

MEMBINA PERISIAN UNTUK ALIRAN YANG MELALUI JASAD

Rosli Abu Bakar dan Wong Chee Yeen

Universiti Teknologi Malaysia
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Jabatan Aeronautik & Automotif
81300 UTM Skudai, Johor, Malaysia
Tel: 60-07-5504752/5505247, Fax: 60-07-5566159
E-mail : rosliab@fkm.utm.my

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan membina perisian yang mampu memberikan gambaran aliran yang melalui jasad. Penyelesaian persamaan Navier Stokes dua dimensi digunakan bagi kaedah berangka pembezaan terhingga dan algoritma SIMPLE (Semi Implicit Method Pressure Link Equation). Kajian dilakukan menentukan bentuk aliran yang melintasi jasad yang berbentuk segi empat sahaja. Keputusan kajian ini memperolehi taburan nilai halaju menegak (v), halaju melintang (u) dan tekanan yang sepadan (p). Pada keadaan yang telah ditentukan, keputusan diplot untuk menunjukkan kontur tekanan dan panduan halaju. Kajian ini dijalankan dalam beberapa keadaan seperti perubahan halaju aliran masuk, bilangan jasad yang dilalukan oleh aliran dan perubahan saiz saluran.

1.0 PENGENALAN

Persamaan Navier Stokes adalah persamaan yang dirumuskan daripada keadaan fizikal aliran bendalir berasaskan Hukum Kedua Newton. Persamaan Navier Stokes memainkan peranan yang sangat meluas dalam kehidupan seharian terutamanya dalam bidang kejuruteraan. Kajian menunjukkan penyelidikan pergerakan bendalir telah mula dibuat sejak awal abad ke-19. Pada ketika itu, persamaan yang digunakan terdiri daripada persamaan tak likat Euler. Rumusan persamaan tersebut telah dikembangkan secara berterusan di samping peningkatan penyelidikan secara ujikaji.

Di awal 1800an, Navier (1823) dan Stokes (1845) telah menambahkan unsur kelikatan ke atas persamaan tak likat Euler dan menjadikannya kepada persamaan likat. Di dalam persamaan likat ini, terdapat kelikatan yang sebelum itu diabaikan. Akhirnya persamaan ini lebih dikenali sebagai persamaan Navier Stokes.

Keadaan yang tak linear dalam persamaan Navier Stokes dan rumusan matematik yang wujud menyebabkan persamaan analisis menjadi lebih sukar. Bagi menyelesaikan masalah ini, penganalisan secara berangka telah dikembangkan.

Perkembangan dan penggunaan komputer dalam penyelesaian berangka persamaan-persamaan Navier Stokes telah dibuat sejak lebih 5 dekad yang lalu. Namun begitu, penulisan penting dalam simulasi berangka untuk aliran hanya wujud dalam dekad kebelakangan ini. Di antara perkara-perkara yang penting ialah keperluan asas kefahaman perhubungan di antara masalah fizikal dengan aturan kaedah berangka atau algoritma yang digunakan untuk penyelesaian.

Dengan kemajuan peralatan elektronik, beberapa rumusan pembezaan terhingga dan analisa unsur untuk persamaan-persamaan Navier Stokes telah diperkenalkan. Semua rumusan tersebut dapat disenaraikan kepada 2 kategori yang utama :

1. Rumusan pembolehubah asal (u , v dan p)

2. Vektor potential dan vortesiti.

Suhu adalah pembolehubah tambahan dalam kedua-dua bentuk rumusan itu. Penyelesaian yang dibuat dalam kajian ini adalah dalam bentuk rumusan pembolehubah asal. Akibat penggunaan pembolehubah asal, kesulitan akan timbul ketika menentukan keadaan sempadan bagi tekanan dan halaju untuk memenuhi persamaan keterusan. Oleh demikian, kajian ini menggunakan algoritma SIMPLE sebagai kaedah penyelesaian.

2.0 TEORI DAN PERSAMAAN

2.1 Persamaan Keterusan

Persamaan keterusan diasaskan daripada persamaan keabadian jisim bendalir yang menunjukkan keseimbangan jisim bendalir yang masuk dan meninggalkan satu isipadu elemen dalam medan aliran. Untuk memudahkan analisa, kita menganggapkan aliran mantap dan dua dimensi ($dz=1$) dengan komponen halaju $u \equiv u(x,y)$ dan $v \equiv v(x,y)$ dalam arah x dan y masing-masing. Persamaan pengabadian jisim boleh dinyatakan sebagai

$$\left[\begin{array}{l} \text{Kadar bersih aliran} \\ \text{jisim yang masuk ke} \\ \text{dalam isipadu elemen} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Kadar bersih aliran} \\ \text{jisim yang keluar ke} \\ \text{dalam isipadu elemen} \end{array} \right] \quad (1)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Kadar bersih aliran} \\ \text{jisim yang masuk ke} \\ \text{dalam isipadu elemen} \end{array} \right] = udy(1) + vdx(1) \quad (2)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Kadar bersih aliran} \\ \text{jisim yang keluar ke} \\ \text{dalam isipadu elemen} \end{array} \right] = \left\{ u + \frac{\partial u}{\partial x}(dx) \right\} dy(1) + \left\{ v + \frac{\partial v}{\partial y}(dy) \right\} dx(1) \quad (3)$$

Menyamakan persamaan (2) dan persamaan (3), maka

$$udy + vdx = \left\{ u + \frac{\partial u}{\partial x}(dx) \right\} dy + \left\{ v + \frac{\partial v}{\partial y}(dy) \right\} dx$$

$$udy + vdx = udy + \frac{\partial u}{\partial x}(dxdy) + vdx + \frac{\partial v}{\partial y}(dydx)$$

Menyusunkan semua sebutan di sebelah kanan, maka

$$\frac{\partial u}{\partial x}(dxdy) + \frac{\partial v}{\partial y}(dxdy) = 0$$

Membahagikan persamaan dengan $(dxdy)$, maka

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{4}$$

Persamaan (4) dikenali sebagai **Persamaan Keterusan**.

