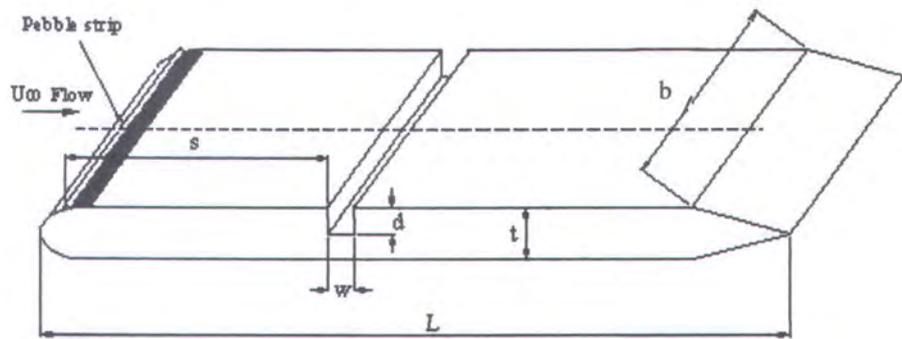
Kondisi aliran dan dimensi dari alur adalah sebagai berikut;

- Kondisi aliran tunak.
- Aliran incompressible dengan fluida yang digunakan udara.
- Efek perpindahan panas diabaikan.
- Benda kerja yang digunakan pelat datar dengan alur tunggal yang berbentuk bujursangkar dan segitiga serta pelat datar yang halus dengan ukuran dimensi seperti gambar dibawah ini:

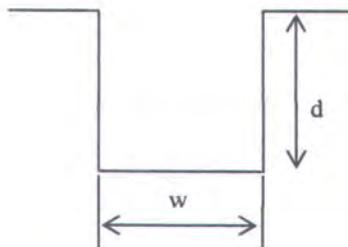
$$L = 650 \text{ mm (panjang pelat)}$$

$$b = 303 \text{ mm (lebar pelat datar)}$$

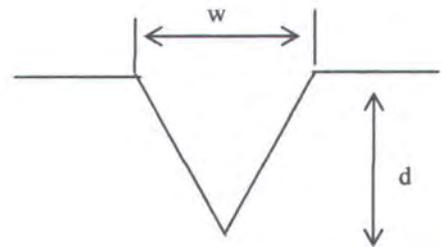
- $t = 20 \text{ mm}$  (tebal pelat)  
 $d = 10 \text{ mm}$  (kedalaman alur)  
 $w = 10 \text{ mm}$  (lebar alur)  
 $s = 215 \text{ mm}$  (jarak antara pebble strip dengan alur)



Gambar 1.1 Geometri benda kerja



Gambar 1.2 Bentuk alur bujursangkar



Gambar 1.3 Bentuk alur segitiga

#### I.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran turbulen yang melewati pelat datar yang diberi alur bujursangkar dan alur segitiga dibandingkan dengan dengan aliran turbulen yang melewati pelat datar yang tanpa alur. Sebuah studi visualisasi aliran dilakukan untuk melihat pengaruh proses

*ejection* dan *inflow* terhadap kemungkinan reduksi *drag* adanya alur bujursangkar dan alur segitiga.

Parameter-parameter yang di analisa meliputi:

- Koefisien gesek /*Coeffisient of skin friction* ( $C_f$ ) pada downstream alur
- Koefisien tekanan /*Pressure coefficient* ( $C_p$ ) didalam alur
- Profil kecepatan ( $u^+$ )
- Faktor bentuk /*Shape Factor* ( $H$ )
- Visualisasi struktur aliran didalam dan disekitar alur

### **I.5 Sistematika Penulisan**

Sitematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar-belakang penelitian, perumusan masalah dan tujuan penelitian.

#### **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu dasar teori dan penelitian yang sudah ada. Dasar teori berisi hal-hal yang menunjang analisa penelitian, sedangkan penelitian yang sudah ada berisi tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang ada korelasinya dengan penelitian kali ini, yang menjadi acuan dalam penulisan dan analisa.

#### **3. BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang hal-hal yang berhubungan dengan eksperimen yang dilakukan, yang meliputi peralatan eksperimen (terowongan angin, *stagnation pressure tube*, mikrometer, manometer, termometer, *smoke generator* sebagai



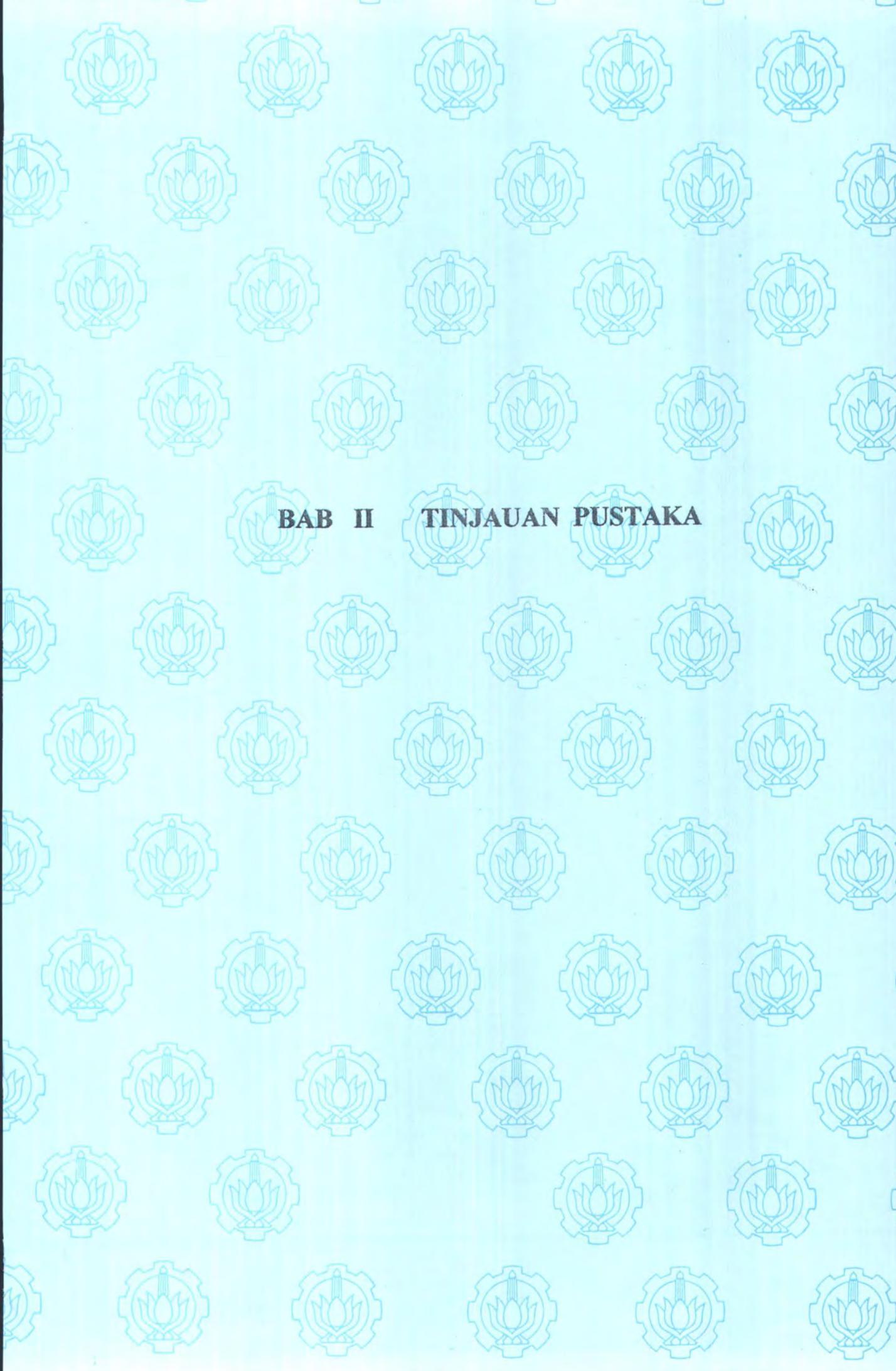
penghasil asap untuk visualisasi, kamera berkecepatan tinggi, benda uji) dan metode kerja yang digunakan.

#### 4. BAB IV ANALISA HASIL EKSPERIMEN

Bab ini berisi tentang hasil-hasil eksperimen dan pengolahan data-data yang didapat, baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif (visualisasi).

#### 5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab penutup ini terdiri dari dua sub bab, yaitu kesimpulan dari hasil analisa eksperimen dan saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut.



**BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**



**BAB II    TINJAUAN PUSTAKA**

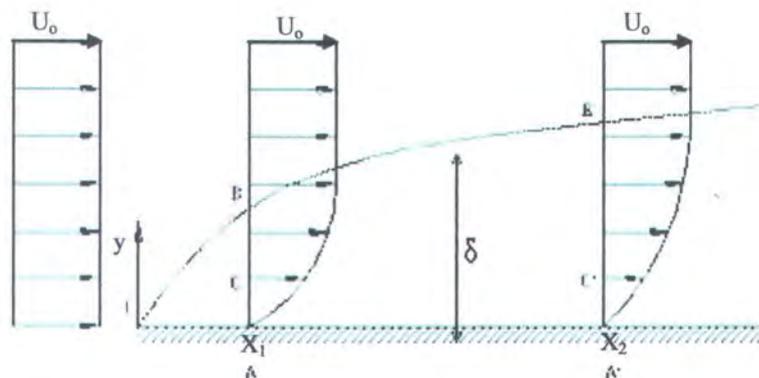
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Landasan Teori

#### II.1.1 Konsep lapis batas (Boundary layer)

Fluida ditinjau dari pengaruh viscositasnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu aliran *viscous* (*viscous flow*) dan aliran *non viscous* (*inviscid flow*). Untuk aliran *inviscid*, efek viscositas fluida dapat diabaikan, sehingga akan didapatkan kecepatan yang uniform pada profil kecepatannya. Aliran *viscous* adalah aliran fluida dimana efek viscositas harus diperhitungkan. Efek viscositas dapat diamati pada aliran fluida yang melintas diatas permukaan benda mengakibatkan gesekan dengan permukaan dan kecepatan fluida adalah nol pada titik persinggungan dengan permukaan padat. Adanya gradien kecepatan tersebut timbul lapis batas *boundary layer* dari dasar permukaan sampai dengan kecepatan fluida mencapai 99% dari kecepatan *freestream*. Didalam *boundary layer*, adanya gradien kecepatan tersebut membangkitkan tegangan geser, sehingga memperlambat aliran.

Pengaruh gesekan dengan permukaan berkurang dengan semakin jauh lokasi dari permukaan. Dengan Bergeraknya lapis batas sepanjang benda tersebut, aksi tegangan geser yang terus-menerus cenderung memperlambat partikel-partikel fluida akan menyebabkan bertambah tebalnya lapis batas. Gambar 2.1 menggambarkan efek viskositas fluida pada aliran yang melalui pelat datar yang menimbulkan perkembangan *boundary layer*.



Gambar 2.1 Aliran incompressible viscous yang laminar diatas suatu bidang datar

Dari gambar 2.1 terlihat bahwa  $u = u(y)$ , dan pada  $y = 0$ ,  $u = 0$ . Perubahan ini berlangsung terus hingga suatu jarak  $y$  tertentu yang memiliki  $u = 0,99 U_0$ , dimana daerah dari permukaan pelat hingga lokasi tersebut dinamakan *boundary layer*. Di dalam *boundary layer* efek viskositas fluida sangat berpengaruh pada aliran fluida. Untuk *boundary layer* laminar, tegangan geser yang terjadi diberikan dengan persamaan 2.1.

$$\tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(2.1)$$

## II.1.2 Aliran Laminar dan Turbulen

*Boundary layer* pada permukaan padat berkembang dimulai dari ujung pelat (*leading edge*). Pada awalnya, *boundary layer* masih tipis, dimana partikel-partikel bergerak secara berlapis-lapis, dan lapisan batas yang terjadi disebut *laminar boundary layer*. Semakin jauh fluida bergerak dari ujung pelat, lapisan batas akan semakin berkembang dan aliran lapis batas akan berubah mendekati turbulen melalui kondisi transisi. Semakin jauh dari ujung pelat, aliran fluida tidak stabil dan terjadi pergolakan gerakan partikel sehingga terjadi pertukaran energi antar partikel yang lebih kuat. Aliran ini adalah aliran lapis batas turbulen.

Aliran lapis batas turbulen adalah aliran lapis batas dengan gerakan kompleks. Profil kecepatan untuk aliran turbulen diatas pelat datar lebih penuh atau tumpul dibandingkan dengan profil kecepatan aliran laminer. Pada kondisi freestream yang sama, momentum flux didalam *boundary layer* (lapis batas) turbulen lebih besar dari pada aliran lapis batas laminer.

Persamaan *displacement thickness* dan *momentum thickness* adalah :

$$\delta^* = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\theta = \int_0^{\infty} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy \dots\dots\dots (2.3)$$

Sedangkan *shape factor* adalah perbandingan *displacement thickness* terhadap *momentum thickness* dan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$H = \frac{\delta^*}{\theta} \dots\dots\dots (2.4)$$

Persamaan integral momentum adalah :

$$\frac{\tau_w}{\rho} = \frac{d}{dx} (U^2 \theta) + \delta^* U \frac{dU}{dx} \dots\dots\dots (2.5)$$

(Fox and Mc Donald, 1994)

Persamaan (2.5) tersebut berlaku untuk aliran *laminar* maupun *turbulen* dengan asumsi: aliran *steady*, *incompressible*, dua dimensi dan tanpa gaya body.

Kecepatan gesek atau *friction velocity* ( $u^*$ ) adalah sama dengan akar dari perbandingan tegangan geser dengan rapat massa. Persamaan kecepatan gesek tersebut dapat ditulis dalam persamaan:

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana persamaan tegangan geser adalah :

$$\tau_w = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \dots\dots\dots(2.7)$$

Sedangkan untuk ketinggian tak berdimensi, kedalaman alur tak berdimensi dan waktu tak berdimensi dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$y^+ = y u^* / \nu \dots\dots\dots(2.8)$$

$$d^+ = d u^* / \nu \dots\dots\dots(2.9)$$

$$t^+ = t u^{*2} / \nu \dots\dots\dots(2.10)$$

### II.1.3 Intensitas Turbulensi

Perbedaan secara kuantitas dari fisik aliran laminar dan turbulen di peroleh dengan mengukur kecepatan menggunakan alat ukur dengan kepekaan tinggi di dalam suatu aliran. Untuk aliran laminar tunak kecepatan pada satu titik tetap konstan terhadap waktu. Sedangkan pada aliran turbulen jejak kecepatan berfluktuasi secara cepat. Kecepatan  $u$  dapat dituliskan sebagai penjumlahan kecepatan rata-rata terhadap waktu  $\bar{u}$  dengan komponen fluktuasi  $u'$  (Fox and McDonald, 1994).

Intensitas turbulensi dapat dihitung sebagai berikut :

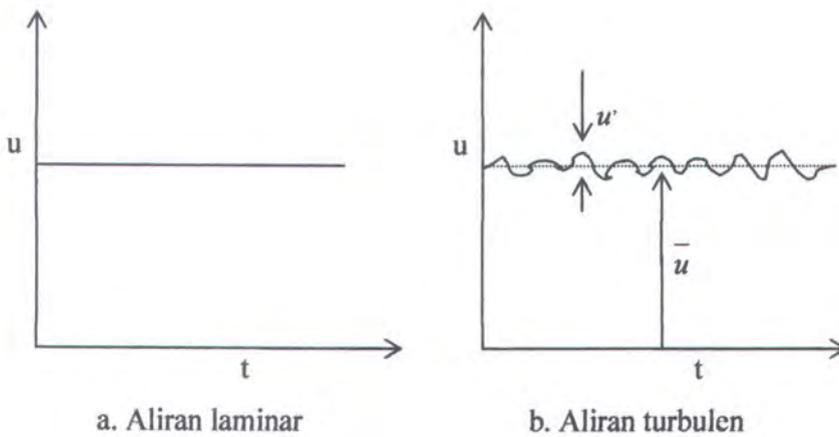
$$\overline{(u')^2} = \lim_{n \rightarrow \infty} (1/n) \sum_{i=1}^n u_i'^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Akar rata-rata kuadrat dari kuantiti ini dinamakan intensitas turbulensi.

Sedangkan kecepatan rata-rata ( $U_{\text{mean}} = \bar{u}$ ) adalah :

$$u_{\text{mean}} = \bar{u} = \lim_{n \rightarrow \infty} (1/n) \sum_{i=1}^n u_i \dots \dots \dots (2.12)$$

Pada gambar 2.2 tampak perbedaan aliran laminar dan aliran turbulen. Pada aliran turbulen kecepatan aliran merupakan fungsi waktu dimana  $u = (u' + \bar{u})$ , sedangkan pada aliran laminar kecepatan aliran stabil



Gambar 2.2 Variasi kecepatan aksial dengan waktu.

#### II.1.4. Gaya hambat (Drag)

Benda yang terbenam dalam aliran fluida yang bergerak (*immersed bodies*) akan mengalami gaya-gaya akibat interaksi dengan fluida. Gaya yang ditimbulkan ini diakibatkan oleh *normal stress* (tegangan normal) akibat dari tekanan dan *shear stress* (tegangan geser) yang disebabkan oleh viskositas fluida. Pada aliran dua

dimensi, gaya-gaya yang sejajar dengan aliran fluida disebut *drag forces* (gaya hambat).

Gaya hambat yang terjadi dapat berupa *skin friction drag* ( $F_{df}$ ) yaitu gaya hambat yang menyinggung permukaan secara tangensial yang timbul sebagai akibat adanya viskositas (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda) dan *pressure drag* ( $F_{dp}$ ) yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Resultan antara *friction drag* dan *pressure drag* ini disebut sebagai *profile drag* (gaya hambat total). Maka gaya hambat yang terbentuk dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F_d = F_{df} + F_{dp} \dots\dots\dots(2.13)$$

#### II.1.4.1. Koefisien Drag

Biasanya gaya hambat sering diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi yaitu *koefisien drag* ( $c_d$ ) yang didefinisikan sebagai *total drag force* dibagi dengan  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_o^2 \cdot A$  atau :

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_o^2 \cdot A} \dots\dots\dots(2.14)$$

Biasanya gaya hambat sering diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi yaitu *koefisien drag* ( $C_d$ ) yang didefinisikan sebagai *total drag force* dibagi dengan  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_o^2 \cdot A$  atau :

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_o^2 \cdot A} \dots\dots\dots(2.15)$$

#### II.1.4.2. Koefisien Tekanan

Distribusi tekanan yang terjadi pada kontur benda juga dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan,  $C_p$ ,

adalah selisih antara tekanan statis lokal dan tekanan statis *freestream* dibagi dengan tekanan dinamis.

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_o^2} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana:  $p$  = tekanan statis lokal  
 $p_\infty$  = tekanan statis *freestream*

### II.1.4.3. Tegangan Geser Pada Dinding

Tegangan geser merupakan parameter yang paling penting dalam studi tentang dinamika fluida (*fluid dynamics*). Dalam aplikasi aerodinamis tegangan geser berperan sangat dominan pada *total drag*. Oleh karena itu, diperlukan estimasi dan perhitungan tegangan geser yang akurat, karena tegangan geser memegang peranan penting untuk mendapatkan *total drag force*. Dalam tugas akhir ini digunakan 3 metode untuk menghitung besarnya tegangan geser pada dinding, yaitu :

#### a) Metode *Clauser Chart/Log Law*

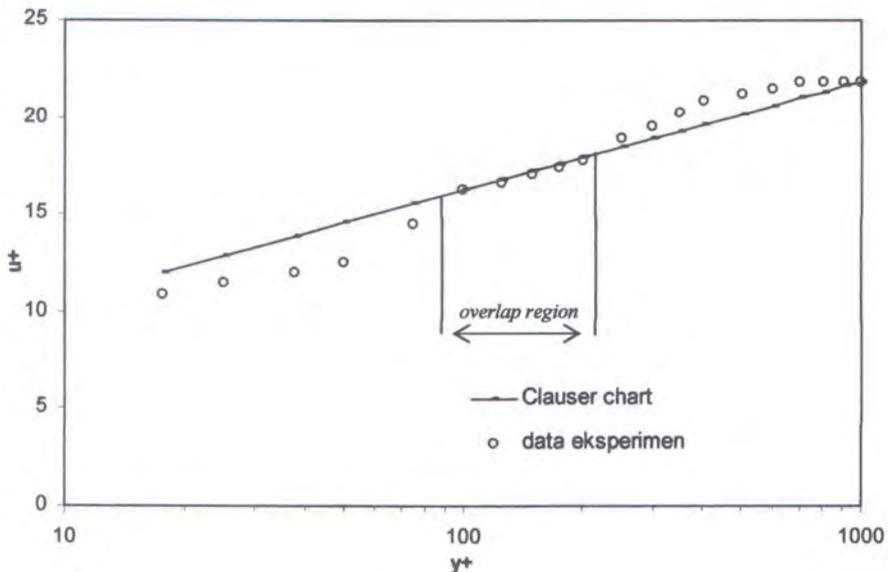
Beberapa metode untuk meramalkan tegangan geser pada dinding berdasarkan profil kecepatan rata-rata didalam *turbulent boundary layer* sudah banyak dikemukakan di penelitian-penelitian. metode yang paling umum digunakan adalah metode *Clauser chart*. Metode ini mengasumsikan profil kecepatan rata-rata pada *overlap region*. Dimana profil kecepatan rata-rata di daerah ini akan mempunyai distribusi yang linier jika diplot pada  $u^+ = u/u^*$  fungsi  $y^+ = u^*.y/v$

dengan  $y^+$  dalam skala logaritmik. Pemahaman diatas dilustrasikan pada gambar 2.3. Bentuk tipikal dari *Clauser chart plot* dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$\frac{u}{u^*} = \frac{1}{K} \ln\left(\frac{u^* y}{\nu}\right) + B \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana  $K = 0,41$  adalah konstanta Karman, dan  $B = 4,9$ .

Dari metode ini akan didapatkan *friction velocity*  $u^*$  yang nantinya digunakan untuk menentukan besarnya tegangan geser pada dinding menggunakan persamaan (2.6)



**Gambar 2.3** Pendekatan *Log law* terhadap profil kecepatan.

b) Metode *Momentum Deficiency*

Distribusi *momentum thickness* juga dapat digunakan untuk mengestimasi koefisien *skin friction* sepanjang dinding permukaan. Profil kecepatan rata-rata yang di plot dalam  $u/U_o$  fungsi  $y/\delta$  didekati dengan *Power law* sehingga berhimpit pada

*overlap region* untuk mendapatkan persamaan profil kecepatan rata-rata, dimana persamaannya sebagai berikut :

$$u/U_o = (y/\delta)^{1/n} \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana harga  $n$  ditentukan sehingga plot persamaan tersebut berhimpit seperti gambar 2.3. Sedangkan untuk menentukan *momentum thickness* menggunakan persamaan 2.3.

