

**ANALISA PENGARUH KECEPATAN UDARA MASUK  
TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA  
POROUS MEDIA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ANGGA VERIYAWAN RAHANA  
NIM. 0910620033 - 62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### ANALISA PENGARUH KECEPATAN UDARA MASUK TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *POROUS MEDIA*

#### SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ANGGA VERIYAWAN RAHANA**  
**NIM. 0910620033 - 62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.  
NIP. 19701017 199802 1 001

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.  
NIP. 19720817 200008 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PENGARUH KECEPATAN UDARA MASUK  
TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA  
POROUS MEDIA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ANGGA VERIYAWAN RAHANA  
NIM. 0910620033 - 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 29 Juli 2013

**MAJELIS PENGUJI**

**Skripsi I**

**Skripsi II**

**Khairul Anam, ST., MSc.  
NIK. 861127 06 3 1 0032**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001**

**Skripsi III**

**Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc  
NIP. 19490911 198403 1 001**

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisa Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Distribusi Temperatur Pada *Porous Media***” ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito P, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST, MT., Ph.D selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin.
4. Bapak Dr. Eng. Eko Siswanto, ST, MT. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi masukan, bimbingan, pengetahuan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST, MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST.,MT. selaku dosen wali.
7. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin.
8. Kedua orang tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda Riski Rahana dan Ibunda Enik Sunarsih yang tak hentinya mendo’akan dan memberi semangat saya, sungkem selalu buat bapak ibu, tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan-Nya.
9. Keluarga Besar dari ibu dan ayahku, terima kasih atas kasih sayang, do’a serta dukungan material dan spiritual yang diberikan selama ini.
10. Kakak Reni Aditiya Rahana terima kasih atas semangatnya dan doanya.
11. Keluarga Besar Laboratorium Fenomena dasar Mesin, Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium yang telah banyak memberikan nasehat dan bantuannya selama saya menjadi asisten. Lek Joko Sumantri selaku laboran yang senantiasa mengingatkan. Tak lupa ucapan banyak terima kasih

kepada saudara – saudaraku asisten : Tita, Risma, Bayu, Kippo terima kasih atas semua kebersamaan dan dukungannya selama penyelesaian skripsi ini.

12. Keluarga Besar Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium dan rekan – rekan asisten terima kasih atas fasilitas dan dukungannya.
13. Saudaraku “BLACK MAMBA” M’09 baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat, semoga selalu diberi kemudahan dan kelancaran. *Solidarity Forever!!!*
14. An Nisaa’ Maharani yang selalu memberi motifasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
15. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu yang telah membantu penulis demi kelancaran penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut. Amiin

Malang, Juli 2013

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Media Berpori .....	4
2.3 Porositas .....	5
2.4 Perpindahan Panas .....	5
2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi .....	5
2.4.2 Perpindahan panas Konveksi .....	6
2.5 Konduktivitas Termal Efektif .....	8
2.6 Aliran Laminer dan Turbulen .....	9
2.6.1 Aliran Laminer .....	9
2.6.2 Aliran Turbulen .....	9
2.7 Lapisan Batas .....	10
2.7.1 Lapisan Batas Kecepatan .....	10
2.7.2 Lapisan Batas Termal .....	11
2.8 Bilangan <i>Reynold</i> .....	12
2.9 Vortex.....	14
2.10 Visikositas .....	15

2.10.1	Visikositas Kinematik .....	16
2.10.2	Visikositas Dinamik .....	17
2.11	<i>Software ANSYS Workbench</i> .....	19
2.11.1	Workbench Envoirnmrnt .....	19
2.12	Hipotesa .....	20

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Metode Penelitian .....	21
3.2	Rancangan Penelitian .....	21
3.3	Variabel Penelitian .....	22
3.4	Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.5	Prosedur Penelitian .....	23
3.6	Langkah – Langkah Simulasi pada <i>Software</i> .....	24
3.6.1	<i>Pre – processor</i> .....	25
3.6.2	<i>Solution</i> .....	25
3.6.3	<i>Postprocessing</i> .....	25
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	25

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Pendahuluan .....	27
4.2	Pengolahan Data .....	27
4.2.1	Data Penelitian .....	27
4.3	Pembahasan .....	27
4.3.1	Pembahasan Distribusi temperatur <i>porous media chamber</i> dari samping .....	28
4.3.2	Pembahasan Distribusi temperatur <i>porous media chamber</i> secara melintang.....	37
4.3.3	Distribusi Perpindahan Panas pada porous media .....	43

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	46
5.2	Saran.....	46

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perpindahan panas konduksi melalui dinding	6
Gambar 2.2	Perpindahan panas konveksi dari suatu plat	7
Gambar 2.3	Perpindahan panas konveksi paksa dan bebas dari dinding pipa	8
Gambar 2.4	Kecepatan laminar di atas pelat rata	9
Gambar 2.5	Pengukuran kecepatan pada titik A	10
Gambar 2.6	Lapisan Batas Kecepatan	10
Gambar 2.7	Lapisan Batas Termal	12
Gambar 2.8	Geometri <i>vortex</i> menurut besar bilangan Reynolds.	15
Gambar 2.9	<i>Vortex</i> 2 dimensi	15
Gambar 2.10	Visikositat Kinematik berbagai fluida pada 1 atm	16
Gambar 2.11	Visikositat Kinematik berbagai fluida pada 1 atm	18
Gambar 2.12	Workbench environment	20
Gambar 3.1	Skema Simulasi	21
Gambar 3.2	<i>Grid generation (meshing)</i> domain fisik pada <i>porous media chamber</i>	24
Gambar 3.3	<i>Grid generation (meshing)</i> domain fisik pada (a) udara panas dan (b) <i>porous media</i>	25
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	26
Gambar 4.1	Penampang melintang <i>porous media chamber</i>	28
Gambar 4.2	Kontur distribusi temperatur pada kecepatan 0,5 m/s	28
Gambar 4.3	Garis alur kecepatan 0,5 m/s	28
Gambar 4.4	Kontur distribusi temperatur pada kecepatan 1 m/s	30
Gambar 4.5	Garis alur kecepatan 1 m/s	30
Gambar 4.6	Kontur distribusi temperatur pada kecepatan 1,5 m/s	31
Gambar 4.7	Garis alur kecepatan 1,5 m/s	31
Gambar 4.8	Kontur distribusi temperatur pada kecepatan 2 m/s	33
Gambar 4.9	Garis alur kecepatan 2 m/s	33
Gambar 4.10	Kontur distribusi temperatur pada kecepatan 2,5 m/s	35
Gambar 4.11	Garis alur kecepatan 2,5 m/s	35
Gambar 4.12	Penampang melintang <i>porous media chamber</i>	37
Gambar 4.13	Kontur pada jarak 40 mm dari inlet dengan berbagai variasi kecepatan.	38

Gambar 4.14	Grafik hubungan jarak dengan distribusi temperatur pada zona 1	40
Gambar 4.15	Grafik hubungan jarak dengan distribusi temperatur pada zona 2	41
Gambar 4.16	Grafik hubungan jarak dengan distribusi temperatur pada zona 3	42
Gambar 4.17	Grafik hubungan jarak dengan distribusi perpindahan panas pada porous media	44



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kerapatan dan Kekentalan Udara Pada 1atm	17
Tabel 2.2	Kerapatan dan Kekentalan Udara Pada 1atm	18
Tabel 4.1	Data Hasil Simulasi Zona 1	39
Tabel 4.2	Data Hasil Simulasi Zona 2	41
Tabel 4.3	Data Hasil Simulasi Zona 3	42
Tabel 4.3	Data Hasil Simulasi Distribusi Perpindahan Panas Pada <i>Porous Media</i>	44

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR LAMPIRAN

- | No.         | Judul                                 |
|-------------|---------------------------------------|
| Lampiran 1. | Kontur Penampang melintang tiap jarak |
| Lampiran 2. | Tutorial ansya 14,5                   |



## RINGKASAN

**Angga Veriyawan Rahana**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Analisa Pengaruh Kecepatan Udara Masuk terhadap Distribusi Temperatur pada Porous Media*, Dosen Pembimbing : Eko Siswanto dan Moch. Agus Choiron.

Pada umumnya untuk memperbaiki atau meningkatkan perpindahan panas dengan cara menambah luas permukaan perpindahan panas (*extended surface*). Kemudian dikembangkan model baru dengan fungsi yang sama untuk meningkatkan perpindahan panas, yaitu media berpori (*porous media*). *Porous media* memiliki lubang yang tersebar sehingga menciptakan rongga-rongga yang dapat dilalui oleh fluida. Sehingga luas permukaan perpindahan panas semakin besar. Distribusi aliran pada *porous media* dapat dianggap merata dan munculnya vortek sangat kecil. Penelitian mengenai *porous media* berkembang sangat pesat yang didukung berbagai penggunaannya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara masuk terhadap distribusi temperatur pada *porous media*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental semu yaitu dengan menggunakan *software CFX* yang terdapat dalam ANSYS 14.5 *Workbench* yang berbasis *finite volume method*. Dengan variabel bebas yaitu adalah kecepatan udara masuk sebesar 0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu distribusi temperatur pada *porous media*. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah temperatur udara masuk 323 K, porositas, temperatur plat bawah dan temperatur ambient.

Hasil simulasi pengaruh temperatur udara masuk terhadap distribusi temperatur pada *porous media* menunjukkan bahwa *porous media* mampu menurunkan temperatur udara panas yang dialirkan melalui inlet. Semakin tinggi kecepatan udara masuk maka distribusi temperatur pada *porous media* lebih merata.

Kata kunci: *porous media*, *chamber*, distribusi temperatur, simulasi komputer.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada umumnya untuk memperbaiki atau meningkatkan perpindahan panas dengan cara menambah luas permukaan perpindahan panas (*extended surface*). Istilah *extended surface* umumnya digunakan untuk menggambarkan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Sebuah metode *extended surface* yang mampu meningkatkan perpindahan panas dengan menambah luas permukaan, sering dikenal dengan istilah *fin*. Penggunaan *fin* juga terbatas pada ruang atau tempat yang tersedia sehingga tidak dapat mentransfer perpindahan panas secara maksimal selain itu penggunaan *fin* juga menimbulkan aliran yang terjebak / vortek (*death zone*) pada bagian sambungan *fin* dengan plat.

Kemudian dikembangkan model baru dengan fungsi yang sama untuk meningkatkan perpindahan panas, yaitu media berpori (*porous media*). *Porous media* memiliki lubang yang tersebar sehingga menciptakan rongga-rongga yang dapat dilalui oleh fluida. Sehingga luas permukaan perpindahan panas semakin besar. Distribusi aliran pada *porous media* dapat dianggap merata dan munculnya vortek sangat kecil. Penelitian mengenai *porous media* berkembang sangat pesat yang didukung berbagai penggunaannya. Selain untuk meningkatkan perpindahan panas, dalam dunia industri *porous media* dapat digunakan untuk *catalytic converters*, *food processing*, *fuel cells*, dan *heat regenerators*.

Eko Siswanto (2011) mengembangkan penelitian eksperimental pada kondensasi laminar pada *porous media* untuk mengetahui pengaruh perlakuan temperatur ambient terhadap aliran dinamik migrasi lateral kondensat pada *porous media* dengan kelembaban berbeda. Hasil penelitian eksperimental membuktikan bahwa aliran yang diamatai tidak hanya *uniform* (dominan periodik), tetapi juga ditemukan aliran *nonuniform*, bahkan terjadi kekacauan propagasi pada beberapa kasus. Wu-Shung Fu (2000) mengembangkan penelitian perpindahan panas secara simulasi pada media berpori dengan kodel porositas acak di saluran dengan aliran laminar. Media berpori dengan porositas acak digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas dan porositas acak diperoleh melalui metode Kinderman-Ramage. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media berpori dengan porositas yang lebih besar dapat memberikan disipasi panas yang tinggi. Terekov, et al. (1998) memberikan studi analisis yang komprehensif terkait perpindahan panas dan perpindahan massa dalam proses kondensasi campuran

uap-air dari udara. Di sisi lain, pengembangan simulasi komputer untuk memprediksi perilaku *heat transfer* dan *mass transfer* pada *porous media* sudah dilakukan oleh Terekov. Terekov telah menentukan fluks panas total dari campuran uap-air (udara lembab) berdasarkan dua kombinasi perpindahan panas, yaitu perpindahan panas konveksi dan panas dari fase transisi (dari gas menjadi *liquid*). Sebagai hasil, Terekov menemukan bahwa fluks panas pada perpindahan panas *interface* bergantung pada bilangan Lewis (rasio termal terhadap diffusivities massa), parameter difusi dari permeabilitas dalam campuran, dan bilangan Kutaleladze (rasio panas sensibel terhadap panas laten). Perumusan fluks panas dan parameter-parameternya telah dirumuskan dan berpendapat bahwa rumus itu dapat diterapkan di kedua rejim aliran, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen dari campuran uap-air. Ternyata untuk mengetahui perilaku perpindahan panas pada *porous media* membutuhkan peralatan eksperimen yang cukup rumit dan mahal terutama dalam *setting* alat.

Pada saat *setting* alat *porous media* untuk meningkatkan kecepatan fluida dibutuhkan waktu yang lama selain itu untuk mendapatkan kecepatan yang sangat sulit mengingat sifat dari fluida udara yang mudah terpengaruh oleh perubahan suhu dan juga kekasaran pipa sebagai tempat untuk aliran fluida. Berdasarkan pertimbangan di atas, maka penelitian ini memilih untuk mensimulasikan perilaku perpindahan panas udara panas dengan *porous media* sehingga dapat di lihat pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap distribusi temperatur pada *porous media*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut : Bagaimana pengaruh kecepatan udara masuk terhadap distribusi temperatur pada *porous media*?

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fluida yang digunakan dalam simulasi ini adalah udara panas.
2. Jumlah *inlet* (saluran masuk) yang digunakan tetap, yaitu 1.
3. Aliran fluida dalam *porous media* dalam keadaan *steady*.
4. Simulasi dilakukan dengan porositas konstan.
5. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk kontur.
6. Simulasi 3D untuk mengetahui fenomena perpindahan panas.

7. Simulasi ini menggunakan metode numerik dengan bantuan *software* CFX yang terdapat dalam ANSYS 14.5 *Workbench*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara masuk terhadap distribusi temperatur pada *porous media* dengan bantuan *Software Ansys* 14,5 yang valid.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat antara lain :

1. Mampu menerapkan teori – teori yang didapat selama perkuliahan terutama mengenai perpindahan panas.
2. Mengetahui besar pengaruh perubahan kecepatan udara udara panas terhadap perpindahan panas pada *porous media* yang efektif guna memenuhi kebutuhan manusia.
3. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi di dunia *engineering*, terutama pemanfaatan media berpori sebagai media untuk meningkatkan laju perpindahan panas.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Terekov, et al. (1998) telah melakukan penghitungan kasus uap jenuh yang dialirkan secara tangensial di atas permukaan pelat. Terekov memberikan studi analisis yang komprehensif terkait perpindahan panas dan perpindahan massa dalam proses kondensasi campuran uap-air dari udara. Terekov juga telah menentukan fluks panas total dari campuran uap-air (udara lembab) berdasarkan dua kombinasi perpindahan panas, yaitu perpindahan panas konveksi dan panas dari fase transisi (dari gas menjadi *liquid*). Sebagai hasil, Terekov menemukan bahwa *fluks* panas pada perpindahan panas *interface* bergantung pada bilangan Lewis (rasio termal terhadap diffusifitas massa), parameter difusi dari permeabilitas dalam campuran, dan bilangan Kutaleladze (rasio panas sensibel terhadap panas laten). Perumusan *fluks* panas dan parameter-parameternya telah dirumuskan dan berpendapat bahwa rumus itu dapat diterapkan di kedua rejim aliran, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen dari campuran uap-air.

Wu-Shung Fu (2000) mengembangkan penelitian perpindahan panas secara simulasi pada media berpori dengan model porositas acak di saluran dengan aliran laminar. Media berpori dengan porositas acak digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas dan porositas acak diperoleh melalui metode Kinderman-Ramage. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media berpori dengan porositas yang lebih besar dapat memberikan disipasi panas yang tinggi.

Eko Siswanto (2011) mengembangkan penelitian eksperimental pada kondensasi laminar pada *porous media* untuk mengetahui pengaruh perlakuan temperatur ambien terhadap aliran dinamik migrasi lateral kondensat pada *porous media* dengan kelembaban berbeda. Hasil penelitian eksperimental membuktikan bahwa aliran yang diamati tidak hanya *uniform* (dominan periodik), tetapi juga ditemukan aliran *nonuniform*, bahkan terjadi kekacauan propagasi pada beberapa kasus.

#### 2.2 Media Berpori

Media berpori adalah suatu benda yang terdiri dari bagian padat yang keras, disebut matriks solid dan tersisa ruang kosong (ruang pori) yang dapat diisi dengan satu atau lebih fluida (air, minyak, dan gas).

Media berpori memiliki lubang yang tersebar sehingga menciptakan rongga-rongga yang dapat dilalui oleh fluida sehingga luas permukaan perpindahan panas lebih besar dari pada *masive-solid*.

### 2.3 Porositas

Porositas suatu medium adalah perbandingan volume rongga – rongga pori terhadap volume total seluruh material. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen dan disebut porositas. Besarnya porositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\phi = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan material}} \times 100\% \quad (2-2)$$

### 2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah ilmu untuk memprediksikan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Dari hukum termodinamika yang telah diketahui bahwa energi yang dipindahkan itu dinamakan energi panas. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi panas berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga untuk meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi – kondisi tertentu. Istilah – istilah yang digunakan untuk menyatakan tiga modulus perpindahan panas antara lain, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

#### 2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium baik itu padat, cair, maupun gas atau antar medium berlainan yang bersinggungan secara langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (*temperature gradient*), maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Hal ini bisa dikatakan bahwa energi berpindah secara konduksi dan laju perpindahan kalor berbanding dengan suhu normal.

Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen tersebut. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan kecepatan, dari posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi

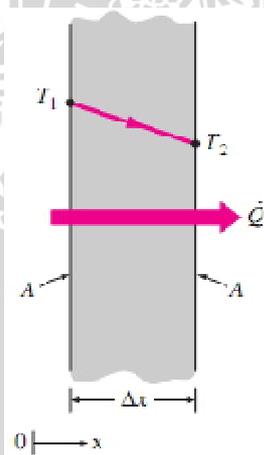
dalam. Jadi semakin cepat molekul – molekul bergerak semakin tinggi suhu maupun energi dalam elemen tersebut. Bila molekul – molekul disuatu daerah memperoleh energi kinetik rata – rata yang lebih besar dari pada yang dimiliki oleh molekul – molekul di suatu daerah yang berdekatan, maka molekul – molekul yang memiliki energi lebih besar tersebut akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul – molekul di daerah yang bertemperatur lebih rendah.

Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastik (*elastic impact*) atau dengan pembauran (difusi) elektron-elektron yang bergerak lebih cepat dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah. Laju perpindahan panas dari suatu medium tergantung dari dimensi, material, dan perbedaan temperatur yang terjadi pada material tersebut sesuai dengan gambar 2.1. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Q = -\frac{k \cdot A}{\Delta X} (T_1 - T_2) \quad (\text{Yunus A. Cengel, 1998 : 21}) \quad (2-3)$$

Dengan :

- Q = Laju perpindahan panas konduksi (Watt)
- k = Konduktivitas termal bahan ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )
- A = Luas penampang pada posisi normal arah perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )
- $(T_1 - T_2)$  = Beda temperatur pada penampang ( $^\circ\text{C}$ )
- $\Delta X$  = Tebal material (m)



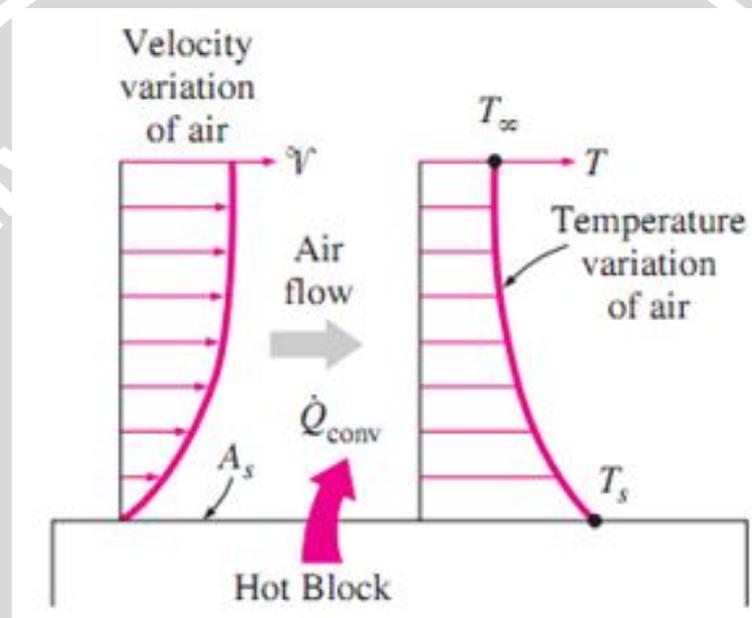
Gambar 2.1 : Perpindahan panas konduksi melalui dinding  
Sumber : Cengel ; 1998 : 21

#### 2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi antara permukaan padat dan aliran fluida cair maupun gas yang bersinggungan. Perpindahan energi

dengan cara konveksi, dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap.

Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan partikel – partikel fluida yang berbatasan. Energi yang dipindahkan dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel – partikel fluida ini. Kemudian partikel fluida ini akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida, dimana partikel – partikel ini akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel fluida lainnya. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar pula nilai perpindahan panas konveksinya. Hal ini ditunjukkan seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 : Perpindahan panas konveksi dari suatu plat  
Sumber : Cengel ; 1998 : 29

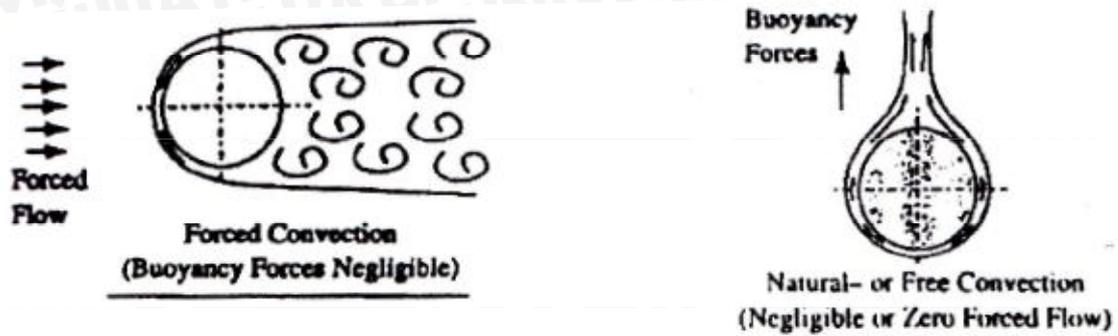
Berdasarkan gerakan fluida perpindahan panas konveksi dikelompokkan menjadi

a. Konveksi bebas

Apabila gerakan pencampuran fluida sebagai akibat dari perbedaan densitas yang disebabkan oleh gradien suhu tanpa dibantu efek dari luar (blower, kipas). Misalnya fluida yang panas akan memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan fluida yang dingin, sehingga fluida yang panas, akan cenderung bergerak ke atas dan fluida yang dingin cenderung bergerak ke bawah.

b. Konveksi paksa

Apabila suatu fluida dipaksakan untuk mengalir dengan memanfaatkan peralatan luar, seperti pompa, kipas, dan yang lainnya. Perbedaan antara perpindahan panas konveksi bebas dengan paksa ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Perpindahan panas konveksi paksa dan bebas dari dinding pipa  
Sumber : Patrick H. Oousthuzen ; 1999 : 4

Laju perpindahan panas konveksi seperti pada gambar 2.2 dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2-4)$$

Dengan :

$Q$  = Laju aliran panas konveksi (Watt)

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$(T_s - T_\infty)$  = Beda temperatur permukaan dengan aliran bebas fluida ( $^\circ C$ )

Koefisien perpindahan panas konveksi bukan merupakan properti dari fluida, tetapi secara eksperimental dapat ditentukan dan sangat bergantung pada geometri permukaan aliran fluida, sifat – sifat fluida, dan kecepatan aliran fluida. Sehingga koefien perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh keadaan yang kompleks.

## 2.5 Konduktivitas Termal Efektif

Udara panas yang memasuki *chamber* akan menyentuh media berpori dan akan mengisi pori – pori yang ada pada media berpori. Oleh karena itu, *porous media* memiliki perubahan konduktivitas termal efektif selama kondensasi berlangsung. Konduktivitas termal efektif tersebut adalah konduktivitas termal efektif lapisan porous media dengan *void*-terisi-udara.

Konduktivitas termal efektif porous media dalam kondisi udara-void  $k_{eff}$  didefinisikan sebagai,

$$K_{eff} = [(1 - \varepsilon^{2/3}) + \{\varepsilon^{2/3} / [(1 - \varepsilon^{1/3}) + \varepsilon^{1/3} (k_p/k_a)]\}] k_p \quad (2-5)$$

dimana

$\varepsilon$  : porositas *porous media*,

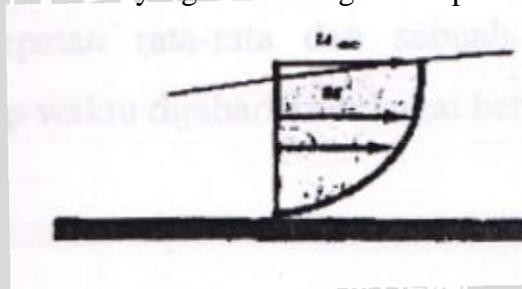
$k_p$  : konduktivitas termal partikel porous media

$k_a$  : konduktivitas termal udara

## 2.6 Aliran Laminar dan Turbulen

### 2.6.1 Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran yang bergerak dalam lapisan-lapisan dimana perpindahan momentum dan massa terjadi secara molekuler dalam skala sub mikroskopis dari lapisan yang mempunyai kecepatan yang relatif tinggi menuju lapisan yang mempunyai kecepatan relatif lebih rendah. Kecenderungan ke arah turbulensi diredam habis oleh gaya – gaya viskos yang memberikan hambatan terhadap gerakan relatif lapisan – lapisan fluida. Pada aliran laminar partikel fluida bergerak secara berurutan mengikuti lintasan yang lancar dengan kecepatan yang tetap.



Gambar 2.4 : Kecepatan laminar di atas pelat rata  
Sumber : J.P. Holman ; 1998 : 193

### 2.6.2 Aliran Turbulen

Pada aliran turbulen partikel fluida bergerak secara acak dengan kecepatan yang berfluktuasi dan saling interaksi antar gumpalan fluida. Pada aliran turbulen tidak terlihat lagi adanya lapisan–lapisan fluida sehingga aliran fluida dibayangkan sebagai bongkahan–bongkahan fluida. Bongkahan-bongkahan itu bergerak secara acak sehingga proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala mikroskopik. Partikel–partikel bongkahan berperan sebagai pembawa energi dan memindahkan energi dengan cara bercampur dengan partikel–partikel lain dari fluida tersebut. Aliran turbulen yang acak meningkatkan laju pencampuran partikel dan merupakan proses difusi yang baik sehingga perpindahan panas yang terjadi meningkat.

