

**ANALISIS PENGARUH POROSITAS TERHADAP GRADIEN  
TEMPERATUR DAN PERPINDAHAN PANAS PADA *POROUS MEDIA*  
DI BAWAH ALIRAN *SATURATED VAPOR***

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AKHMAD ZAINUR RIFAN  
NIM. 115060200111066**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH POROSITAS TERHADAP GRADIEN  
TEMPERATUR DAN PERPINDAHAN PANAS PADA *POROUS MEDIA*  
DI BAWAH ALIRAN *SATURATED VAPOR***

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AKHMAD ZAINUR RIFAN  
NIM. 115060200111066**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 18 Januari 2016

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

**Purnami, ST.,MT**  
**NIP. 19770707 200812 1 005**

**Mengetahui  
Ketua Program Studi S1**

**Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.**  
**NIP. 19750802 199903 2 002**



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Januari 2016

Mahasiswa,

Akhmad Zainur Rifan  
NIM 115060200111066



**JUDUL SKRIPSI :**

Analisis Pengaruh Porositas Terhadap Gradien Temperatur dan Perpindahan Panas pada  
*Porous Media* di Bawah Aliran *Saturated Vapor*

Nama Mahasiswa : Akhmad Zainur Rifan  
NIM : 115060200111066  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Konversi Energi

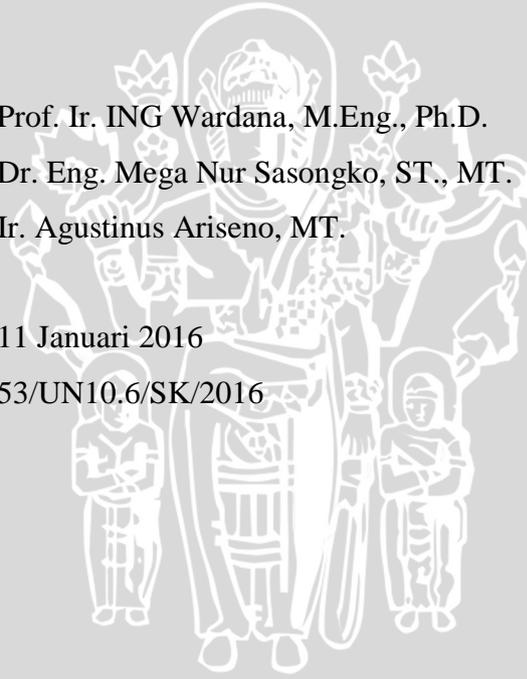
**KOMISI PEMBIMBING :**

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.  
Pembimbing 2 : Purnami, ST.,MT

**TIM DOSEN PENGUJI :**

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.  
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
Dosen Penguji 3 : Ir. Agustinus Ariseno, MT.

Tanggal Ujian : 11 Januari 2016  
SK Penguji : 53/UN10.6/SK/2016



## PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Pengaruh Porositas terhadap Gradien Temperatur dan Perpindahan Panas Pada Porous Media Di Bawah Aliran Saturated Vapor**” 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. Eng Nurkholis Hamidi, ST, M. Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Purnami, ST, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Mesin dan dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan, bimbingan, pengetahuan dan motivasi untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Mesin.
4. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin.
5. Bapak Dr. Eng. Eko Siswanto, ST, MT. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi motivasi, bimbingan, pengetahuan dan masukan selama penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin.
7. Kedua orang tuaku tercinta dan tersayang, Ayahanda Mahmud dan Ibunda Rasunah yang tak hentinya mendo'akan dan member semangat saya, sungkem selalu buat bapak ibu, tetap sehat, senantiasa dalam pelukan dan lindungan-Nya.
8. Kakak Fitroh Khoirun Nisa terima kasih atas semangatnya dan doanya.
9. Adik Makhrus Abdillah terimakasih atas semangatnya dan doanya.
10. 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.

11. Saudaraku Teknik Mesin angkatan 2011 baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat, semoga selalu diberi kemudahan dan kelancaran. *Solidarity Forever!!!*
12. Saudaraku Alfaj, Bastian, Chandra, Dewantoro, Faldi, Ferdi, Reza, Nofan, Yani, dan Zuhri tetap semangat semoga selalu diberi kemudahan dan kelancaran dalam segala urusan.
13. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
14. 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, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

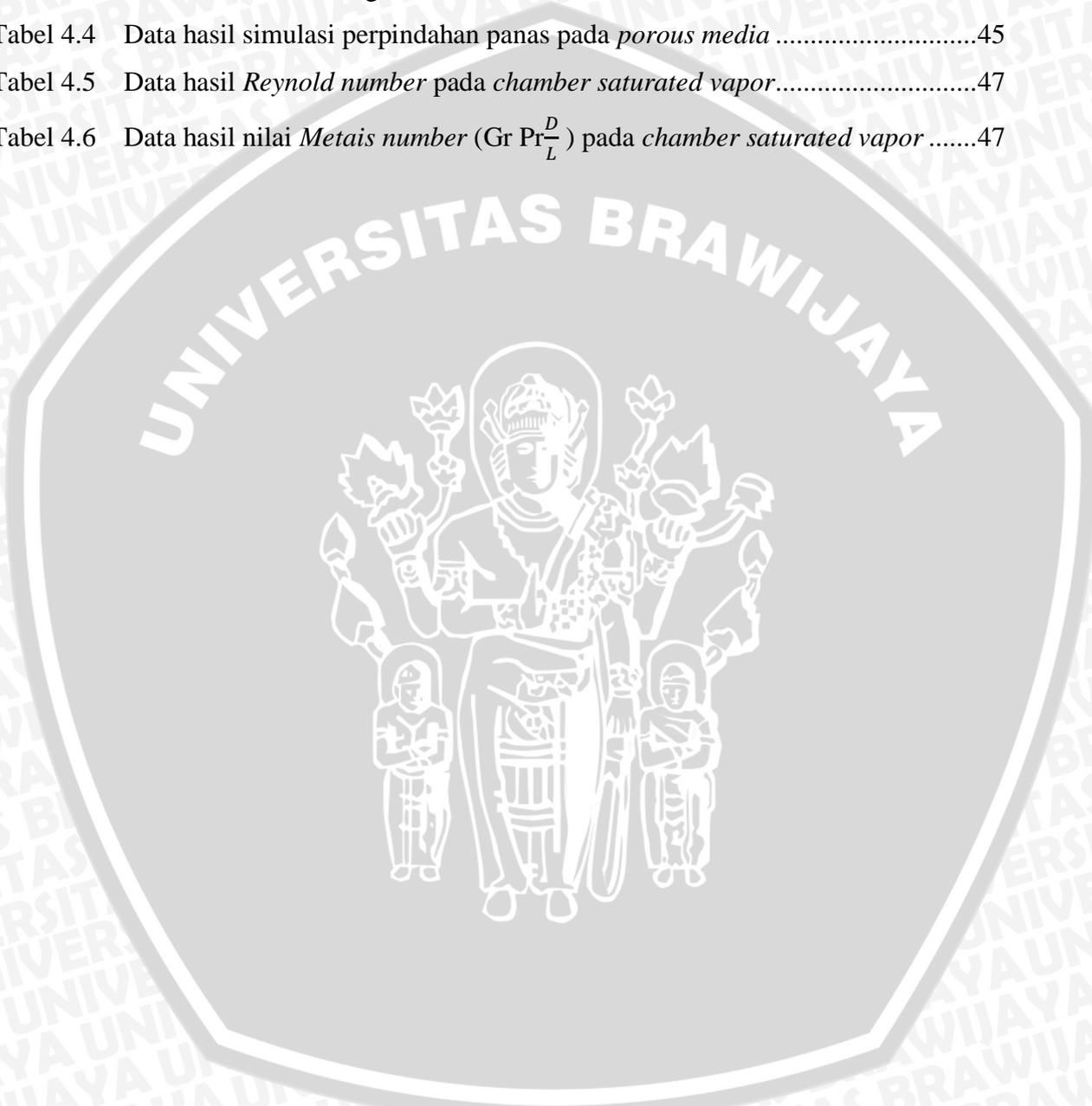
	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 <i>Porous Media</i> .....	5
2.3 Porositas.....	5
2.4 Perpindahan Panas.....	5
2.4.1 Perpindahan panas konduksi.....	5
2.4.2 Perpindahan panas konveksi.....	7
2.5 Konduktivitas Termal.....	9
2.5.1 Konduktivitas termal efektif.....	9
2.6 Aliran Laminar dan Turbulen.....	9
2.6.1 Aliran laminar.....	9
2.6.2 Aliran turbulen.....	10
2.7 Lapisan Batas.....	10
2.7.1 Lapisan batas kecepatan.....	10
2.7.2 Lapisan batas termal.....	11
2.8 <i>Reynold Number</i> .....	12
2.9 <i>Grashof Number</i> .....	14
2.10 <i>Prandtl Number</i> .....	14
2.11 <i>Vortex</i> .....	14



2.12 Viskositas.....	15
2.12.1 Viskositas kinematik.....	16
2.12.2 Viskositas dinamik.....	17
2.13 <i>Software ANSYS Workbench</i> .....	17
2.14 Hipotesis.....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	19
3.1 Metode Penelitian.....	19
3.2 Rancangan Penelitian.....	19
3.3 Variabel Penelitian.....	20
3.4 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.5 Prosedur Penelitian.....	21
3.6 Langkah-langkah Simulasi pada <i>Software</i> .....	22
3.6.1 <i>Preprocessing</i> .....	22
3.6.2 <i>Solution</i> .....	22
3.6.3 <i>Postprocessing</i> .....	22
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	24
4.1 Pendahuluan.....	24
4.2 Pengolahan Data.....	24
4.2.1 Data penelitian.....	24
4.3 Pembahasan.....	24
4.3.1 Gradien temperatur <i>porous media chamber</i> dari samping.....	25
4.3.2 Gradien temperatur <i>porous media chamber</i> secara melintang.....	38
4.3.3 Perpindahan panas pada <i>porous media</i> .....	45
4.3.4 Perpindahan panas pada <i>chamber saturated vapor</i> dan jenis aliran.....	47
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Data hasil simulasi segmen 1 .....	40
Tabel 4.2	Data hasil simulasi segmen 2 .....	42
Tabel 4.3	Data hasil simulasi segmen 3 .....	43
Tabel 4.4	Data hasil simulasi perpindahan panas pada <i>porous media</i> .....	45
Tabel 4.5	Data hasil <i>Reynold number</i> pada <i>chamber saturated vapor</i> .....	47
Tabel 4.6	Data hasil nilai <i>Metais number</i> ( $Gr Pr \frac{D}{L}$ ) pada <i>chamber saturated vapor</i> .....	47



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perpindahan panas konduksi.....	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 .....	10
Gambar 2.5	Lapisan batas kecepatan .....	11
Gambar 2.6	Lapisan batas termal .....	12
Gambar 2.7	Geometri <i>Vortex</i> menurut besar bilangan <i>Reynolds</i> .....	15
Gambar 3.1	Skema simulasi .....	19
Gambar 3.2	<i>Grid generation (meshing)</i> domain fisik pada <i>porous media</i> .....	21
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian .....	23
Gambar 4.1	Penampang melintang <i>porous media chamber</i> .....	25
Gambar 4.2	Gradien temperatur pada porositas 10%.....	25
Gambar 4.3	Garis kecepatan pada porositas 10% .....	27
Gambar 4.4	Gradien temperatur pada porositas 20% .....	28
Gambar 4.5	Garis kecepatan pada porositas 20% .....	29
Gambar 4.6	Gradien temperatur pada porositas 30% .....	30
Gambar 4.7	Garis kecepatan pada porositas 30% .....	32
Gambar 4.8	Gradien temperatur pada porositas 38% .....	33
Gambar 4.9	Garis kecepatan pada porositas 38% .....	34
Gambar 4.10	Gradien temperatur pada porositas 40% .....	35
Gambar 4.11	Garis kecepatan pada porositas 40% .....	37
Gambar 4.12	Penampang melintang <i>porous media chamber</i> .....	38
Gambar 4.13	Gradien temperatur pada jarak 40 mm dengan variasi porositas.....	39
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Jarak dengan Temperatur pada Segmen 1 .....	41
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Jarak dengan Temperatur pada Segmen 2 .....	42
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Jarak dengan Temperatur pada Segmen 3 .....	44
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Jarak dengan laju perpindahan panas pada <i>porous media</i> .....	46
Gambar 4.18	Grafik Hubungan <i>Reynold number</i> dengan $(Gr \frac{D}{L})$ .....	48



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel <i>Properties of Porous Media Chamber</i>
Lampiran 2	Tutorial Ansys 14.5



## RINGKASAN

**Akhmad Zainur Rifan**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2015, *Analisis Pengaruh Porositas terhadap Gradien Temperatur dan Perpindahan Panas pada Porous Media di bawah Aliran Saturated Vapor*, Dosen Pembimbing : Eko Siswanto dan Purnami.

Untuk meningkatkan perpindahan panas pada aliran fluida di dalam pipa (*internal flow*) terdapat berbagai cara yang bisa dilakukan, diantaranya adalah meningkatkan luas permukaan yaitu dengan pemasangan *fin*. Kemudian dengan semakin berkembangnya teknologi, telah dikembangkan alat dengan desain baru tetapi dengan fungsi yang sama yaitu untuk meningkatkan perpindahan panas, salah satunya adalah *porous media*. *Porous media* (media berpori) adalah suatu fasa padat kontinu yang di dalamnya terdapat ruang kosong atau pori-pori yang banyak. Ruang kosong yang terdapat dalam *porous media* bisa saja *interconnected* atau bisa juga tidak. Lubang yang tersebar di dalam *porous media* menciptakan rongga-rongga yang menyebabkan fluida dapat berlalu di dalamnya. Kemudian hal ini mengakibatkan semakin besarnya luas permukaan perpindahan panas. Penelitian mengenai *porous media* berkembang sangat pesat yang didukung berbagai penggunaannya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh porositas terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media* di bawah aliran *saturated vapor*.

Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan *software CFX* yang terdapat dalam ANSYS 14.5 *Workbench*. Dengan variabel bebas yaitu adalah porositas sebesar 10%, 20%, 30%, 38%, dan 40%. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu gradien temperatur dan perpindahan panas dalam *porous media*. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah temperatur masuk *saturated vapor*, tekanan *saturated vapor*, temperatur plat bawah, temperatur *ambient* dinding dan kecepatan.

Hasil simulasi pengaruh porositas terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media* di bawah aliran *saturated vapor* menunjukkan bahwa semakin besar porositas pada *porous media* maka gradien temperature pada *porous media* akan semakin besar, sedangkan untuk laju perpindahan panas semakin besar porositas maka semakin rendah laju perpindahan panas yang terjadi,

Kata kunci: *porous media*, porositas, gradien temperatur, perpindahan panas, simulasi komputer.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Incropera dan Dewitt (1990) mengemukakan bahwa untuk meningkatkan perpindahan panas pada aliran fluida di dalam pipa (*internal flow*) terdapat berbagai cara yang bisa dilakukan, diantaranya adalah dengan cara meningkatkan turbulensi aliran fluida dan meningkatkan luas permukaan. Salah satu teknik untuk meningkatkan turbulensi aliran fluida di dalam pipa adalah dengan menambahkan piranti tertentu di dalam pipa seperti pegas spiral dan plat dipilin. Sedangkan metode peningkatan perpindahan panas dengan teknik meningkatkan luas permukaan yang sangat umum digunakan adalah sirip atau *fin*.

Kemudian dengan semakin berkembangnya teknologi, telah dikembangkan alat dengan desain baru tetapi dengan fungsi yang sama yaitu untuk meningkatkan perpindahan panas, salah satunya adalah *porous media*. *Porous media* (media berpori) adalah suatu fasa padat kontinu yang di dalamnya terdapat ruang kosong atau pori-pori yang banyak. Misalnya: *sponges*, *cloths*, kertas, pasir, batu bata, batuan, beberapa *packing* yang dipakai dalam kolom distilasi, adsorpsi, katalis, dsb. Ruang kosong yang terdapat dalam *porous media* bisa saja *interconnected* atau bisa juga tidak.

Lubang yang tersebar di dalam *porous media* menciptakan rongga-rongga yang menyebabkan fluida dapat berlalu di dalamnya. Kemudian hal ini mengakibatkan semakin besarnya luas permukaan perpindahan panas. Pada *porous media* distribusi aliran dapat dianggap merata dan sangat kecil kemungkinan untuk terjadinya vortek. *Porous media* tidak hanya berfungsi meningkatkan laju perpindahan panas, tetapi juga dapat digunakan untuk mengondensasi kandungan uap air dalam udara. Selain itu *porous media* juga banyak digunakan dalam bidang ilmu terapan dan rekayasa seperti : filtrasi, mekanik, teknik (teknik perminyakan, bio-remediasi, rekayasa konstruksi), geosains (hidrogeologi, geologi minyak bumi), biologi dan ilmu material.

Wu-Shung Fu (2000) melakukan penelitian pada media berpori untuk mengetahui perpindahan panas yang disimulasikan menggunakan porositas acak pada saluran dan dalam keadaan aliran laminar. Porositas acak yang diterapkan dalam media berpori bertujuan untuk memperbesar perpindahan panas, dan menggunakan metode Kinderman-Ramage untuk mendapatkan porositas acaknya. Hasil yang didapatkan dari penelitian

menunjukkan bahwa porositas yang lebih besar dalam media berpori dapat memberikan disipasi panas yang tinggi.

Eko Siswanto (2011) melakukan penelitian eksperimental tentang 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.