Dari persamaan 2.18 dan 2.3 diperoleh hubungan antara *momentum thickness* dengan  $n$  dan  $\delta$ , yaitu :

$$\theta = \frac{n\delta}{n^2 + 3n + 2} \dots\dots\dots(2.19)$$

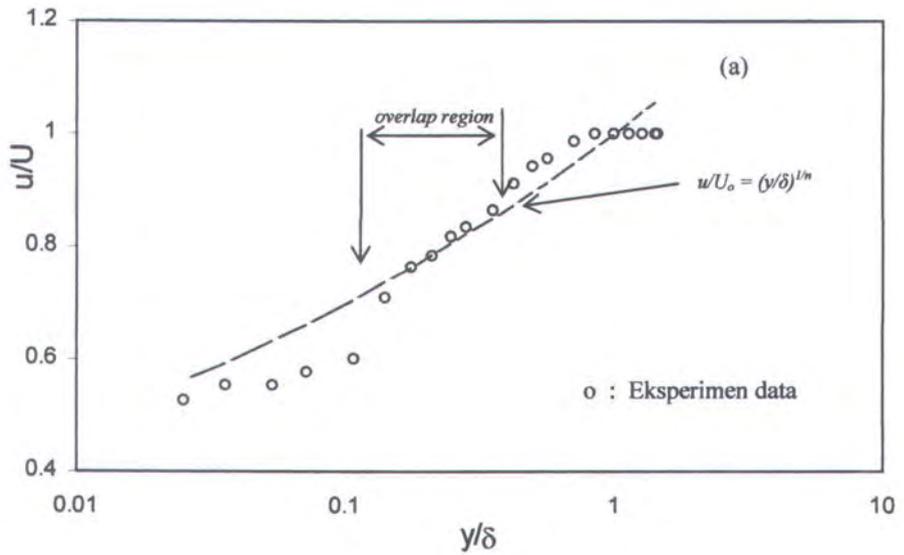
sehingga dari persamaan 2.19 dapat diperoleh besarnya *momentum thickness* sepanjang pelat datar ( $\theta = f(x)$ ) seperti terlihat pada gambar 2.5. Harga  $C_f$  dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_f = 2 \left\{ \frac{d\theta}{dx} + (H + 2) \frac{\theta}{U_\infty} \frac{dU_\infty}{dx} \right\} \dots\dots\dots(2.20)$$

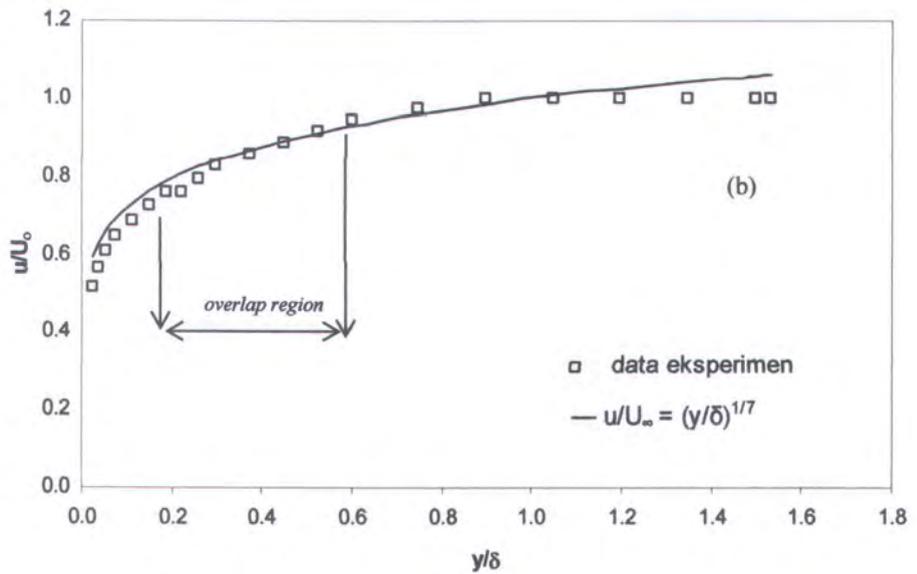
dimana  $H = \delta^*/\theta$ , adalah kecepatan *shape factor* dan  $\delta^*$  adalah *displacement thickness*, yang dirumuskan seperti pada persamaan 2.2. Untuk menentukan *displacement thickness* sama halnya dengan cara menentukan *momentum thickness*, yaitu mendapatkan hubungan antara *displacement thickness* dengan  $n$  dan  $\delta$  (dari persamaan 2.18 dan 2.2). Dari harga *momentum thickness* dan *displacement thickness* maka dapat ditentukan besarnya *shape factor*.

Koefisien *skin friction* yang terjadi didalam *boundary layer* tanpa *pressure gradient* dapat dihitung dengan persamaan 2.20 yang disederhanakan menjadi :

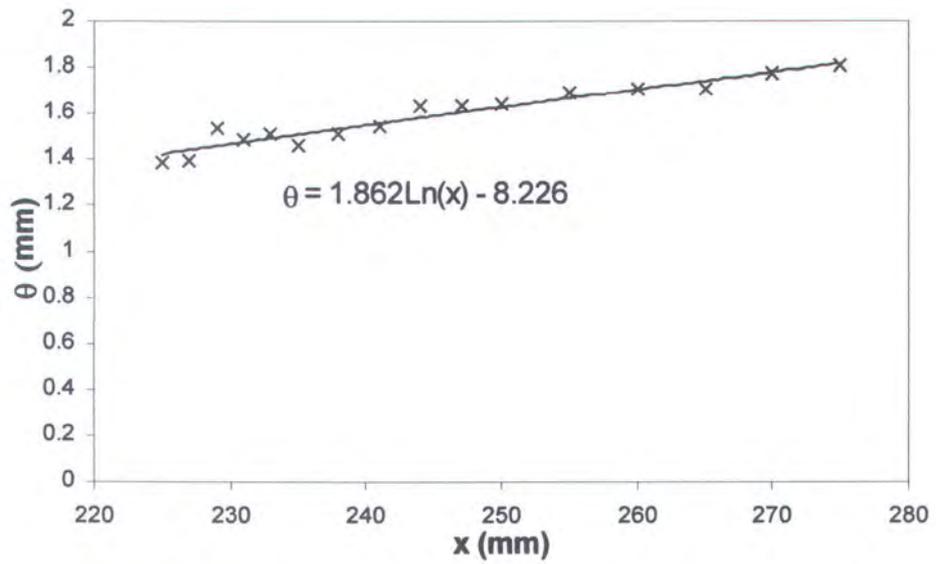
$$C_f = 2d\theta/dx \dots\dots\dots(2.21)$$



Gambar 2.4.a Pendekatan Power law terhadap profil kecepatan (semi log plot).



Gambar 2.4.b Pendekatan Power law terhadap profil kecepatan (normal plot).



Gambar 2.5. Distribusi *momentum thickness* sepanjang jarak  $x$ .

c) Metode *Preston Tube*

Perhitungan tegangan geser pada dinding menggunakan metode *Preston tube* pertama kali di temukan oleh Preston (1954). Preston memberikan hubungan persamaan tak berdimensi sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p d_p^2}{\rho v^2} = F \left[ \frac{d_p^2 \tau_w}{\rho v^2} \right] \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana  $\Delta p$  adalah perbedaan antara *total pressure* pada dinding dengan *static pressure*.

Hubungan  $F$  pada persamaan 2.22 telah di tentukan oleh Patel (1965). Persamaan ini hanya berlaku pada tiga harga interval *Reynolds number*, persamaan tersebut adalah :

$$1. y^* = 0,50x^* + 0,037 \dots\dots\dots(2.23a)$$

$$y^* < 1,5 \text{ dan } u^*d/2v < 5,6$$

$$2. y^* = 0,8287 - 0,1381x^* + 0,01437(x^*)^2 - 0,0060(x^*)^3 \dots\dots\dots(2.23b)$$

$$1,5 < y^* < 3,5 \text{ dan } 5,6 < u^*d/2\nu < 55$$

$$3. x^* = y^* + 2 \log_{10} (1,95y^* + 4,10) \dots\dots\dots(2.23c)$$

$$3,5 < y^* < 5,3 \text{ dan } 55 < u^*d/2\nu < 800$$

dimana  $x^* = \log_{10} \left( \frac{\Delta p d_p^2}{4\rho\nu^2} \right)$  dan  $y^* = \log_{10} \left( \frac{\tau_w d_p^2}{4\rho\nu^2} \right)$

Bechert (1995) memberikan persamaan kalibrasi *Preston tube* secara umum adalah sebagai berikut :

$$\tau^+ = [28,44(\Delta p^+)^2 + 6,61 \cdot 10^{-6}(\Delta p^+)^{3,5}]^{1/4} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana

$$\tau^+ = \left( \frac{\tau_w d_p^2}{\rho\nu^2} \right) \dots\dots\dots(2.25)$$

dan  $\Delta p^+ = \left( \frac{\Delta p d_p^2}{\rho\nu^2} \right) \dots\dots\dots(2.26)$

Persamaan ini lebih mudah digunakan, oleh karena itu persamaan Bechert ini lebih disukai daripada persamaan yang diberikan oleh Patel.

Selain tiga metode yang telah dijelaskan diatas, estimasi tegangan geser (dinyatakan dalam koefisien *skin friction*) yang terjadi pada pelat datar juga dihitung dari harga *Reynolds number* berdasarkan jarak pada pelat ( $Re_x$ ). Hubungan antara *Reynolds number* dengan koefisien *skin friction* untuk turbulen boundary layer dapat ditulis sebagai berikut :

$$C_f = \frac{0.0594}{Re_x^{1/5}} \dots\dots\dots(2.27)$$

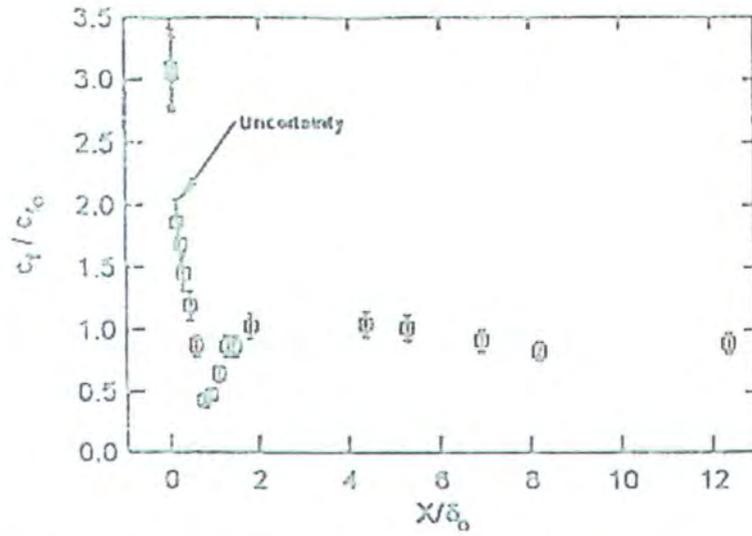
( Fox & Mc Donald,1985)

## II.2 Penelitian Sebelumnya

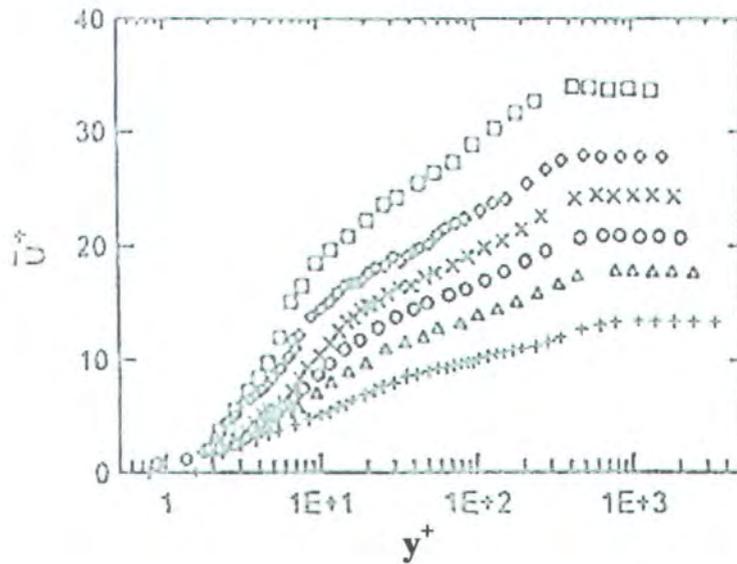
### II .2.1 Pengaruh Alur bujursangkar Terhadap *Boundary layer*

Pearson dkk (1995) mempelajari aliran laminar dan *turbulen boundary layer* melalui pelat datar dengan satu alur (*single groove*). Penelitian dilakukan di dalam *water tunnel* dengan head yang konstan, dimana aliran transisi terjadi pada jarak 100 mm dari kontraksi *outlet water tunnel* menggunakan *pebble strip*. Panjang benda uji 2000 mm dan tebal 20 mm. Alur bujursangkar berukuran panjang 5 mm dan kedalaman 5 mm, berjarak 900mm dari *pebble strip*. Kecepatan freestream 0,4 m/s untuk *turbulen boundary layer* dan 45 mm/s untuk *laminar boundary layer*. Kecepatan diukur menggunakan LDV, sedangkan untuk proses sinyal *photomultiplier* digunakan *Burst Spectrum Analyzer*.

Hasil yang dicapai dari percobaan ini menunjukkan kenaikan harga koefisien friksi ( $C_f / C_{f0}$ ). Kenaikan  $C_f / C_{f0}$  ini diakibatkan karena adanya negative pressure gradient (Pearson dkk,1995) seperti pada gambar 2.6. Hasil lain yang didapat adalah profil kecepatan rata rata  $\bar{u}^+ = \bar{u}/u^*$ , pada beberapa jarak  $x/\delta$  yang merupakan fungsi ketinggian  $y^+ = y u^* / \nu$  (gambar 2.7). Dari hasil itu terlihat bahwa  $\bar{u}^+$  belum terpengaruh oleh alur pada  $x/\delta = -2$  (sebelum terjadi alur). Pada  $x/\delta = 0,036$  profil  $\bar{u}^+$  mempunyai harga paling rendah yang disebabkan harga koefisien skin friksi paling paling besar. Pada  $x/\delta = 0,91$  profil  $\bar{u}^+$  mempunyai harga paling tinggi yang disebabkan harga koefisien skin friksi paling kecil.



Gambar 2.6 Perkembangan pada *skin friction coefficient* dengan  $R_\theta = 1320$  (Pearson dkk, 1995).



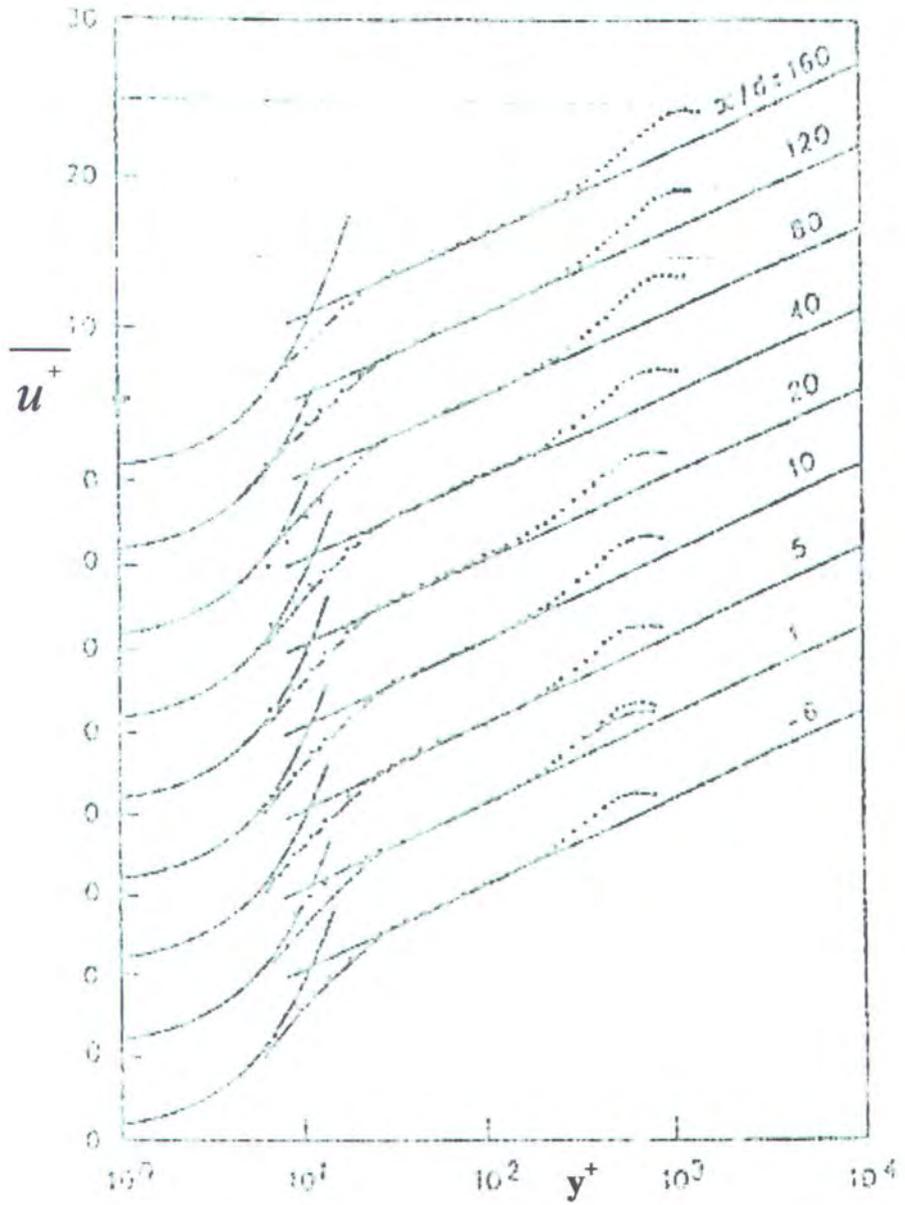
Gambar 2.7 Profil kecepatan rata-rata turbulen  $\circ$ ,  $x/\delta = -2,0$   $+$ ,  $x/\delta = 0,036$   $\Delta$ ,  $x/\delta = 0,292$   $\diamond$ ,  $x/\delta = 0,91$   $\diamond$ ,  $x/\delta = 1,09$   $\times$ ,  $x/\delta = 6,92$ , (Pearson dkk, 1995).

## II. 2.2 Kemungkinan pengurangan drag dengan menggunakan pelat datar beralur tipe d

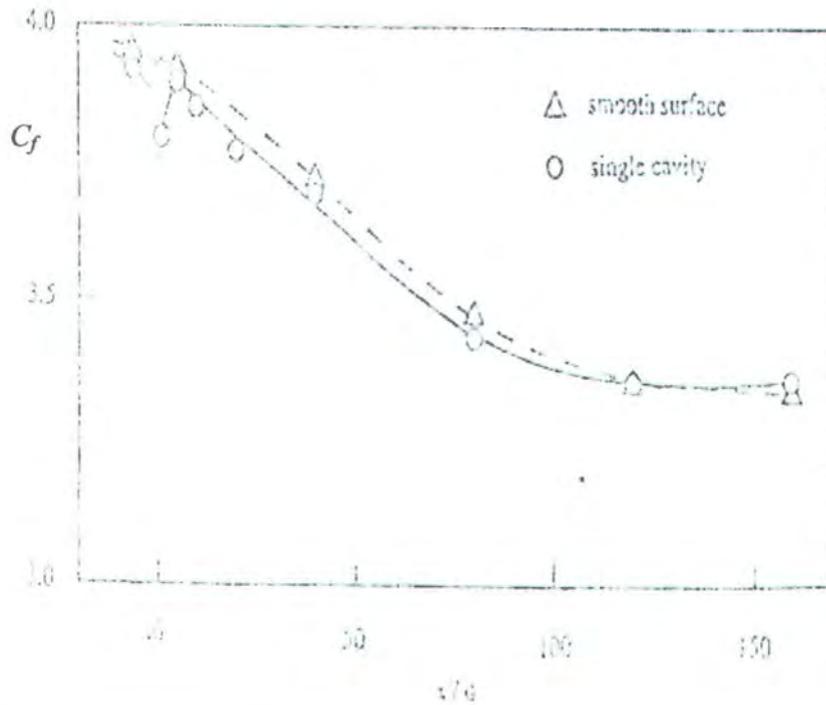
Pada percobaan ini, Choi dan Fujisawa (1993) menggunakan pelat datar yang terdapat dua alur bujur sangkar (alur bujursangkar). Alur yang pertama berukuran  $10 \text{ mm}^2$  yang terletak  $1,15 \text{ m}$  dari leading edge adalah untuk pengukuran kecepatan rata-rata dan intensitas turbulen, sedangkan alur yang kedua berukuran  $25 \text{ mm}$  persegi yang terletak  $4,55 \text{ m}$  dari leading edge adalah untuk visualisasi. Percobaan ini dilakukan di dalam wind tunnel kecepatan rendah. Wind tunnel ini mempunyai test section sepanjang  $6 \text{ m}$ , lebar  $1,22 \text{ m}$ . Untuk memastikan terjadi transisi maka di pasang pebble strip di leading edge. Alat pengukur kecepatan adalah hot-wire type DISA 55 M. Kecepatan freestream untuk pengukuran dengan hot-wire di set  $U_o = 7 \text{ m/s}$  sedangkan untuk visualisasi kecepatan  $2 \text{ m/s}$ .

Dari hasil penelitian ini profil kecepatan rata-rata ( $\bar{u}^+$ ) pada gambar 2.8. Pada  $x/d = -6$  besarnya profil kecepatan hampir sama dengan hasil pada permukaan halus. Hasil untuk koefisien skin friksi  $C_f$  sebagai fungsi jarak  $x/d$  dapat dilihat pada gambar 2.9. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa koefisien skin friksi melalui pelat datar yang halus dan juga pelat yang beralur, terjadi penurunan ketika melewati alur sampai jarak  $x/d = 100$ .

Hasil penelitian juga ( $u/U_o$ ) menunjukkan intensitas turbulensi dari boundary layer diatas alur ( $x/d = -0,5$ ) lebih besar bila dibandingkan dengan yang pelat halus. Hal ini disebabkan pengaruh pencampuran lapisan turbulen yang berkembang dari bibir alur di daerah upstream. Setelah melewati alur intensitas turbulensi ( $u'/U_o$ ) berkurang sebesar  $10 \%$  relatif terhadap permukaan halus.



Gambar 2.8 Profil kecepatan rata-rata tak berdimensi terhadap ketinggian tak berdimensi (Choi dan Fujisawa, 1993).