2.2 Persamaan Momentum

Persamaan momentum diterbitkan dari Hukum Kedua Newton yang menyatakan pecutan masa jisim dalam arah rujukan bersamaan dengan percampuran daya-daya dalam arah rujukan tersebut. Daya yang bertindak ke atas elemen bendalir dalam medan aliran adalah terdiri daripada daya jasad dan daya permukaan. Daya jasad mungkin dihasilkan oleh beberapa kesan seperti graviti, elektrik dan medan magnet yang bertindak ke atas bendalir jasad. Manakala daya permukaan dihasilkan oleh tindakan tegasan ke atas permukaan elemen isipadu. Untuk aliran dua dimensi, mantap dan tak boleh mampat, persamaan momentum bagi jisim, dm adalah

$$dF = dm \left. \frac{dV}{dt} \right)_{\text{sistem}}$$

= daya yang bertindak pada jisim, dm dengan pecutan dV/dt

Dari persamaan

$$\left. \frac{dV}{dt} \right)_{\text{sistem}} = \frac{DV}{Dt} = u \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial t}$$

jadi

$$dF = dm \left[u \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} \right]$$

Daya yang bertindak pada arah x dan y ,

$$\begin{aligned} dF_x &= dm \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial t} \right) \\ dF_y &= dm \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) \end{aligned} \tag{5}$$

Suatu unsur bendalir dua dimensi ($dz=1$) yang berukuran dx dan dy , maka daya yang bertindak pada unsur tersebut terdiri daripada daya badan dan daya permukaan (daya dalam arah tangen dan tegak lurus). Sekiranya daya permukaan arah x pada pusat unsur tersebut diambil sebagai σ_{xx} dan τ_{yx} , maka daya pada semua permukaan diperolehi dengan menggunakan siri Taylor berdasarkan **Rajah 1**.

ΣdF_{sx} :

$$\begin{aligned} dF_{sx} &= \left(\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dy(1) - \left(\sigma_{xx} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dy(1) \\ &+ \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dx(1) - \left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dx(1) \end{aligned}$$

ΣdF_{sy} :

$$\begin{aligned} dF_{sy} &= \left(\sigma_{yy} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dx(1) - \left(\sigma_{yy} - \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \frac{dy}{2} \right) dx(1) \\ &+ \left(\tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dy(1) - \left(\tau_{xy} - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dy(1) \end{aligned}$$

Setelah diringkaskan, hasilnya ialah

$$dF_{sx} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right) dx dy$$

$$dF_{sy} = \left(\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \right) dx dy$$

Dengan mempertimbangkan daya jasad, paduan daya dalam arah x dan y akan menjadi berikut :

$$dF_x = dF_{sx} + dF_{bx} = \left(\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right) dx dy$$

$$dF_y = dF_{sy} + dF_{by} = \left(\rho g_y + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \right) dx dy$$

Dengan memasukkan dF_x dan dF_y ke dalam persamaan (5) dan menggantikan dm dengan $\rho dx dy (1)$, maka persamaan momentum dalam bentuk kebezaan adalah seperti berikut :

$$\left(\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right) dx dy = \rho dx dy \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial t} \right)$$

$$\left(\rho g_y + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \right) dx dy = \rho dx dy \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial t} \right)$$

Membahagikan persamaan dengan $(dx dy)$, maka

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \rho \frac{Du}{Dt}$$

$$\rho g_y + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \rho \frac{Dv}{Dt}$$

(6)

Persamaan (6) dikenali sebagai **Persamaan Momentum**.

2.3 Persamaan Navier Stokes

Persamaan Navier Stokes merupakan persamaan momentum dalam bentuk umum dan diperolehi dari persamaan (6) setelah penyataan tegasan dimasukkan. Ia sah bagi aliran tak boleh ataupun yang boleh mampat, likat atau tak likat. Bagi bendalir Newtonan tak boleh mampat dan tak likat tegasan di atas dapat dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ \sigma_{xx} &= -p - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \bar{U} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \\ \sigma_{yy} &= -p - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \bar{U} + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \end{aligned} \quad (7)$$

dengan p ialah tekanan termodinamik setempat dan

$$\nabla \cdot \bar{U} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (8)$$

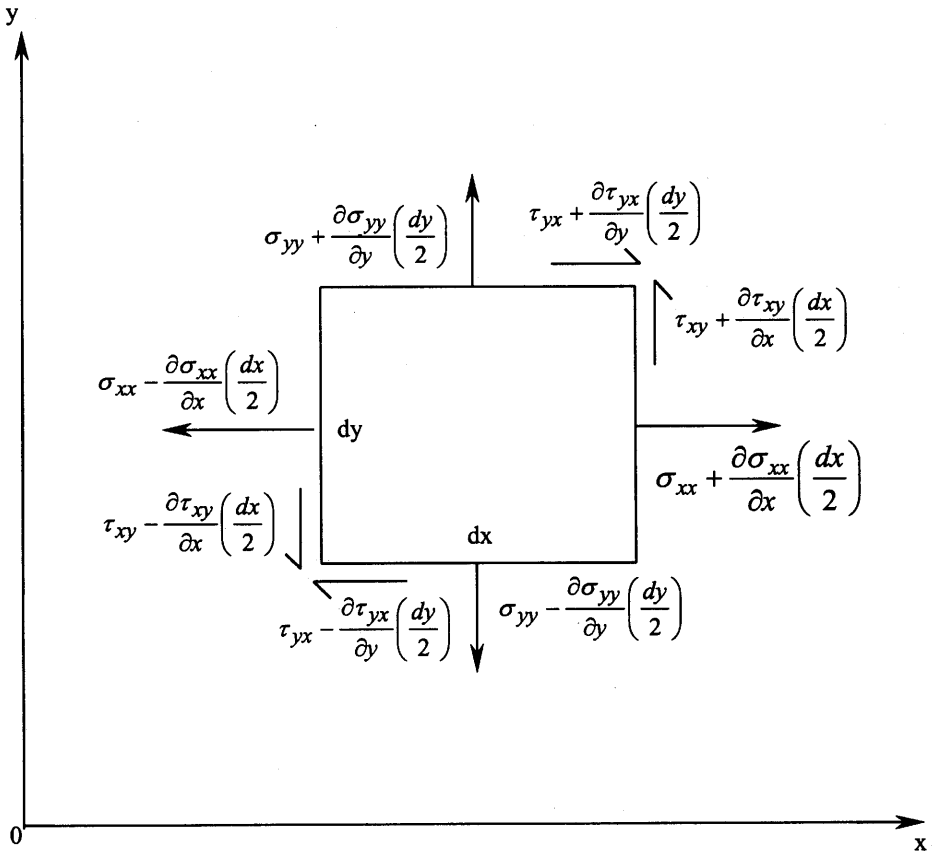
Memasukkan hubungan (7) dan (8) ke dalam persamaan (6), maka

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \bar{U} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \bar{U} \right) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Bagi aliran tak boleh mampat dengan kelikatan malar, persamaan (9) dapat disederhanakan ke bentuk

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Persamaan (10) lebih dikenali sebagai **Persamaan Navier Stokes**.