Y. Wang (2015) melakukan penelitian secara simulasi mengenai pengaruh porositas porous media pada campuran fluida panas dan fluida dingin. *Porous media* dimodelkan pada sebuah pipa berbentuk T. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin kecil porositas porous media mengakibatkan fluktuasi temperatur semakin menurun dan konduktivitas termal efektif semakin besar

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh porositas *porous media* terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media*. Kemudian diketahui bahwa dibutuhkan peralatan eksperimen yang cukup rumit dan mahal untuk mengetahui perilaku perpindahan panas pada *porous media* terutama dalam *setting* alat. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian ini dengan cara mensimulasikan perilaku perpindahan panas *saturated vapor* dengan *porous media* sehingga dapat dilihat pengaruh variasi porositas *porous media* terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut : Bagaimana pengaruh porositas terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media* di bawah aliran *saturated vapor*?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kondisi lingkungan, atmosfer, dan temperatur dianggap konstan pada kondisi kamar.
2. Aliran fluida dalam *porous media* dalam keadaan *steady*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi porositas *porous media* terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media* dalam aliran *saturated vapor* dengan bantuan simulasi.

#### 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 variasi porositas *porous media* terhadap perpindahan panas pada *porous media* di bawah aliran *saturated vapor* yang efektif guna memenuhi kebutuhan manusia.
3. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan tambahan ilmu pengetahuan di dunia *engineering*, terutama pemanfaatan *porous media* sebagai media untuk meningkatkan laju perpindahan panas.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Incropera dan Dewitt (1990) mengemukakan bahwa untuk meningkatkan perpindahan panas pada aliran fluida di dalam pipa (*internal flow*) terdapat berbagai cara yang bisa dilakukan, diantaranya adalah dengan cara meningkatkan turbulensi aliran fluida dan meningkatkan luas permukaan. Salah satu teknik untuk meningkatkan turbulensi aliran fluida di dalam pipa adalah dengan menambahkan piranti tertentu di dalam pipa seperti pegas spiral dan plat dipilin. Sedangkan metode peningkatan perpindahan panas dengan teknik meningkatkan luas permukaan yang sangat umum digunakan adalah sirip atau *fin*.

Wu-Shung Fu (2000) melakukan penelitian pada media berpori untuk mengetahui perpindahan panas yang disimulasikan menggunakan porositas acak pada saluran dan dalam keadaan aliran laminer. Porositas acak yang diterapkan dalam media berpori bertujuan untuk memperbesar perpindahan panas, dan menggunakan metode Kinderman-Ramage untuk mendapatkan porositas acaknya. Hasil yang didapatkan dari penelitian menunjukkan bahwa porositas yang lebih besar dalam media berpori dapat memberikan perpindahan panas yang lebih tinggi.

Eko Siswanto (2011) melakukan penelitian eksperimental tentang 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.

Y. Wang (2015) melakukan penelitian secara simulasi mengenai pengaruh porositas porous media pada campuran fluida panas dan fluida dingin. *Porous media* dimodelkan pada sebuah pipa berbentuk T. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin kecil porositas porous media mengakibatkan fluktuasi temperatur semakin menurun dan konduktivitas termal efektif semakin besar

## 2.2 Porous Media

*Porous media* atau media berpori adalah suatu material berstruktur yang di dalamnya terdapat atau mengandung ruang kosong yang disebut pori dan dikelilingi oleh matriks yang padat atau semi padat. Pori-pori yang terdapat di dalam media berpori diisi fluida seperti udara, air, minyak, dan sebagainya.

Lubang yang tersebar di dalam *porous media* menciptakan rongga-rongga yang menyebabkan fluida dapat berlalu di dalamnya. Kemudian hal ini mengakibatkan semakin besarnya luas permukaan perpindahan panas.

## 2.3 Porositas

Porositas suatu medium merupakan ukuran dari ruang kosong di antara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1, atau sebagai persentase antara 0-100%. Atau bisa juga didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga – rongga pori terhadap volume total seluruh material. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen dan disebut porositas. Besarnya porositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\varphi = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan material}} \times 100\% \quad (2-1)$$

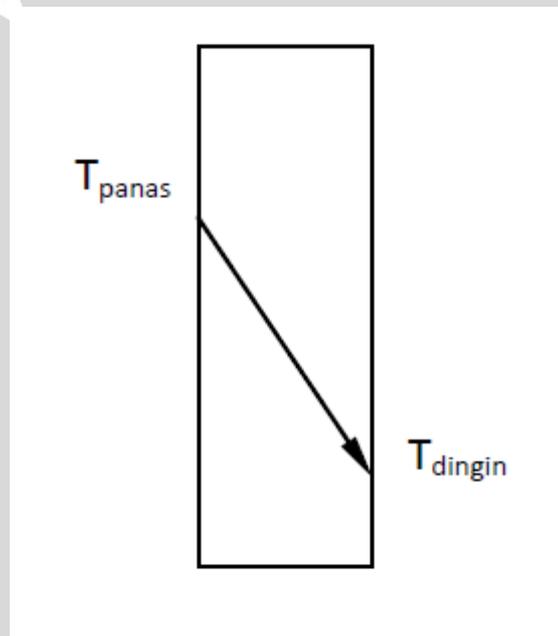
## 2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena terdapat perbedaan temperatur antara suatu benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu yang memprediksikan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahny suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperature pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair, atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.

Perpindahan kalor konduksi yang terjadi pada benda cair dan gas disebabkan karena adanya tumbukan (*collision*) serta *difusi* yang terjadi pada pergerakan molekul yang acak yang disebabkan oleh kenaikan temperatur, sedangkan perpindahan panas konduksi yang terjadi pada benda padat diakibatkan karena pada kisi-kisinya terdapat kombinasi getaran molekul serta perpindahan energi oleh elektron bebas, dimana pergerakan atom dan elektron bebas yang semula bergetar setimbang kemudian berubah menjadi getaran yang kian membesar dan menumbuk atom dan electron disekitarnya pada saat dipanaskan. Dengan terjadinya interaksi antar atom dan elektron ini mengakibatkan adanya transfer energi dari atom yang satu ke atom yang lain, sehingga panas akan dirambatkan secara atomik dalam substansi tersebut. Perpindahan kalor konduksi melalui sebuah dinding dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi  
Sumber: J.P Holman (1995 : 33)

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding lurus dengan gradient suhu normal sesuai dengan persamaan berikut:

$$Q_{konduksi} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2-2)$$

dengan:

$Q_{konduksi}$  = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

$k$  = Konduktivitas termal bahan (W/m°C)

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)

$T_1 - T_2$  = Perbedaan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

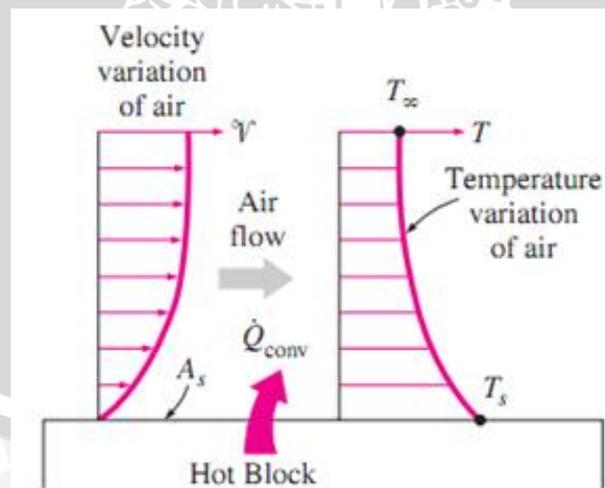
$\Delta x$  = Ketebalan permukaan pada arah x (m)

Konstanta positif “k” disebut konduktivitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur. (J.P. Holman, hal : 22)

#### 2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan / aliran / pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Perpindahan panas secara konveksi, dari sebuah permukaan yang memiliki suhu lebih tinggi suhu fluida sekitarnya terjadi dalam beberapa tahap.

Tahap pertama, energi akan dialirkan secara konduksi dari permukaan partikel – partikel fluida yang bersinggungan. Dengan demikian akan menyebabkan kenaikan suhu dan energi yang terkandung dalam partikel-artikel fluida ini. Kemudian partikel fluida tersebut akan melakukan pergerakan menuju ke daerah yang memiliki suhu lebih rendah di dalam fluida, dimana akan menyebabkan perpindahan sebagian energi terhadap partikel fluida lainnya akibat dari bercampurnya partikel tersebut. Nilai perpindahan panas konveksi berbanding lurus dengan kecepatan gerakan fluida.



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

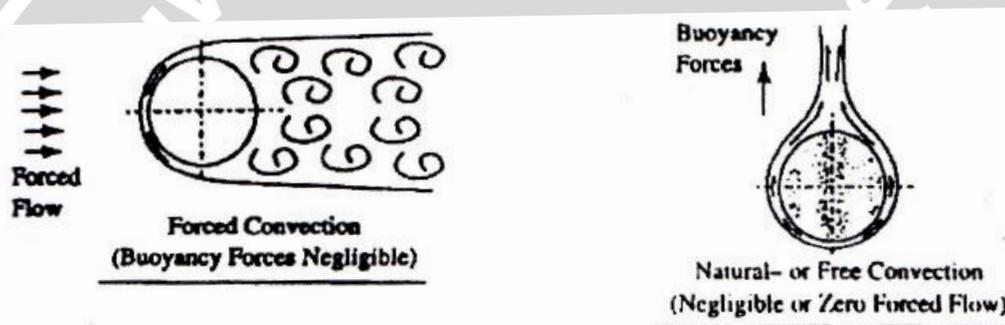
Berdasarkan gerakan fluida perpindahan panas konveksi dikelompokkan menjadi :

a. Konveksi bebas

Konveksi bebas terjadi apabila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan atau densitas yang diakibatkan karena perbedaan suhu tanpa adanya batuan gaya dari luar (blower, kipas). Misalnya densitas yang lebih kecil yang dimiliki fluida yang panas dibandingkan dengan fluida yang dingin, sehingga akan terjadi pergerakan fluida, yaitu fluida yang panas, akan naik dan fluida yang dingin akan turun.

b. Konveksi paksa

Konveksi paksa terjadi apabila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa atau eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa, kipas atau peralatan lainnya yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir. Perbedaan antara perpindahan panas konveksi bebas dengan paksa ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Gambar 2.3 Perpindahan panas konveksi paksa dan bebas dari dinding pipa

Sumber : Patrick H. Oousthuisen (1999 : 4)

Laju perpindahan panas konveksi pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = - hA (T_w - T_\infty) \quad (2-3)$$

dengan :

$Q$  = Laju aliran panas konveksi (Watt)

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

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

$T_w$  = Temperatur dinding ( $^\circ C$ )

$T_\infty$  = Temperatur sekeliling ( $^\circ C$ )

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+). Persamaan (2-3) mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien perpindahan panas ( $h$ )

bukanlah suatu sifat fluida, akan tetapi menyatakan besarnya laju perpindahan panas di daerah dekat pada permukaan itu.

## 2.5 Konduktivitas Termal

Tetapan kesebandingan ( $k$ ) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2-2) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu.

### 2.5.1 Konduktivitas Termal Efektif

Pori – pori yang terkandung di dalam *porous media* akan tersentuh dan terisi oleh *saturated vapor* yang masuk ke dalam *chamber*. Hal ini menyebabkan perubahan konduktivitas termal efektif yang terjadi selama proses perpindahan panas berlangsung di dalam *porous media*. Konduktivitas termal efektif yang dimaksud diatas adalah konduktivitas termal efektif lapisan *porous media* dengan *void-terisi-saturated vapor* di dalamnya.

Konduktivitas termal efektif *porous media* dalam kondisi *saturated vapor-void*  $k_{eff}$  dirumuskan dengan :

$$K_{eff} = \left[ (1 - \varepsilon^{2/3}) + \frac{\varepsilon^{2/3}}{(1 - \varepsilon^{1/3}) + \varepsilon^{1/3}(k_p/k_a)} \right] k_p \quad (2-4)$$

dimana

$\varepsilon$  = porositas *porous media* (%)

$k_p$  = konduktivitas termal partikel *porous media* (W/m°C)

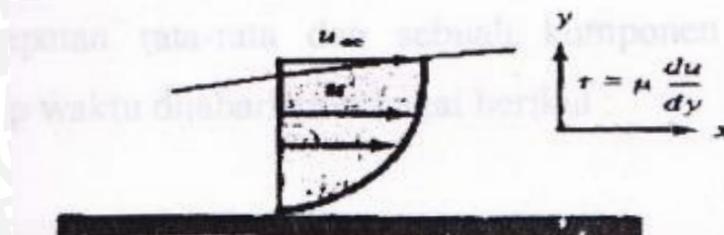
$k_a$  = konduktivitas termal *saturated vapor* (W/m°C)

## 2.6 Aliran Laminar dan Turbulen

### 2.6.1 Aliran Laminar

Adalah aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur secara mulus pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Bisa diambil kesimpulan mengenai ciri- ciri aliran laminar yaitu:fluida

bergerak mengikuti garis lurus, kecepatan fluidanya rendah, viskositasnya tinggi dan lintasan gerak fluida teratur antara satu dengan yang lain.



Gambar 2.4 Kecepatan laminar di atas pelat rata  
Sumber : J.P. Holman (1995 : 193)

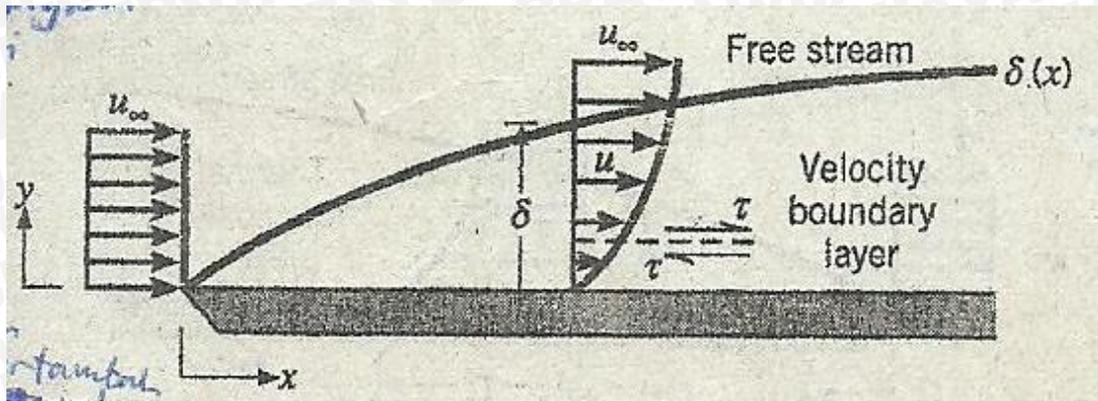
## 2.6.2 Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan yang mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran. Lapisan – lapisan fluida yang terdapat di dalam aliran turbulen tidak akan terlihat sehingga aliran fluida digambarkan sebagai bongkahan–bongkahan fluida. Proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala mikroskopik yang disebabkan oleh pergerakan acak bongkahan-bongkahan fluida tersebut. Perpindahan energi terjadi akibat pencampuran partikel – partikel bongkahan dengan partikel – partikel lain dari fluida tersebut. Peningkatan laju perpindahan panas terjadi akibat laju pencampuran partikel pada aliran turbulen meningkat dimana peningkatan pencampuran partikel tersebut merupakan proses difusi yang baik.

## 2.7 Lapisan batas

### 2.7.1 Lapisan batas kecepatan

Lapisan fluida dari permukaan plat hingga suatu titik tertentu yang diukur terhadap permukaan padat dimana efek viskositas dapat diabaikan disebut dengan *boundary layer* atau lapisan batas. Struktur dari lapisan batas dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Lapisan batas kecepatan  
Sumber : Incropera, Frank P (1996 : 289)

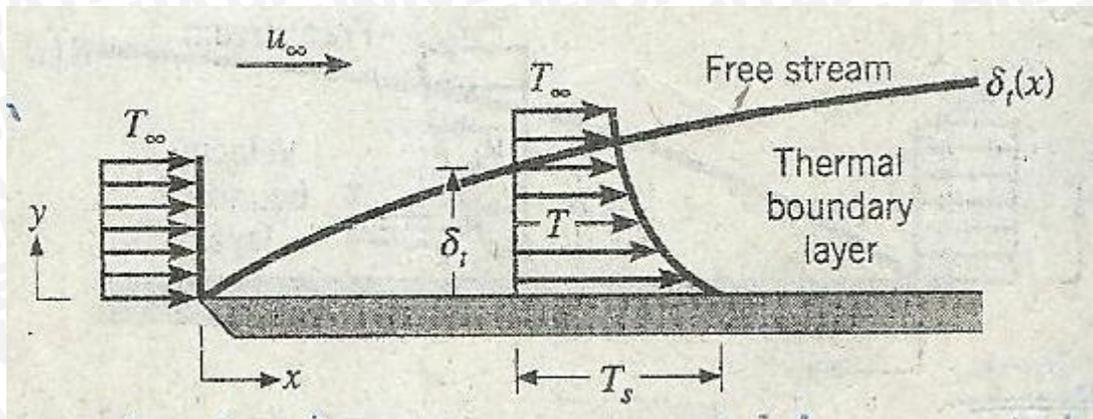
Dikarenakan pada awal fluida masuk ke dalam pipa lapisannya baru mulai berkembang, maka kecepatan fluida masuk dalam pipa adalah sebesar  $U_0$  dan besar kecepatan seragam pada penampang melintang saluran. Ketika fluida mengalir melalui permukaan suatu benda, maka hal tersebut akan menyebabkan timbulnya suatu daerah dimana aliran suatu fluida tersebut dipengaruhi oleh gesekan dengan permukaan benda. Kecepatan akan bertambah pada daerah tersebut, berawal dari nol yaitu pada permukaan benda sampai mendekati kecepatan aliran utama yang ditunjukkan dengan garis putus-putus (kecepatan fluida dalam lapisan batas telah mencapai aliran fluida). Ketebalan boundary layer akan semakin bertambah selama fluida mengalir hingga mencapai pusat pipa. Sehingga tegangan geser dalam aliran fluida akan dipengaruhi oleh gradien kecepatan tersebut. Hal ini disebabkan oleh tegangan geser yang sebanding dengan gradien kecepatan. Dengan bertambahnya jarak antara fluida dengan permukaan padat, maka semakin lama pengaruh tegangan geser tersebut akan semakin berkurang.