Pusaran turbulen menciptakan fluktuasi kecepatan. Sebagai suatu contoh, pengukuran kecepatan longitudinal ( $u$ ) dan kecepatan vertikal ( $v$ ) di titik A seperti pada gambar di bawah. Kedua kecepatan divariasikan terhadap waktu untuk menghasilkan fluktuasi turbulen. Untuk aliran turbulen dalam pengukuran kecepatan dimasukkan sebuah komponen kecepatan rata – rata dan sebuah komponen fluktuasi turbulen sesuai dengan gambar 2.5. Kecepatan aliran terhadap waktu dijabarkan sebagai berikut :

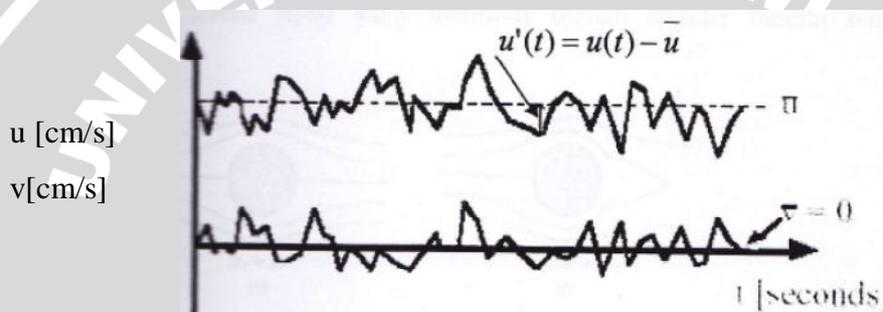
$$u(t) = u + u'(t) \quad (2-6)$$

$$v(t) = v + v'(t)$$

dimana :

$u'(t)$  dan  $v'(t)$  = fluktuasi turbulen

$u$  dan  $v$  = kecepatan rata – rata

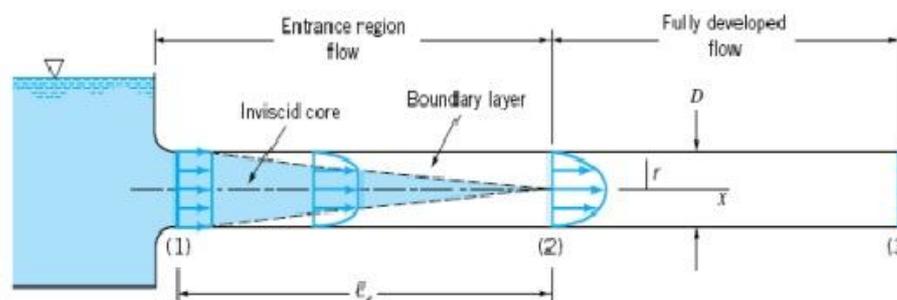


Gambar 2.5 : Pengukuran kecepatan pada titik A  
Sumber : J.P. Holman ; 1998 : 198

## 2.7 Lapisan batas

### 2.7.1 Lapisan Batas Kecepatan

*Boundary layer* atau lapisan batas adalah lapisan fluida dari permukaan plat hingga suatu titik tertentu yang di ukur terhadap permukaan padat dimana efek viskositas dapat di abaikan/tidak berpengaruh lagi. Gambar 2.6 akan menjelaskan tentang struktur lapisan batas.



Gambar 2.6 : Lapisan batas kecepatan

Sumber : <http://ronipanjoel.wordpress.com/2012/05/28/boundary-layer-lapisan-batas/>

Fluida masuk dalam pipa dengan kecepatan  $U_0$ , besar kecepatan seragam pada penampang melintang saluran karena lapisan batasnya baru mukai berkembang . pada aliran fluida yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada daerah tersebut kecepatan bertambah , dari nol (pada permukaan benda) hingga mendekati kecepatan aliran utama ditunjukkan dengan garis putus-putus (kecepatan fluida dalam lapisan batas telah mencapai alir fluida). Selama fluida mengalir tebal boundary layer semakin bertambah hingga mencapai pusat pipa. Gradien kecepatan tersebut mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida karena besar tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan. Pengaruh tegangan geser tersebut berangsur- angsur berkurang dengan bertambahnya jarak fluida dari permukaan padat.

Pada daerah masuk, daerah yang berada di dalam boundary layer terdapat gradien kecepatan fluida dan kecepatannya selalu lebih kecil dibanding kecepatan fluida di luar boundary layer. Jarak dari awal masuk pipa sampai aliran berkembang penuh (*fully developed*) terjadi disebut *entrance length*. *Entrance length* merupakan suatu fungsi dari bilangan Reynolds sesuai dengan gambar 2.7 Rumus *Entrance length* ditulis dalam persamaan 2-6:

$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Fox, 1994: 305}) \quad (2-7)$$

keterangan :

$L$  = *entrance length* [m]

$D$  = diameter pipa [m]

$\rho$  = densitas [ $\text{kg/m}^3$ ]

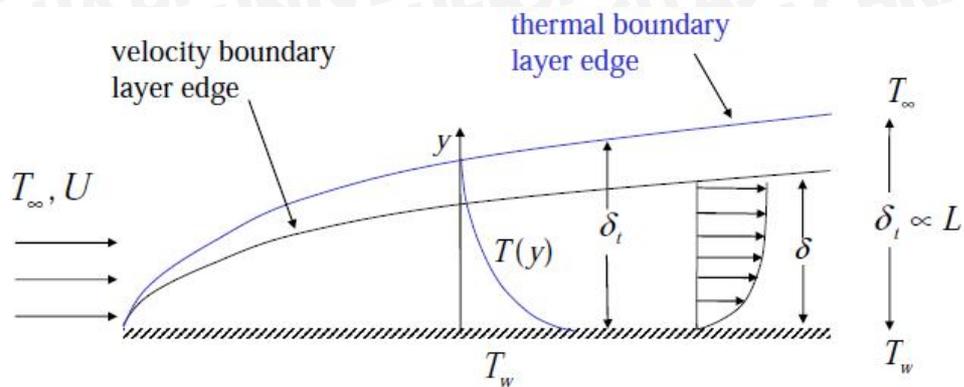
$v$  = kecepatan rata-rata [m/s]

$\mu$  = viskositas absolut [ $\text{N.s/m}^2$ ]

### 2.7.2 Lapisan Batas Termal

Bila fluida pada suatu temperatur mengalir di atas suatu permukaan yang berada pada temperatur berbeda, perilaku fluida tidak hanya terdapat *velocity boundary layer* saja, akan tetapi juga terbentuk *thermal boundary layers*. *Thermal boundary layer* didefinisikan sebagai daerah dimana gradient temperatur dalam aliran. Gradient Temperatur terbentuk dari proses penukaran kalor antara fluida dan permukaan dinding

bagian dalam. Gambar 2.8 memberikan penjelasan mengenai *thermal boundary layers* yang terjadi pada *entrance region* dari pipa bundar.



Gambar 2.7 : Lapisan batas termal

Sumber : <http://www.fkm.utm.my/~mohsin/sme4463/01.HeatTransferIntro.pdf>

Pada gambar 2.8 terlihat tahap-tahap perkembangan *thermal boundary layers* dari aliran fluida yang melalui pipa bundar. Pada pintu masuk pipa, temperatur  $T_s$  aliran fluida seragam karena lapisan batasnya mulai berkembang. Tebal lapisan batas akan selalu bertambah selama mengalirnya fluida, akan tetapi tebal lapisan batas dibatasi oleh jari-jari pipa. Ketika fluida mengalir pada tahap selanjutnya terjadi geseran antara fluida dan dinding dan antar partikel-partikel yang berdampian hingga tebalnya mencapai pusat pipa. Pada daerah masuk, jika temperatur fluida lebih besar dibandingkan temperatur dinding, maka terdapat gradien temperatur fluida di dalam boundary layer dan temperturnya selalu lebih kecil dibanding di luar boundary layer. Sedangkan untuk daerah di luar daerah boundary layer mempunyai distribusi temperatur yang seragam. Jika temperatur fluida lebih besar dibanding temperatur dinding maka temperatur diluar boundary layer selalu lebih besar dibanding di dalam boundary layer.

## 2.8 Bilangan Reynolds

Tahun 1884 Osborne Reynolds melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat aliran laminar dan turbulen. Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil, zat warna akan mengalir dalam satu garis lurus seperti benang/sumbu pipa.

Bilangan Reynolds merupakan suatu parameter yang menyatakan suatu perbandingan kecepatan aliran, dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas kinematik fluida. Besar bilangan Reynolds

membedakan jenis aliran laminar, transisi atau turbulen pada lapisan batas, di dalam pipa atau di sekitar benda yang terendam.

Bilangan *Reynolds* merupakan besaran fisis yang tidak berdimensi. Bilangan ini dipergunakan sebagai acuan dalam membedakan aliran laminier dan turbulen di satu pihak, dan di lain pihak dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk mengetahui jenis-jenis aliran yang berlangsung dalam air. Hal ini didasarkan pada suatu keadaan bahwa dalam satu tabung/pipa atau dalam satu tempat mengalirnya air, sering terjadi perubahan bentuk aliran yang satu menjadi aliran yang lain. Perubahan bentuk aliran ini pada umumnya tidaklah terjadi secara tiba-tiba tetapi memerlukan waktu, yakni suatu waktu yang relatif pendek dengan diketahuinya kecepatan kritis dari suatu aliran. Kecepatan kritis ini pada umumnya akan dipengaruhi oleh bentuk pipa, jenis zat cair yang lewat dalam pipa tersebut.

Terdapat empat besaran yang menentukan apakah aliran tersebut digolongkan aliran laminier ataukah aliran turbulen. Keempat besaran tersebut adalah besaran massa jenis air, kecepatan aliran, kekentalan, dan diameter pipa. Kombinasi dari keempatnya akan menentukan besarnya bilangan *Reynolds*.

Pada *incompressible flow* di dalam pipa kondisi aliran laminar atau turbulen ditentukan oleh besarnya bilangan *Reynolds* yang dapat dituliskan dalam Persamaan 2-8:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{Potter, 1997: 260}) \quad (2-8)$$

dengan :

$v$  = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa [m/s]

$D$  = diameter pipa [m]

$\nu$  = viskositas kinematik [m<sup>2</sup>/s]

$\mu$  = viskositas absolut/dinamik [N.s/ m<sup>2</sup>]

$\rho$  = densitas [kg/m<sup>3</sup>]

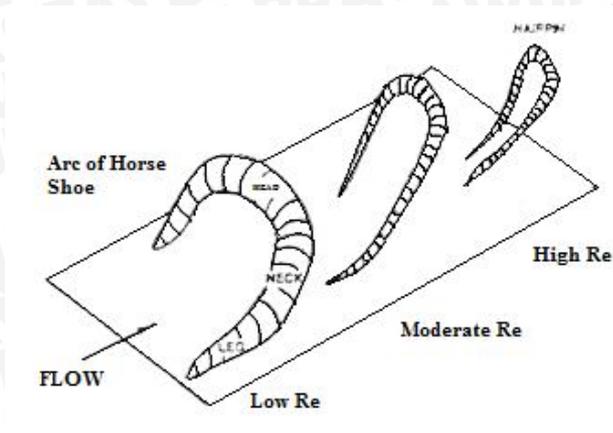
Secara umum jika suatu fluida mengalir memiliki suatu pola tertentu. Pola pertama adalah aliran yang laminar, yaitu aliran yang mulus mengikuti *streamline* dan memiliki kecenderungan bergerak secara teratur. Pola kedua adalah aliran turbulen, yaitu aliran bergerak acak dan tidak teratur dengan kecepatan yang berfluktuasi.

Perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos suatu fluida disebut bilangan Reynold ( $Re$ ), merupakan parameter tidak berdimensi. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut

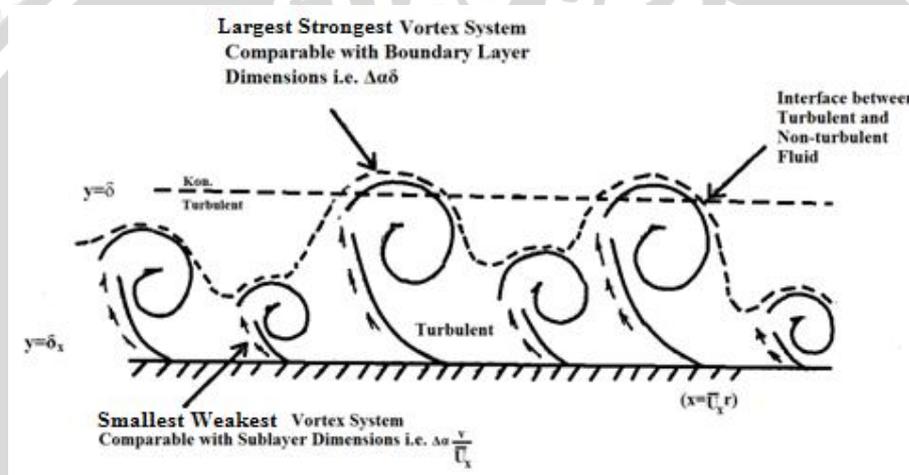
Untuk bilangan Reynold yang besar, gaya inersia yang berhubungan dengan densitas dan kecepatan fluida nilainya relatif lebih besar terhadap gaya viskositas. Sehingga gaya *viskos* tidak dapat menahan fluktuasi fluida yang cepat dan acak. Hal ini mengakibatkan timbulnya turbulensi pada aliran tersebut. Untuk bilangan Reynold yang kecil, maka gaya viskos fluida dapat menghambat gaya inersianya sehingga aliran fluida menjadi laminar. Di bawah ini akan ditunjukkan berbagai gambar pola aliran fluida secara melintang (*cross flow*) yang melewati sebuah silinder beserta bilangan Reynoldnya.

## 2.9 Vortex

*Vortex* didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Gerakan partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran (Potter, 1997). Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortex-vortex* pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder. Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut harga bilangan *Reynolds*. Pada bilangan *Reynolds* yang rendah, *vortex* berbentuk seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan *Reynolds* maka *vortex* akan semakin meruncing, hal tersebut terlihat pada Gambar 2.8 dan 2.9.



Gambar 2.8 Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*.  
 Sumber: Gerhart (1985: 607).



Gambar 2.9 *Vortex* 2 dimensi.  
 Sumber: Gerhart (1985: 619).

## 2.10 Viskositas

Viskositas merupakan sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut (Streeter, 1986: 8). Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas. Contoh cairan yang sangat kental adalah larutan gula sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil/tidak kental. Viskositas gas meningkat dengan suhu, tetapi viskositas cairan berkurang dengan naiknya suhu. Tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan momentum molekularnya. Cairan, dengan molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi, merupakan penyebab utama viskositas dalam cairan dan karena kohesi berkurang dengan naiknya suhu maka

demikian juga dengan viskositas. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu viskositas kinematik dan viskositas dinamik.

### 2.10.1 Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida dan banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan tekanan yang bekerja serta biasanya digunakan dalam beberapa penerapan seperti untuk menentukan bilangan Reynolds pada aliran fluida dalam pipa.

Secara matematis dapat dinyatakan sebagai persamaan 2-10. Yang ditabelkan pada tabel 2.1 dan digrafikan sesuai dengan gambar 2.10:

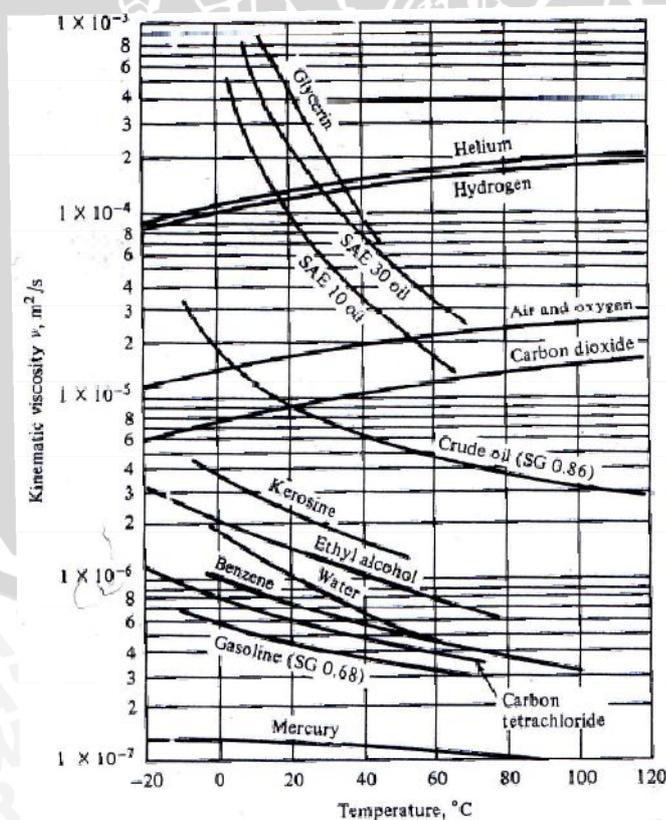
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{White, 1994: 23}) \quad (2-10)$$

dengan :

$\nu$  = viskositas kinematik [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$\mu$  = viskositas dinamik [ $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ]

$\rho$  = densitas / massa jenis [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]



Gambar 2.10 Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm.

Sumber: White (1994: 388).

Tabel 2.1 Kerapatan dan kekentalan udara pada 1 atm

VISCOSITY AND DENSITY OF AIR AT 1 atm							
T, °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ , (N·s)/m <sup>2</sup>	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s	T, °F	$\rho$ , slug/ft <sup>3</sup>	$\mu$ , (lb·s)/ft <sup>2</sup>	$\nu$ , ft <sup>2</sup> /s
-40	1.52	1.51 E-5	0.99 E-5	-40	2.94 E-3	3.16 E-7	1.07 E-4
0	1.29	1.71 E-5	1.33 E-5	32	2.51 E-3	3.58 E-7	1.43 E-4
50	1.09	1.95 E-5	1.79 E-5	122	2.12 E-3	4.08 E-7	1.93 E-4
100	0.946	2.17 E-5	2.30 E-5	212	1.84 E-3	4.54 E-7	2.47 E-4
150	0.835	2.38 E-5	2.85 E-5	302	1.62 E-3	4.97 E-7	3.07 E-4
200	0.746	2.57 E-5	3.45 E-5	392	1.45 E-3	5.37 E-7	3.71 E-4
250	0.675	2.75 E-5	4.08 E-5	482	1.31 E-3	5.75 E-7	4.39 E-4
300	0.616	2.93 E-5	4.75 E-5	572	1.20 E-3	6.11 E-7	5.12 E-4
400	0.525	3.25 E-5	6.20 E-5	752	1.02 E-3	6.79 E-7	6.67 E-4
500	0.457	3.55 E-5	7.77 E-5	932	0.89 E-3	7.41 E-7	8.37 E-4

Sumber : White (1991: 312)

Pada Gambar 2.10 terlihat viskositas kinematik dari berbagai fluida pada 1 atm. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk udara viskositas kinematik ( $\nu$ ) akan bertambah seiring meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida cair sebaliknya, yaitu dengan meningkatnya temperatur maka viskositasnya akan menurun. Menurut (Streeter, 1996: 8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap temperatur dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair yang memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka demikian pula dengan viskositasnya. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekuler. Viskositas akan bertambah jika pertukaran kalor yang acak antar molekul-molekulnya, sehingga meningkatnya temperatur mengakibatkan viskositasnya juga akan meningkat (Nekrasov, 1960).

### 2.10.2 Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser/gaya yang bekerja padanya. Secara matematis dapat dituliskan persamaan 2-11 sebagai berikut :

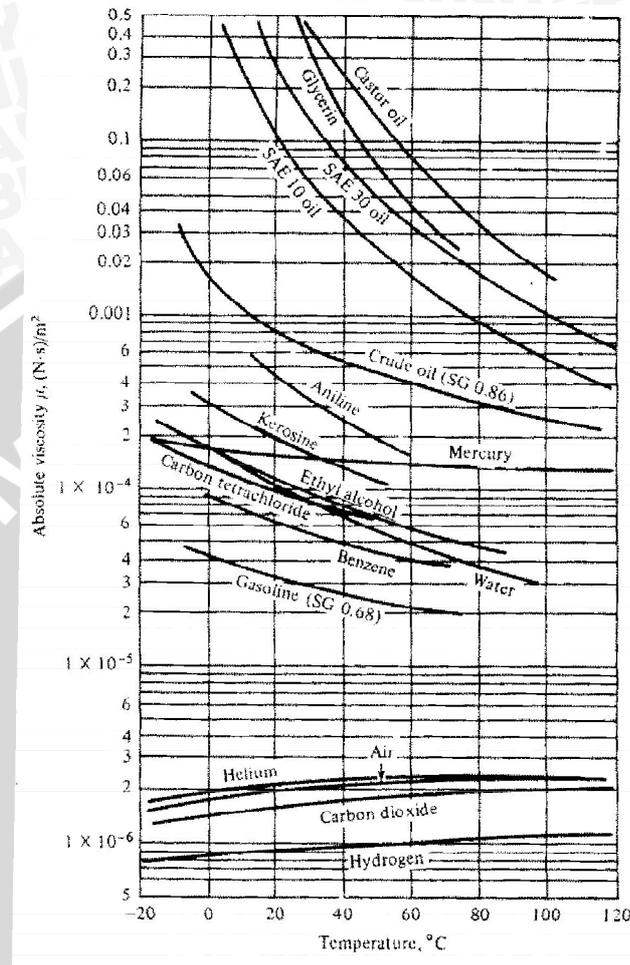
$$F = \mu \cdot \frac{AU}{t} \quad (\text{Streeter, 1996: 4}) \quad (2-11)$$

Dengan:

F = gaya geser pada fluida [N]

$\mu$  = viskositas Absolut [N.s/ m<sup>2</sup>]

$U/t$  = kecepatan sudut garis  $ab$  atau laju perubahan bentuk sudut fluida dan dapat ditulis  $du/dy$  [m<sup>2</sup>/s]



Gambar 2.11 Viskositas dinamis berbagai fluida pada 1 atm.  
Sumber: White (1994: 387).

Tabel 2.2 Kerapatan dan kekentalan udara pada 1 atm

VISCOSITY AND DENSITY OF WATER AT 1 atm							
$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, (\text{N}\cdot\text{s})/\text{m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, (\text{lb}\cdot\text{s})/\text{ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
0	1000	1.788 E-3	1.788 E-6	32	1.940	3.73 E-5	1.925 E-5
10	1000	1.307 E-3	1.307 E-6	50	1.940	2.73 E-5	1.407 E-5
20	998	1.003 E-3	1.005 E-6	68	1.937	2.09 E-5	1.082 E-5
30	996	0.799 E-3	0.802 E-6	86	1.932	1.67 E-5	0.864 E-5
40	992	0.657 E-3	0.662 E-6	104	1.925	1.37 E-5	0.713 E-5
50	988	0.548 E-3	0.555 E-6	122	1.917	1.14 E-5	0.597 E-5
60	983	0.467 E-3	0.475 E-6	140	1.908	0.975 E-5	0.511 E-5
70	978	0.405 E-3	0.414 E-6	158	1.897	0.846 E-5	0.446 E-5
80	972	0.355 E-3	0.365 E-6	176	1.886	0.741 E-5	0.393 E-5
90	965	0.316 E-3	0.327 E-6	194	1.873	0.660 E-5	0.352 E-5
100	958	0.283 E-3	0.295 E-6	212	1.859	0.591 E-5	0.318 E-5

Sumber : White (1991: 311)

### 2.11 Software ANSYS Workbench

ANSYS Workbench merupakan salah satu *software* yang berbasis *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah – masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*) seperti aliran fluida, analisa tegangan pada struktur, perpindahan panas dan elektromagnetis.

ANSYS Workbench dengan *project* lain dirancang guna mengembangkan dan mengatur berbagai jenis program komputer dengan dasar *Computer Aided Engineering* (CAE) dan membuatnya lebih mudah untuk digunakan. ANSYS Workbench berisi beberapa fasilitas, diantaranya adalah *Mechanical*, *Fluid Flow*, *Engineering Data*, *Design Modeler*, *Meshing Application* dan *Blade Gen*. Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan ANSYS Workbench antara lain :

1. Model yang digambar dari beberapa *software* CAD dapat langsung diimport ke ANSYS Workbench.
2. Simulasi FAE dapat dilakukan dengan baik.
3. Pengimplementasian *design* yang dipilih dapat dilakukan untuk kondisi sebenarnya.
4. Model yang telah dibuat dapat dikondisikan sesuai dengan jenis simulasi yang menggunakan *Design Modeler*.

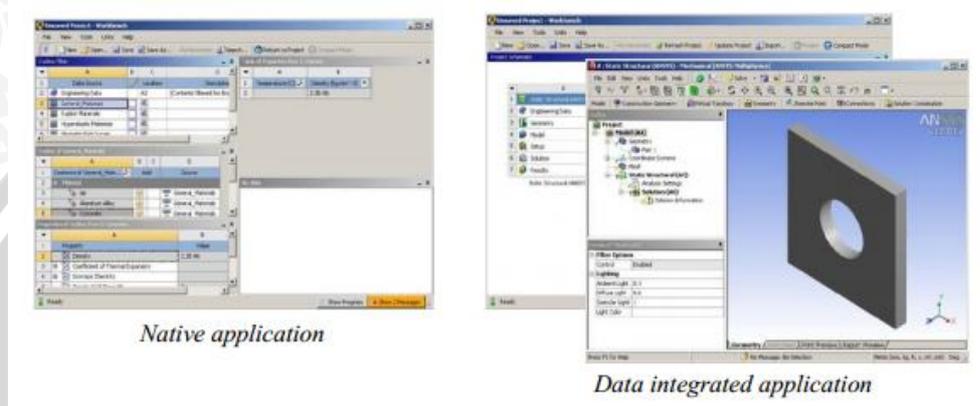
#### 2.11.1 Workbench environment

Ansys Workbench menyediakan metode yang memungkinkan untuk berinteraksi dengan Ansys family solver. Workbench environment memberikan integrasi yang unik dengan sistem CAD. Ansys Workbench terdiri dari berbagai aplikasi:

1. Mechanical; untuk melakukan analisa struktur dan termal menggunakan solver Ansys. Meshing juga termasuk dalam aplikasi mechanical
2. Fluid Flow (CFX); untuk melakukan analisa CFD menggunakan CFX
3. Fluid Flow (FLUENT); untuk melakukan analisa CFD menggunakan FLUENT
4. Geometry (DesignModeler); untuk membuat geometri dan menyiapkan model solid yang digunakan dalam aplikasi Mechanical.
5. Engineering Data; untuk mendefinisikan sifat-sifat material
6. Meshing Application; untuk menghasilkan mesh CFD dan Explicit Dynamics
7. Design Exploration; untuk analisa optimasi
8. Finite Element MModeler (FE Modeler); untuk menterjemahkan mesh NASTRAN dan ABAQUS agar dapat digunakan di Ansys Workbench.
9. BladeGen (Blade Geometry); untuk membuat geometri sudu

10. Explicit Dynamics; untuk simulasi explicit dynamics dan menampilkan pemodelan nonlinear.

Workbench environment mendukung dua tipe aplikasi, seperti tampak pada gambar 2.11 yaitu; (1) Native applications (workspaces); Aplikasi asli (native)terkini adalah Project Schematic, Engineering Data, dan Design Exploration. Aplikasi asli yang diluncurkan dan dijalankan di jendela Workbench. (2) Data Integrated Applications; aplikasi terkini mencakup Mechanical, Mechanical APDL, FLUENT, CFX, AUTODYN dan aplikasi lainnya.



Gambar 2.12. Workbench environment  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

## 2.12 Hipotesa

Semakin tinggi kecepatan udara masuk pada bagian inlet *chamber porous media*, maka akan mengakibatkan bilangan *Reynold* akan meningkat sehingga bilangan *Nusert* maningkat yang mengakibatkan koefisien perpindahan panas konfeksi akan meningkat yang akan mengakibatkan distribusi perpindahan panas pada porous media akan semakin besar.

