



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK ALIRAN AIR PADA
SALURAN BERUKURAN MINI (*MINICHANNEL*)**

SKRIPSI

WILLEM WICAKSONO

0404020703

SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI
SEBAGIAN PERSYARATAN MENJADI
SARJANA TEKNIK

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Willem Wicaksono
NPM : 0404020703
Tanda Tangan :
Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Willem Wicaksono
NPM : 0404020703
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Karakteristik Aliran Air pada Saluran Berukuran Mini (*Minichannel*).

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Warjito M.Sc. Ph.D (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir Yanuar M.Eng (.....)

Penguji : Dr. Ir. Harinaldi M.Eng (.....)

Penguji : Ardiansyah ST, M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 15 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal kuliah sampai penyusunan skripsi ini, maka akan sulit bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ir. Warjito M.Sc. Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
2. Pihak Departemen Teknik Mesin yang telah membantu memfasilitasi dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan moril dan materiil; dan
4. Semua teman dan sahabat yang tidak dapat disebut satu-persatu atas doa dan dukungannya selama ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan YME berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 22 Juni 2009

Penulis

ABSTRAK

Nama : Willem Wicaksono
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Karakteristik Aliran Air pada Saluran Berukuran Mini
(*Minichannel*).

Skripsi ini membahas fenomena aliran air pada *minichannel*. Fenomena tersebut antara lain adalah *pressure drop* dari aliran dan nilai *friction factor* (f) yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dan hasil-hasilnya disampaikan dalam bentuk grafik yang kemudian dianalisa secara deskriptif. Pengamatan dilakukan terhadap *flow rate* dan *head loss* dari aliran dengan cara mengalirkan air dari sebuah bak tampungan air dengan *head* tertentu ke dalam sebuah *test section* berukuran mini (1 mm x 0.8 mm) dengan panjang 67 cm. Hasil penelitian menunjukkan *pressure drop* yang cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat dari *head loss* pada manometer yang dipasang pada *test section*. Dan nilai dari *friction factor* yang didapat pun bervariasi pada tiap metode pencarian nilai *friction factor* yang digunakan.

ABSTRACT

Name : Willem Wicaksono
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Water Flow Characteristic in Minichannel

This work will discuss about minichannel flow phenomena. The phenomena are pressure drop and friction factor (f). The method that used in this research was experimental method and the results were presented in the form of graphics for further analysis. The observation was done to the flow rate and pressure drop that occur when water from water container flow through the minichannel which has 1 mm x 0.8 mm size and 67 cm long. The experimental result showed that the pressure drop that occur was very high. It can be seen from head loss in manometer which is connected with the test section. Moreover the value of friction factor obtained from this experiment has been various for each method being used.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Batasan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penulisan Skripsi.....	2
I.4 Metodologi Penulisan Skripsi.....	2
I.5 Sistematika Penulisan Skripsi.....	3

BAB II	LANDASAN TEORI.....	4
II.1	Literatur Mekanika Fluida.....	4
II.1.1	Aliran Laminar dan Turbulen.....	4
II.1.2	Aliran Vislos Dalam Pipa.....	5
II.1.3	Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh.....	6
II.1.4	Pengukuran Tekanan.....	8
II.2.5	Teori Darcys-Weisbach.....	10
II.2	Teori Minichannel.....	11
BAB III	RANCANG BANGUN ALAT PENELITIAN.....	16
III.1	Desain Alat Penelitian.....	16
III.2	<i>Test Section</i>	16
III.3	Bak Penampung Air.....	17
III.4	Manometer.....	18
III.5	Gelas Ukur.....	18
BAB IV	METODE PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA..	19
IV.1	Metode Pengambilan Data.....	19
IV.1.1	Metode Pengambilan Data Laju Aliran.....	19
IV.1.2	Prosedur Pengambilan Data Laju Aliran.....	19
IV.1.3	Metode Pengambilan Data Tekanan.....	20
IV.1.4	Prosedur Pengambilan Data.....	20
IV.2	Metode Pengolahan Data.....	21

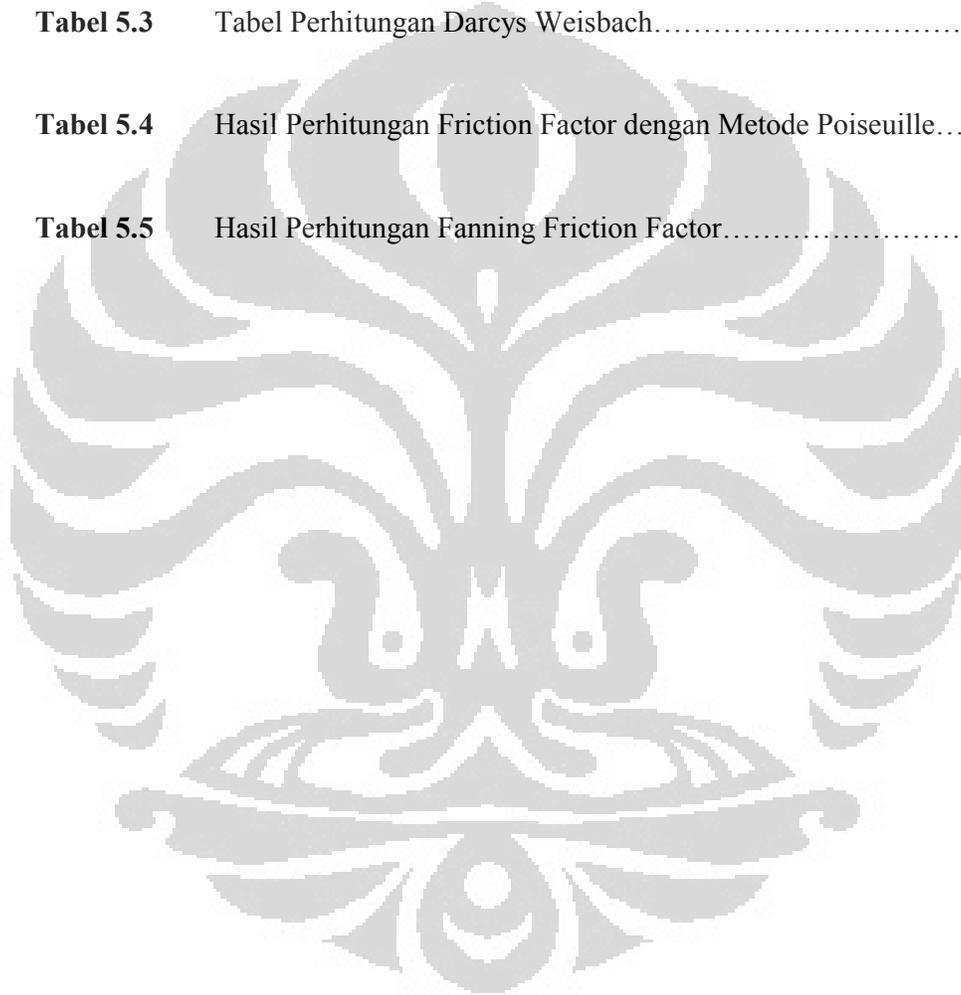
BAB V	PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....	22
V.1	Pengolahan Data.....	22
V.1.1	Perhitungan <i>head</i> Tekanan.....	22
V.1.2	Perhitungan <i>Friction Fator</i>	25
V.2	Analisa Data.....	28
V.2.1	Analisa <i>Pressure Drop</i>	28
V.2.2	Analisa <i>Friction Factor</i>	29
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	
VI.1	Kesimpulan.....	31
VI.2	Saran.....	32
	DAFTAR ACUAN.....	33
	LAMPIRAN.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Eksperimen Ilustrasi Jenis Aliran.....	5
Gambar 2.2	Aliran dalam Pipa.....	6
Gambar 2.3	Derah Aliran Sedang Berkembang dan Berkembang Penuh.....	6
Gambar 2.4	Ilustrasi Tekanan.....	9
Gambar 2.5	Barometer air Raksa.....	9
Gambar 2.6	Moody Diagram.....	10
Gambar 2.7	<i>Minichannel Test Section</i>	11
Gambar 2.8	Penampang <i>minichannel</i> , <i>aspect ratio</i> dan Bilangan Poiseuille.....	14
Gambar 3.1	Experimental Set-up.....	16
Gambar 3.2	Minichannel Test Section.....	17
Gambar 3.3	Bak Penampung Air.....	17
Gambar 3.4	Manometer Air.....	18
Gambar 3.5	Gelas Ukur.....	18
Gambar 5.1	Hasil penelitian <i>friction factor</i> Kandlikar (2005).....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Data <i>minichannel</i> dan sifat-sifat air.....	22
Tabel 5.2	Tabel Hasil Pengolahan Debit Aliran.....	22
Tabel 5.3	Tabel Perhitungan Darcys Weisbach.....	25
Tabel 5.4	Hasil Perhitungan Friction Factor dengan Metode Poiseuille.....	26
Tabel 5.5	Hasil Perhitungan Fanning Friction Factor.....	26



DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Distribusi Tekanan pada Minichannel.....	23
Grafik 5.2	Distribusi Penurunan Tekanan pada Minichannel.....	23
Grafik 5.3a	Distribusi Selisih <i>Pressure Drop</i> (8-28).....	24
Grafik 5.3b	Distribusi Selisih <i>Pressure Drop</i> (40-56).....	24
Grafik 5.4	Perbandingan <i>Friction Factor</i>	27



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
P	Tekanan	N/m^2
dP	Selisih tekanan	N/m^2
Q	Debit aliran	ml/min
V	Kecepatan fluida	m/s
D	Diameter	mm
D_h	Diameter hidrolik	mm
μ	Viskositas dinamik	$N.s/m^2$
ε	Kekasaran ekivalen	mm
Re	Bilangan Reynolds	-
h_L	<i>Head loss</i>	cm
f	<i>Friction factor</i>	-
f_{cf}	<i>Friction factor constricted</i>	-
L	Panjang saluran	cm
ℓ_e	Panjang daerah masuk	cm
Po	Bilangan Poiseuille	-
A	<i>Aspect Ratio</i>	-
G	<i>Mass flux</i>	$kg/m^2.s$

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi menuntut semakin kompleksnya produk-produk teknologi. Salah satu ciri fisik dari kemajuan teknologi tersebut adalah bentuk dan ukuran produk yang menjadi lebih kecil, mini, ataupun mikro. Namun tetap diharapkan produk tersebut dapat bekerja dengan performa yang lebih baik.

