

**KAJIAN ANALISA KOMPUTER 3D DAN EKSPERIMEN BAGI  
ALIRAN DI SEKELILING PENDERIA ALIRAN MIKRO**

**MOHD ANUAR BIN MAT**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2011**

**KAJIAN ANALISA KOMPUTER 3D DAN EKSPERIMEN BAGI  
ALIRAN DI SEKELILING PENDERIA ALIRAN MIKRO**

**oleh**

**MOHD ANUAR BIN MAT**

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan  
bagi Ijazah Sarjana Sains**

**Julai 2011**

**3D COMPUTATIONAL ANALYSIS AND EXPERIMENTAL  
INVESTIGATION OF FLOW FIELD AROUND MICRO FLOW  
SENSOR**

by

**MOHD ANUAR BIN MAT**

**Thesis submitted in fulfillment of the requirements  
for the degree of Master of Science**

**July 2011**

## **PENGHARGAAN**

Segala puji-pujian kepada Allah SW.T Yang Maha Pengasih dan lagi Maha Penyayang, dan setinggi-tinggi selawat kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW. Pertama sekali, saya mengucapkan berbanyak syukur yang tidak terhingga kepada Allah SWT kerana memberi kekuatan dan kesihatan kepada saya untuk menyiapkan laporan ini dengan jayanya.

Saya juga mengucapkan terima kasih dan ucapan penghargaan kepada penyelia saya iaitu Prof Madya Dr Mohd Zulkifly Abdullah kerana sentiasa memberi sokongan dan idea yang berterusan kepada saya sehingga saya dapat menyiapkan laporan ini.

Berbanyak terima kasih juga saya ucapkan kepada semua pensyarah-pensyarah dan staf di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik yang pernah memberi sokongan dan bantuan secara langsung atau tidak langsung sepanjang kajian lepasan ijazah saya. Tidak lupa juga ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada sahabat seperjuangan saya iaitu Khalil, Azmi, Muhad dan Rahim kerana sentiasa membantu dan memberi sokongan idea sepanjang pengajian ini.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua staf teknikal di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, yang pernah membantu saya iaitu En Najhan, En Zaimi, En Norijas, En Komarudin, En. Hashim dan En Zaimi, yang sentiasa

menghulur bantuan dari aspek teknikal sehingga saya dapat menyiapkan kajian lepasan ijazah saya ini.

Kepada keluarga tersayang saya mengucapkan ribuan terima kasih untuk ibu bapa saya Hj Mat dan Hajjah Mek Som serta isteri Puan Hassni Norhayani dan anak-anak iaitu Haniff, Hakim, Haikal, Najwa dan Najiha kerana sentiasa memberi galakan dan sokongan yang tidak terhingga sepanjang pengajian saya.

Juga berbanyak terima kasih untuk semua pihak lain yang saya belum disebut nama mereka di sini, dan kepada siapa yang pernah membantu saya secara langsung atau secara tidak langsung sepanjang kajian saya. Semoga Allah SWT merestui anda semua.

Akhir sekali saya mengucapkan terima kasih kepada Universiti Sains Malaysia kerana memberi peluang kepada saya untuk melanjutkan pelajaran di peringkat Ijazah Sarjana.

## KANDUNGAN

### MUKA SURAT

<b>Penghargaan</b>	ii
<b>Kandungan</b>	iv
<b>Senarai Jadual</b>	vi
<b>Senarai Rajah</b>	vii
<b>Senarai Plat</b>	x
<b>Tatanama</b>	xi
<b>Abstrak</b>	xiii
<b>Abstract</b>	xv

### **Bab 1 - Pengenalan**

1.1	Pengenalan penderia aliran mikro	1
1.2	Prinsip kelaziman meter aliran jisim terma	3
1.3	Dawai panas dan penderia kepingan panas	3
1.4	Penyataan masalah	5
1.5	Objektif projek	7
1.6	Penyusunan tesis	7

### **Bab 2 - Sorotan Literatur**

2.1	Penderia aliran bukan terma	8
2.2	Penderia aliran terma	9
2.3	Rumusan	20

### **Bab 3 - Teori**

3.1	Kaedah pembezaan terhingga	21
3.2	Pelaksanaan simulasi	32
3.3	Aliran bendalir yang mengelilingi penderia mikro	33
3.4	Penerangan Model	34

### **Bab 4 - Kaedah Eksperimen Pengukuran Halaju Imej Partikel**

4.1	Pengenalan kepada terowong air tertutup dan sistem pengukuran halaju imej partikel (Particle Image Velocimetry)	
4.1.1	Terowong air tertutup	36
4.2	Sistem pengukuran halaju imej partikel (Particle Image Velocimetry)	39
4.2.1	Pencahayaannya sinaran laser	40
4.2.2	CCD kamera dan rangka Grabber	43
4.3	Keputusan eksperimen PIV	47
4.4	Perbandingan keputusan kaedah simulasi dan eksperimen	50
4.5	Analisa Ralat	52
4.5.1	Ralat Dalam Pengukuran Halaju	52
4.5.2	Ralat Dalam Pengukuran Kadar Isipadu Aliran	53

### **Bab 5 - Keputusan dan Perbincangan Simulasi**

5.1	Penderia aliran mikro tanpa tiang	54
5.1.1	Garis arus bagi penderia aliran mikro tanpa tiang	55
5.1.2	Pembentukan vortex di bahagian depan dan	

	belakang penderia bagi penderia tanpa tiang	57
5.2	Penderia aliran mikro satu tiang	61
	5.2.1 Garis arus bagi penderia aliran mikro satu tiang	62
	5.2.2 Pembentukan vorteks di bahagian depan dan belakang penderia bagi penderia aliran mikro satu tiang	66
5.3	Ketebalan lapisan sempadan (BLT)	70

## **Bab 6 - Kesimpulan dan Kajian Di Masa Hadapan**

6.1	Kesimpulan	74
6.2	Cadangan kajian di masa hadapan	75

	<b>RUJUKAN</b>	77
--	----------------	----

### **Lampiran**

	Lampiran A	81
	Lampiran B	90
	Lampiran C	91
	Lampiran D	94
	Lampiran E	96

### **Senarai Jadual**

Jadual 4.1	Pembinaan terowong air gelung tertutup.	39
Jadual 4.2	Ringkasan analisis ralat bagi komponen halaju aliran	52
Jadual 4.3	Ringkasan analisis ralat bagi kadar aliran isipadu air	53



## Senarai Rajah

Rajah 1.1	Penderia aliran mikro	2
Rajah 1.2	(a) arah aliran secara mengufuk , $0^\circ$ , (b) arah aliran secara serong. $45^\circ$ .	2
Rajah 1.3	Penderia dawai panas.	4
Rajah 1.4	Penderia kepingan panas	5
Rajah 1.5	(a) Lakaran penderia yang dipasang tanpa tiang (b) dan satu tiang.	6
Rajah 2.1	Lakaran model penderia Yoshino et al. (2003)	10
Rajah 2.2	Domain pengiraan dan syarat sempadan. Yoshino et al. (2003)	10
Rajah 2.3:	Taburan suhu di sekeliling model penderia (a) Dengan sisipan dan rongga udara, (b) Tanpa sisipan dan rongga vakum. Yoshino et al. (2003)	11
Rajah 2.4	Saluran mikro berdasarkan penderiaan aliran. (Wu et al., 2001)	12
Rajah 2.5	Penderia aliran yang telah diubahsuai. Wu et al. (2001)	12
Rajah 2.6	Tiga rekabentuk penderia aliran. Wu et al. (2001)	13
Rajah 2.7	Perubahan suhu penderia dengan aliran cecair. Wu et al. (2001)	13
Rajah 2.8	Simulasi melawan ukuran aliran - perubahan suhu teraruh pada penderia nombor 3. Wu et al. (2001)	14
Rajah 2.9	Masa sebenar yang dihasilkan oleh penderia #1. Menunjukkan laluan gelembung udara. Wu et al. (2001)	15
Rajah 2.10	Keratan rentas penderia mikro aliran TOF (Kedua-dua penghasil oksigen dan penderia oksigen dengan masing-masing terdiri daripada satu Elektrod).Wu dan Sansen (2002).	15