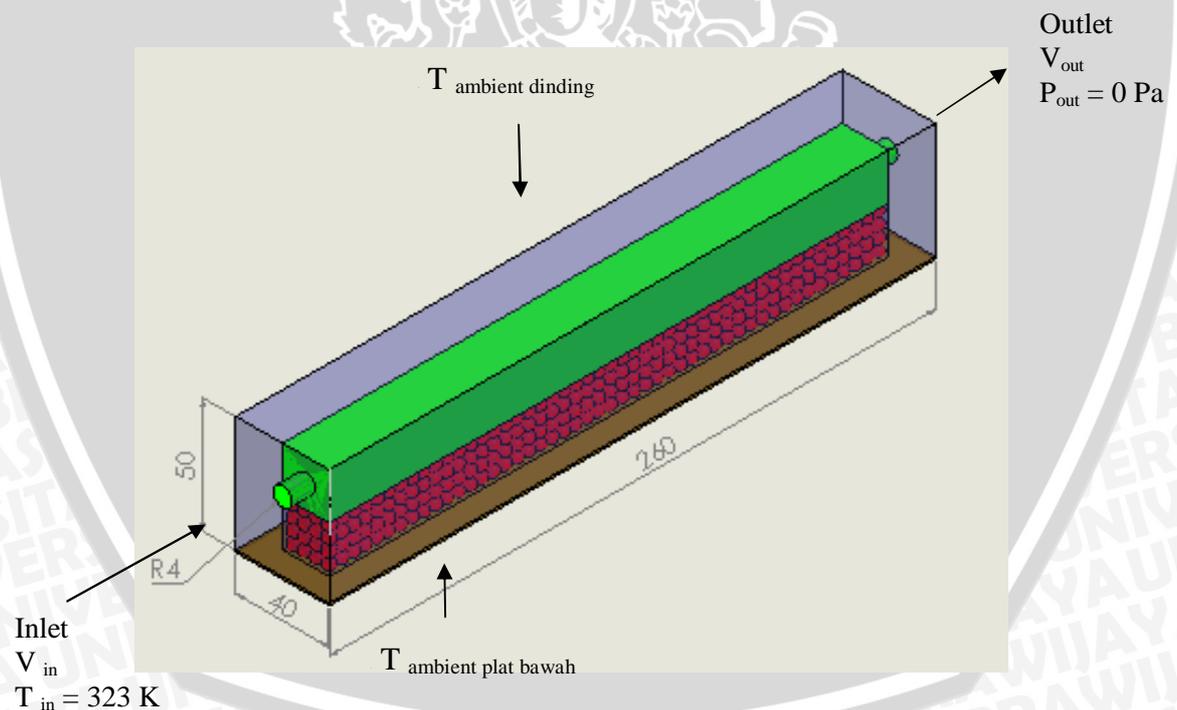
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan *software CFX* yang terdapat dalam *ANSYS 14.5 Workbench* yang berbasis *finite volume method*, sehingga dapat diketahui pengaruh temperatur udara pada *porous media chamber* terhadap perpindahan panas pada *porous media*. Di samping itu juga dilakukan studi literatur untuk memperoleh informasi tambahan mengenai masalah perpindahan panas secara konduksi dan konveksi.

### 3.2 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi tentang aliran fluida udara panas pada *porous media chamber*. Adapun instalasi percobaan *porous media chamber* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Skema Simulasi

Keterangan skema:



= Dinding kaca



= Udara panas



= Media berpori aluminium



= Plat tembaga tebal 1 mm

$P_{out}$  = Tekanan keluar

$T_{ambient\ dinding}$  = Temperatur dinding fluida [K]

$T_{ambient\ plat\ bawah}$  = Temperatur plat bawah [K]

$T_{in}$  = Temperatur udara masuk [K]

$V_{in}$  = Kecepatan tangensial udara masuk [m/s]

$V_{out}$  = Kecepatan udara keluar [m/s]

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### a) Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan besarnya tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan udara udara saat masuk dalam *porous media chamber*. Besarnya kecepatan udara udara yang akan divariasikan adalah 0,5 , 1, 1,5 , 2 , 2, 5 m/s.

#### b) Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan di atas. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah besarnya perpindahan panas pada *porous media*.

#### c) Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dapat diubah dengan interval tertentu untuk mengetahui hubungan antara temperatur udara masuk terhadap perpindahan panas pada *porous media*. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- Temperatur masuk udara 323 K
- Temperatur ambient dari dinding 303 K
- Temperatur ambient dari plat tembaga 283 K

- Material yang digunakan untuk *porous media* adalah *porous aluminium* dengan porositas 0.38 %

### 3.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan spesifikasi komputer yang digunakan sebagai berikut :

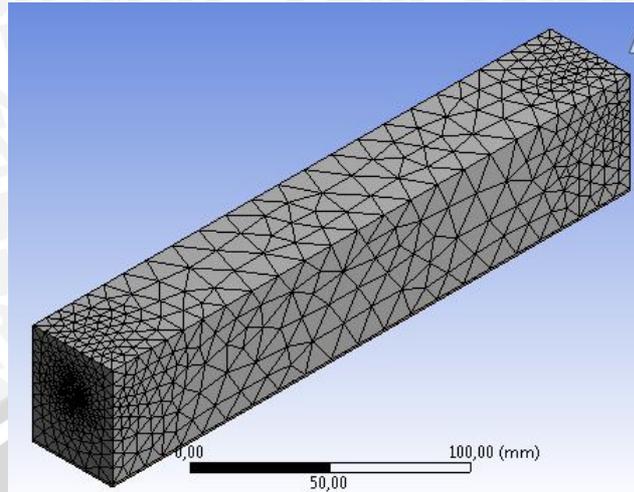
- RAM : 4096 MB
- *Operating system* : Windows 7 Enterprise 64-bit (6.1, Build 7600)
- *Processor* : Intel(R)Core(TM) i3-2120 @ 3,30GHz(4 CPUs), ~3,3GHz
- Total Memori : 12,9 GB

Sedangkan waktu penelitian adalah bulan 5 Mei 2013 sampai Juni 2013.

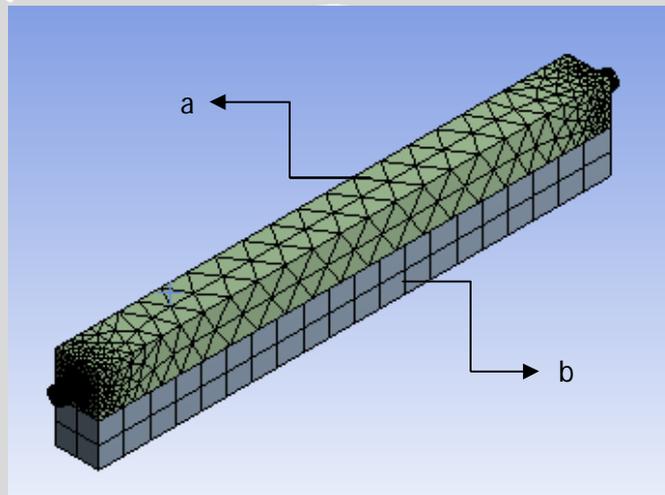
### 3.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan analisa mengenai pengaruh variasi temperatur udara masuk terhadap *porous media*. Adapun langkah – langkah dalam penelitian ini adalah :

1. Memodelkan *porous media chamber* dengan ukuran bentuk, menentukan material bahan yang akan digunakan pada penelitian, dan menentukan batas – batas kondisi yang diinginkan.
2. *Meshing*, yaitu proses membagi geometri menjadi elemen – elemen nantinya dihasilkan node – node yang dapat digunakan dalam perhitungan komputasi secara elemen hingga. Semakin kecil elemen yang dibentuk semakin besar pula persamaan yang harus diselesaikan oleh *software* sehingga beban komputer akan semakin besar tetapi hasil yang akan diperoleh juga semakin akurat yang diakibatkan karena node yang dihasilkan sangat banyak. *Meshing* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu manual dan otomatis. Melakukan *meshing* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 dan gambar 3.3.



Gambar 3.2 *Grid generation (meshing)* domain fisik pada *porous media chamber*  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5



Gambar 3.3 *Grid generation (meshing)* domain fisik pada (a) udara panas dan (b) *porous media*  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

3. Mengalirkan udara panas pada *porous media chamber*.

### 3.6 Langkah – Langkah Simulasi pada Software

Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan Software ANSYS CFX 14.5.

langkah – langkah proses simulasi dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

1. *Preprocessing*
2. *Solution*
3. *Postprocessing*

### 3.6.1 *Pre – processor*

Pada tahap ini dilakukan pemodelan :

1. *Import* file geometri *porous media chamber* yang sudah dimodelkan dari *software* Solidwork dalam bentuk *file type* (.igs) ke dalam *software* analisis Ansys 14.5 CFX.
2. Menentukan jenis sistem analisis
3. Memasukkan *material properties* untuk *porous media*, dinding, pelat, dan udara.
4. Melakukan *meshing* pada semua bagian *body porous media*.
5. Menentukan besarnya temperatur udara yang akan dilewatkan pada *porous media* sesuai dengan prosedur pengujian.

### 3.6.2 *Solution*

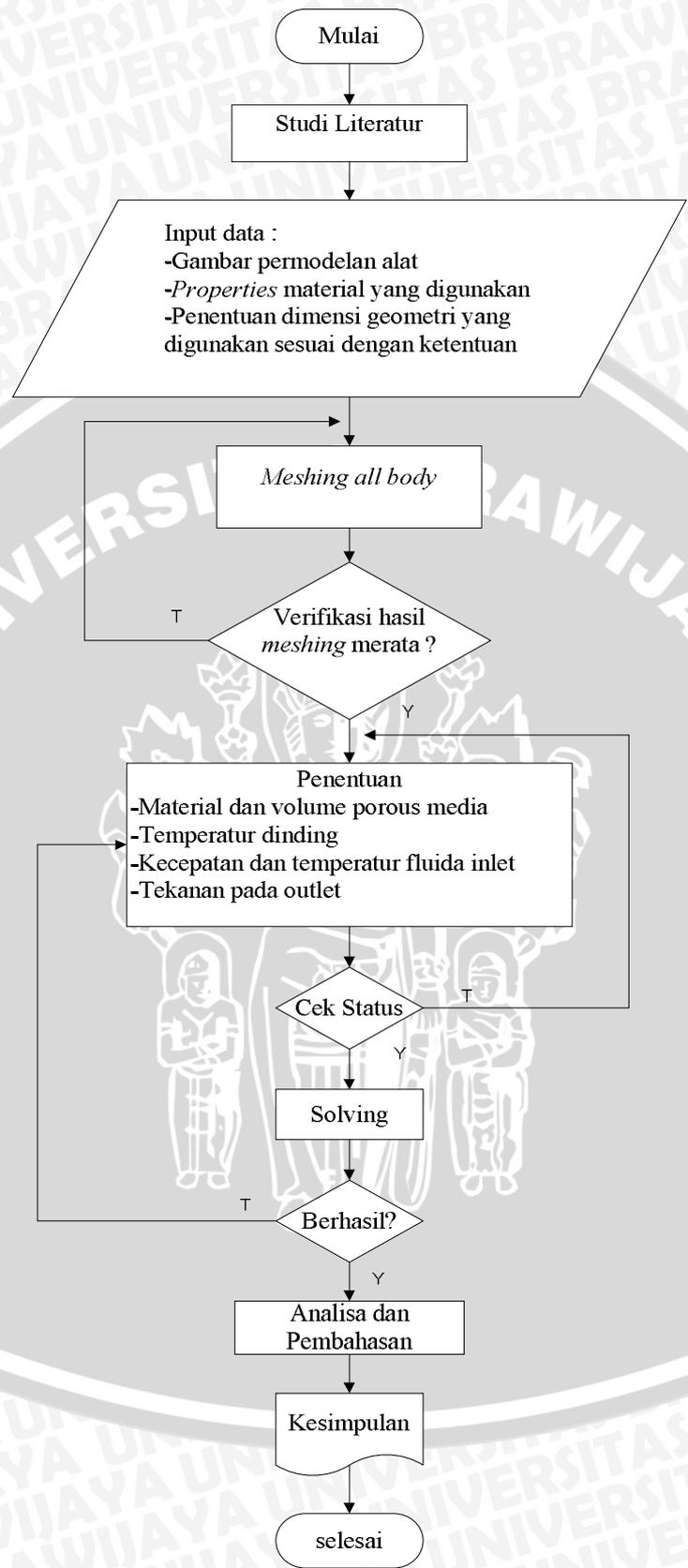
Pada tahap ini mendefinisikan jenis hasil yang akan ditampilkan yang mengacu kondisi batas sebelumnya.

### 3.6.3 *Postprocessing*

Menganalisis hasil dari proses simulasi yang telah dilakukan ke dalam tabel maupun grafik. Dalam penelitian ini dilakukan analisis distribusi perpindahan panas yang terjadi. Dari hasil yang muncul nantinya digunakan pada simulasi berikutnya untuk mengetahui optimasi perpindahan panas yang terjadi.

## 3.6 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan seperti gambar 3.5 berikut



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

Pada bab ini ditampilkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan pada tahap penelitian sebelumnya, hasil tersebut kemudian dianalisis, dimana hasil dari analisis tersebut juga dijelaskan pada bagian ini.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan nilai-nilai parameter temperatur pada setiap titik pada *porous media chamber* yang di gunakan untuk pengolahan data pada penelitian ini.

#### 4.2 Pengolahan Data

##### 4.2.1 Data Penelitian

Data – data yang berkaitan dengan penelitian ini adalah :

1. Aliran udara dengan temperatur 323 K secara tangensial terhadap *porous media*.
2. Spesifikasi dari rancangan yang digunakan adalah sebagai berikut :
  - a. *Porous media chamber*
    - Panjang : 260 mm
    - Lebar : 40 mm
    - Tinggi : 51 mm
    - Material dinding : Kaca
    - Diameter inlet : 8 mm
    - Diameter Outlet : 8 mm
  - b. Temperatur udara masuk : 323 K
  - c. Kecepatan udara masuk : 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 m/s
  - d. Dimensi porous media adalah panjang 240 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 20 mm.
  - e. *Porous media* terbuat dari aluminium dengan porositas 0,38 %.

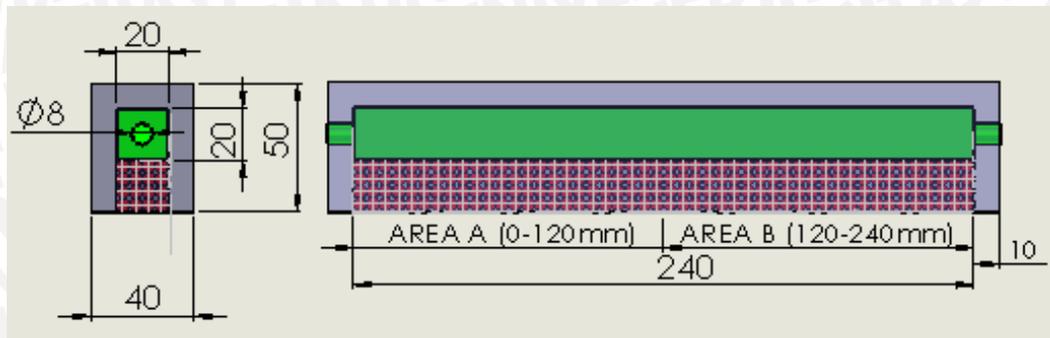
#### 4.3 Pembahasan

Pada penelitian ini pembahasan di fokuskan pada distribusi temperatur dari penampang dengan panjang 260 mm, distribusi temperatur secara melintang yang di ambil pada tiga zona yaitu zona 1 yang terdapat pada udara, zona 2 permukaan porous media dan zona 3 pada porous media, dan distribusi perpindahan panas pada porous media.



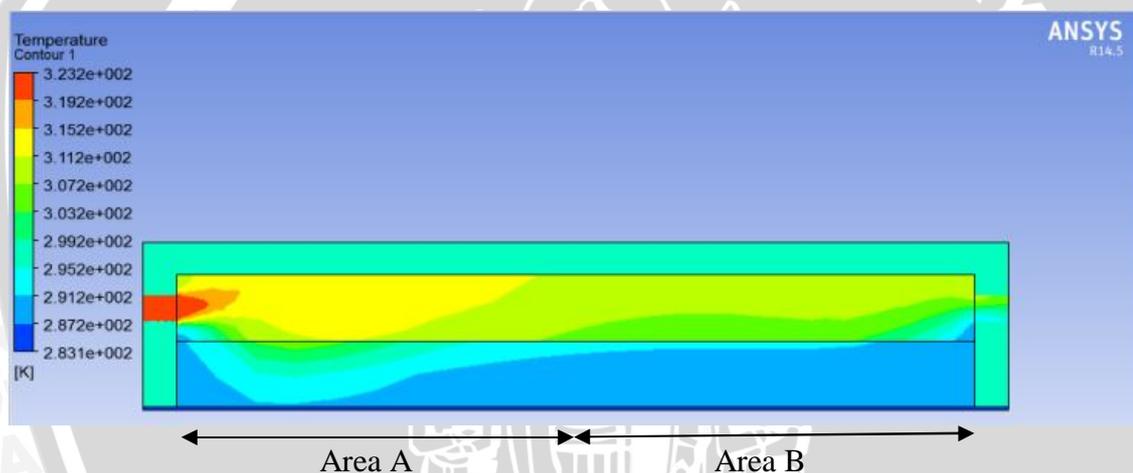
### 4.3.1 Pembahasan distribusi temperatur *porous media chamber* dari samping.

Pembagian area pada porous media chamber ini di bagi menjadi dua yaitu area A dengan jarak 0-120 mm dari inlet udara sedangkan area B pada jarak 120 mm – 240 mm dari inlet seperti pada gambar berikut ini.

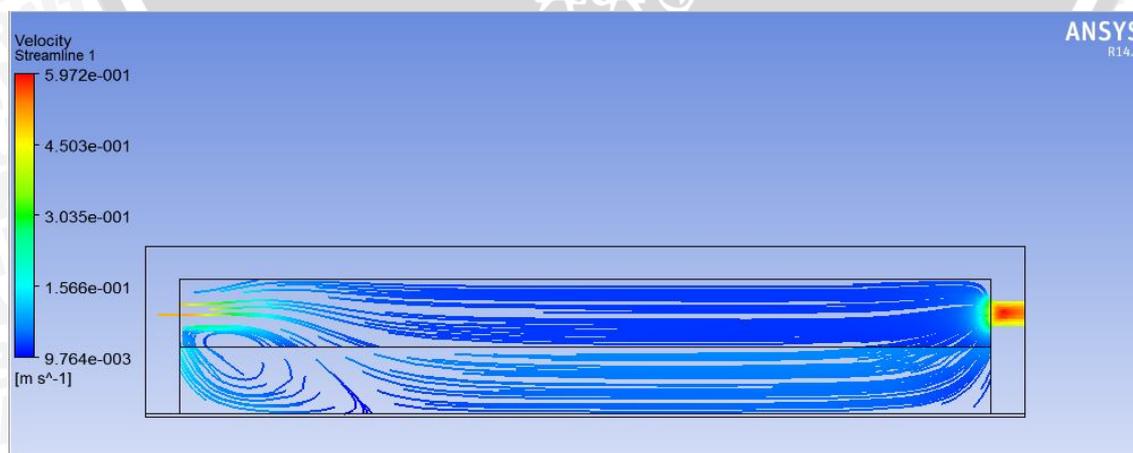


Gambar 4.1 Penampang melintang *porous media chamber*  
Sumber : Solidworks Professional 2012

#### A. Kecepatan udara masuk 0,5 m/s



Gambar 4.2 Gambar distribusi temperatur pada kecepatan 0,5 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5



Gambar 4.3 Gambar garis alur kecepatan 0,5 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

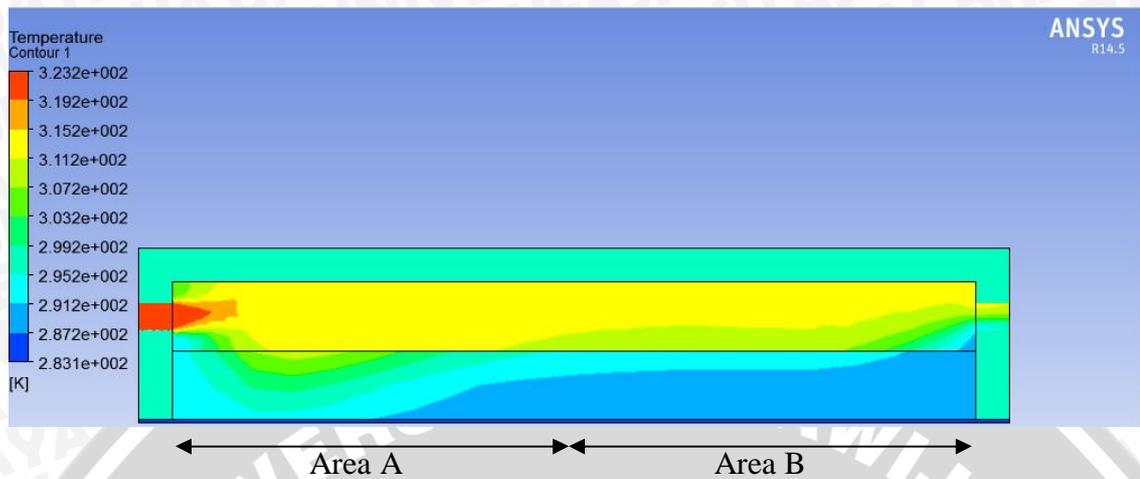
Gambar 4.2 menunjukkan kontur distribusi temperatur dan garis alur kecepatan pada *porous media chamber* dengan kecepatan udara masuk 0,5 m/s. Dari hasil kontur tersebut, dibagi menjadi dua area, yaitu area A dan area B. Area A adalah area yang memiliki panjang 120 mm setelah inlet (*sudden enlargement*). Sedangkan area B adalah area yang memiliki panjang 120 mm setelah area A dan terdapat outlet (*sudden construction*).

Pada area A, terdapat 9 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 6 warna pada aliran udara masuk dan 3 warna pada *porous media*. Kontur warna – warna tersebut mempunyai batas temperatur maksimum dan minimum sesuai dengan keterangan di sebelahnya. Pada area A, ketika udara masuk dimasukkan melewati *inlet* dengan penampang 8 mm, temperatur sebesar 323 K dengan kecepatan 0,5 m/s. Setelah melewati *sudden enlargement*, terdapat kontur warna yang berbeda – beda yang menunjukkan besarnya temperatur pada daerah tersebut juga berbeda – beda. Semakin jauh dari *inlet*, temperatur udara masuk tersebut semakin turun. Pada udara udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna kuning dengan batas 311,2 K – 352,2 K Sedangkan pada *porous media*, terdapat 3 macam kontur warna yaitu biru tua (287,2 K – 291,2 K) biru muda (287,2 K – 291,2 K) dan hijau muda (299,2 K – 303,2 K). Perbedaan kontur warna tersebut menandakan terjadinya perpindahan panas antara udara dengan porous media. Pada daerah mendekati *inlet* dari *porous media chamber* terbentuk kontur yang menyerupai lembah. Hal ini disebabkan karena setelah udara melewati *inlet* udara mengalami *sudden enlargement* sehingga aliran udara belum berkembang penuh hal ini dapat ditunjukkan dengan gambar 4.3. Pada awal udara masuk terdapat vortek aliran sehingga menyebabkan temperatur pada daerah yang mendekati *inlet* lebih rendah.

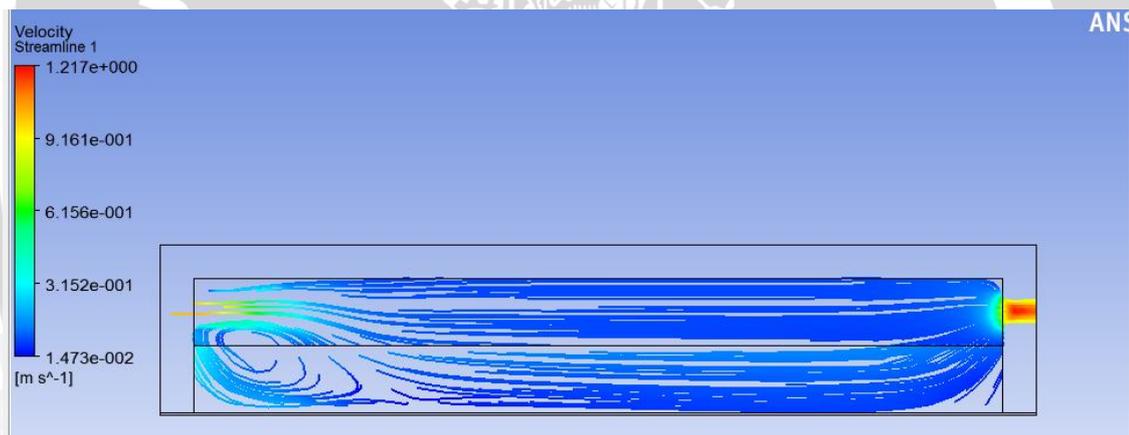
Pada area B, terdapat 5 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 4 warna pada aliran udara masuk dan 2 warna pada *porous media*. Pada aliran udara udara semakin dekat fluid udara dengan porous media maka temperatur udara juga semakin rendah. Namun terdapat perbedaan yang sangat mencolok pada kontur temperatur porous media antara area A dan area B. Gradien temperatur pada *porous media* di area B cenderung sama dan konstan. Gradient temperatur yang terjadi pada *porous media* juga lebih rendah dari pada area A. Hal ini di karenakan pada area B udara udara sudah mengalami pendinginan sehingga gradien temperatur yang terjadi juga semakin rendah.

Pada daerah mendekati *outlet*, udara udara mengalami *sudden constriction* temperatur *porous media* cenderung sama dengan temperatur plat yaitu 283,1 K.

