

PENGESAHAN PENYELIA

“Saya akui bahawa telah membaca tesis ini dan pada pandangan saya tesis ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal-Bendalir) dengan Kepujian.”

Tandatangan :

Penyelia : DR. YUSMADY BIN MOHAMED ARIFIN

Tarikh :

**KAJIAN TERHADAP POLA KITARAN ALIRAN UDARA
DALAM RUANG TERKURUNG DENGAN SUDUT
LUBANG DINDING KOSONG DARJAH (0°)**

MOHD ZARRUL SYAFFIQ BIN SABAHAR

**Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian
daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda
Kejuruteraan Mekanikal (Termal-bendalir) dengan Kepujian**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

JULAI 2015

PENGAKUAN

“Saya akui tesis ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya telah jelaskan sumbernya”

Tandatangan :

Penulis : MOHD ZARRUL SYAFFIQ BIN SABA HAR

Tarikh :

Laporan ini didedikasikan kepada keluarga saya. Terima kasih atas sokongan anda sepanjang tahun-tahun pendidikan saya. Tanpa kesabaran, pemahaman dan yang paling penting kasih sayang, kajian ini mungkin tidak dapat disiapkan.

Khas buat
Bonda serta Ayahanda tersayang,

Zarina Bte Che Sa & Sabahar Bin Yaakob

PENGHARGAAN

Pertama sekali, saya ingin melahirkan syukur ke hadrat Allah di atas segala petunjuk dan hidayah-Nya. Alhamdulillah, laporan projek sarjana muda (PSM) ini telah berjaya disiapkan dengan ilham, kurnia dan petunjuk yang telah dianugerahkan oleh-Nya.

Pertamanya, besarlah hati ini untuk saya menyampaikan setinggi-tinggi penghargaan buat penyelia projek sarjana muda (PSM) saya iaitu Dr. Yusmady Bin Mohamed Arifin dalam usaha beliau untuk mendidik serta membimbing saya dalam menjalankan kajian ini.

Ingin juga saya hadiahkan penghargaan yang tidak terhingga buat kedua-dua ibubapa saya yang selama ini tidak putus-putus menyokong serta mendoakan pengajian saya selama ini.

Tidak lupa juga penghargaan buat rakan-rakan seperjuangan, pensyarah-pensyarah yang lain, penolong-penolong jurutera, serta kesemua pihak yang terlibat dalam usaha menjayakan kajian serta laporan kajian ini samada secara langsung mahupun tidak langsung.

Sekian, terima kasih.

ABSTRACT

Air circulation flow patterns play an important role in achieving optimal thermal comfort. Generally, thermal comfort can be achieved by altering the temperature of a space so that it is compatible with human needs. These changes can easily be reached as well consume minimal energy if the ventilation (air circulation flow pattern) is very good. Minimal energy consumption not only beneficial economically, but also environmentally friendly which supports the government's efforts to implement the green technology in everyday life. Hence, aim of this study is to investigate the air circulation flow pattern in a confined space with zero degree (0°) hole angle wall (θ) through a simulation approach. Moreover, the purpose of the implementation of this study is to simulate the model with varying cases in deflector prism ratio (R) and wall gap (j). The approach used to conduct the study began with measuring the dimensions of the model, developing the 3-D model, and finally run the CFD simulation. There are 9 cases involve in this study which are Case 1 ($R = 0.5, j = 10$ mm), Case 2 ($R = 1.0, j = 10$ mm), Case 3 ($R = 2.0, j = 10$ mm), Case 4 ($R = 0.5, j = 20$ mm), Case 5 ($R = 1.0, j = 20$ mm), Case 6 ($R = 2.0, j = 20$ mm), Case 7 ($R = 0.5, j = 30$ mm), Case 8 ($R = 1.0, j = 30$ mm), and Case 9 ($R = 2.0, j = 30$ mm). From the result, it shows that the Case 6 has the best air flow pattern. Case 6 was chosen because it is the lowest in total ranking. The airflow characteristics that make Case 6 being chosen are literally having eight (8) line that flow directly through the confined space (without trapped in vortexes), having the second highest average velocity (13.5645 m/s) throughout the confined space, and the Supreme line distance of 280.7 m roughly. The significant of having all the airflow characteristic mentioned before is to ensure more channel of fresh air replacement and not having bottleneck in confined space, to ensure faster fresh air replacement, and to ensure air to travel (inside the confined space) as shortest time as possible.