Rajah 1 Elemen untuk menerbitkan persamaan momentum.

3.0 ALGORITMA SIMPLE

SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) adalah suatu kaedah yang digunakan untuk menyelesaikan pengiraan dalam aliran. Kaedah ini terdiri daripada siri ramalan dan operasi pembetulan yang menghubungkan tekanan dan halaju. Aturan ini menentukan bahawa langkah awal akan diselesaikan terlebih dahulu bagi semua angkali dalam persamaan beza terhingga dan ia adalah tetap sebelum langkah yang selanjutnya, iaitu ramalan nilai medan tekanan. Kemudian persamaan momentum akan diselesaikan. Nilai halaju tekaan

yang diperolehi masih belum memenuhi persamaan keterusan. Dengan itu, ia memerlukan satu lagi persamaan yang dikenali sebagai persamaan pembedan halaju.

Secara amnya, operasi kaedah SIMPLE dapat disusun seperti berikut :

1. Ramalkan medan tekanan, p^* .
2. Selesaikan persamaan momentum dalam arah x dan y untuk mencari u^* dan v^* .
3. Selesaikan persamaan untuk p' .
4. Kirakan tekanan, p daripada persamaan $p = p' + p^*$.
5. Kirakan halaju u dan v dengan menggunakan persamaan pembedan halaju.
6. Anggapkan p yang dikira tadi sebagai p^* yang baru. Ulangi langkah 2 sehingga nilai halaju u dan v yang diperolehi memenuhi persamaan keterusan.

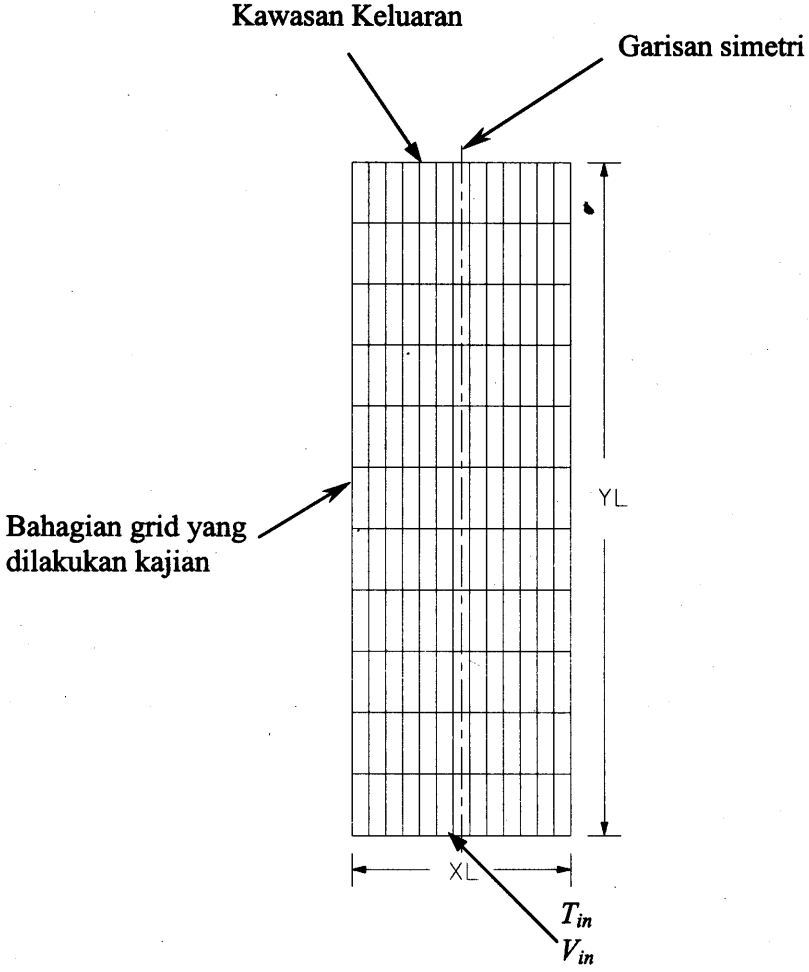
4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Perisian komputer yang dibina telah dimasukkan dengan beberapa set data masukan yang berbeza untuk memperolehi medan aliran halaju dan taburan tekanan pada keadaan yang tertentu. Keadaan yang akan dipertimbangkan dalam kajian adalah seperti yang ditunjukkan dalam **Jadual 1**. Untuk mengukuhkan lagi keputusan, taburan suhu juga merupakan satu keluaran yang akan dikaji. Ini adalah kerana didapati bahawa suhu yang berbeza akan mempengaruhi aliran dalam saluran yang tertutup.

Sebelum penyelesaian tersebut dilakukan, keadaan-keadaan sempadan yang diambil adalah seperti berikut :

1. Isoterma atau sesuhu untuk seluruh dinding kecuali pada kawasan masuk.
2. Nilai halaju pada keadaan sempadan adalah sifar.
3. Nilai halaju pada masukan adalah tetap.