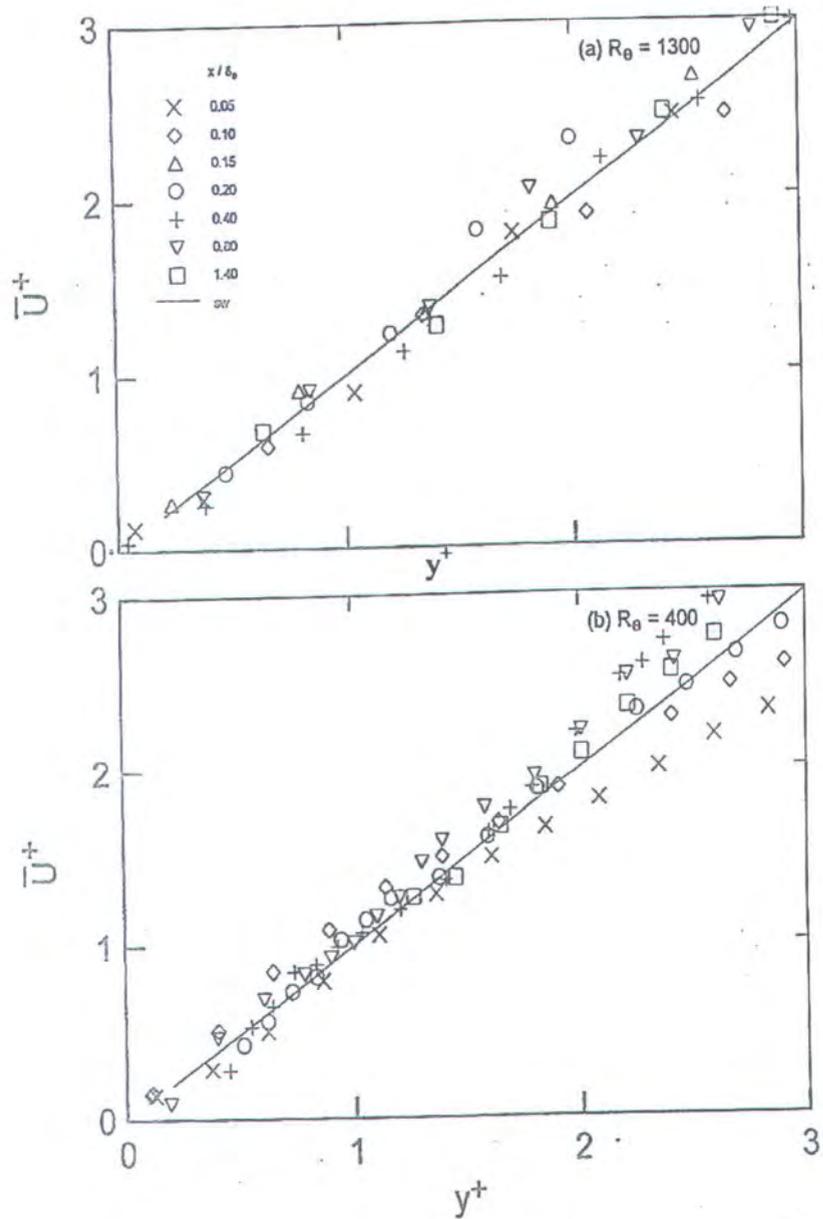


Gambar 2.9 Penurunan *skin friction coefficient* (Choi dan Fujisawa, 1993)

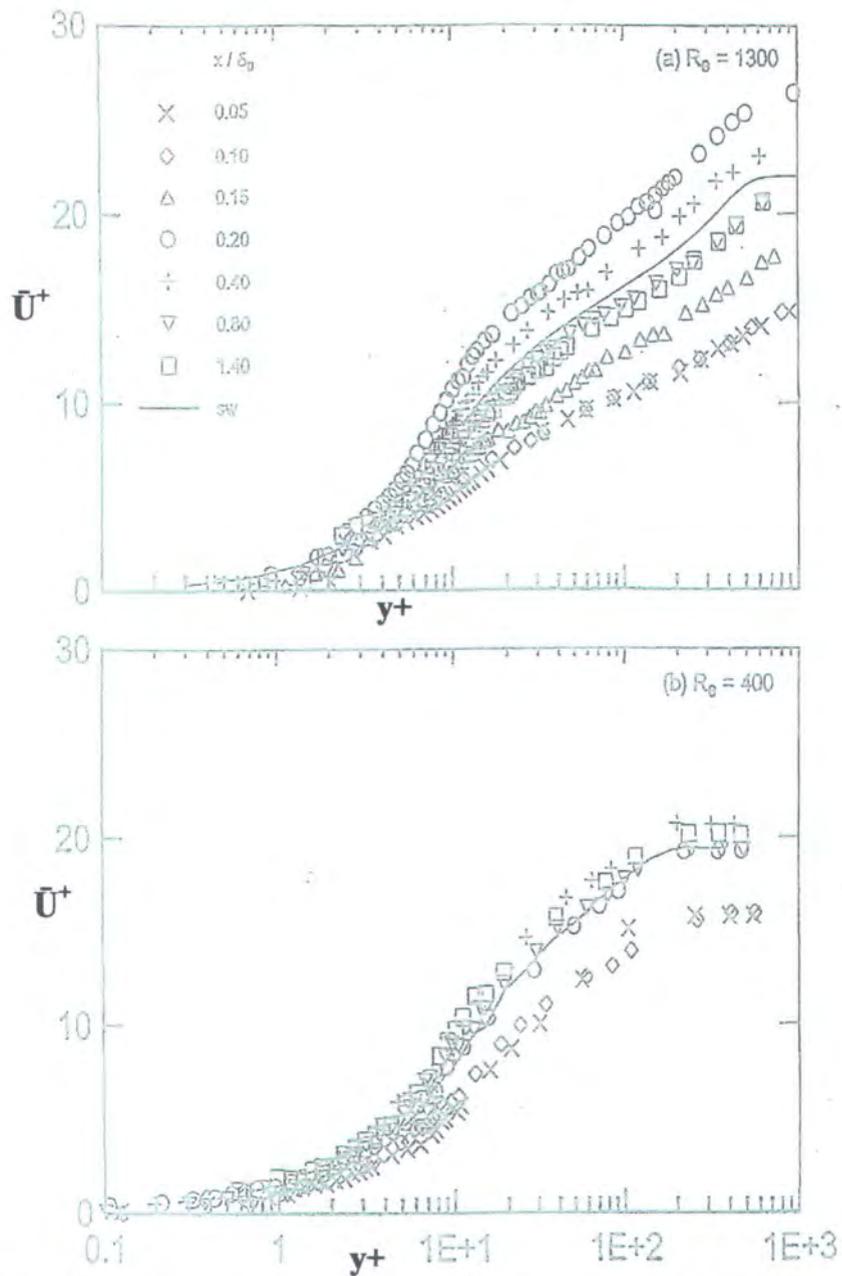
### II.2.3. Turbulen *Boundary layer* yang melewati *smooth wall* dengan *Transverse Square cavities*

Penelitian tentang aliran turbulen di atas pelat datar dengan alur bujur sangkar pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya seperti Elavarasan dkk (1996), pada dua harga *momentum thickness Reynolds numbers* ( $R_\theta = 400$  dan  $R_\theta = 1300$ ). Pada specimen dipasang 20 alur yang ditempatkan dalam arah streamwise dengan perbandingan  $s/w = 20$  untuk menentukan karakteristik *boundary layer* turbulen di atas *sparse d-type surface*.

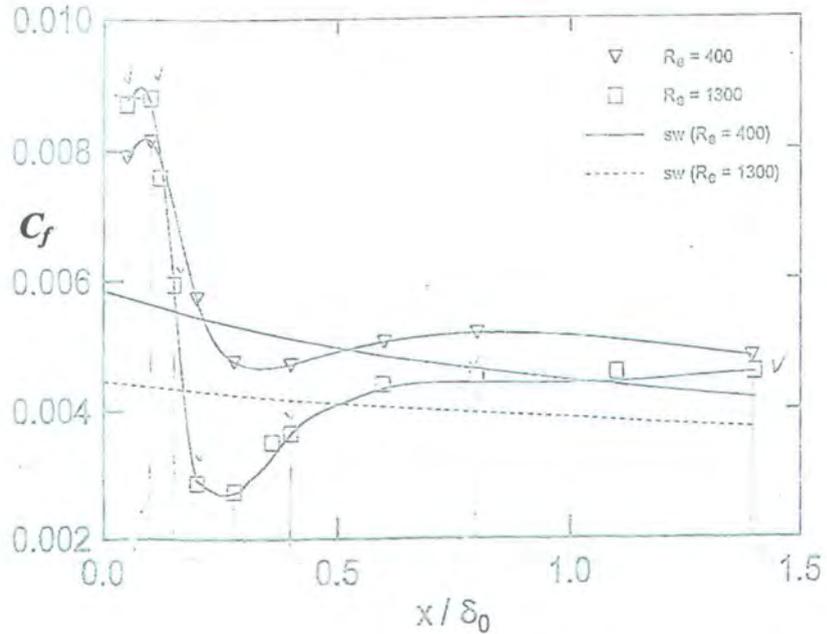




Gambar 2.30 Distribusi kecepatan rata-rata tak berdimensi terhadap ketinggian tak berdimensi dekat dinding (Elavarasan dkk, 1996).



Gambar 2.31 Distribusi kecepatan rata-rata tak berdimensi terhadap ketinggian tak berdimensi (Elavarasan dkk, 1996).

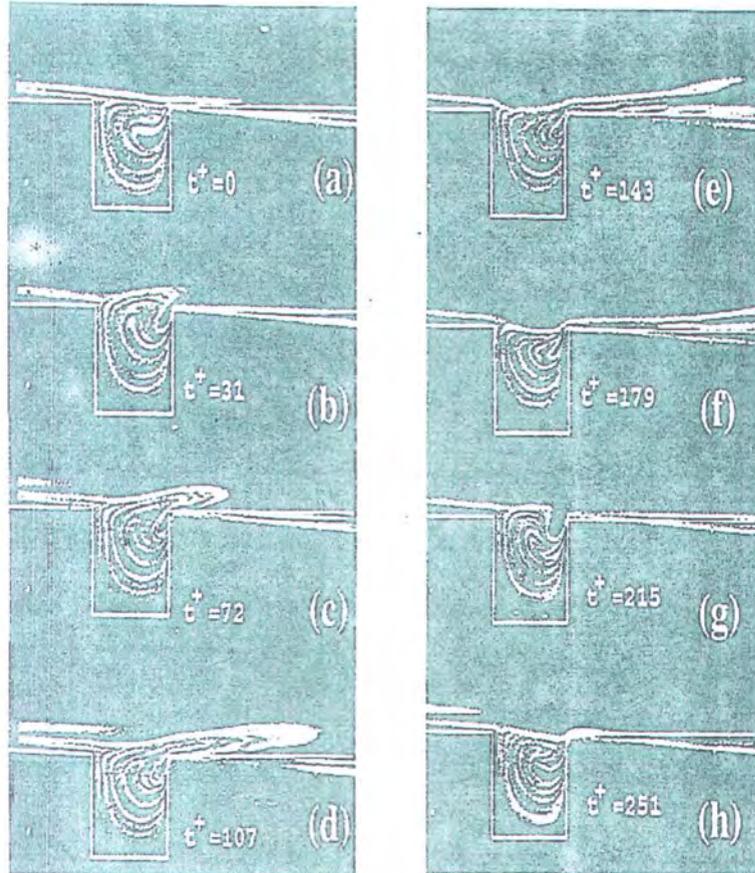


Gambar 2.32 Distribusi koefisien gesek terhadap  $x/\delta$  (Elavarasan dkk,1996).

Sedangkan visualisasi aliran dilakukan dengan *Laser Induced Fluorescence* (LIF) untuk menguji interaksi diantara aliran didalam alur dan aliran diluar alur. LDV sangat berguna untuk menghitung kecepatan dekat dinding sehingga *shear stress* di dinding dapat diestimasi dengan rata-rata gradien kecepatan. Hasil yang dicapai dari pengukuran kecepatan ini dapat dilihat seperti gambar 2.30 dan 2.31 untuk masing-masing  $R_\theta = 400$  dan 1300. Sedangkan *skin friction coefficient* dapat dilihat pada gambar 2.32.

Visualisasi aliran dilaksanakan pada  $R_\theta = 600$ . Dari hasil visualisasi ini terlihat adanya pertukaran fluida di dalam alur dan aliran luar (gambar 2.33). Terjadinya *ejection* dari dalam alur dan *inflow* ke dalam alur pada *downstream edge* dari alur. Menurut Elavarasan dkk (1996) terjadinya *ejection* merupakan indikasi

*ejection*. *Quasi streamwise vortices* adalah sirkulasi yang bergerak searah dengan arah aliran.

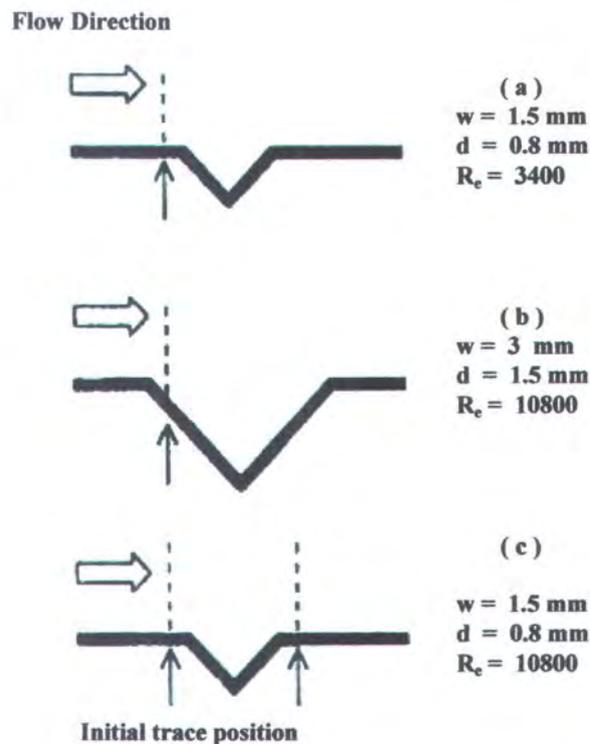


Gambar 2.33 Proses pertukaran fluida didalam alur dan fluida diluar alur (Elavarasan dkk, 1996).

#### II.2.4. The Turbulent boundary layer over single V-shaped grooves.

Penelitian pada pelat beralur segitiga pernah dilakukan oleh Tantrige et. al. (1994). Pada penelitian tersebut digunakan 2 buah ukuran dari alur berbentuk V (segitiga), salah satu alur menggunakan  $R_\theta$  yang berbeda. Alur besar dengan dimensi lebar 3 mm dan kedalaman 1,5 mm, sedangkan untuk alur yang kecil diambil

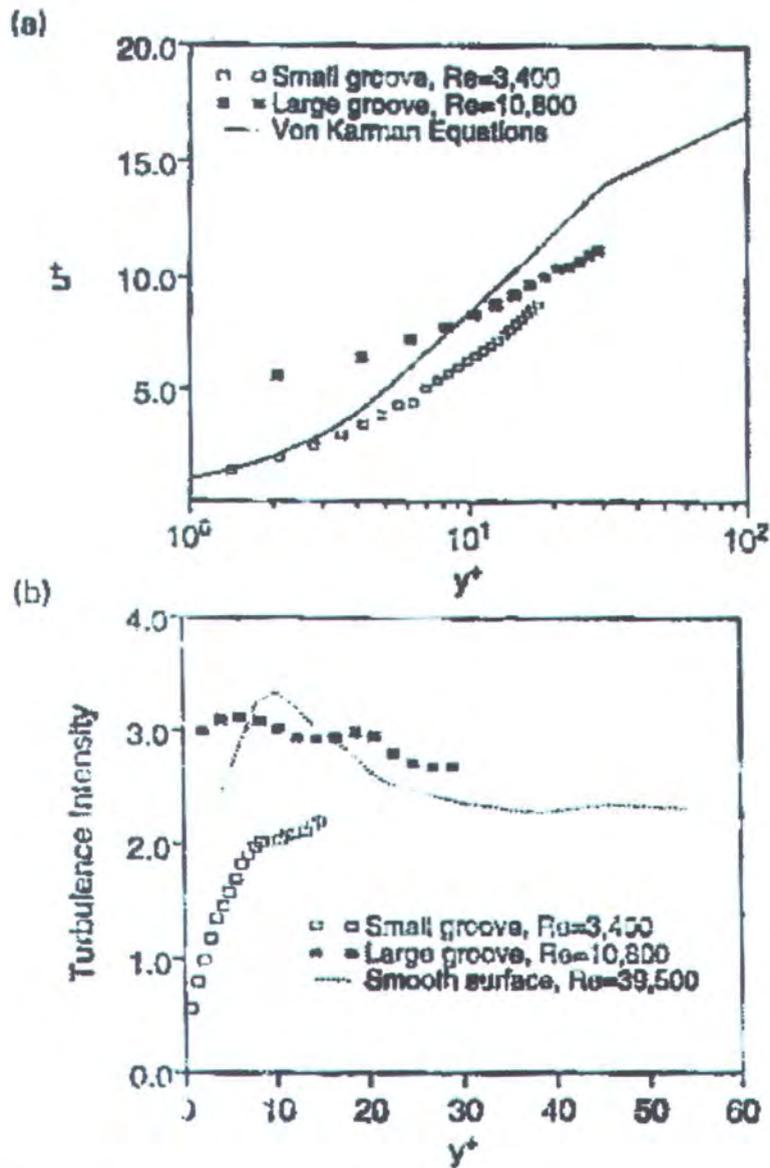
dimensi dengan lebar 1,5 mm dan kedalaman 0,8 mm. Berikut ini merupakan gambar model uji yang digunakan oleh Tantirige et al.



Gambar 2.34. Dimensi benda uji dari Tantirige et al (1994).

Pada alur kecil dengan harga *Reynolds number* ( $Re$ ) 3400 dihasilkan harga *mean velocity* lebih rendah dibandingkan dengan alur besar dengan harga *Reynolds number* ( $Re$ ) 10800. Pada alur kecil dengan harga *Reynolds number* ( $Re$ ) 3400 kenaikan *mean velocity* terhadap ketinggian tak berdimensi sangat tinggi dibandingkan dengan alur besar dengan harga *Reynolds number* ( $Re$ ) 10800 yang relatif landai. Harga *turbulence intensity* yang terjadi pada alur kecil terjadi kenaikan yang sangat tinggi terhadap ketinggian tak berdimensi. Sedangkan harga *turbulence*

*intensity* yang terjadi pada alur besar hampir konstan dan ini hampir mirip dengan harga turbulence intensity yang terjadi pada permukaan halus. Berikut ini grafik hasil penelitian yang dilakukan oleh Tantirige et al.



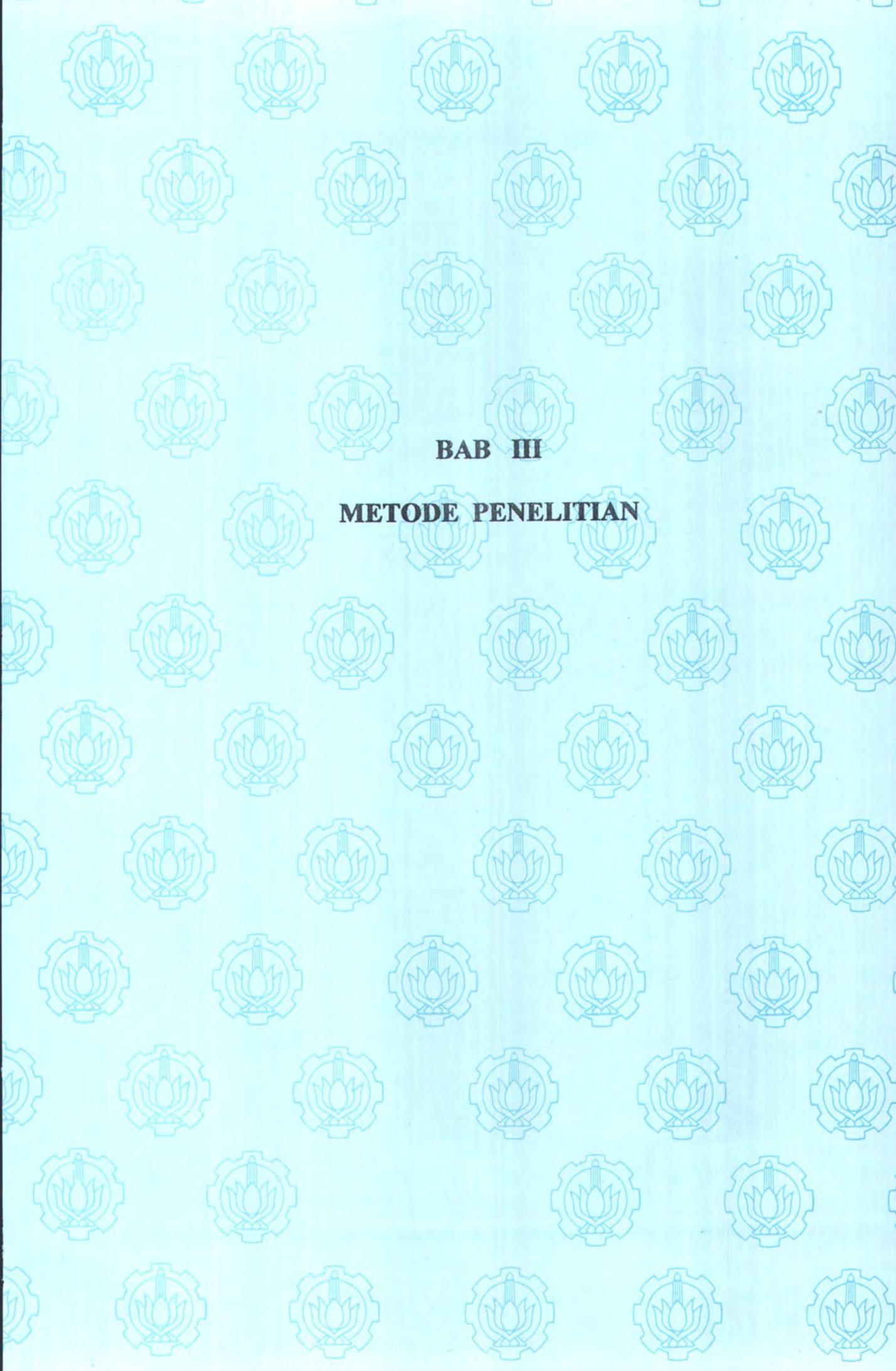
Gambar 2.35. Hasil penelitian Tantirige et al (1994). (a) kecepatan rata-rata ( $u^+$ ) (b) intensitas turbulensi ( $u^{+}$ )

Kondisi dan parameter aliran pada eksperimen yang dilakukan beberapa peneliti pada pelat beralur bujursangkar sebagai berikut :

Parameter	Penelitian sekarang (2005)	Elavarasan dkk, (1996 )	Pearson dkk (1995)	Choi dan Fujisawa (1993)	Tani (1987)
$U_o$ (m/s)	12 & 17m/s	0,4&0,08m/s	0,4 m/s	7 m/s	13 m/s
Reynold number	$R_\theta = 995$ & $R_\theta = 1444$	$R_\theta = 400$ & $R_\theta = 1300$	$R_x = 0.5 \times 10^6$	$R_x = 0.5 \times 10^6$ $R_\theta = 1250$	$R_x = 0.8-4.5 \times 10^6$
$d^+$	100	100	100	210	180
$d/\delta$	0.5	0.125	0.125	0.4	0.24
$d/w$	1	1	1	1	1
Alat ukur	Stagnation pressure tube	LDV	LDV	Hot wire anemometer	Hot wire anemometer
Jenis fluida	udara	air	air	udara	udara
Metode	Clouser-chart	MVG	MVG	Clouser-chart	Clause-chart
Hasil drag terhadap pelat halus		+ 3.4 %	-	- 1%	-

Note : - LDV(Laser Doppler Velocimeter)

-MVG ( Mean Velocity Gradient )



**BAB III**

**METODE PENELITIAN**

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tahapan penelitian mulai dari persiapan pengujian sampai dengan hasil dan kesimpulan. Tahapan tersebut meliputi parameter yang diukur, pemasangan peralatan dan benda uji percobaan, proses pengambilan data, analisa dan kesimpulan.

#### III.1. Parameter yang diukur

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran turbulen diatas pelat datar. Parameter-parameter yang dianggap berpengaruh terhadap karakteristik aliran antara lain : massa jenis ( $\rho$ ), viscositas fluida ( $\mu$ ), kecepatan arus bebas ( $U_o$ ), tegangan geser ( $\tau_w$ ), momentum thickness ( $\theta$ ) tinggi boundary layer ( $\delta$ ), displacement thickness ( $\delta^*$ ), kedalaman alur ( $d$ ), lebar alur ( $w$ ) serta jarak downstream dari alur ( $x$ ). Dari parameter-parameter tersebut, maka berdasarkan analisa dimensi diperoleh kelompok-kelompok tanpa dimensi sebagai berikut;

$$C_f = 2 \frac{\tau_w}{U_o^2} \quad (\text{koefisien friction})$$

$$R_\theta = \frac{U_o \theta}{\nu} \quad (\text{bilangan Reynolds didasarkan pada momentum thickness})$$

$$R_x = \frac{U_o x}{\nu} \quad (\text{bilangan Reynolds didasarkan pada streamwise distance})$$

$$\frac{u^*}{U_o} = \sqrt{\frac{C_f}{2}} \quad (\text{kecepatan gesek lokal})$$

$$y^+ = \frac{y u^*}{\nu} \quad (\text{ketinggian tak berdimensi})$$



$$d^+ = \frac{d u^*}{\nu} \quad (\text{kedalaman tak berdimensi})$$

$$u^+ = \frac{u}{u^*} \quad (\text{kecepatan lokal tak berdimensi})$$

$$t^+ = t \cdot (u^*)^2 / \nu \quad (\text{waktu tak berdimensi})$$

### III.2. Peralatan dan benda uji percobaan

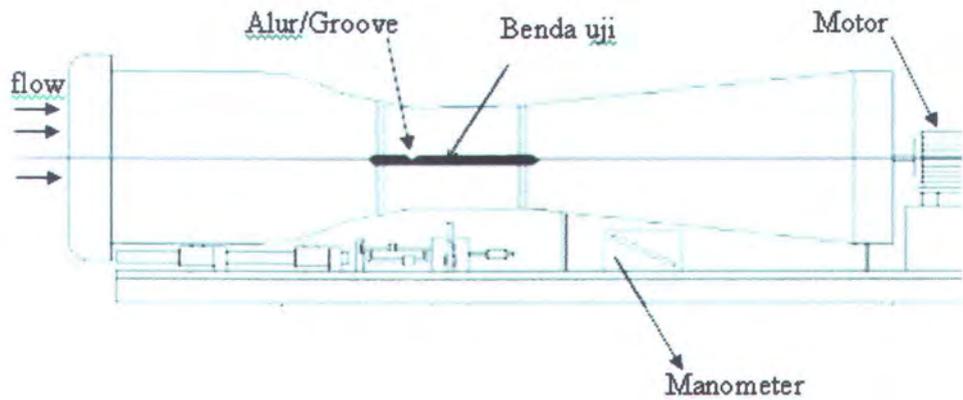
Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini meliputi; wind-tunnel, stagnation pressure tube, micrometer, manometer, high speed camera, smoke generator dan thermometer. Benda uji percobaan terdiri dari tiga pelat datar, dua diantaranya diberi alur tunggal masing-masing berbentuk bujursangkar dan triangular.