ABSTRAK

Pola aliran kitaran udara memainkan peranan yang penting dalam mencapai keselesaan termal yang optimum. Umumnya, keselesaan termal dapat dicapai dengan mengubah suhu sesebuah ruang supaya serasi dengan keperluan manusia. Perubahan tersebut dapat dicapai dengan mudah disamping menggunakan tenaga yang minima sekiranya ventilasi (pola aliran kitaran udara) adalah sangat baik. Penggunaan tenaga yang minima bukan sahaja baik dari segi ekonomi, bahkan turut mesra alam disamping menyokong usaha kerajaan untuk menerapkan teknologi hijau dalam kehidupan seharian. Oleh dengan itu, kajian ini dijalankan bertujuan bagi menyiasat pola kitaran aliran udara dalam suatu ruang terkurung dengan sudut lubang dinding (θ) kosong darjah (0°) melalui pendekatan simulasi. Selain itu, tujuan pelaksanaan kajian ini juga adalah untuk mensimulasikan model dengan variasi nisbah prisma pemesong (R) dan jarak sela dinding (j). Pendekatan yang digunakan bagi menjalankan kajian dimulai dengan pengukuran dimensi pada model, membangunkan model 3-D, dan seterusnya menjalankan simulasi CFD. Secara keseluruhannya, terdapat 9 kes yang terlibat dalam kajian ini iaitu Kes 1 ($R = 0.5, j = 10$ mm), Kes 2 ($R = 1.0, j = 10$ mm), Kes 3 ($R = 2.0, j = 10$ mm), Kes 4 ($R = 0.5, j = 20$ mm), Kes 5 ($R = 1.0, j = 20$ mm), Kes 6 ($R = 2.0, j = 20$ mm), Kes 7 ($R = 0.5, j = 30$ mm), Kes 8 ($R = 1.0, j = 30$ mm), and Kes 9 ($R = 2.0, j = 30$ mm). Hasil kajian mendapati bahawa Kes 6 mempunyai pola kitaran aliran udara terbaik. Kes 6 telah dipilih kerana mempunyai kedudukan keseluruhan yang paling rendah. Sifat-sifat aliran udara yang menjadikan Kes 6 terpilih adalah kerana secara literalnya mempunyai lapan (8) garisan aliran yang mengalir secara langsung melalui ruang terkurung (tanpa terperangkap menjadi pusaran), mempunyai purata halaju kedua terbaik (13.5645 m/s) sepanjang ruang terkurung, dan jarak garisan Agung adalah 280.7 m secara kasar. Signifikan kesemua sifat aliran yang disebut sebelum ini adalah memastikan lebih banyak saluran bagi pergantian udara segar dan tiada kesesakan dalam ruang terkurung, untuk memastikan pergantian udara segar lebih cepat, dan memastikan udara (dalam ruang terkurung) sesingkat yang mungkin.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRACT	v
	ABSTRAK	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	ix
	SENARAI RAJAH	x
	SENARAI SIMBOL	xii
	SENARAI SINGKATAN	xiv
	SENARAI LAMPIRAN	xv
BAB 1	PENGENALAN	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Pernyataan masalah	2
	1.3 Objektif kajian	3
	1.4 Skop kajian	3
BAB 2	KAJIAN ILMIAH	4
	2.1 Pendahuluan	4
	2.2 Pola aliran kitaran udara	4
	2.3 Dinamik bendalir berkomputer (CFD)	15
	2.4 Aliran lamina, aliran peralihan dan aliran gelora	18
	2.5 Perolakan semulajadi	21
BAB 3	KAEDAH KAJIAN	22
	3.1 Pendahuluan	22
	3.2 Carta alir	23

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	3.3 Pengukuran pada model	24
	3.4 Memodelkan ruang terkurung menggunakan perisian SolidWorks	25
	3.5 Dinamik bendalir berkomputer (CFD)	26
BAB 4	KEPUTUSAN	30
	4.1 Pendahuluan	30
	4.2 Keputusan garis arus	31
	4.3 Keputusan vektor halaju	33
	4.4 Perbincangan keputusan garis arus dan vektor halaju	35
	4.5 Perbandingan keseluruhan	39
BAB 5	KESIMPULAN	46
	RUJUKAN	48
	LAMPIRAN A	50
	LAMPIRAN B	52
	LAMPIRAN C	54
	LAMPIRAN D	56
	LAMPIRAN E	58