Keuntungan dari produk yang berukuran lebih kecil adalah *material cost* yang rendah dan kemudahan untuk dibawa-bawa (*portable*). Namun hal ini juga menimbulkan masalah yang cukup signifikan, yakni bahwa semakin kecil dimensi suatu produk elektronik, maka kebutuhan akan pendinginan komponennya semakin besar.

Untuk itu, pendinginan yang dilakukan tidak bisa hanya menggunakan *fan* saja, melainkan perlu adanya proses pendinginan yang lebih efisien dimana salah satunya menggunakan air sebagai fluida pendingin.

Penggunaan air sebagai fluida pendingin memang sudah dikenal sejak lama. Namun penggunaannya sebagai pendingin komponen alat elektronik modern yang berdimensi sangat kecil merupakan sebuah inovasi baru, dimana air sebagai media pendingin akan dilewatkan melalui daerah aliran yang berupa pipa atau *channel* yang berukuran mini maupun mikro yang bisa kita sebut *minichannel* atau *microchannel*.

Bila dibandingkan, keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan. Keuntungan yang diperoleh dari *microchannel* bila dilihat dari sisi termofluida adalah nilai *heat transfer* yang lebih besar, karena ukuran yang lebih kecil membuat bidang kontak menjadi lebih besar, *heat exchanger* yang lebih *compact* (kecil), dan volume aliran massa yang lebih kecil. Namun ukuran *microchannel* yang sangat kecil ini juga menimbulkan beberapa kendala, yakni tingginya *pressure drop* akibat peningkatan friksi dan juga masalah fabrikasi, dimana

sangat sulit untuk membuat *microchannel* tersebut. Sehingga dibutuhkan teknologi dengan ketelitian tinggi yang berimbas pada *cost* yang tinggi pula. Hal ini berkebalikan dengan *minichannel*. Walaupun kemampuan menghantar panas tak sebaik *microchannel*, namun *minichannel* lebih mudah untuk difabrikasi.

Melihat keterbatasan di atas, maka pada skripsi ini akan dilakukan pengujian menggunakan sebuah *test section* berupa *minichannel* yang terbuat dari bahan *acrylic*. Lalu *minichannel* tersebut dihubungkan dengan bak penampung air dengan nilai ketinggian (*head*) tertentu. Selanjutnya akan divariasikan ketinggian air pada bak untuk melihat fenomena mekanika fluida yang terjadi, khususnya adalah *pressure drop* yang terjadi dan nilai *friction factor* pada *minichannel* tersebut.

I.2 BATASAN MASALAH

Batasan masalah hanya ditekankan pada fenomena dan perhitungan aliran fluida pada *minichannel* dari sudut pandang ilmu mekanika fluida. Dalam tugas akhir ini tidak dibahas mengenai kinerja air sebagai media pendingin dalam proses *heat transfer*.

I.3 TUJUAN PENULISAN SKRIPSI

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Untuk memenuhi syarat kelulusan sebagai sarjana teknik.
2. Mengetahui fenomena aliran air pada *minichannel* dengan mengamati besar *pressure drop* dan *friction factor* yang terjadi pada *minichannel*.

I.4 METODOLOGI PENYUSUNAN SKRIPSI

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Tinjauan Pustaka, mempelajari buku, situs, dan artikel yang terkait.
2. Penelitian di Lab dan pengumpulan data.
3. Pengolahan data penelitian dan analisa.
4. Penyusunan Tugas Akhir, dimulai dari pembuatan proposal sampai dengan kesimpulan.

I.5 SISTEMATIKA PENULISAN SKRIPSI

Penulisan tugas akhir ini tersusun dalam 5 (lima) bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan metodologi penyusunan tugas akhir.

BAB II Dasar Teori

Bab ini berisi dasar teori yang berkaitan dengan penyusunan tugas akhir ini. Adapun dasar teori tersebut adalah Mekanika Fluida.

BAB III Rancang Bangun Alat Penelitian Minichannel

Bab ini berisi cara pembuatan alat uji (*test section*) dan alat-alat pendukung lainnya.

BAB IV Metode Pengambilan dan Pengolahan Data

Bab ini berisi metode dan prosedur dalam pengambilan dan pengolahan data.

BAB V Pengolahan dan Analisa Data

Bab ini berisi pengolahan data dan analisa hasil penelitian sehingga didapatkan hubungan antara debit, *head* tekanan, dan *friction factor* (f).

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil perancangan, pengolahan, dan analisa data.

BAB II

LANDASAN TEORI

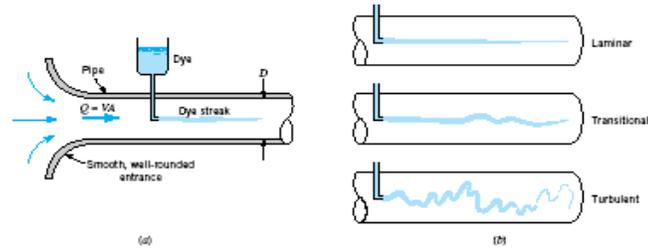
II.1 LITRATUR MEKANIKA FLUIDA

Terdapat beberapa materi dari Mekanika Fluida yang digunakan dalam proses penelitian ini, antara lain :

- a. Aliran Laminar dan Turbulen,
- b. Aliran Viskos dalam Pipa,
- c. Daerah Masuk dan Aliran berkembang Penuh, dan
- d. Pengukuran Tekanan.
- e. Teori Darcys-Weisbach

II.1.1 Aliran Laminar dan Turbulen [1]

Aliran fluida dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau tubulen. Osborne Reynolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan 2 klasifikasi aliran ini dengan peralatan yang sederhana seperti gambar di bawah ini. Jika suatu air mengalir melalui pipa berdiameter D dengan kecepatan rata-rata V , sifat-sifat berikut ini dapat diamati dengan menginjeksikan zat pewarna yang mengambang seperti pada gambar. Untuk "laju aliran yang cukup kecil" guratan zat pewarna akan tetap berupa garis yang terlihat jelas selama mengalir, dengan hanya sedikit saja menjadi kabur karena difusi molekuler dari zat pewarna ke air di sekelilingnya. Untuk suatu "laju aliran sedang" yang lebih besar, guratan zat pewarna berfluktuasi menurut waktu, ruang dan olakan putus-putus dengan perilaku tak beraturan muncul di sepanjang guratan. Sementara itu untuk "laju aliran yang cukup besar" guratan zat pewarna dengan sangat segera menjadi kabur dan menyebar di seluruh pipa dengan pola yang acak. Ketiga karakteristik ini, yang masing-masing disebut sebagai aliran *laminar*, *transisi*, dan *turbulen*.



Gambar 2.1 Eksperimen Ilustrasi Jenis Aliran

Untuk aliran pipa, parameter tak berdimensi yang paling penting adalah bilangan Reynolds (Re), adalah perbandingan antara efek inersia dan viskositas dalam aliran. Dari hasil analisa, dapat diketahui bahwa aliran pada pipa tergantung terhadap angka Reynolds (*Reynolds Number*),

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana V adalah kecepatan rata-rata dalam pipa; D adalah diameter dalam pipa; ρ adalah kerapatan; μ adalah Viskositas. Artinya, aliran di dalam sebuah pipa adalah laminar, transisi atau turbulen dapat diketahui dari bilangan Reynoldsnya . Aliran dalam pipa berlaku sebagai berikut :

$Re \leq 2300$, maka aliran tersebut laminar.

$2300 \leq Re \leq 4000$, maka aliran tersebut transisi.

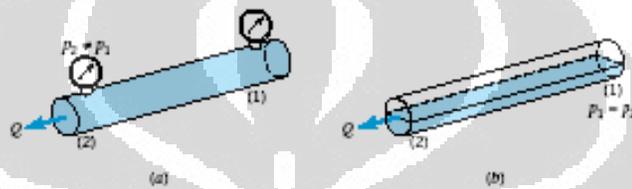
$Re \geq 4000$, maka aliran tersebut turbulen.

II.1.2 Aliran Viskos Dalam Pipa [1]

Sistem Transportasi fluida dengan menggunakan pipa atau saluran memiliki aplikasi praktik yang cukup banyak. Pabrik kimia dan penyaring oli sangat tergantung dengan pipa-pipa ini. Pembangkit tenaga listrik berisikan bermacam-macam pipa dan saluran untk memindahkan fluida yang diaplikasikan dalam proses konversi energi dan lain sebagainya.

Walaupun tidak seluruh saluran yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya mempunyai penampang bundar, namun kebanyakan yang digunakan adalah seperti itu. Saluran ini meliputi pipa-pipa air, selang-selang hidrolis, dan saluran-saluran lainnya yang dirancang untuk menahan perbedaan tekanan yang sangat besar melintasi dinding-dindingnya tanpa mengakibatkan perubahan bentuk.