Ketika awal fluida memasuki pipa, akan terbentuk *boundary layer* yang didalamnya memiliki gradien kecepatan yang kecepataannya akan selalu lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan fluida di luar *boundary layer*. *Entrance length* adalah Jarak dari awal masuk pipa sampai aliran berkembang penuh (*fully developed*). *Entrance length* merupakan suatu fungsi dari bilangan Reynolds.

### 2.7.2 Lapisan Batas Termal

Ketika suatu fluida mengalir dengan temperatur tertentu melewati sebuah permukaan yang memiliki temperatur berbeda, maka fluida tersebut tidak hanya memiliki *velocity boundary layer* saja, tetapi akan terbentuk juga *thermal boundary layers*. Lapisan batas thermal atau disebut juga *thermal boundary layer* merupakan daerah dimana terbentuk

gradien temperatur dalam suatu aliran. Terbentuknya gradien temperatur ini adalah akibat dari proses bertukarnya kalor antara fluida dan permukaan dinding bagian dalam.



Gambar 2.6 Lapisan batas termal  
Sumber : Incropera, Frank P (1996 : 290)

Tahap-tahap perkembangan *thermal boundary layers* dari aliran fluida yang melalui pipa bundar dapat dilihat pada gambar 2.8. Temperatur  $T_s$  aliran fluida akan terlihat seragam pada awal fluida memasuki pipa, keseragaman temperatur aliran fluida ini dikarenakan mulai berkembangnya lapisan batas. Selama fluida tersebut mengalir tebal lapisan batas akan selalu bertambah, tetapi jari-jari pipa akan membatasi tebal lapisan batas. Pada tahap aliran fluida selanjutnya akan timbul geseran antara fluida dengan dinding dan antar partikel-partikel yang berdampan yang mengakibatkan tebalnya mencapai pusat pipa. Ketika fluida pertama kali masuk pipa, jika temperaturnya lebih besar dibanding dengan temperatur dinding, maka akan terbentuk gradien temperatur fluida di dalam boundary layer yang temperaturnya selalu lebih kecil dibandingkan dengan temperatur fluida di luar boundary layer. Akan tetapi aliran fluida di luar boundary layer memiliki distribusi temperatur yang seragam. Temperatur diluar boundary layer akan selalu lebih besar ketika temperatur fluida yang mengalir lebih besar dibanding temperatur dinding.

## 2.8 Reynold Number

*Reynold number* atau bilangan Reynolds merupakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos. Aliran laminar atau aliran turbulen yang terjadi di dalam pipa dapat diketahui dengan menggunakan bilangan Reynolds. Apabila bilangan Reynolds kurang dari 2300, maka dapat dikatakan aliran yang terjadi dalam pipa adalah aliran laminar dan

apabila bilangan Reynolds lebih dari 4000, maka dapat dikatakan aliran dalam pipa adalah aliran turbulen. Sedangkan aliran transisi terjadi pada kondisi diantara aliran laminar dan turbulen. Persamaan bilangan Reynolds untuk menentukan aliran laminar atau aliran turbulen pada *incompressible flow* di dalam pipa adalah :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (2-5)$$

dengan :

$v$  = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

$D$  = diameter pipa (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

$\mu$  = viskositas absolut/dinamik ( $N \cdot s / m^2$ )

$\rho$  = densitas ( $kg/m^3$ )

Bilangan *Reynolds* merupakan besaran yang tidak berdimensi yang menganalisa gaya inersia fluida. Jenis aliran fluida dan gaya gesekan yang terjadi dengan permukaannya akan menentukan bilangan Reynold. Biasanya bilangan ini dipergunakan untuk mengetahui jenis-jenis aliran yang terjadi pada suatu wadah, semisal pipa dan lain-lain. Jika model pipa yang dilewati oleh aliran fluida tersebut berubah bentuk tentu saja nilai debitnya berubah yang juga berpengaruh pada kecepatan fluida itu sendiri, dan lebih jauh mempengaruhi bilangan Reynold yang ada pada keadaan tersebut. Keadaan ini terjadi atas dasar kondisi di dalam suatu pipa atau tempat mengalirnya fluida, tidak jarang terjadi perubahan bentuk aliran. Aliran di dalam pipa pada umumnya tidak secara langsung berubah tetapi membutuhkan waktu, waktu yang dibutuhkan relatif pendek dengan kecepatan kritis dari suatu aliran telah diketahui. Bentuk pipa, dan jenis zat cair yang melewati pipa sangat mempengaruhi kecepatan kritis tersebut.

Untuk menentukan apakah sebuah aliran diklasifikasikan sebagai aliran laminar atau aliran turbulen terdapat empat besaran yang menentukan, yaitu massa jenis air, kecepatan aliran, kekentalan, dan diameter pipa. Besarnya bilangan *Reynolds* akan ditentukan oleh empat besaran tersebut.

Nilai kecepatan fluida relatif lebih besar terhadap viskositas dan densitas berhubungan dengan gaya inersia berlaku untuk bilangan Reynolds yang besar. Sehingga fluktuasi fluida yang cepat dan acak tidak dapat ditahan oleh gaya viskos, sehingga turbulensi timbul pada aliran tersebut. Sedangkan pada aliran dengan bilangan Reynolds yang kecil, gaya inersia

dihambat oleh gaya viskos fluida yang menyebabkan aliran laminar dapat terjadi pada aliran fluida.

### 2.9 Grashof Number

Angka atau bilangan tak berdimensi yang menyatakan rasio antara daya apung dan gaya viskos yang bekerja pada fluida disebut dengan *Grashof number* (Gr). *Grashof number* sering muncul dalam studi situasi yang melibatkan konveksi alami. *Grashof number* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)d^3}{\nu^2} \quad (2-6)$$

dengan :

Gr = *Grashof number*

g = Percepatan Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$\beta$  = Koefisien Ekspansi Termal (K<sup>-1</sup>)

T<sub>w</sub> = Temperatur Dinding (K)

T<sub>∞</sub> = Temperatur *Free Stream* (K)

d = Diameter (m)

$\nu$  = Viskositas Kinematik (m<sup>2</sup>/s)

### 2.10 Prandtl Number

Angka atau bilangan tak berdimensi yang menyatakan rasio antara viskositas kinematik dan difusifitas termal disebut dengan *Prandtl number* (Pr). *Prandtl number* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2-7)$$

dengan :

Pr = *Grashof number*

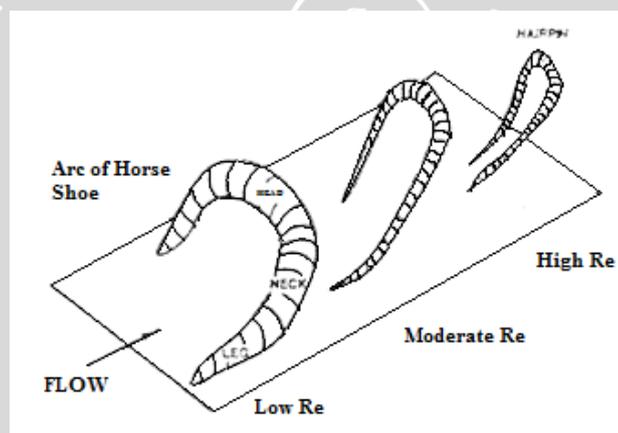
$\nu$  = Viskositas Kinematik (m<sup>2</sup>/s)

$\alpha$  = Difusifitas Termal (m<sup>2</sup>/s)

### 2.11 Vortex

Pergerakan memutar dari partikel – partikel massa fluida yang membentuk garis arus atau streamline lingkaran konsentris disebut dengan *vortex*. *Vortex* bergerak berputar dikarenakan lapisan fluida yang berdekatan memiliki kecepatan yang berbeda. *Vortex* juga dapat diartikan dengan pergerakan fluida yang disebabkan oleh parameter kecepatan dan

tekanan. Pengaruh viskositas di dalam putaran rotasional adalah hal yang menyebabkann terjadinya *vortex*. *Vortex* dibagi menjadi 2 macam berdasarkan proses pembentukannya yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). Ketika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber, maka *vortex* bebas akan terbentuk. Adanya gerakan internal dari fluida adalah faktor yang menyebabkan fluida tersebut berputar, sebagai contoh pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. Dan ketika mekanisme terbentuknya *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar, maka *vortex* paksa akan terbentuk. Sebagai contoh yaitu pemutaran suatu fluida menggunakan pipa silinder dalam suatu wadah. Sebenarnya wujud dari *vortex* sendiri adalah tiga dimensi dan harga bilangan *Reynolds* dapat menyebabkan berubahnya *vortex*. *Vortex* akan berbentuk seperti tapal kuda untuk bilangan *Reynolds* yang rendah, dan akan semakin meruncing seiring semakin tingginya harga bilangan *Reynolds*, hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*  
Sumber: Gerhart (1985: 607).

## 2.12 Viskositas

Ukuran kekentalan fluida yang ditunjukkan oleh besar atau kecilnya gesekan internal fluida disebut dengan viskositas. Ketika pergerakan satu lapisan fluida melewati lapisan fluida yang lain menyebabkan timbulnya gaya gesek antar lapisan fluida. Faktor utama yang menyebabkan viskositas pada zat cair adalah gaya kohesi antar molekul, sedangkan tumbukan antar molekul akan menyebabkan viskositas pada gas.

Lambang  $\eta$  menyatakan nilai viskositas yang berbeda pada setiap fluida. Peninjauan satu lapisan fluida yang ditempatkan di antara dua lempeng logam yang rata dapat digunakan untuk memahami viskositas dari suatu fluida. Pergerakan satu lempeng fluida (lempeng atas) dengan tetap diamnya lempeng yang lain (lempeng bawah). lempeng

tersebut akan menyentuh fluida dan akan ditahan oleh gaya adhesi antara molekul fluida dan molekul lempeng. Sehingga, pergerakan lempeng tersentuh lapisan fluida dan akan menyebabkan lapisan fluida tersebut ikut bergerak, sedangkan lempeng yang diam akan menyebabkan lapisan fluida yang bersentuhan dengannya akan tetap diam.

Kecepatan pergerakan lapisan fluida akan sama dengan kecepatan pergerakan lempeng, yaitu sebesar  $v$ . Karena adanya gaya kohesi maka akan menyebabkan lapisan fluida di bagian atas akan ditahan oleh lapisan fluida yang diam. Lapisan yang ditahan tersebut menahan lapisan di atasnya lagi dan seterusnya sehingga kelajuan setiap lapisan fluida bervariasi dari 0 sampai  $v$ . Lempeng tersebut digerakkan oleh suatu gaya. Untuk membuktikannya, kita bisa melakukan percobaan dengan menggerakkan sebuah potongan kaca di atas tumpahan sirup. Semakin besar viskositas fluida, maka gaya yang diperlukan juga semakin besar.

Untuk mengamati viskositas juga dapat dilakukan dengan dijatuhkannya sebutir kelereng ke dalam minyak goreng yang ditempatkan dalam gelas kaca, kemudian kecepatan dari kelereng tersebut akan mengalami perlambatan. Hal ini terjadi akibat adanya gesekan di dalam fluida yang menyebabkan melambatnya kecepatan kelereng. Ketika kita menjatuhkan kelereng ke dalam minyak goreng, kelereng tersebut akan mengalami kecepatan yang suatu saat paling besar dan tetap untuk selang waktu tertentu. Kecepatan itu disebut kecepatan batas. Saat kelereng di dalam minyak goreng, terdapat tiga gaya yang akan dialami kelereng, yaitu gaya berat, gaya ke atas fluida, dan gaya gesekan fluida. Selanjutnya viskositas akan dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

### 2.12.1 Viskositas Kinematik

Perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan (*density*) massa jenis dari fluida disebut dengan viskositas kinematik. Terdapat beberapa penerapan viskositas kinematik, diantaranya diterapkan dalam bilangan Reynold. Persamaan matematisnya adalah sebagai berikut :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-8)$$

dengan :

$$\nu = \text{viskositas kinematik (m}^2/\text{s)}$$

$$\mu = \text{viskositas dinamik (N.s/ m}^2\text{)}$$

$$\rho = \text{densitas / massa jenis (kg/m}^3\text{)}$$

### 2.12.2 Viskositas Dinamik

Sifat ketahanan suatu fluida terhadap adanya tegangan geser atau gaya yang berkerja terhadap fluida tersebut dikenal dengan viskositas dinamik. Persamaan matematis dari viskositas dinamik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2-9)$$

Dengan:

$\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$\tau$  = tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

$du/dy$  = gradien kecepatan ((m/s)/m)

### 2.13 Software ANSYS Workbench

ANSYS *Workbench* merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk mendiskritisasi model dengan sangat halus dengan berbasis elemen hingga. ANSYS *Workbench* bisa digunakan untuk menghasilkan output dengan ketelitian tinggi dan dapat bekerja dengan elemen lebih banyak. Analisis struktural, analisis thermal, analisis elektris, analisis magnetis, dan analisis fluida adalah beberapa analisis yang dapat dilakukan oleh *software* ANSYS.

Berbagai jenis program komputer dengan dasar *Computer Aided Engineering* (CAE) dapat dikembangkan dan diatur di dalam ANSYS *Workbench* dan membuatnya lebih mudah untuk digunakan. Fasilitas *Mechanical*, *Fluid Flow*, *Engineering Data*, *Design Modeler*, *Meshing Application* dan *Blade Gen* adalah beberapa fasilitas yang terdapat di dalam ANSYS *Workbench*. Terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan dengan ANSYS *Workbench* antara lain :

1. Dapat mengkondisikan model yang telah dibuat sesuai dengan jenis simulasi yang menggunakan *Design Modeler*.
2. Dapat melakukan dengan baik simulasi FAE.
3. Dapat mengimport langsung model yang digambar dari beberapa *software* CAD ke ANSYS *Workbench*.
4. Dapat melakukan pengimplementasian *design* yang dipilih untuk kondisi sebenarnya.

### 2.14 Hipotesis

Semakin besar porositas *porous media*, maka akan mengakibatkan menurunnya konduktivitas termal efektif *porous media*, sehingga perpindahan panas yang terjadi pada *porous media* akan semakin kecil, dan kemudian hal ini akan mengakibatkan gradien temperatur yang terbentuk akan semakin besar.



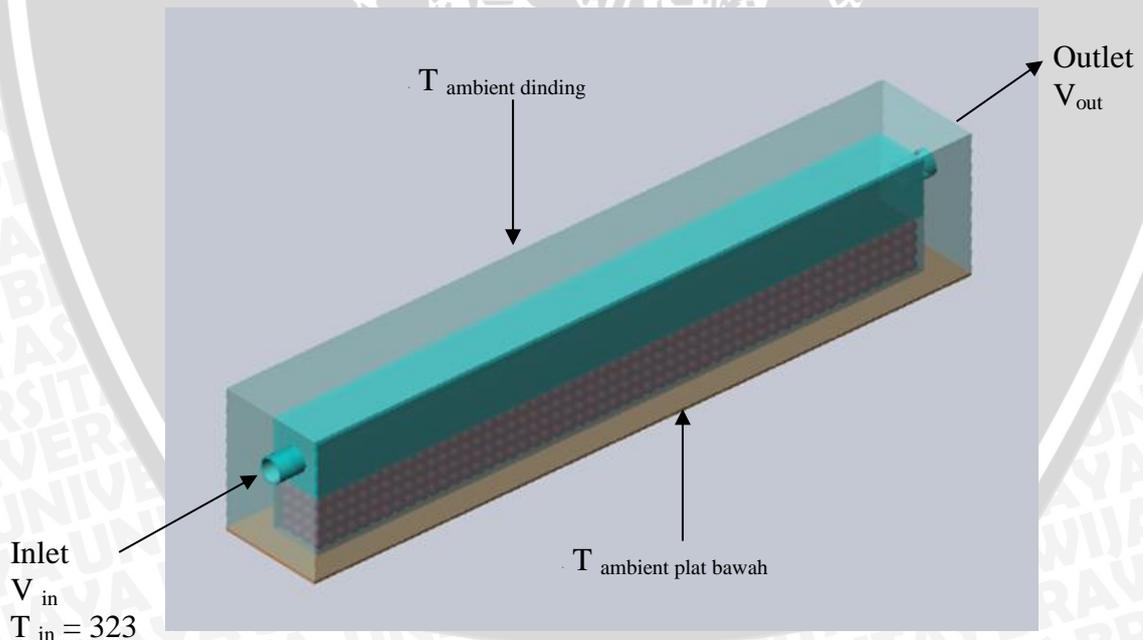
## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan *software CFX* yang terdapat dalam ANSYS 14.5 *Workbench*, sehingga dapat diketahui pengaruh porositas terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media* di bawah aliran *saturated vapor*. Di samping itu juga dilakukan studi literatur untuk memperoleh informasi tambahan mengenai masalah perpindahan panas secara konduksi dan konveksi.

### 3.2 Rancangan Penelitian

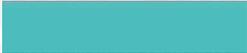
Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi tentang aliran fluida *saturated vapor* pada *porous media chamber*. Adapun instalasi percobaan *porous media chamber* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Skema simulasi  
Sumber : Solidworks Professional 2013

Keterangan skema:

 = Dinding kaca

 = Saturated Vapor

 = 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 masuk *saturated vapor* [K]

$V_{in}$  = Kecepatan tangensial *saturated vapor* masuk [m/s]

$V_{out}$  = Kecepatan keluar *saturated vapor* [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 porositas yang terdapat dalam *porous media*. Besarnya porositas yang akan divariasikan adalah 10%, 20%, 30%, 38% dan 40%.