### B. Kecepatan udara masuk 1 m/s



Gambar 4.4 Gambar distribusi temperatur pada kecepatan 1 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5



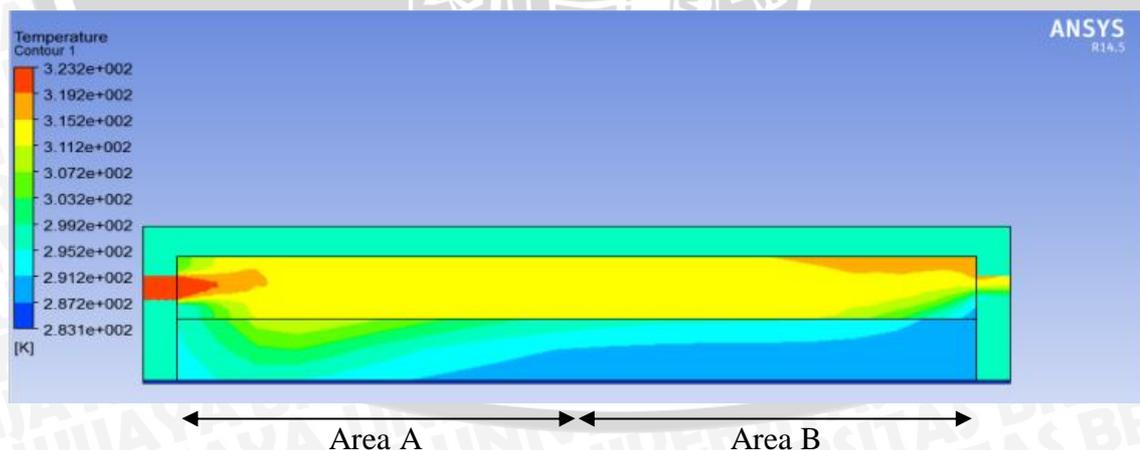
Gambar 4.5 Gambar garis alur kecepatan 1 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

Gambar 4.4 menunjukkan kontur distribusi temperatur dan garis alur kecepatan pada *porous media chamber* dengan kecepatan udara masuk 1 m/s. Pada area A, terdapat 9 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 6 warna pada aliran udara masuk dan 6 warna pada *porous media*. Kontur warna – warna tersebut mempunyai batas temperatur maksimum dan minimum sesuai dengan keterangan di sebelahnya. Pada area A, ketika udara masuk dimasukkan melewati inlet dengan penampang 8 mm, temperatur sebesar 323 K dengan kecepatan 1 m/s. Setelah melewati *sudden enlargement*, terdapat kontur warna yang berbeda – beda yang menunjukkan besarnya temperatur pada daerah tersebut juga berbeda – beda. Pada udara udara kontur

warna yang dominan muncul adalah warna kuning dengan batas 311,2 K – 315,2 K. Sedangkan pada *porous media*, terdapat 6 macam kontur warna yaitu biru tua, biru muda, dan 4 warna kontur hijau. Perbedaan kontur warna tersebut menandakan terjadinya perpindahan panas antara udara dengan porous media. Pada daerah mendekati *inlet* dari *porous media chamber* terbentuk kontur yang menyerupai lembah. Hal ini disebabkan karena setelah udara melewati *inlet* udara mengalami *sudden enlargement* sehingga aliran udara belum berkembang penuh hal ini dapat ditunjukkan dengan gambar 4.5. Pada awal udara masuk terdapat vortek aliran sehingga menyebabkan temperatur pada daerah yang mendekati *inlet* lebih rendah.

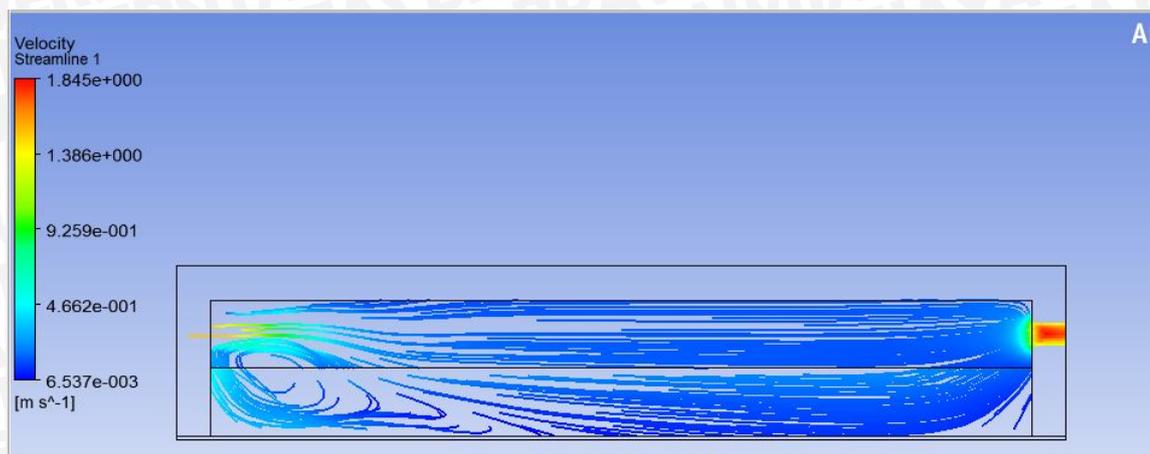
Pada area B, terdapat 5 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 4 warna pada aliran udara masuk dan 2 warna pada *porous media*. Pada aliran udara udara semakin dekat fluid udara dengan porous media maka temperatur udara juga semakin rendah. Pada area B udara udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna kuning dengan batas 311,2 K – 352,2 K. Gradien temperatur pada *porous media* di area B cenderung sama dan konstan. Gradient temperatur yang terjadi pada *porous media* juga lebih rendah dari pada area A. Hal ini di karenakan pada area B udara udara sudah mengalami pendinginan sehingga gradien temperatur yang terjadi juga semakin rendah. Pada daerah mendekati *outlet*, udara udara mengalami *sudden constriction* temperatur *porous media* cenderung sama dengan temperatur plat yaitu 283,1 K.

### C. Kecepatan udara masuk 1,5 m/s



Gambar 4.6 Gambar distribusi temperatur pada kecepatan 1,5 m/s

Sumber : Ansys ® Workbench 14,5



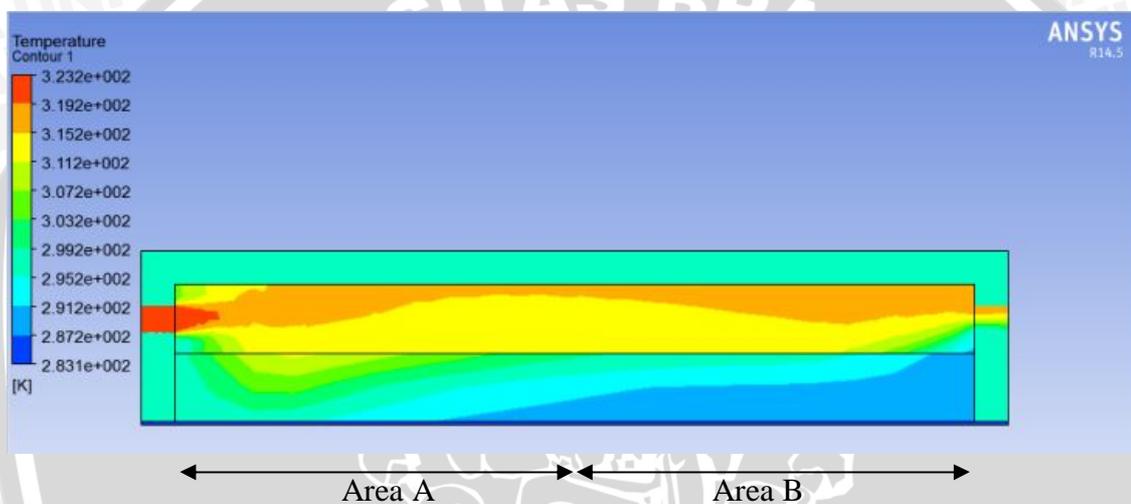
Gambar 4.7 Gambar garis alur kecepatan 1,5 m/s  
Sumber : Ansys® Workbench 14,5

Gambar 4.6 menunjukkan kontur distribusi temperatur dan garis alur kecepatan pada *porous media chamber* dengan kecepatan udara masuk 1,5 m/s. Pada area A, terdapat 9 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 5 warna pada aliran udara masuk dan 6 warna pada *porous media*. Kontur warna – warna tersebut mempunyai batas temperatur maksimum dan minimum sesuai dengan keterangan di yang tercantum pada sebelahnyanya. Pada area A, ketika udara masuk melewati inlet dengan penampang 8 mm, temperatur sebesar 323 K dengan kecepatan 1,5 m/s. Setelah melewati *sudden enlargement*, terdapat kontur warna yang berbeda – beda yang menunjukkan besarnya temperatur pada daerah tersebut juga berbeda – beda. Pada udara udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna kuning dengan batas 311,2 K – 315,2 K. Sedangkan pada *porous media*, terdapat 6 macam kontur warna yaitu biru tua, biru muda, dan 4 warna kontur hijau. Perbedaan kontur warna tersebut menandakan terjadinya perpindahan panas antara udara dengan porous media. Pada daerah mendekati *inlet* dari *porous media chamber* terbentuk kontur yang menyerupai lembah. hal ini disebabkan karena setelah udara melewati inlet udara mengalami *sudden enlargement* sehingga aliran udara belum berkembang penuh. Pada awal udara masuk terdapat gradien temperatur yang tinggi hal ini dapat di lihat pada kontur yang di tunjukan dengan warna hijau terjadi vortex pada aliran sehingga temperatur lebih rendah.

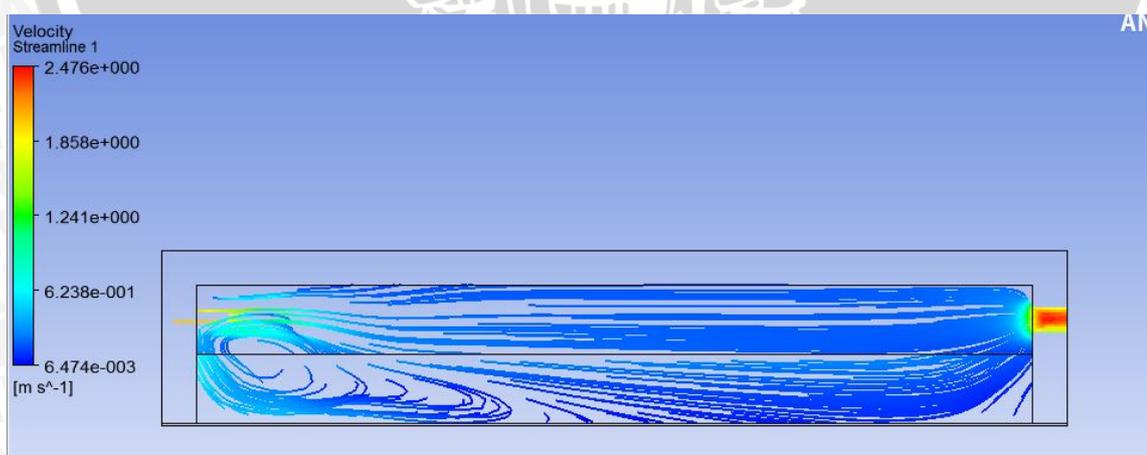
Pada area B, terdapat 6 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 4 warna pada aliran udara masuk dan 2 warna pada *porous media*. Pada aliran udara udara semakin dekat udara udara dengan porous media maka temperatur udara juga semakin rendah. Pada udara udara pada daerah mendekati *sudden construction* temperatur udara

pada daerah yang dekat dengan dinding mengalami kenaikan hal ini disebabkan kecepatan pendinginan lebih rendah dari pada laju perpindahan panas sehingga temperatur lebih tinggi. Gradien temperatur pada *porous media* di area B cenderung sama dan konstan. Gradient temperatur yang terjadi pada *porous media* juga lebih rendah dari pada area A. Hal ini di karenakan pada area B udara udara sudah mengalami pendinginan sehingga gradien temperatur yang terjadi juga semakin rendah. Pada daerah mendekati *outlet*, udara udara mengalami *sudden constriction* temperatur *porous media* cenderung sama dengan temperatur plat yaitu 283,1 K.

#### D. Kecepatan udara masuk 2 m/s



Gambar 4.8 Gambar distribusi temperatur pada kecepatan 2 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5



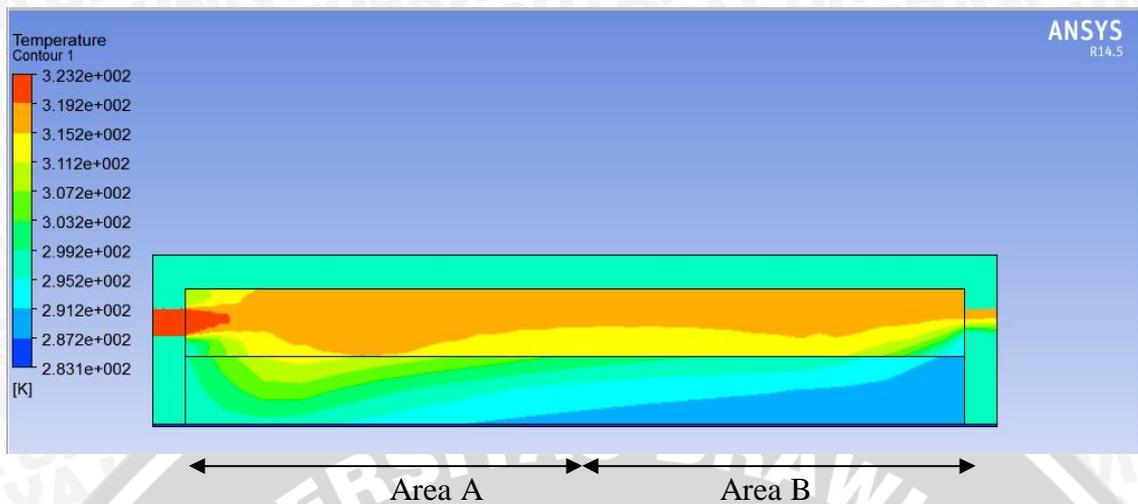
Gambar 4.9 Gambar garis alur kecepatan 2 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

Gambar 4.8 menunjukkan kontur distribusi temperatur dan garis alur kecepatan pada *porous media chamber* dengan kecepatan udara masuk 2 m/s. Pada area A,

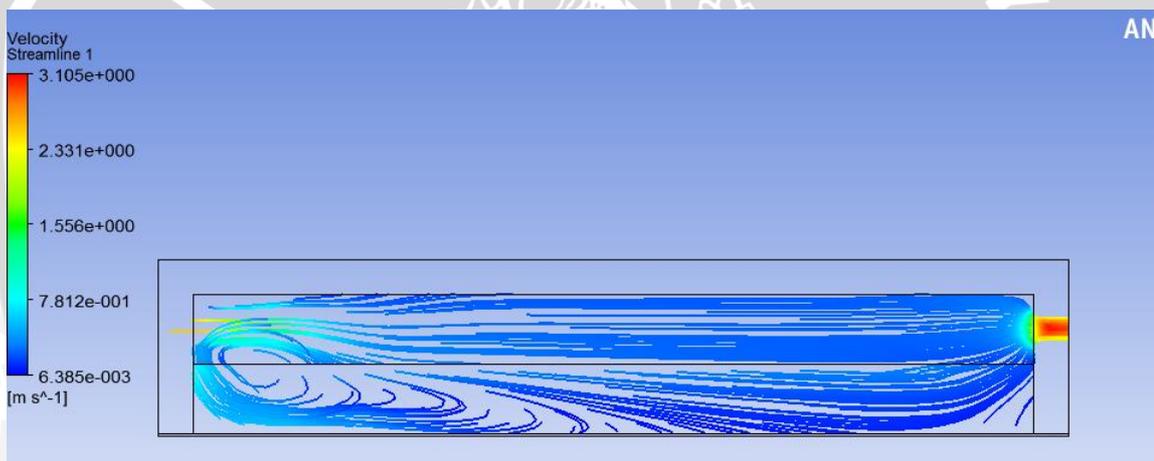
terdapat 9 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 6 warna pada aliran udara masuk dan 6 warna pada *porous media*. Kontur warna – warna tersebut mempunyai batas temperatur maksimum dan minimum sesuai dengan keterangan di sebelahnya. Pada area A, ketika udara masuk dimasukkan melewati inlet dengan penampang 8 mm, temperatur sebesar 323 K dengan kecepatan 2 m/s. Setelah melewati *sudden enlargement*, terdapat kontur warna yang berbeda – beda yang menunjukkan besarnya temperatur pada daerah tersebut juga berbeda – beda. Pada *udara* udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna kuning dengan batas 311,2 K – 352,2 K. Kontur warna yang dominan ke dua adalah warna orange batas 352,2 K – 392,2 K. Sedangkan pada *porous media*, terdapat 6 macam kontur warna yaitu biru tua, biru muda, dan 5 warna kontur hijau. Perbedaan kontur warna tersebut menandakan terjadinya perpindahan panas antara udara dengan *porous media*. Pada daerah mendekati *inlet* dari *porous media chamber* terbentuk kontur yang menyerupai lembah. Pada daerah mendekati *inlet* dari *porous media chamber* terbentuk kontur yang menyerupai lembah. hal ini disebabkan karena setelah udara melewati inlet udara mengalami *sudden enlargement* sehingga aliran udara belum berkembang penuh. Pada awal *udara* masuk terdapat gradien temperatur yang tinggi hal ini dapat di lihat pada kontur yang di tunjukan dengan warna hijau terjadi vortex pada aliran sehingga temperatur lebih rendah.

Pada area B, terdapat 6 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 4 warna pada aliran udara masuk dan 3 warna pada *porous media*. Pada aliran udara udara semakin dekat udara udara dengan *porous media* maka temperatur udara juga semakin rendah. Sedangkan pada daerah yang dekat dengan dinding temperatur cenderung lebih tinggi karena laju perpindahan panas antara udara dengan dinding lebih rendah dari pada antara udara dengan *porous media* sehingga menyebabkan temperatur udara lebih tinggi. Selain itu dikarenakan kecepatan pendinginan lebih rendah dari pada laju perpindahan panas sehingga temperatur lebih tinggi. pada daerah Pada area B udara udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna kuning dengan batas 311,2 K – 315,2 K. Gradien temperatur pada *porous media* di area B cenderung sama dan konstan. Gradient temperatur yang terjadi pada *porous media* juga lebih rendah dari pada area A. Hal ini di karenakan pada area B udara udara sudah mengalami pendinginan sehingga gradien temperatur yang terjadi juga semakin rendah. Pada daerah mendekati *outlet*, udara udara mengalami *sudden construction* temperatur *porous media* cenderung sama dengan temperatur plat yait 283,1 K.

### E. Kecepatan udara masuk 2,5 m/s



Gambar 4.10 Gambar distribusi temperatur pada kecepatan 2,5 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5



Gambar 4.11 Gambar garis alur kecepatan 2,5 m/s  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

Pada area A, terdapat 9 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 6 warna pada aliran udara masuk dan 6 warna pada *porous media*. Kontur warna – warna tersebut mempunyai batas temperatur maksimum dan minimum sesuai dengan keterangan di sebelumnya. Pada area A, ketika udara masuk dimasukkan melewati inlet dengan penampang 8 mm, temperatur sebesar 323 K dengan kecepatan 1 m/s. Setelah melewati *sudden enlargement*, terdapat kontur warna yang berbeda – beda yang menunjukkan besarnya temperatur pada daerah tersebut juga berbeda – beda. Pada udara udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna orange batas 352,2 K – 392,2 K. Sedangkan pada *porous media*, terdapat 7 macam kontur warna yaitu biru tua,

biru muda, dan 5 warna kontur hijau. Perbedaan kontur warna tersebut menandakan terjadinya perpindahan panas antara udara dengan porous media. Pada daerah mendekati *inlet* dari *porous media chamber* terbentuk kontur yang menyerupai lembah. Pada awal *udara* masuk terdapat gradien temperatur yang tinggi hal ini dapat di lihat pada kontur yang di tunjukan dengan warna hijau muda setelah mencapai titik tertentu gradien temperatur cenderung menurun. Pada daerah inlet terjadi gradien temperatur yang tinggi diakibatkan karena saat *udara* melewati *inlet*, *udara* melalui *sudden enlargement* sehingga aliran *udara* belum berkembang penuh hingga mencapai jarak tertentu dengan temperatur yang masih relatif tinggi maka terjadi perpindahan panas yang besar antara *udara* udara dengan *porous media*. Selain itu pada kecepatan udara udara 2,5 m/s luasan vortex yang disebabkan *sudden enlargement* lebih luas sehingga gradien temperatur juga lebih tinggi

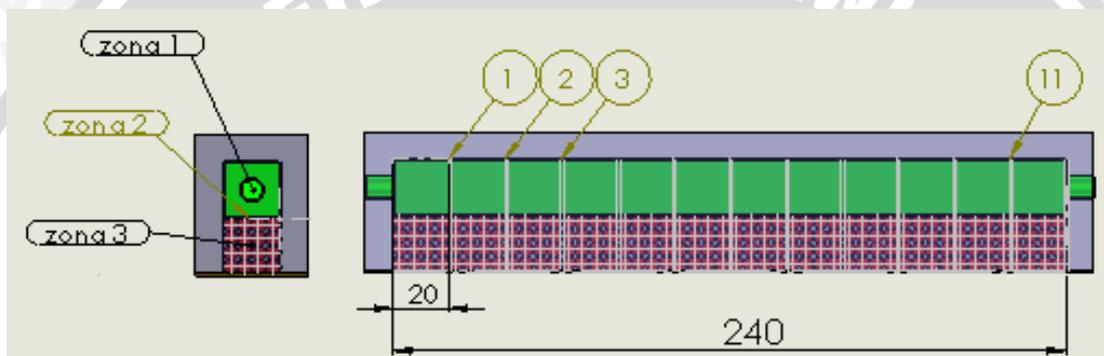
Pada area B, terdapat 6 kontur warna yang berbeda – beda dengan distribusi 4 warna pada aliran udara masuk dan 3 warna pada *porous media*. Pada aliran udara udara semakin dekat udara udara dengan porous media maka temperatur udara juga semakin rendah. Sedangkan pada daerah yang dekat dengan dinding temperatur cenderung lebih tinggi karena laju perpindahan panas antara udara dengan dinding lebih rendah dari pada antara udara dengan *porous media* sehingga menyebabkan temperatur udara lebih tinggi. Selain itu dikarenakan kecepatan pendinginan lebih rendah dari pada laju perpindahan panas sehingga temperatur lebih tinggi. Pada area B udara udara kontur warna yang dominan muncul adalah warna orange batas 352,2 K – 392,2 K. Gradien temperatur pada *porous media* di area B cenderung sama dan konstan. Gradient temperatur yang terjadi pada *porous media* juga lebih rendah dari pada area A. Hal ini di karenakan pada area B udara udara sudah mengalami pendinginan sehingga gradien temperatur yang terjadi juga semakin rendah. Pada daerah mendekati *outlet*, udara udara mengalami *sudden constriction* temperatur *porous media* cenderung sama dengan temperatur plat yaitu 283,1 K.

Secara garis besar perbedaan yang mencolok dari kelima kontur temperatur dari *porous media chamber* jika ditinjau dari udara udaranya adalah semakin cepat kecerpatan udara udara maka semakin udara jauh dari inlet maka temperatur udara akan cenderung sama ketika udara memasuki inlet ini disebabkan semakin cepat udara udara maka kemampuan porous media untuk menyerap panas dari udara akan semakin rendah hal ini di bukikan dari semain besar luasan kontur warna orange. Jika dilihat dari porous media semakin tinggi kecepatan udara maka distribusi temperatur *porous media* pada

daerah mendekati inlet temperatur porous media semakin tinggi, dan juga distribusi temperatur yang semakin tinggi pada kecepatan udara yang semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Wu-Shung Fu (2000) yang menyatakan bahwa media berpori dengan porositas yang lebih besar dapat memberikan disipasi panas yang tinggi.

#### 4.3.2 Pembahasan distribusi temperatur *porous media chamber* secara melintang.

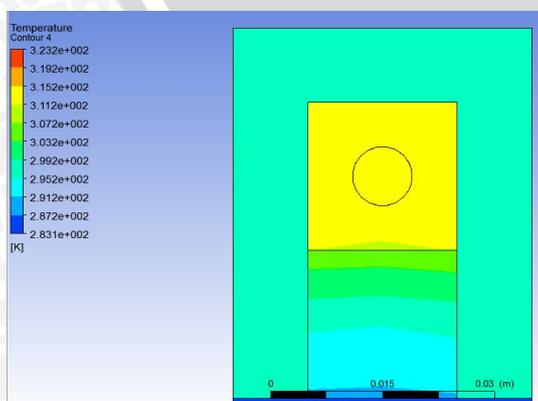
Dalam pembahasan ini, distribusi temperatur dibagi menjadi 3 zona, yaitu zona 1 pada udara, zona 2 pada permukaan *porous media*, zona 3 pada daerah tengah *porous media* yang bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur pada tiap daerah. Pembagian jarak tiap 20 mm dari inlet searah sumbu x. Di bawah ini ditunjukkan pembagian zona – zona dan jarak yang dimaksud.



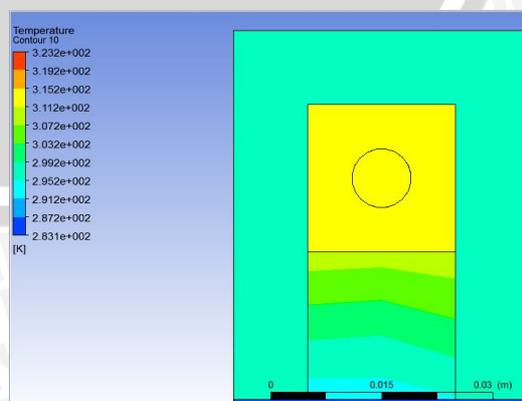
Gambar 4.12 Penampang melintang *porous media chamber*  
Sumber : Solidworks Professional 2012

##### A. Distribusi temperatur pada jarak 40 mm

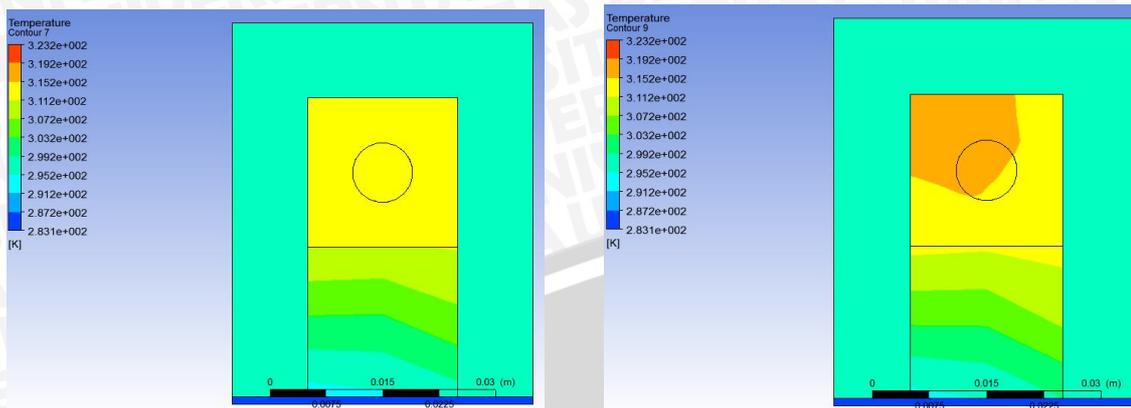
Pada pembahasan ini diambil contoh penampang dengan jarak 40 mm dari inlet hal ini dikarenakan pada penampang samping pada daerah disekitar 40 mm distribusi temperatur pada porous media dan udara uadar terdapat perbedaan yang tinggi.



A. Kecepatan udara udara 0,5 m/s

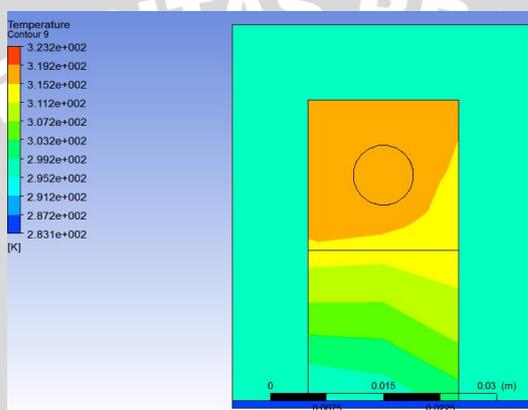


B. Kecepatan udara udara 1 m/s



C. Kecepatan udara udara 1,5 m/s

D. Kecepatan udara udara 2 m/s



E. Kecepatan udara udara 2,5 m/s

Gambar 4.13 Kontur pada jarak 40 mm dari inlet dengan berbagai variasi kecepatan.  
Sumber : Ansys ® Workbench 14,5

Dari gambar 4.13 dengan adanya perbedaan kecepatan udara masuk, terlihat perbedaan kontur warna yang terjadi. Agar lebih memudahkan melihat adanya perbedaan, gambar 4.13 dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian udara dan *porous media*.