Rajah 2.11	Menunjukkan keratan rentas penderia TOF dan alur aliran.	16
Rajah 2.12	Simulasi penderia oksigen pada kadar aliran berbeza. (a) Arus melawan masa, (b) Kadar aliran melawan masa.	17
Rajah 2.13	Arus melawan masa bagi penderia oksigen pada kadar aliran berbeza. Bendalir: PBS. Kadar aliran: (a) 10 $\mu$ l / min; (b) 6 $\mu$ l / min; dan (c) 4 $\mu$ l / min.	18
Rajah 3.1	$t$ , masa melawan $x$ , jarak	21
Rajah 3.2	Agihan jaringan sekeliling penderia	34
Rajah 3.3	Dimensi penderia aliran mikro.	35
Rajah 4.1	Terowong air tertutup; (a) Pandangan susun atur terowong air tertutup, (b) Pemasangan komponen, (c) Rekabentuk komponen.	38
Rajah 4.2	Pengukuran kualiti aliran untuk tiga min halaju dengan menggunakan PIV dalam bahagian kerja pada (515 x 1030) Piksel, (128 x 128) kawasan pemisatan dan 1/24 kerangka,	40
Rajah 4.3	Mekanisme boleh laras dengan paksi tiga dimensi	41
Rajah 4.4	Kanta dan lakaran pancaran cahaya optik	42
Rajah 4.5	Ciri-ciri utama kamera CCD Digital 2/3" mega piksel.	44
Rajah 4.6	(a) Imej separa yang dibaca dengan kelajuan tinggi, (b) Keadaan kelajuan pengatup sebagai satu fungsi bahagian Imbasan. (1/2 PS ialah 1/50. 1/4 PS 1/100. 1/8 PS ialah 1/200).	45
Rajah 4.7	Lakaran pancaran laser pada instrumen PIV	46
Rajah 4.8	(a) Fotograf laser terus-menerus dan b) Susunan terowong air tertutup, kamera video, pemasangan optikal dan specimen	47
Rajah 4.9	Pandangan partikel di atas permukaan penderia	48
Rajah 4.10	Arah aliran partikel dari atas penderia halaju 1.0m/s	49
Rajah 4.11	Arah aliran partikel dari belakang penderia halaju 1.0m/s	49

Rajah 4.12	Arah aliran partikel dari atas penderia halaju 0.7m/s	50
Rajah 4.13	Arah aliran partikel dari belakang penderia halaju 0.7m/s	50
Rajah 4.14	Arah aliran partikel dari atas penderia halaju 1.0m/s	50
Rajah 4.15	Arah aliran partikel dari belakang penderia halaju 1.0m/s	50
Rajah 4.16	Pandangan atas arus serong yang berhalaju 0.7m/s.	51
Rajah 4.17	Pandangan atas arus serong yang berhalaju 1.0m/s.	52
Rajah 5.1	(a) Lokasi penderia di dalam saluran segiempat, (b) Lakaran penderia tanpa tiang.	54
Rajah 5.2	(a) Pandangan atas arus $v = 0.7\text{m/s}$ mengufuk (b) Pandangan atas arus $v = 1.0\text{m/s}$ mengufuk (c) Pandangan atas arus $v = 1.2\text{m/s}$ mengufuk (d) Pandangan atas arus $v = 0.7\text{m/s}$ serong (e) Pandangan atas arus $v = 1.0\text{m/s}$ serong (f) Pandangan atas arus $v = 1.2\text{ m/s}$ serong	56
Rajah 5.3	(a) Pandangan sisi arus $v = 0.7\text{ m/s}$ mengufuk (b) Pandangan sisi arus $v = 1.0\text{ m/s}$ mengufuk (c) Pandangan sisi arus $v = 1.2\text{ m/s}$ mengufuk (d) Pandangan sisi arus $v = 0.7\text{ m/s}$ serong (e) Pandangan sisi arus $v = 1.0\text{ m/s}$ serong (f) Pandangan sisi arus $v = 1.2\text{ m/s}$ serong	60
Rajah 5.4	Penderia satu tiang.	62
Rajah 5.5	(a) Pandangan atas arus $v = 0.7\text{m/s}$ mengufuk (b) Pandangan atas arus $v = 1.0\text{m/s}$ mengufuk (c) Pandangan atas arus $v = 1.2\text{m/s}$ mengufuk (d) Pandangan atas arus $v = 0.7\text{ m/s}$ serong (e) Pandangan atas arus $v = 1.0\text{m/s}$ serong (d) Pandangan atas arus $v = 1.2\text{ m/s}$ serong	64
Rajah 5.6	(a) Pandangan sisi arus $v = 0.7\text{ m/s}$ mengufuk (b) Pandangan sisi arus $v = 1.0\text{ m/s}$ mengufuk (c) Pandangan sisi arus $v = 1.2\text{ m/s}$ mengufuk (d) Pandangan sisi arus $v = 0.7\text{ m/s}$ serong (e) Pandangan sisi arus $v = 1.0\text{ m/s}$ serong (f) Pandangan sisi arus $v = 1.0\text{ m/s}$ serong	68

Rajah 5.7	Graf teori tebal lapisan garis sempadan.	70
Rajah 5.8	Rajah BLT bagi empat aliran berbeza bagi penderia tanpa tiang.	71
Rajah 5.9	Rajah BLT bagi empat aliran berbeza bagi penderia satu tiang.	72
Rajah 5.10	Carta bar bagi nilai BLT bagi empat aliran berbeza bagi penderia tanpa tiang.	72
Rajah 5.11	Carta bar nilai BLT bagi empat aliran berbeza bagi penderia satu tiang.	73

### **Senarai Plat**

<b>Plat C.1</b>	Pandangan susun atur terowong air tertutup	91
<b>Plat C.2</b>	Pemasangan komponen	91
<b>Plat C.3</b>	Pemasangan komponen bahagian kerja	92
<b>Plat C.4</b>	Spesimen yang dipasang di dalam bahagian kerja	92
<b>Plat C.5</b>	TMD-06P pam magnet, operasi maksimum 3400 psm dan kadar aliran maksimum 52 liter/min	93
<b>Plat D.1</b>	Rekabentuk dan pemasangan pandangan 3D 'Transversal Mechanism'	94
<b>Plat D.2</b>	Posisi kanta dalam pergerakan dengan menggunakan DC motor 12 Volt	94
<b>Plat D.3</b>	(a) Pandangan sisi 'Transversal Mechanism', (b) Pandangan hadapan 'Transversal Mechanism', (c) Kedudukan pelarasan kombinasi kanta	95