SENARAI JADUAL

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Kes-kes dengan pembolehubah yang berbeza-beza.	3
2.1	Beberapa jenis model gelora lazim dan contoh-contohnya.	17
3.1	Langkah-langkah yang terlibat dalam penghasilan analisis CFD.	27
3.2	Perincian tentang tetapan saiz.	28
3.3	Perincian bagi Tetapan umum.	29
3.4	Perincian bagi Tetapan model likat ('viscous').	29
3.5	Perincian bagi Tetapan 'Boundary condition'.	29
4.1	Tetapan keputusan garis arus.	31
4.2	Tetapan keputusan vektor halaju.	33

SENARAI RAJAH

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Geometri bilik ujian, sistem koordinat, dan lokasi peralatan pengukuran halaju udara (dimensi dalam unit m).	5
2.2	Lakaran salur masuk mengikut piawai ISO 5167, (1991).	5
2.3	Model A hingga model E dengan ciri-ciri yang tersendiri.	7
2.4	Grid pada permukaan dan pada keratan rentas dalam model A melalui salur masuk (85,016 sel).	7
2.5	Rangka garis laluan udara di dalam kurungan.	10
2.6	Ramalan aliran arus menggunakan kaedah berangka (iaitu RMS dan $k-\epsilon$) dalam satah simetri ($x = 0$ m) dan satah tengah kotak ($x = 0.6$ m) mengikut model gelora.	10
2.7	Model bilik yang dikaji serta sempadan kajian.	11
2.8	Halaju vektor untuk model tidak likat (Euler).	12
2.9	Perbandingan halaju bagi model RANS dan Euler.	13
2.10	Lukisan skematik domain pengiraan dan model bangunan.	15
2.11	Contoh aliran lamina, aliran peralihan, dan aliran gelora pada asap dari nyalaan sebatang lilin.	19
2.12	Diameter hidraulik untuk beberapa geometri lazim.	20
3.1	Carta alir bagi PSM 1 dan sambungannya PSM 2.	23
3.2	Bahagian-bahagian pada model ruang terkurung.	24
3.3	Contoh model ruang terkurung yang telah dibangunkan menggunakan perisian CAD iaitu SolidWorks.	26
3.4	Lima bahagian utama dalam perisian ANSYS Fluent.	27

3.5	‘Named selection’ iaitu Simetri, Salur keluar, dan Salur masuk.	28
4.1	Tetapan keputusan garis arus.	31
4.2	Keputusan garis arus bagi Kes 1 hingga Kes 9.	32
4.3	Tetapan keputusan vektor halaju.	33
4.4	Keputusan vektor halaju bagi Kes 1 hingga Kes 9.	34
4.5	Kod rujukan pada lubang.	36
4.6	Lokasi asal (‘origin’) sebagai rujukan koordinat.	39
4.7	Lokasi titik-titik rujukan berdasarkan dimensi ruang terkurung.	39
4.8	Graf halaju menentang kes bagi setiap titik rujukan.	40
4.9	Graf halaju menentang titik rujukan bagi kesemua kes.	41
4.10	Graf jarak paling dekat menentang nisbah prisma pemesong, R .	43
4.11	Graf jarak paling dekat menentang jarak sela dinding, j .	43
4.12	Perbandingan bagi menentukan kes terbaik.	45

SENARAI SIMBOL

θ	Sudut lubang dinding	°
R	Nisbah prisma pemesong	-
j	Jarak sela dinding	mm
u	Halaju pada paksi-x	m/s
v	Halaju pada paksi-y	m/s
w	Halaju pada paksi-z	m/s
Q	Kadar aliran isipadu	m ³ /s
A	Luas	m ²
x	Jarak dalam paksi-x	m
y	Jarak dalam paksi-y	m
z	Jarak dalam paksi-z	m
ρ	Ketumpatan	kg/m ³
k_v	Ketumpatan kinematik	m ² /s
P'	Tekanan terubahsuai	Pa
k	Tenaga kinetik bergelora	J/kg
C_v	Pemalar empirikal	-
T_i	Keamatan gelora	%
Re	Nombor Reynolds	-
V_{prt}	Halaju purata	m/s
D_h	Diameter hidraulik	m
μ	Kelikatan dinamik	Pa.s
\vec{V}	Vektor halaju	m/s
u'	perubahan halaju pada paksi-x	m/s
v'	perubahan halaju pada paksi-y	m/s

w'	perubahan halaju pada paksi-z	m/s
s	Halaju purata	m/s
μ_t	Kelikatan dinamik gelora	Pa.s
l	Jarak dinding	m
C_μ	Pemalar yang digunakan untuk mengira l'	-
l'	Skala panjang	-