Pada bagian udara dengan kecepatan udara masuk yang semakin tinggi, distribusi temperatur pada jarak yang sama, yaitu 40 mm dari inlet lebih besar. Dari kontur warna terlihat bahwa pada temperatur udara masuk 323 K hanya terdapat warna hijau muda dan kuning. Warna hijau muda tepat di atas saluran masuk.

Pada kecepatan udara 0,5, 1, 1,5 m/s kontur warna yang ditunjukkan adalah warna kuning dengan kisaran temperatur 311,2 K sampai 315,2 K. Sedangkan pada temperatur udara masuk 2, 2,5 m/s terdapat warna orange dengan kisaran temperatur 315,2 K sampai 319,2 K. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara maka pada jarak 40 mm dari inlet maka distribusinya semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena laju perpindahan massa dari udara lebih tinggi dibandingkan dengan

laju perpindahan kalor, sehingga menyebabkan temperatur lebih tinggi pada kecepatan udara udara yang semakin tinggi pada temperatur *inlet* yang sama.

Sedangkan pada *porous media* terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan udara masuk maka temperatur yang muncul pada porous media memiliki temperatur yang lebih tinggi. Perbedaan yang mencolok yaitu pada kecepatan 0,5 m/s dengan kecepatan 2,5 m/s. Pada kecepatan 0,5 m/s gradien temperatur pada porous media lebih kecil dari kecepatan 2,5 m/s.

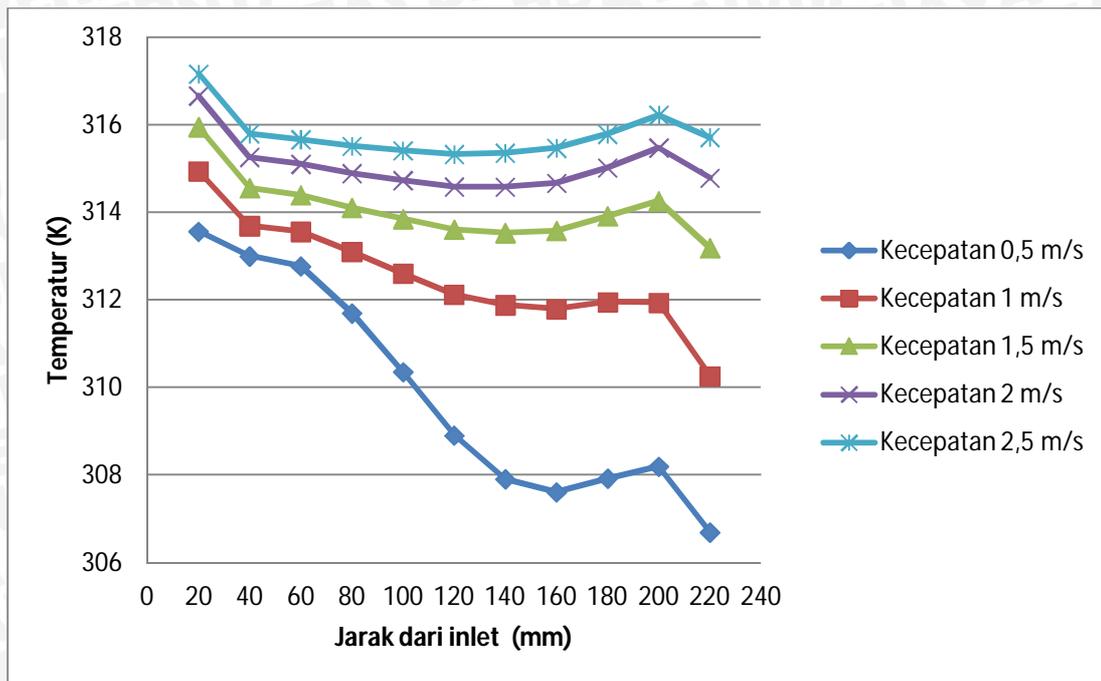
## B. Distribusi temperatur pada tiap titik.

Dalam pembahasan ini, distribusi temperatur dibagi menjadi 3 zona yang bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur pada tiap titik, yaitu distribusi temperatur pada udara, permukaan *porous media*, dan *porous media* itu sendiri. Di bawah ini ditunjukkan pembagian zona – zona yang dimaksud.

### a. Data Hasil Simulasi Zona 1

Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi Zona 1

No	Jarak (mm)	Distribusi Temperatur (K)				
		kecepatan 0,5 m/s	kecepatan 1 m/s	kecepatan 1,5 m/s	kecepatan 2 m/s	kecepatan 2,5 m/s
1	20	313,563	314,943	315,953	316,661	317,166
2	40	313,002	313,694	314,558	315,261	315,801
3	60	312,772	313,562	314,399	315,102	315,668
4	80	311,697	313,103	314,109	314,894	315,516
5	100	310,357	312,607	313,855	314,734	315,415
6	120	308,907	312,121	313,612	314,589	315,331
7	140	307,91	311,882	313,533	314,58	315,361
8	160	307,61	311,794	313,583	314,67	315,467
9	180	307,923	311,952	313,916	315,02	315,788
10	200	308,196	311,939	314,263	315,477	316,224
11	220	306,693	310,262	313,185	314,789	315,714



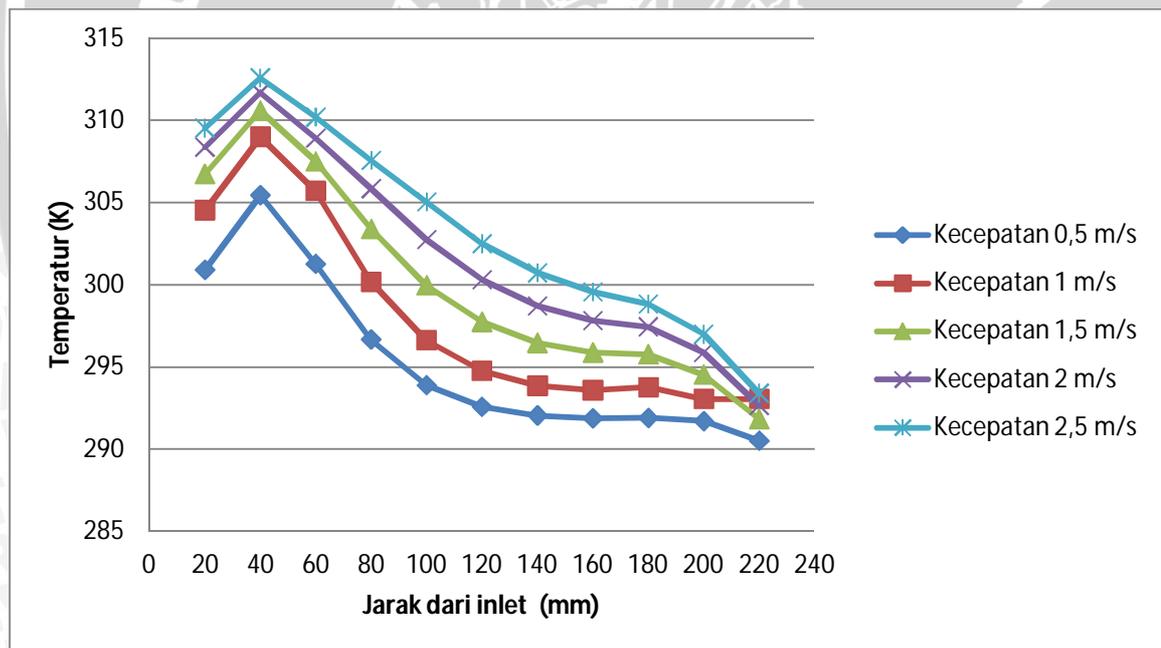
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Jarak dengan Distribusi Temperatur pada Zona 1

Gambar 4.14 menjelaskan hubungan distribusi temperatur antara jarak udara masuk dari inlet dengan temperatur pada udara dengan variasi bebasnya adalah kecepatan udara. Gambar 4.14 memiliki kecenderungan yang sama. Semakin jauh udara masuk dari inlet maka temperatur udara akan semakin menurun. Ini diakibatkan karena udara mengalami perpindahan panas dengan porous media. Pada daerah antar 0 mm – 40 mm dan antara 200 mm – 220 mm terjadi gradien temperatur yang tinggi ini diperlihatkan dengan gradien temperatur yang tinggi ini disebabkan udara mengalami *sudden enlargement* pada daerah inlet. Sehingga menyebabkan aliran udara belum berkembang penuh sehingga menyebabkan gradien temperatur yang tinggi. Selain itu pada jarak antara 0 mm- 40 mm terjadi vortek pada aliran udara yang menyebabkan udara terjebak pada daerah tersebut. Sedangkan area 220 mm – 240 mm udara terpengaruh dengan *sudden construction*. Pada jarak 160 mm maka udara mengalami suhu paling rendah setelah melewati daerah tersebut pada titik pengambilan data pada udara mengalami sedikit peningkatan temperatur udara. Ini juga dipengaruhi karena *sudden construction* dari aliran udara yang menyebabkan aliran udara diarahkan melewati luasan penampang yang lebih kecil sehingga terdapat udara yang terjebak sehingga menyebabkan perpindahan panas semakin menurun yang menyebabkan temperatur udara semakin meningkat.

### b. Data Hasil Simulasi Zona 2

Tabel 4.2 Data Hasil Simulasi Zona 2

No	Jarak (mm)	Distribusi Temperatur (K)				
		kecepatan 0,5 m/s	kecepatan 1 m/s	kecepatan 1,5 m/s	kecepatan 2 m/s	kecepatan 2,5 m/s
1	20	300,912	304,539	306,747	308,368	309,535
2	40	305,456	309,007	310,602	311,705	312,594
3	60	301,271	305,72	307,516	308,938	310,198
4	80	296,67	300,171	303,397	305,847	307,564
5	100	293,886	296,624	299,971	302,752	305,051
6	120	292,576	294,758	297,744	300,309	302,5
7	140	292,047	293,859	296,46	298,714	300,717
8	160	291,876	293,585	295,873	297,828	299,562
9	180	291,901	293,767	295,774	297,448	298,834
10	200	291,708	293,049	294,536	295,888	296,986
11	220	290,509	293,049	291,827	292,67	293,407



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Jarak dengan Distribusi Temperatur pada Zona 2

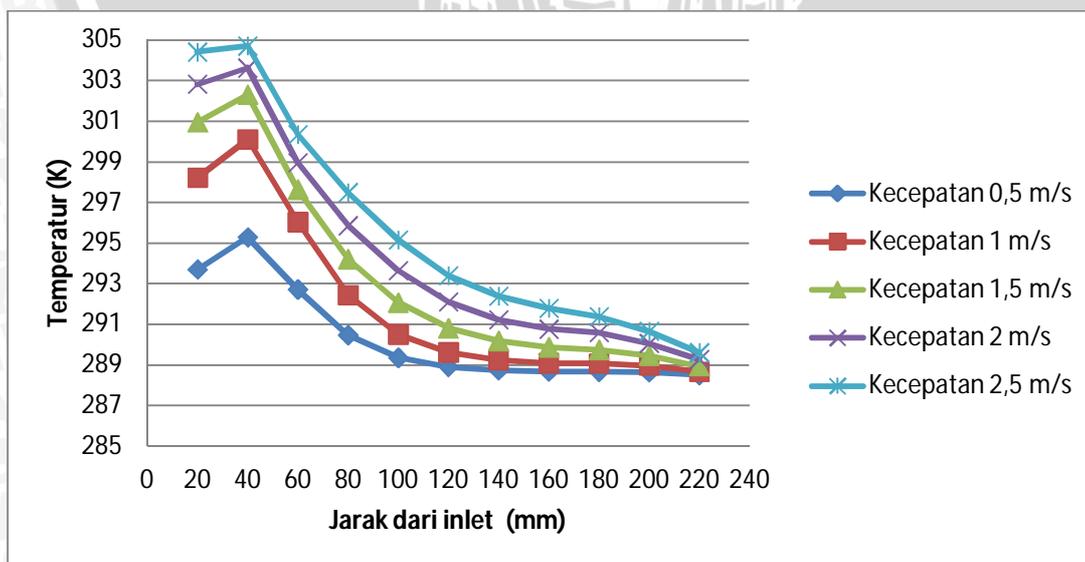
Gambar 4.15 menjelaskan hubungan jarak udara masuk dari inlet distribusi temperatur pada permukaan antara porous media dengan udara dengan dengan variasi kecepatan udara. Gambar 4.15 memiliki kecenderungan yang sama. Semakin jauh udara masuk dari inlet maka temperatur udara akan semakin menurun. Ini diakibatkan karena udara mengalami perpindahan panas dengan porous media. Pada daerah antar

20mm - 40mm dan antara 200 mm – 220 mm terjadi penurunan temperatur yang tinggi ini diperlihatkan dengan gradien temperatur yang tinggi ini disebabkan udara mengalami *sudden enlargement* pada daerah inlet. Semakin menurunnya temperatur udara masuk tersebut dikarenakan *porous media* yang terdapat pada *porous media chamber* mampu memindahkan panas yang dibawa oleh udara (*heat source*). Pada jarak 40 mm - 100 mm mengalami gradien temperatur yang paling tinggi ini disebabkan karena aliran udara sudah berkembang penuh pada jarak tersebut sehingga *porous media* dapat memindahkan panas secara maksimal.

### c. Data Hasil Simulasi Zona 3

Tabel 4.3 Data Hasil Simulasi Zona 3

No	Jarak (mm)	Distribusi Temperatur (K)				
		kecepatan 0,5 m/s	kecepatan 1 m/s	kecepatan 1,5 m/s	kecepatan 2 m/s	kecepatan 2,5 m/s
1	20	293,702	298,228	300,945	302,821	304,412
2	40	295,286	300,105	302,307	304,701	304,701
3	60	292,712	296,033	297,641	300,346	300,346
4	80	290,468	292,444	294,21	297,492	297,492
5	100	289,356	290,498	292,064	295,146	295,146
6	120	288,904	289,615	290,809	293,388	293,388
7	140	288,739	289,242	290,182	292,391	292,391
8	160	288,676	289,086	289,869	291,794	291,794
9	180	288,665	289,066	289,741	291,373	291,373
10	200	288,643	288,966	289,464	290,658	290,658
11	220	288,503	288,67	288,933	289,604	289,604



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Jarak dengan Distribusi Temperatur pada Zona 3

Gambar 4.16 menunjukkan hubungan antara temperatur udara masuk terhadap distribusi temperatur pada zona 3. Zona 3 merupakan zona dimana distribusi temperatur pada *porous media* dengan jarak tertentu. Dari keseluruhan grafik, pada jarak yang sama semakin tinggi temperatur udara masuk, maka distribusi temperatur juga semakin tinggi. Namun, pada jarak 40 mm, dari keseluruhan grafik terlihat mengalami peningkatan temperatur. Selain itu, dari grafik juga didapatkan informasi bahwa semakin jauh jarak pengukuran distribusi temperatur dari inlet, maka distribusi temperaturnya cenderung menunjukkan tren yang menurun dengan artian semakin jauh jarak pengukuran maka distribusi temperatur semakin rendah. Semakin menurunnya temperatur udara masuk tersebut dikarenakan *porous media* yang terdapat pada *chamber* mampu memindahkan panas yang dibawa oleh udara (*heat source*). Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa beda temperatur terbesar adalah pada kecepatan udara masuk 2,5 m/s, yaitu sebesar 14,808 K dan beda temperatur terendah yaitu dengan kecepatan udara masuk 0,5 m/s sebesar 5,199 K. Dari data tersebut dapat disimpulkan *porous media* mampu memindahkan panas dari udara panas (*heat source*).

#### 4.3.3 Distribusi perpindahan panas pada porous media

Dalam pembahasan ini, distribusi perpindahan panas yang ingin diketahui, yaitu distribusi perpindahan panas antara permukaan *porous media* dengan plat bawah. Di bawah ini ditunjukkan distribusi perpindahan panas tersebut.

Perhitungan perpindahan panas pada porous media dapat dihitung dengan rumus perpindahan panas konduksi yaitu

$$Q = - k_e A dt/dx \quad (\text{Incropera ;1996:45})$$

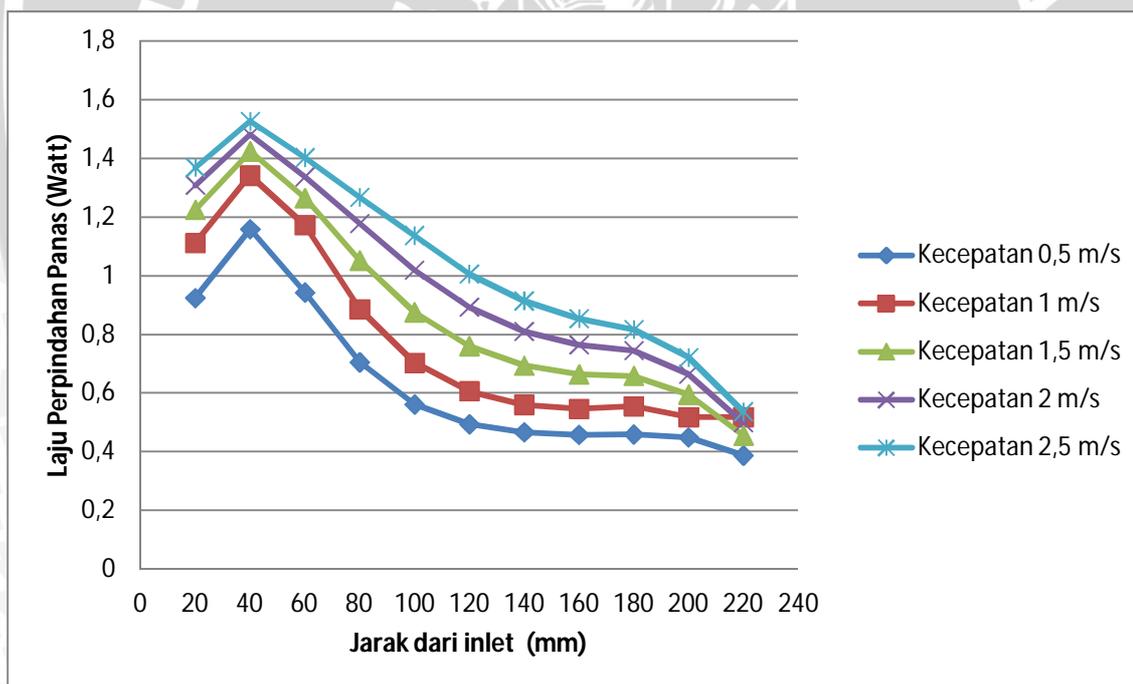
Sedangkan Kemudian, konduktivitas termal efektif porous media dalam kondisi udara dapat dihitung dari:

$$k'' = [(1 - \epsilon^{2/3}) + \{\epsilon^{2/3} / [(1 - \epsilon^{1/3}) + \epsilon^{1/3} (kp/ka)]\}] kp \quad (\text{Eko S,2013})$$

### c. Data Hasil Simulasi distribusi perpindahan panas pada porous media

Tabel 4.4 Data Hasil Simulasi distribusi perpindahan panas pada porous media

No	Jarak	Distribusi perpindahan panas pada <i>porous media</i> (Watt)				
		kecepatan 0,5 m/s	kecepatan 1 m/s	kecepatan 1,5 m/s	kecepatan 2 m/s	kecepatan 2,5 m/s
1	20	0,923	1,110	1,224	1,307	1,367
2	40	1,157	1,341	1,423	1,479	1,525
3	60	0,942	1,171	1,264	1,337	1,402
4	80	0,705	0,885	1,051	1,177	1,266
5	100	0,561	0,702	0,875	1,018	1,136
6	120	0,494	0,606	0,760	0,892	1,005
7	140	0,466	0,559	0,693	0,810	0,913
8	160	0,458	0,546	0,663	0,764	0,853
9	180	0,459	0,555	0,658	0,744	0,816
10	200	0,449	0,518	0,594	0,664	0,721
11	220	0,387	0,518	0,455	0,498	0,536



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Jarak dengan Distribusi laju perpindahan panas pada porous media

Dari gambar 4.17 distribusi perpindahan panas pada porous media memiliki kecenderungan yang sama dengan grafik distribusi temperatur pada zona 2 hal ini dikarenakan perhitungan distribusi temperatur pada porous media didapatkan dari selisih temperatur antara permukaan porous media dengan plat tembaga sebagai heat sink. Dari gambar 4.17 memiliki kecenderungan semakin jauh jarak dari jarak *inlet*

maka temperatur semakin menurun hal ini disebabkan karena udara udara sudah mengalami pendinginan ketika melewati porous media sehingga semakin jauh jarak dari inlet maka temperatur juga semakin menurun. Pada daerah antara 20 mm-40 mm dari *inlet* temperatur cenderung naik hal ini disebabkan ketika melewati *inlet* udara mengalami *sudden enlargement* sehingga aliran udara belum berkembang penuh pada daerah tersebut sehingga menyebabkan beda temperatur yang rendah.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan udara masuk pada *porous media chamber* maka distribusi temperatur pada *porous media* semakin besar.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan penambahan alat *flow conditioner*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi porositas.



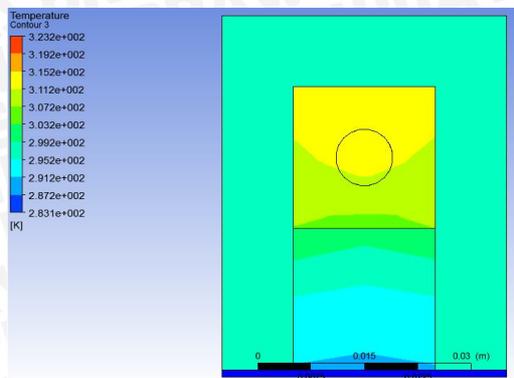
## DAFTAR PUSTAKA

- Asako, Yutaka ; 2001 : *Effective Thermal Conductivity of Compressed Woods* : Department of Mechanical Engineering, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo. Japan.
- Cengel, Yunus A. 1998. *Heat Transfer Practical Approach*. New York : Mc. Graw Hill, Ltd.
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor, Edisi 6, terjemah Ir. E. Jafisi, Msc*. New York : Mc. Graw Hill, Ltd.
- James K, Welty dan Charles E Wich. 1983. *Fundamental of Momentum, Heat and Mass Transfer*. New York : Mc. Graw Hill, Ltd.
- Kreith, Frank. 1997. *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*, terjemahan A. Priyono. Bandung : Erlangga
- Oousthuizen, Patrick H. 1999. *Heat and Mass Transfer*. New York : Mc. Graw Hill, Ltd.
- Siswanto, Eko. 2011. *Dynamics of Condensate Migration in Porous Media under Ambient Treatment*
- Siswanto, Eko. 2013. *Fluks Termal dalam Porous Media saat Mengkondensasi Uap*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.1 Tahun 2013 35-42