## Tatanama

$f$	Frekuensi bumbung vorteks
$D$	Garispusat selinder
$U_{\infty}$	halaju arus bebas
$v$	halaju tempatan pada zon edaran semula.
$r$	jejari edaran semula
$\omega$	jejari frekuensi
$\Delta x$	purata sesaran
$M$	imej pembesaran
$L$	jarak antara dua selinder
$\theta$	kecapahan sudut laser
$\lambda$	panjang gelombang
$S$	operasi pengasingan sumber cahaya di bahagian kerja
$r$	jejari bukaan alur laser
$f$	jarak fokus
$d$	kanta pemisah
$h$	alur kolimat
$\rho$	ketumpatan bendalir
$u_p$	halaju zarah
$F_D$	daya seretan
$m_p$	jisim zarah
$D_p$	spera zarah
$\mu$	kelikatan dinamik
$t$	skala masa
$F_B$	daya apungan
$d_p$	garispusat zarah
$m$	jisim
$g$	daya graviti
$U_G$	masa daya graviti malar

$d_s$	takat resapan pada kanta
$f^*$	bukaan kanta
$d_e$	garispusat imej zarah
$\delta_z$	kedalaman medan
$R$	nilai puncak
$I$	keamatan
$N$	nombor dari pengiraan
$\varepsilon_G$	Anggaran Gaussian
$\varepsilon_p$	anggaran parabola
$\varepsilon_c$	anggaran sepusat
$\varepsilon$	anggaran sesaran sub-piksel
$\tau$	penghantaran imej zarah
$\mu_D$	min sesaran imej
$t$	tebal alur laser
$H$	Turas Gaussian
$k$	Saiz turas Kernel
$I'_{mn}$	diskrit pelingkar
$N_I$	ketumpatan imej
$\psi$	garisan arus
$E$	tenaga
$P$	kuasa
$\Gamma$	magnitud edaran

# **KAJIAN ANALISIS KOMPUTER TIGA DIMENSI DAN EKSPERIMEN BAGI ALIRAN DI SEKELILING PENDERIA ALIRAN MIKRO**

## **ABSTRAK**

Analisis aliran bendalir dikelilingi penderia mikro telah dipamerkan dalam penyelidikan ini. Dalam analisis ini, penderia mikro dipasang di dalam saluran berbentuk segiempat tepat bagi keadaan tanpa tiang dan satu tiang. Dua langkah penting telah diambil iaitu menentukan kesan arah aliran dan konfigurasi pemasangan penderia mikro ke atas prestasi penderia aliran mikro.

Kaedah Pembezaan Terhingga telah digunakan dalam kajian ini bagi menyelesaikan persamaan keselantaran dan persamaan 'Navier-Stokes'. Keputusan pengiraan boleh digunakan dalam proses visual untuk memerhatikan kontur aliran bendalir yang dikelilingi penderia mikro. Kaedah MAC juga telah diaplikasikan dalam analisis bagi mengira nilai tekanan dalam persamaan 'Navier-Stokes'.

Bagi memastikan proses pengiraan yang kompleks berjalan dengan baik, semua persamaan diskretan dan diprogramkan dengan menggunakan FORTRAN 77. Proses peningkatan prestasi penderia mikro yang dijalankan adalah berdasarkan kepada ketebalan lapisan sempadan yang di simulasi pada permukaan atas penderia mikro. Kesan Nombor Reynolds dan ketinggian penderia mikro dari permukaan saluran dalam saluran juga diambil kira dalam kajian ini. Bendalir yang mengalir di dalam saluran dilaksanakan dalam dua jenis aliran iaitu aliran mengufuk dan aliran serong. Keputusan yang dihasilkan mendapati bahawa ketebalan bagi kedua-dua hidro-dinamik dan lapisan sempadan menjadi kurang

dengan peningkatan nombor Reynolds. Tebal lapisan sempadan menurun dengan ketara sehingga 38% bagi aliran serong yang dipasang dengan satu tiang.

Dalam kajian eksperimen pula, peralatan pengukuran halaju imej partikel digunakan bagi mengukur aliran di sekitar penderia mikro. Air dicampurkan dengan serbuk titanium oksida yang mengalir melintasi permukaan penderia mikro. Sinaran cahaya laser hijau dipancarkan di atas permukaan penderia mikro dan gambarnya diproses bagi melihat pergerakan partikel yang melintasi penderia mikro. Keputusan dari kaedah simulasi telah dibandingkan dengan kaedah eksperimen dan keputusan menunjukkan kedua-dua kaedah menunjukkan persamaan dalam corak aliran.



# **3D COMPUTATIONAL ANALYSIS AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FLOW FIELD AROUND MICRO FLOW SENSOR**

## **ABSTRACT**

The numerical analysis of flow around micro flow sensor is presented in this work. In the present studies, the sensor has been installed in a rectangular channel with no pillar and one pillar. There are two approaches have been performed in order to observe the effect of the flow direction and installation configuration on the micro flow sensor performance.

The finite difference method has been used to solve the continuity equation and Navier-Stokes equation in order to predict the fluid field around the sensor. The 'Marker And Cell' method is also used to calculate the pressure distribution in Navier-Stokes equation.

To ensure the complex calculation process run smoothly, all the governing equations are discretized and coded by using FORTRAN 77. The performance of micro flow sensor has calculated based on the boundary layers thickness on the top surface of the sensor. The effect of Reynolds number and height of sensor above the channel surface are also considered in the study. Two different directions of fluid flow in the channel have been made i.e. axial and tangent flow directions. The results have shown the boundary layer thickness has reduced with the increase of Reynolds number. The boundary layer reduced significantly up to

53% for the case of tangent flow arrangement and up to 83% for the sensor installed with one pillar.

In experimental study, the particle image velocimetry has been used to measure the fluid flow around the micro flow sensor. The water has been added with titanium oxide powder for the flow cross on the surface micro sensor. The green laser light rays beamed above the micro sensor surface and the photo processed to observe the particle movement cross on micro sensor. Simulation results method will be compared with experimental method and showed the flow pattern similarity.

## **BAB 1**

### **Pengenalan**

Era teknologi pada masa kini memerlukan suatu peralatan dan kaedah yang khusus untuk mengukur pengaliran sesuatu bendalir yang mengalir di dalam saluran terbuka atau tertutup. Penggunaan alat penderia aliran amat penting dan sesuai untuk menyelesaikan masalah kejuruteraan mekanikal, peralatan perubatan, kejuruteraan automobil, mereka bentuk semikonduktor dan sebagainya, Abdullah et al. (2005).

#### **1.1 Pengenalan Penderia Aliran Mikro**

Kajian bagi pengukuran aliran menjadi bertambah penting dengan terbinanya teknologi MEMS. Penderia aliran mikro sedang/telah dikaji dan dibina dengan meluas dalam beberapa tahun kebelakangan ini. Kelebihan bagi penderia jenis ini adalah kecil, kos yang rendah, berkuasa rendah dan boleh digunakan dalam pelbagai julat aliran bendalir.