#### 3.2.1. Terowongan angin (*Wind Tunnel*)

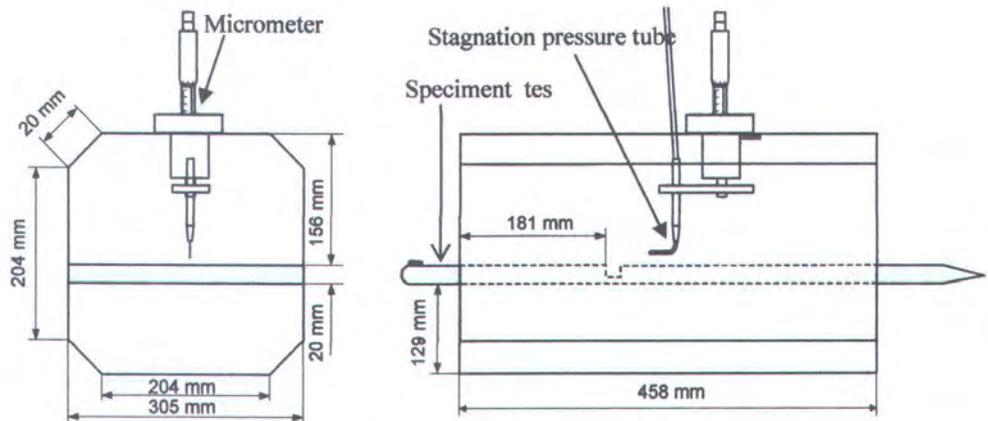
*Wind tunnel* yang digunakan dalam percobaan ini adalah wind tunnel jenis *open circuit*, dimana udara yang dialirkan dalam *wind tunnel* langsung bebas dilepas ke udara bebas setelah melalui work section (gambar 3.1 dan 3.2).

Spesifikasi wind tunnel untuk pengambilan data

- Jenis : Sub Sonic open circuit wind tunnel
- Catu daya listrik : 240 volt/single phase/50 Hz-1.5 KW
- Dimensi total : 2980 x 1830 x 800 mm
- *Working Section* : 300 mm (ortogonal) x 450 mm
- Kecepatan aliran udara maksimum : 20 m/s



Gambar 3.1 Wind Tunnel untuk pengambilan data



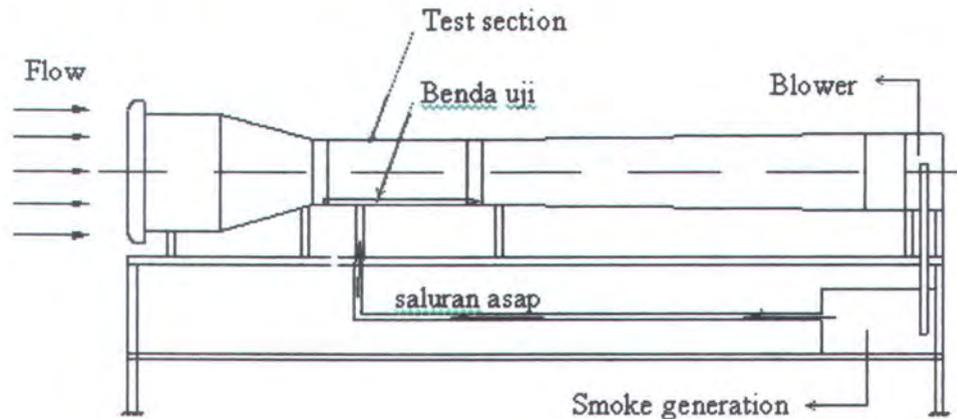
Gambar 3.2. Test section dari wind tunnel

### 3.2.2 Wind tunnel untuk visualisasi

Spesifikasi wind tunnel untuk pengambilan visualisasi

- Jenis : *subsonic, open circuit wind tunnel*
- Bentuk saluran uji : penampang segi empat :
  - tinggi = 15 cm
  - lebar = 30 cm
  - panjang = 60 cm

- Kecepatan aliran udara maximum : 5 m/s



Gambar 3.3. Skema *Wind Tunnel* untuk studi visualisasi

### 3.2.3. Stagnation Pressure Tube

*Stagnation pressure tube* digunakan untuk mengukur kecepatan yang terjadi di atas permukaan benda uji. Alat ini dihubungkan dengan manometer V (skala minimum 1 mm) yang dapat membaca perbedaan tekanan dalam perbedaan ketinggian, dan dari perbedaan ketinggian dikonversikan menjadi kecepatan. Alat ini seperti gambar 3.2.

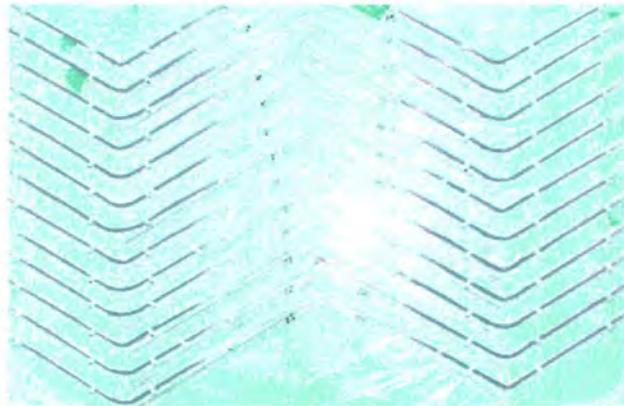
### 3.2.4. Mikrometer

Mikrometer digunakan untuk melakukan pergeseran titik pengukuran kecepatan di atas permukaan pelat (benda uji) dalam arah sumbu y. Alat ukur ini mempunyai skala pengukuran terkecil 10  $\mu\text{m}$  (gambar 3.2).

### 3.2.5. Manometer

Manometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah *inclined manometer* (gambar 3.4) dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Sudut miring :  $30^\circ$
- Pembacaan maksimum : 150 mm
- Pembacaan perbedaan tekanan terkecil : 1 mm
- Ketidakpastian pembacaan tekanan : 0,5 mm
- Fluida pengisi : Red Oil (SG = 0,887)



**Gambar 3.4.** Manometer V.

### 3.2.6. High Speed Camera

Kamera ini digunakan untuk pengambilan gambar pada saat melakukan visualisasi. Alat ini dapat mengambil sampai 8000 gambar perdetik tetapi kenyataan dengan cahaya yang ada pada saat penelitian maksimal gambar 2500 frame/detik. Kemudian dari pengambilan gambar tersebut dapat di *playback* dengan kecepatan yang diinginkan. Jadi alat ini sangat membantu untuk mengetahui perubahan aliran yang terjadi secara detail. Namun demikian, pada penelitian ini diambil gambar sekitar 500 gambar selama 4 detik (125 gambar/detik).

### 3.2.7. Smoke Generator

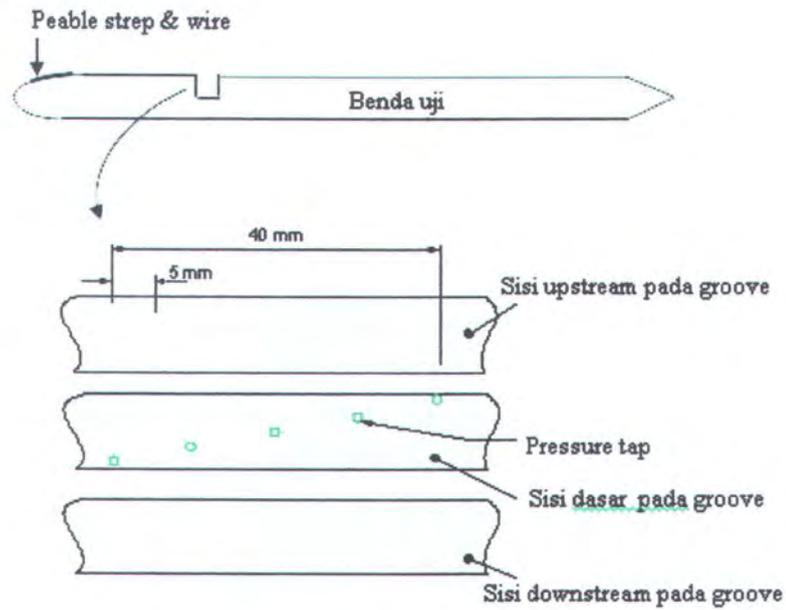
*Smoke generator* digunakan untuk membantu proses visualisasi. Alat ini bekerja dengan menampung dan menyuplai asap yang diperlukan untuk proses visualisasi.

### 3.2.8. Termometer

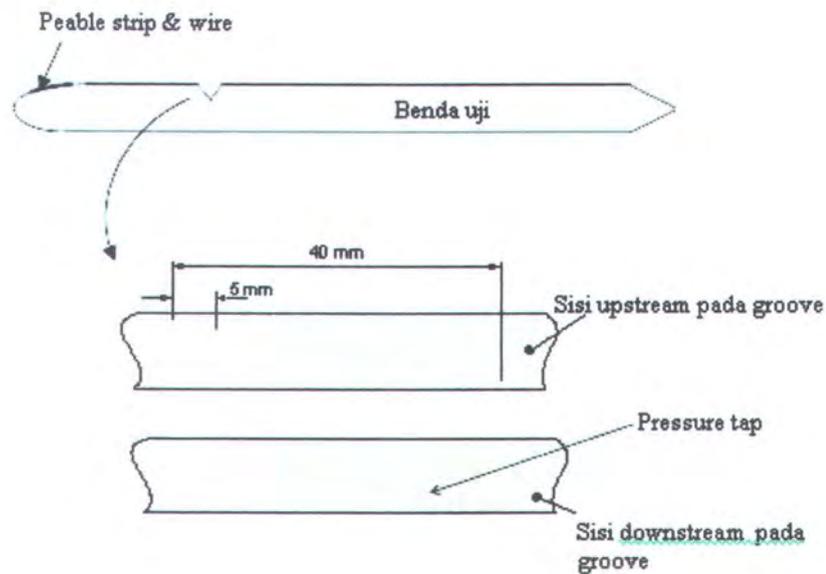
Termometer digunakan untuk mengukur temperatur fluida kerja. Dalam hal ini temperatur udara kerja udara di dalam wind tunnel dianggap sama dengan temperatur ruangan.

### 3.2.9 Benda uji

Benda uji yang digunakan terdiri dari tiga pelat datar, dua diantaranya diberi alur tunggal masing-masing berbentuk bujursangkar dan triangular. Dimensi dari benda uji dapat dilihat pada gambar 1.1 sedangkan profil didalam alur dapat dilihat pada gambar 3.5a & gambar 3.5b, masing-masing untuk alur bujursangkar dan alur segitiga.



Gambar 3.5a. Profil alur pada pelat beralur bujursangkar



Gambar 3.5b. Profil alur pada pelat beralur segitiga

### 3.3 Prosedur Pengambilan Data

Pada penelitian ini proses pengambilan data yang diperlukan dilakukan dengan langkah – langkah berikut ini:

1. Pemasangan benda kerja pada *wind tunnel*.
2. Set up alat ukur dan pemasanganya pada benda kerja.
3. Pengukuran temperatur udara di ruangan dengan termometer untuk menentukan *property* udara.
4. Pengukuran kecepatan *free stream* dari aliran fluida yang melintas diatas plat datar.
5. Pengukuran tekanan stagnasi dan statis diatas plat datar

Pengukuran tekanan stagnasi aliran pada setiap titik percobaan diatas pelat datar ini (baik untuk titik di atas alur maupun titik sebelum dan setelah alur) dilakukan dengan menggunakan *total pressure tube* yang dihubungkan dengan *inclined manometer*. Titik pengukuran yang diambil ke arah horizontal setiap jarak 2 mm adalah empat titik sebelum alur dan limabelas titik setelah alur, dimana pada setelah alur lima titik dengan jarak 2 mm, lima titik berikutnya dengan jarak 3 mm dan lima titik terakhir dengan jarak 5 mm. Titik pengukuran ke arah vertikal alur dimulai pada  $y = 0,35$  mm dari permukaan pelat ( $\phi_{pipe} / 2 = 0,35$  mm) hingga mencapai  $y = 20,5$  mm. Sedangkan pengukuran tekanan statis yang terjadi pada setiap titik uji dilakukan dengan memasang tap dipermukaan benda uji dengan posisi tetap (merupakan perwakilan dari tekanan statis untuk semua titik uji) yaitu pada daerah sebelum alur yang dihubungkan dengan *inclined manometer*. Hal ini dilakukan dengan anggapan bahwa *boundary layer* dalam kondisi *zero pressure gradient*. Dengan pengukuran tekanan stagnasi

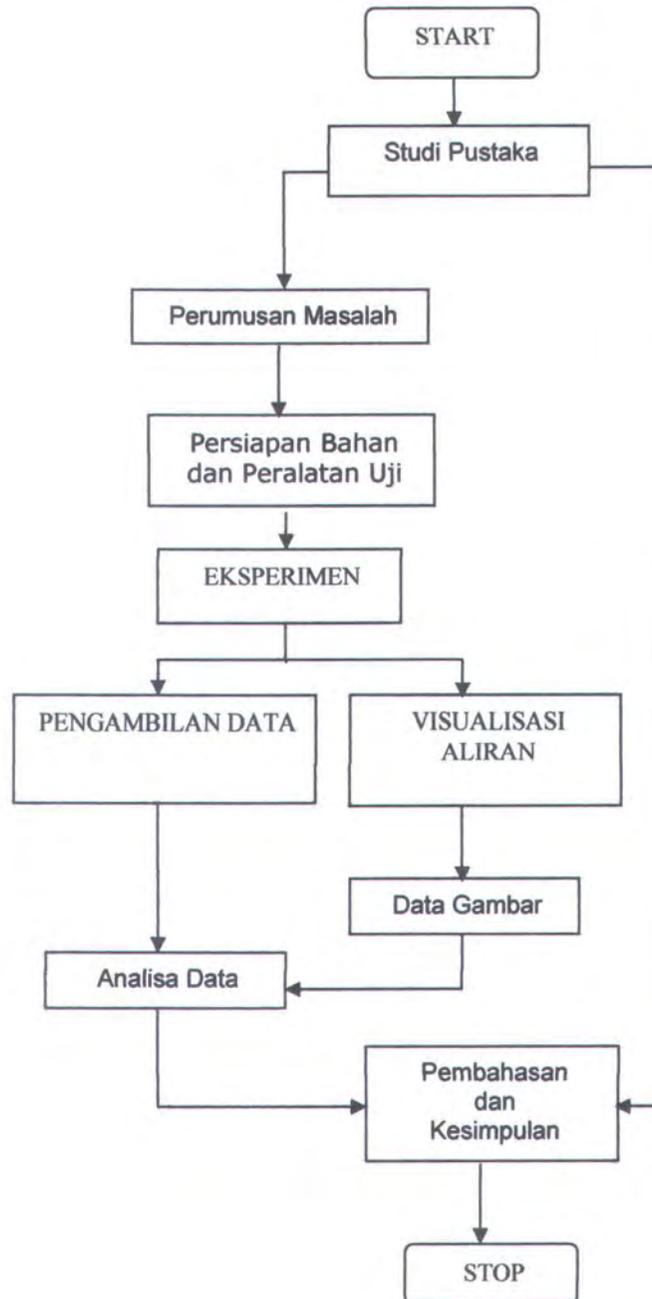


*friction velocity*,  $y$  = ketinggian dari permukaan plat,  $\nu$  = *kinematic viscosity*,  
 $x$  = jarak dari bagian belakang alur,  $d$  = kedalaman alur).

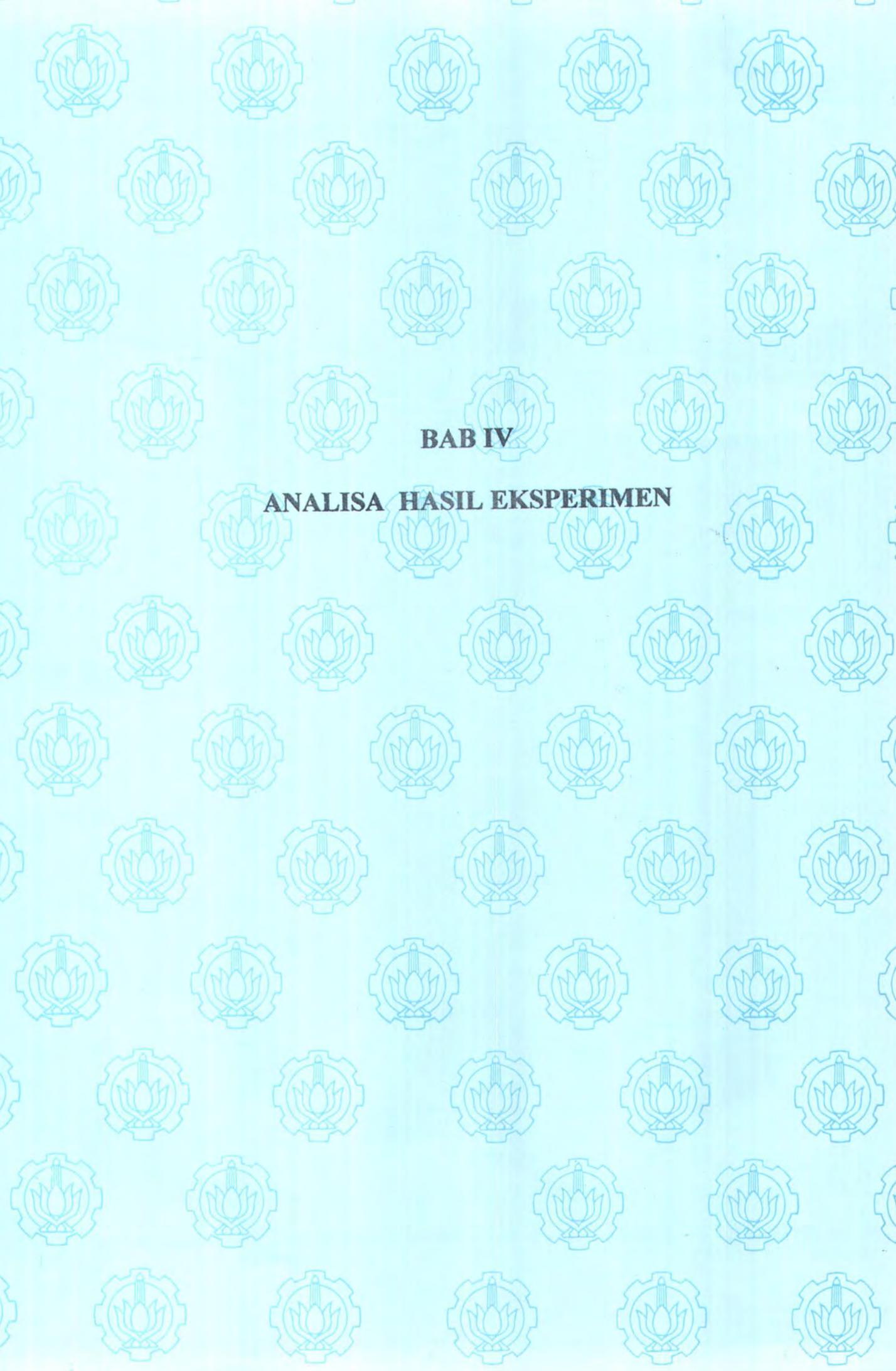
- Kecepatan tak berdimensi  $u/U_o$  fungsi ketinggian tak berdimensi  $y/\delta$  pada beberapa jarak  $x/d$ .
- Koefisien skin friction  $C_f = 2\tau_w/\rho U_o^2$  fungsi jarak tak berdimensi  $x/d$  ( $\tau_w$  = tegangan geser,  $\rho$  = *density*).
- Momentum thickness ( $\theta$ ), disturbance thickness ( $\delta$ ), displacement thickness ( $\delta^*$ ) dan shape factor ( $H$ ) yang merupakan fungsi dari  $x/d$ .
- Waktu tak berdimensi  $t^+ = t \cdot (u^*)^2/\nu$  untuk proses inflow dan ejection di alur

### 3.5. Langkah Penelitian

Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian



**BAB IV**

**ANALISA HASIL EKSPERIMEN**



## BAB IV

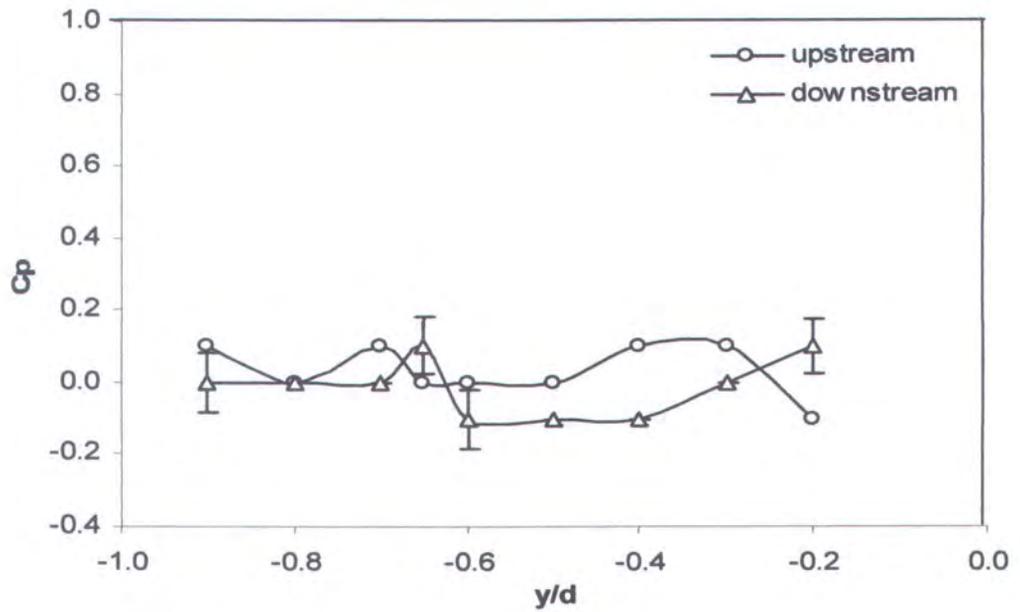
### ANALISA HASIL EKSPERIMEN

Dalam bab ini dianalisa hasil percobaan yang telah dilakukan yaitu pada pelat datar yang beralur tunggal segitiga dan bujursangkar dibandingkan dengan pelat datar halus. Data yang diambil meliputi tekanan statis dan tekanan stagnasi mulai dari  $x/d = -1,6$  (depan alur) sampai dengan  $x/d = 5$  (lima belas titik belakang alur). Pengukuran ke arah  $y$  dimulai dari  $y = 0,035$  sampai dengan  $y = 2,05$  akan didapatkan profil kecepatan sepanjang pelat. Dari profil kecepatan tersebut diolah untuk mendapatkan tegangan geser sepanjang pelat sehingga koefisien tegangan geser ( $C_f$ ) dapat diketahui. Harga  $C_f$  inilah yang dibandingkan pada pelat datar beralur bujursangkar, segitigadan halus pada kecepatan freestream yang berbeda  $U_o = 12\text{m/s}$  dan  $U_o = 17\text{m/s}$ . Sedangkan pada alur diambil data tekanan statis untuk mengetahui efek pressure drag. Pengolahan data dalam bab ini berupa contoh perhitungan untuk mendapatkan harga  $C_f$  dengan menggunakan tiga metode yaitu: metode *Clauser-chart*, *momentum thickness*, dan metode *Presston tube*. Sedangkan bagian kedua berisi analisa hasil eksperimen dan hasil visualisasi aliran dengan menggunakan asap di atas pelat datar baik yang halus maupun beralur. Dari profil kecepatan juga diperoleh *momentum thickness* ( $\theta$ ), *disturbance thickness* ( $\delta$ ), *displacement thickness* ( $\delta^*$ ), dan *shape factor* ( $H$ ). *Shape factor* ( $H$ ) didapatkan dengan tujuan untuk memprediksi intensitas turbulensi yang terjadi. Contoh perhitungan dapat dilihat dalam Appendix 1, yang diambil pada titik  $x/d = -1,6$  dengan  $U_o = 12\text{ m/s}$  untuk pelat beralur segitiga tunggal

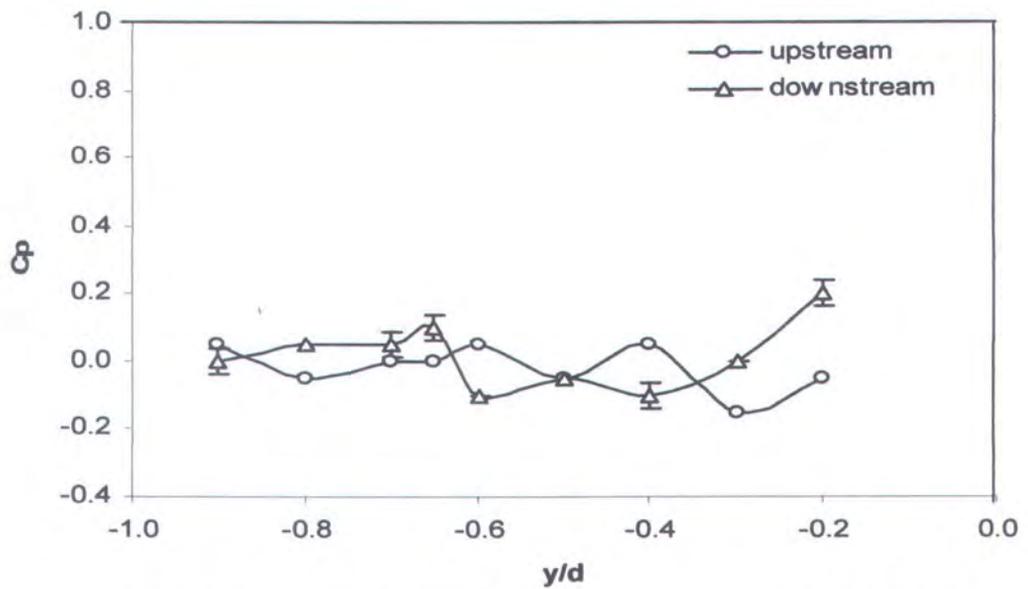
#### 4.1. Distribusi Tekanan di dalam Alur

Distribusi tekanan di dalam alur dipresentasikan dalam bentuk koefisien  $C_p$ . Data yang digunakan dalam contoh perhitungan distribusi tekanan ini diambil dari data tekanan statis lokal di dalam alur pada pressure tap 1 dan data tekanan statis *freestream* pada 3,4 cm sebelum *upstream* alur, dengan kecepatan *freestream*  $U_o = 12$  m/s. Contoh perhitungan koefisien  $C_p$  dapat dilihat pada appendix 1. Hasil Koefisien  $C_p$  dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 untuk V alur dan gambar 4.3 dan 4.4 untuk alur bujursangkar. Tampak bahwa  $C_p$  untuk *upstream* pada kecepatan yang berbeda mempunyai pola yang hampir sama demikian juga pola pada *downstream* pada alur yang sama. Sedangkan pola pada alur segitiga berbeda dengan alur bujursangkar.