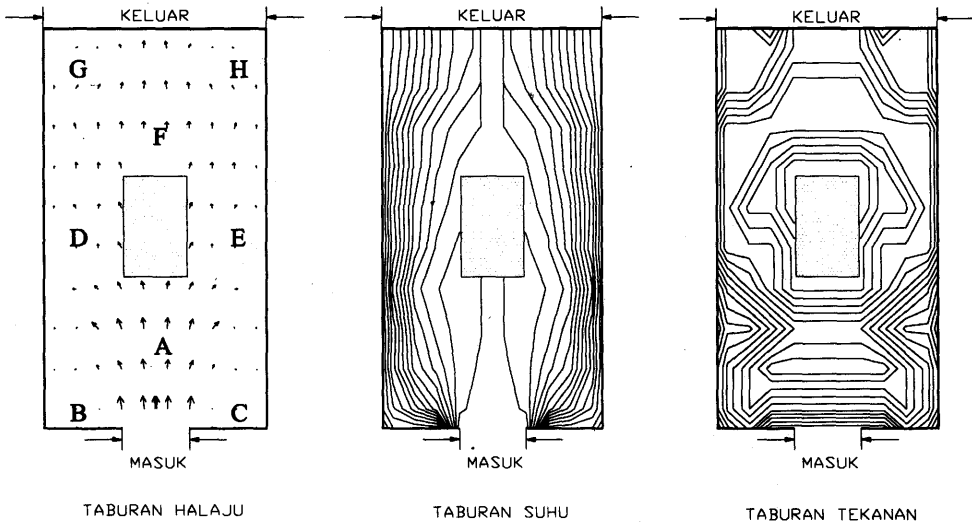
- 4. Pengiraan hanya dilakukan pada satu sebelah saluran sahaja kerana ia adalah simetri.



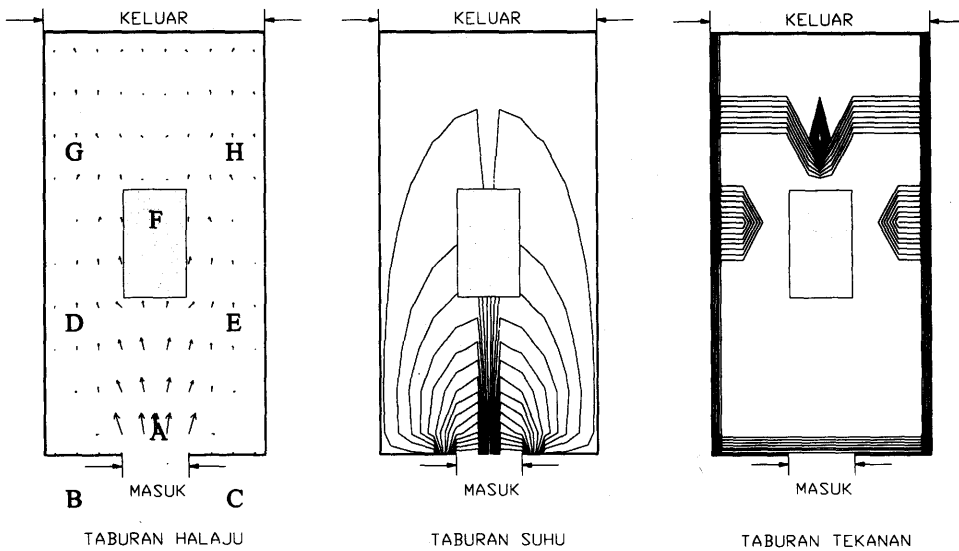
Rajah 2 Elemen saluran yang dikaji.

Jadual 1 Keadaan yang dikaji

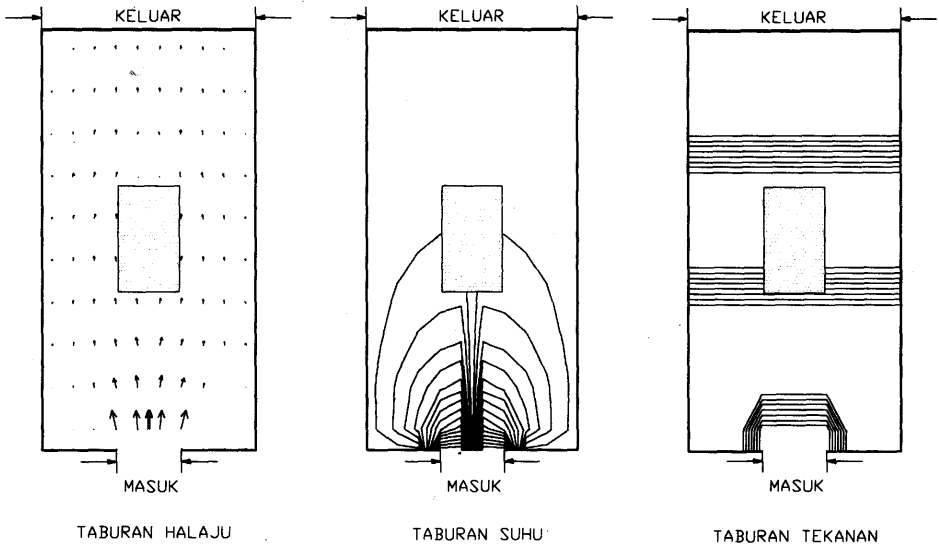
Bilangan Set Data	Lebar, XL	Panjang, YL	Bilangan grid pada x	Bilangan grid pada y	Bilangan jasad	Suhu dinding, T_w	Suhu masuk, T_{in}	Halaju masuk, V_{in}
1	1.0	2.0	14	12	1	300.0	500.0	100.0
2	1.0	2.0	14	12	1	300.0	500.0	10.0
3	1.0	2.0	14	12	1	300.0	500.0	1.0
4	1.0	2.0	14	12	1	300.0	500.0	500.0
5	1.0	4.0	14	12	1	300.0	500.0	100.0
6	1.0	2.0	14	12	3 (<i>tempat berbeza</i>)	300.0	500.0	100.0
7	1.0	2.0	14	12	5 (<i>tempat berbeza</i>)	300.0	500.0	100.0
8	1.0	2.0	14	12	1 (<i>saiz berbeza</i>)	300.0	500.0	100.0
9	1.0	2.0	14	12	1	300.0	3000.0	100.0
10	1.0	2.0	14	12	1	3000.0	500.0	100.0
11	1.0	2.0	14	12	1	300.0	300.0	100.0
12	1.0	2.0	14	12	1	3000.0	3000.0	100.0