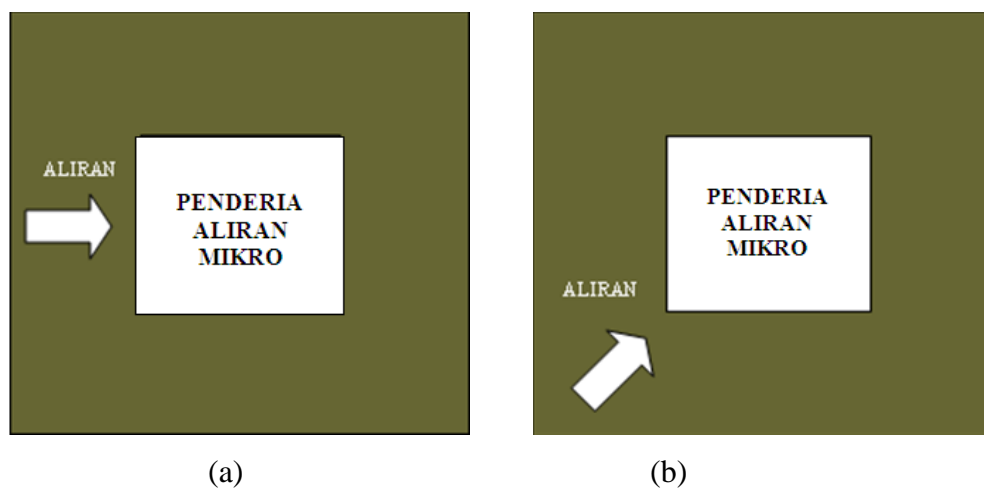
Konfigurasi penderia boleh memberi kesan ke atas prestasi menyeluruh bagi suatu penderia aliran mikro. Kajian ini adalah lanjutan daripada Abdullah et al. (2005) yang mana kesan konfigurasi penderia dikaji secara eksperimen dan kaedah berangka. Kebiasaannya penderia dipasangkan di permukaan dinding saluran seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1, tetapi dalam kajian ini kesan

perubahan konfigurasi kedudukan penderia di permukaan dinding ke atas prestasi pengukuran penderia tersebut.



Rajah 1.1: Penderia Aliran Mikro

Dalam projek ini, kajian dibuat ke atas dua jenis arah aliran yang berbeza iaitu arah mengufuk  $0^\circ$  dan arah serong bersudut  $45^\circ$  seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.2.



Rajah 1.2: (a) arah aliran secara mengufuk ,  $0^\circ$ , (b) arah aliran secara serong.  $45^\circ$ .

## **1.2 Prinsip Kelaziman Meter Aliran Jisim Terma**

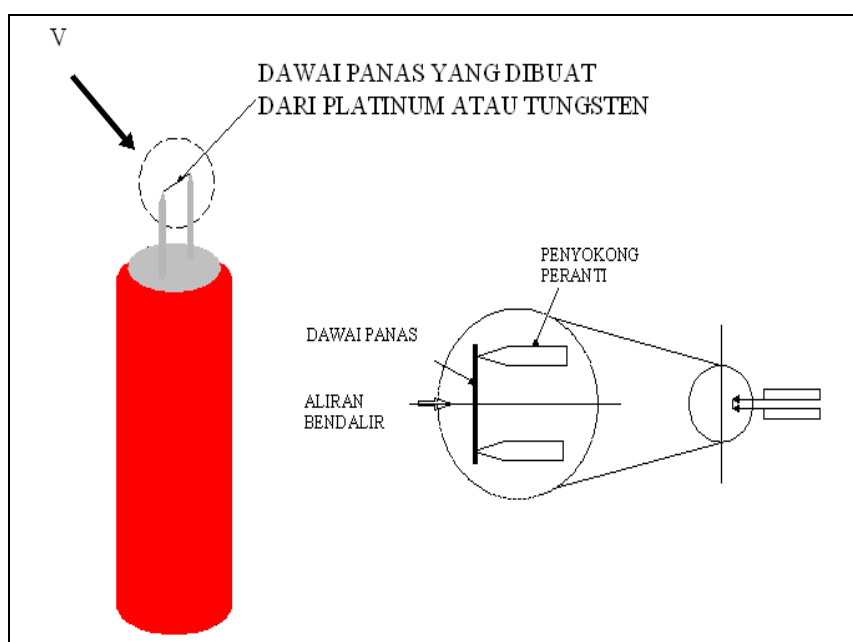
Terdapat tiga jenis meter aliran jisim terma iaitu yang pertama adalah meter aliran jisim terma yang mengukur maklumat pemindahan haba di sekitar pemanas, di mana aliran bendalir yang sentiasa berubah. Ia dipanggil penderia “calorimetric”. Kedua, meter aliran jisim terma yang mengukur masa laluan denyutan haba yang melintasi sesaran yang telah diukur dipanggil penderia masa “flight”. Ketiga, meter aliran jisim terma yang diukur melalui kesan bendalir yang mengalir ke atas satu jasad panas (meningkatkan kuasa pemanasan dengan pemanas suhu, menurunkan suhu pemanas dengan mengekalkan kuasa pemanasan). Ia dipanggil penderia aliran-panas.

## **1.3 Dawai Panas dan Penderia Kepingan Panas**

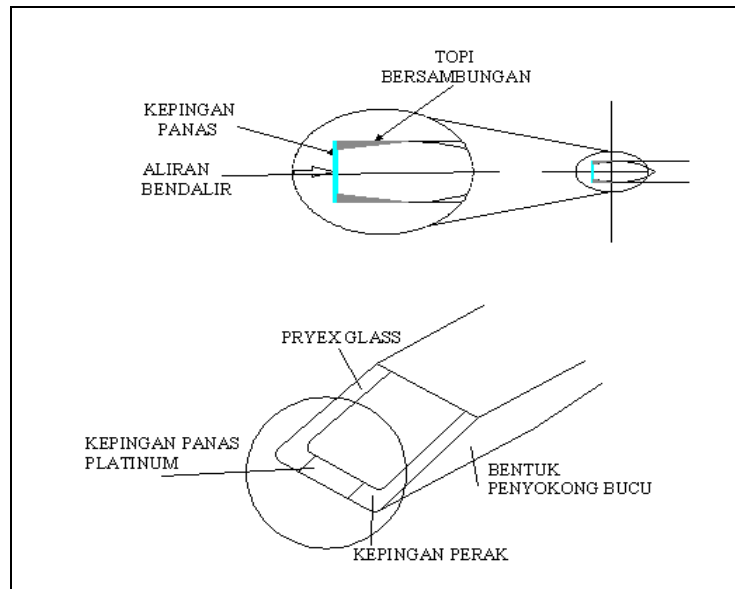
Cara terbaik untuk mengukur aliran bendalir adalah bergantung kepada kehilangan haba di antara wayar pendek seperti kepingan nipis dan bendalir persekitaran asal. Penderia aliran jisim terma dari jenis dawai-panas dan kepingan panas mempunyai saluran aliran yang didefinisikan sebagai aliran jisim.

Elemen penderia dawai panas, Rajah 1.3, yang dibuat dari platinum, “platinum-coated tungsten” atau keluli “platinum-iridium”. Disebabkan penderia dawai terlalu rapuh, penderia dawai panas biasanya digunakan hanya pada udara tulen dan campuran gas. Penderia kepingan panas, Rajah 1.4, terlalu kasar dan tidak

rata, oleh yang demikian ia digunakan bukan sahaja dalam bendalir malah dalam persekitaran gas yang kotor. Dalam penderia kepingan panas, kepingan platinum yang sangat tulen dipasang pada rod. Kepingan nipis dilindungi dengan lapisan alumina yang nipis sekiranya penderia digunakan dalam gas, kuarza atau bendalir. Lapisan alumina mempunyai perintang kikisan dan kekonduksian terma yang tinggi. Lapisan kuarza kurang poros sesuai digunakan yang bertindak sebagai penebat elektrik.