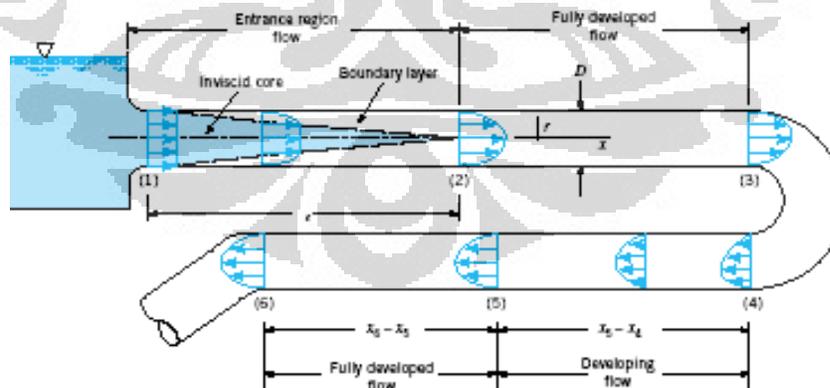
Aliran yang terjadi pada Tugas Akhir ini diasumsikan mengisi penuh pipa seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Aliran dalam Pipa

II.1.3 Daerah Masuk dan Aliran berkembang Penuh [1]

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa dalam satu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (entrance region) dan diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Daerah Aliran Sedang Berkembang dan Berkembang Penuh

Daerah tersebut mungkin sekitar beberapa kaki permulaan dari sebuah pipa yang dihubungkan pada sebuah tangki atau bagian awal dari sebuah duct udara panas yang berasal dari sebuah tungku.

Aliran di daerah masuk sebuah pipa sangat kompleks, fluida biasanya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Selagi pipa fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkan tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa selip). Hal ini berlaku jika fluidanya adalah udara yang relatif inviscid, ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah lapisan batas (boundary layer) dimana efek viskos menjadi penting timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian sehingga di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut x .

Lapisan batas telah tumbuh ketebalannya sehingga memenuhi pipa secara menyeluruh. Efek viskos sangat penting di dalam lapisan batas. Untuk fluida di luar lapisan batas [di dalam inti inviscid (inviscid core) yang mengelilingi garis sumbu (1) dan (2)], efek viskos dapat diabaikan.

Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa tergantung pada apakah aliran laminar atau turbulen, sebagaimana pula panjang daerah masuk, ℓ_e . Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, panjang masuk tak berdimensi, ℓ_e/D , berkorelasi cukup baik dengan bilangan Reynolds. Panjang masuk pada umumnya diberikan hubungan :

$$\frac{\ell_e}{D} = 0,006 \text{ Re} \quad \text{untuk aliran laminar} \dots\dots(2.2)$$

Dan

$$\frac{\ell_e}{D} = 4,4(\text{Re})^{1/6} \quad \text{Re untuk aliran turbulen} \dots\dots(2.3)$$

Untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds sangat rendah, panjang masuk dapat sangat pendek ($\ell_e = 0,6 D$ jika $\text{Re} = 10$), sementara untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar, daerah masuk tersebut dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai ($\ell_e =$

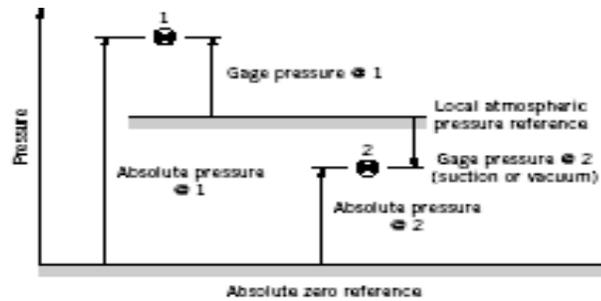
120 D untuk $Re = 2000$). Untuk banyak masalah-masalah teknik praktis $10^4 < Re < 10^5$ sehingga $20D < \ell_e < 30D$.

Perhitungan profil kecepatan dan distribusi tekanan di dalam daerah masuk sangat rumit. Namun, apabila fluida telah mencapai ujung akhir dari daerah masuk, bagian (2) dari gambar di atas, aliran lebih mudah digambarkan karena kecepatan hanyalah fungsi jarak dari sumbu pipa, r , dan tidak bergantung pada x . Hal ini berlaku sampai sifat dari pipa berubah karena sesuatu hal, misalnya perubahan diameter, atau sampai fluida mengalir melalui sebuah belokan, katup, atau komponen lainnya pada bagian (3). Aliran antara (2) dan (3) disebut berkembang penuh (*fully developed*). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh [pada bagian (4)], aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuhnya [bagian (5)] dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai [bagian (6)]. Dalam banyak kasus, pipa cukup panjang, sehingga terdapat panjang aliran berkembang penuh yang lebih besar dibandingkan dengan aliran yang sedang berkembang.

II.1.4 Pengukuran Tekanan [1]

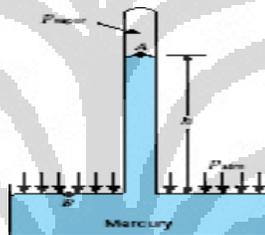
Tekanan dinyatakan sebagai gaya per satuan luas. Dimana, satuan tekanan samdenagn tegangan, dan pada umumnya tekanan dapat dianggap sebagai sejenis tegangan juga. Tekanan absolut diukur relatif terhadap suatu keadaan hampa sempurna (tekanan nol mutlak), atau gaya persatuan luas yang bekerja pada dinding penampung fluida. Tekanan relatif atau tekanan pengukuran adalah selisih antara tekanan absolut dan tekanan atmosfer setempat.

Tekanan mutlak selalu positif, tetapi tekanan pengukuran dapat positif maupun negatif, tergantung apakah tekanan tersebut di atas tekanan atmosfer (bernilai positif) atau di bawah tekanan atmosfer (bernilai negatif). Sebuah tekanan negatif disebut juga sebagai tekanan hisap atau hampa. Misalnya, tekanan mutlak 10 Psi (abs) dapat dinyatakan sebagai pengukuran -4,7 Psi (gage), jika tekanan atmosfer setempat adalah 14,7 Psi, atau dengan cara lain dinyatakan sebagai tekanan hisap 4,7 Psi atau tekanan hampa 4,7 Psi.



Gambar 2.4 Ilustrasi Tekanan

Pengukuran tekanan atmosfer biasanya dilakukan dengan sebuah barometer air raksa, yang bentuk paling sederhananya terdiri dari sebuah tabung gelas tertutup pada satu ujungnya dan ujung terbuka lainnya tercelup dalam sebuah bejana berisi dengan air raksa seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.5 Barometer air Raksa

Tabung tersebut mulai diisi penuh dengan air raksa (pada posisi terbalik dengan sisi terbuka menghadap ke atas) dan kemudian diputar ke bawah (ujung terbuka ke bawah) sehingga ujung terbuka di dalam bejana air raksa. Ketinggian kolom air raksa akan mencapai suatu posisi kesetimbangan dimana beratnya ditambah dengan gaya akibat tekanan uap (yang terbentuk pada ruang di atas kolom) mengimbangi gaya karena tekanan atmosfer.

Jadi :

$$P_{atm} = \gamma h + P_{uap} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana γ adalah berat jenis air raksa. Untuk kebanyakan tujuan praktis, pengaruh tekanan uap dapat diabaikan karena nilainya sangat kecil [untuk air raksa $P_{uap} = 0,000023 \text{ lb/in}^2$ (abs) pada temperatur 68^0 F. Ini merupakan cara yang

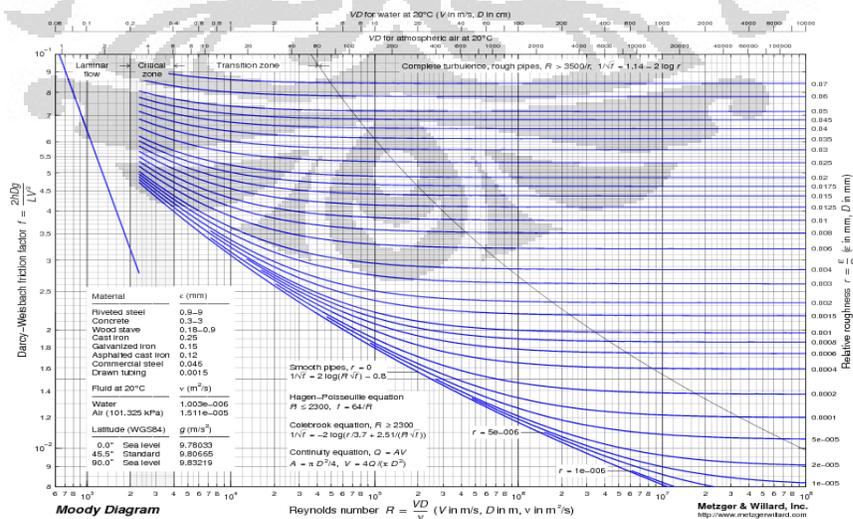
konvensional untuk menyatakan tekanan atmosfer dengan ketinggian h dalam milimeter atau inch air raksa. Perlu dicatat jika air digunakan sebagai pengganti air raksa, maka ketinggian kolom akan mencapai kira-kira 34 ft, dibandingkan dengan air raksa yang hanya 29,9 inch. Konsep barometer air raksa diciptakan *Evangelista Torricelli* pada tahun 1644.