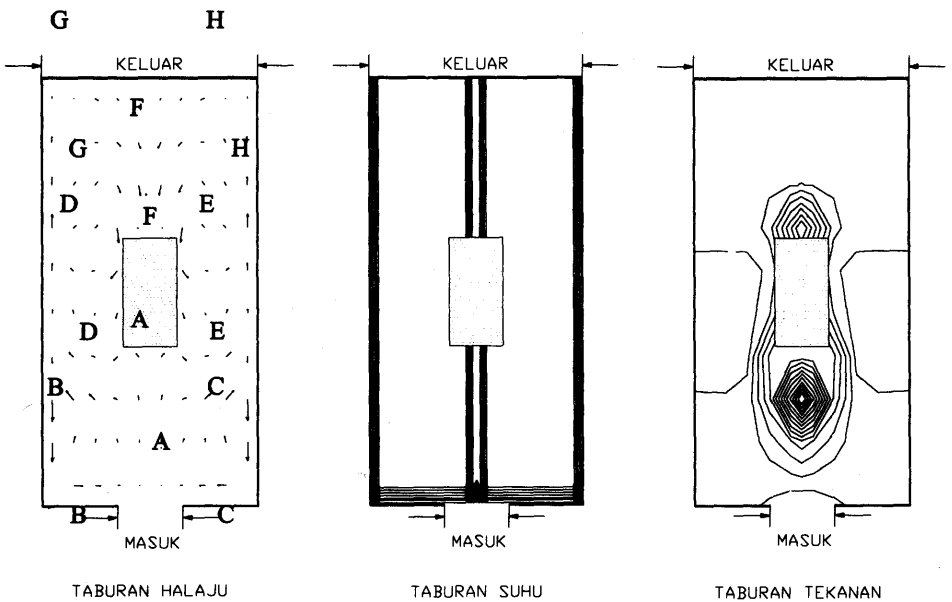
Rajah 3 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 1



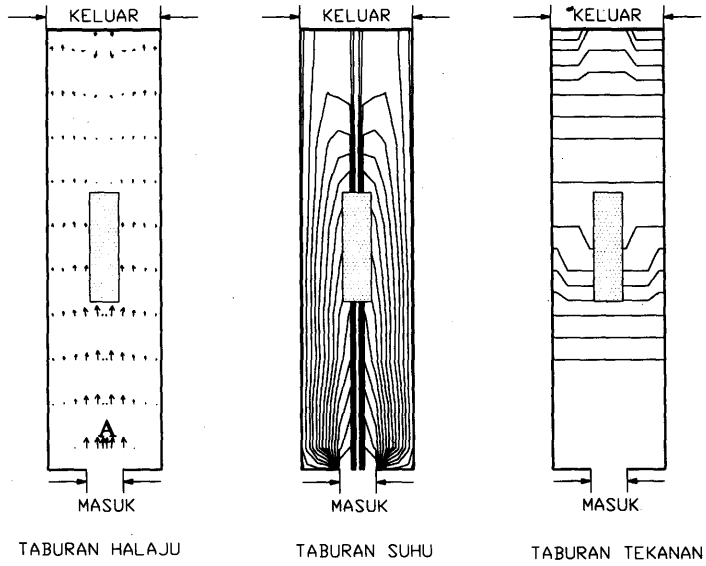
Rajah 4 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 2



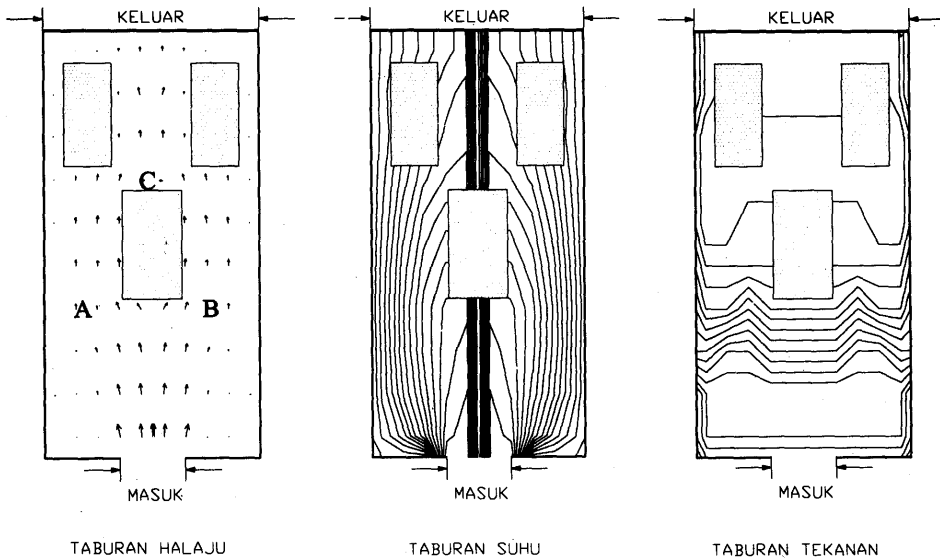
Rajah 5 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 3



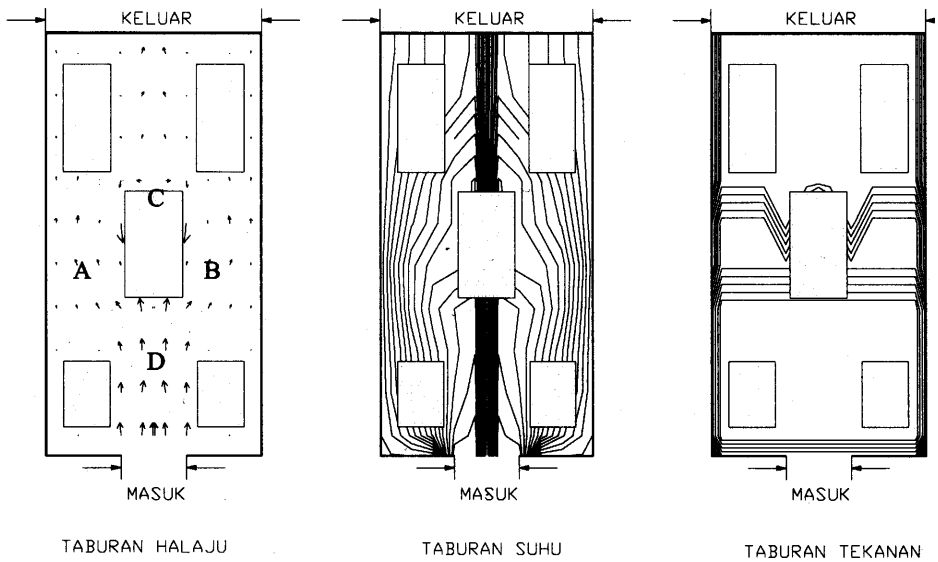
Rajah 6 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 4