Rajah 1.3: Penderia Dawai Panas

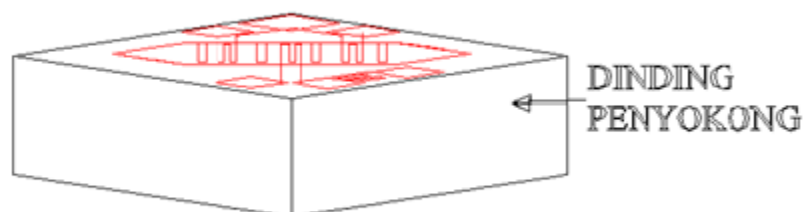


Rajah 1.4: Penderia Kepingan Panas

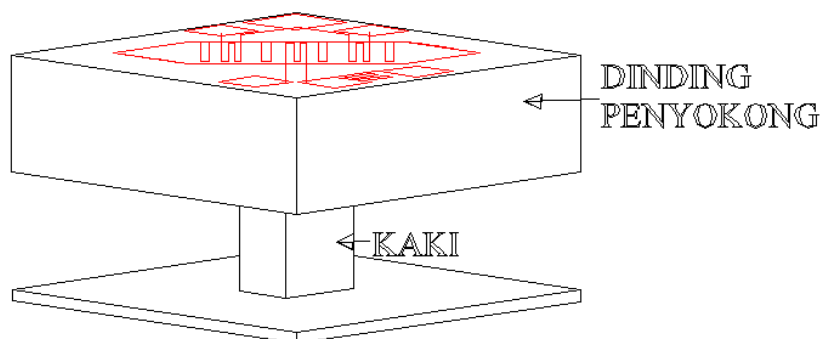
#### 1.4 Penyataan Masalah

Penderia aliran mikro telah digunakan secara meluas oleh pelbagai bidang industri. Prestasi penderia adalah penting bagi menentukan ketepatan dalam pengukuran bagi sesuatu aliran bendalir. Salah satu faktor yang boleh meningkatkan prestasi ialah dengan menentukan kedudukan penderia yang optimum pada permukaan saluran. Sebuah syarikat terkemuka di Jepun iaitu syarikat Yamatake telah menghadapi masalah semasa pemasangan penderia aliran mikro pada saluran (Abdullah et al., 2005). Syarikat ini menyatakan bahawa penderia aliran mikro yang dipasang dengan satu tiang adalah lebih baik prestasinya daripada penderia aliran mikro yang dipasang tanpa tiang, rujuk Rajah 1.5. Oleh itu, objektif utama di dalam projek ini adalah untuk mengkaji kesan aliran yang berlaku pada penderia dan sekeliling penderia yang dipasang

tanpa tiang dan satu tiang. Dalam penyelidikan ini kedua-dua jenis pemasangan telah dikaji.



a)



b)

Rajah 1.5 : (a)Lakaran penderia yang dipasang tanpa tiang, (b) penderia satu tiang



## **1.5 Objektif Projek**

1. Mengkaji kesan aliran bendalir yang melalui penderia aliran mikro dalam dua arah berbeza iaitu mengufuk dan serong.
2. Mengkaji kesan aliran bendalir yang melalui penderia yang dipasang tanpa tiang dan satu tiang di dalam permukaan saluran.
3. Membuat perbandingan kesan aliran di antara kaedah simulasi dengan kaedah eksperimen PIV yang menggunakan terowong air tertutup.

## **1.6 Susunan Tesis**

Pada permulaannya pengenalan kepada penderia dan jenis-jenis penderia di pasaran dalam Bab 1, kajian ilmiah bagi kajian ke atas penderia sebelum ini dalam Bab 2. Teori pembezaan terhingga yang digunakan bagi pengkomputeran dinamik bendalir (CFD) diterangkan dalam Bab 3. Eksperimen yang dijalankan dengan menggunakan sistem PIV dibincangkan dalam Bab 4. Dalam Bab 5 pula adalah keputusan simulasi dan eksperimen yang didapati dibincangkan dalam bab ini. Bab 6 menerangkan kesimpulan daripada kajian yang telah dijalankan.

## **BAB 2**

### **Sorotan Literatur**

Pada masa kini, permintaan terhadap penderia aliran mikro telah meningkat bagi kegunaan di dalam pelbagai aplikasi termasuk industri, automotif dan perubatan. Teknik fabrikasi mikro terutamanya pemesinan mikro digunakan secara meluas bagi menghasilkan penderia aliran mikro yang sensitifnya tinggi, tindak balas yang cepat dan penggunaan kuasa yang rendah. Dalam bab ini beberapa kajian telah dibuat terhadap pengukuran aliran oleh para penyelidik. Ia terdiri daripada dua prinsip yang biasa digunakan iaitu berdasarkan perbezaan tekanan dan aliran terma. Walaupun penderia perubahan tekanan adalah sangat sesuai bagi pengukuran aliran cecair yang mempunyai kadar aliran yang tinggi dan tidak untuk kadar aliran yang rendah. Dalam kes ini, pengukuran terma adalah lebih sesuai. Penderia aliran mikro boleh diklasifikasikan kepada deria terma dan deria bukan terma mengikut kaedah pengukuran aliran masing-masing.

#### **2.1 Penderia Aliran Bukan Terma**

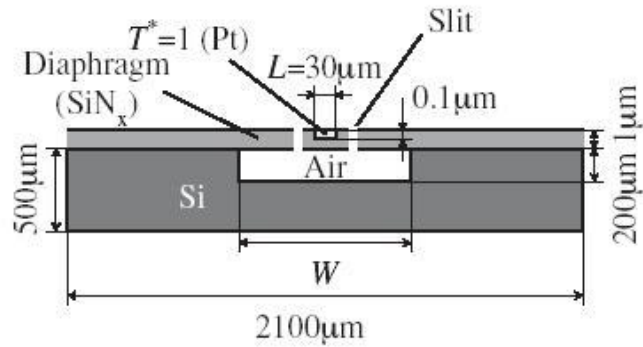
Penderia aliran mikro bagi jenis deria terma telah banyak dibina kebelakangan ini. Tetapi bagi menghasilkan penderia terma yang berprestasi tinggi struktur MEMS yang kompleks adalah diperlukan dan ia sangat sukar untuk dibina. Oleh itu, penderia aliran mikro jenis deria bukan terma telah dikaji dan dibina mengikut kehendak tertentu dalam mengukur aliran bendalir.

Wu et al. (2005) mencadangkan satu penderia aliran elektrokimia dan penderia oksigen amperometer. Kedua-dua penderia ini dapat mengesan dan mengukur oksigen dalam aliran. Dengan membandingkan output bagi kedua-dua penderia ini, kadar aliran boleh dihasilkan dengan baik. Wu et al. (2006) sekali lagi melaksanakan kajian simulasi terhadap penderia ini. Mereka telah mendapati bahawa penderia tidak sensitif terhadap analisis yang dijalankan. Mereka telah mencadangkan untuk membina satu penderia berkonsep baru iaitu penderia aliran mekanikal. Penderia ini dapat mengesan kedua-dua arah aliran dan halaju aliran.

## **2.2 Penderia Aliran Terma**

Randjelovic et al. (2008) telah mereka bentuk dan membina sebuah penderia serba guna iaitu penderia terma yang berdasarkan 'thermopiles'. Struktur ini direka bentuk dengan dua 'thermopiles' bebas supaya ia dapat diaplikasikan dalam keadaan yang berbeza.