#### 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 gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media*.

#### c) Variabel Kontrol

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

- Temperatur masuk *saturated vapor* 323 K
- Temperatur ambient dari dinding 323 K
- Temperatur plat tembaga 283 K
- Material yang digunakan untuk *porous media* adalah aluminium
- Tekanan *saturated vapor* yang digunakan adalah 1 atm
- Kecepatan masuk *saturated vapor* 2,5 m/s

### 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 :

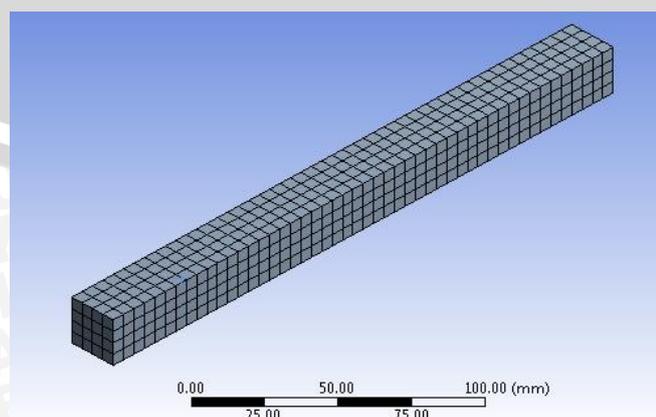
- RAM : 4096 MB
- *Operating system* : Windows 7 Enterprise 64-bit (6.1, Buld 7600)
- *Processor* : Intel(R)Core(TM) i3-2120 @ 3,30GHz(4 CPUs),  
~3,3GHz
- Total Memori : 12,9 GB

Sedangkan waktu penelitian adalah bulan September 2015 sampai Oktober 2015.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan analisa mengenai pengaruh variasi porositas 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.



Gambar 3.2 *Grid generation (meshing)* domain fisik pada *porous media*  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Terdapat dua cara untuk melakukan *meshing*, yaitu dengan cara manual dan cara otomatis. Gambar 3.2 menunjukkan *meshing* pada *porous media*. Pada *porous media* menggunakan jenis elemen heksahedron dengan jumlah *meshing* 768 elemen.

3. Mengalirkan *saturated vapor* 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 *Preprocessing*

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, plat, dan *saturated vapor*.
4. Melakukan *meshing* pada semua bagian *body porous media*.
5. Menentukan besarnya porositas *porous media* sesuai dengan prosedur pengujian.

#### 3.6.2 *Solution*

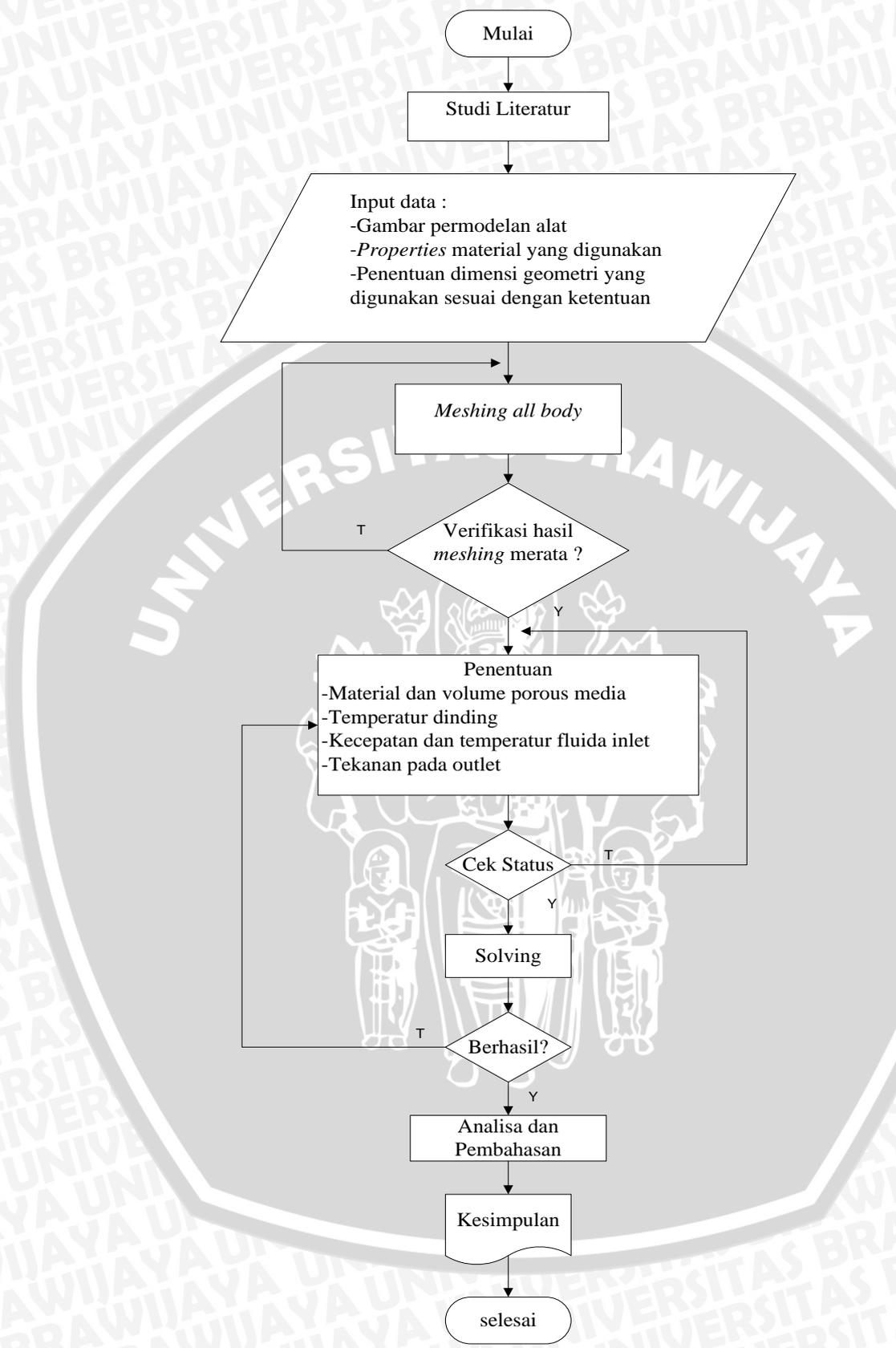
Pada tahap ini mendefinisikan jenis hasil yang akan ditampilkan yang mengacu kondisi batas sebelumnya.

#### 3.6.3 *Postprocessing*

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

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan seperti gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

Hasil dari simulasi yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan akan ditampilkan pada bab ini, kemudian hasil tersebut akan dianalisis dan hasil dari analisis tersebut juga akan ditampilkan pada bab ini.

Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan nilai-nilai temperatur pada titik-titik yang terdapat pada *porous media chamber* yang kemudian nilai-nilai temperatur tersebut akan dijadikan acuan pengolahan data pada penelitian ini.

#### 4.2 Pengolahan Data

##### 4.2.1 Data Penelitian

Berikut merupakan data – data yang digunakan dalam penelitian ini :

1. *Saturated vapor* dialirkan secara tangensial terhadap *porous media* dengan temperatur 323 K.
2. Berikut merupakan perincian dari rancangan yang digunakan :
  - a. *Porous media chamber*
    - Panjang : 260 mm
    - Lebar : 40 mm
    - Tinggi : 50 mm
    - Material dinding : Kaca
    - Diameter *inlet* : 8 mm
    - Diameter *Outlet* : 8 mm
  - b. Temperatur masuk *saturated vapor* : 323 K
  - c. Kecepatan masuk *saturated vapor* : 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 : 10%, 20%, 30%, 38%, 40%.

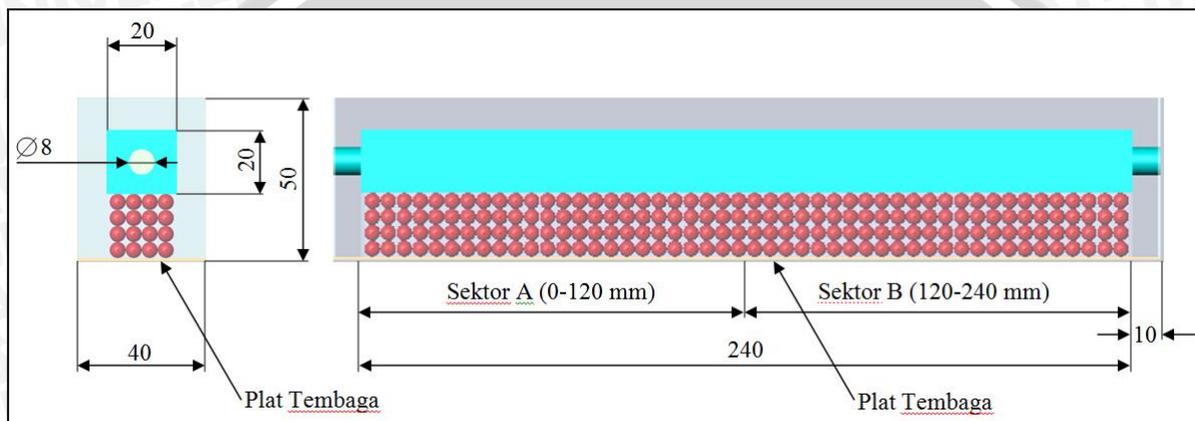
#### 4.3 Pembahasan

Pada bab ini peneliti akan membahas gradien temperatur pada penampang sepanjang 260 mm, pembahasan gradien temperatur dengan arah melintang akan dibagi menjadi

tiga zona, yaitu zona 1 adalah zona yang ada pada *chamber saturated vapor*, zona 2 merupakan zona yang berada pada permukaan *porous media*, dan zona 3 yang terdapat pada *porous media*, dan distribusi perpindahan panas pada *porous media*.

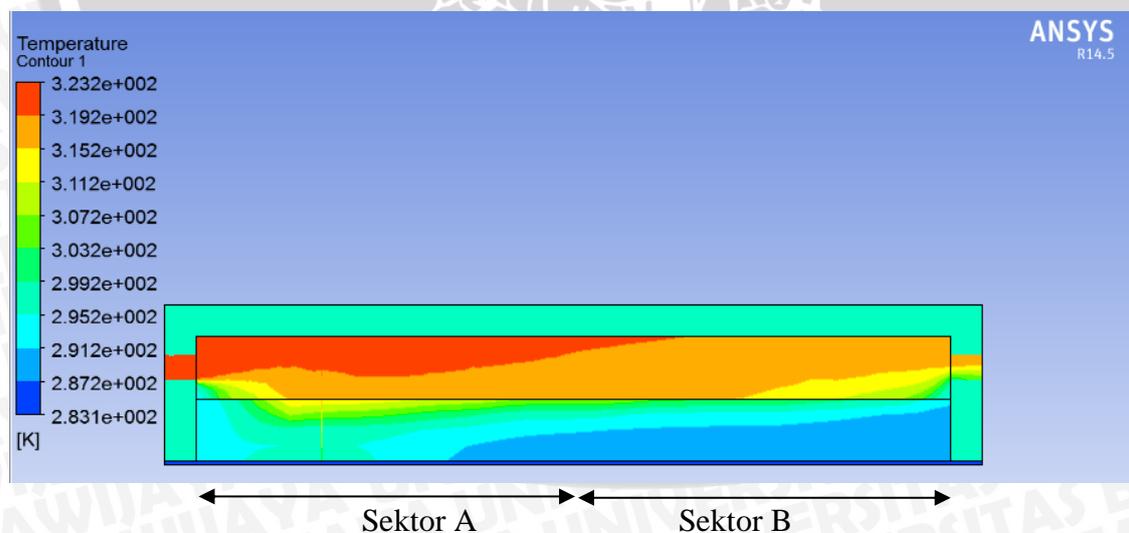
#### 4.3.1 Gradien Temperatur *Porous Media Chamber* dari Samping.

*Porous media chamber* akan dibagi menjadi dua daerah yaitu sektor A dan sektor B. Dimana sektor A merupakan sektor dengan jarak 0-120 mm dari *inlet*, kemudian sektor B merupakan sektor dengan jarak 120-240 mm dari *inlet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Penampang melintang *porous media chamber*  
Sumber : Solidworks Professional 2013

#### A. Porositas 10%



Gambar 4.2 Gradien temperatur pada porositas 10%  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

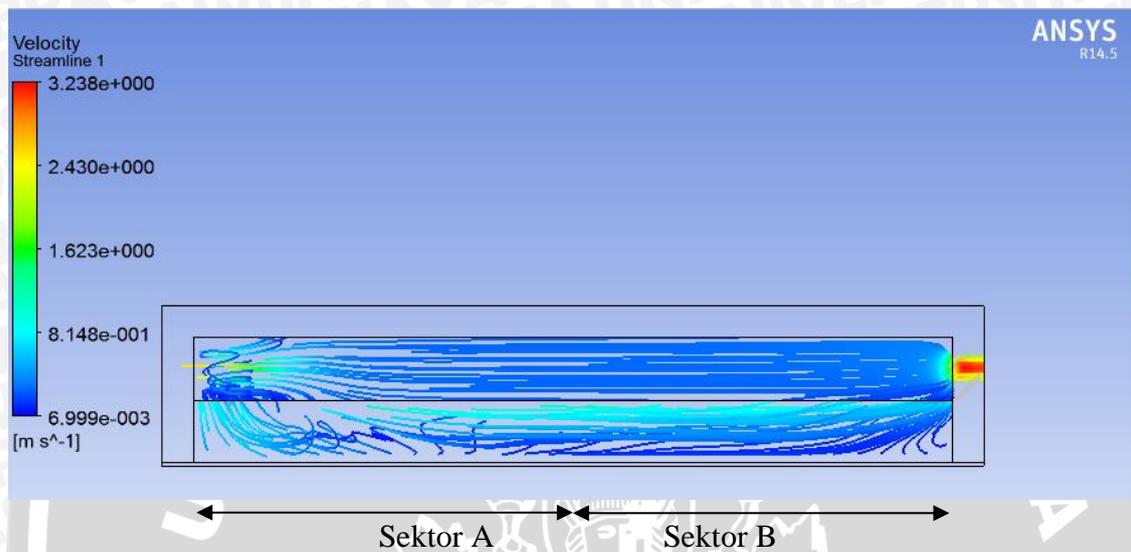
Gambar 4.2 memperlihatkan gradien temperatur di dalam *porous media chamber* dengan porositas 10%. Kemudian hasil dari gradien tersebut akan dibagi menjadi dua

sektor, yaitu sektor A dan sektor B. Sektor A merupakan sektor yang memiliki jarak 0-120 mm dari *inlet*. Sedangkan sektor B merupakan sektor yang memiliki jarak 120-240 mm dari *inlet* dan terdapat *outlet*.

Pada sektor A dapat dilihat bahwa terdapat 9 gradien temperatur yang berbeda, dimana terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 5 gradien temperatur pada *porous media*. Gradien temperatur diatas memiliki nilai temperatur maksimum dan minimum yang mana nilainya dapat dilihat pada keterangan di sampingnya. Pada sektor A, dapat dilihat ketika *saturated vapor* dialirkan melalui *inlet* yang berdiameter 8 mm dengan temperatur 323 K dengan kecepatan 2,5 m/s masih belum terjadi penurunan temperatur. Kemudian ketika *saturated vapor* melewati perluasan tiba-tiba mulai terdapat gradien temperatur yang berbeda-beda dimana gradien temperatur tersebut menunjukkan nilai temperatur yang berbeda pula pada sektor tersebut. Ketika *saturated vapor* semakin menjauh dari *inlet*, akan semakin turun temperatur *saturated vapor* tersebut. Pada *chamber saturated vapor*, gradien temperatur yang dominan muncul adalah warna merah dengan nilai 319,2 K – 323,2 K, dan warna jingga dengan nilai 315,2 K – 319,2 K. Sedangkan pada *porous media*, dapat dilihat bahwa ada 5 macam gradien temperatur yang berbeda, yaitu kuning muda (307,2 K – 311,2 K) hijau (303,2 K – 307,2 K) hijau muda (299,2 K – 303,2 K) biru muda (291,2 K – 299,2 K) biru (287,2 K – 291,2 K). Adanya perbedaan gradien temperatur tersebut terjadi karena adanya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media*.

Pada sektor B, dapat dilihat bahwa terdapat 6 gradien temperatur yang berbeda, yaitu terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 2 gradien temperatur pada *porous media*. Pada *chamber saturated vapor* terlihat lebih dominan warna jingga yaitu memiliki nilai 315,2 K – 319,2 K. Akan tetapi ketika aliran *saturated vapor* yang berada pada *chamber saturated vapor* mendekati *outlet*, bagian fluida *saturated vapor* yang berada lebih dekat dengan *porous media* menjadi lebih dingin dan berubah warna mejadi kuning (311,2 K – 315,2 K) dan hijau (307,2 K – 311,2 K). Pada bagian *porous media* terdapat 2 gradien temperatur, yaitu biru muda (291,2 K – 295,2 K) dan biru (287,2 K – 291,2 K). Dengan membagi *porous media chamber* menjadi 2 bagian, kita dapat membandingkan gradien temperatur yang terbentuk pada sektor A dengan spektrum temperatur yang terbentuk pada sektor B. Dapat dilihat pada sektor A gradien temperatur terlihat lebih besar dibandingkan dengan sektor B. Hal ini dikarenakan pada sektor A *saturated vapor* baru memasuki *chamber* dengan temperatur yang masih tinggi, kemudian *saturated vapor* mulai menyentuh permukaan *porous media* dan mengalami

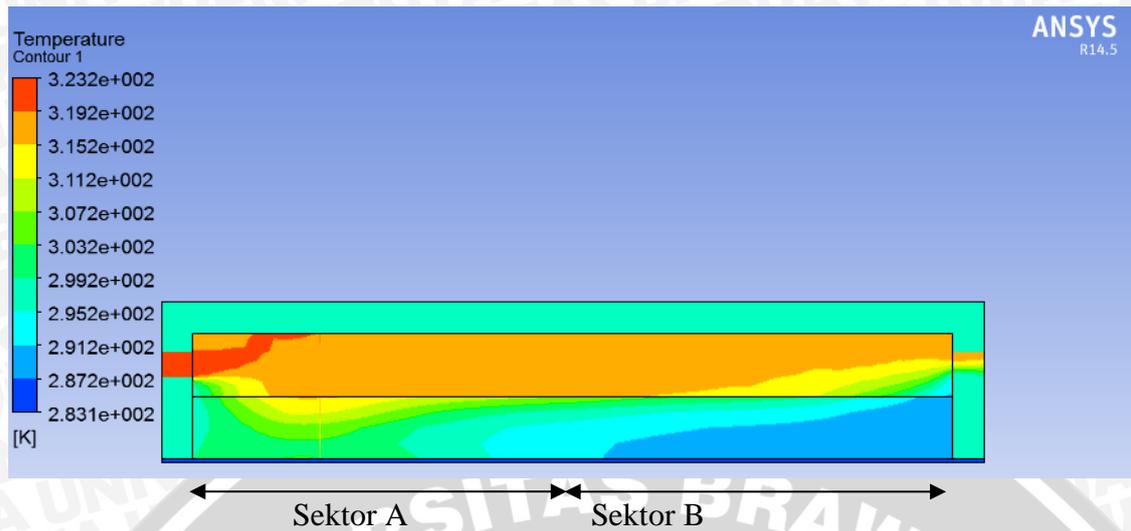
pendinginan sehingga terbentuk gradien temperatur yang lebih besar. Sedangkan pada sektor B gradien temperatur cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sektor A, hal ini dikarenakan pada sektor B temperatur *saturated vapor* lebih rendah karena sudah mengalami pendinginan terlebih dahulu pada sektor A.