SENARAI SINGKATAN

2-D	Dua dimensi
3-D	Tiga dimensi
CAD	Lukisan berbantu komputer
CFD	Dinamik bendalir berkomputer
FKM	Fakulti kejuruteraan mekanikal
GHG	Gas rumah hijau
HVAC	Pemanasan udara, ventilasi, dan penghawa dingin
ISO	Pertubuhan pemiawaian antarabangsa
LDV	Velocimetry Doppler Laser
LES	Simulasi pusaran besar
Pers.	Persamaan
PSM	Projek sarjana muda
RANS	Persamaan purata-Reynolds Navier-Stokes
RMS	Model tegasan Reynolds
UTeM	Universiti Teknikal Malaysia Melaka

SENARAI LAMPIRAN

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
A	Carta Gantt.	50
B	Lukisan kejuruteraan model ruang terkurung (Isometrik)	52
C	Lukisan kejuruteraan model ruang terkurung (Orthografik)	54
D	Lukisan kejuruteraan dinding berlubang (0°)	56
E	Jadual tambahan	58
E-1	Sudut garisan Agung bagi setiap kes.	59
E-2	Jarak garisan Agung bagi setiap kes.	59
E-3	Koordinat bagi titik-titik rujukan.	59
E-4	Magnitud halaju pada titik rujukan 1 hingga titik rujukan 5.	59

BAB 1

PENGENALAN

1.1 PENGENALAN

Perkara yang akan dibincangkan di dalam bab ini adalah pengenalan ringkas tajuk projek sarjana muda yang dipilih, pernyataan masalah, objektif kajian, serta skop kajian. Tajuk projek sarjana muda (PSM) yang telah dipilih adalah “Kajian terhadap pola kitaran aliran udara dalam ruang terkurung dengan sudut lubang dinding kosong darjah (0°)”. Model ruang terkurung yang digunakan dalam kajian ini adalah model sebenar ruang terkurung yang telah dibuat oleh Mahari, A. M. (2014). Kajian beliau iaitu “Pengukuran halaju udara berbilang titik dalam ruang terkurung” telah membuka ruang untuk kajian yang hampir sama dengan menggunakan pendekatan simulasi dinamik bendalir berkomputer (CFD). Istilah pola kitaran aliran udara secara amnya dapat ditafsirkan sebagai bentuk pergerakan udara. Istilah ruang terkurung merujuk kepada model bilik tertutup ataupun sesebuah ruang dengan hanya beberapa bukaan kecil yang membenarkan pengaliran bendalir misalnya udara.

1.2 PERNYATAAN MASALAH

Dasar Teknologi Hijau Negara (2009) menjelaskan bahawa sesebuah sistem itu berlandaskan Teknologi Hijau apabila memenuhi salah satu kriterianya seperti mempunyai pembebasan Gas Rumah Hijau (GHG) yang rendah atau sifar, dan menjimatkan tenaga serta sumber asli. Matlamat untuk mempraktikkan Teknologi Hijau boleh dicapai apabila sesebuah sistem itu mempunyai pola aliran udara yang baik. Hal ini disokong oleh Tapsoba et al., (2007), yang menyatakan bahawa suhu dan kelembapan persekitaran bergantung kepada pola aliran udara dan keseimbangan pengudaraan. Ruang terkurung seringkali dikaitkan dengan aliran udaranya yang lemah. Adakah sangkaan ini tepat? Adakah ciri-ciri geometri ruang tersebut memainkan peranan dalam menentukan pola kitaran aliran udara dalam ruang terkurung? Apa yang pasti adalah pengedaran udara yang baik sememangnya penting dalam sistem pemanasan udara, ventilasi, dan penghawa dingin atau lebih dikenali sebagai HVAC (Chen et al., 1969). Pemahaman terhadap pola aliran udara diperlukan untuk mengawal suhu dan kelembapan persekitaran seterusnya penggunaan tenaga juga dapat dikawal dan dikurangkan. Terdapat dua pendekatan utama yang dapat dibuat bagi merungkai persoalan-persoalan tersebut iaitu eksperimen nyata, atau simulasi komputer. Kelemahan eksperimen nyata adalah memakan masa serta memerlukan kos bagi pembinaan model ruang terkurung. Gangguan aliran udara daripada penggunaan alat pengukuran melemahkan ketepatan keputusan eksperimen. Oleh itu, kajian ini dijalankan melalui pendekatan simulasi komputer. Dalam kajian ini, pola aliran di dalam ruang terkurung dengan kombinasi pembolehubah-pembolehubah tertentu dikaji bagi mendapatkan pola aliran udara yang terbaik. Sehubungan dengan itu, kajian ini diharapkan dapat menemukan kombinasi terbaik (pola aliran udara) supaya penggunaan tenaga dapat dikurangkan seterusnya menyokong usaha kerajaan untuk mempraktikkan teknologi hijau.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Kajian yang dijalankan perlu memenuhi objektif projek ini. Antara tujuan utama kajian ini adalah menyiasat pola kitaran aliran udara dalam ruang terkurung dengan sudut lubang dinding (θ) kosong darjah (0°) dengan pendekatan simulasi. Selain itu, tujuan pelaksanaan kajian ini juga adalah untuk mensimulasikan model dengan variasi nisbah prisma pemesong (R) dan jarak sela dinding (j). Hal ini membolehkan kajian terhadap beberapa jenis kes yang berbeza-beza pembolehubahnya dibuat seterusnya menemukan kombinasi pembolehubah terbaik bagi model ruang terkurung yang digunakan dalam kajian ini.