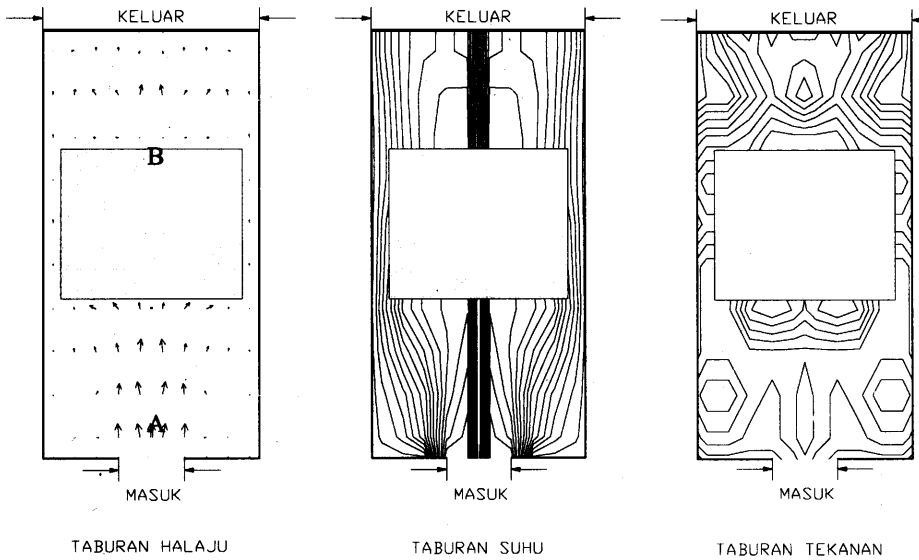
Rajah 7 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 5



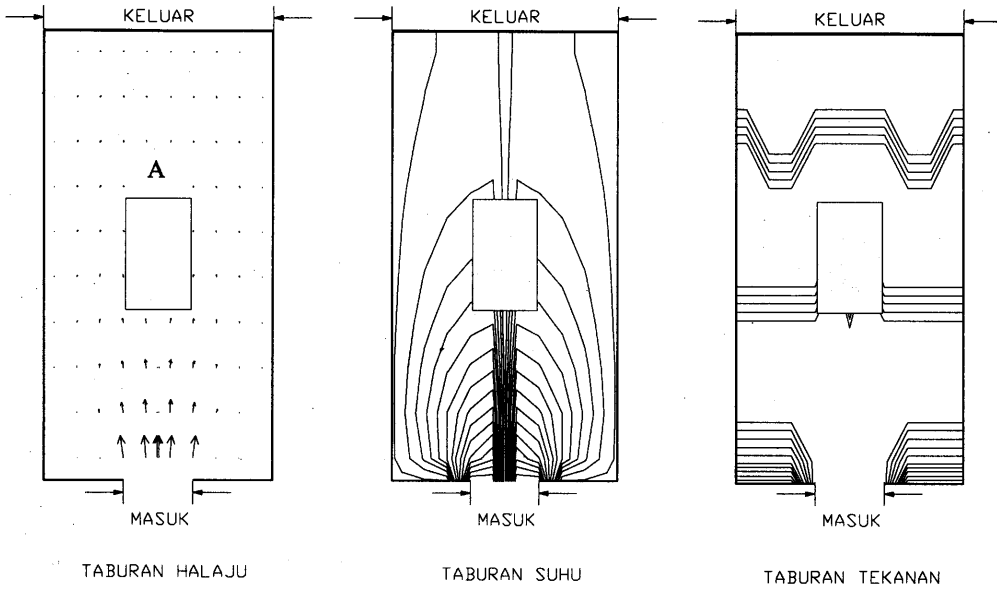
Rajah 8 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 6



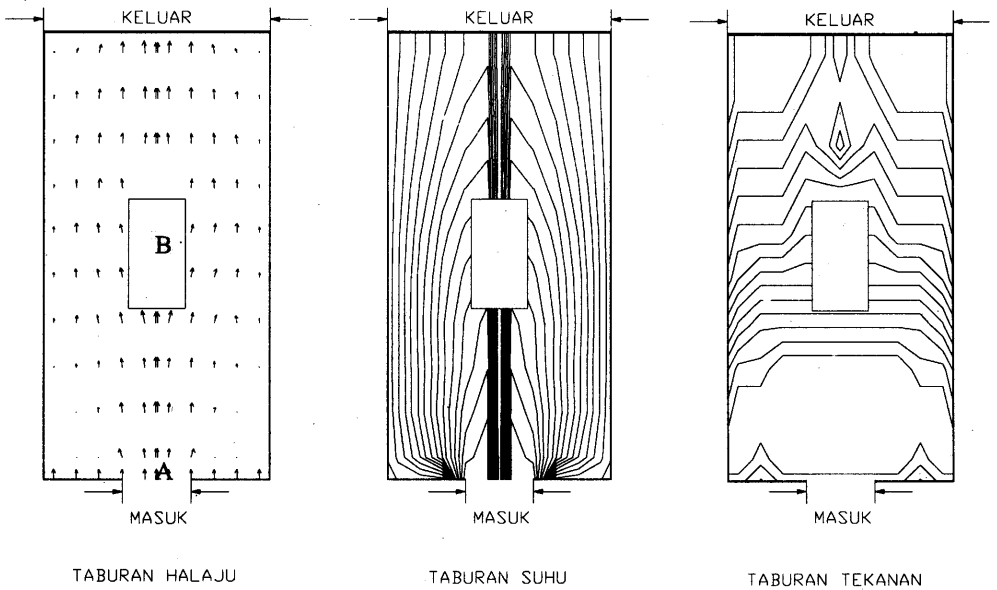
Rajah 9 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 7