Gambar 4.3 Garis kecepatan pada porositas 10%  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.3 menunjukkan garis kecepatan *saturated vapor* pada *porous media chamber* dengan porositas 10%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk pada *chamber saturated vapor* membentuk *vortex* pada awal masuknya *saturated vapor* dari *inlet*, hal ini dikarenakan adanya pelebaran luas penampang secara tiba-tiba. Sedangkan pada bagian *porous media*, garis kecepatan yang terbentuk juga membentuk *vortex* pada bagian yang dekat dengan *inlet*, hal ini dikarenakan adanya pelebaran luas penampang secara tiba-tiba dan aliran *saturated vapor* mulai memasuki *porous media*. Pada sektor B dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk sudah mulai stabil, hal ini dikarenakan aliran *saturated vapor* sudah mengisi *chamber saturated vapor* dan bagian *porous media*. Pada garis kecepatan di daerah *porous media* alirannya cenderung konstan dikarenakan keterbatasan pada alat simulasi, dan rumitnya memodelkan *porous media*, sehingga peneliti menyederhanakan pemodelan material yang sama yaitu aluminium yang kemudian divariasikan porositasnya. Fenomena tersebut juga dapat dikarenakan porous media tertata secara teratur.

## B. Porositas 20%

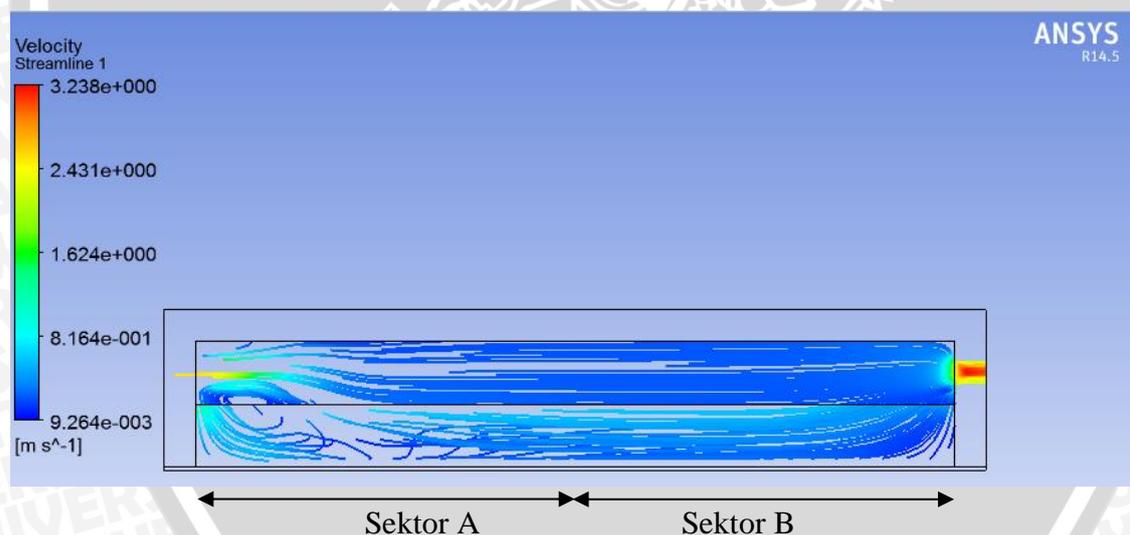


Gambar 4.4 Gradien temperatur pada porositas 20%  
 Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.4 menunjukkan gradien temperatur di dalam *porous media chamber* dengan porositas 20%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa terdapat 8 gradien temperatur yang berbeda, dimana terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 4 gradien temperatur pada *porous media*. Gradien temperatur diatas memiliki nilai temperatur maksimum dan minimum yang mana nilainya dapat dilihat pada keterangan di sampingnya. Pada sektor A, dapat dilihat ketika *saturated vapor* dialirkan melalui *inlet* yang berdiameter 8 mm dengan temperatur 323 K dengan kecepatan 2,5 m/s masih belum terjadi penurunan temperatur. Kemudian ketika *saturated vapor* melewati perluasan tiba-tiba mulai terdapat gradien temperatur yang berbeda-beda dimana gradien temperatur tersebut menunjukkan nilai temperatur yang berbeda pula pada sektor tersebut. Ketika *saturated vapor* semakin menjauh dari *inlet*, akan semakin turun temperatur *saturated vapor* tersebut. Pada *chamber saturated vapor*, gradien temperatur yang dominan muncul adalah warna jingga dengan nilai 315,2 K – 319,2 K. Sedangkan pada bagian *porous media*, dapat dilihat bahwa ada 4 macam gradien temperatur yang berbeda, yaitu kuning (312,2 K – 315,2 K) kuning muda (307,2 K – 312,2 K) hijau (303,2 K – 307,2 K) biru muda (291,2 K – 299,2 K). Adanya perbedaan gradien temperatur tersebut terjadi karena adanya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media*.

Pada sektor B, dapat dilihat bahwa terdapat 6 gradien temperatur yang berbeda, yaitu terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 2 gradien temperatur pada *porous media*. Pada bagian *chamber saturated vapor* terlihat lebih

dominan warna jingga yaitu memiliki nilai 315,2 K – 319,2 K. Akan tetapi ketika aliran *saturated vapor* yang berada pada *chamber saturated vapor* mendekati *outlet*, bagian fluida *saturated vapor* yang berada lebih dekat dengan *porous media* menjadi lebih dingin dan berubah warna mejadi kuning (311,2 K – 315,2 K) dan hijau (307,2 K – 311,2 K). Pada bagian *porous media* terdapat 2 gradien temperatur, yaitu biru muda (291,2 K – 295,2 K) dan biru (287,2 K – 291,2 K). Dengan membagi *porous media chamber* menjadi 2 bagian, kita dapat membandingkan gradien temperatur yang terbentuk pada sektor A dengan spektrum temperatur yang terbentuk pada sektor B. Dapat dilihat pada sektor A gradien temperatur terlihat lebih besar dibandingkan dengan sektor B. Hal ini dikarenakan pada sektor A *saturated vapor* baru memasuki *chamber* dengan temperatur yang masih tinggi, kemudian *saturated vapor* mulai menyentuh permukaan *porous media* dan mengalami pendinginan sehingga terbentuk gradien temperatur yang lebih besar. Sedangkan pada sektor B gradien temperatur cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sektor A, hal ini dikarenakan pada sektor B temperatur *saturated vapor* lebih rendah karena sudah mengalami pendinginan terlebih dahulu pada sektor A.

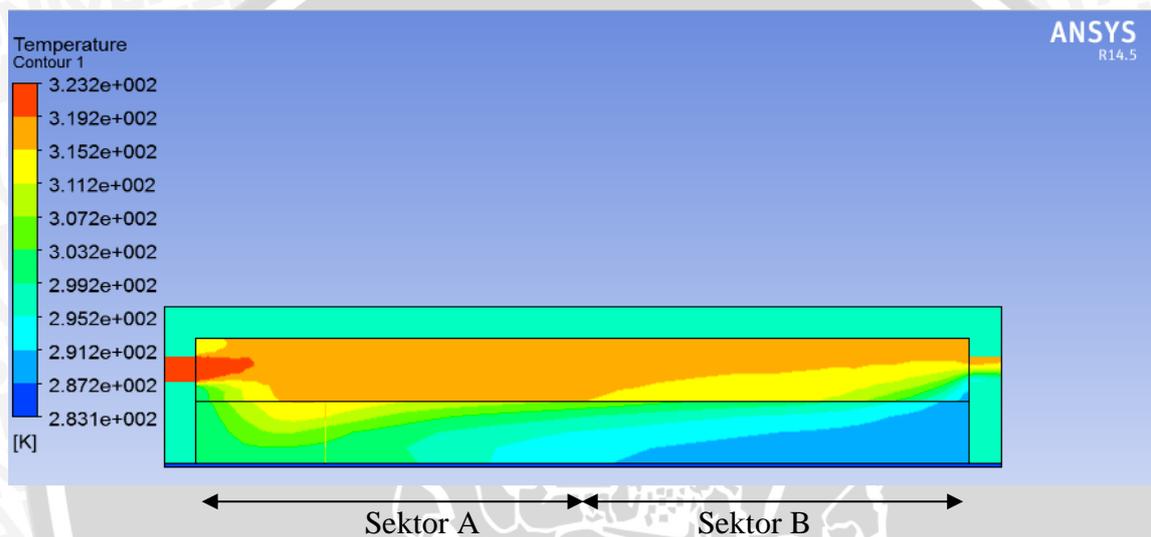


Gambar 4.5 Garis kecepatan pada porositas 20%  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.5 menunjukkan garis kecepatan *saturated vapor* pada *porous media chamber* dengan porositas 20%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk pada *chamber saturated vapor* dan *porous media* membentuk *vortex* pada awal masuknya *saturated vapor* dari *inlet*, hal ini dikarenakan adanya pelebaran luas penampang secara tiba-tiba dan aliran *saturated vapor* mulai memasuki *porous media*. Pada sektor B

dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk sudah mulai stabil, hal ini dikarenakan aliran *saturated vapor* sudah mengisi *chamber saturated vapor* dan bagian *porous media*. Pada garis kecepatan di daerah *porous media* alirannya cenderung konstan dikarenakan keterbatasan pada alat simulasi, dan rumitnya memodelkan *porous media*, sehingga peneliti menyederhanakan pemodelan material yang sama yaitu aluminium yang kemudian divariasikan porositasnya. Fenomena tersebut juga dapat dikarenakan porous media tertata secara teratur.

### C. Porositas 30%

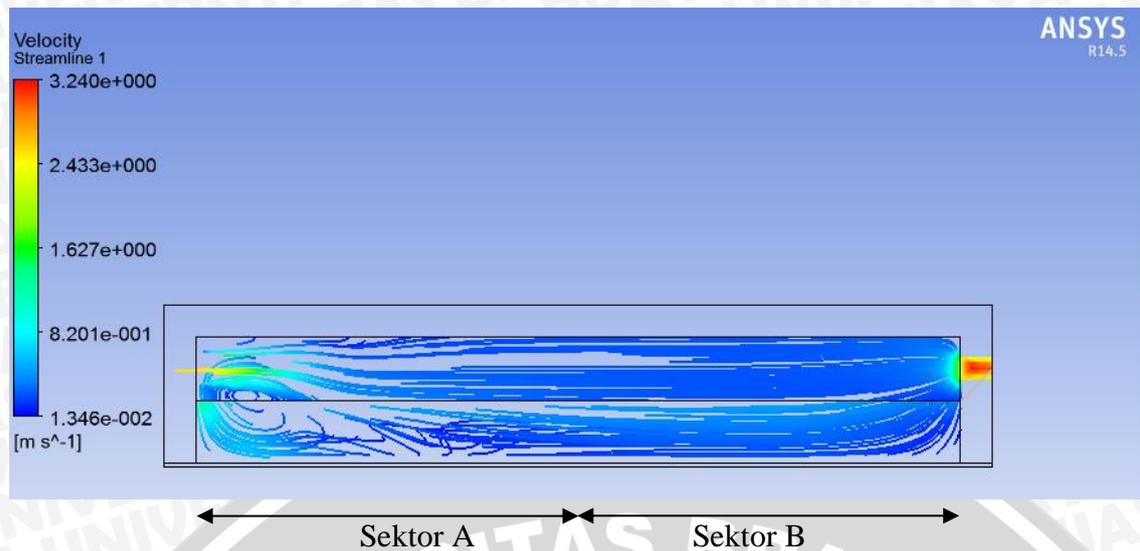


Gambar 4.6 Gradien temperatur pada porositas 30%  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.6 menunjukkan gradien temperatur di dalam *porous media chamber* dengan porositas 30%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa terdapat 7 gradien temperatur yang berbeda, dimana terdapat 5 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 4 gradien temperatur pada *porous media*, akan tetapi terdapat beberapa gradien temperatur yang sama antara *chamber saturated vapor* dan *porous media*. Gradien temperatur diatas memiliki nilai temperatur maksimum dan minimum yang mana nilainya dapat dilihat pada keterangan di sampingnya. Pada sektor A, dapat dilihat ketika *saturated vapor* dialirkan melalui *inlet* yang berdiameter 8 mm dengan temperatur 323 K dengan kecepatan 2,5 m/s masih belum terjadi penurunan temperatur. Kemudian ketika *saturated vapor* melewati perluasan tiba-tiba mulai terdapat gradien temperatur yang berbeda-beda dimana gradien temperatur tersebut menunjukkan nilai temperatur yang berbeda pula pada sektor tersebut. Ketika *saturated vapor* semakin menjauh dari *inlet*, akan semakin turun

temperatur *saturated vapor* tersebut. Pada *chamber saturated vapor*, gradien temperatur yang dominan muncul adalah warna jingga dengan nilai 315,2 K – 319,2 K. Sedangkan pada bagian *porous media*, dapat dilihat bahwa ada 4 macam gradien temperatur yang berbeda, yaitu kuning (312,2 K – 315,2 K) kuning muda (307,2 K – 312,2 K) hijau (303,2 K – 307,2 K) biru muda (291,2 K – 299,2 K). Adanya perbedaan gradien temperatur tersebut terjadi karena adanya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media*.

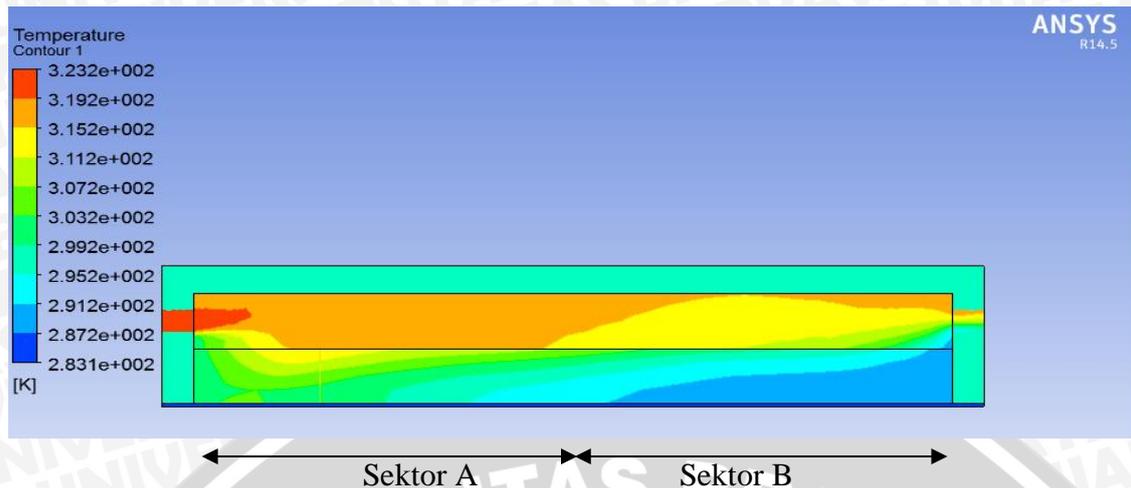
Pada sektor B, dapat dilihat bahwa terdapat 6 gradien temperatur yang berbeda, yaitu terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 2 gradien temperatur pada *porous media*. Pada bagian *chamber saturated vapor* terlihat lebih dominan warna jingga yaitu memiliki nilai 315,2 K – 319,2 K. Akan tetapi ketika aliran *saturated vapor* yang berada pada *chamber saturated vapor* mendekati *outlet*, bagian fluida *saturated vapor* yang berada lebih dekat dengan *porous media* menjadi lebih dingin dan berubah warna menjadi kuning (311,2 K – 315,2 K) dan hijau (307,2 K – 311,2 K). Pada bagian *porous media* terdapat 2 gradien temperatur, yaitu biru muda (291,2 K – 295,2 K) dan biru (287,2 K – 291,2 K). Dengan membagi *porous media chamber* menjadi 2 bagian, kita dapat membandingkan gradien temperatur yang terbentuk pada sektor A dengan spektrum temperatur yang terbentuk pada sektor B. Dapat dilihat pada sektor A gradien temperatur terlihat lebih besar dibandingkan dengan sektor B. Hal ini dikarenakan pada sektor A *saturated vapor* baru memasuki *chamber* dengan temperatur yang masih tinggi, kemudian *saturated vapor* mulai menyentuh permukaan *porous media* dan mengalami pendinginan sehingga terbentuk gradien temperatur yang lebih besar. Sedangkan pada sektor B gradien temperatur cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sektor A, hal ini dikarenakan pada sektor B temperatur *saturated vapor* lebih rendah karena sudah mengalami pendinginan terlebih dahulu pada sektor A.



Gambar 4.7 Garis kecepatan pada porositas 30%  
 Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.7 menunjukkan garis kecepatan *saturated vapor* pada *porous media chamber* dengan porositas 30%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk pada *chamber saturated vapor* dan *porous media* membentuk *vortex* pada awal masuknya *saturated vapor* dari *inlet*, hal ini dikarenakan adanya pelebaran luas penampang secara tiba-tiba dan aliran *saturated vapor* mulai memasuki *porous media*. Pada sektor B dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk sudah mulai stabil, hal ini dikarenakan aliran *saturated vapor* sudah mengisi *chamber saturated vapor* dan bagian *porous media*. Pada garis kecepatan di daerah *porous media* alirannya cenderung konstan dikarenakan keterbatasan pada alat simulasi, dan rumitnya memodelkan *porous media*, sehingga peneliti menyederhanakan pemodelan material yang sama yaitu aluminium yang kemudian divariasikan porositasnya. Fenomena tersebut juga dapat dikarenakan porous media tertata secara teratur.