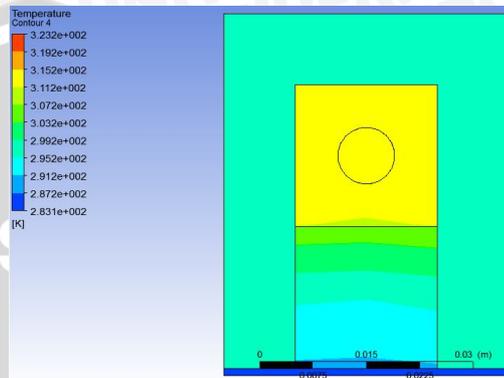
### Lampiran 1

Kecepatan aliran fluida 0,5 m/s

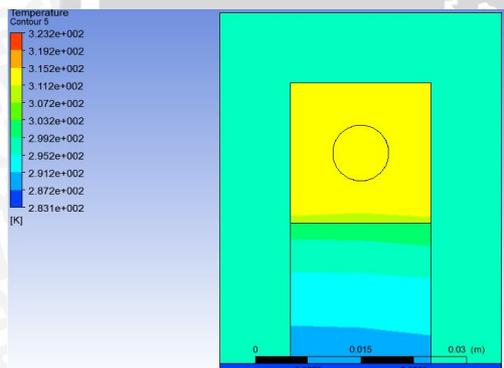
jarak 20 mm



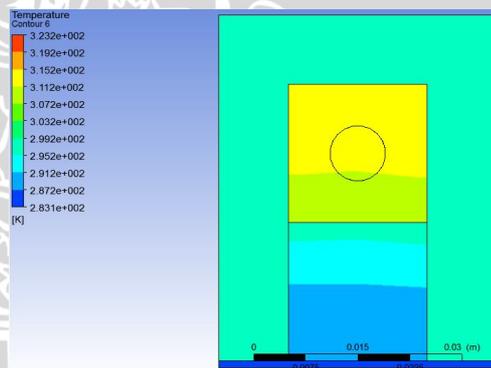
jarak 40 mm



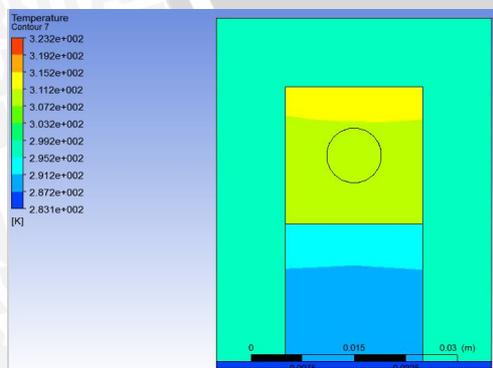
jarak 60 mm



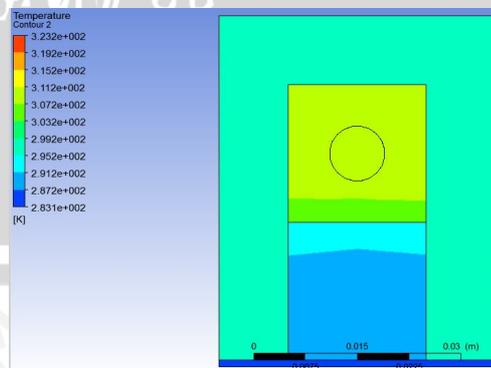
jarak 80 mm



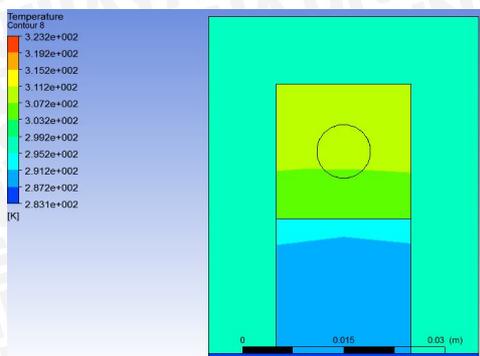
jarak 100 mm



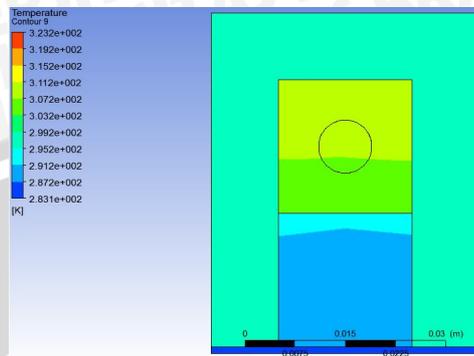
jarak 120 mm



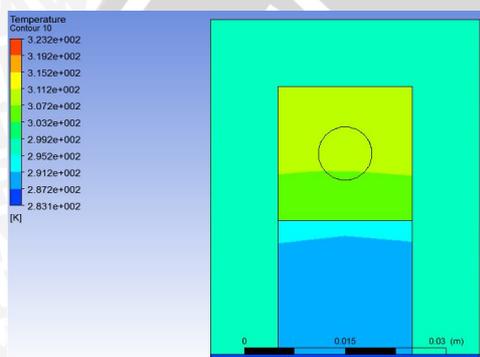
jarak 140 mm



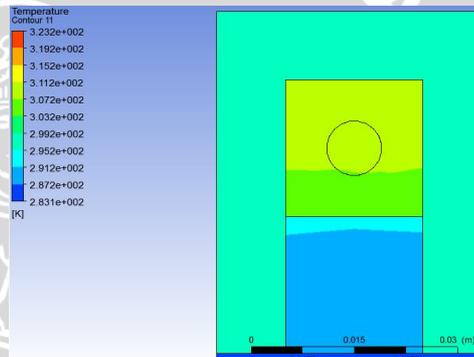
jarak 160 mm



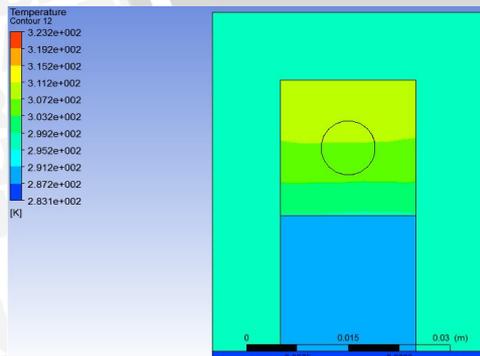
jarak 180 mm



jarak 200 mm

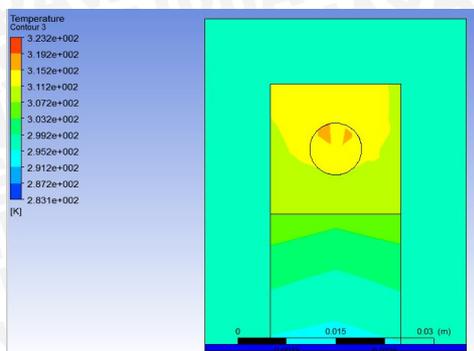


jarak 220 mm

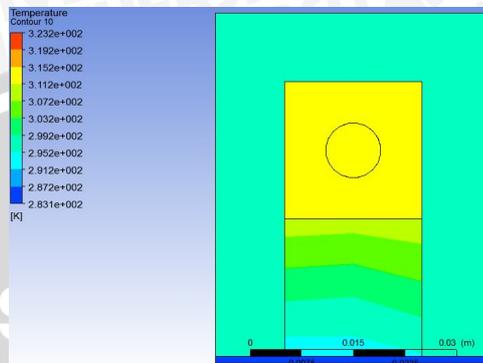


### Kecepatan udara masuk 1 m/s

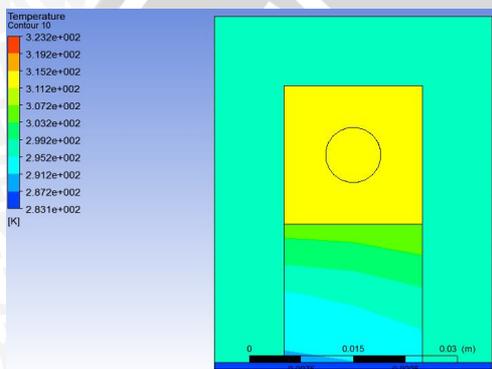
jarak 20 mm



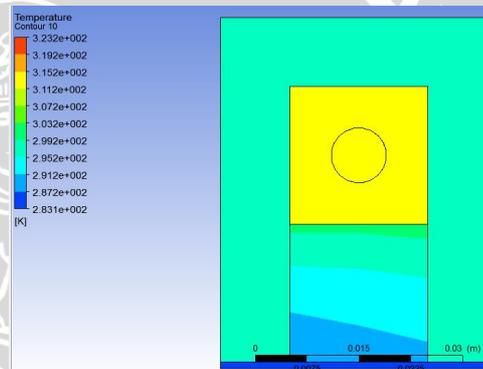
jarak 40 mm



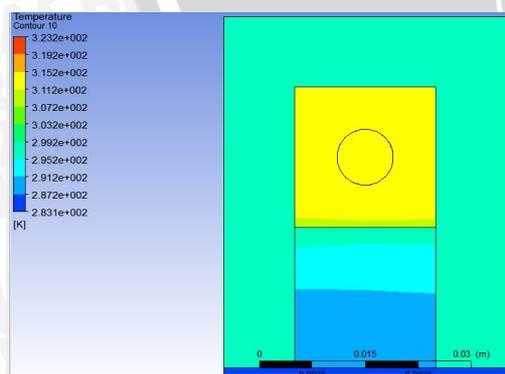
jarak 60 mm



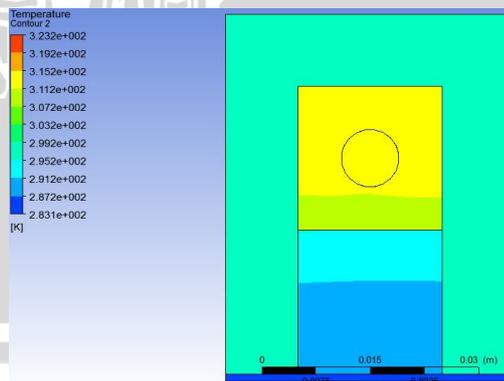
jarak 80 mm



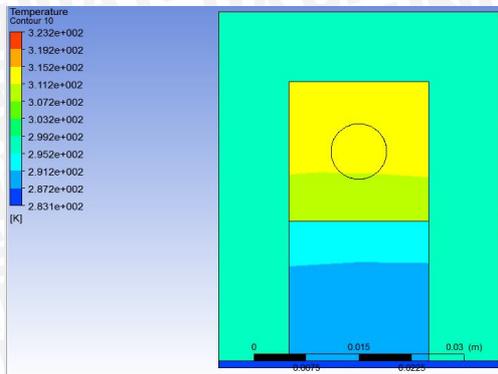
jarak 100 mm



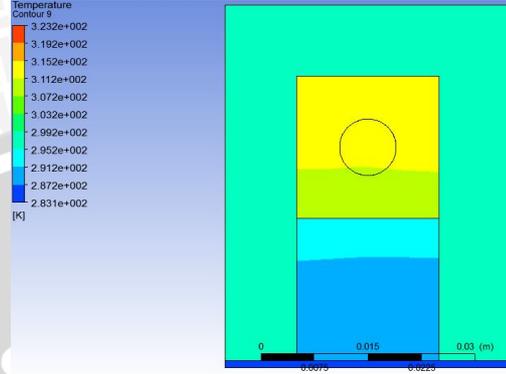
jarak 120 mm



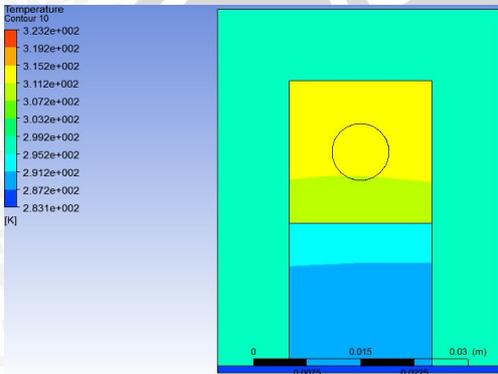
jarak 140 mm



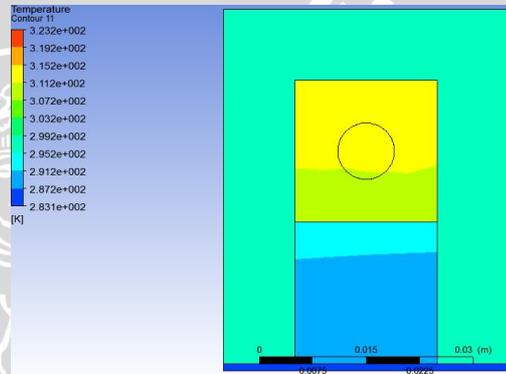
jarak 160 mm



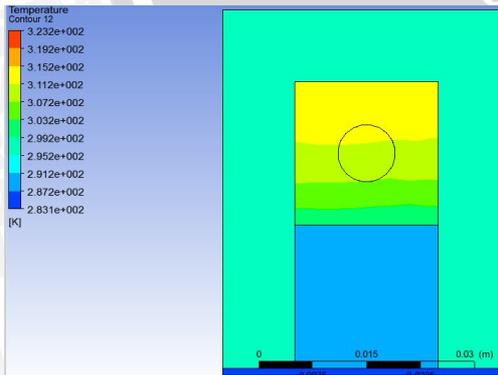
jarak 180 mm



jarak 200 mm

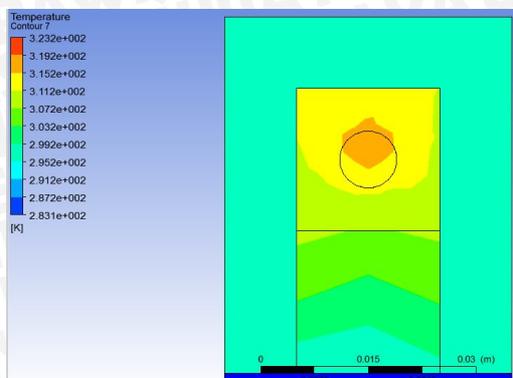


jarak 220 mm

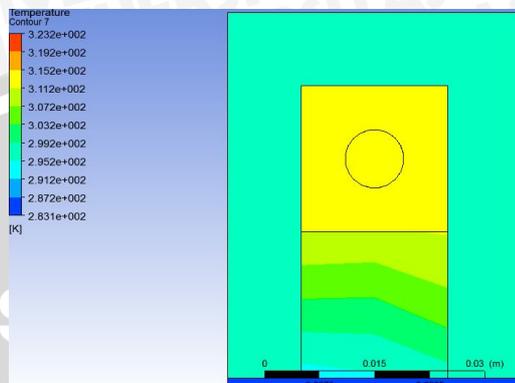


### Kecepatan fluida udara 1.5 m/s

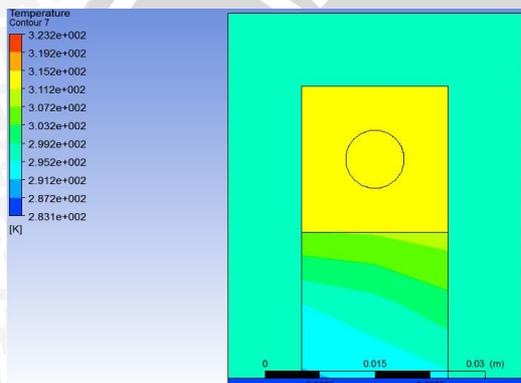
jarak 20 mm



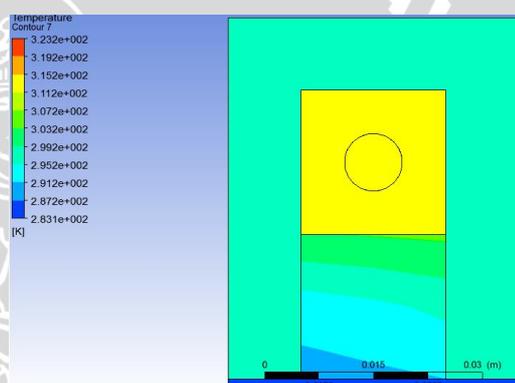
jarak 40 mm



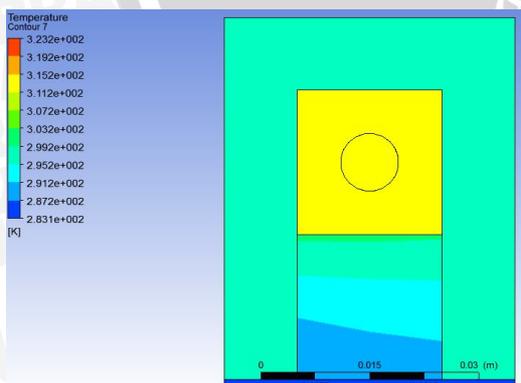
jarak 60 mm



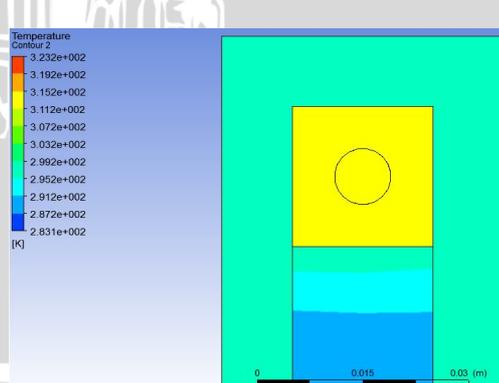
jarak 80 mm



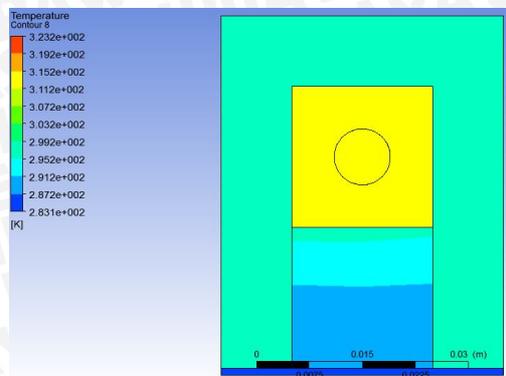
jarak 100 mm



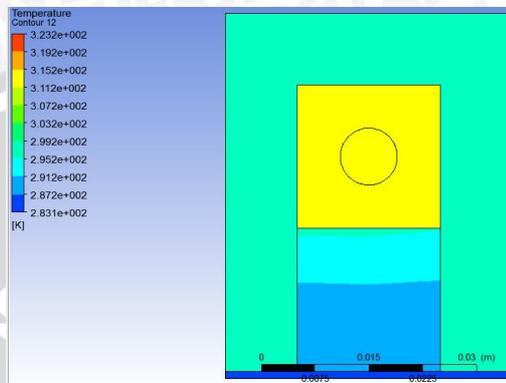
jarak 120 mm



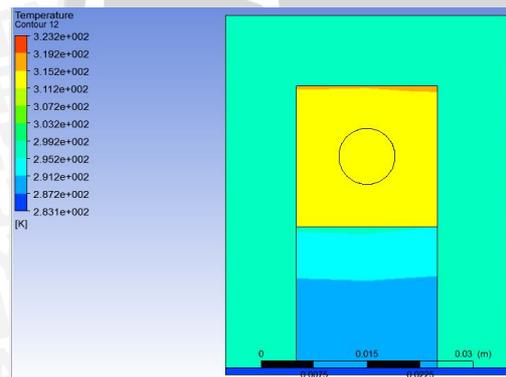
jarak 140 mm



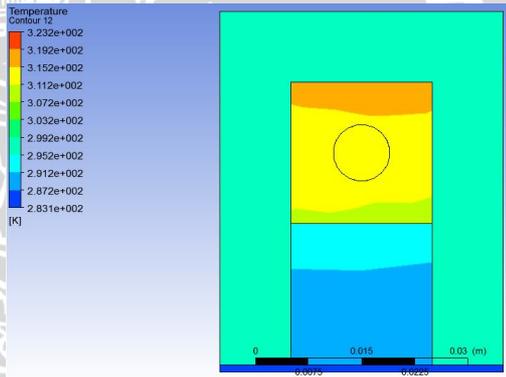
jarak 160 mm



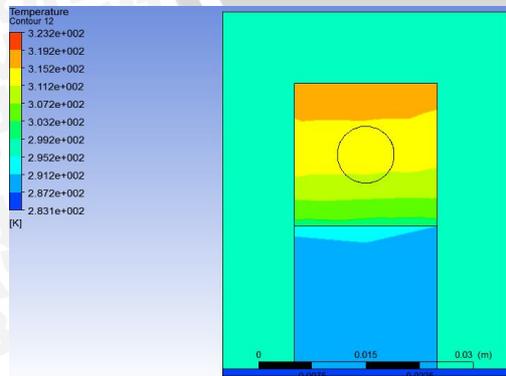
jarak 180 mm



jarak 200 mm

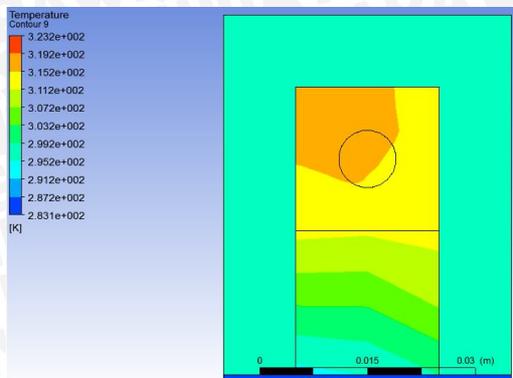


jarak 220 mm

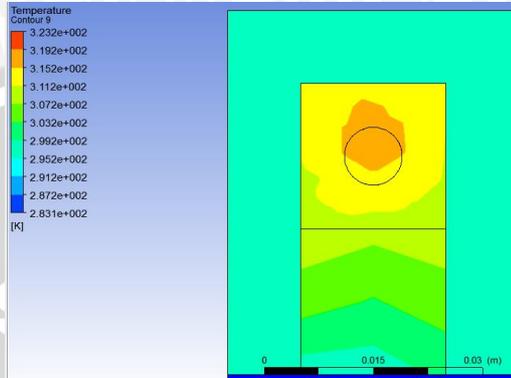


### Kecepatan udara masuk 2 m/s

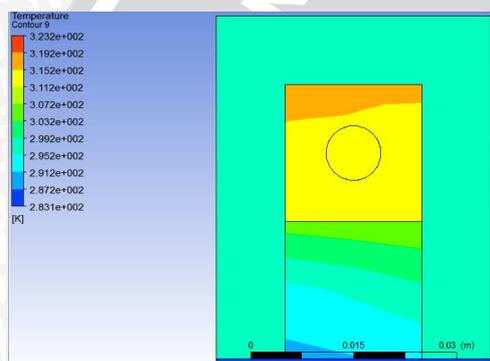
jarak 20 mm



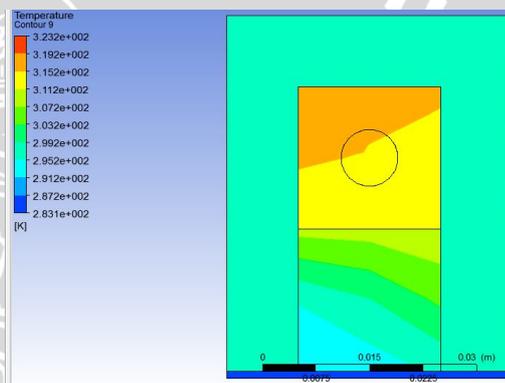
jarak 40 mm



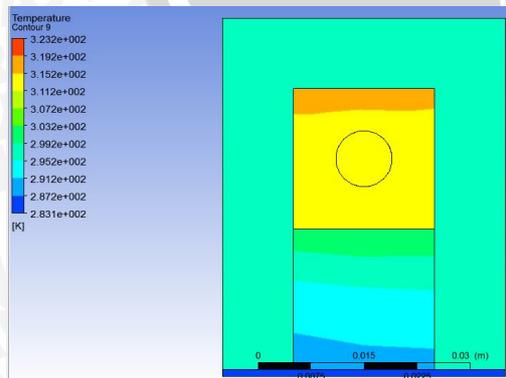
jarak 60 mm



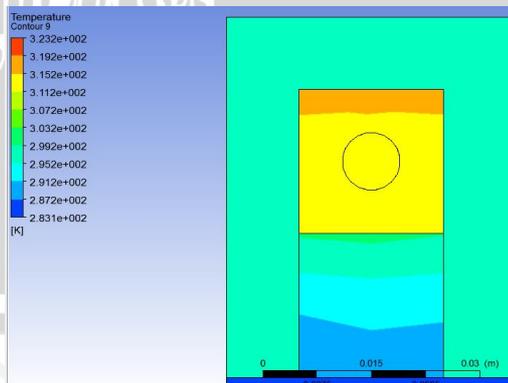
jarak 80 mm



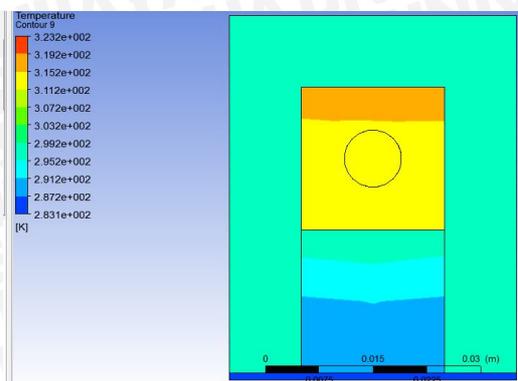
jarak 100 mm



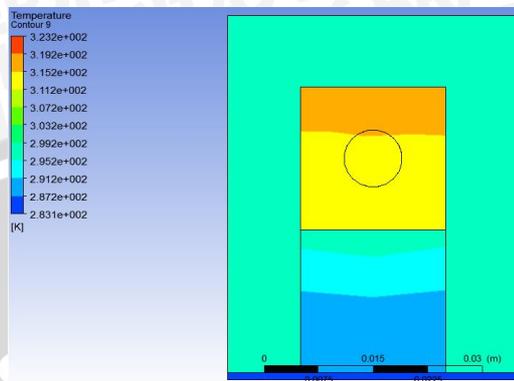
jarak 120 mm



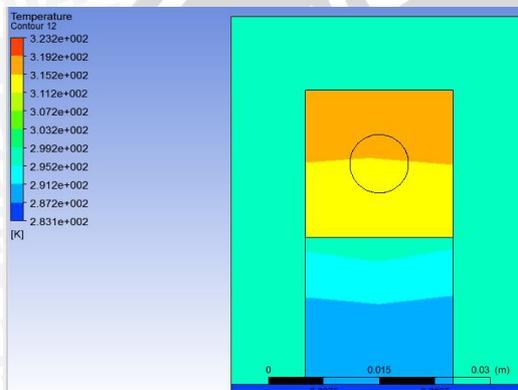
jarak 140 mm



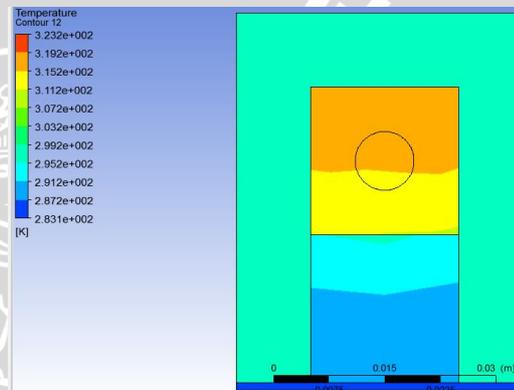
jarak 160 mm



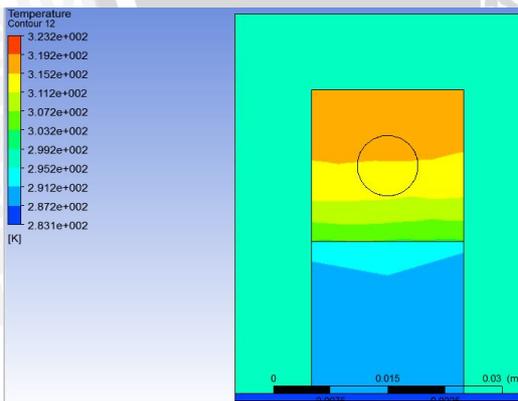
jarak 180 mm



jarak 200 mm

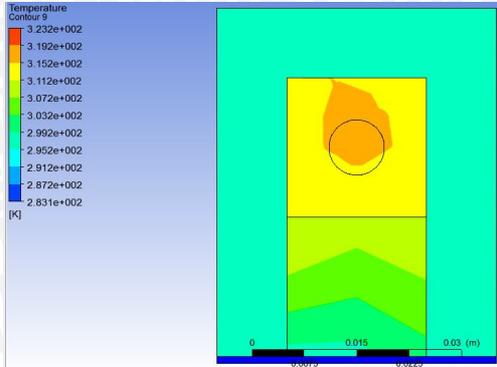


jarak 220 mm

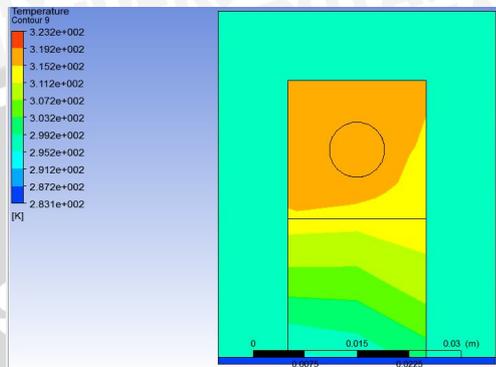


Kecepatan aliran fluida 2,5 m/s

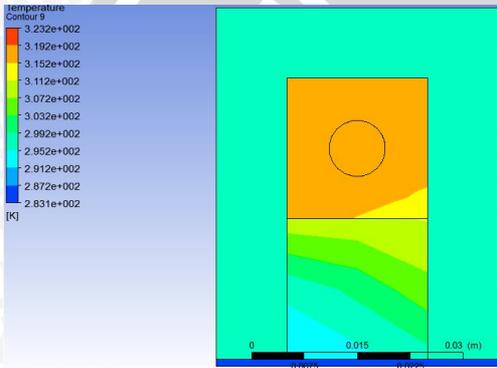