1.4 SKOP KAJIAN

Kajian ini menggunakan perisian dinamik bendalir iaitu perisian ANSYS Fluent untuk mensimulasikan pola kitaran aliran udara dalam ruang terkurung dengan sudut lubang dinding (θ) kosong darjah (0°). Model ruang terkurung tersebut telah dihasilkan menggunakan perisian lukisan berbantu komputer (CAD) iaitu SolidWorks. Pembolehubah yang terlibat adalah nisbah prisma pemesong (R) dengan nilai 0.5, 1.0, dan 2.0. Variasi jarak sela dinding (j) dengan nilai 10 mm, 20 mm, dan 30 mm juga ditetapkan sebagai pembolehubah. Oleh itu, kajian ini dibuat untuk mencari kombinasi pembolehubah terbaik dalam penambahbaikan kitaran udara di dalam ruang terkurung. Kes-kes dengan pembolehubah yang berbeza-beza diringkaskan dalam Jadual 1.1.

Jadual 1.1: Kes-kes dengan pembolehubah yang berbeza-beza.

Nisbah prisma pemesong, R	0.5	1.0	2.0
	Jarak sela dinding, j (mm)		
10	Kes 1	Kes 2	Kes 3
20	Kes 4	Kes 5	Kes 6
30	Kes 7	Kes 8	Kes 9