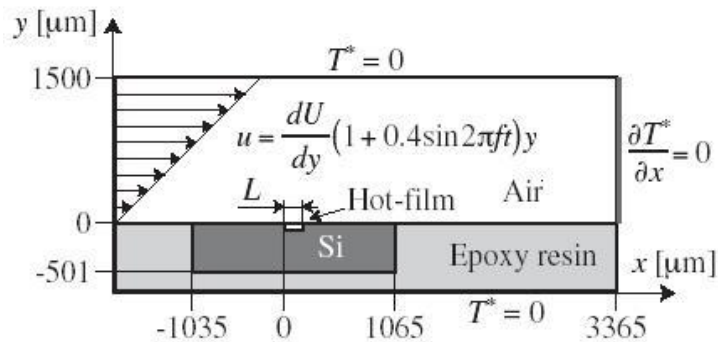
Yoshino et al. (2003) telah menjalankan penyelidikan dalam menentukan reka bentuk yang optimum bagi penderia mikro aliran terma, dua jenis analisis telah digunakan iaitu analisis berangka dan eksperimen. Dalam penyelidikan mereka, reka bentuk penderia mikro aliran terma seperti dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1: Lakaran model penderia, Yoshino et al. (2003)

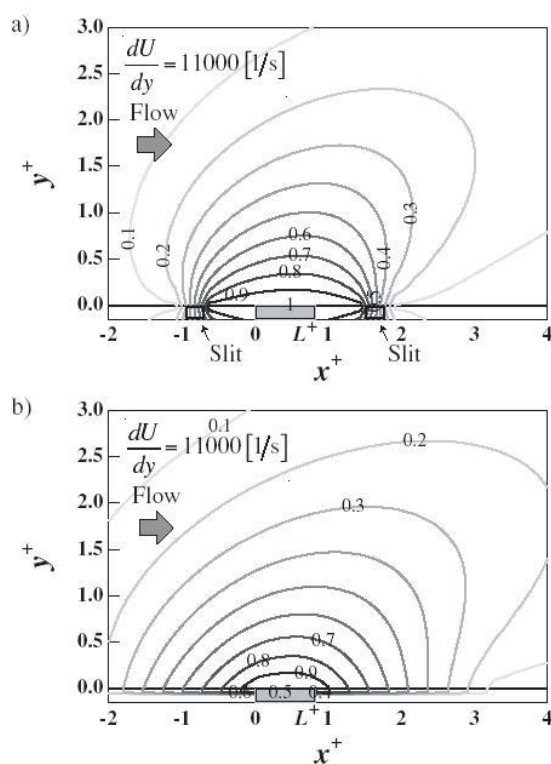
Tujuan penyelidikan ini adalah untuk menjalankan satu analisis bagi pemindahan haba terhadap penderia mikro aliran terma dengan tujuan lain adalah untuk meningkatkan lagi frekuensinya dalam tegasan ricih. Udara sekelilingi penderia adalah dalam keadaan bergelora. Di sini penderia bertindak sebagai rintangan haba dengan tujuan mengurangkan kehilangan haba melalui badannya.

Dalam analisis berangka ini, kaedah digunakan adalah pengiraan dimensi dwi-model untuk meramalkan taburan suhu yang merentasi di atas permukaan penderia seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



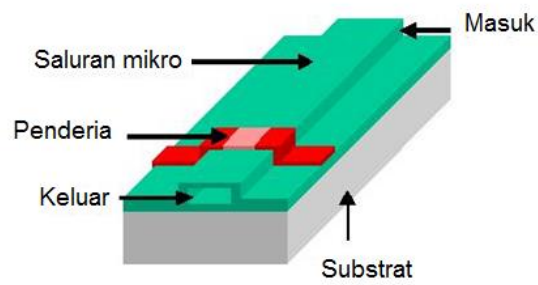
Rajah 2.2: Domain pengiraan dan syarat sempadan, Yoshino et al. (2003)

Dengan menaik turun halaju aliran yang berhampiran pada dinding, halaju bendalir tersebut berada dalam keadaan berkadar terus dengan jarak dinding. Persamaan yang digunakan adalah di mana  $x$  dan  $y$  adalah jarak kecerunan halaju pada dinding  $\frac{dU}{dy}$  dan kelikatan kinematik,  $\nu$ . Kebanyakan model-model penderia mempunyai penebat terma pada kedua-dua bahagian sisi penderia. Merujuk kepada Rajah 2.3 (a) yang menunjukkan taburan suhu adalah terbatas antara kontur dan sisipan tepi penderia. Suhu tersebut menjadi lebih tinggi terutamanya yang berhampiran dengan penderia. Rajah 2.3 (b) menunjukkan taburan suhu bagi model penderia rongga vakum (hampagas). Taburan suhu akan membias keluar di kedua-dua tepi kiri dan kanan penderia secara sekata.

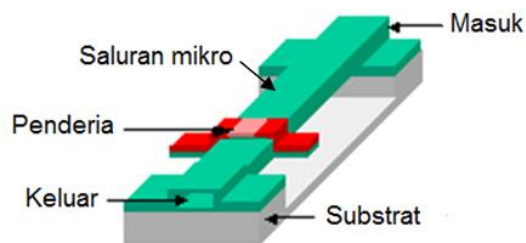


Rajah 2.3: Taburan suhu di sekeliling model penderia.(a) Dengan sisipan dan rongga udara, (b) Tanpa sisipan dan rongga vakum, Yoshino et al. (2003)

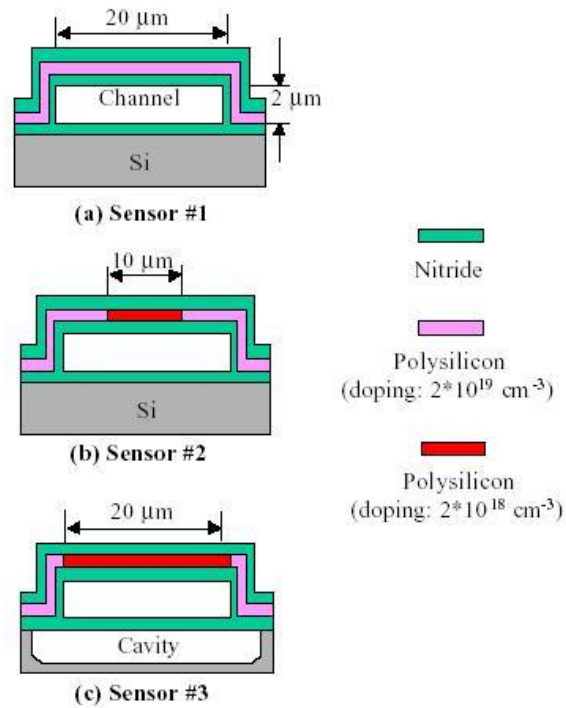
Wu et al. (2001) pernah mengkaji kesan saluran mikro bagi menentukan peningkatan pengasingan terma. Penyelidikannya dikendalikan dalam dua kaedah iaitu analisis berangka dan eksperimen.