II.1.5 Teori Darcys-Weisbach

Merupakan salah satu persamaan tertua yang masih digunakan dalam permasalahan mekanika fluida. Persamaan ini digunakan untuk menghitung *pressure drop* atau *head loss* pada pipa untuk semua jenis fluida, baik liquid maupun gas [2]. Rumus umum dari persamaan ini adalah : [1]

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana h_L adalah head loss (m); f adalah Darcy's friction factor; L adalah panjang pipa (m); D adalah diameter dalam pipa (m); dan V adalah kecepatan rata-rata aliran. Lalu untuk mendapatkan nilai f kita perlu melihat *moody diagram* seperti Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.6 Moody Diagram [4]

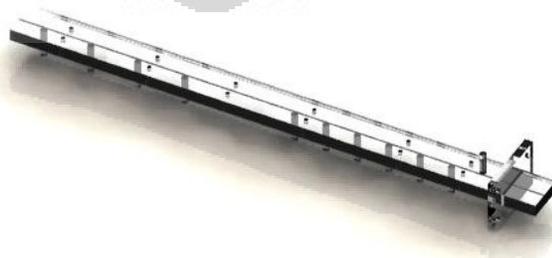
Untuk aliran laminar, biasanya digunakan persamaan yang lebih simpel untuk mendapatkan nilai *friction factor*. Persamaan tersebut sering disebut persamaan konvensional untuk aliran laminar yang membentuk garis linear pada Moody Diagram di atas. Persamaan itu adalah :

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.6)$$

II.2 TEORI MINICHANNEL

Sistem pendinginan dengan *minichannel* telah berhasil membuat pendinginan pada *microprocessor*, pada alat-alat elektronik berdaya besar, maupun *fuel cell* yang sangat *compact*. Hal ini dikarenakan nilai perpindahan kalor yang diperoleh lebih baik dibandingkan dengan saluran konvensional. Perpindahan kalor yang lebih baik ini didapatkan dari ukuran dari kedua tipe saluran yang lebih kecil dibanding dengan saluran konvensional. Dengan begitu didapatkan luasan bidang sentuh yang lebih besar pada ukuran heat exchanger yang sama.

Keuntungan lain yang didapat adalah bahwa dengan berkurangnya nilai *hydraulic diameter* (D_h), ukuran dari *heat exchanger* menjadi lebih kecil (*compact*), dan tak hanya itu, jumlah massa air per satuan waktu sebagai media pendingin menjadi lebih kecil pula. [5]



Gambar 2.7 Minichannel Test Section

Klasifikasi dari minichannel yang ada telah di presentasikan oleh Kandlikar and Grande (2002). Saluran konvensional memiliki hydraulic diameter lebih besar dari 3.0 mm. Sedangkan untuk minichannel adalah diantara 3.0 mm sampai 200 μm . Selain itu, Kandlikar juga mempelajari pengaruh dari kekasaran permukaan pada minichannel. Ia menemukan bahwa perbandingan ε/D memberikan efek yang sangat besar pada saluran berdiameter kecil seperti *minichannel* dibandingkan dengan perbandingan ε/D pada saluran konvensional, khususnya pada aliran turbulen.[5]

Aplikasi dari *minichannel* sampai saat ini antara lain adalah :

- *Electronic Cooling*
 - Komputer
 - Laser Dioda
- *Bio-Medical equipment*
- *Compact Heat Exchanger* untuk sistem AC.
- *Micro-reactor* [6]

Namun disamping kelebihan yang telah disebutkan di atas, *minichannel* juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah :

- *Pressure drop* yang terjadi jauh lebih besar dibandingkan dengan *tube* biasa. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai *friction factor* (f).
- Debit aliran sangat berpengaruh terhadap terjadinya *pressure drop*, dan juga *heat flux* dari pada *heat exchanger* akan meningkat seiring peningkatan *pressure drop*. [7]
- Fouling sangat mungkin terjadi, dan memicu tersumbatnya saluran *minichannel*. [8]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kandlikar (2005) ada beberapa rumus yang direkomendasikan untuk menghitung *friction factor* aliran laminar pada saluran sempit (*constricted flow*). Beberapa diantaranya adalah : [9]

1. Menentukan panjang masuk aliran pada *minichannel* :

$$\frac{l_e}{D_h} = 0,05 R_e \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

l_e : panjang aliran masuk

D_h : Diameter Hidrolik

Re : Bilangan Reynolds

2. Teori nilai *friction factor* untuk aliran laminar pada *minichannel*

$$f = \frac{24}{R_e} \dots\dots\dots(2.8)$$

Teori ini mematahkan persamaan 2.6 yang merupakan teori klasik. Dimana nilai $64/Re$ memiliki nilai ketidakpastian atau penyimpangan yang tinggi, khususnya masalah *flow rate* dan geometri dari *minichannel* tersebut. Sehingga kedepannya, penelitian mengenai *minichannel* dan *microchannel* berpedoman pada persamaan 2.8 di atas.

3. Memprediksi nilai *friction factor* dengan *aspect ratio*

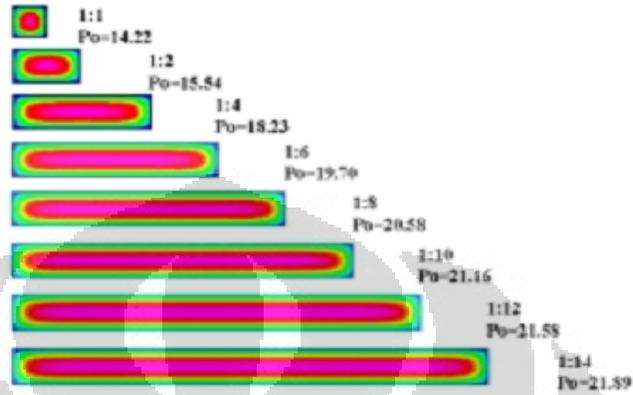
Teori ini menyempurnakan teori sebelumnya yakni $24/Re$. Walaupun sudah jauh lebih relevan, namun masih belum dapat mewakili fenomena aliran pada *minichannel*. Sehingga digunakan *aspect ratio* untuk lebih akuratnya nilai *friction factor* yang didapat. Teori ini dikembangkan oleh Shah and London (1978). Dimana aspek geometri berperan dalam menentukan nilai *friction factor* pada *minichannel*.

$$f_{Po} = \frac{P_o}{R_e} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana P_o adalah Bilangan Poiseuille. Dan dicari menggunakan rumus :

$$P_o = 24 \begin{pmatrix} 1 - 1.3553 \alpha + 1.9467 \alpha^2 \\ - 1.7012 \alpha^3 + 0.9564 \alpha^4 \\ - 0.2537 \alpha^5 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.10)$$

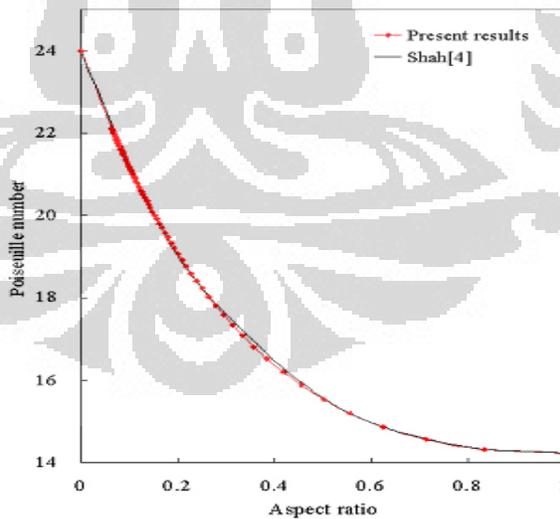
Dimana α adalah aspect ratio (a/b) atau bila hasilnya lebih dari 1, bisa digunakan inversnya.[10] Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



(a)

Aspect ratio	Present results	Reference [4]
1.000	14.222	14.227
0.500	15.544	15.548
0.250	18.229	18.233
0.125	20.581	20.585
0.000	24.000	24.000

(b)



(c)

Gambar 2.8 (a) Penampang *minichannel* beserta *aspect ratio* dan Bilangan Poiseuille; (b) Beberapa *aspect ratio* dan Bilangan Poiseuille; (c) grafik *aspect ratio* vs. Bilangan Poiseuille. [11]

4. Fanning Friction Factor [11]

Selain beberapa rumus di atas, terdapat juga rumus Fanning yang menggunakan parameter *pressure drop* dan *mass flux* dari aliran pada minichannel sebagai berikut :

$$f_F = \frac{\rho \Delta p D_h}{2 L G^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