jarak 20 mm



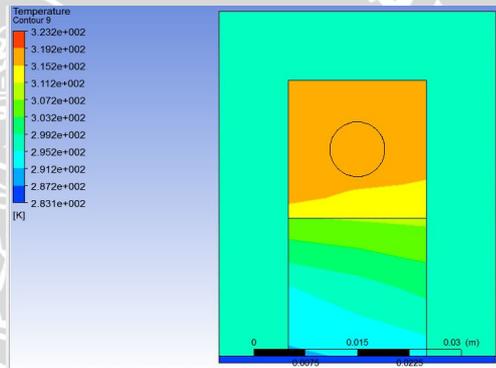
jarak 40 mm



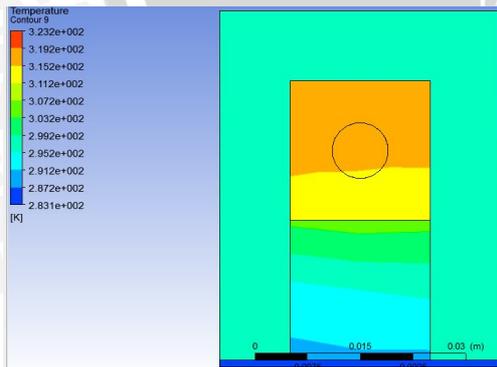
jarak 60 mm



jarak 80 mm



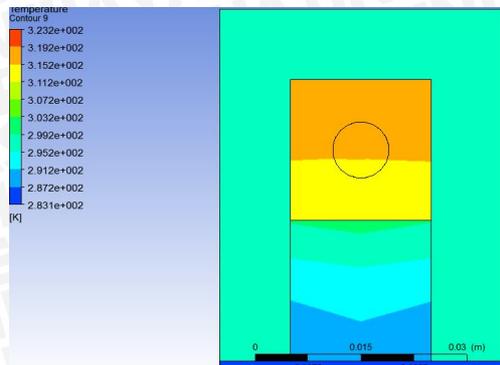
jarak 100 mm



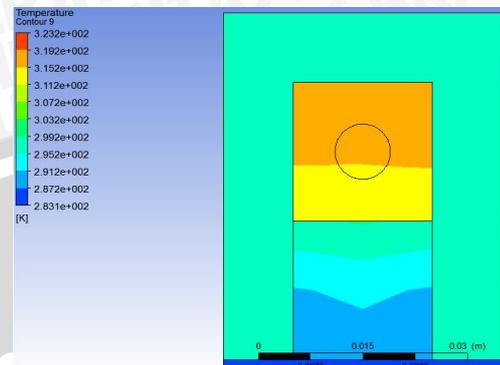
jarak 120 mm



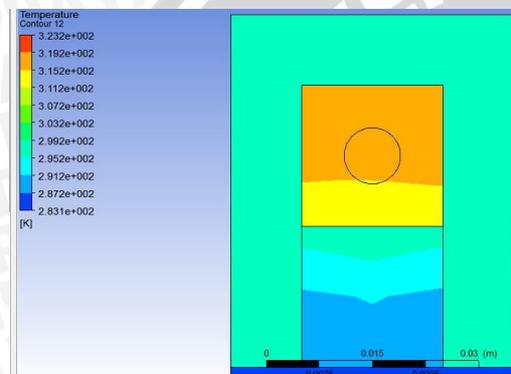
jarak 140 mm



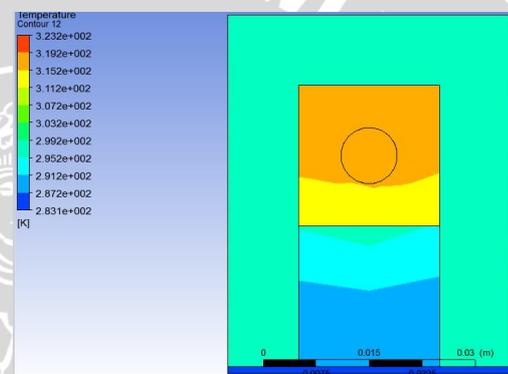
jarak 160 mm



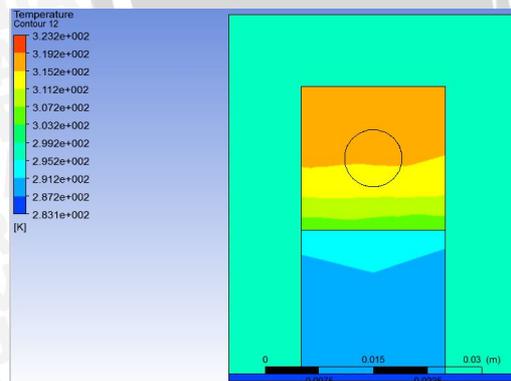
jarak 180 mm



jarak 200 mm

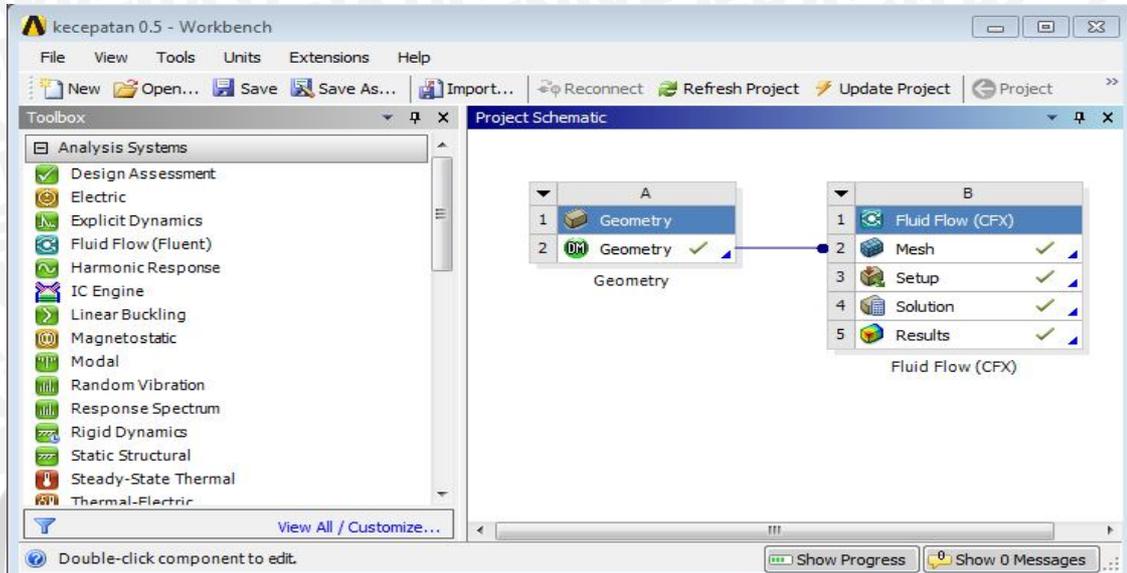


jarak 220 mm

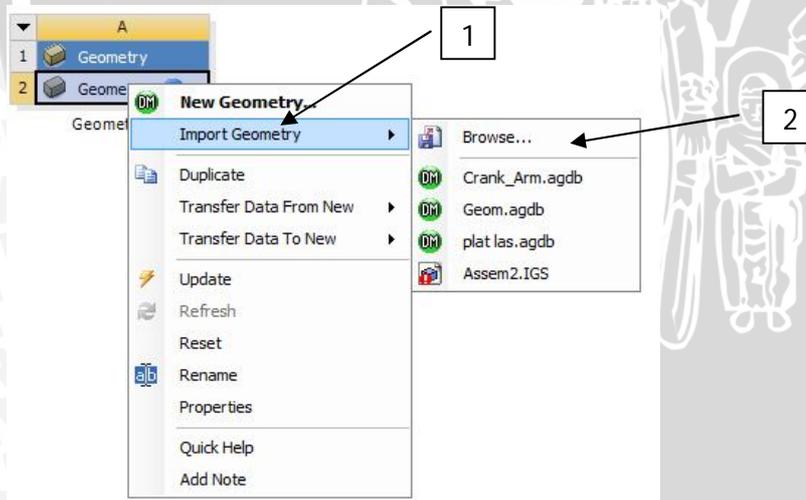


## LAMPIRAN 2 TUTORIAL ANSYS 14.5

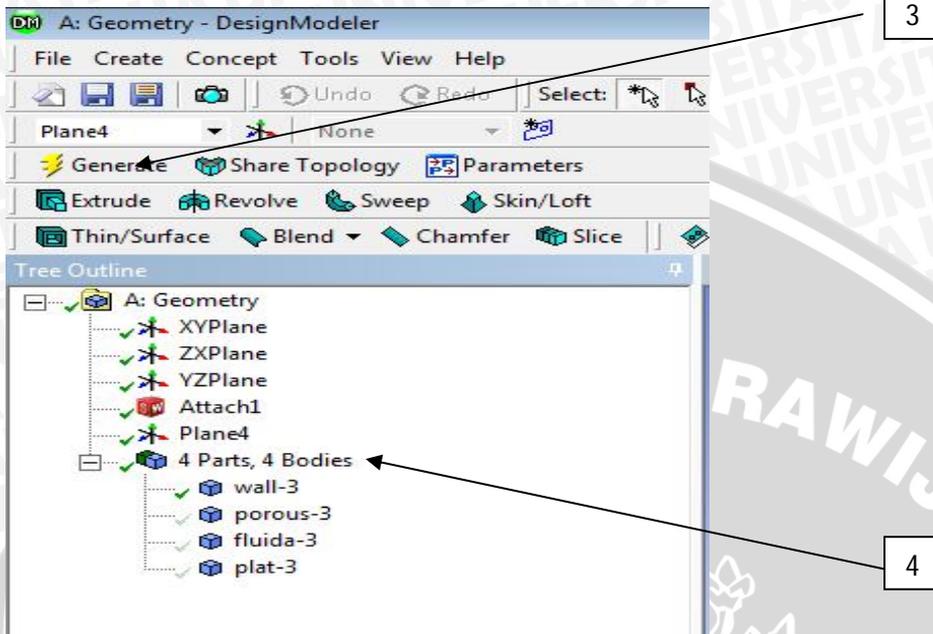
Pada fitur Ansys 14,5 pilih geometri dan CFX pada toolbox.



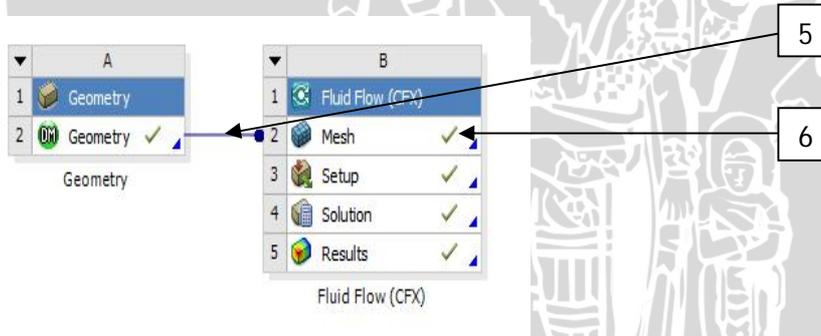
1. Click kanan pada geometri sehingga akan muncul tampilan seperti berikut
2. Pilih import geometri dan browse dan pilih file yang tersimpan pada drive hardisc.



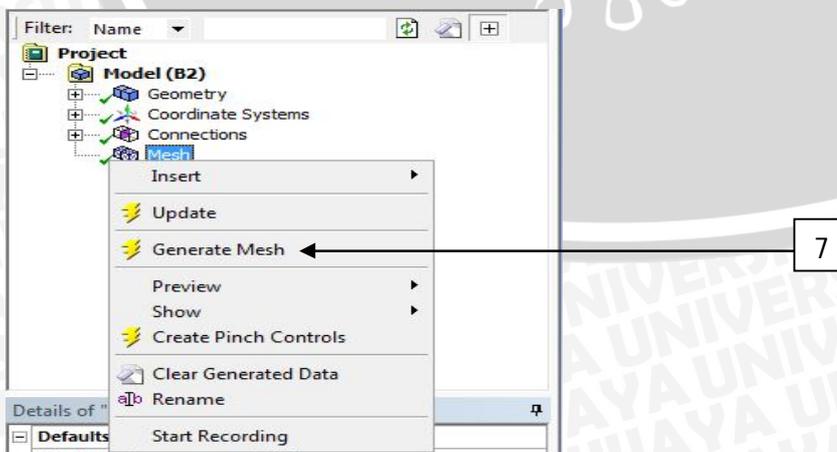
3. Double click pada generate untuk mrrnggunggh file gambar pada ansys 14,5
4. Berilah nama pada parts yang ada pada geometri sesuai dengan porous media chamber.



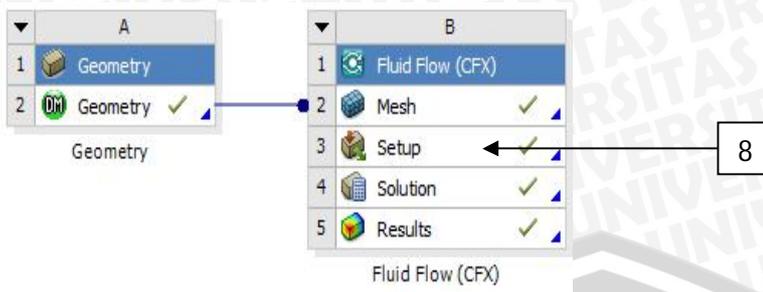
5. Drag dari geometri ke mash pada project schematic.
6. Double kilck pada mash.



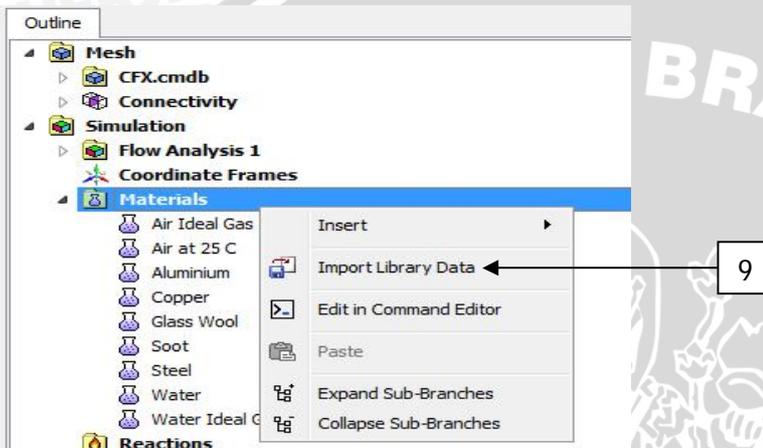
7. Kilck kanan pada mash setelah itu pilih Generate Mesh



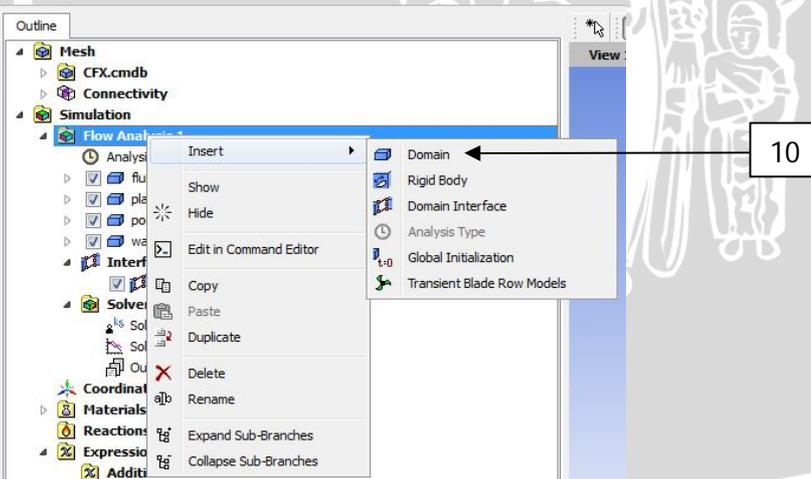
8. Setelah itu klik kanan pada setup dan pilih edit



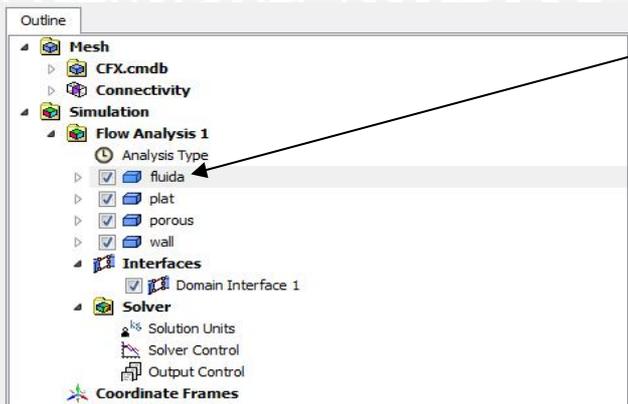
9. Klik kanan pada material setelah itu pilih import library data. (Pemilihan material yang digunakan pada simulasi)



10. Klik kanan pada flow analisis setelah itu pilih insert dan domain berilah nama fluida. Ulangi langkah 10 dan berilah nama plat, porous, dan wall.

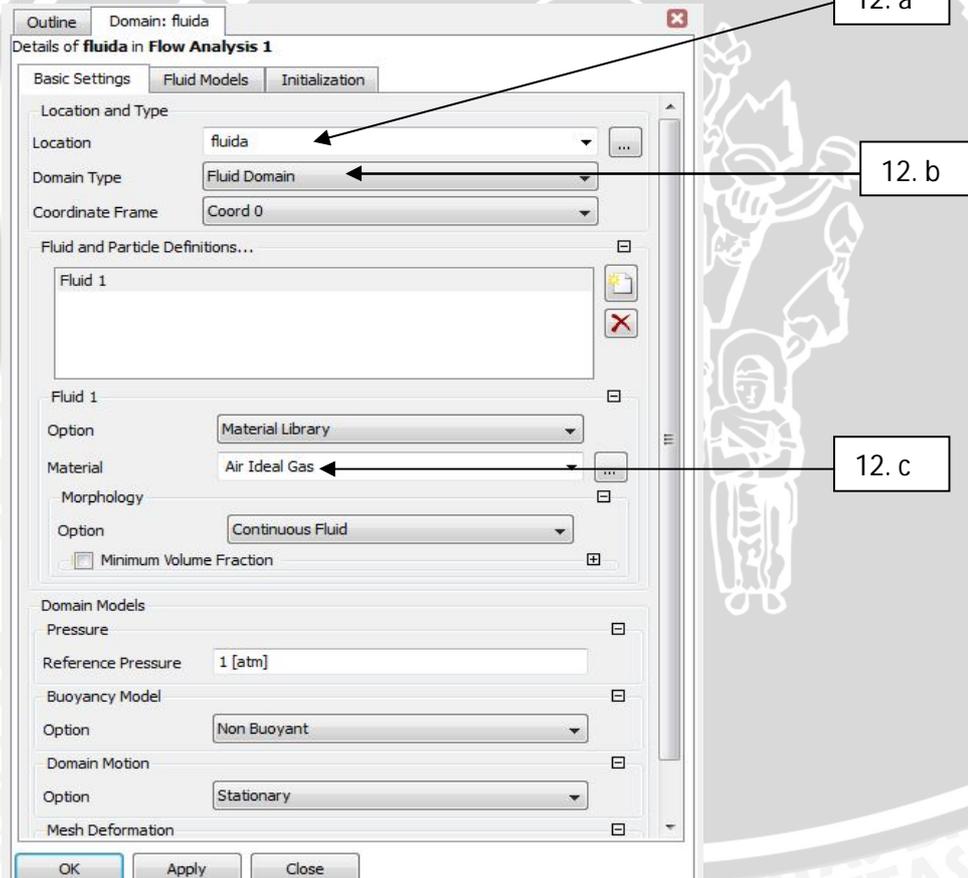


11. Klik pada fluida dan pilih domain.



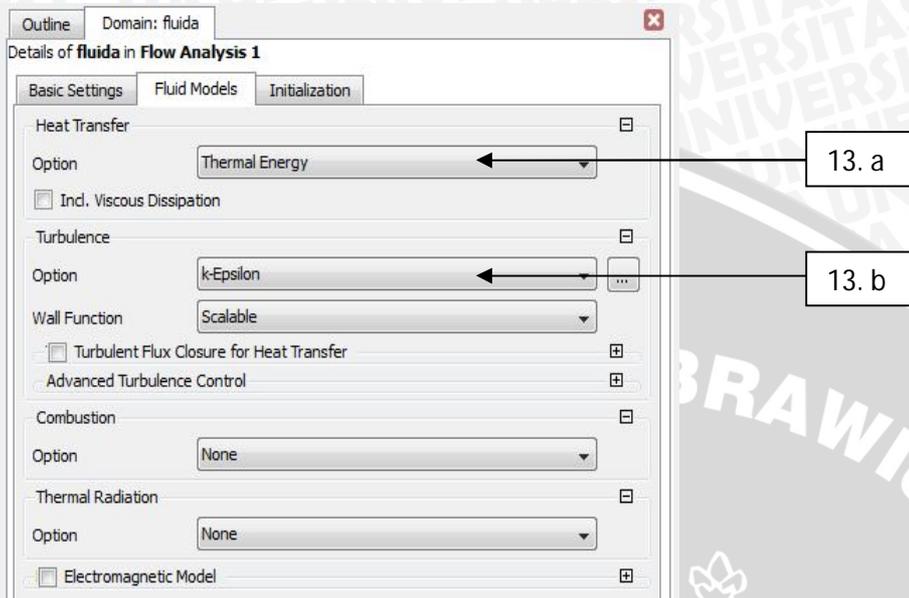
12. Masukkan properti pada domain fluida yaitu:

- Location pilih fluida
- Domain type pilih fluid domain
- Material pilih air ideal gas.

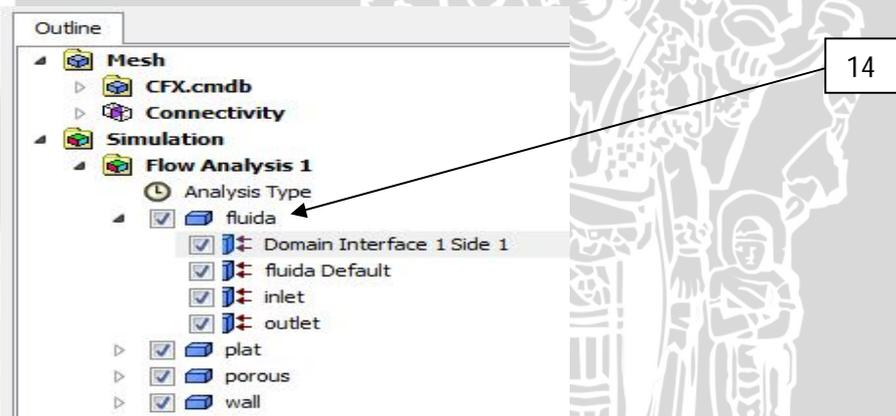


13. Pilih fluid model masukan properti pada fluid model yaitu:

- a. Pada heat transfer pilih thermal energy
- b. Pada turbulency pilih option k-epsilon dan wall function pilih Scalable

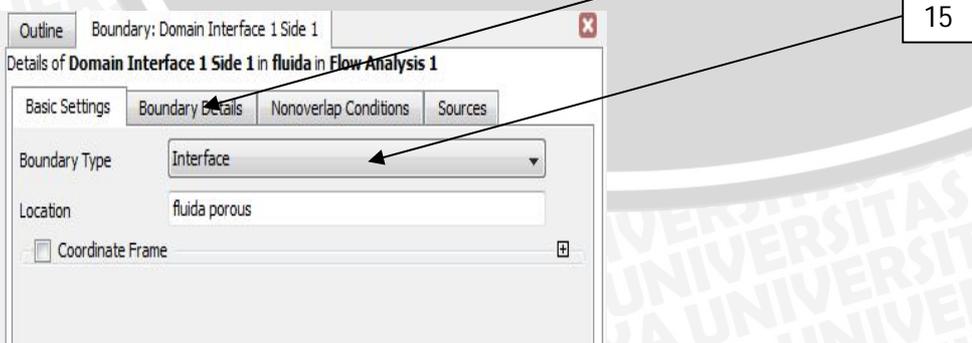


14. Klik domain interface pada fluida.

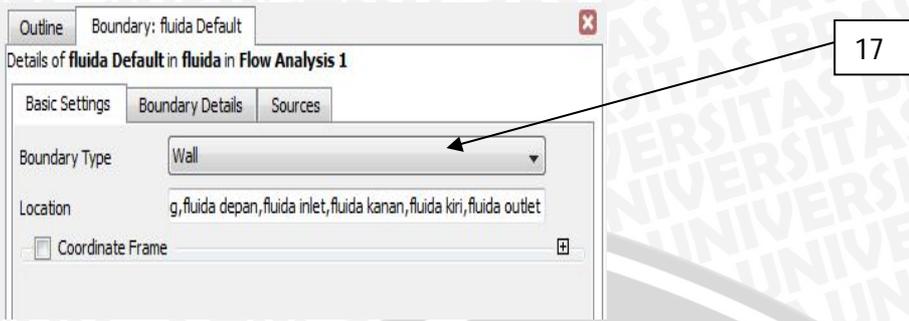


15. Pilih boundary type interface dan location fluida porous.

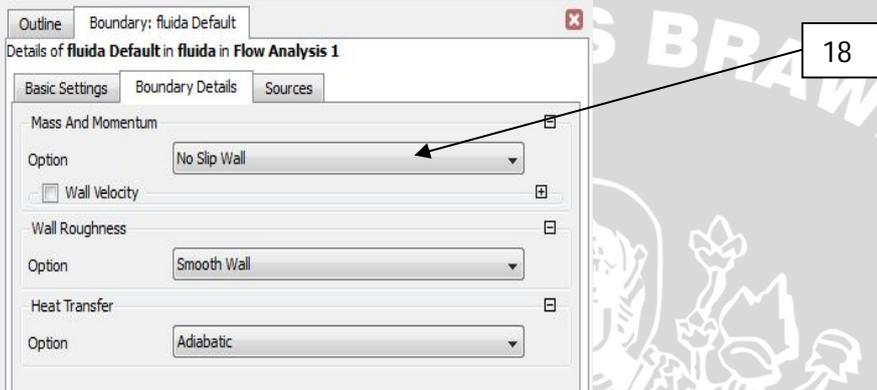
16. Setelah itu pilih boundary detail.



17. Pada basic setting pada bondary type pilih wall dan location pilih pada fluida

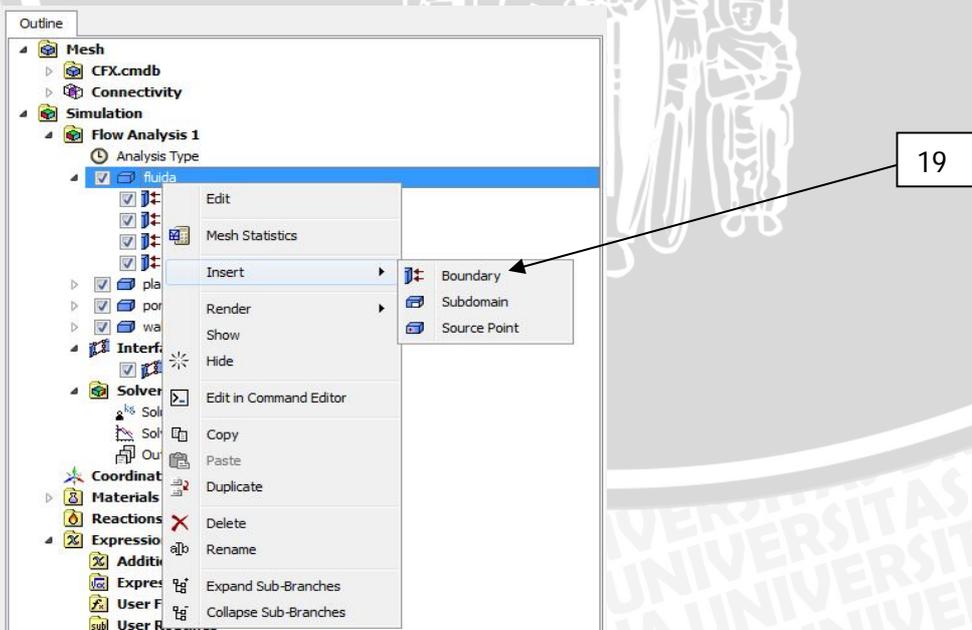


18. Klik pada bondary deetails pada mass and momentum pilih no slip wall, pada wall Rougnes pilih smooth wall, dan pada heat transfer pilih adiabatic.