Rajah 2.4: Saluran mikro berdasarkan penderiaan aliran (Wu et al., 2001)

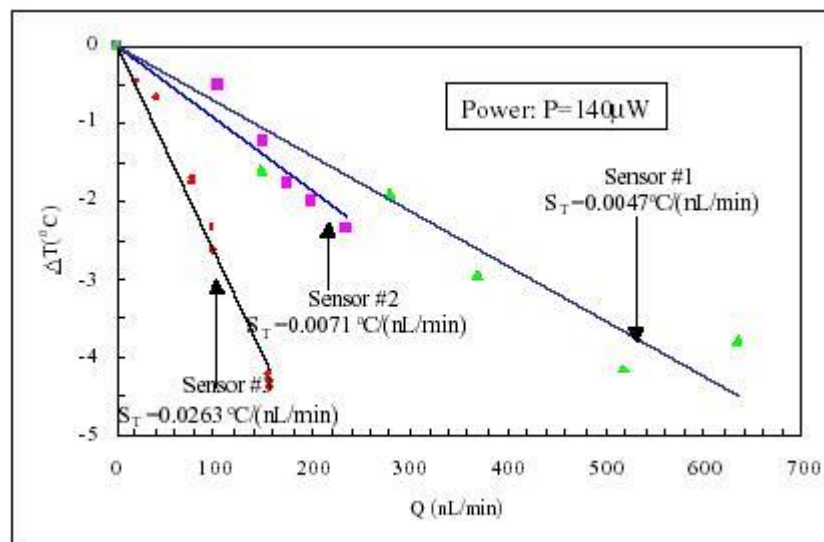


Rajah 2.5: Penderia aliran yang telah diubahsuai, Wu et al. (2001)



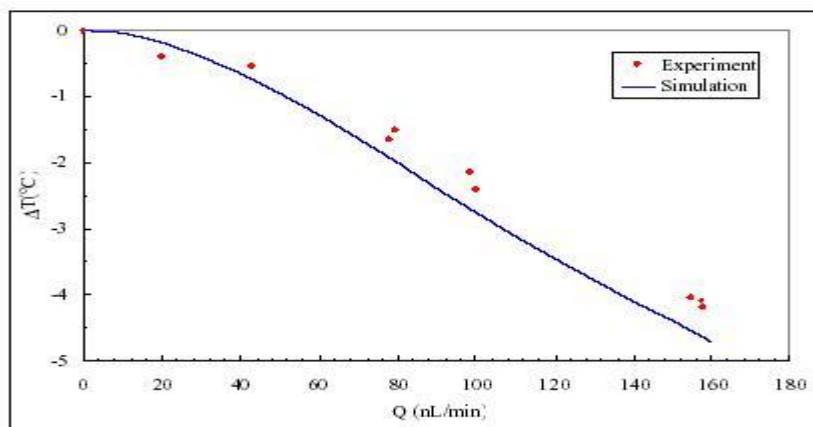
Rajah 2.6: Tiga reka bentuk penderia aliran, Wu et al. (2001)

Selepas analisis yang dibuat, mereka mendapati keputusan suhu yang dihasilkan lebih baik iaitu dengan nisbah aliran ( $0.026 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{nL} / \text{min}$ ) kira-kira 5 kali lebih baik daripada penderia sebelum itu. Keputusan tersebut ditunjukkan dalam Rajah 2.7.



Rajah 2.7: Perubahan suhu penderia dengan aliran cecair, Wu et al. (2001)

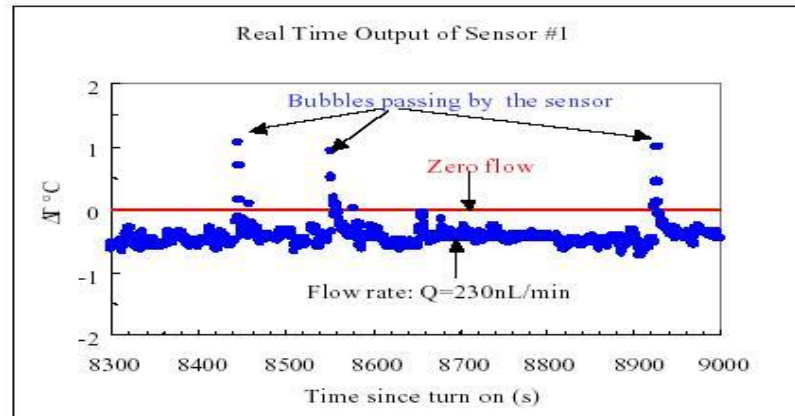
Fenomena ini menunjukkan yang pengasingan suhu tersebut lebih baik daripada menggunakan saluran limbah. Pada masa aliran bendalir berfungsi, perubahan suhu teraruh pada penderia melawan kadar aliran dan diplotkan seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.8 untuk penderia nombor 3.



Rajah 2.8: Simulasi melawan ukuran aliran - perubahan suhu teraruh pada penderia nombor 3, Wu et al. (2001)

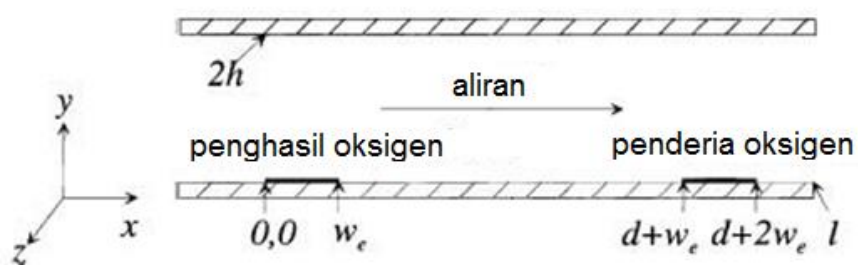
Merujuk Rajah 2.8,  $\Delta T(^{\circ}\text{C}) = T(Q) - T(0)$ ; di mana  $T(Q)$  adalah suhu pemanas sebagai fungsi kadar aliran dan  $T(0)$  adalah suhu pemanas awal. Sekiranya aliran bendalir semakin bertambah, aliran suhu teraruh dalam saluran mikro akan berkurangan. Akhirnya, rekabentuk penderia bukan hanya dapat mengukur kadar aliran sahaja tetapi juga dapat mengesan kehadiran gelembung udara dalam bendalir tersebut dengan merujuk pada Rajah 2.9.



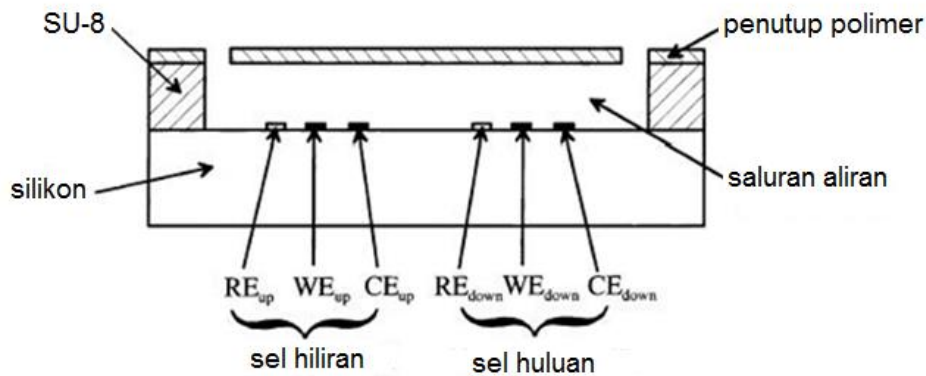


Rajah 2.9: Masa sebenar yang dihasilkan oleh penderia No. 1. menunjukkan laluan gelembung udara, Wu et al. (2001)

Dalam elektrokimia aliran masa berlepas (TOF), pengesanan oksigen dalam penderia mikro dapat diaplikasikan. Reka bentuk penderia ini adalah dibuat oleh Wu dan Sansen (2002). Rajah 2.10 dan Rajah 2.11 menunjukkan keratan rentas penderia mikro aliran TOF.