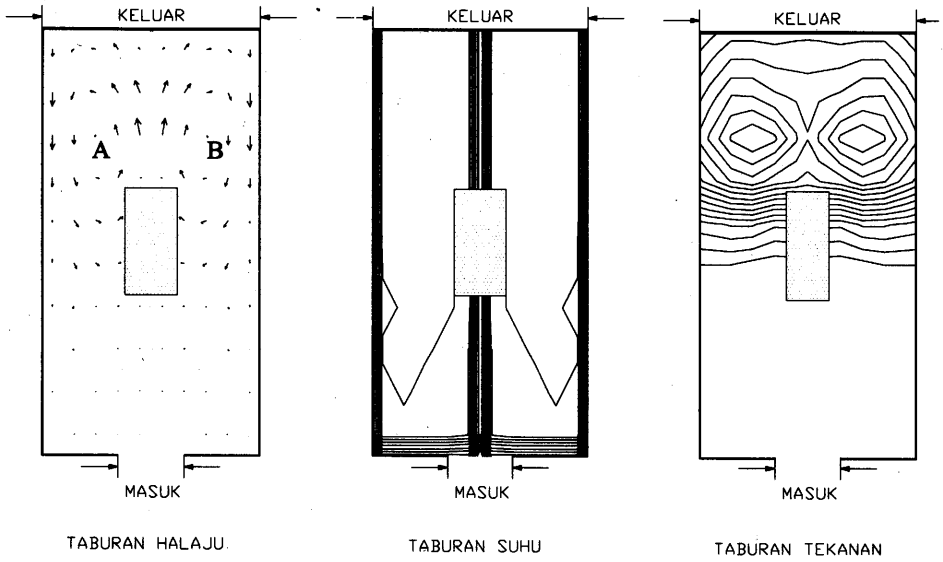
Rajah 10 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 8



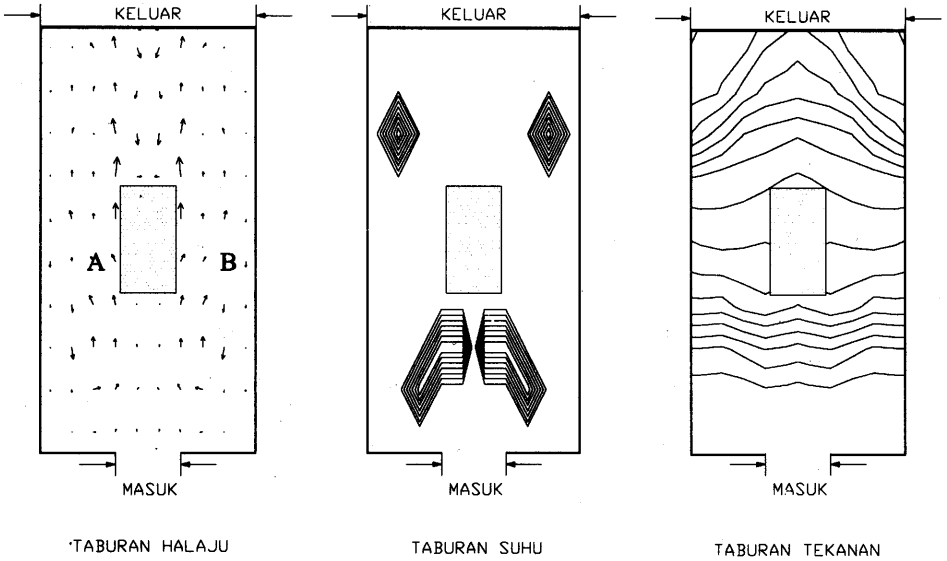
Rajah 11 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 9



Rajah 12 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 10



Rajah 13 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 11



Rajah 14 Taburan halaju, suhu dan tekanan untuk set data 12

Perbincangan Rajah 3, Rajah 4, Rajah 5 dan Rajah 6

Dalam set data 1, 2, 3 dan 4, kajian dijalankan dengan hanya mengubah halaju masukan, V_{in} sahaja (1.0 ms^{-1} , 10.0 ms^{-1} , 100.0 ms^{-1} dan 500.0 ms^{-1})

Berpandukan kepada taburan halaju, didapati bahawa medan aliran halaju adalah hampir sama kecuali pada set data 4 di mana gelora terbentuk di sekeliling jasad. Apabila merujuk kepada data output, diperhatikan bahawa halaju u adalah bernilai sifar pada kawasan dinding saluran, dinding jasad dan paksi simetri saluran. Di samping itu, bagi set data 1, 2 dan 3 magnitud halaju u pada kawasan C, E, F dan G adalah bernilai positif. Manakala bagi halaju v , magnitudnya adalah sentiasa bernilai positif dan semakin berkurangan apabila merentasi jasad. Namun begitu, halaju v pada kawasan A adalah tinggi jika dibandingkan dengan tempat lain. Bagi set data 4, gelora didapati terbentuk pada kawasan B, C, D, E dan F.

Bagi taburan suhu pula, didapati bahawa suhu akan berkurangan apabila merentasi saluran. Bagi set data 1, suhu masih terletak dalam julat 300°C hingga 500°C . Tetapi bagi set data 2 dan 3, suhu hanya berada di sekitar 300°C sahaja. Dalam set data 4 pula, suhu adalah tetap pada nilai 382°C sahaja.

Bagi set data 1, tekanan di setiap tempat adalah bernilai positif dan mempunyai nilai yang tinggi pada sekeliling jasad. Bagi set data 2 pula, tekanan keseluruhan adalah bernilai negatif dan nilai gentingnya berada pada sekeliling jasad juga. Bagi set data 3, tekanan keseluruhannya adalah sifar kecuali pada kawasan D dan E. Bagi set data 4, tanda dan magnitud tekanan berubah dengan mendadak pada kawasan D dan E.

Kesimpulannya, medan aliran halaju adalah hampir sama bagi halaju masukan yang rendah. Tetapi halaju masukan yang tinggi akan membentuk gelora. Kehilangan haba akan berlaku dengan cepat apabila halaju aliran adalah rendah. Tekanan hanya akan bertumpu pada kawasan sekitar jasad sahaja.

Perbincangan Rajah 7

Dalam set data 5, kajian dijalankan dengan mengubah panjang saluran.

Berpandukan kepada taburan halaju, didapati bahawa medan aliran halaju adalah sama dengan tadi. Tetapi dalam kajian ini, magnitud halaju pada keluaran adalah lebih rendah dibandingkan dengan saluran yang bersaiz 2m. Halaju yang tinggi hanya berada di kawasan A sahaja, iaitu masukan.