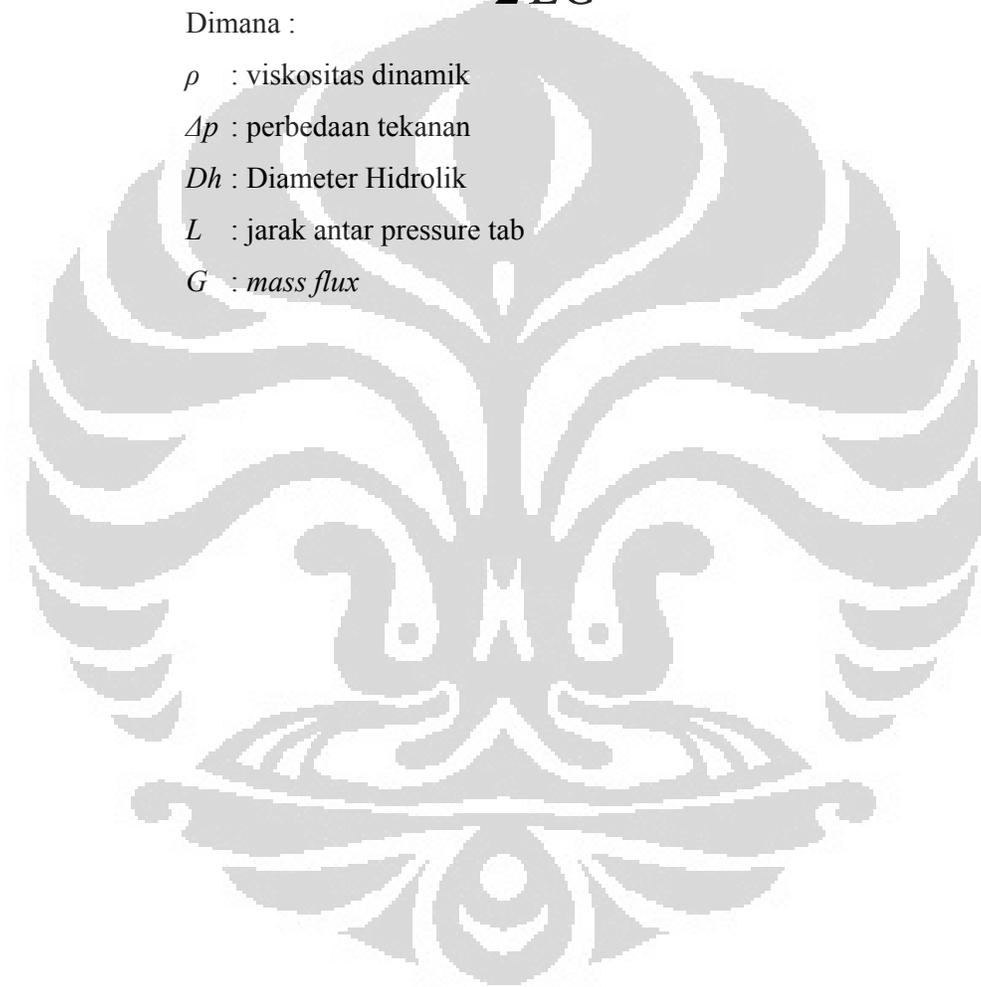
ρ : viskositas dinamik

Δp : perbedaan tekanan

D_h : Diameter Hidrolik

L : jarak antar pressure tab

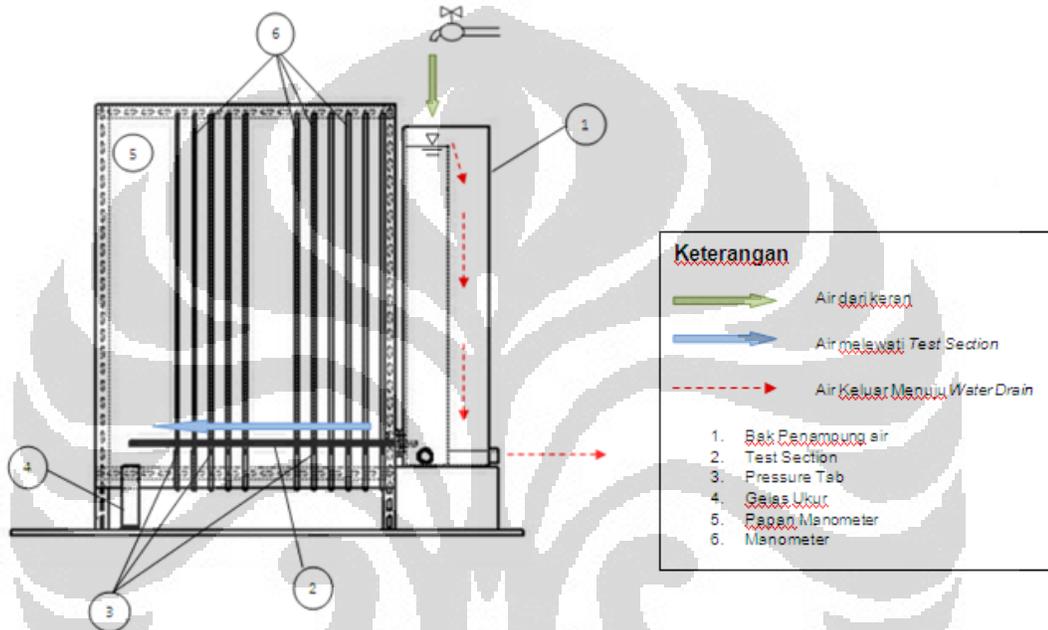
G : *mass flux*



BAB III

RANCANG BANGUN ALAT PENELITIAN

III.1 Desain Alat Penelitian



Gambar 3.1 Experimental Set-up

Di atas merupakan desain *experimental set-up* dari penelitian *minichannel*. Dimana aliran yang terjadi bersifat *open loop*, yakni aliran air yang masuk dan melewati sistem langsung keluar dari system, tidak dipompakan lagi menuju bak penampung. Pertama-tama air mengalir dari selang menuju ke bak penampung bagian depan dan memenuhi bak penampung tersebut sampai pada ketinggian permukaan tertentu. Lalu air yang berlebih akan mengalir ke bak bagian belakang dan keluar melalui lubang di bawah. Sedangkan air pada bagian depan bak akan mengalir melewati *test section* berupa *minichannel*.

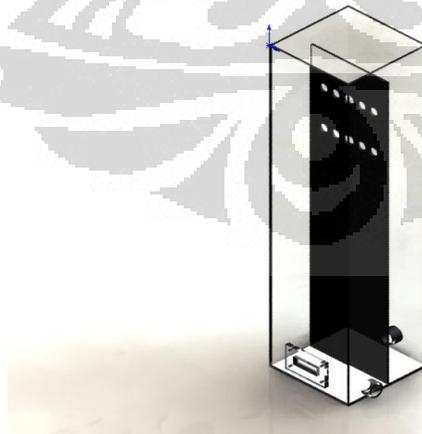
III.2 Test Section

Test section ini merupakan *minichannel* yang berukuran 1 mm x 0.8 mm dengan panjang test section 67 cm. Panjang ini diperoleh dengan menghitung panjang minimum agar didapat aliran berkembang penuh sebesar 225 kali diameter hidrolis channel atau kurang lebih 20 cm, ditambah dengan 11 pressure tab dengan masing-masing jarak 4 cm. Dengan begitu panjang 67 cm cukup memenuhi kriteria.

Minichannel ini terbuat dari 3 lapis acrylic dengan lapisan tengah memiliki ketebalan 0.8 mm. Lalu jarak antar lapisan tengah adalah 1 mm. Setelah itu bagian atas bawah dilapisi dengan *acrylic* dengan tebal 5mm. sehingga terbentuklah rongga channel berukuran luas 0.8 mm². Di bagian bawah terdapat tab yang nantinya disambungkan dengan selang manometer untuk mengukur *pressure drop* dari aliran .

Gambar 3.2 *Minichannel Test Section*

III.3 Bak Penampung Air



Gambar 3.3 Bak Penampung Air

Bak penampung air ini terbuat dari acrylic. Fungsinya adalah menampung air dengan 3 variasi ketinggian, yakni 70, 60, 50 cm. Di bagian depan terdapat open channel yang nantinya akan disambungkan dengan microchannel. Sedangkan lubang di bagian kanan dan belakang merupakan lubang untuk drainase.

III.4 Manometer



Gambar 3.4 Manometer Air

Manometer yang digunakan adalah manometer sederhana dan konvensional. Alat yang digunakan adalah selang dan pipa *acrylic*. Pipa *acrylic* digunakan untuk membuat pressure tap, lalu disambungkan dengan selang sebagai manometer. Untuk mengukur nilai head, kita gunakan milimeter blok dan penggaris untuk mempermudah dalam pengamatan.

III.5 Gelas Ukur



Gambar 3.5 Gelas Ukur

Untuk mengukur debit air yang keluar dari channel kita gunakan gelas ukur seperti gambar di bawah ini. Gelas ukur ini memiliki ketelitian sampai 1 ml. Dalam mengukur debit air, kita hitung tiap 15 atau 30 detik. Lalu kita masukkan dalam lembar data berupa ml/menit.

BAB IV

METODE PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

IV. 1 Metode Pengambilan Data

IV.1.1 Metode Pengambilan Data Laju Aliran

Pengambilan data untuk laju aliran dilakukan dengan menggunakan metode kontinuitas. Dengan cara mengukur volume air yang keluar dari ujung microchannel per satuan waktu. Air yang keluar akan ditampung dalam gelas ukur dengan ketelitian sebesar 1 mm. Data yang diambil dilakukan dengan 3 head yang berbeda, yakni : 70, 60, dan 50 cm, masing-masing sebanyak 30 kali.

IV.1.2 Prosedur Pengambilan Data Laju Aliran

IV.1.2.1 Persiapan Pengambilan Data

Sebelum pengambilan data, adapun persiapan yang dilakukan adalah :

1. Memastikan bak sudah terisi air sampai pada head yang diinginkan.
2. Memastikan air mengalir dalam keadaan stabil atau tidak ada gelembung yang terperangkap.
3. Menyiapkan gelas ukur.
4. Menyiapkan stop watch.

IV.1.2.1 Pengambilan Data

Dalam pengambilan data, dilakukan hal-hal berikut :

1. Menaruh gelas ukur tepat di ujung test section, sehingga gelas ukur terisi oleh air. Dan bersamaan dengan itu stop watch dinyalakan.
2. Setelah 30 detik, ambil gelas ukur dan lihat volume air yang tertampung. Lalu dikali 2, sehingga didapat jumlah dengan satuan ml/menit.
3. Ulangi langkah 1 dan 2 sebanyak 30 kali.
4. Ulangi langkah 1,2, dan 3 untuk 3 variasi head, yakni : 70, 60, dan 50 cm.

IV.1.3 Metode Pengambilan Data Tekanan

Pengukuran tekanan pada microchannel dilakukan menggunakan manometer sederhana. Manometer tersebut disambungkan dengan pressure tab yang ada pada microchannel sebanyak 11 buah. Jadi manometer yang digunakan juga sebanyak 11 buah. Data yang diambil adalah perbedaan ketinggian (Δh) dari manometer.

IV.1.4 Prosedur Pengambilan Data Tekanan

IV.1.4.1 Persiapan Pengambilan Data

Sebelum pengambilan data, adapun persiapan yang dilakukan adalah :

1. Memastikan bak sudah terisi air sampai pada head yang diinginkan.
2. Memastikan air mengalir dalam keadaan stabil atau tidak ada gelembung yang terperangkap.
3. Menyiapkan Datasheet.