#### D. Porositas 38%

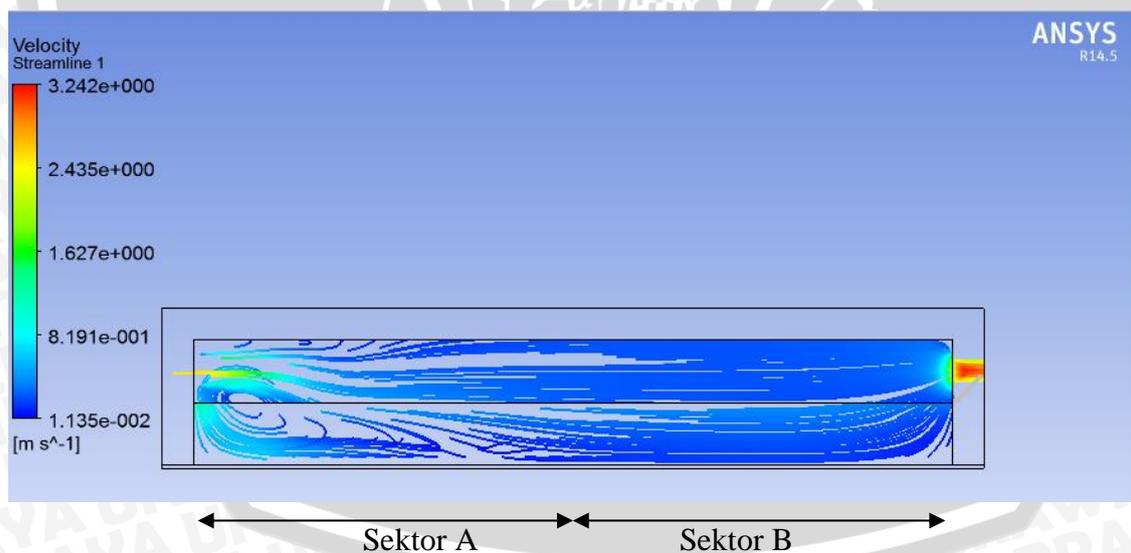


Gambar 4.8 Gradien temperatur pada porositas 38%  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.8 menunjukkan gradien temperatur di dalam *porous media chamber* dengan porositas 38%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa terdapat 6 gradien temperatur yang berbeda, dimana terdapat 5 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 4 gradien temperatur pada *porous media*, akan tetapi terdapat beberapa gradien temperatur yang sama antara *chamber saturated vapor* dan *porous media*. Gradien temperatur diatas memiliki nilai temperatur maksimum dan minimum yang mana nilainya dapat dilihat pada keterangan di sampingnya. Pada sektor A, dapat dilihat ketika *saturated vapor* dialirkan melalui *inlet* yang berdiameter 8 mm dengan temperatur 323 K dengan kecepatan 2,5 m/s masih belum terjadi penurunan temperatur. Kemudian ketika *saturated vapor* melewati perluasan tiba-tiba mulai terdapat gradien temperatur yang berbeda-beda dimana gradien temperatur tersebut menunjukkan nilai temperatur yang berbeda pula pada sektor tersebut. Ketika *saturated vapor* semakin menjauh dari *inlet*, akan semakin turun temperatur *saturated vapor* tersebut. Pada *chamber saturated vapor*, gradien temperatur yang dominan muncul adalah warna jingga dengan nilai 315,2 K – 319,2 K. Sedangkan pada bagian *porous media*, dapat dilihat bahwa ada 4 macam gradien temperatur yang berbeda, yaitu kuning (312,2 K – 315,2 K) kuning muda (307,2 K – 312,2 K) hijau (303,2 K – 307,2 K) biru muda (291,2 K – 299,2 K). Adanya perbedaan gradien temperatur tersebut terjadi karena adanya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media*.

Pada sektor B, dapat dilihat bahwa terdapat 5 gradien temperatur yang berbeda, yaitu terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 2 gradien temperatur pada *porous media*, akan tetapi terdapat satu gradien temperatur yang sama

antara *chamber saturated vapor* dan *porous media* yaitu biru muda dengan nilai temperatur 291,2 K – 299,2 K. Pada bagian *chamber saturated vapor* terlihat lebih dominan warna kuning yaitu memiliki nilai 311,2 K – 315,2 K. Akan tetapi ketika aliran *saturated vapor* yang berada pada *chamber saturated vapor* mendekati *outlet*, bagian fluida *saturated vapor* yang berada lebih dekat dengan *porous media* menjadi lebih dingin dan berubah warna menjadi hijau (307,2 K – 311,2 K) dan biru muda (291,2 K – 299,2 K). Pada bagian *porous media* terdapat 2 gradien temperatur, yaitu biru muda (291,2 K – 295,2 K) dan biru (287,2 K – 291,2 K). Dengan membagi *porous media chamber* menjadi 2 bagian, kita dapat membandingkan gradien temperatur yang terbentuk pada sektor A dengan spektrum temperatur yang terbentuk pada sektor B. Dapat dilihat pada sektor A gradien temperatur terlihat lebih besar dibandingkan dengan sektor B. Hal ini dikarenakan pada sektor A *saturated vapor* baru memasuki *chamber* dengan temperatur yang masih tinggi, kemudian *saturated vapor* mulai menyentuh permukaan *porous media* dan mengalami pendinginan sehingga terbentuk gradien temperatur yang lebih besar. Sedangkan pada sektor B gradien temperatur cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sektor A, hal ini dikarenakan pada sektor B temperatur *saturated vapor* lebih rendah karena sudah mengalami pendinginan terlebih dahulu pada sektor A.

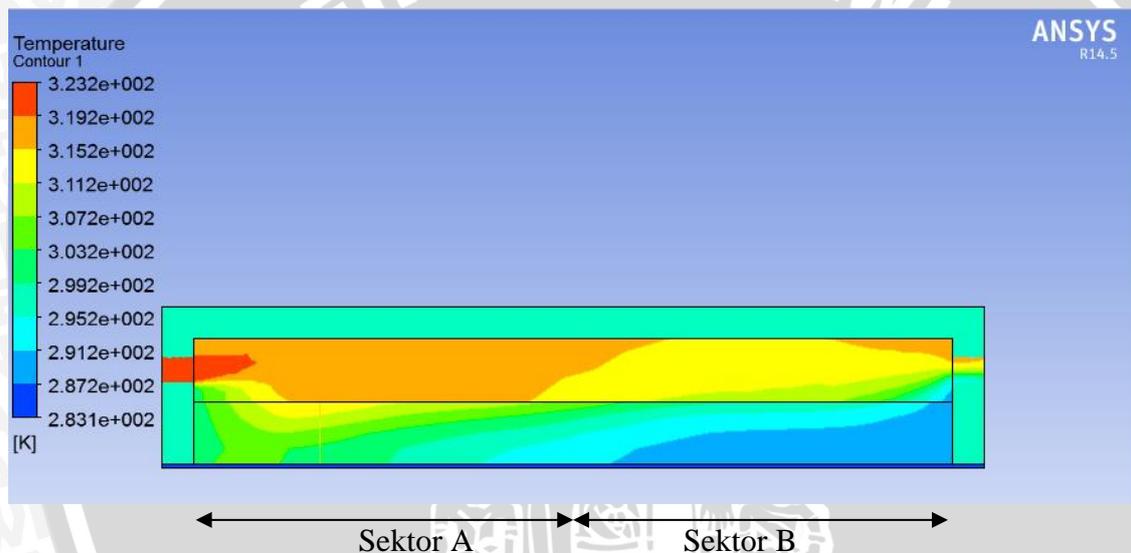


Gambar 4.9 Garis kecepatan pada porositas 38%  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.9 menunjukkan garis kecepatan *saturated vapor* pada *porous media chamber* dengan porositas 38%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk pada *chamber saturated vapor* dan *porous media* membentuk *vortex* pada awal

masuknya *saturated vapor* dari *inlet*, hal ini dikarenakan adanya pelebaran luas penampang secara tiba-tiba dan aliran *saturated vapor* mulai memasuki *porous media*. Pada sektor B dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk sudah mulai stabil, hal ini dikarenakan aliran *saturated vapor* sudah mengisi *chamber saturated vapor* dan bagian *porous media*. Pada garis kecepatan di daerah *porous media* alirannya cenderung konstan dikarenakan keterbatasan pada alat simulasi, dan rumitnya memodelkan *porous media*, sehingga peneliti menyederhanakan pemodelan material yang sama yaitu aluminium yang kemudian divariasikan porositasnya. Fenomena tersebut juga dapat dikarenakan porous media tertata secara teratur.

### E. Porositas 40%



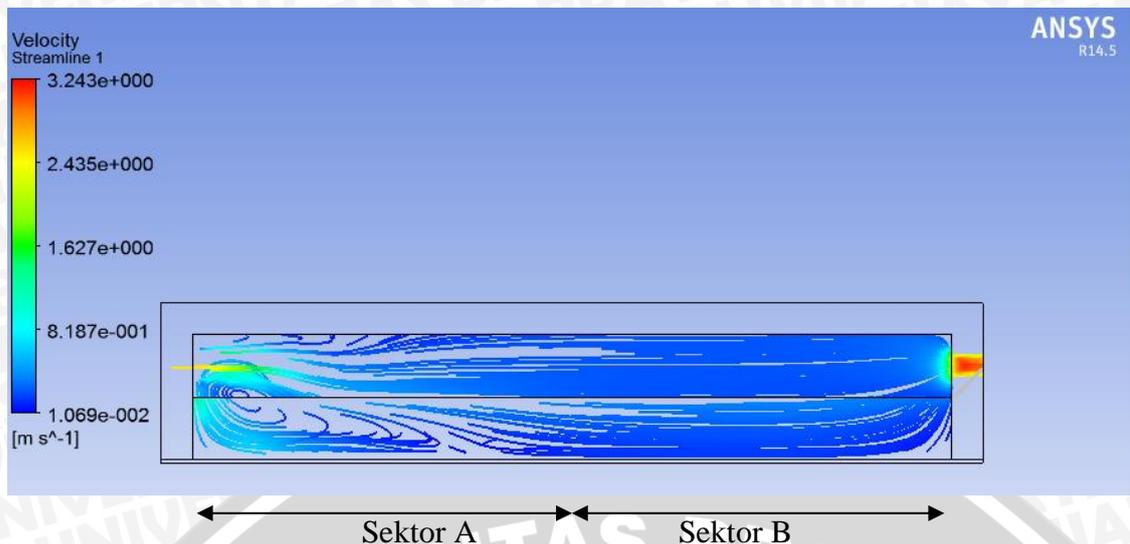
Gambar 4.10 Gradien temperatur pada porositas 40%

Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.10 menunjukkan gradien temperatur di dalam *porous media chamber* dengan porositas 40%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa terdapat 6 gradien temperatur yang berbeda, dimana terdapat 5 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 4 gradien temperatur pada *porous media*, akan tetapi terdapat beberapa gradien temperatur yang sama antara *chamber saturated vapor* dan *porous media*. Gradien temperatur diatas memiliki nilai temperatur maksimum dan minimum yang mana nilainya dapat dilihat pada keterangan di sampingnya. Pada sektor A, dapat dilihat ketika *saturated vapor* dialirkan melalui *inlet* yang berdiameter 8 mm dengan temperatur 323 K dengan kecepatan 2,5 m/s masih belum terjadi penurunan temperatur. Kemudian ketika *saturated vapor* melewati perluasan tiba-tiba mulai terdapat gradien temperatur yang berbeda-beda dimana gradien temperatur tersebut menunjukkan nilai temperatur yang berbeda pula pada

sektor tersebut. Ketika *saturated vapor* semakin menjauh dari *inlet*, akan semakin turun temperatur *saturated vapor* tersebut. Pada *chamber saturated vapor*, gradien temperatur yang dominan muncul adalah warna jingga dengan nilai 315,2 K – 319,2 K. Sedangkan pada bagian *porous media*, dapat dilihat bahwa ada 4 macam gradien temperatur yang berbeda, yaitu kuning (312,2 K – 315,2 K) kuning muda (307,2 K – 312,2 K) hijau (303,2 K – 307,2 K) biru muda (291,2 K – 299,2 K). Adanya perbedaan gradien temperatur tersebut terjadi karena adanya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media*.

Pada sektor B, dapat dilihat bahwa terdapat 5 gradien temperatur yang berbeda, yaitu terdapat 4 gradien temperatur yang berbeda pada *chamber saturated vapor* dan 2 gradien temperatur pada *porous media*, akan tetapi terdapat satu gradien temperatur yang sama antara *chamber saturated vapor* dan *porous media* yaitu biru muda dengan nilai temperatur 291,2 K – 299,2 K. Pada bagian *chamber saturated vapor* terlihat lebih dominan warna kuning yaitu memiliki nilai 311,2 K – 315,2 K. Akan tetapi ketika aliran *saturated vapor* yang berada pada *chamber saturated vapor* mendekati *outlet*, bagian fluida *saturated vapor* yang berada lebih dekat dengan *porous media* menjadi lebih dingin dan berubah warna menjadi hijau (307,2 K – 311,2 K) dan biru muda (291,2 K – 299,2 K). Pada bagian *porous media* terdapat 2 gradien temperatur, yaitu biru muda (291,2 K – 295,2 K) dan biru (287,2 K – 291,2 K). Dengan membagi *porous media chamber* menjadi 2 bagian, kita dapat membandingkan gradien temperatur yang terbentuk pada sektor A dengan spektrum temperatur yang terbentuk pada sektor B. Dapat dilihat pada sektor A gradien temperatur terlihat lebih besar dibandingkan dengan sektor B. Hal ini dikarenakan pada sektor A *saturated vapor* baru memasuki *chamber* dengan temperatur yang masih tinggi, kemudian *saturated vapor* mulai menyentuh permukaan *porous media* dan mengalami pendinginan sehingga terbentuk gradien temperatur yang lebih besar. Sedangkan pada sektor B gradien temperatur cenderung lebih kecil dibandingkan dengan sektor A, hal ini dikarenakan pada sektor B temperatur *saturated vapor* lebih rendah karena sudah mengalami pendinginan terlebih dahulu pada sektor A.



Gambar 4.11 Garis kecepatan pada porositas 40%  
 Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

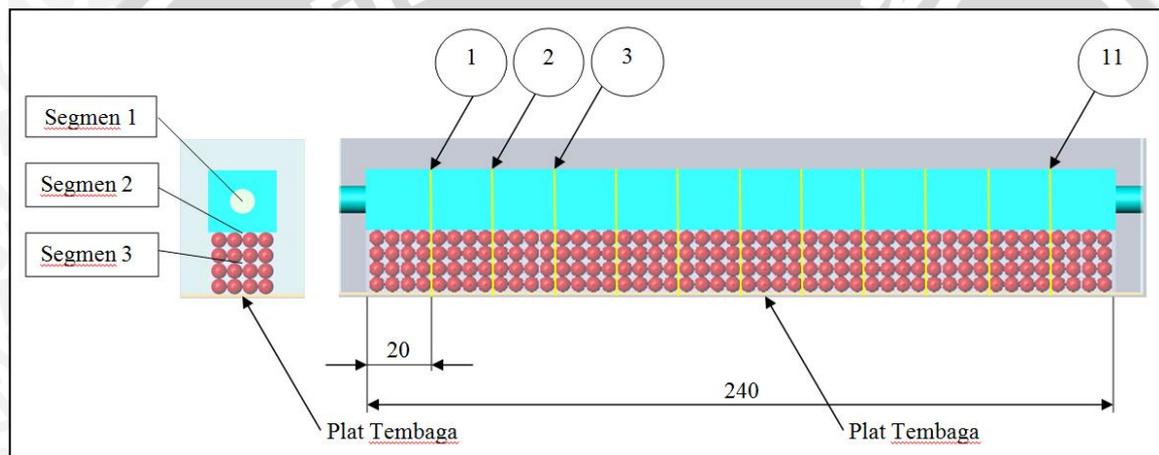
Gambar 4.11 menunjukkan garis kecepatan *saturated vapor* pada *porous media chamber* dengan porositas 40%. Pada sektor A dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk pada *chamber saturated vapor* dan *porous media* membentuk *vortex* pada awal masuknya *saturated vapor* dari *inlet*, hal ini dikarenakan adanya pelebaran luas penampang secara tiba-tiba dan aliran *saturated vapor* mulai memasuki *porous media*. Pada sektor B dapat dilihat bahwa garis kecepatan yang terbentuk sudah mulai stabil, hal ini dikarenakan aliran *saturated vapor* sudah mengisi *chamber saturated vapor* dan bagian *porous media*. Pada garis kecepatan di daerah *porous media* alirannya cenderung konstan dikarenakan keterbatasan pada alat simulasi, dan rumitnya memodelkan *porous media*, sehingga peneliti menyederhanakan pemodelan material yang sama yaitu aluminium yang kemudian divariasikan porositasnya. Fenomena tersebut juga dapat dikarenakan *porous media* tertata secara teratur.

Dari kelima gradien temperatur diatas dapat dilihat perbedaan gradien temperatur dari *porous media chamber* dengan porositas yang berbeda-beda. Jika dilihat pada bagian *porous media* maka semakin besar porositas *porous media* maka akan terbentuk gradien temperatur yang lebih besar, hal ini dikarenakan semakin besar porositas maka nilai  $K_{eff}$  semakin kecil, sehingga perpindahan panas yang terjadi antara fluida *saturated vapor* dengan *porous media* semakin rendah, hal ini dibuktikan dengan semakin bertambahnya luasan gradien temperatur berwarna kuning dan hijau. Kemudian jika ditinjau dari bagian *chamber saturated vapor*, maka semakin besar porositas akan terbentuk gradien temperatur yang semakin kecil, hal ini dikarenakan semakin besar porositas maka akan semakin

mudah fluida *saturated vapor* untuk masuk ke dalam *porous media* dan mengalami penurunan temperatur, tetapi besarnya penurunan temperatur tersebut berbanding terbalik dengan besarnya porositas.