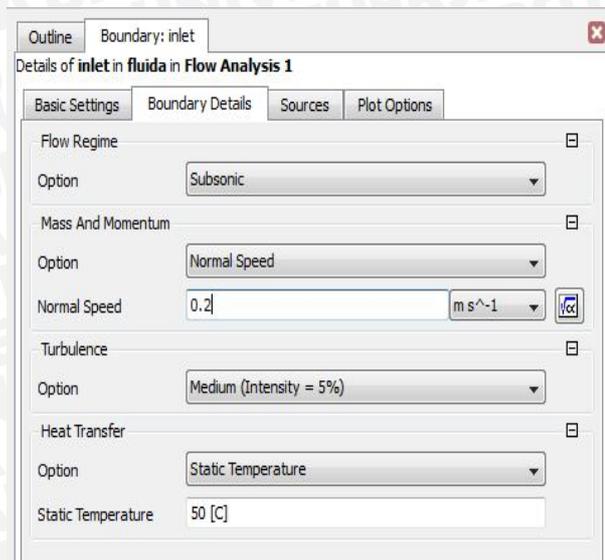


19. Klik kanan pada fluida dan pilih insert setelah itu pilih boundary setelah itu beri nama inlet.

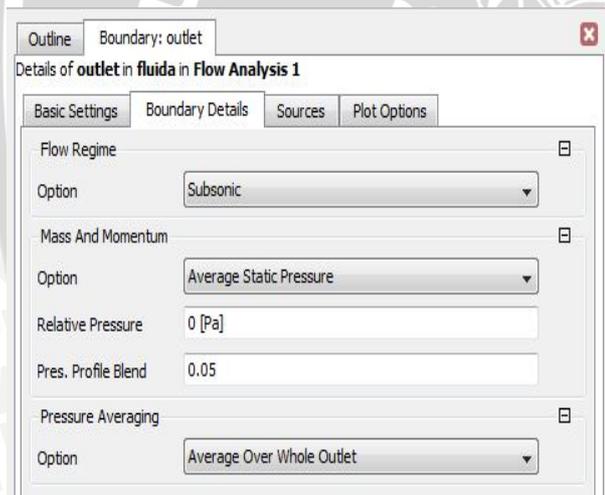
20. Ulangi langkah 19 dan beri nama outlet.



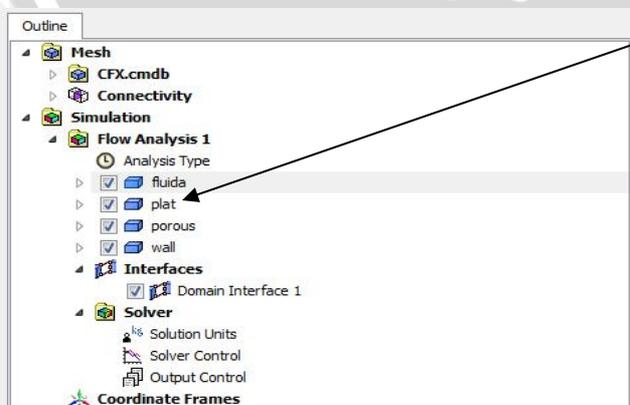
21. Klik inlet pada fluida dan pada boundary details masukan kecepatan seperti gambar berikut.



22. Klik Outlet pada fluida dan pada boundary details masukan tekanan seperti gambar berikut.



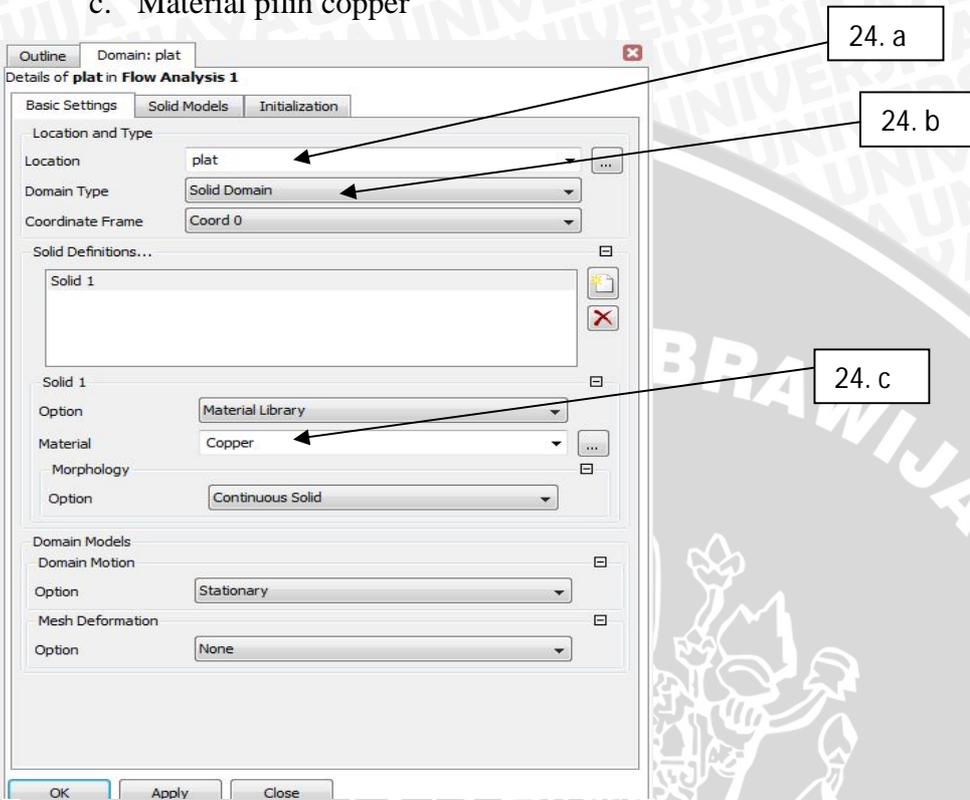
23. Klik pada plat dan pilih domain.



23

24. Masukkan properti pada domain plat yaitu:

- a. Location pilih plat
- b. Domain type pilih solid domain
- c. Material pilih copper

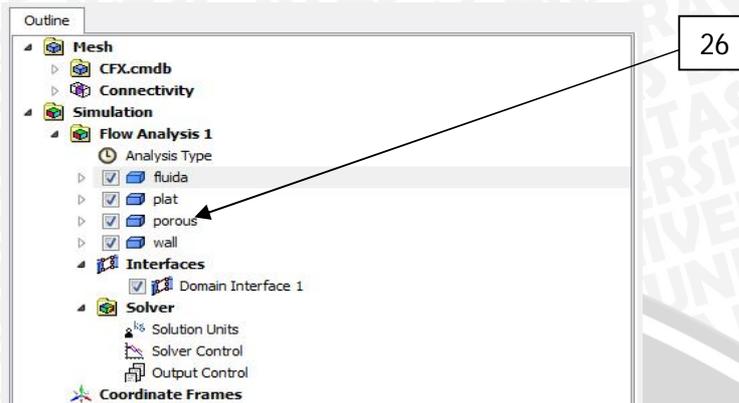


25. Pilih plat masukan properti pada solid model yaitu:

- a. Pada heat transfer pilih isothermal
- b. Masukan temperatur pada Solid temperatur

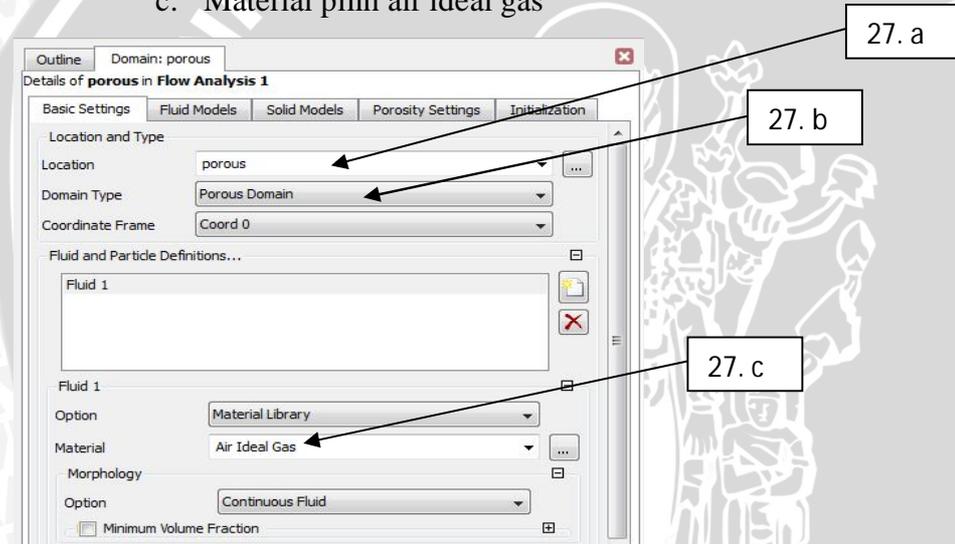


26. Klik pada porous dan pilih domain.

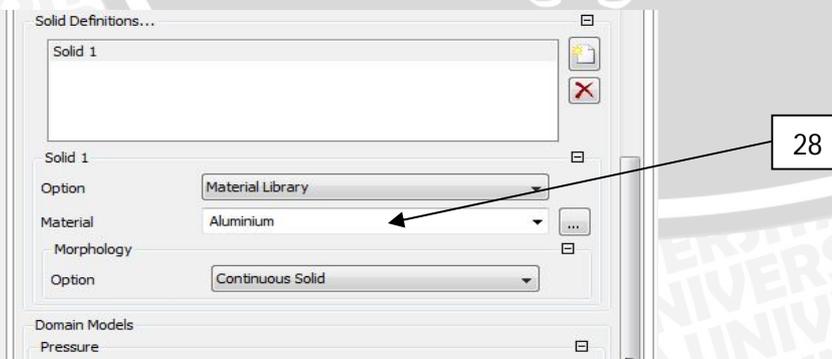


27. Masukkan properti pada domain porous yaitu:

- Location pilih porous
- Domain type pilih porous domain
- Material pilih air ideal gas

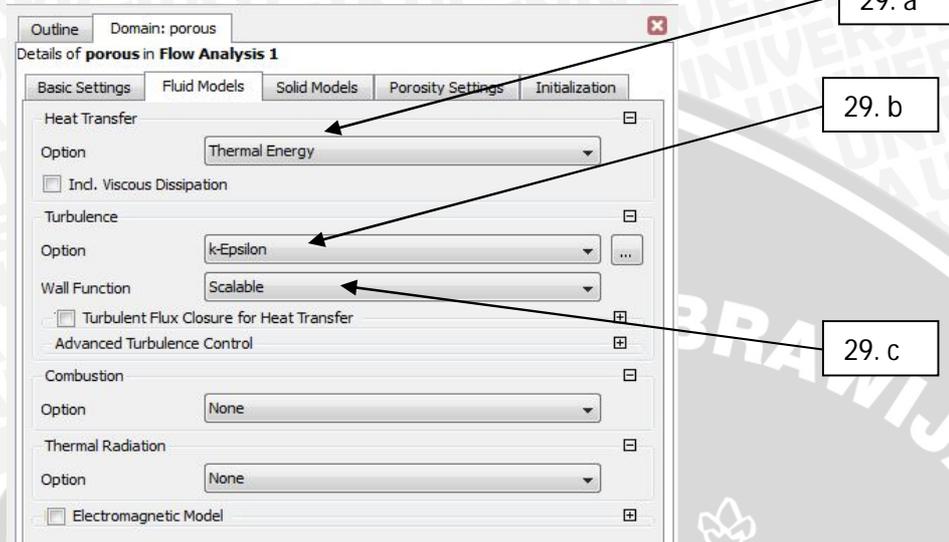


28. Pada solid definision pilih material aluminium.



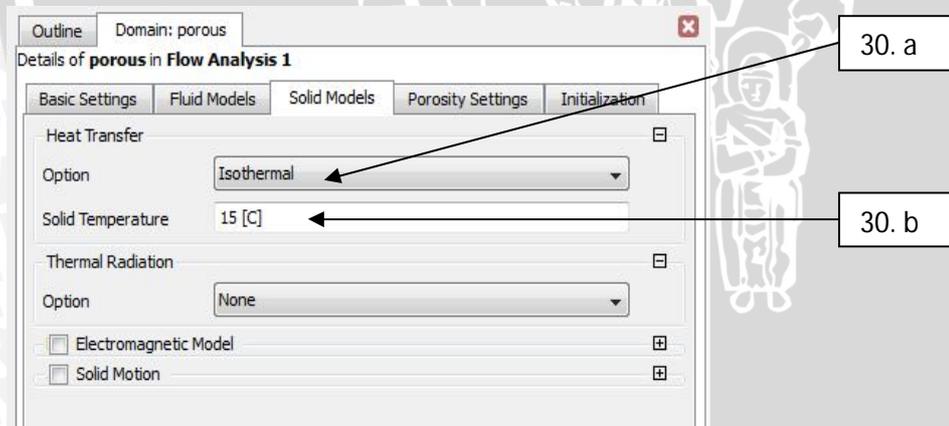
29. Masukan properti pada domain fluid models yaitu:

- a. Heat transfer pilih thermal energi
- b. Turbulence pilih k-Epsilon
- c. wall function pilih scalabel



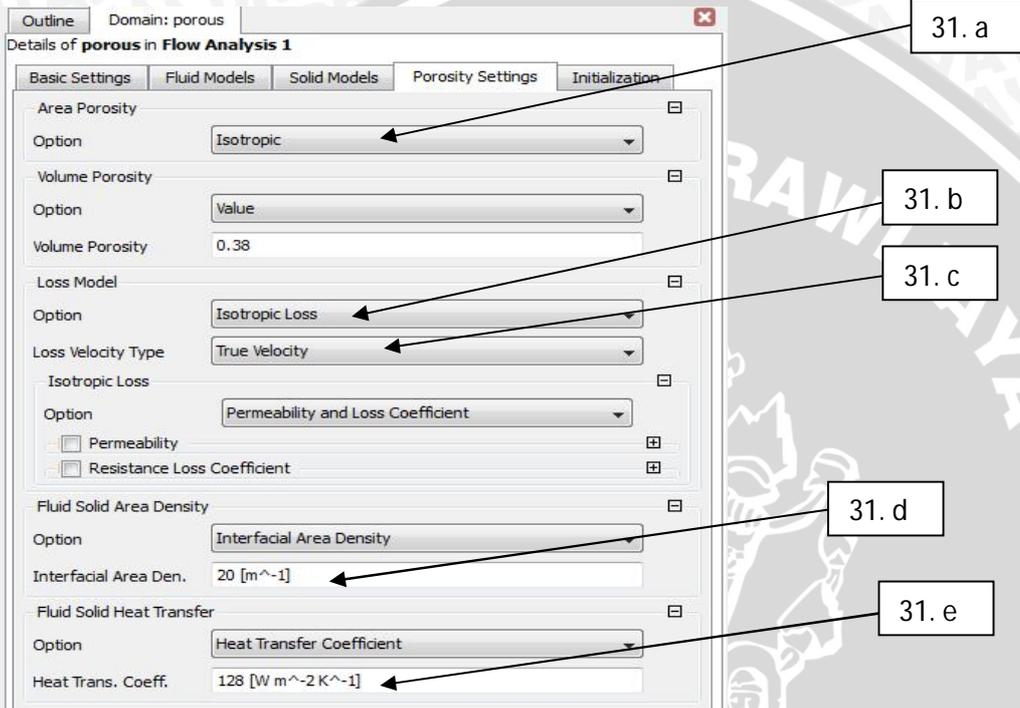
30. Masukan properti pada solid porous yaitu:

- d. Heat transfer pilih isothermal
- e. Masukkan temperatur pada solid temperatur.



31. Masukan properti pada porosity seting yaitu

- a. volume porosity 0,38
- b. loss model pilih isotropic loss
- c. loss velocity type pilih true velocity.
- d. Fluid solid are density pilih interfacial area density dengan interfacial area density 20
- e. Koefisien herat transfer yaitu 128.

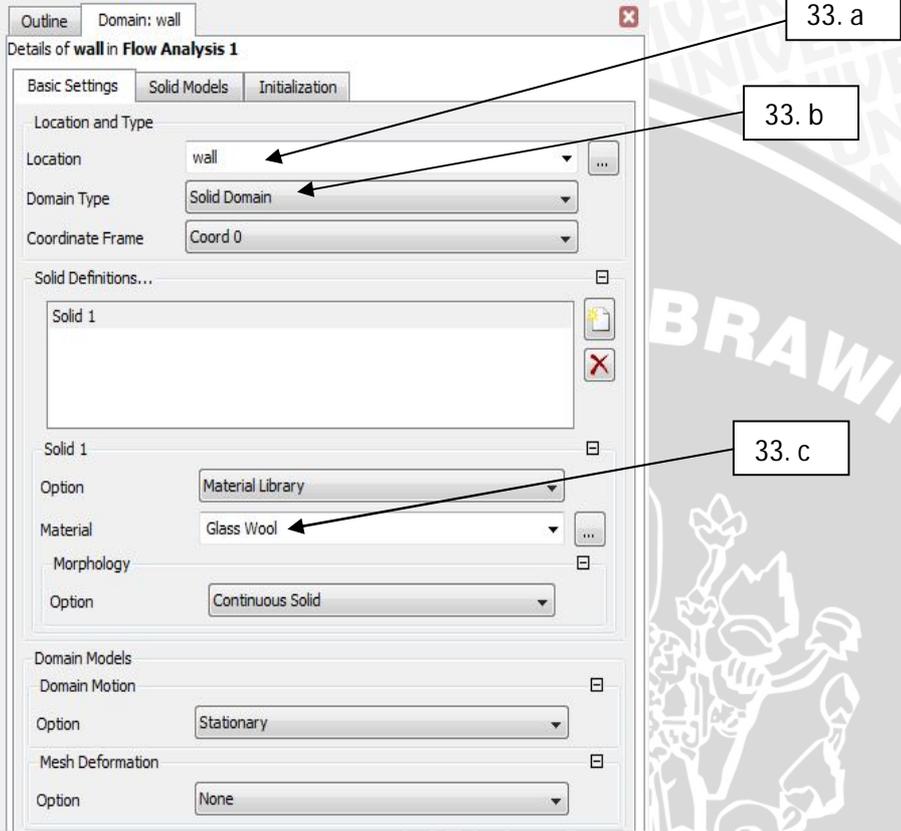


32. Klik pada wall dan pilih domain.



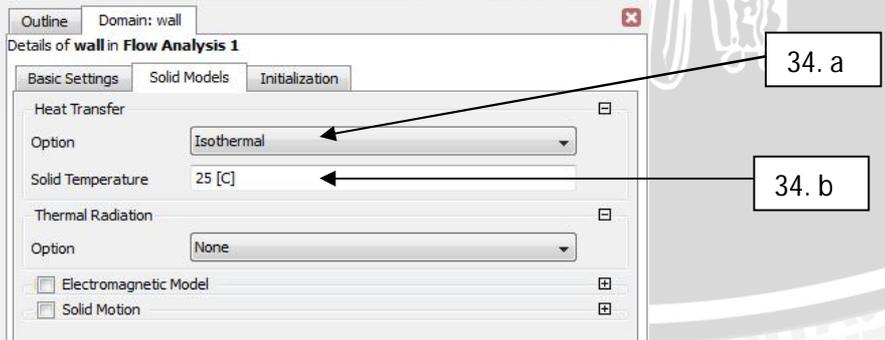
33. Masukan properti pada domain wall yaitu:

- a. Location pilih wall
- b. Domain type pilih solid domain
- c. Material pilih glass wool

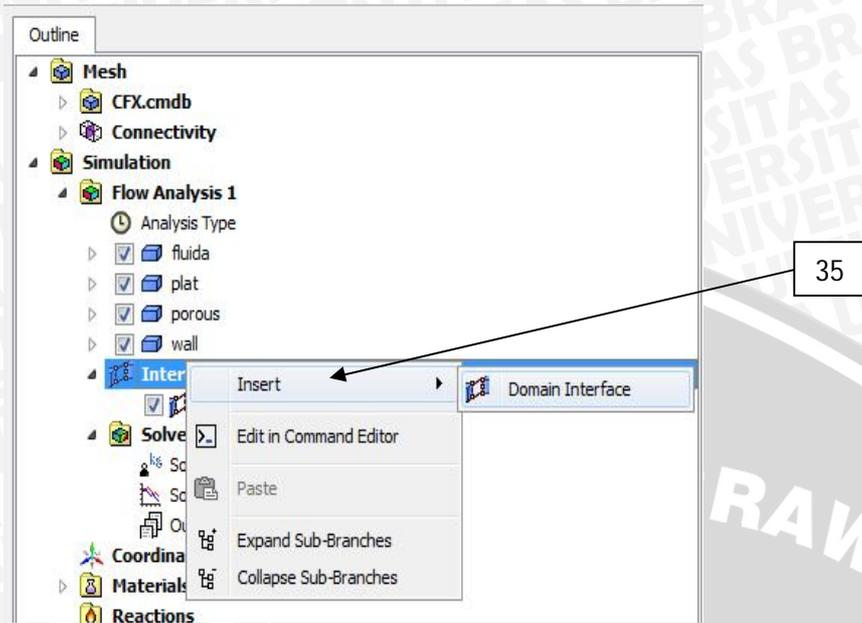


34. Pilih solid model pada wall.

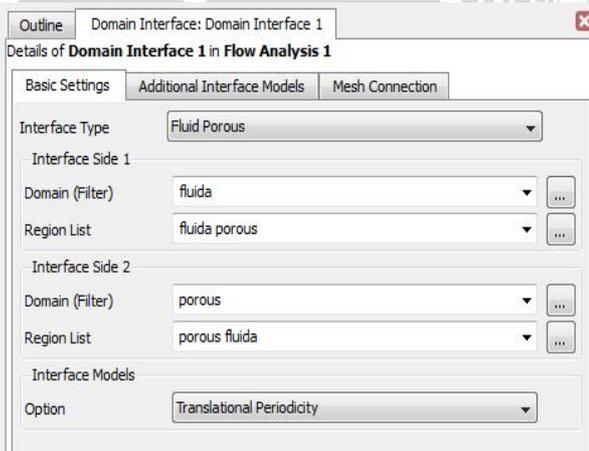
- a. Heat transfer pilih isothermal
- b. Masukkan temperatur pada solid temperatur.



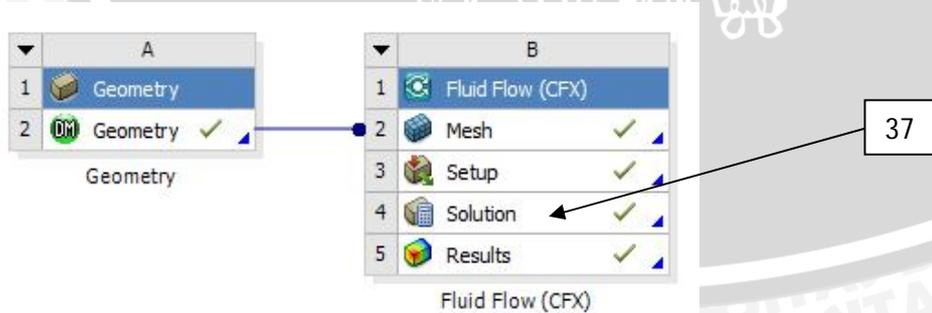
35. Klik kanan pada intface pilih insert dan pilih domain Interface



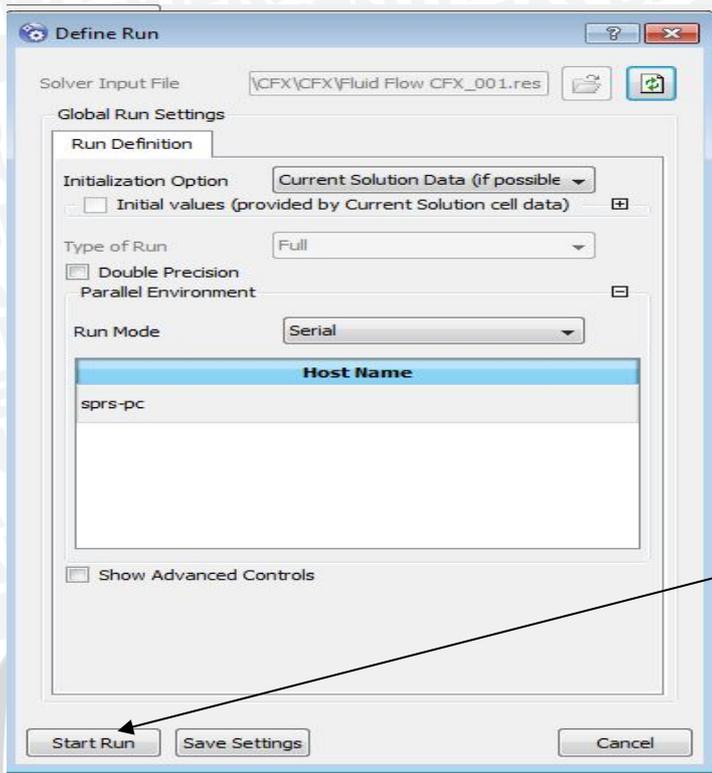
36. Doble klik pada domain Interface masukan property seperti gambar berikut.



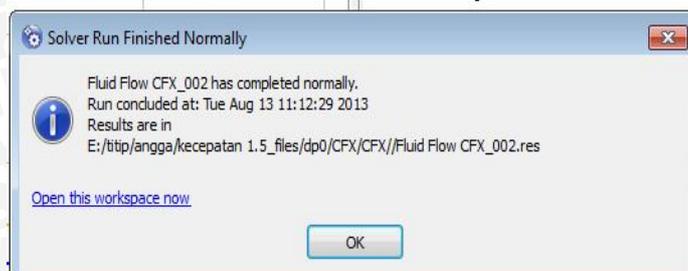
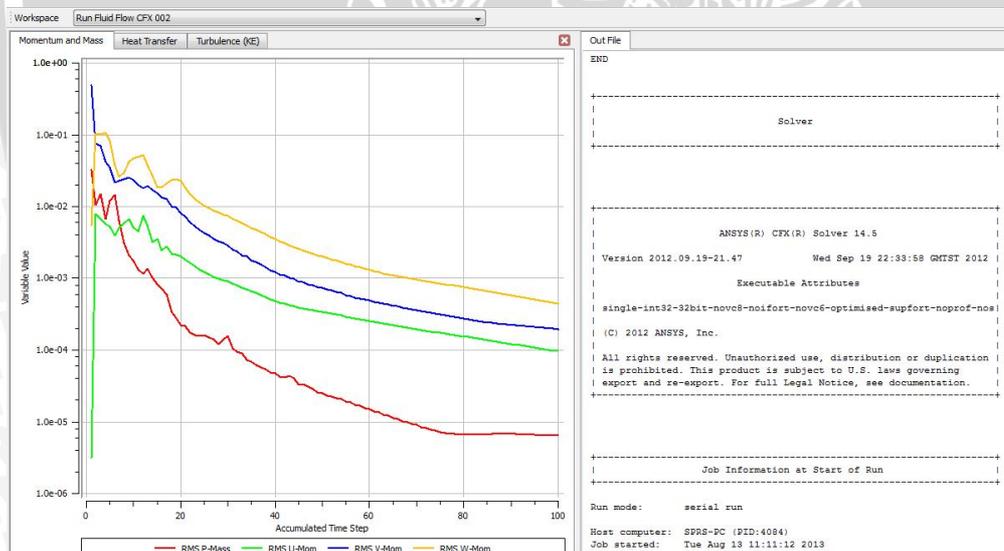
37. Doble klik pada solution.



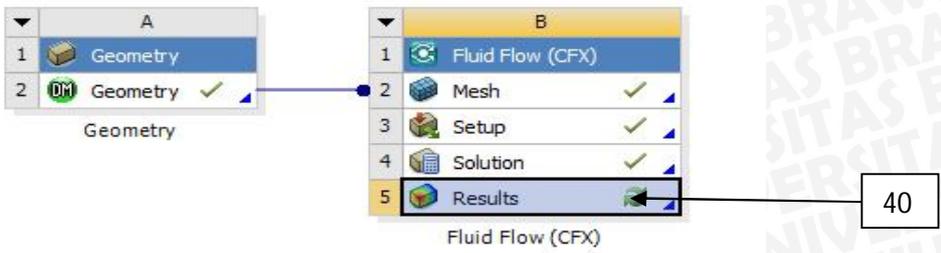
38. Pilih start run



39. Klik ok jika muncul peringatan seperti berikut lalu close.



40. Doble klik pada result untuk melihat hasil dari proses simulasi.



41. Hasil yang ditunjukkan pada result dalam bentuk 3d.