BAB 2

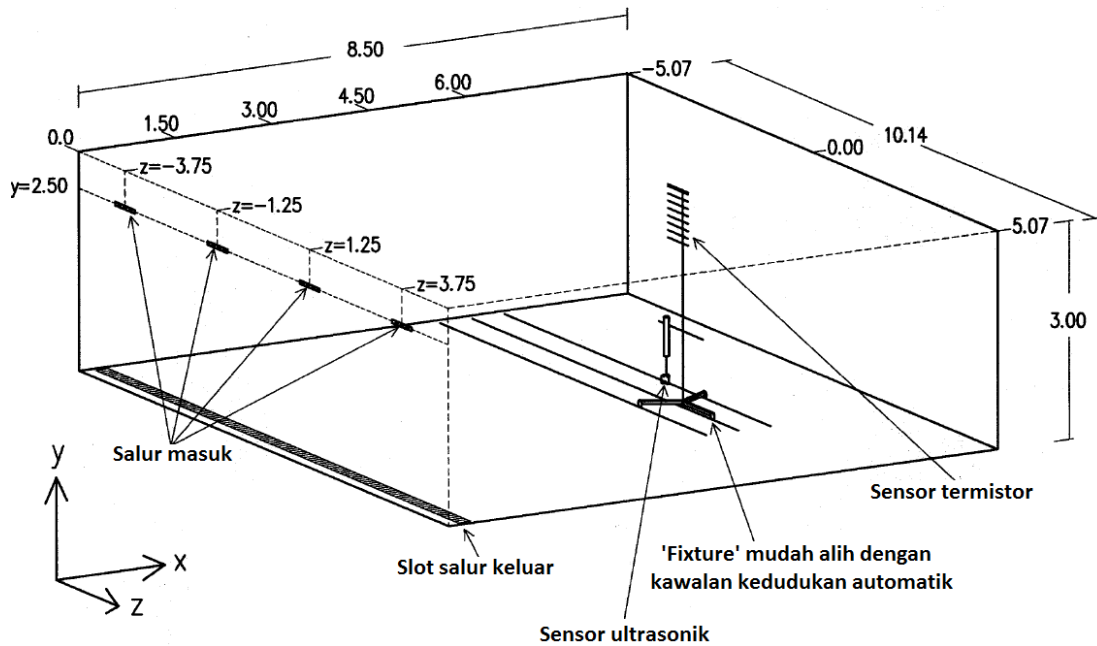
KAJIAN ILMIAH

2.1 PENDAHULUAN

Bab ini menghuraikan tentang pola aliran kitaran udara, ruang terkurung, dinamik bendalir berkomputer (CFD), aliran lamina, aliran peralihan, aliran gelora, dan perolakan semulajadi secara lebih lanjut.

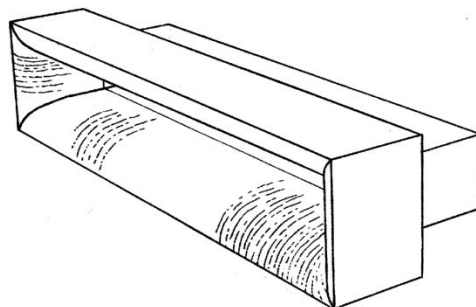
2.2 POLA ALIRAN KITARAN UDARA

Bjerg et al., (2002) telah membuat suatu kajian bagi membandingkan keputusan pengukuran (eksperimen) dengan keputusan dari simulasi CFD. Dalam kajian tersebut, didapati bahawa CFD mempunyai potensi yang besar dalam meramalkan kawalan aliran udara, pengagihan suhu dan pencemar. Walaupun begitu, kejayaan penggunaan teknik ini (simulasi CFD) memerlukan pengetahuan tentang kaedah yang sesuai untuk menangani keadaan sempadan ('boundary condition') dan pengagihan grid di ruang udara. Eksperimen telah dijalankan dalam bilik ujian (8.5 m panjang, 3 m tinggi dan 10.14 m lebar) yang dilengkapi dengan sistem pengudaraan terdaya ('forced ventilation system') dan Rajah 2.1 menunjukkan geometri bilik ujian, sistem koordinat, dan lokasi peralatan pengukuran halaju udara.



Rajah 2.1: Geometri bilik ujian, sistem koordinat, dan lokasi peralatan pengukuran halaju udara (dimensi dalam unit meter). (Bjerg et al., 2002)

Di sepanjang dinding adalah empat salur masuk yang teragih secara simetri. Jarak pusat ke pusat antara salur masuk ialah 2.5 m. Untuk mendapatkan keseragaman dan memudahkan keadaan sempadan ('boundary conditions') dimodelkan, bingkai segi empat tepat dengan profil elips pada bahagian penguncupan telah digunakan sebagai salur masuk. Muncung jejari-panjang ('long-radius nozzle') bagi salur masuk tersebut mengikut piawai ISO iaitu ISO 5167, (1991) dan Rajah 2.2 menunjukkan lakaran profil bagi salur masuk tersebut. Panjang bukaan adalah 0.525 m lebar, 0.05 m tinggi dengan sudut 20° ke atas dan berpusat pada jarak 0.49 m di bawah siling. Kadar aliran udara yang digunakan ialah $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ pada perbezaan tekanan 10 Pa.