#### 4.3.2 Gradien Temperatur *Porous Media Chamber* secara Melintang.

Pembahasan yang akan dilakukan untuk mengetahui nilai gradien temperatur di setiap bagian pada *porous media chamber* akan dibagi menjadi 3 segmen, yaitu segmen 1 pada *chamber saturated vapor*, segmen 2 pada permukaan *porous media*, dan segmen 3 pada bagian tengah *porous media*. Panjang melintang searah sumbu x dibagi menjadi 11 bagian dengan jarak 20 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut.

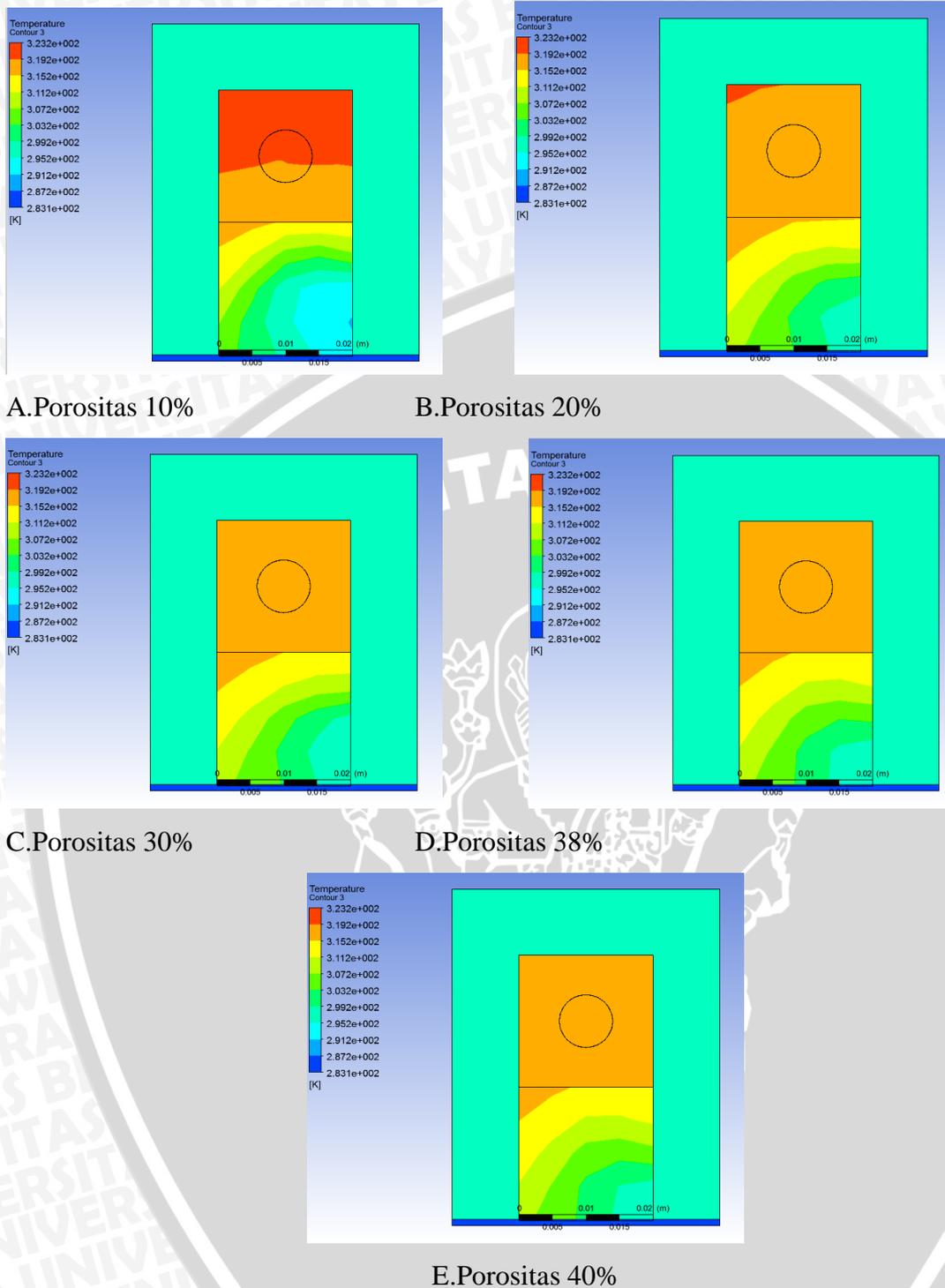


Gambar 4.12 Penampang melintang *porous media chamber*

Sumber : Solidworks Professional 2013

##### A. Gradien Temperatur pada Jarak 40 mm

Pembahasan yang akan dilakukan mengambil sampel penampang dengan jarak 40 mm dari *inlet*, hal ini didasarkan pada penampang dengan jarak 40 mm dari *inlet* terdapat perbedaan gradien temperatur yang tinggi pada *chamber saturated vapor* dan *porous media*.



Gambar 4.13 Gradien temperatur pada jarak 40 mm dengan variasi porositas  
Sumber : Ansys ® Workbench 14.5

Gambar 4.13 menunjukkan perbedaan gradien temperatur yang terbentuk akibat perbedaan porositas, kemudian gambar 4.13 tersebut dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian *chamber saturated vapor* dan bagian *porous media*. Hal ini bertujuan untuk lebih mudah melihat perbedaannya.

Pada bagian *porous media*, semakin besar porositas *porous media* maka dapat dilihat bahwa gradien temperatur yang terbentuk pada jarak yang sama yaitu 40 mm semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar porositas *porous media* maka nilai  $K_{\text{eff}}$  semakin kecil, yang menyebabkan laju perpindahan panas semakin rendah, sehingga kemampuan *porous media* untuk menyerap panas dari *saturated vapor* semakin rendah, hal ini dibuktikan dengan semakin bertambah luas gradien temperatur dengan warna kuning (312,2 K – 315,2 K), kuning muda (307,2 K – 312,2 K), hijau (303,2 K – 307,2 K) dan hijau muda (299,2 K – 303,2 K). Sedangkan pada bagian *chamber saturated vapor* dapat dilihat bahwa semakin besar porositas *porous media* maka semakin kecil gradien temperatur yang terbentuk pada jarak yang sama yaitu 40 mm. Hal ini disebabkan oleh semakin besar porositas *porous media* maka akan semakin mudah aliran fluida *saturated vapor* untuk memasuki *porous media* dan mengalami pendinginan, tetapi besarnya pendinginan berbanding terbalik dengan besarnya porositas *porous media*, hal ini dibuktikan oleh semakin berkurangnya gradien temperatur dengan warna merah yaitu dengan kisaran nilai 319,2 K – 323,2 K.

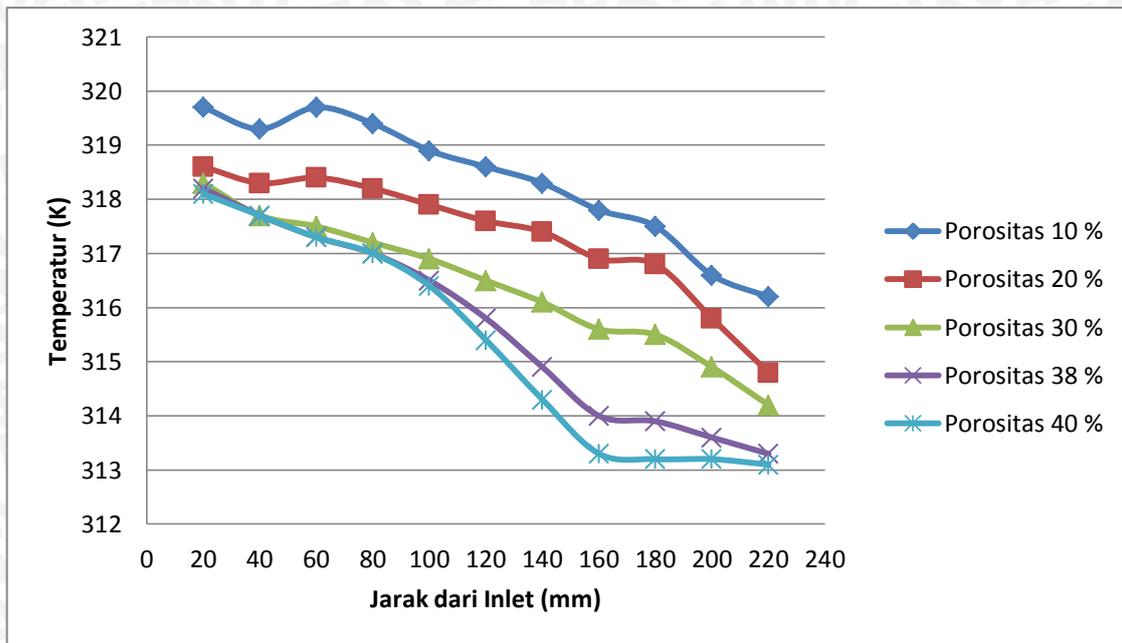
## B. Nilai Gradien Temperatur pada Tiap Titik.

Pembahasan nilai gradien temperatur akan dibagi menjadi 3 segmen dengan tujuan untuk mengetahui nilai gradien temperatur pada tiap titik, yaitu pada segmen 1 pada bagian *chamber saturated vapor*, segmen 2 pada permukaan *porous media*, dan segmen 3 pada *porous media*.

### a. Data Hasil Simulasi Segmen 1

Tabel 4.1 Data hasil simulasi segmen 1

No	Jarak (mm)	Temperatur (K)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	319,7	318,6	318,3	318,2	318,1
2	40	319,3	318,3	317,7	317,7	317,7
3	60	319,7	318,4	317,5	317,3	317,3
4	80	319,4	318,2	317,2	317	317
5	100	318,9	317,9	316,9	316,5	316,4
6	120	318,6	317,6	316,5	315,8	315,4
7	140	318,3	317,4	316,1	314,9	314,3
8	160	317,8	316,9	315,6	314	313,3
9	180	317,5	316,8	315,5	313,9	313,2
10	200	316,6	315,8	314,9	313,6	313,2
11	220	316,2	314,8	314,2	313,3	313,1



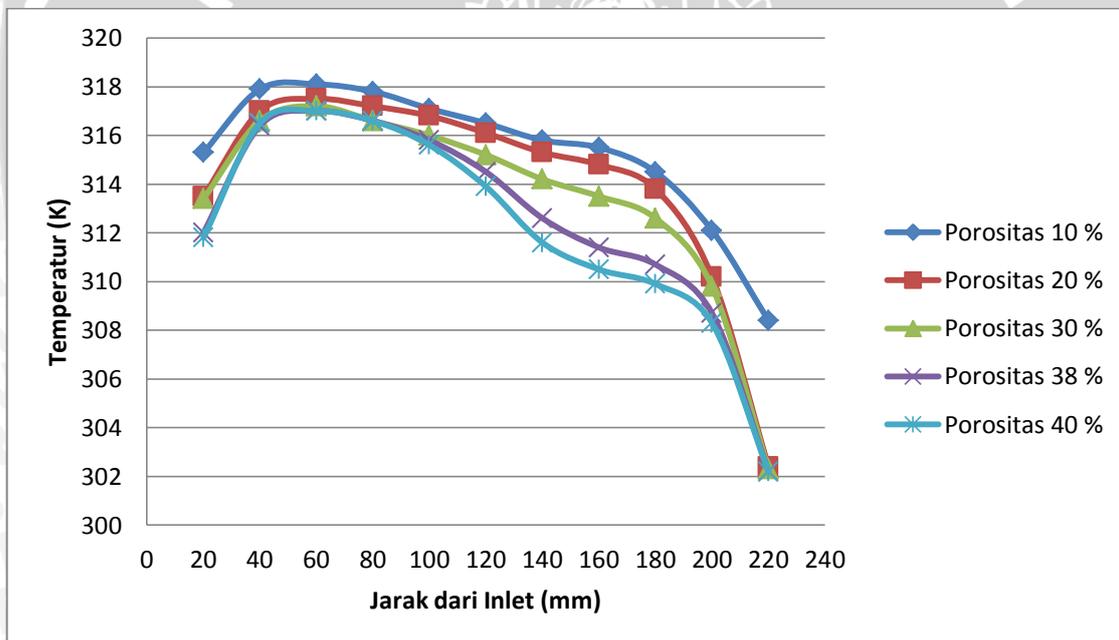
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Jarak dengan Temperatur pada Segmen 1

Gambar 4.14 menunjukkan hubungan antara nilai gradien temperatur dengan jarak yang berbeda pada *porous media* dengan porositas yang berbeda-beda pada segmen 1. Dapat dilihat pada gambar 4.14 bahwa grafik yang terbentuk menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin jauh jarak *saturated vapor* dari *inlet*, maka semakin turun temperaturnya. Hal ini disebabkan terjadinya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media* sepanjang *chamber*. Kemudian pada porositas 10% dan 20% dapat dilihat pada daerah dengan jarak 40 mm – 60 mm terjadi kenaikan temperatur, hal ini disebabkan oleh *saturated vapor* yang melewati *inlet* mengalami perluasan penampang secara tiba-tiba yang mengakibatkan aliran *saturated vapor* belum berkembang penuh. Sedangkan pada porositas 40% dapat dilihat pada daerah dengan jarak 160 mm – 220 mm terjadi penurunan temperatur yang kecil jika dibandingkan dengan penurunan temperatur yang terjadi pada porositas yang lain pada daerah dengan jarak yang sama, hal ini terjadi akibat pada porositas 40% aliran *saturated vapor* lebih mudah untuk masuk ke dalam *porous media* dan mengalami pendinginan pada daerah sebelumnya, sehingga pada jarak 160 mm – 220 mm kemampuan pendinginan dari *porous media* sangat kecil dan mengakibatkan penurunan temperatur yang juga kecil.

### b. Data Hasil Simulasi Segmen 2

Tabel 4.2 Data hasil simulasi segmen 2

No	Jarak (mm)	Temperatur (K)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	315,3	313,5	313,4	312	311,8
2	40	317,9	317	316,6	316,4	316,5
3	60	318,1	317,5	317,2	317	317
4	80	317,8	317,2	316,6	316,6	316,6
5	100	317,1	316,8	316	315,8	315,6
6	120	316,5	316,1	315,2	314,5	313,9
7	140	315,8	315,3	314,2	312,6	311,6
8	160	315,5	314,8	313,5	311,4	310,5
9	180	314,5	313,8	312,6	310,7	309,9
10	200	312,1	310,2	309,8	308,7	308,3
11	220	308,4	302,4	302,3	302,2	302,2



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Jarak dengan Temperatur pada Segmen 2

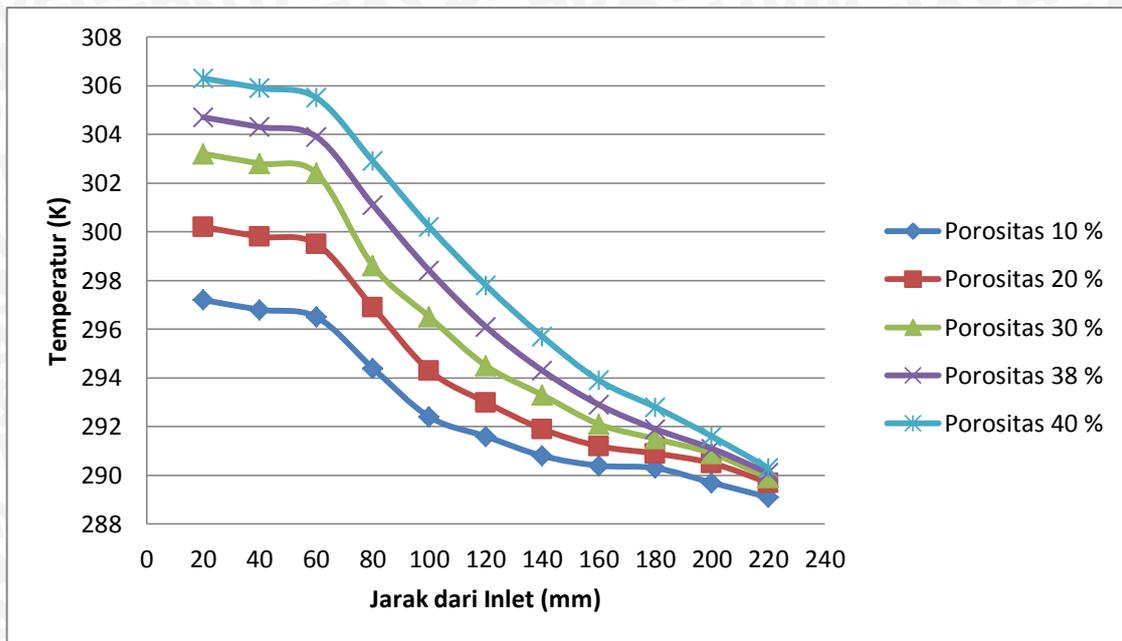
Gambar 4.15 menunjukkan hubungan antara nilai gradien temperatur dengan jarak yang berbeda pada *porous media* dengan porositas yang berbeda-beda pada segmen 2. Dapat dilihat pada gambar 4.15 bahwa grafik yang terbentuk menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin jauh jarak *saturated vapor* dari *inlet*, maka semakin turun temperturnya. Hal ini disebabkan terjadinya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media* sepanjang *chamber*. Kemudian dapat dilihat pada daerah dengan

jarak 20 mm – 40 mm terjadi kenaikan temperatur yang cukup tinggi, hal ini disebabkan oleh adanya perluasan tiba-tiba pada daerah setelah *inlet* yang mengakibatkan aliran *saturated vapor* belum berkembang penuh, dan juga munculnya vortex yang mengakibatkan aliran *saturated vapor* yang terjebak pada daerah tersebut. Kemudian dapat dilihat pada daerah dengan jarak 200 mm – 220 mm terjadi penurunan temperatur yang cukup besar, hal ini disebabkan oleh pada daerah tersebut terdapat penyempitan penampang secara tiba-tiba, sehingga mengakibatkan aliran *saturated vapor* yang melewati bagian *porous media* dan mengalami proses pendinginan dipaksa untuk naik ke atas untuk keluar melalui *outlet*.