IV.1.4.2 Pengambilan Data

Dalam pengambilan data, dilakukan hal-hal berikut :

1. Mengamati ketinggian air pada manometer dan mencatatnya pada datasheet.
2. Pengambilan data tekanan ini dilakukan sebanyak 30 kali tiap setelah pengambilan data laju aliran.
3. Ulangi langkah 1 dan 2 untuk 3 variasi head, yakni : 70, 60, dan 50 cm.

IV. 2 Metode Pengolahan Data

Setelah melakukan pengambilan data, hal yang musti dilakukan adalah mengolah data tersebut untuk mendapatkan hasil yang diinginkan atau pun kesimpulan dari penelitian. Beberapa hal tersebut antara lain adalah :

1. Membuat grafik *pressure head* dan *pressure drop* dari data mentah. *Pressure head* merupakan grafik untuk melihat *head* tekanan pada tiap titik *pressure tab*. Sedangkan *pressure drop* adalah grafik untuk melihat besar penurunan tekanan pada tiap *pressure tab*.
2. Data debit aliran diolah untuk mendapatkan kecepatan rata-rata aliran (V) dan nilai Bilangan Reynold (Re).
3. Gabungan data aliran dan tekanan diolah untuk mendapatkan nilai *friction factor* (f) dengan menggunakan metode λ , Darcys-Weisbach, metode Bilangan Poiseulle, dan metode Fanning.
4. Membuat grafik *friction factor* gabungan dari hasil perhitungan 3 metode tersebut di atas.

BAB V

PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

V.1 Pengolahan Data

V1.1 Perhitungan Head Tekanan

Dari penelitian dan pengamatan, didapat data mentah berupa data debit aliran dan *head* tekanan dari tiap manometer. Pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali untuk tiap *head* yang telah ditentukan, yakni : 70, 60, 50 cm. Berikut adalah hasil pengolahan data debit aliran dari tiap ketinggian.

Tabel 5.1 Data *minichannel* dan sifat-sifat air

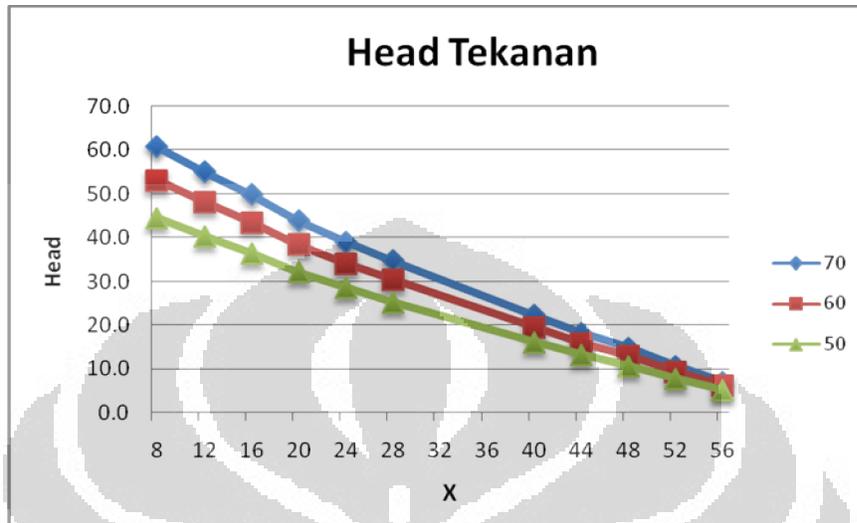
	Nilai	Satuan
Area	0.8	mm ²
Dh :	0.8888889	mm
μ	1.12E-03	Ns/m ²
ρ	1000	kg/m ³

Tabel 5.2 Tabel Hasil Pengolahan Debit Aliran

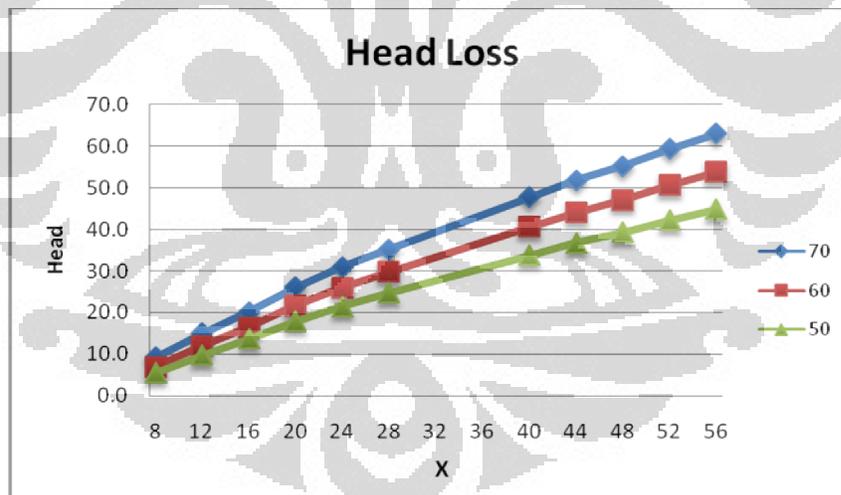
70	m/s	60	m/s	50	m/s
Vavg	0.463	Vavg	0.404	Vavg	0.338
Re	367.284	Re	320.326	Re	268.408

Dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.6) maka akan didapatkan nilai bilangan Reynolds dan *friction factor* (*f*).

Dan berikut ini adalah hasil pengolahan data *head* tekanan dari *minichannel* pada tiap manometer :

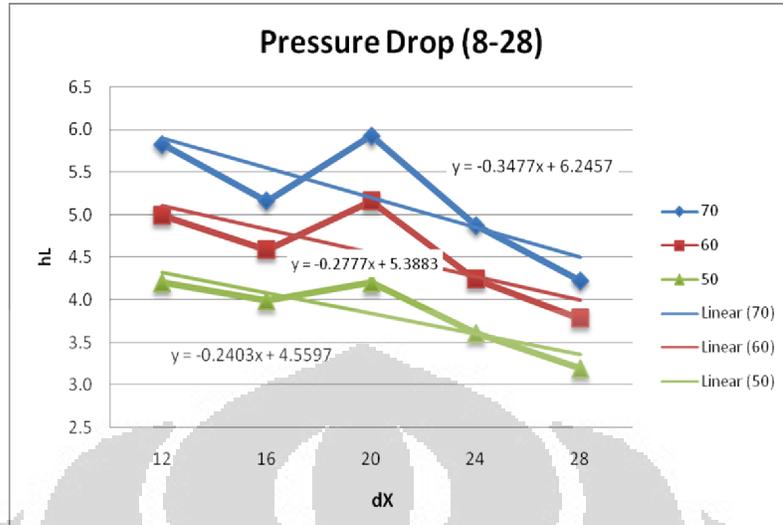


Grafik 5.1 Distribusi Tekanan pada *Minichannel*

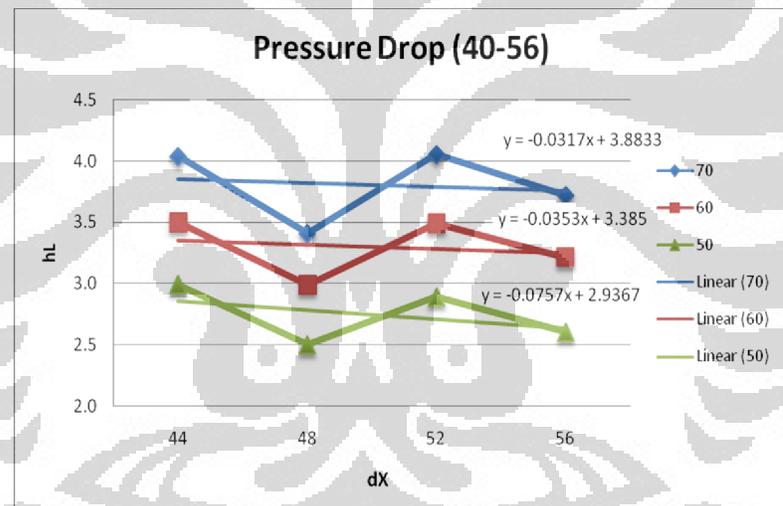


Grafik 5.2 Distribusi Penurunan Tekanan pada *Minichannel*

Gambar di atas menunjukkan *head* tekanan pada *minichannel*. Nampak penurunan *head* tekanan yang sangat signifikan. Hanya pada jarak 56 cm dari opening, penurunan *head* mencapai lebih dari 60 cm pada pengujian dengan head bak air 70 cm.



Grafik 5.3a Distribusi *Pressure Drop* (8-28)



Grafik 5.3b Distribusi *Pressure Drop* (40-56)

Grafik di atas menunjukkan *pressure drop* yang ditunjukkan dalam bentuk *head loss* (hL) per satuan panjang (dx). Disini *head loss* dihitung tiap 4 cm, yakni jarak antar *pressure tab*. Dan bisa kita lihat nilai *pressure drop* tidak membentuk garis yang halus sesuai teori, melainkan fluktuatif.

V.I.2 Perhitungan Friction Factor

V.I.2.a Darcys-Weisbach

Kita dapat menggunakan persamaan Darcys-Weisbach untuk mendapat nilai f . Dengan menggunakan data yang telah diperoleh dan menggunakan persamaan (2.5), maka didapatkan tabel sebagai berikut :

Tabel 5.3 Tabel Perhitungan Darcys Weisbach

70	$hL(cm)$	fD	60	$hL(cm)$	fD	50	$hL(cm)$	fD
40-44	4.0	0.082	40-44	3.5	0.094	40-44	3.0	0.114
44-48	3.4	0.069	44-48	3.0	0.080	44-48	2.5	0.095
48-52	4.1	0.083	48-52	3.5	0.093	48-52	2.9	0.110
52-56	3.7	0.076	52-56	3.2	0.086	52-56	2.6	0.099
Avg (FD)	3.8	0.077	Avg (FD)	3.3	0.088	Avg (FD)	2.7	0.105

Tabel di atas memperlihatkan beberapa hal, antara lain :

1. Perbandingan *head* tekanan tiap ketinggian .
2. Selisih *head* tekanan pada *minichannel*.
3. Nilai *friction factor* (f) yang didapat dari perhitungan Darcys-Weisbach.