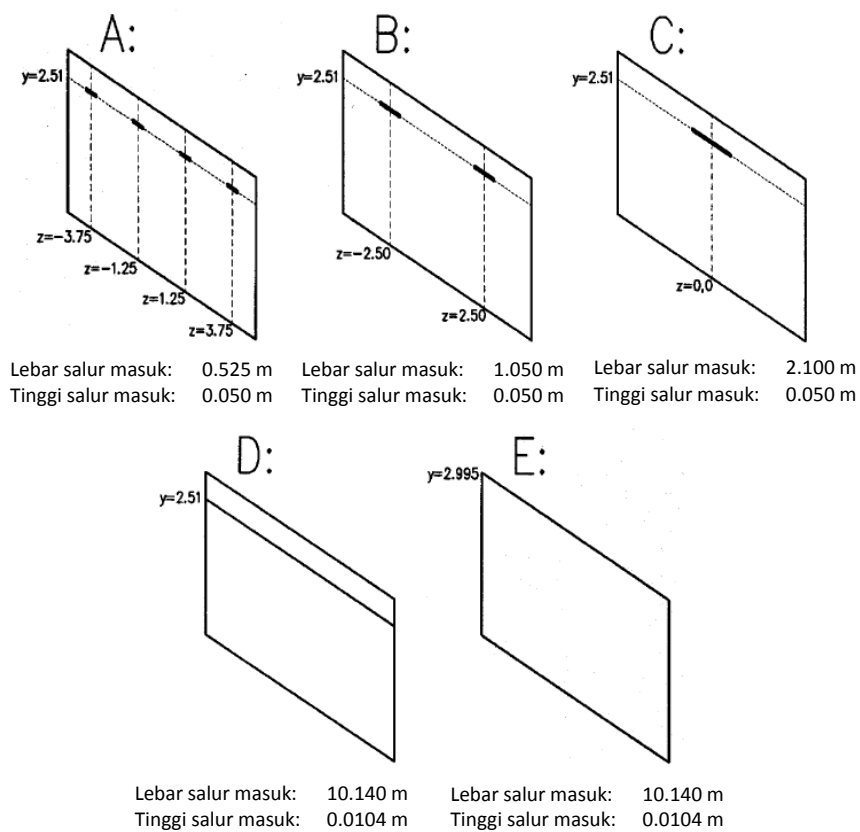


Rajah 2.2: Lakaran salur masuk mengikut piawai ISO 5167, (1991). (Bjerg et al., 2002)

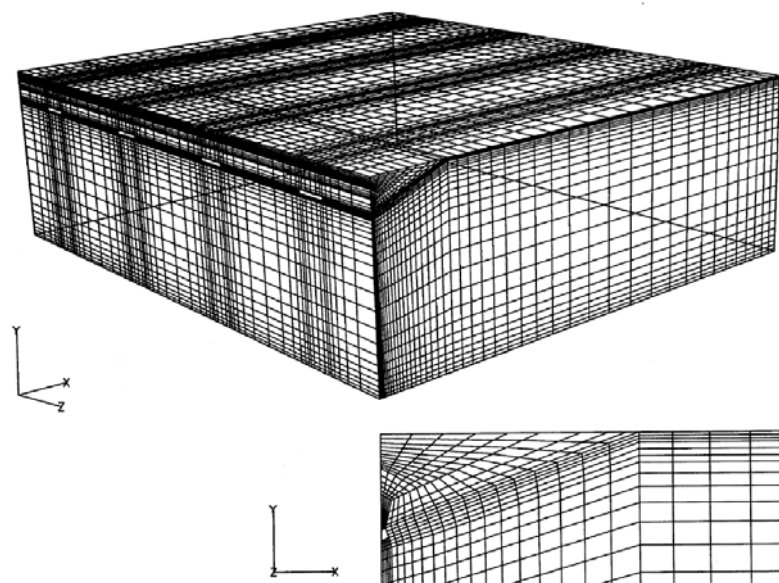
Persediaan bagi CFD dalam kajian ini bermula dengan aliran udara yang telah diramalkan oleh kod komersial Fluent 5 (Fluent Inc) dan model gelora $k-\varepsilon$ (Launder dan Spalding, 1974). Pemalar dalam model gelora $k-\varepsilon$ telah ditetapkan berpandukan saranan Launder dan Spalding (1974). Keadaan sempadan yang digunakan ialah halaju masuk, tekanan keluar (pada salur keluar) dan dinding-fungsi ('wall functions') pada semua permukaan. Halaju masuk telah dianggap untuk teragih secara saksama di seluruh kawasan salur masuk dan ditentukan dari ukuran kadar aliran udara menggunakan Persamaan (2.1) dimana u adalah halaju (m/s), Q adalah kadar aliran isipadu (m^3/s), dan A adalah luas keratan rentas salur masuk (m^2).