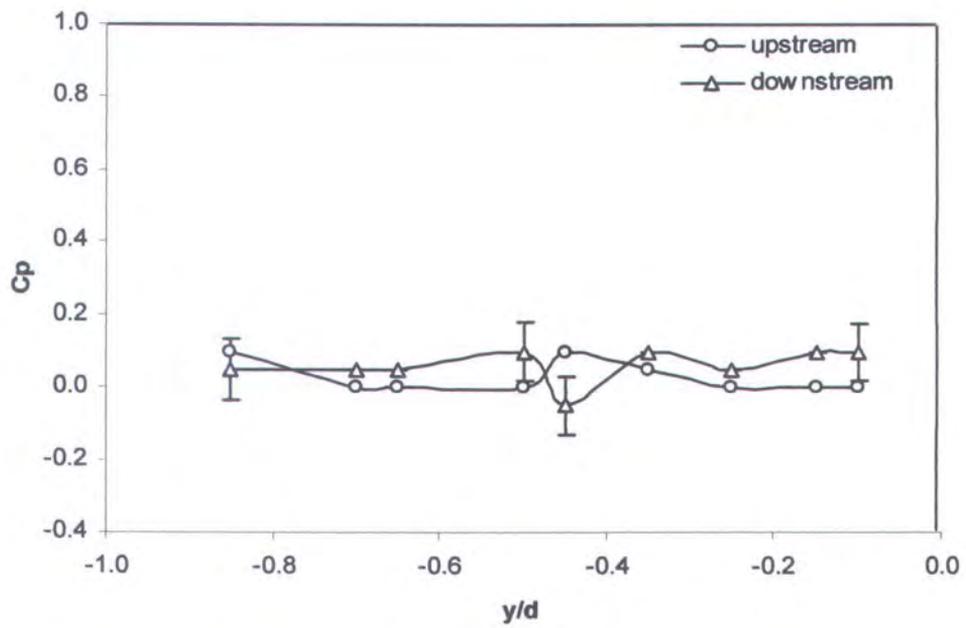
Distribusi  $C_p$  untuk alur segitiga dari gambar 4.1 pada  $R_\theta = 995$  terlihat perbedaan yang besar harga  $C_p$  di daerah *downstream* dan *upstream* pada dekat permukaan atas alur ( $y/d = -0,2$ ). Sedangkan bagian dalam alur ( $y/d = -0,9$ ) perbedaannya sangat kecil sekali. Demikian juga untuk  $R_\theta = 1444$  seperti gambar 4.2 hampir sama dengan  $R_\theta = 995$  akan tetapi perbedaan di dekat permukaan atas harga  $C_p$  jauh lebih besar untuk  $R_\theta = 1444$ . Distribusi  $C_p$  untuk alur bujursangkar dari gambar 4.2 pada  $R_\theta = 995$  terlihat perbedaan antara *downstream* dan *upstream* hampir tidak ada baik itu daerah dekat permukaan maupun di daerah alur bagian dalam kecuali untuk  $y/d = -5$ . Tetapi untuk  $R_\theta = 1444$  perbedaan harga  $C_p$  antara *downstream* dan *upstream* cukup besar di daerah permukaan ( $y/d = -0,2$ ) sedangkan bagian alur dengan kedalaman ( $y/d = -0,9$ ) tidak ada perbedaan.



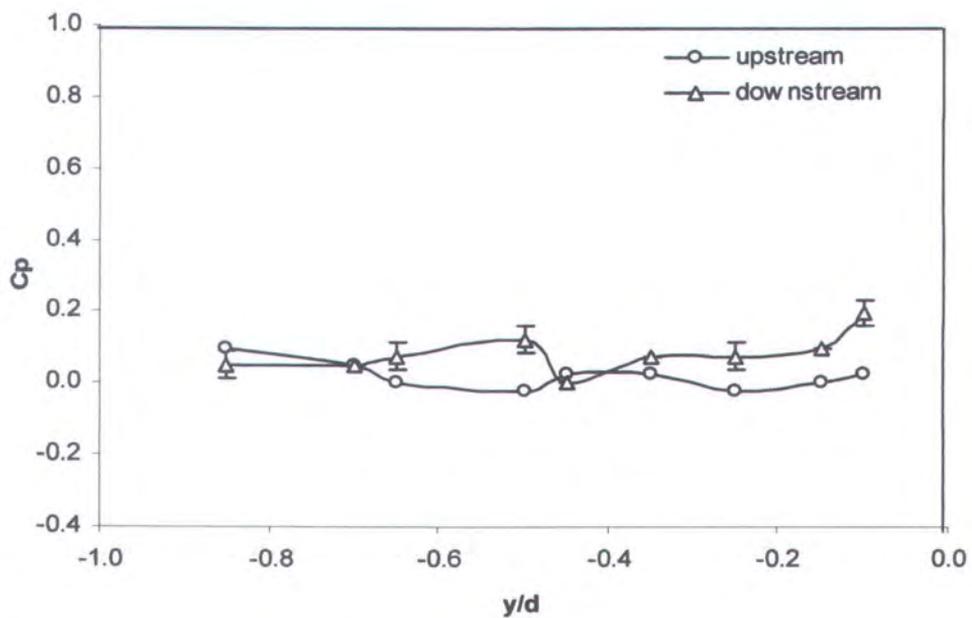
Gambar 4.1. Distribusi koefisien tekanan di dalam alur segitiga pada  $R_\theta = 995$ .



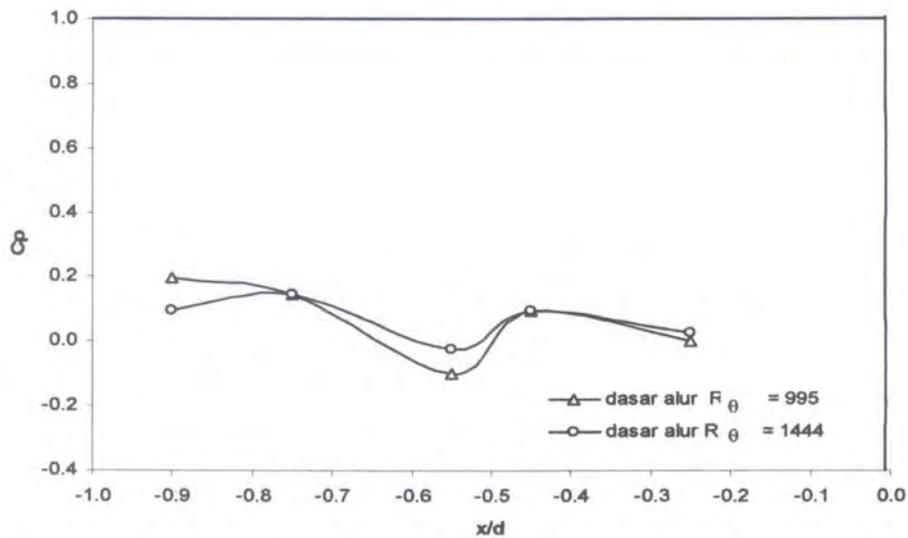
Gambar 4.2. Distribusi koefisien tekanan di dalam alur segitiga pada  $R_\theta = 1444$ .



Gambar 4.3. Distribusi koefisien tekanan di dalam alur bujursangkar pada  $R_\theta = 995$ .



Gambar 4.4. Distribusi koefisien tekanan di dalam alur bujursangkar pada  $R_\theta = 1444$



Gambar 4.5. Distribusi koefisien tekanan di dasar alur bujursangkar pada  $R_{\theta} = 995$  dan  $R_{\theta} = 1444$

Distribusi tekanan pada dasar alur untuk alur bujur sangkar tidak berpengaruh pada net pressure drag. Hal ini disebabkan luas permukaan dasar alur secara vektor arahnya keatas (tegak lurus dengan arah aliran). Pada pressure drag ini hanya dipengaruhi oleh sisi upstream dan downstream alur saja. Harga koefisien pressure ( $C_p$ ) pada dasar alur secara rata-rata bernilai positif (gambar 4.5) sehingga terdapat negatif lift force (timbul gaya yang arahnya kebawah tegak lurus dengan aliran).

#### 4.2. Koefisien Pressure Drag di dalam Alur

Koefisien *pressure drag* dapat dihitung dengan mencari gaya hambat yang disebabkan perbedaan tekanan fluida di dalam alur, gaya hambat tersebut adalah: Untuk contoh perhitungan harga  $C_D$  dapat dilihat dalam appendix 3. Harga  $C_D$  dari perhitungan ditampilkan seperti dalam tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Harga  $C_D$  total pada alur

NO	Jenis Alur	$R_\theta = 995$	$R_\theta = 1444$
1	Alur bujursangkar	0.02418	0.0465
2	Alur segitiga	- 0.03808	0.01674

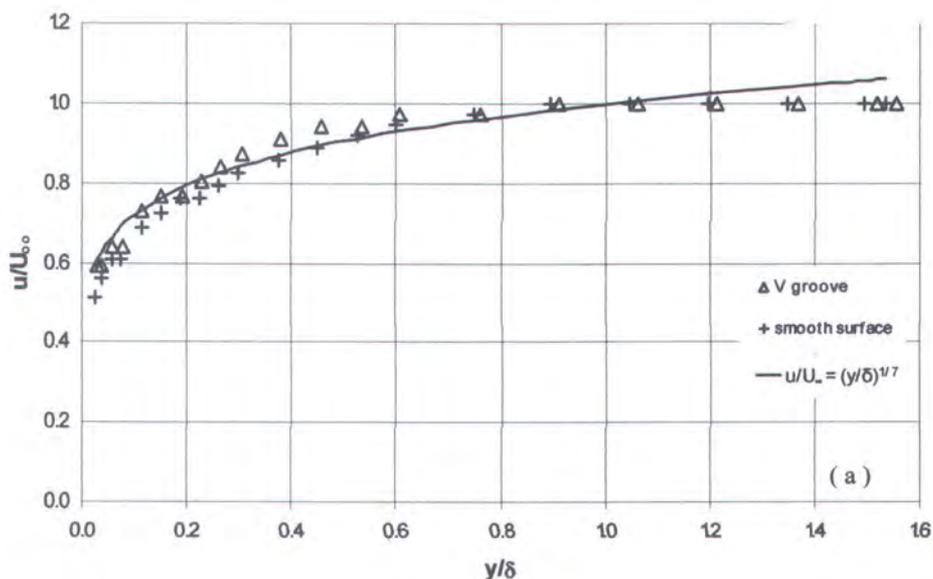
Dari tabel tersebut tampak bahwa efek pressure drag terjadi lebih besar pada alur bujursangkar dari pada alur segitiga . Semakin besar kecepatan freestream semakin besar pula efek pressure dragnya. Pada alur segitiga untuk kecepatan  $R_\theta = 995$  efek pressure dragnya bernilai negative ini berarti mengurangi drag total. Harga negative ini perlu mendapat kajian lebih lanjut kemungkinan disebabkan keterbatasan kemampuan alat ukur.

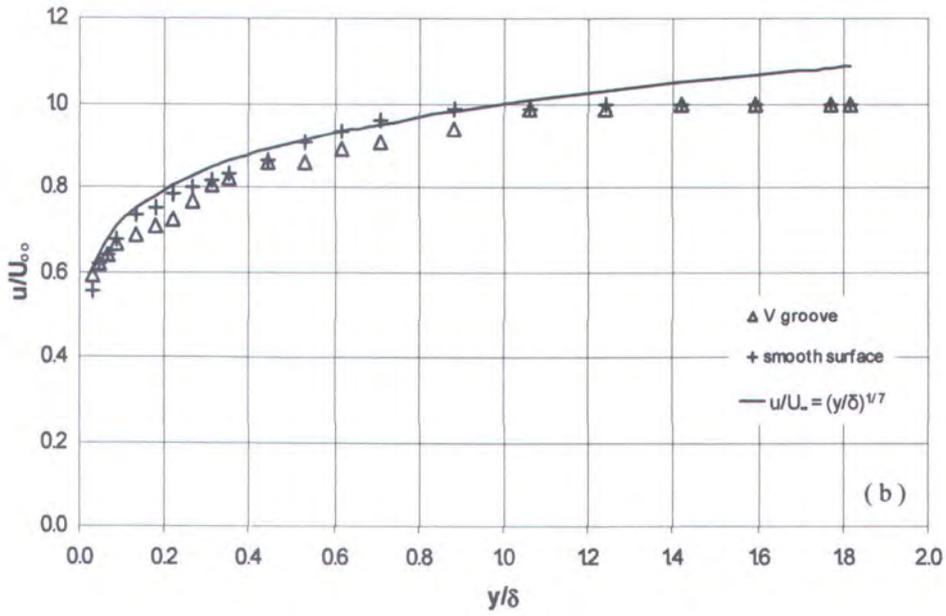
### 4.3 Profil Kecepatan

Dari data percobaan yang ada dapat diketahui profil kecepatan seperti gambar 4.6 untuk alur segitiga dan gambar 4.7 untuk alur bujur sangkar. Dari gambar tersebut tampak profil  $u / U_o$  terhadap  $y/\delta$  pada  $x/d = 0$  untuk kedua  $R_\theta$ . Dari profil pada pelat datar yang telah didapatkan tersebut maka didapatkan harga  $n$  pada masing – masing pelat datar yang beralur maupun yang halus untuk kedua  $R_\theta$  (Harga  $n$  lihat pada apendik). Sedangkan harga referensi untuk  $n$  dengan kondisi turbulen adalah 7, sehingga harga – harga  $n$  yang diperoleh dibandingkan dengan  $n = 7$ . Dari hasil perhitungan penyimpangan yang terjadi menunjukkan bahwa penyimpangan harga  $n$  masih di bawah 10 % sehingga data profil kecepatan yang diperoleh dari hasil penelitian ini masih mempunyai akurasi yang cukup baik. Untuk selanjutnya

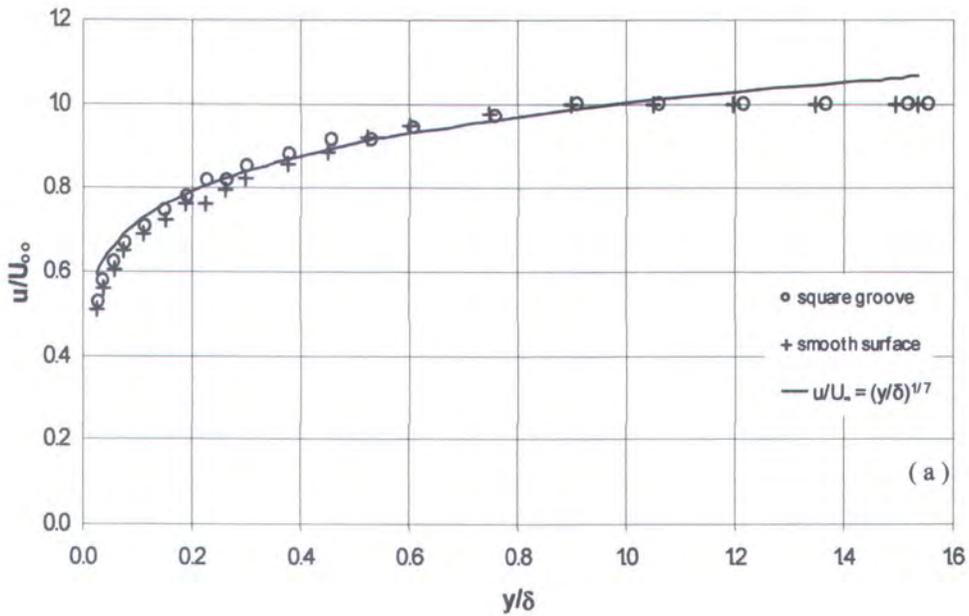
data profil kecepatan ini dapat digunakan untuk proses seperti perhitungan displacement thickness, momentum thickness dan shape factor.

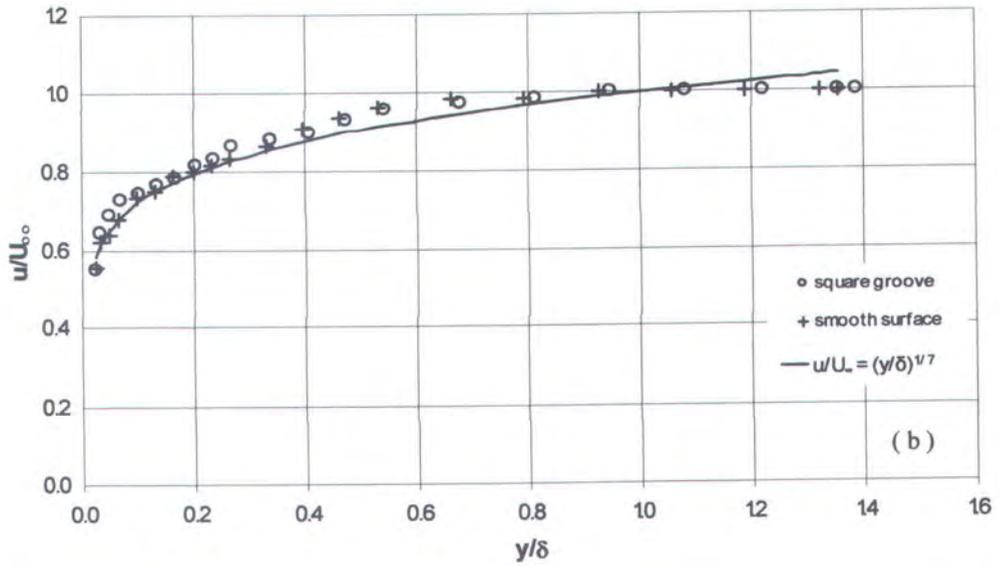
Distribusi kecepatan pada pelat datar halus dan beralur dalam  $u^+$  fungsi log  $y^+$  (dimana  $u^+ = u/u^*$   $y^+ = yu^*/\nu$ ) pada beberapa jarak  $x/d$  dapat dilihat pada gambar 4.8 & 4.9. Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa perbedaan profil kecepatan yang terjadi pada jarak  $x/d = 0$  sampai  $x/d = 5$  tidak banyak berubah (sama) baik untuk pelat dengan alur maupun untuk *smooth wall* untuk kedua harga *Reynolds number*. Hal ini disebabkan pengaruh alur terhadap *boundary layer* yang melewatinya sangat kecil, sehingga pengaruh alur terhadap profil kecepatan tersebut sangat kecil. Sedangkan untuk gambar 4.9 terlihat ada perbedaan kecil pada pelat datar halus dengan pelat beralur segitiga untuk daerah  $x/d$  yang mendekati downstream alur. Perbedaan profil kecepatan tersebut menunjukkan suatu perbedaan  $C_f$  antara pelat beralur segitiga dengan pelat halus yang lebih besar dibandingkan dengan perbedaan harga  $C_f$  yang terjadi pada pelat beralur bujursangkar.



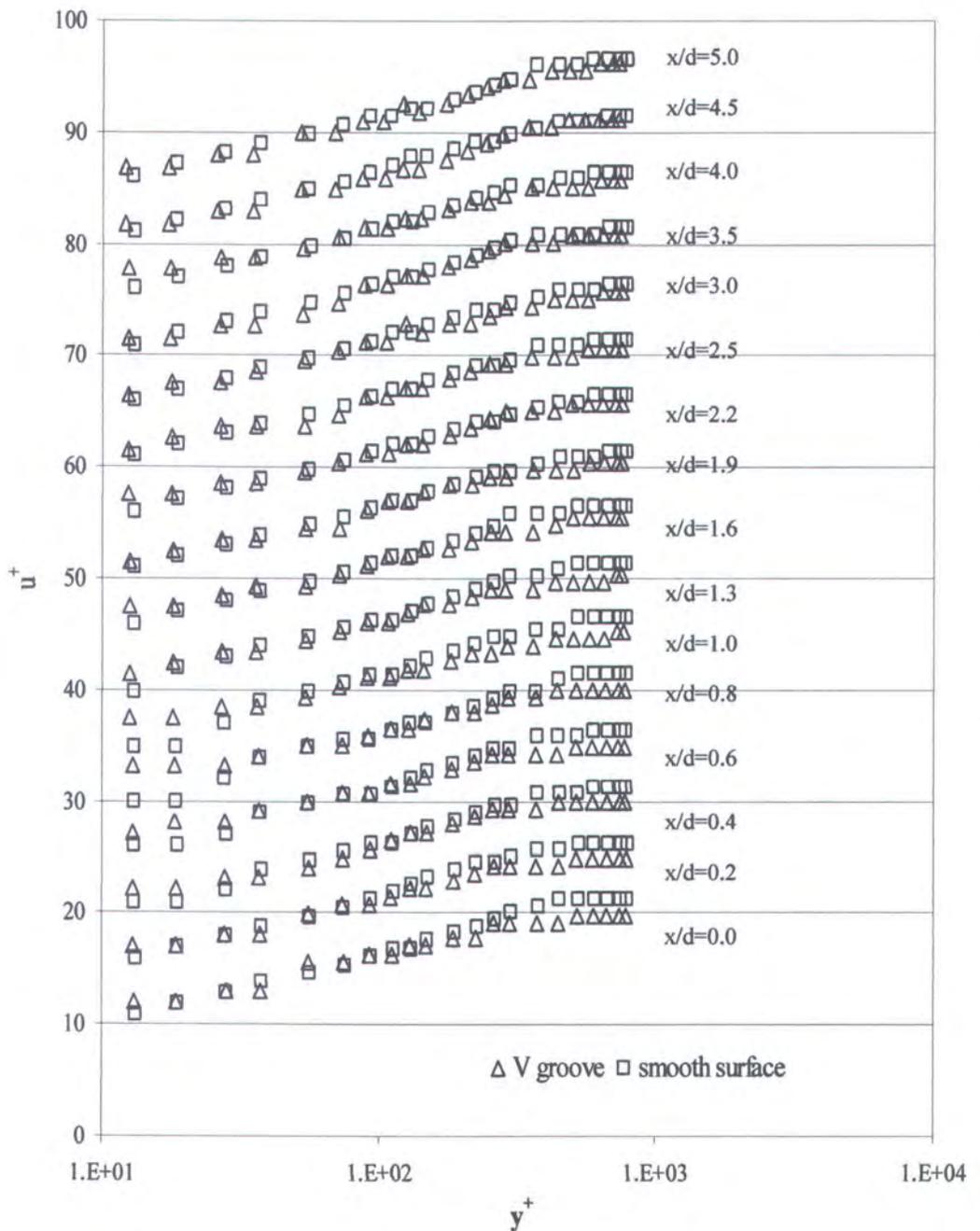


**Gambar 4.6** Distribusi kecepatan pada V alur dalam  $u/U_0$  fungsi  $y/\delta$  pada jarak  $x/d = 0$ . (a)  $R_\theta = 995$  (b)  $R_\theta = 1444$ .