Bagi taburan suhu pula, di sekitar kawasan A, suhunya bernilai lebih kurang 450°C. Di tempat lain, suhu hanya berada dalam julat 300°C hingga 400°C. Manakala bagi taburan tekanan, magnitudnya adalah negatif bagi kawasan di atas A dan nilai gentingnya bertumpu pada kawasan keluaran. Tekanan adalah sifar bagi kawasan di bawah A. Kesimpulannya, halaju dan tekanan yang tinggi akan berada pada kawasan keluaran.

Perbincangan Rajah 8 dan Rajah 9

Dalam set data 6 dan 7, kajian dijalankan dengan mengubah bilangan jasad yang dilalukan oleh aliran.

Berpandukan kepada taburan halaju, medan aliran halaju tidak berubah bagi set data 6. Namun begitu, bagi set data 7 halaju telah didapati berputar balik pada kawasan A dan B. Ini mungkin disebabkan aliran telah dihalang oleh dua jasad pada kawasan keluaran. Merujuk kepada output, halaju yang tinggi masih bertumpu pada kawasan masukan sahaja.

Bagi taburan suhu pula, magnitudnya berada dalam julat 300°C hingga 500°C bagi kedua-dua set data. Suhu akan semakin berkurangan sepanjang saluran. Bagi taburan tekanan set data 6, nilai gentingnya berada pada kawasan sekeliling jasad, iaitu A, B dan C. Manakala bagi set data 7, tekanan di kawasan atas C adalah bernilai sifar. Tekanan yang tinggi akan bertumpu pada kawasan masukan sahaja, iaitu D.

Kesimpulannya, bilangan jasad akan mempengaruhi aliran dan menyebabkan terbentuknya gelora di sekitar kawasan jasad.

Perbincangan Rajah 10

Dalam set data 8, kajian dijalankan dengan mengubah saiz jasad.

Berpandukan kepada taburan halaju, didapati bahawa medan aliran halaju hanya bertumpu pada kawasan A dan B sahaja. Pada kawasan tepi jasad, halaju u adalah bernilai sifar. Manakala bagi halaju v , nilainya adalah lebih tinggi di kawasan A jika dibandingkan dengan kawasan B.

Bagi taburan suhu pula, suhu yang tinggi akan bertumpu pada sekeliling jasad. Bagi taburan tekanan, tekanan yang bernilai negatif hanya didapati di kawasan B sahaja. Tekanan yang tinggi didapati bertumpu pada kawasan masukan sahaja.

Kesimpulannya, jasad yang bersaiz besar akan menyebabkan tekanan yang tinggi pada kawasan masukan.

Perbincangan Rajah 11, Rajah 12, Rajah 13 dan Rajah 14

Dalam set data 9, 10, 11 dan 12, kajian dijalankan dengan mengubah suhu dinding dan suhu masukan.

Merujuk kepada taburan halaju bagi set data 9 dan 10, medan aliran halaju adalah hampir sama, tetapi magnitudnya adalah lebih tinggi bagi set data 10. Nilai genting bagi set data 9 dan 10 bertumpu pada kawasan masukan sahaja. Manakala taburan halaju bagi set data 11 dan 12, didapati gelora terbentuk pada kawasan sekitar A dan B. Halaju yang tinggi berada pada kawasan gelora.

Jika memerhatikan taburan suhu, perbezaan agak ketara bagi keempat-empat data tersebut. Bagi set data 9, suhu yang tinggi hanya pada kawasan masukan. Ini bermaksud suhu di kebanyakan titik dalam saluran tidak dipengaruhi oleh suhu masukan. Bagi set data 10 pula, suhu dinding yang tinggi telah menyebabkan suhu

dalam saluran terpengaruh. Bagi set data 11 dan 12, suhu adalah sama pada setiap titik dalam saluran. Namun begitu, ini hanya wujud dalam teori sahaja.

Bagi set data 9, tekanan di kawasan A adalah sifar dan nilai gentingnya bertumpu di kawasan masukan. Bagi set data 10 pula, tanda tekanan dibahagikan kepada dua kawasan, iaitu positif di kawasan A dan negatif di kawasan B. Nilai gentingnya juga bertumpu pada masukan sahaja. Tekanan negatif didapati di semua titik bagi set data 11 manakala tekanan positif didapati dalam set data 12.

Kesimpulannya, suhu akan menyebabkan terbentuknya keadaan gelora. Suhu akan menyebabkan halaju dalam saluran bertambah.

4.0 KESIMPULAN

Ketelitian dalam menjalankan aturcara dan memasukkan nilai-nilai input adalah sangat penting untuk mengelakkan timbul masalah. Jika input yang tidak logik, perisian akan terbatal sahaja atau berlakunya lelaran yang mencapah tanpa memperolehi satu jawapan yang betul. Penggunaan grid yang sesuai juga merupakan suatu aspek yang penting dalam menjalankan perisian komputer tersebut.

Dari keputusan yang diperolehi, didapati bahawa halaju, tekanan dan suhu dalam satu saluran yang tertutup adalah saling mempengaruhi antara satu sama lain. Oleh itu, ketiga-tiganya perlu dikaji dengan teliti supaya dapat diaplikasikan dalam bidang kejuruteraan mahupun dalam kehidupan seharian. Misalnya sistem pengudaraan dalam bangunan, sistem penyaman udara, sistem paipan dan sebagainya.

RUJUKAN

1. Che Rahim Che Teh, (1999); "*Kaedah Berangka*", Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.
2. Douglas, J.F., Gasiorek J.A. dan Swafield, (1985); "*Fluids Mechanics*", English Language Book Society/Longman, London.
3. Mohd Noor Ismail dan Mohd Hañafi Kimin, (1990); "*Penyelesaian Berangka Persamaan Navier Stokes*", Tesis Ijazah , Universiti Teknologi Malaysia.
4. Patankar, S.V. (1980); "*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*", McGraw-Hill Book Company, London.
5. Peerless Engineering Service, (1984); "*Fortran Scientific Subroutine Library*", John Wiley & Sons, Inc., New York.
6. Philip, M.G. dan Richard, J.G. (1985); "*Fundamentals Of Fluid Mechanics*" Addison-Wesley Publishing Company, England.
7. Smith, G.D. (1987); "*Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods*" Clarendon Press, Oxford.