$$u = \frac{Q}{A} \quad \text{Pers. (2.1)}$$

Lima jenis model salur masuk telah disiasat. Model geometri daripada empat salur masuk, berorientasi dan terletak seperti dalam Rajah 2.3, dikenali sebagai model A. Model A ini telah digunakan sebagai kes rujukan untuk dibuat perbandingan dengan model B hingga model E. Dalam model B jumlah salur masuk telah dikurangkan kepada dua dengan bukaan luas dua kali ganda. Dalam model C hanya satu salur masuk digunakan dengan bukaan luas empat kali ganda. Dalam model D kawasan berlubang telah disebarkan di seluruh lebar bilik. Satu lubang terletak betul-betul di bawah siling telah digunakan dalam model E. Untuk kesemua model, grid heksagon telah digunakan. Grid telah dirorientasikan mengikut arah masuk terutamanya yang berhampiran dengan salur masuk. Tetapan ini diguna pakai dalam model A hingga model D. Taburan sel pada permukaan dan pada keratan rentas dalam model A dirujuk kepada Rajah 2.4. Secara amnya, bilangan sel-sel menurun daripada model A ke model E. Terdapat 85,016 sel dalam model A, 68,315 sel dalam model B, 67,280 sel dalam model C, 49,194 sel dalam model D manakala terdapat 43,146 sel dalam model E. Diagihkan secara sama rata kepada jumlah udara keseluruhan adalah perubahan dalam resolusi grid. Secara umumnya, simulasi telah dijalankan pada keadaan mantap ('steady state conditions') dan simulasi transien ('transient simulation') telah dibuat pada model A dengan 85,016 sel bagi mengenal pasti kemungkinan pergantungan masa dalam keputusan simulasi tersebut.



Rajah 2.3: Model A hingga model E dengan ciri-ciri salur masuk yang tersendiri. (Bjerg et al., 2002)



Rajah 2.4: Grid pada permukaan dan pada keratan rentas dalam model A melalui salur masuk (85,016 sel). (Bjerg et al., 2002)

Kajian ini menunjukkan bahawa dua pola aliran udara tiga dimensi (3-D) yang berbeza boleh terhasil dalam bilik ujian dengan empat salur masuk, dan corak aliran bagi kedua-dua model tersebut boleh dijana dalam simulasi CFD. Pada permulaan aliran, corak aliran bagi setiap model adalah stabil. Di bilik ujian, aliran udara telah berubah apabila peralatan pengukuran yang digunakan telah digerakkan, manakala keputusan CFD tidak menunjukkan kebergantungan masa bagi simulasi transien ('transient simulation'). Kesemua keputusan simulasi adalah simetri pada satah simetri bilik tersebut. Walaupun begitu, terdapat beberapa ketidaksimetrian berlaku dalam aliran udara yang diukur, dan hal ini mungkin disebabkan oleh gangguan dari peralatan pengukuran atau ketidakpastian ('uncertainties') dalam keadaan sempadan simetri. Di dalam semua kajian yang dilakukan, terdapat potensi gangguan daripada peralatan pengukuran apabila suatu bilangan sensor telah digerakkan samada secara manual mahupun automatik di sekitar isipadu udara. Untuk merekod kemungkinan perubahan dalam aliran udara semasa ukuran, penambahan satu atau beberapa sensor tetap adalah disyorkan. Ketidaksimetrian yang telah diukur dalam eksperimen tidak dapat dihasilkan semula dalam simulasi CFD. Namun begitu, terdapat persamaan yang agak baik antara aliran udara yang diukur (eksperimen) dengan aliran udara yang disimulasikan dalam bilik tersebut. Perkara ini berlaku meskipun simulasi tersebut telah dijalankan dengan keadaan salur masuk yang telah dipermudahkan di mana keempat-empat salur masuk tersebut telah ditukarkan kepada lubang (slot) pada keseluruhan lebar bilik. Keputusan kajian ini menunjukkan bahawa andaian dua dimensi (2-D) yang dibuat pada keadaan salur masuk berkemungkinan menjadi cara yang berguna bagi memudahkan keadaan sempadan masuk dan pembinaan grid dalam ramalan aliran udara di zon yang diduduki pada bilik ternakan yang mempunyai banyak salur masuk. Walau bagaimanapun, masih terdapat banyak tugas yang perlu dilakukan bagi menilai keputusan ini dalam susunan kes-kes lain dan ini termasuklah perubahan orientasi dan lokasi salur masuk, deruan udara yang tidak terikat, dan dalam keadaan bukan isothermal.

Tapsoba et al., (2007) telah mendapatkan data bagi halaju purata dari eksperimen pergolakan yang boleh dipercayai. Data tersebut diperolehi dengan menggunakan sistem Velocimetry Doppler Laser (LDV) di dalam peti berlubang yang disusun dalam kurungan mempunyai pengudaraan. Analisis data ini dari segi pola aliran