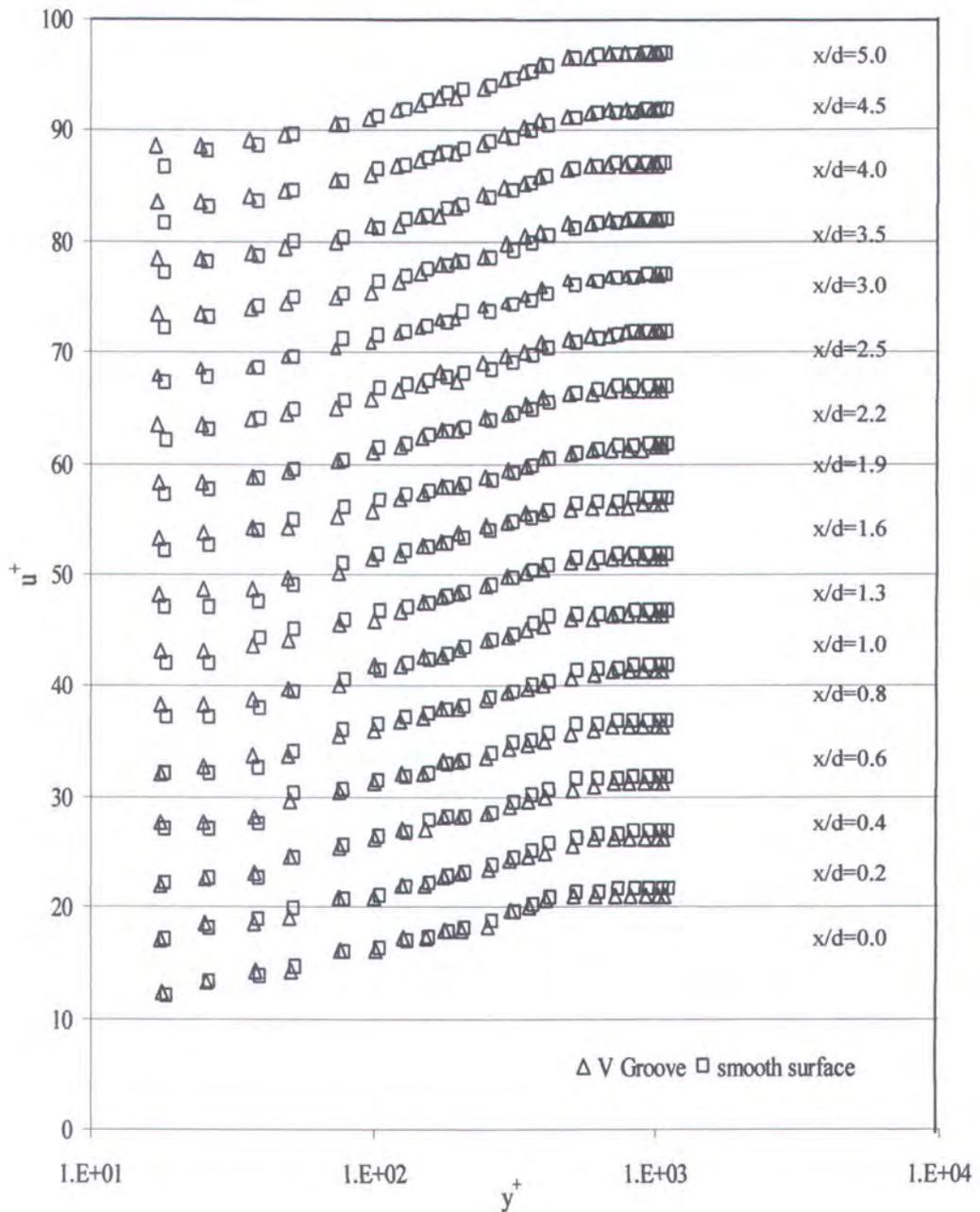




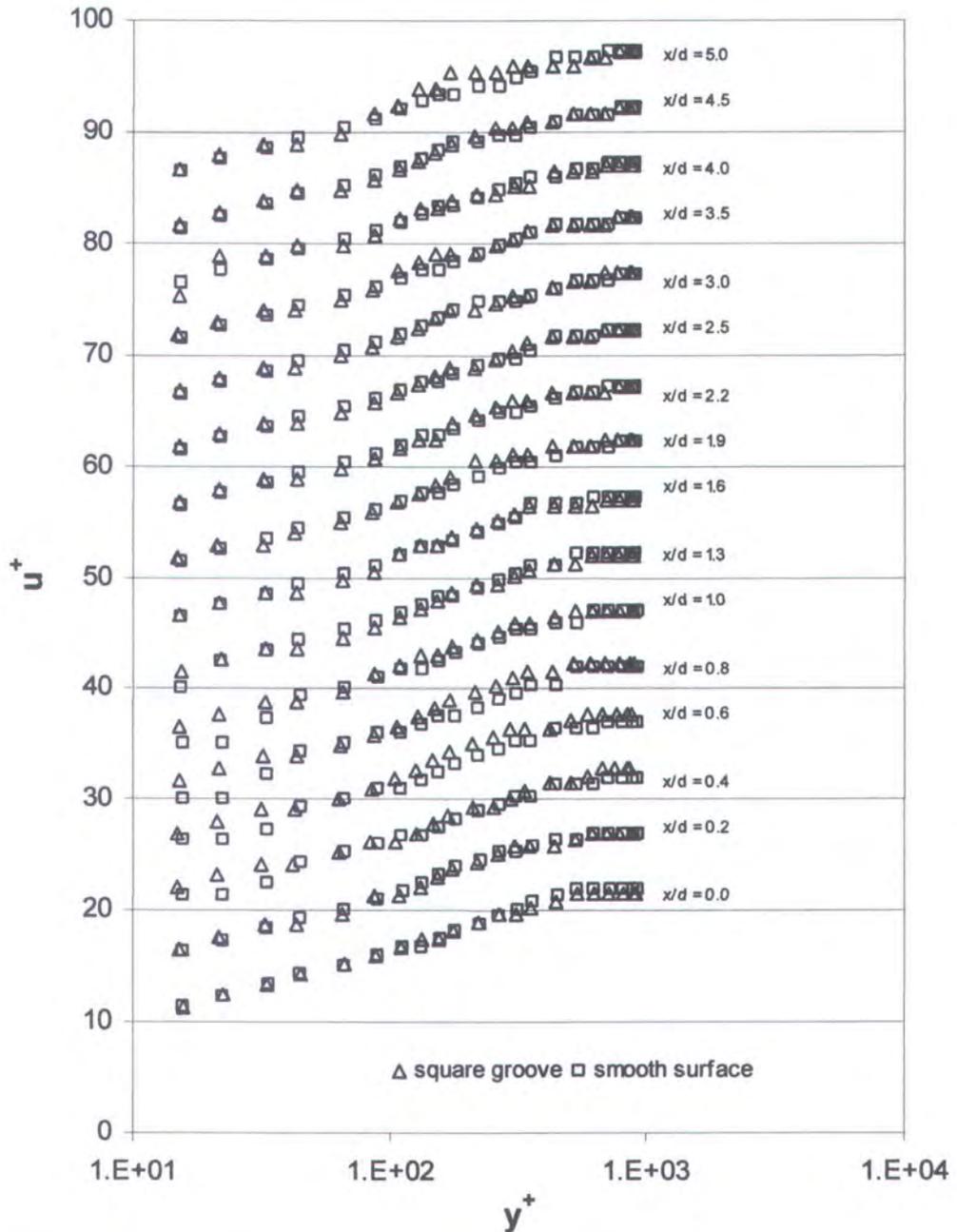
**Gambar 4.7** Distribusi kecepatan pada alur bujursangkar dalam  $u/U_0$  fungsi  $y/\delta$  pada jarak  $x/d = 0$ . (a)  $R_\theta = 995$  (b)  $R_\theta = 1444$



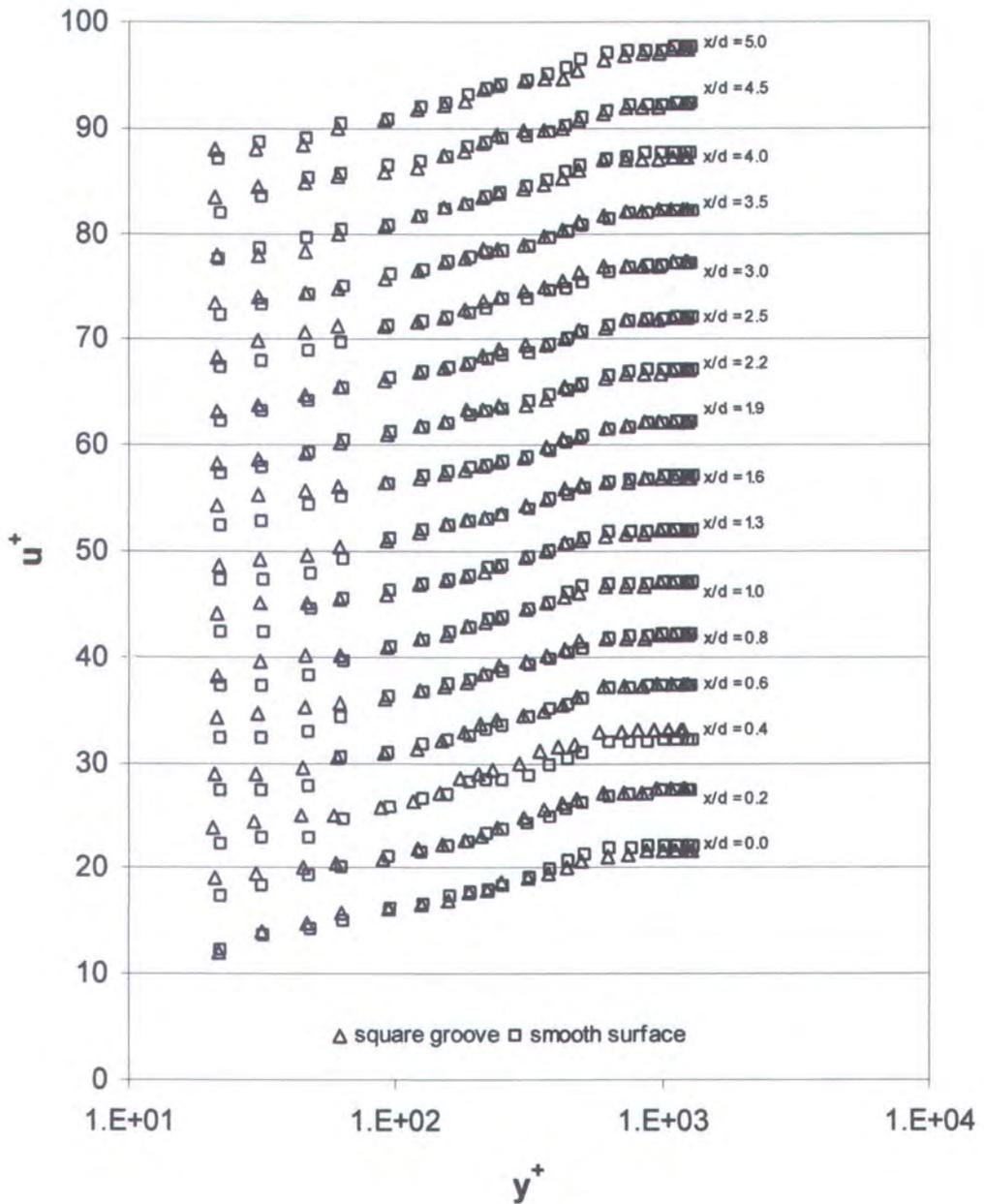
Gambar 4.8a Distribusi kecepatan pada V alur dalam  $u^+$  fungsi  $\log y^+$  pada beberapa jarak  $x/d$  pada  $R_\theta = 995$  (setiap kenaikan  $x/d$ ,  $u^+$  ditambah 5 satuan untuk mengetahui perbedaannya).



Gambar 4.8b Distribusi kecepatan  $V$  alur dalam  $u^+$  fungsi  $\log y^+$  pada beberapa jarak  $x/d$  pada  $R_\theta = 1440$ . (setiap kenaikan  $x/d$ ,  $u^+$  ditambah 5 satuan untuk mengetahui perbedaannya )



**Gambar 4.9a** Distribusi kecepatan alir bujursangkar dalam  $u^+$  fungsi  $\log y^+$  pada beberapa jarak  $x/d$ . untuk  $R_\theta = 995$ . (setiap kenaikan  $x/d$ ,  $u^+$  ditambah 5 satuan untuk mengetahui perbedaannya).



**Gambar 4.9b** Distribusi kecepatan alir bujursangkar dalam  $u^+$  fungsi  $\log y^+$  pada beberapa jarak  $x/d$ . untuk  $R_\theta = 1444$ . (setiap kenaikan  $x/d$ ,  $u^+$  ditambah 5 satuan untuk mengetahui perbedaannya).

#### 4.4. Perhitungan Koefisien Gesek ( $C_f$ )

Untuk mendapatkan besarnya tegangan geser pada dinding yang dinyatakan dalam koefisien *skin friction* ( $C_f$ ) digunakan tiga metode. Metode pertama adalah *Clouser chart/log law*, kemudian metode yang kedua adalah *momentum deffficiency*, dan yang ketiga adalah *Preston tube*. Dari ketiga metode tersebut akan dibandingkan bagaimana akurasi dalam mengestimasi koefisien *skin friction* dari data profil kecepatan yang diperoleh dalam eksperimen, dalam hal ini dilakukan juga perhitungan  $C_f$  menggunakan persamaan 2.26 yang berfungsi sebagai referensinya.

##### 4.4.1. Metode Clouser Chart

Profil kecepatan yang diperoleh di plot ke dalam bentuk grafik semi logaritmik  $u^+ = f(y^+)$ , kemudian di lakukan pendekatan profil kecepatan rata-rata dari hasil pengukuran data dengan persamaan von Karman.

$$\frac{u}{u^*} = (1/K) \cdot \ln \frac{y \cdot u^*}{\nu} + B$$

dimana:  $K = 0,41$  (konstanta Karman) dan  $B = 5$

Sebagai contoh perhitungan diambil dari data pada  $x/d = -1,6$  dan kecepatan *freestream* 12 m/s menggunakan pelat datar dengan alur bujursangkar. Pendekatan harga kecepatan friksi  $u^*$  dilakukan dengan *trial and error method*. Harga  $u^*$  yang mendekati harga sebenarnya dilihat dari error total yang terkecil dengan pendekatan  $u^*$  sebesar 0,6005 m/s.

Harga tegangan geser yang terjadi pada dinding diperoleh dari persamaan kecepatan friksi yaitu:

$$u^* = \left( \frac{\tau_w}{\rho} \right)^{1/2}$$

$$\begin{aligned}\tau_w &= (u^*)^2 \times \rho \\ &= (0,6005 \text{ m/s})^2 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,442 \text{ N/m}^2.\end{aligned}$$

Dengan  $U_o$  sebesar 12 m/s yang merupakan kecepatan *freestream* dari hasil pengukuran data, sehingga harga koefisien friksi  $C_f$  dapat diperoleh dari persamaan:

$$\begin{aligned}C_f &= \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho U_o^2} \\ C_f &= \frac{0,442 \text{ N/m}^2}{0,5 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times (12 \text{ m/s})^2} \\ C_f &= 0,005081.\end{aligned}$$

#### 4.4.2. Metode Momentum Deficiency Thickness

Profil kecepatan yang diperoleh sepanjang pelat datar di plot ke dalam bentuk grafik semi logaritmik  $\frac{u}{U_o} = f\left(\frac{y}{\delta}\right)$ , kemudian dilakukan pendekatan profil kecepatan rata-rata dari hasil pengukuran data dengan persamaan *power law* yaitu:

$\frac{u}{U_o} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{n}}$ . Dari hasil *trial and error* dengan memvariasikan harga  $n$  dan dengan memperhatikan nilai error yang paling kecil, maka didapatkan harga  $n = 6,69$

Besar *momentum thickness* dari persamaan 2.3 yang terjadi pada profil kecepatan ini adalah:

$$\begin{aligned}\theta &= \int_0^{\delta} \frac{u}{U_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{U_{\infty}}\right) dy \\ \theta &= \frac{n}{n^2 + 3.n + 2} \cdot \delta\end{aligned}$$

Dimana harga  $\delta$  merupakan hasil regresi dari  $\delta$  yang didapatkan dari percobaan ( $\delta = 10,264$  mm).

Momentum thickness ( $\theta$ ) yang terjadi adalah sebesar:

$$\theta = \frac{6,69}{6,69^2 + 3.6,69 + 2} \cdot 10,264$$
$$= 1,4996 \text{ mm.}$$

Displacement thickness ( $\delta^*$ ) didapat dengan persamaan berikut:

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left( 1 - \frac{u}{U_{\infty}} \right) dy$$
$$\delta^* = \frac{1}{n+1} \cdot \delta$$

Dengan memasukkan harga  $n = 6,69$  maka didapat:

$$\delta^* = \frac{1}{6,69+1} \cdot 10,264$$
$$\delta^* = 1,95 \text{ mm.}$$

*Momentum thickness* yang diperoleh dari setiap profil kecepatan kemudian diregresi. Dari persamaan regresi diperoleh harga  $\left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x/d} = -1.6$  sebesar (4,8147),

sehingga diperoleh harga tegangan geser dengan persamaan:

$$\tau_w = \rho \cdot U_o^2 \cdot \frac{d\theta}{dx}$$
$$\tau_w = 1,225 \text{ kg/m}^3 \times (12 \text{ m/s})^2 \times (4,8147)/209$$
$$\tau_w = 4,005 \text{ N/m}^2.$$

Besar koefisien friksi dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_f = \frac{\tau_w}{0,5 \rho U_o^2}$$

$$C_f = \frac{4,005 \text{ N/m}^2}{0,5 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times (11,91 \text{ m/s})^2}$$

$$C_f = 0,04607.$$

#### 4.4.3. Metode Preston Tube

Metode *Preston tube* digunakan berdasarkan perbedaan *total pressure* pada dinding dengan *static pressure*. Pada  $x/d = -1,6$  dan kecepatan *freestream* aliran 12 m/s besar tekanan stagnasi  $p_o = -91,27 \text{ kg/m.s}^2$  dan tekanan statis  $p_\infty = -121,70 \text{ kg/m.s}^2$ , sehingga dari data tersebut diperoleh perbedaan tekanan:

$$\Delta p = p_o - p_\infty$$

$$\Delta p = -91,27 \text{ kg/m.s}^2 - (-121,70 \text{ kg/m.s}^2)$$

$$\Delta p = 30,42 \text{ kg/m.s}^2$$

Harga  $\Delta p^+$  dapat diperoleh dengan melibatkan diameter *pitot tube* yang digunakan yaitu  $d = 0,0007 \text{ m}$ , menggunakan persamaan 2.25:

$$\Delta p^+ = \left( \frac{\Delta p \cdot d^2}{\rho v^2} \right)$$

$$\Delta p^+ = \left( \frac{30,42 \text{ kg/m.s}^2 \times (0,0007 \text{ m})^2}{1,225 \text{ kg/m}^3 \times (1,45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} \right)$$

$$\Delta p^+ = 57574,54$$

Persamaan tersebut adalah persamaan umum kalibrasi *Preston tube* yang diberikan oleh Bechert (1995) menghasilkan besar  $\tau^+$ :

$$\tau^+ = [28,44(\Delta p^+)^2 + 6,61 \cdot 10^{-6}(\Delta p^+)^{3,5}]^{1/4}$$

$$\tau^+ = [28,44 \times (57574,54)^2 + 6,61 \cdot 10^{-6}(\Delta p^+)^{3,5}]^{1/4}$$

$$\tau^+ = 793,76.$$

Tegangan geser yang terjadi pada permukaan pelat datar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.24, sehingga diperoleh :

$$\tau_w = \left( \frac{\tau^+ \rho^2 \nu^2}{d_p^2} \right)$$

$$\tau_w = \left( \frac{793,76 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times (1,45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}{(0,0007 \text{ m})^2} \right)$$

$$\tau_w = 0,42 \text{ N/m}^2.$$

Besar koefisien gesekan dapat dihitung dengan sebagai berikut:

$$C_f = \frac{\tau_w}{0,5 \rho U_o^2}$$

$$C_f = \frac{0,42 \text{ N/m}^2}{0,5 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times (12 \text{ m/s})^2} = 0,004825.$$

#### 4.5. Perhitungan *Reynolds number* ( $R_\theta$ ).

Pada perhitungan *Reynolds number* ( $R_\theta$ ) ini didasarkan pada harga  $\theta$  pada titik di depan alur (5 mm sebelum alur atau pada  $x/d = -1,5$ ) karena pada titik ini belum terpengaruh adanya alur. *Momentum thickness* ( $\theta$ ) didapatkan dengan cara memasukkan nilai  $x/d = -1,5$  ke persamaan yang didapat dari grafik  $\theta$  fungsi  $x/d$  (lihat appendik) dimana harga yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- Untuk  $U_o = 12 \text{ m/s}$  didapatkan harga  $\theta = 1,2048 \text{ mm}$
- Untuk  $U_o = 17 \text{ m/s}$  didapatkan harga  $\theta = 1,2342 \text{ mm}$

Adapun *Reynolds number* ( $R_\theta$ ) yang terjadi adalah :

$$R_\theta = \frac{\rho U_o \theta}{\mu}$$

$$(R_\theta)_{12} = 995.$$

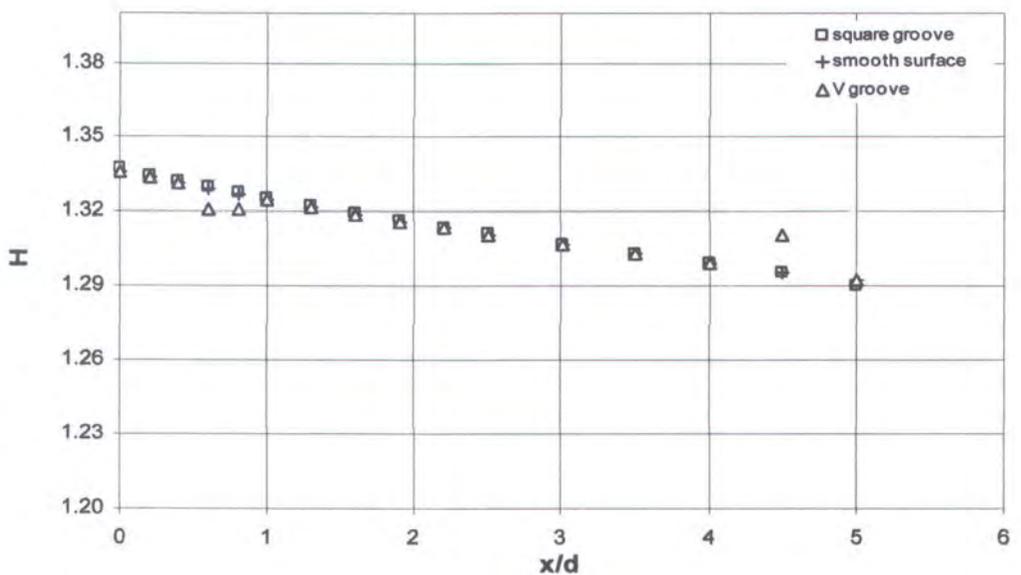
$$(R_\theta)_{17} = 1444.$$

Pemilihan  $R_\theta$  sangat tepat jika dibandingkan dengan menggunakan  $R_x$  karena harga  $x$  sangat sulit ditentukan dimana awal terjadinya turbulen. Pada penelitian ini dikondisikan sudah terjadi turbulen dengan bantuan alat pebble strip dan wire. Kesalahan dari ketelitian yang terjadi pada penentuan harga  $\theta$  relatif tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan  $\delta$ .