Dari tabel di atas diperoleh nilai f rata-rata untuk ketinggian 70, 60 dan 50 berturut-turut adalah : 0.077, 0.088, 0.105. Perhitungan dilakukan pada jarak 40 cm dari opening untuk memastikan aliran *fully developed*.

V.I.2.b Bilangan Poiseuille (Shah and London,1978)

Bilangan Poiseuille merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan sifat fluida dengan melihat aspek geometri dari saluran yang dilewatinya. Bilangan Poiseuille ini juga dapat digunakan untuk menentukan nilai *friction factor* dari aliran. Dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10 maka didapat nilai Po untuk penelitian ini sebesar 14.38. Sehingga nilai *friction factor* yang didapat adalah :

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Friction Factor dengan Metode Poiseuille

Head	Re	fPo
50	268.41	0.0536
60	320.33	0.0449
70	367.28	0.0392

Dengan membagi nilai Po dengan nilai Re , maka didapatkan nilai *friction factor* untuk masing masing ketinggian. Dengan menambahkan aspek geometri, metode Poiseuille ini dari dapat lebih spesifik menjelaskan bahwa dengan nilai Dh yang sama namun *aspect ratio*-nya berbeda, maka nilai *friction factor* akan ikut berbeda.

V.I.2.b Fanning Friction Factor

Metode Fanning ini hampir sama dengan metode Darcys-Weisbach, yang membedakan adalah adanya nilai *pressure drop* (dP) yang menggantikan nilai *head loss* (hL) dan nilai mass flux (G) yang menggantikan nilai kecepatan aliran (V).

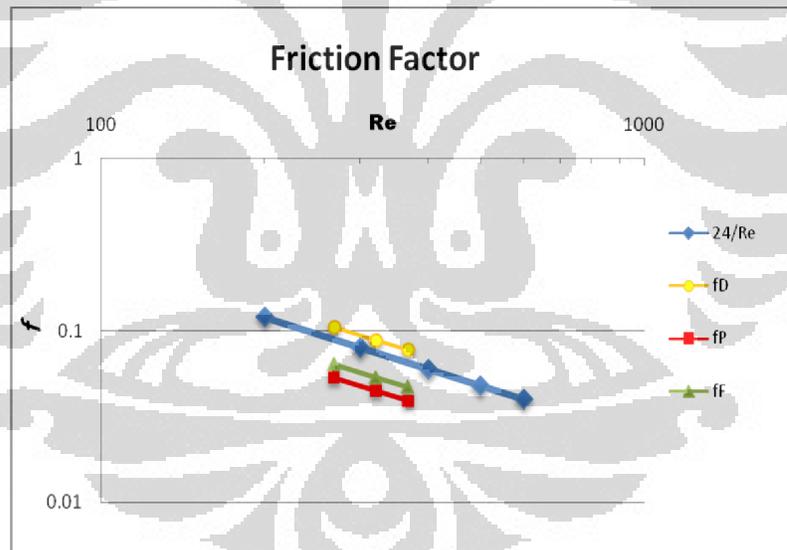
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Fanning Friction Factor

70	$hL(cm)$	$dP (Pa)$	G	fF
40-44	4.037	395.997	296.178	0.0502
44-48	3.410	334.521	296.178	0.0424
48-52	4.053	397.632	296.178	0.0504
52-56	3.717	364.605	296.178	0.0462
Avg	4.581	373.189		0.0473
60	$hL(cm)$	$dP (Pa)$	G	fF
40-44	3.497	343.023	258.311	0.0571
44-48	2.990	293.319	258.311	0.0488
48-52	3.487	342.042	258.311	0.0570
52-56	3.213	315.228	258.311	0.0525
Avg	3.996	323.403		0.0539
50	$hL(cm)$	$dP (Pa)$	G	fF
40-44	2.990	293.319	216.444	0.0696
44-48	2.500	245.250	216.444	0.0582
48-52	2.893	283.836	216.444	0.0673
52-56	2.607	255.714	216.444	0.0606
Avg	3.354	269.530		0.0639

Tabel 5.5 di atas merupakan hasil dari perhitungan friction factor menggunakan metode Fanning untuk ketiga jenis ketinggian. Dari tabel di atas diperoleh nilai f rata-rata untuk head 70, 60 dan 50 berturut-turut adalah : 0.0473, 0.0539, 0.0639.

Setelah ketiga rumus kita gunakan, didapatkan hasil yang berbeda-beda. Untuk lebih jelas dalam membandingkan hasil perhitungan tersebut, maka dapat dilihat pada Grafik 5.4.

Pada grafik ini, masing-masing hasil perhitungan diberikan warna yang berbeda. Garis warna biru digunakan untuk menyatakan hasil perhitungan dengan rumus $24/Re$. Sedangkan warna jingga untuk menggambarkan hasil perhitungan Darcys-Weisbach, warna merah untuk menggambarkan hasil perhitungan dengan metode Poiseuille, dan warna hijau merupakan hasil perhitungan dengan metode Fanning.



Grafik 5.4 Perbandingan *Friction Factor*

V.2 Analisa Data

V.2.1 Analisa Pressure Drop

Dari *pressure drop* yang terjadi, nampak penurunan *head* tekanan yang sangat signifikan. Hanya pada jarak 56 cm dari opening, penurunan *head* mencapai lebih dari 60 cm pada pengujian dengan *head* bak air 70 cm dan dengan nilai rata-rata *pressure drop* sebesar 4.6 cm.

Bila dibandingkan antara tiap pengujian, yakni *head* 70, 60, dan 50, Nampak bahwa *head* yang semakin tinggi mewakili nilai debit dan Bilangan Reynold yang semakin tinggi pula (Tabel 5.2). Dan debit yang semakin tinggi juga menyebabkan nilai *pressure drop* yang tinggi pula. Hal ini bisa dilihat pada Tabel 5.3.

Pada Grafik 5.1 dan 5.2, sekilas grafik terbentuk secara mulus. Namun pada titik 32 dan 36, nampak tak ada data yang diberikan. Hal ini diakibatkan karena tidak adanya *pressure tab* pada titik itu, sehingga data yang diperoleh tidak maksimal, hal ini berakibat pula pada saat pembuatan grafik di excel.

Pada Grafik 5.3 a dan b, bisa dilihat grafik penurunan *pressure drop* yang tidak mulus. Secara teori seharusnya grafik tersebut membentuk garis yang halus. Akan tetapi dari garis *trendline*, nampak secara umum bahwa terjadi penurunan tekanan pada grafik 5.3a dan kecenderungan mendatar pada grafik 5.3 b. Hal ini menunjukkan bahwa memang pada titik 8-28, aliran belum *fully developed*, sedangkan pada titik 40 dan seterusnya, aliran sudah *fully developed*.

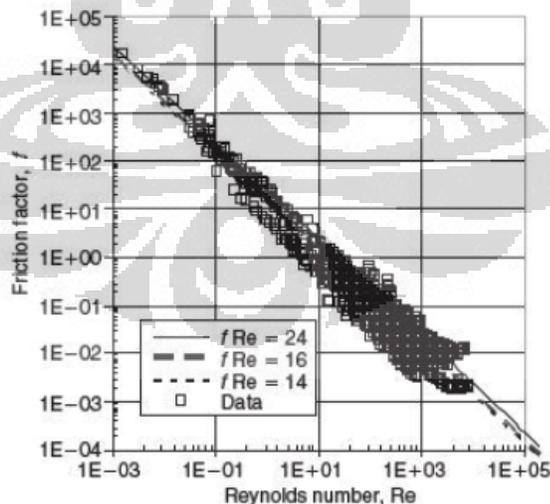
Fluktuasi yang terjadi pada grafik mungkin diakibatkan dari fabrikasi dari test section yang masih kurang presisi. Fabrikasi yang dimaksud adalah pembuatan lubang *pressure tab* maupun pemasangan dari *pressure tab*-nya. Hal ini dikuatkan dengan melihat titik fluktuasi yang paling signifikan pada titik 20, 48, dan 52.

V.2.2 Analisa Friction Factor (f)

Pada penelitian ini, rumus $24/Re$ digunakan sebagai acuan dalam melihat perbedaan pada ketiga metode tersebut. Hal ini mematahkan rumus yang lebih konvensional yakni $64/Re$ yang digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh

Bila melihat Grafik 5.4 nampak nilai *friction factor* (f) yang dihasilkan berbeda-beda untuk tiap metode. Dengan menggunakan perhitungan Darcys-Weisbach untuk ketinggian 70, 60, dan 50 didapatkan nilai f sebesar 0.077, 0.088, 0.105, dengan metode Poiseuille, didapat nilai f sebesar masing-masing 0.0392, 0.0449, dan 0.0536, dan untuk penghitungan dengan metode Fanning nilainya adalah : 0.0473, 0.0539, 0.0639. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat kembali pada grafik 5.4.

Berdasarkan teori rujukan, yakni dari penelitian Kandlikar pada tahun 2005, nampak bahwa nilai dari eksperimental yang dilakukan masih mengacu pada teori $24/Re$ untuk umum, $16/Re$ untuk *circular tube*, dan $14/Re$ untuk *minichannel* dengan *aspect ratio* mendekati 1. Data yang dimasukkan pun bervariasi dari berbagai literatur sebelumnya. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.1 Hasil penelitian *friction factor* Kandlikar (2005)

Bila dibandingkan dengan hasil penelitian ini, terlihat bahwa hasilnya memang tidak berbeda jauh. Yakni bahwa nilai yang dihasilkan masih mengacu pada $24/Re$ walaupun nilai tersebut masih belum mewakili. Sehingga perlu digunakan pendekatan dengan metode Poiseuille dengan menggunakan *aspect ratio*.