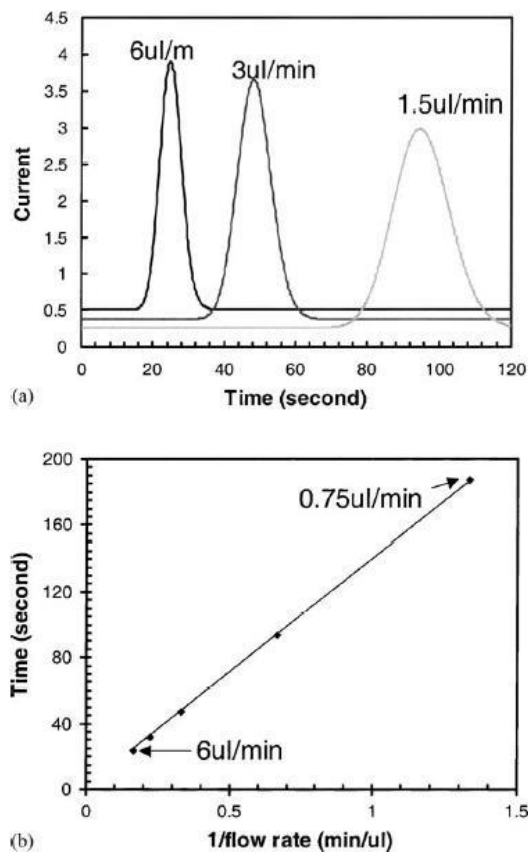


Rajah 2.10: Keratan rentas penderia mikro aliran TOF (kedua-dua penghasil oksigen dan penderia oksigen dengan masing-masing terdiri daripada satu elektrod), Wu dan Sansen (2002).



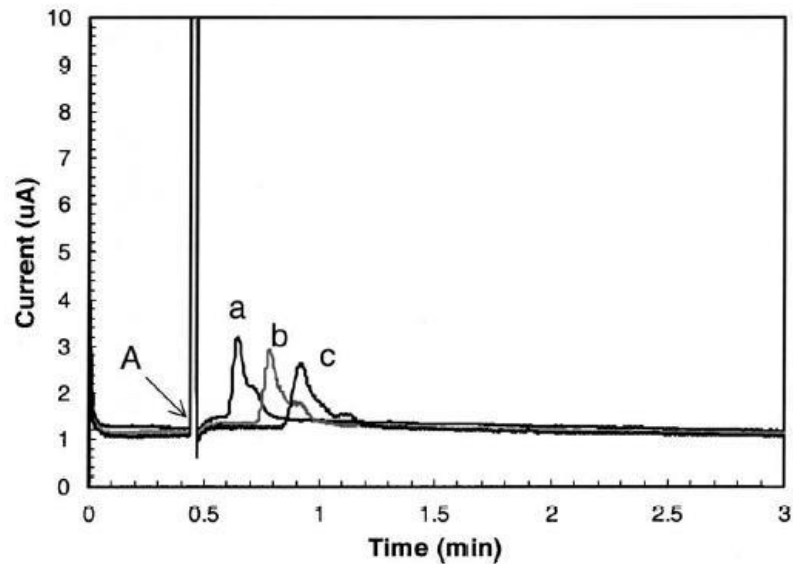
Rajah 2.11: Menunjukkan keratan rentas penderia TOF dan salur aliran Wu dan Sansen (2002).

Penderia ini mengandungi dua sel elektrokimia yang berada dalam alur aliran. Sel pada bahagian huluan berfungsi sebagai penghasil oksigen dan sel elektrokimia pada bahagian hiliran pula berfungsi sebagai penderia 'amperometric' oksigen. Sel elektrokimia pada bahagian huluan, akan berlaku tindak balas kimia. Denyutan arus elektrik disalurkan ke dalam air untuk menghasilkan aruhan oksigen di dalam air. Selepas itu, aruhan oksigen bergerak ke sel elektrokimia di bahagian hiliran oleh perolakan dan resapan. Tumpuan oksigen tersebut akan menentukan jumlah arus bagi penderia oksigen.



Rajah 2.12: Simulasi penderia oksigen pada kadar aliran berbeza. (a) Arus melawan masa; (b) kadar aliran melawan masa.

Berdasarkan Rajah 2.12(a) keluasan puncak arus itu bergantung pada kadar aliran. Oleh itu, lebih perlahan kadar aliran, lebih luas puncak arus. Merujuk pada Rajah 2.12(b) didapati pertambahan masa adalah berkadar terus dengan peningkatan kadar aliran.



Rajah 2.13: Arus melawan masa bagi penderia oksigen pada kadar aliran berbeza. Bendalir: PBS. Kadar aliran: (a) 10 $\mu$ l / min; (b) 6 $\mu$ l / min; dan (c) 4 $\mu$ l / min

Merujuk Rajah 2.13, A adalah menunjukkan titik-titik denyutan elektrik pada sel di bahagian hulu di mana oksigen dapat dihasilkan. Sebagaimana yang telah dinyatakan dalam teori di atas, pergerakan oksigen ke atas elektrod akan menghasilkan puncak-puncak arus yang berbeza. Hasil eksperimen ini juga menunjukkan oksigen akan berserakan yang disebabkan oleh perolakan dan resapan dalam masa proses pergerakan tersebut. Puncak arus yang terhasil bergantung kepada kadar aliran bendalir yang dikenakan dalam proses tersebut.

Park et al. (2004) telah menambahbaik pelaksanaan penderia aliran terma dengan mengurangkan ralat haba yang diukur terhadap bendalir. Kaedah yang pertama dengan menukarkan kecerunan pada  $R_h$  dalam kaedah pengiraan.

Kaedah kedua pula dengan menukarkan kecerunan pada  $R_f$  di dalam nisbah pelarasan sesuatu rintangan.

Bruschi et al. (2005) mencadangkan satu reke bentuk baru iaitu penderia aliran gas dengan membina dua pemanas berpusat untuk tujuan suap balik haba. Reka bentuk ini dengan menggunakan pemuka elektronik dan ia lebih ringan dan padat.

Lin et al. (2005) telah mereka bentuk penderia aliran terma dengan kos dan penggunaan arus elektrik yang rendah dengan mempunyai keupayaan sensitiviti yang tinggi. Mereka menggunakan kedua-dua permukaan dan teknik pemesinan mikro pukal bagi fabrikasi penderia tersebut.

Chung (2006) telah mereka bentuk sebuah penderia aliran mikro dengan mempunyai pelbagai elemen penderia haba. Beliau telah membina tiga pasangan elemen penderia haba yang dikawal oleh satu pemanas berpusat jika dibandingkan dengan yang konvensional hanya terdapat satu pasangan elemen penderia haba sahaja.

## **2.4 Rumusan**

Kajian ilmiah telah menunjukkan banyak kerja penyelidikan telah dijalankan dalam bidang penderiaan aliran. Kebanyakan penyelidikan tertumpu dalam

mereka bentuk penderia dengan pelbagai konsep. Didapati daripada kajian ilmiah terdapat kurang kajian terhadap analisis aliran di sekitar penderia. Kajian aliran di sekitar penderia adalah penting bagi meningkatkan prestasi penderia terutamanya penderia aliran terma. Prestasi penderia aliran terma adalah amat bergantung kepada kadar pemindahan haba yang ketara yang boleh dikesan oleh mekanisma deria. Kadar pemindahan haba ini bergantung kepada bentuk aliran yang terhasil di atas permukaan penderia. Oleh itu, kajian terhadap aliran di sekeliling penderia ini adalah penting bagi menentukan aliran yang wujud di atas permukaan penderia bagi pemasangan penderia secara mengufuk dan serong.