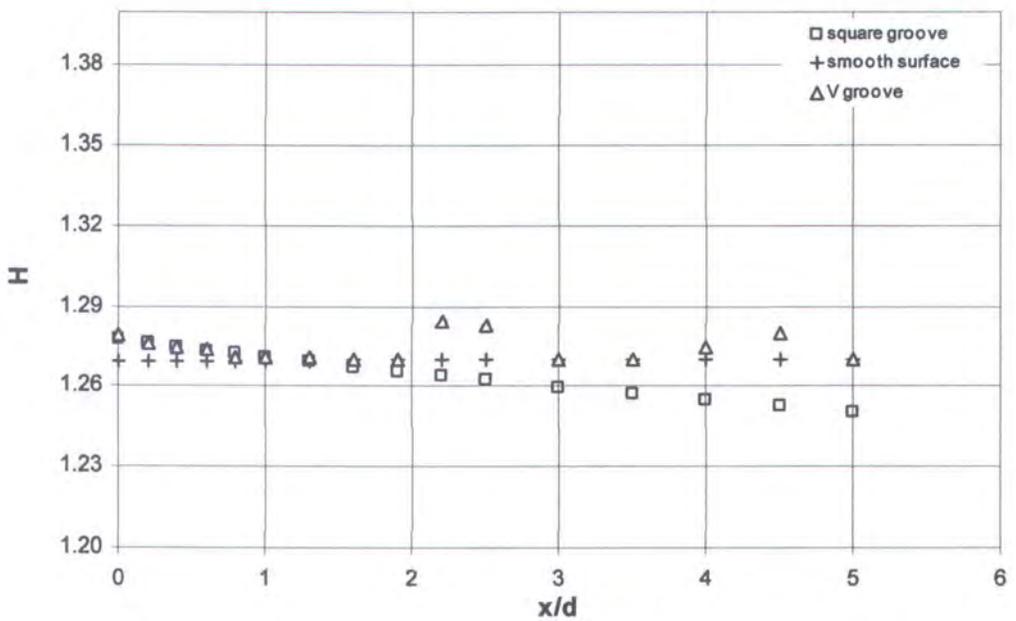
#### 4.6 Distribusi *shape factor* ( $H$ )

Salah satu faktor yang sangat penting dari profil kecepatan adalah *shape factor* ( $H$ ) atau faktor bentuk. *Shape factor* merupakan perbandingan antara *displacement thickness* ( $\delta^*$ ) terhadap *momentum thickness* ( $\theta$ ). *Shape factor* ( $H$ ) merupakan indikasi intensitas turbulensi dimana semakin besar turbulensi aliran maka semakin kecil harga *shape factor* ( $H$ ). Distribusi *shape factor* untuk aliran turbulen yang diganggu oleh kedua bentuk alur didalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.10. Dari gambar tersebut terlihat tidak ada perubahan yang *significant* harga *shape factor* ( $H$ ) antara pelat halus, pelat beralur V dan pelat beralur bujursangkar untuk  $R_\theta = 995$ . Tetapi secara umum terjadi penurunan harga *shape factor* ( $H$ ) pada masing-masing pelat terhadap fungsi  $x/d$ . Hal ini menunjukkan adanya indikasi bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan perubahan intensitas turbulensi antara diatas permukaan pelat halus dan pelat beralur sepanjang  $x/d$ . Penurunan harga *shape factor* ( $H$ ) mengindikasikan bahwa semakin besar  $x/d$  semakin besar intensitas turbulensi yang terjadi pada masing-

masing pelat. Berbeda untuk  $R_\theta = 1444$  (gambar 4.10.b) harga *shape factor* ( $H$ ) pada pelat datar halus dan beralur segitigarelatif konstan terhadap fungsi  $x/d$ . Sedangkan pada alur bujursangkar harga *shape factor* ( $H$ ) semakin besar seiring dengan kenaikan  $x/d$ . Hal ini mengindikasikan adanya kenaikan intensitas turbulensi sepanjang  $x/d$  diatas permukaan pelat beralur bujursangkar tersebut, dan kenaikan intensitas turbulensi ini lebih besar dari pada intensitas turbulensi diatas permukaan pelat datar halus dimulai pada  $x/d = 1,9$ .



Gambar 4.10 a Grafik harga  $C_f$  pada pelat beralur bujursangkar, segitiga dan pelat halus pada  $R_\theta = 995$



Gambar 4.10b Grafik harga  $C_f$  pada pelat beralur bujursangkar, segitiga dan pelat halus pada  $R_\theta = 1444$ .

#### 4.7. Analisa Hasil Koefisien Friksi $C_f$

Hasil perhitungan dari ketiga metode tersebut dan juga perhitungan menggunakan persamaan 2.26 dapat dilihat pada tabel. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa besarnya harga  $C_f$  baik dengan alur maupun tanpa alur yang dihasilkan dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.26 besarnya adalah sama sekitar 0,005 untuk *Reynolds number* ( $R_\theta$ ) = 995, sedangkan untuk *Reynolds number* ( $R_\theta$ ) = 1444 harga  $C_f$  sekitar 0,0046. Dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa harga  $C_f$  dari metode *Clauser Chart* yang paling mendekati dengan harga  $C_f$  dari persamaan 2.26. Untuk itu analisa koefisien gesek pada pelat beralur dan pelat halus didasarkan pada metode *Clauser Chart* saja.

Tabel 4.2 Harga  $C_f (x/d=0)$  pada  $R_\theta = 995$ .

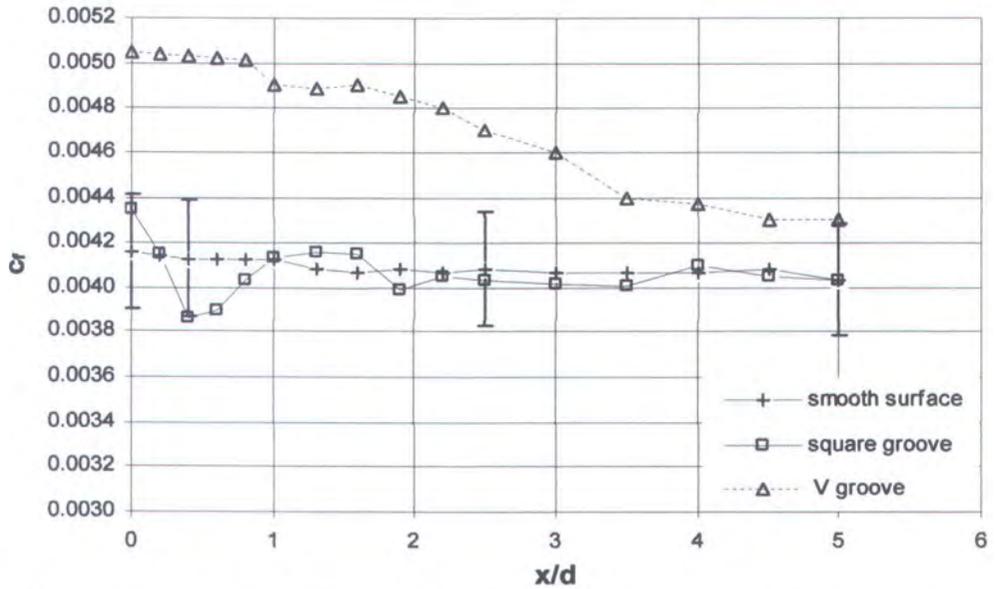
No	Metode	Bujursangkar grooove	Alur segitiga	Smooth wall
1	Persamaan 2.26	0,00500	0,00500	0,00500
2	<i>Clauser Chart</i>	0,00400	0,00505	0,00450
3	<i>momentum deficiency</i>	0,01500	0,02730	0,01380
4	<i>Preston tube</i>	0,00200	0,00524	0,00390

Tabel 4.3 Harga  $C_f (x/d=0)$  pada  $R_\theta = 1444$ .

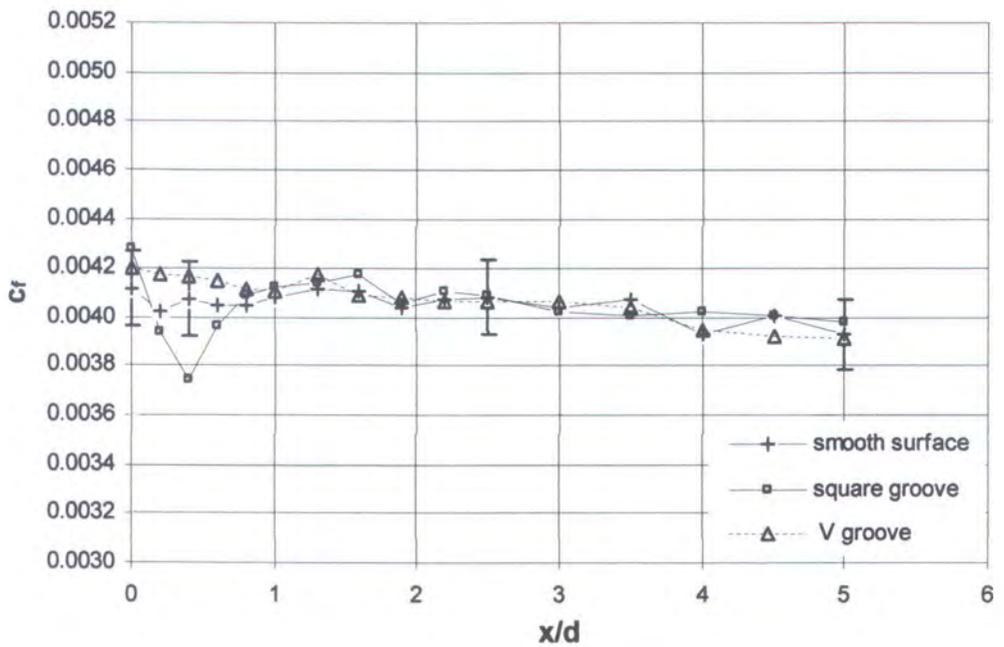
No	Metode	Bujursangkar grooove	Alur segitiga	Smooth wall
1	Persamaan 2.26	0,0046	0,0046	0,0046
2	<i>Clauser Chart</i>	0,0040	0,0042	0,0043
3	<i>momentum deficiency</i>	0,0100	0,0.027	0,0137
4	<i>Preston tube</i>	0,0020	0,0047	0,0038

Dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa harga  $C_f$  dari metode *Clauser Chart* yang paling mendekati dengan harga  $C_f$  dari persamaan 2.26. Untuk itu analisa koefisien gesek pada pelat beralur dan pelat halus didasarkan pada metode *Clauser Chart* saja.

Harga  $C_f$  sebagai fungsi  $x/d$  dari aliran diatas pelat beralur bujursangkar, segitiga dan halus dengan ketidakpastian pengukuran untuk  $C_f$  kurang lebih 5.1 % yang diberi tanda "error bar" ditunjukkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.



Gambar 4.11 Grafik harga  $C_f$  dengan metode clausser chart pada pelat beralur dan pelat halus pada  $Re = 995$ .



Gambar 4.12 Grafik harga  $C_f$  dengan metode clausser chart pada pelat beralur dan pelat halus pada  $Re = 1444$ .

Dari kedua gambar 4.11 dan 4.12 tersebut baik untuk  $R_\theta = 995$  dan  $R_\theta = 1444$  dapat dilihat bahwa grafik *skin friction*  $C_f$  terhadap beberapa jarak setelah alur  $x/d$  mempunyai pola distribusi yang hampir sama untuk alur bujursangkar hanya berbeda pada besar peningkatan dan penurunan harga  $C_f$  terhadap  $C_{f_0}$ . Demikian juga pola distribusi untuk alur segitiga pada  $R_\theta = 995$  dan  $R_\theta = 1444$  juga hampir sama tetapi pola distribusi berbeda dengan alur bujursangkar. Pada alur bujursangkar terjadi peningkatan harga  $C_f$  secara tiba-tiba relatif terhadap harga  $C_{f_0}$  pada *downstream* dari alur ( $x/d = 0$ ) sebesar 4,3% untuk  $R_\theta = 995$  dan 3,9% untuk  $R_\theta = 1444$ . Peningkatan harga  $C_f$  pada *downstream edge* ini diakibatkan adanya *favourable pressure gradient* yang disebabkan adanya titik stagnan pada dinding *dowstream* alur (Elavarasan dkk,1996). Kenaikkan harga  $C_f$  diikuti dengan penurunan secara berlahan-lahan sampai di bawah harga  $C_{f_0}$ , dimana hal ini tidak terjadi pada alur segitiga. Penurunan minimum harga  $C_f$  terjadi pada  $x/d = 0,4$  untuk kedua harga  $R_\theta$ . Penurunan harga  $C_f$  lebih besar untuk harga  $R_\theta$  yang lebih tinggi ( $R_\theta = 1444$ ), yaitu sekitar 8,2% dari  $C_{f_0}$ . Sedangkan untuk harga  $R_\theta$  yang lebih rendah ( $R_\theta = 995$ ) terjadi penurunan harga  $C_f$  sekitar 6,5% dari  $C_{f_0}$ . Setelah terjadi penurunan sampai harga minimum kemudian terjadi lagi peningkatan hingga melewati harga  $C_{f_0}$  pada  $x/d = 1$  pada  $R_\theta = 995$  sedangkan pada  $R_\theta = 1444$  terjadi pada  $x/d = 0,8$ . Hasil penelitian pada alur bujursangkar ini mempunyai pola yang sama seperti penelitian yang dilakukan oleh Pearson dkk (1995) dan Elavarasan dkk (1996). Hasil reduksi drag yang terjadi untuk aliran diatas alur bujursangkar terhadap aliran diatas pelat halus sebesar 2 % untuk kedua  $R_\theta$ . Hasil ini hampir sama dengan yang dicapai dari penelitian Choi & Fujisawa (1993) sebesar 1%.

Berbeda dengan hasil yang didapatkan untuk alur triangular, pada alur segitiga ini tidak terjadi penurunan yang tajam dan diikuti dengan kenaikan harga  $C_f$  atau tidak terjadi osilasi. Hasil ini mempunyai pola yang hampir mirip dengan hasil penelitian Choi & Fujisawa.

Pada alur segitiga kenaikan harga  $C_f$  terhadap harga  $C_{f0}$  mulai terjadi pada  $x/d = 0$  seiring dengan kenaikan  $x/d$ , terjadi penurunan sehingga harga  $C_f$  mendekati harga  $C_{f0}$ . Sedangkan drag yang terjadi pada alur segitiga terhadap pelat datar halus terjadi kenaikan sebesar 16 % untuk  $R_\theta = 995$  dan 7% untuk  $R_\theta = 1444$ . Harga kecepatan freestream pada alur segitiga untuk  $R_\theta = 995$  memang rendah dibandingkan pada pelat datar dan beralur bujursangkar sehingga menambah harga  $C_f$  tetapi persentasenya tidak terlalu besar. Kenaikan harga  $C_f$  yang sangat tinggi ini perlu mendapat kajian lebih jauh salah satu faktornya adalah kepresisian alat ukur yang masih rendah. Kenaikan drag hasil penelitian sekarang lebih besar dari pada hasil penelitian Elavarasan dkk, sebesar 3,4 %.

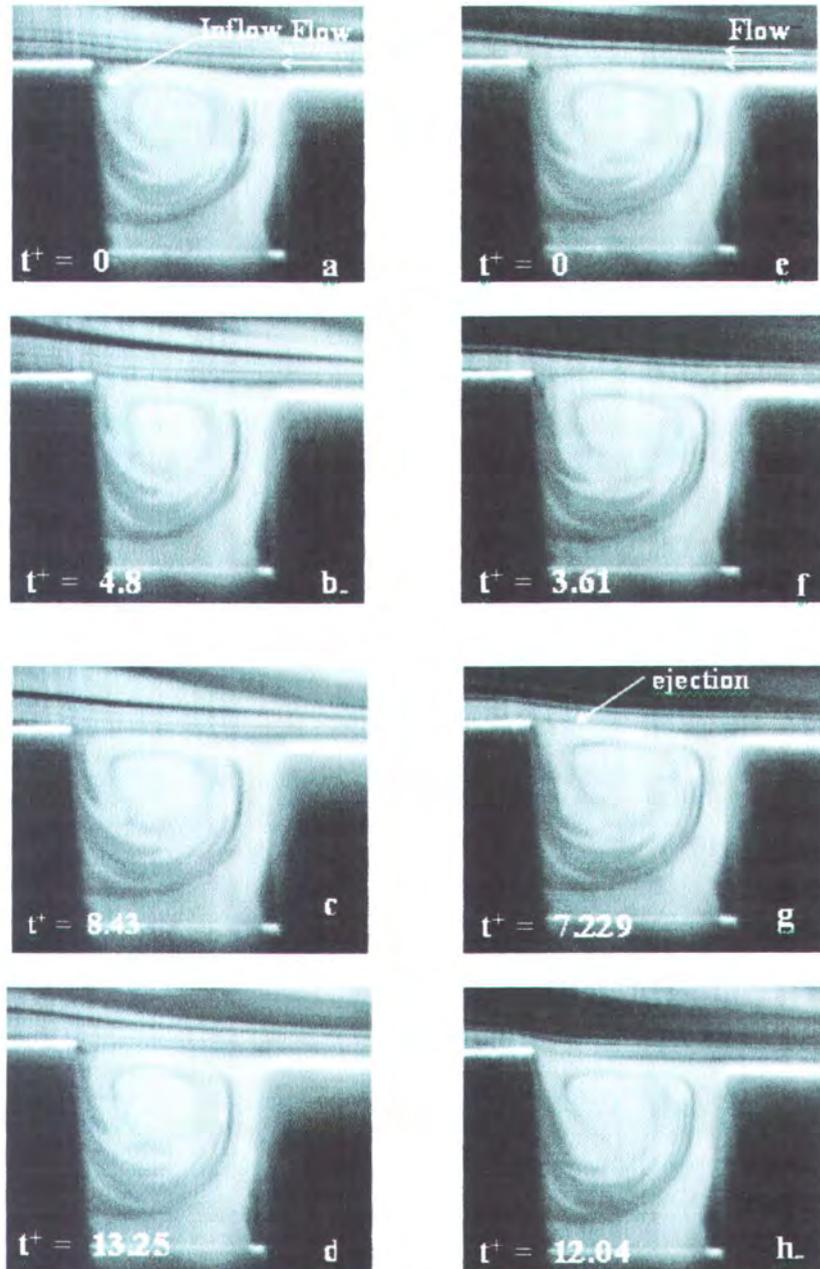
#### 4.7 Hasil Visualisasi

Hasil visualisasi aliran diatas pelat beralur diambil posisi dari samping untuk daerah alur dan posisi dari atas untuk pelat beralur dan pelat halus. Visualisasi aliran dilaksanakan pada kecepatan freestream  $U = 0,5$  m/s. Hasil visualisasi bisa dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14 yang mengindikasikan suatu interaksi penting antara fluida didalam alur dan aliran diatasnya. Interaksi tersebut meliputi aliran luar yang masuk ke alur (inflow) dan aliran didalam alur yang keluar (ejection) dengan kejadian secara acak (random). Urutan waktu pada proses ejection dapat dilihat pada gambar 4.13 (e),(f),(g) dan (h) untuk alur bujursangkar dan gambar 4.14 (e),(f),(g)

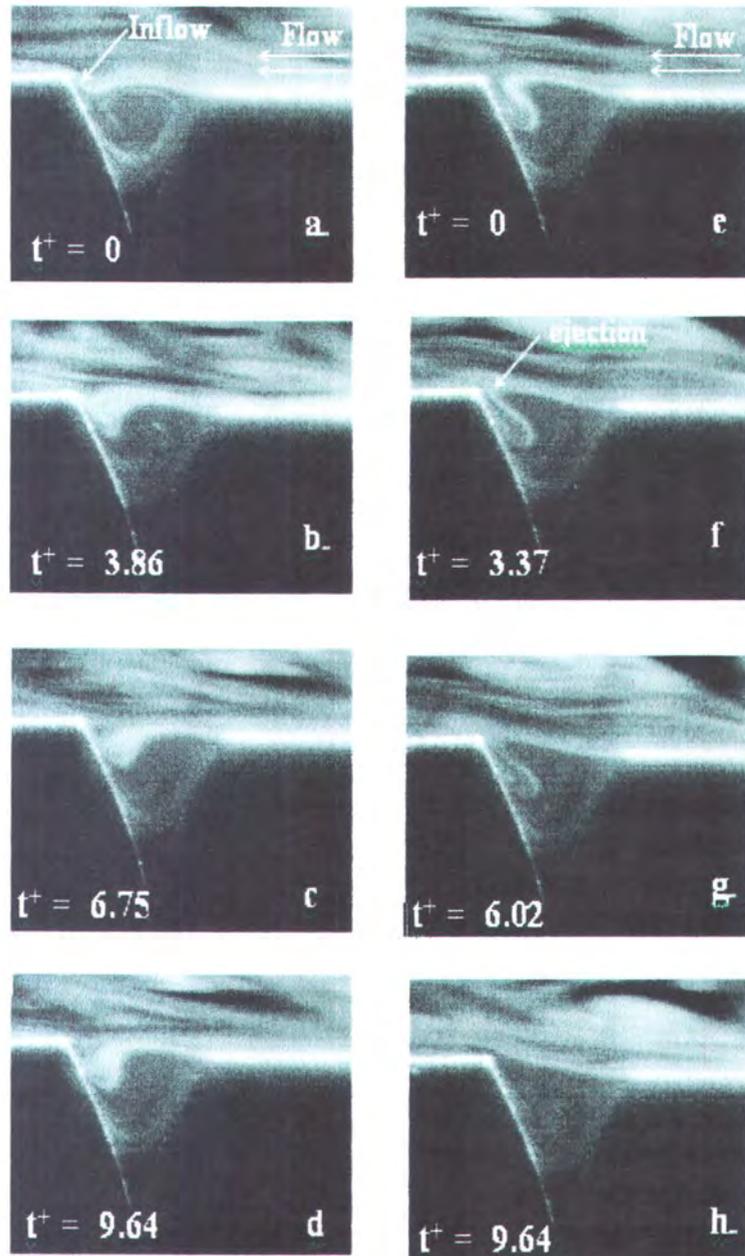
dan (h) untuk alur segitiga . Pada akhir proses ejection diikuti oleh aliran yang masuk ke alur (inflow) yang dapat dilihat pada gambar 4.13 (a),(b),(c) dan (d) serta gambar 4.14 (a),(b),(c) dan (d) untuk masing-masing bujursangkar dan alur segitiga .