Dan dengan menggunakan Rumus Poiseuille didapat nilai Po sebesar 14.38 untuk *aspect ratio* 0.8. Dan nilai *friction factor* yang dihasilkan pun sesuai dengan teori $14/Re$ untuk *rectangular minichannel* dengan *aspect ratio* mendekati 1. Begitu juga dengan metode Fanning, dimana hasil *friction factor* yang didapat hampir sama dengan metode Poiseuille yang notabennya mengacu pada $14/Re$.

Untuk perhitungan Darcys –Weisbach memang tidak direkomendasikan oleh kandlikar dalam menghitung fenomena pada *minichannel* dan *microchannel*. Hal ini dilihat dari perbedaan yang cukup besar antara hasil dari metode Darcys-Weisbach dengan metode terbaru yakni metode Poiseuille dan Fanning. Namun pada penelitian ini nampak bahwa hasil dari metode Darcys-Weisbach berhimpit dengan teori $24/Re$. Sehingga pada penelitian ini metode Darcys-Weisbach masih relevan untuk digunakan.

Lalu walaupun terjadi perbedaan hasil *friction factor* untuk tiap metode, ketiga hasil perhitungan tersebut memberikan tren menurun yang hampir sama untuk setiap peningkatan Bilangan Reynolds. Sehingga berlaku hubungan $Re \cdot f = constant$ untuk semua rumus yang digunakan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Berdasarkan data, hasil pengolahan data, dan analisa data yang dilakukan mengenai microchannel, maka ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini, diantaranya adalah :

1. *Pressure drop* yang terjadi pada *minichannel* sangat besar.
2. Dari analisa perhitungan nilai *friction factor*, ketiga metode masih relevan digunakan. Namun metode Poiseuille dan Fanning lebih relevan karena selain lebih spesifik, hasilnya sesuai dengan teori $14/Re$ untuk *minichannel* dengan *aspect ratio* mendekati 1.
3. Walaupun hasil perhitungan *friction factor* berbeda-beda, namun berdasarkan grafik, ketiganya masih memberikan tren menurun yang sama. Sehingga masih berlaku hubungan $Re \cdot f = constant$ untuk aliran laminar.

VI.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan untuk penelitian selanjutnya agar hasil yang dicapai lebih maksimal diantaranya :

1. Pembuatan Test Section agar lebih presisi, agar didapatkan nilai *pressure drop* yang lebih akurat.
2. Sebaiknya *Pressure Tab* tersebar merata pada *minichannel*, agar grafik yang dihasilkan bisa lebih akurat.



DAFTAR ACUAN

- [1] Munson, Bruce, Young, Donald F., & Okiishi, Theodore H., Mekanika Fluida Jilid 2 Erlangga, 2003
- [2] Menon, Shashi E., Piping Calculations Manual McGraw-Hill, 2005
- [3] Nguyen, Nam-Trung, Wereley Steven T., Fundamentals and Applications of Microfluidics Artech House, 2002
- [4] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/forums/7747/1/moody.png>
- [5] Steinke, Mark E., & Kandlikar, Satish G., Single-Phase Heat Transfer Enhancement Techniques in Microchannels and Minichannels Thermal Analysis and Microfluidics Laboratory, Mechanical Engineering Department, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY USA, 2002
- [6] Oh, Jong-Taek, Choi, Kwang-Il, Pamitran, A.S., Ardiyansyah, Boiling Heat Transfer in Mini and Microchannels Energy Laboratory, Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, Chonnam National University Republic of Korea
- [7] A.S. Pamitran^a, Kwang-Il Choi^a, Jong-Taek Oh^{b,*}, Hoo-Kyu Oh^c, Two-phase Pressure Drop during CO₂ Vaporization in Horizontal Smooth Minichannels Chonnam National University Republic of Korea
- [8] Mechanical Engineering Department, San José State University. Thermal Management of Electronics
- [9] Kandlikar, S., Garimella, S., Li, D., Colin, S., King, M. R., Heat Transfer and Fluid Flow In Minichannels and Microchannels Elsevier. 2005
- [10] Park Jin, Sung, Chung Seok, Woo Bang, Hyun, Modeling and Designing of Microfluidics System Using Poiseuille Number Seoul National University, Korea
- [11] Steinke, Mark E., & Kandlikar, Satish G., Single-Phase Liquid Friction Factors in Microchannels Thermal Analysis and Microfluidics Laboratory, Mechanical Engineering Department, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY USA, 2005

LAMPIRAN

Head : 70 cm

No	Q	MANOMETER										
		1 (8)	2 (12)	3 (16)	4 (20)	5 (24)	6 (28)	7 (40)	8 (44)	9 (48)	10 (52)	11 (56)
1	22.4	60.8	55	49.9	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
2	22.4	60.8	55	49.9	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.8	7
3	21.8	60.8	55	49.9	44	39	34.8	22.4	18.3	14.9	10.9	7.2
4	22.2	60.8	55	49.9	44	39.1	34.9	22.5	18.4	15	11	7.3
5	22.4	60.7	55	49.8	43.8	39	34.7	22.2	18.1	14.8	10.8	7.1
6	21.8	60.6	54.9	49.7	43.7	38.8	34.6	22.1	18.1	14.7	10.7	7
7	22.2	60.7	54.8	49.8	43.8	39	34.7	22.2	18.1	14.7	10.7	7
8	22.4	60.9	54.9	49.9	44	39	34.8	22.2	18.2	14.7	10.7	7
9	22.2	60.9	55	49.9	44	39.1	34.9	22.3	18.2	14.8	10.8	7
10	22.2	60.9	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.8	7
11	22.4	60.7	54.9	49.8	43.8	39	34.7	22.2	18.2	14.8	10.8	7
12	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.3	18.2	14.8	10.7	7
13	22.4	60.9	55	49.9	44	39.1	34.9	22.4	18.3	14.8	10.8	7.1
14	22.2	60.9	55	49.9	44	39.1	34.9	22.2	18.2	14.8	10.8	7
15	22.2	60.9	55	49.8	43.8	39	34.7	22.2	18.2	14.8	10.7	7
16	22.2	60.9	55	49.8	43.8	39	34.7	22.2	18.2	14.7	10.7	7
17	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
18	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.7	10.7	7
19	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.9	22.3	18.2	14.8	10.7	7
20	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
21	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
22	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
23	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39.1	34.8	22.3	18.2	14.8	10.7	7
24	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39.1	34.8	22.3	18.2	14.8	10.7	7
25	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.3	18.2	14.8	10.7	7
26	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
27	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
28	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
29	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39.1	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
30	22.2	60.8	55	49.8	43.9	39.1	34.8	22.2	18.2	14.8	10.7	7
Av	22.21	60.81	54.98	49.82	43.90	39.02	34.79	22.24	18.20	14.79	10.74	7.02

Head : 60 cm

No	Q	MANOMETER										
		1 (8)	2 (12)	3 (16)	4 (20)	5 (24)	6 (28)	7 (40)	8 (44)	9 (48)	10 (52)	11 (56)
1	19.2	52.9	48	43.4	38.3	34	30.3	19.4	15.9	12.9	9.5	6.2
2	19.4	53	48	43.5	38.4	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.5	6.2
3	19.4	53	48	43.5	38.4	34	30.3	19.4	15.9	12.9	9.5	6.2
4	19.4	53	48	43.4	38.3	34	30.3	19.3	15.9	12.9	9.5	6.2
5	19.4	53	48	43.4	38.3	34	30.2	19.3	15.8	12.9	9.4	6.2
6	19.2	53	48	43.4	38.3	34	30.2	19.3	15.8	12.9	9.4	6.2
7	19.2	53	48	43.4	38.3	34	30.3	19.3	15.9	12.9	9.4	6.2
8	19.2	53	48	43.4	38.3	34	30.3	19.4	15.8	12.9	9.4	6.2
9	19.4	53.1	48.1	43.5	38.4	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
10	19.4	53.1	48.1	43.5	38.4	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
11	19.4	53.1	48.1	43.5	38.4	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
12	19.4	53.1	48.1	43.5	38.4	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
13	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
14	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
15	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
16	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
17	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
18	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
19	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
20	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
21	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
22	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
23	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
24	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
25	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
26	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
27	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
28	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
29	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
30	19.4	53.1	48.1	43.5	38.3	34.1	30.3	19.4	15.9	12.9	9.4	6.2
Av	19.37	53.07	48.07	43.48	38.32	34.08	30.29	19.39	15.89	12.90	9.41	6.20

Head : 50 cm

No	Q	MANOMETER										
		1 (8)	2 (12)	3 (16)	4 (20)	5 (24)	6 (28)	7 (40)	8 (44)	9 (48)	10 (52)	11 (56)
1	16.2	44.5	40.2	36.3	32.1	28.5	25.3	16.1	13.2	10.7	7.8	5.2
2	16.4	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.9	5.2
3	16.4	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.9	5.2
4	16.2	44.4	40.2	36.3	32.1	28.4	25.3	16.1	13.2	10.7	7.8	5.2
5	16.4	44.4	40.2	36.3	32.1	28.4	25.3	16.1	13.2	10.7	7.8	5.2
6	16.4	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
7	16.4	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
8	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
9	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
10	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
11	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
12	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
13	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
14	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
15	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
16	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
17	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
18	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
19	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
20	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
21	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
22	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
23	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
24	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
25	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
26	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
27	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
28	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
29	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
30	16.2	44.5	40.3	36.3	32.1	28.5	25.3	16.2	13.2	10.7	7.8	5.2
Avg	16.23	44.49	40.29	36.30	32.10	28.49	25.30	16.19	13.20	10.70	7.81	5.20