Proses inflow terjadi karena adanya low pressure didalam alur setelah proses injection. Proses ejection dan inflow terkadang melemah dan terkadang menguat. Pola vorteks didalam alur tidak dipengaruhi oleh proses ejection. Sedangkan proses inflow akan memperkuat vorteks didalam alur . Durasi proses ejection ditentukan oleh banyaknya mass flow didalam alur . Besar kecilnya mass flow sangat ditentukan oleh inflow yang terjadi. Proses inflow selain dipengaruhi oleh tekanan yang rendah didalam alur juga dipengaruhi oleh bentuk kontur pada bibir downstream seperti gambar 4.15. Dari gambar tersebut tampak bahwa bentuk kontur bibir downstream pada alur bujursangkar memungkinkan lebih banyak inflow yang terjadi dari pada alur triangular. Durasi proses ejection pada alur bujursangkar dengan waktu tak berdimensi  $t^+$  ( $\approx t(u^*)^2/\nu$ ) sebesar 13 sedangkan pada alur segitiga  $t^+$  ( $\approx t(u^*)^2/\nu$ ) sebesar 10. Hal ini menunjukkan waktu mulai awal terjadinya ejection sampai selesai pada alur bujursangkar lebih besar dari pada alur segitiga. Perbedaan waktu ini selain dipengaruhi oleh besar volume alur juga dipengaruhi oleh adanya bentuk kontur pada bibir downstream alur . Bentuk kontur pada bibir downstream alur pada alur segitiga cenderung melepas dengan mudah aliran fluida yang melewati diatas alur keluar karena adanya momentum yang dimiliki fluida tersebut, sehingga inflow yang terjadi relatif kecil dibandingkan pada alur bujursangkar. Menurut Elavarasan dkk (1996) terjadinya *ejection* merupakan indikasi terbentuknya *quasi streamwise vortices* yang melintas di atas alur, karena *quasi streamwise vortices* inilah yang menyebabkan aliran fluida mengalami proses *ejection*. *Quasi streamwise vortices*

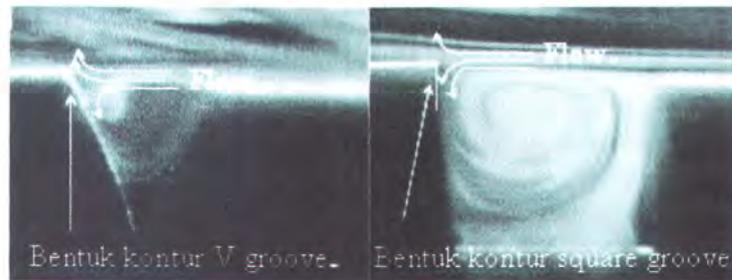
adalah vortek yang bergerak searah dengan arah aliran. Penurunan koefisien *skin friction* tersebut disebabkan melemahnya *quasi streamwise vortices* karena tidak adanya dinding (*wall*) akibat adanya alur (dimana *wall* merupakan penyebab utama *vorticity*).



Gambar 4.13 Proses inflow dan ejection aliran didalam alur untuk alur bujursangkar



Gambar 4.14 Proses inflow dan ejection aliran didalam alur untuk alur segitiga



Gambar 4.15 Pengaruh bentuk kontur pada daerah downstream alur terhadap proses inflow

Dari grafik 4.3 & 4.4 dapat dilihat distribusi  $C_p$  didalam alur bujursangkar. Grafik tersebut menunjukkan perbedaan  $C_p$  antara daerah downstream dan *upstream* di bibir atas alur sebesar 0,1 untuk *freestream*  $U_o = 12\text{m/s}$  dan 0,15 untuk *freestream*  $U_o = 17\text{m/s}$ . Sedangkan hasil yang didapatkan oleh Choi & Fujisawa(1993) lebih kecil yaitu sebesar 0,05 untuk *freestream*  $U_o = 7\text{m/s}$ . Hasil tersebut menunjukkan suatu kenaikan perbedaan tekanan di *upstream* dan *downstream* terhadap kenaikan kecepatan *freestream* atau dengan kata lain efek *pressure drag* lebih besar pada kecepatan yang lebih tinggi. Hal ini tidak ditunjukkan pada penelitian Elavarasan dkk (1996).

Distribusi koefisien *friction* ( $C_f$ ) setelah alur menunjukkan suatu pengaruh dari bentuk alur terhadap reduksi drag seperti 4.12. Penurunan drag secara total ini merupakan integrasi antara kenaikan harga  $C_f$  setelah alur akibat *favourable pressure gradien* dan penurunan harga  $C_f$  setelahnya akibat melemahnya momentum aliran. Peningkatan harga  $C_f$  secara tiba-tiba relatif terhadap harga  $C_{f0}$  pada *downstream* ( $x/d = 0$ ) sebesar 3,9% dan penurunan harga  $C_f$  ( $x/d = 0,4$ ) sebesar 9% untuk  $R_\theta = 1444$ . Sedangkan hasil Elavarasan dkk untuk daerah yang sama sebesar 100% dan penurunan sebesar 37%.

Besar *favourable pressure gradient* yang terjadi dipengaruhi oleh adanya kenaikan tekanan pada bibir downstream alur. Kenaikan tekanan ini berakibat pula pada kenaikan efek pressure drag didalam alur.

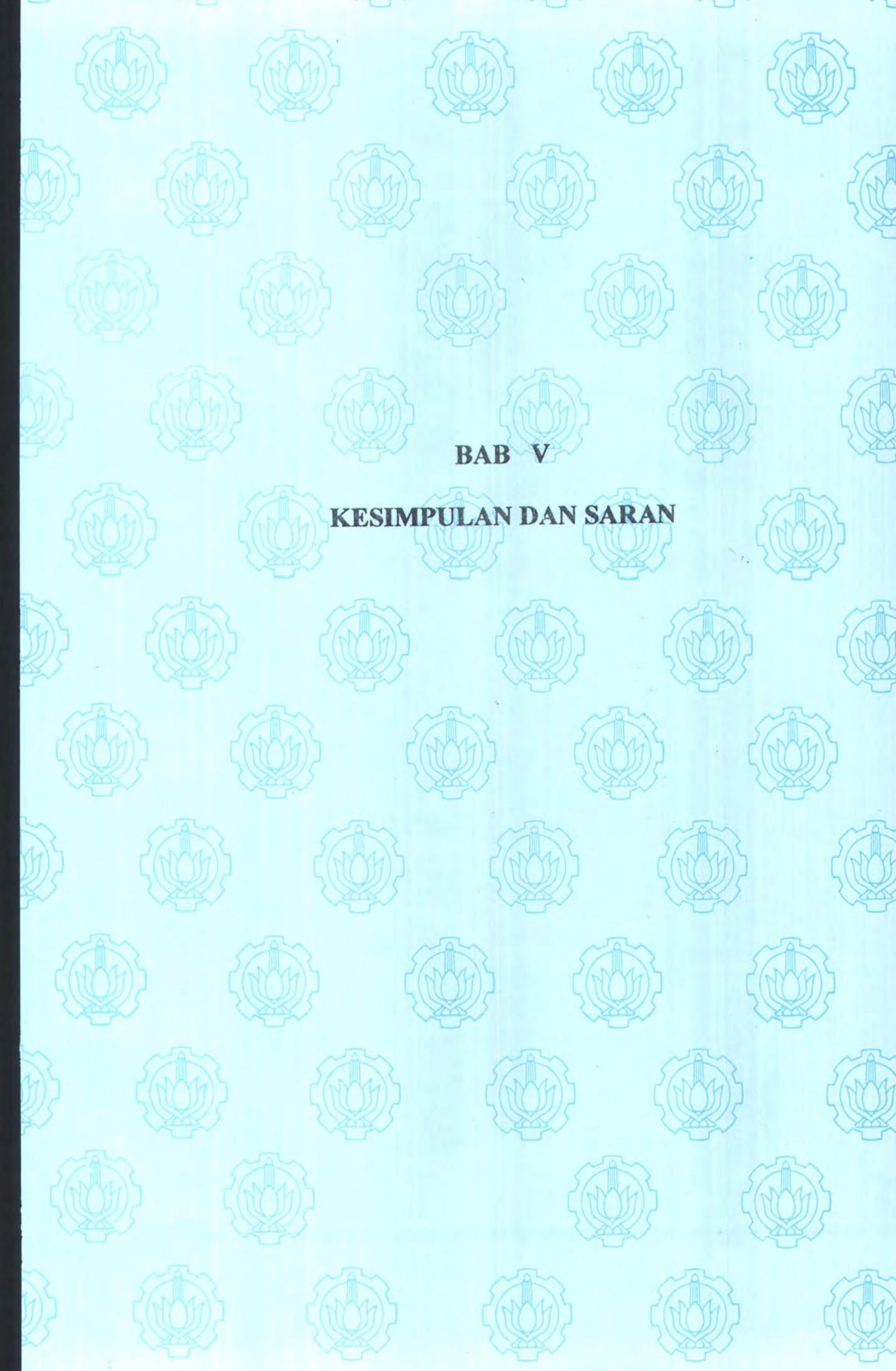
Penurunan harga koefisien gesek ( $C_f$ ) akibat melemahnya momentum aliran setelah alur. Melemahnya momentum aliran ini disebabkan akibat percampuran dua aliran yang mempunyai momentum yang berbeda. Pada proses *ejection* aliran didalam alur akan bercampur dengan aliran diatas alur yang mempunyai momentum yang relatif lebih besar dibandingkan dengan aliran didalam alur yang mempunyai momentum relatif lebih kecil. Percampuran ini akan melemahkan momentum hasil percampuran dibandingkan momentum aliran diatas alur. Besar kecilnya momentum aliran setelah alur akan ditentukan oleh banyaknya fluida didalam alur yang bercampur dengan fluida diatas alur pada saat *ejection*. Semakin banyak fluida didalam alur yang bercampur dengan aliran diatas alur maka semakin lemah momentum hasil percampuran. Hal ini berakibat pula pada semakin besar reduksi drag yang didapat. Pada alur bujursangkar fluida yang keluar dari alur lebih banyak dari pada alur segitiga sehingga momentum hasil percampuran pada alur bujursangkar lebih rendah dari pada alur segitiga. Dengan melemahnya momentum hasil percampuran pada alur bujursangkar ini mampu mereduksi drag secara keseluruhan sebesar 2%, ini dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.

Dari hasil visualisasi tampak bahwa bentuk alur bujur sangkar mempunyai waktu ejeksi yang lama dibandingkan alur segitiga. Hal ini disebabkan pada alur bujursangkar memberi ruang yang lebih besar untuk fluida bersirkulasi dan gesekan pada dinding lebih luas dari pada alur segitiga. Sehingga dari hasil reduksi drag yang didapat pada alur bujursangkar lebih besar.



Dari uraian ini jelas bahwa bentuk alur akan berdampak penurunan drag akibat melemahnya momentum tetapi juga berakibat pada peningkatan besarnya pressure drag. Kenaikan pressure drag ini lebih kecil jika dibandingkan dengan reduksi drag akibat friksi setelah alur untuk kasus alur bujursangkar. Oleh karenanya, secara keseluruhan adanya alur bujursangkar menurunkan drag total yang terjadi.

Hal tersebut diatas tidak terjadi pada alur segitiga. Hal ini dimungkinkan karena pada alur segitiga tidak terjadi penurunan skin friksi akibat lemahnya pengaruh fluida didalam alur yang berinteraksi dengan aliran diatas alur. Sehingga hasil yang didapat pada alur segitiga terjadi kenaikan drag secara total baik itu akibat skin friksi maupun pressure drag pada alur.



**BAB V**

**KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini perhitungan harga koefisien friksi ( $C_f$ ) digunakan metode *Clauser-chart* karena hasil yang didapatkan lebih akurat dibandingkan metode lainnya. Hasil penelitian ini menunjukkan terjadi suatu perbedaan harga  $C_f$  dari pelat datar halus dengan pelat beralur. Harga  $C_f$  untuk aliran yang melewati pelat beralur bujursangkar terjadi osilasi didaerah dekat *downstream*, terjadi kenaikan tajam kemudian diikuti penurunan yang tajam. Hal ini tidak terjadi pada aliran yang melewati pelat beralur segitiga.

Pada aliran yang melewati pelat beralur bujursangkar terjadi pengurangan *drag* sebesar 2 % dibandingkan dengan *drag* yang terjadi pada pelat datar halus untuk  $R_\theta = 995$  dan  $R_\theta = 1444$ . Pada aliran yang melewati pelat beralur segitiga terjadi kenaikan *drag* dibandingkan dengan aliran yang melewati pelat datar halus.

Secara umum aliran yang melewati pelat halus dan beralur terjadi penurunan harga *shape factor* ( $H$ ) terhadap fungsi  $x/d$ . Pada  $R_\theta = 995$  tidak ada perubahan yang *significant* harga *shape factor* ( $H$ ) antara pelat halus, pelat beralur V dan pelat beralur bujursangkar. Berbeda untuk  $R_\theta = 1444$  harga *shape factor* ( $H$ ) pada pelat datar halus dan beralur segitiga relatif konstan terhadap fungsi  $x/d$ . Sedangkan pada alur bujursangkar harga *shape factor* ( $H$ ) semakin besar seiring dengan kenaikan  $x/d$ . Penurunan harga *shape factor* ( $H$ ) mengindikasikan bahwa semakin besar  $x/d$  semakin besar intensitas turbulensi.

Hasil visualisasi menunjukkan suatu perbedaan proses *inflow* dan *ejection* aliran didalam alur pada pelat beralur bujursangkar dan segitiga. Waktu tak

berdimensi pada proses *inflow* dan *ejection* untuk alur bujursangkar lebih besar dari pada alur segitiga.

Bentuk alur sangat menentukan pada hasil reduksi *drag* yang didapat. Bentuk alur bujursangkar mampu mereduksi *drag* dibandingkan pada pelat datar halus. Sedangkan bentuk alur segitiga terjadi kenaikan *drag* dibandingkan pada pelat datar halus.

## 5.2 SARAN

Hasil yang didapat pada alur segitiga untuk harga *drag* perlu mendapat kajian lebih jauh. Hal ini disebabkan keterbatasan alat ukur, untuk itu penelitian kedepan diharapkan menggunakan alat ukur yang lebih akurat.

Pada proses visualisasi untuk daerah setelah alur diusahakan dengan menggunakan *oil flow visualisation* didapat hasil yang maksimal karena kecepatan bisa lebih tinggi.



**DAFTAR PUSTAKA**

---

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Choi, K. S., & Fujisawa, N., *Possibility of Drag Reduction Using d-type Roughness*, Applied Scientific Research vol. 50, pp.315-324, 1993.
2. Fox, Robert W. & McDonald, Alan T, *Introduction to Fluid Mechanics*, 4<sup>th</sup> edition, John Wiley and Son, Inc, 1994.
3. Pearson, B. R., Elavarasan, R., & Antonia, R. A., *The Effect of a square groove on a Boundary Layer*, Proceedings of Twelfth Australasian Fluid Mechanics Conference, 1995.
4. Robert H. Nunn, *Intermediate Fluid Mechanics*, Hemisphere Publishing Corporation, 1987
5. Shames, I. H., *Mechanics of Fluids*, revised 1<sup>st</sup> edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., 1962.
6. Tani, L., *Turbulent Boundary Layer Development over Rough Surface*, dalam Mejer, H. U., Bradshaw, P. (eds.), *Perspectives in Turbulent Studies*, Springer-Verlag, 1987.
7. Tantirige S. C, Iribarne A. P, Ojhas M. and Trass O, *The Turbulent Boundary Layer Over Single V – Shaped Grooves*, Int. J. Heat Mass Transfer, pp 2261 – 2271, 1994.



**LAMPIRAN**



## LAMPIRAN

Data dari literature :

- ◆ Massa jenis udara ( $\rho_{udara}$ ) = 1,225 kg/m<sup>3</sup>
- ◆ Massa jenis air ( $\rho_{air}$ ) = 999 kg/m<sup>3</sup>
- ◆ Cairan pengisi manometer adalah *red oil* dengan  $SG_{red\ oil} = 0,887$
- ◆ Viskositas kinematis udara ( $\nu$ ) = 1,45 . 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s

Data hasil percobaan

Data hasil percobaan untuk pengukuran  $C_p$  didalam alur :

- Tinggi oil untuk tekanan di dalam alur awal ( $h_{awal}$ ) = 9,7 cm *red oil*.
- Tinggi oil untuk tekanan di dalam alur akhir ( $h_{akhir}$ ) = 8,3 cm *red oil*.
- Tinggi oil untuk tekanan statis *free stream* awal ( $h_{\infty\ awal}$ ) = 19,5 cm *red oil*
- Tinggi oil untuk tekanan statis *free stream* akhir ( $h_{\infty\ akhir}$ ) = 20,8 cm *red oil*
- Kecepatan *free stream* ( $U_0$ ) = 12 m/s
- ◆ Data percobaan untuk pengukuran profil kecepatan (data pada alur segitiga kecepatan 12 m/s dan  $x/d = -1,6$  ;  $y = 0,35$  mm) :
  - Tinggi oil untuk tekanan statis bacaan awal ( $h_s\ awal$ ) = 10,95 cm *red oil*
  - Tinggi oil untuk tekanan statis bacaan akhir ( $h_s\ akhir$ ) = 9,65 cm *red oil*
  - Tinggi oil untuk tekanan stagnasi bacaan awal ( $h_o\ awal$ ) = 12,8 cm *red oil*
  - Tinggi oil untuk tekanan stagnasi bacaan akhir ( $h_o\ akhir$ ) = 11,75 cm *red oil*
  - Manometer yang digunakan adalah *inclined manometer* dengan sudut ( $\alpha$ ) = 30°.

### Contoh Perhitungan.

Perhitungan Koefisien Tekanan  $C_p$

Perbedaan ketinggian cairan untuk tekanan lokal ( $h$ )

$$\begin{aligned} h &= h_{akhir} - h_{awal} \\ &= (8,3 - 9,7) \cdot 0,01 = -0,014 \text{ m red oil.} \end{aligned}$$

Tekanan local ( $p$ )

$$p = \rho_{red\ oil} \cdot g \cdot h$$



$$\begin{aligned}
 &= SG_{red\ oil} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot 2 \cdot h \cdot \sin 30^\circ \\
 &= 0,887 \cdot 999 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (-0,014) \cdot 0,5 \\
 &= -120,327 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Perbedaan ketinggian cairan untuk tekanan statis *free stream* ( $h$ )

$$\begin{aligned}
 h &= h_{akhir} - h_{awal} \\
 &= (19,5 - 20,8) \cdot 0,01 = -0,013 \text{ m red oil}
 \end{aligned}$$

Tekanan statis *free stream* ( $p_\infty$ )

$$\begin{aligned}
 p_\infty &= \rho_{red\ oil} \cdot g \cdot h \\
 &= SG_{red\ oil} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot 2 \cdot h \cdot \sin 30^\circ \\
 &= 0,887 \cdot 999 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (-0,013) \cdot 0,5 \\
 &= -111,732 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Koefisien tekanan ( $C_p$ )

$$\begin{aligned}
 C_p &= \frac{P - P_\infty}{0,5 \cdot \rho_{udara} \cdot U^2} \\
 &= \frac{(-120,327) - (-111,372)}{0,5 \cdot 1,225 \cdot 12^2} \\
 &= -0,10142
 \end{aligned}$$

- ◆ Perhitungan koefisien *drag* ( $C_D$ ) didalam alur.

$$F_D = \int p \cdot dA$$

$$F_D = \int C_p \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot dA$$

$$C_D = \frac{F_D}{0,5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A}$$

$$C_D = \frac{\int_{-0,9}^{-0,1} (C_{p_{d-u}})_y \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot dA}{0,5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A}$$

$$C_D = \frac{\int_{-0,9}^{-0,1} (C_{p_{d-u}})_y \cdot dA}{A}$$

$$= \frac{\int_{-0,9}^{-0,1} (C_{p_{d-u}})_y \cdot w \cdot dy}{w \cdot d}$$

$$= \frac{\int_{-0,9}^{-0,1} (Cp_{d-u})_y \cdot dy}{d}$$

Hasil  $(Cp_{d-u})_y$  untuk alur segitiga sebagai berikut :

	U = 12 m/s	U = 17 m/s
Y	Cp	Cp
-0,002	0,202840712	0,252673551
-0,003	-0,101420356	0,15160413
-0,004	-0,202840712	-0,15160413
-0,005	-0,101420356	0
-0,006	-0,101420356	-0,15160413
-0,0065	0,101420356	0,10106942
-0,007	-0,101420356	0,05053471
-0,008	-1,67692E-15	0,10106942
-0,009	-0,101420356	-0,05053471

$$\int_{-0,009}^{-0,002} (Cp_{d-u})_y \cdot dy = \left( \frac{(-0,002) - (-0,009)}{8} \right) \cdot \frac{1}{2} \left( (-0,1014) + \sum_2^8 2 \cdot (Cp_{d-u}) + (0,2028) \right)$$

$$= -0,0003803$$

$$C_D = \frac{-0,0003803}{0,01}$$

$$= -0,03803$$

**Distribusi koefisien tekanan Cp pada alur bujursangkar**

y (cm)	downstream		upstream		dasar alur (base)		
	U = 12	U = 17	U = 12	U = 17	x(cm)	U = 12	U = 17
	Cp	Cp	Cp	Cp		Cp	Cp
-0.85	0.0493	0.0491	0.0000	0.0246	-0.90	0.1971	
-0.70	0.0493	0.0491	0.0000	0.0000	-0.75	0.1478	
-0.65	0.0493	0.0737	0.0000	-0.0246	-0.55	-0.0986	
-0.50	0.0986	0.1228	0.0493	0.0246	-0.45	0.0986	
-0.45	-0.0493	0.0000	0.0986	0.0246	-0.25	0.0000	
-0.35	0.0986	0.0737	0.0000	-0.0246			
-0.25	0.0493	0.0737	0.0000	0.0000			
-0.15	0.0986	0.0982	0.0000	0.0491			
-0.10	0.0986	0.1964	0.0986	0.0982			



$$\int_{-0,85}^{-0,1} C_p dy = \frac{-0,1 - (-0,85)}{8} \cdot \frac{1}{2} \left[ (0,0493) + \sum_2^7 2 \cdot (C_{p_i}) + (0,0986) \right]$$

$$\int_{-0,85}^{-0,05} C_p dy = \frac{-0,05 - (-0,85)}{8} \cdot \frac{1}{2} \left[ (0) + \sum_2^7 2 \cdot (C_{p_i}) + (0,0986) \right]$$

$$C_d = 0.024$$

$$\int_{-0,85}^{-0,1} C_p dy = \frac{-0,1 - (-0,85)}{8} \cdot \frac{1}{2} \left[ (0,0491) + \sum_2^7 2 \cdot (C_{p_i}) + (0,1964) \right]$$

$$\int_{-0,85}^{-0,1} C_p dy = \frac{-0,05 - (-0,85)}{8} \cdot \frac{1}{2} \left[ (0) + \sum_2^7 2 \cdot (C_{p_i}) + (0,0982) \right]$$

$$C_d = 0.047$$

#### ◆ Perhitungan Kecepatan.

Perbedaan ketinggian tekanan statis ( $h_s$ )

$$\begin{aligned} h_s &= h_{s \text{ akhir}} - h_{s \text{ awal}} \\ &= (9,65 - 10,95) \end{aligned}$$

$$h_s = -1,3 \text{ cm red oil}$$

Tekanan statis ( $p_s$ ).

$$\begin{aligned} p_s &= 2 \cdot \sin 30 \cdot h_s \\ &= 2 \cdot \sin 30 \cdot (-1,3) \\ &= -1,3 \text{ cm red oil} \end{aligned}$$

Perbedaan ketinggian tekanan stagnasi ( $h_o$ )

$$\begin{aligned} h_o &= h_{o \text{ akhir}} - h_{o \text{ awal}} \\ &= (11,75 - 12,8) \\ &= -1,05 \text{ cm red oil} \end{aligned}$$

Tekanan stagnasi ( $p_o$ )

$$\begin{aligned} p_o &= 2 \cdot \sin 30 \cdot h_o \\ &= 2 \cdot \sin 30 \cdot -1,05 \\ &= -1,05 \text{ cm red oil} \end{aligned}$$

Perbedaan tekanan stagnasi dan statis.

$$\begin{aligned} p_o - p_s = \Delta p &= (-1,05) - (-1,3) \\ &= 0,25 \text{ cm red oil} \\ &= 0,0025 \text{ m red oil} \end{aligned}$$

Kecepatan ( $u$ )

$$(p_o - p_s) = 0,5 \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot u^2$$

$$u = \sqrt{\frac{(p_o - p_s)}{0,5 \cdot \rho_{\text{udara}}}}$$

$$u = \sqrt{\frac{(SG_{\text{red oil}} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot \Delta p)}{0,5 \cdot \rho_{\text{udara}}}}$$

$$u = \sqrt{\frac{(0,887 \cdot 999,981 \cdot 0,0025)}{0,5 \cdot 1,225}}$$

$$u = 5,957 \text{ m/s}$$

### Grafik harga momentum thickness terhadap jarak $x/d$