### c. Data Hasil Simulasi Segmen 3

Tabel 4.3 Data hasil simulasi segmen 3

No	Jarak (mm)	Temperatur				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	297,2	300,2	303,2	304,7	306,3
2	40	296,8	299,8	302,8	304,3	305,9
3	60	296,5	299,5	302,4	303,9	305,5
4	80	294,4	296,9	298,6	301,1	302,9
5	100	292,4	294,3	296,5	298,4	300,2
6	120	291,6	293	294,5	296,1	297,8
7	140	290,8	291,9	293,3	294,3	295,7
8	160	290,4	291,2	292,1	292,9	293,9
9	180	290,3	290,9	291,5	291,9	292,8
10	200	289,7	290,5	290,9	291,1	291,6
11	220	289,1	289,7	289,9	290,1	290,3



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Jarak dengan Temperatur pada Segmen 3

Gambar 4.16 menunjukkan hubungan antara nilai gradien temperatur dengan jarak yang berbeda pada *porous media* dengan porositas yang berbeda-beda pada segmen 3. Dapat dilihat pada gambar 4.16 bahwa grafik yang terbentuk menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin jauh jarak *saturated vapor* dari *inlet*, maka semakin turun temperturnya. Hal ini disebabkan terjadinya perpindahan panas antara *saturated vapor* dengan *porous media* sepanjang *chamber*. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pengaruh porositas sangat besar terhadap nilai gradien temperatur pada *porous media chamber*, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar porositas maka semakin besar nilai gradien temperatur yang terbentuk. Kemudian dapat dilihat pada daerah dengan jarak 20 mm – 60 mm terjadi penurunan temperatur yang relatif rendah dibandingkan dengan daerah lain, hal ini disebabkan oleh adanya perluasan penampang secara tiba-tiba pada bagian setelah *inlet*, sehingga mengakibatkan aliran *saturated vapor* belum berkembang penuh, selain itu perluasan penampang secara tiba-tiba tersebut mengakibatkan terjadinya vortex sehingga aliran *saturated vapor* terjebak pada daerah tersebut. Kemudian pada porositas 10 % terlihat nilai gradien temperatur paling rendah jika dibandingkan dengan nilai porositas yang lain, hal ini disebabkan oleh semakin kecil porositas *porous media*, maka semakin besar konduktivitas termal efektif ( $K_{eff}$ ) dari *porous media* tersebut, sehingga pendinginan *saturated vapor* yang terjadi semakin besar dan mengakibatkan temperturnya semakin rendah.

### 4.3.3 Perpindahan panas pada *porous media*

Pembahasan perpindahan panas pada *porous media* bertujuan untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi antara permukaan *porous media* dengan plat tembaga yang berada di bawah *porous media*.

Untuk menghitung perpindahan panas yang terjadi pada *porous media* dapat menggunakan rumus perpindahan panas konduksi, yaitu :

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

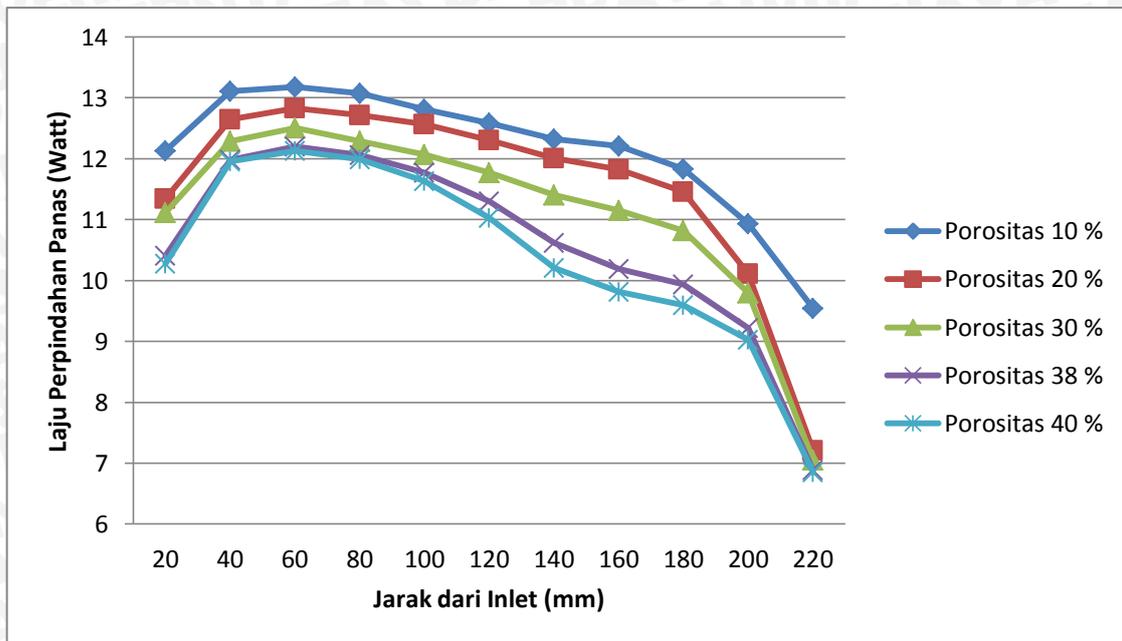
Kemudian nilai konduktivitas termal dari *porous media* dengan kondisi terisi *saturated vapor* dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_{eff} = \left[ (1 - \varepsilon^{2/3}) + \frac{\varepsilon^{2/3}}{(1 - \varepsilon^{1/3}) + \varepsilon^{1/3}(k_p/ka)} \right] k_p \quad (\text{Eko S,2013})$$

#### a. Data Hasil Simulasi perpindahan panas pada *porous media*

Tabel 4.4 Data hasil simulasi perpindahan panas pada *porous media*

No	Jarak (mm)	Perpindahan Panas pada <i>Porous media</i> (Watt)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	12,131	11,341	11,114	10,405	10,277
2	40	13,107	12,643	12,284	11,984	11,955
3	60	13,182	12,829	12,504	12,199	12,133
4	80	13,070	12,717	12,284	12,056	11,990
5	100	12,807	12,568	12,065	11,769	11,633
6	120	12,582	12,308	11,772	11,302	11,027
7	140	12,319	12,010	11,407	10,621	10,206
8	160	12,206	11,825	11,151	10,190	9,813
9	180	11,830	11,453	10,822	9,939	9,599
10	200	10,929	10,114	9,798	9,221	9,028
11	220	9,539	7,214	7,056	6,889	6,851



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

Gambar 4.17 menunjukkan grafik hubungan antara laju perpindahan panas dengan jarak yang berbeda pada *porous media* dengan porositas yang berbeda-beda. Dapat dilihat pada grafik diatas memiliki kecenderungan yang sama dengan grafik nilai gradien temperatur pada segmen 2, hal ini disebabkan oleh perhitungan laju perpindahan panas pada *porous media* diperoleh dari selisih nilai temperatur yang terdapat pada segmen 2 dengan temperatur plat yang berada di bawah *porous media*. dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kecenderungannya semakin jauh jarak dari *inlet* maka semakin rendah laju perpindahan panasnya, hal ini disebabkan oleh semakin jauh jarak dari *inlet* temperatur *saturated vapor* semakin rendah karena telah mengalami proses pendinginan pada daerah yang telah dilewati sebelumnya. Kemudian pada jarak 20 mm – 40 mm terjadi kenaikan laju perpindahan panas, hal ini dikarenakan pada saat setelah *saturated vapor* melewati *inlet* terjadi perluasan penampang secara tiba-tiba yang mengakibatkan aliran *saturated vapor* belum berkembang penuh sehingga temperatur pada permukaan *porous media* meningkat pada jarak 20 mm – 40 mm, kemudian hal ini mengakibatkan laju perpindahan panas pada daerah tersebut juga meningkat. Kemudian dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa pada porositas 10% laju perpindahan panas paling tinggi, hal ini disebabkan oleh semakin kecil porositas mengakibatkan nilai  $K_{eff}$  semakin besar, sehingga laju perpindahan panasnya juga semakin besar.

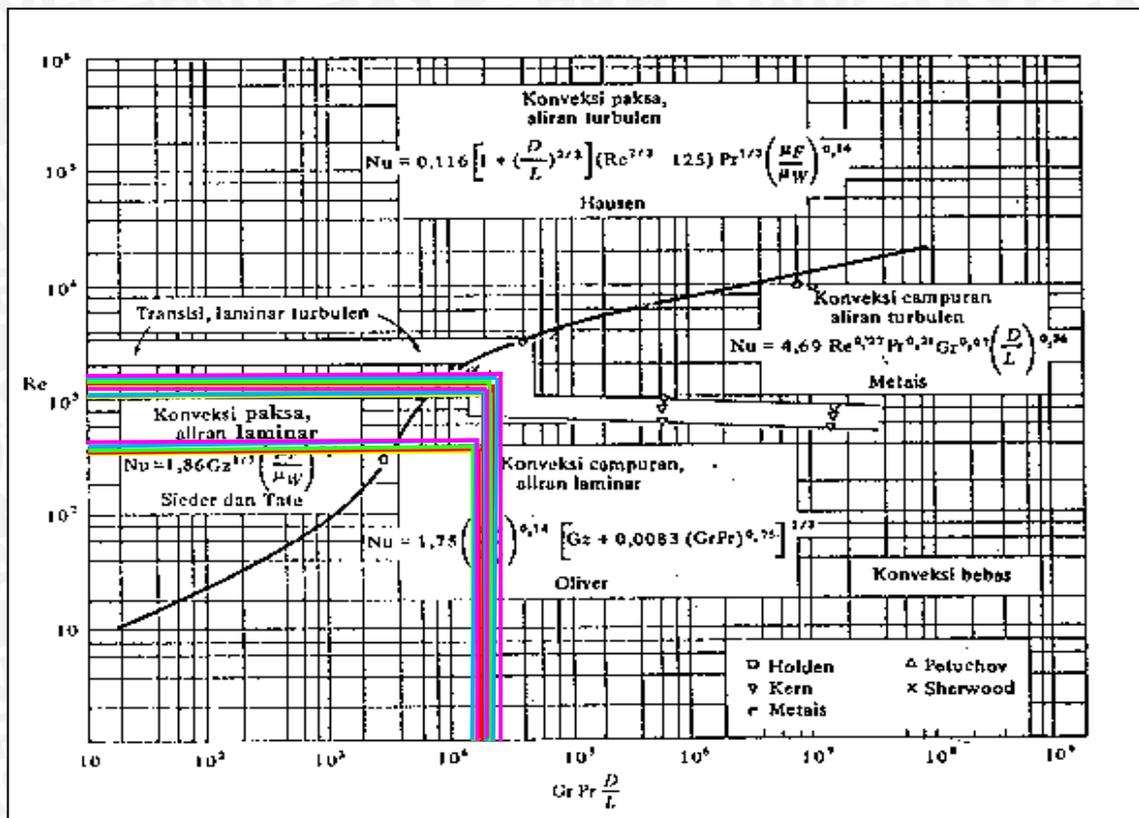
#### 4.3.4 Perpindahan panas pada *chamber saturated vapor* dan jenis aliran

Tabel 4.5 Data hasil *Reynold number* pada *chamber saturated vapor*

No	Jarak (mm)	Bilangan Reynold (Re)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	2197,342	2208,329	2212,012	2216,599	2217,674
2	40	878,232	881,696	884,233	885,059	885,124
3	60	438,483	440,529	442,188	442,818	442,955
4	80	439,010	440,919	442,831	443,391	443,528
5	100	439,962	441,487	443,476	444,397	444,751
6	120	440,599	442,165	444,339	445,879	446,816
7	140	441,274	442,737	445,278	447,882	449,268
8	160	442,093	443,633	446,257	449,645	451,152
9	180	442,880	444,137	446,730	450,051	451,524
10	200	445,039	446,891	448,632	451,236	452,119
11	220	446,964	451,236	452,447	454,113	454,555

Tabel 4.6 Data hasil nilai *Metais number* ( $Gr Pr \frac{D}{L}$ ) pada *chamber saturated vapor*

No	Jarak (mm)	Nilai <i>Metais number</i> ( $Gr Pr \frac{D}{L}$ ) pada <i>chamber saturated vapor</i>				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	20100,037	19593,592	19322,579	19688,448	19653,579
2	40	18847,089	18131,933	17649,284	17715,142	17682,207
3	60	19181,070	18069,670	17245,867	17104,746	17104,746
4	80	18979,853	17964,337	17132,701	16924,831	16924,831
5	100	18707,085	17788,896	17018,549	16666,164	16627,268
6	120	18600,993	17711,083	16864,801	16358,264	16131,973
7	140	18526,948	17769,026	16775,827	16030,235	15716,701
8	160	18114,892	17415,796	16478,905	15456,791	14990,853
9	180	18137,453	17644,007	16673,510	15583,867	15083,683
10	200	18003,380	17800,910	16974,912	15934,137	15629,071
11	220	18834,482	19415,574	18801,980	17851,387	17630,259



Keterangan :

Porositas 10% : — Porositas 30% : —  
 Porositas 20% : — Porositas 38% : —  
 Porositas 40% : —

Gambar 4.17 : Grafik Hubungan *Reynold number* dengan  $(Gr Pr \frac{D}{L})$

Sumber : JP, Holman ; 1991:325

Dari tabel 4.5 diatas, dapat dilihat bahwa nilai bilangan Reynold dengan variasi porositas yang berbeda memiliki kecenderungan yang sama, yaitu konstan pada jarak 60 mm – 220 mm. Oleh karena itu, pembahasan akan dikhususkan terhadap nilai bilangan Reynold yang berbeda, yaitu pada jarak 20 mm, 40 mm, dan 60 mm. Kemudian dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa jenis konveksi yang terjadi di dalam *chamber saturated vapor* dapat ditentukan dengan membandingkan nilai bilangan Reynold dengan nilai  $(Gr Pr \frac{D}{L})$  sesuai dengan perhitungan yang dilakukan oleh Metais. Berdasarkan grafik yang dikemukakan oleh Metais, nilai  $(Gr Pr \frac{D}{L})$  disebut juga dengan *Metais number*. Dapat dilihat pada gambar 4.17, porositas 10% ditunjukkan dengan garis berwarna kuning, porositas 20% ditunjukkan dengan garis berwarna merah, porositas 30% ditunjukkan dengan garis berwarna hijau, porositas 38% ditunjukkan dengan garis berwarna biru, dan porositas 40% ditunjukkan dengan garis berwarna merah muda. Dari hasil perbandingan

diatas, dapat dilihat bahwa pada porositas 10% menunjukkan bahwa pada jarak 20 mm – 40 mm terjadi konveksi campuran aliran transisi, dan pada jarak 60 mm – 220 mm terjadi konveksi campuran aliran laminar. Pada porositas 20% menunjukkan bahwa pada jarak 20 mm – 40 mm terjadi konveksi campuran aliran transisi, dan pada jarak 60 mm – 220 mm terjadi konveksi campuran aliran laminar. Pada porositas 30% menunjukkan bahwa pada jarak 20 mm – 40 mm terjadi konveksi campuran aliran transisi, dan pada jarak 60 mm – 220 mm terjadi konveksi campuran aliran laminar. Pada porositas 38% menunjukkan bahwa pada jarak 20 mm – 40 mm terjadi konveksi campuran aliran transisi, dan pada jarak 60 mm – 220 mm terjadi konveksi campuran aliran laminar. Pada porositas 40% menunjukkan bahwa pada jarak 20 mm – 40 mm terjadi konveksi campuran aliran transisi, dan pada jarak 60 mm – 220 mm terjadi konveksi campuran aliran laminar. Dari hasil perbandingan diatas, dapat disimpulkan bahwa pada porositas 10%, 20%, 30%, 38%, dan 40% jenis aliran yang terjadi pada jarak 20 mm – 40 mm adalah aliran transisi, kemudian pada jarak 60 mm – 220 mm aliran yang terjadi adalah laminar dan jenis konveksi yang terjadi adalah konveksi campuran.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa porositas *porous media* berpengaruh terhadap gradien temperatur dan perpindahan panas, dimana semakin besar porositas *porous media* maka semakin besar gradien temperatur yang terbentuk dan semakin rendah laju perpindahan panasnya. Gradien temperatur paling besar terbentuk yaitu pada porositas 40%, dan laju perpindahan panas terbesar adalah pada porositas 10% yaitu dengan nilai laju perpindahan panas rata-rata sebesar 12,154 Watt, dan laju perpindahan panas terkecil adalah pada porositas 40% dengan nilai laju perpindahan panas rata-rata sebesar 9,592 Watt.

### 5.2 Saran

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

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kondensasi yang terjadi pada *porous media*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi permeabilitas.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Incropera, Frank P dan DeWitt, D P. 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 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*
- Wu-Shung Fu, Hsin-Chien Huang, 1998. *Effect of a Random Porosity Model on Heat Transfer Performance of Porous Media*
- Yongwei Wang, Tao Lu, 2015. *Influence of the Partical Diameter and Porosity of Packed Porous Media on the Mixing of Hot and Cold Fluids in a T-Junction*

LAMPIRAN 1

TABEL PROPERTIES OF POROUS MEDIA CHAMBER

Tabel A-16 Properties Water Vapor

**TABLE A-16**

Temp. <i>T</i> , °C	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat $c_p$ , J/kg·K	Thermal Conductivity $k$ , W/m·K	Thermal Diffusivity $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Dynamic Viscosity $\mu$ , kg/m·s	Kinematic Viscosity $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Prandtl Number Pr
Nitrogen, N <sub>2</sub>							
-50	1.5299	957.3	0.02001	1.366 × 10 <sup>-5</sup>	1.390 × 10 <sup>-5</sup>	9.091 × 10 <sup>-6</sup>	0.6655
0	1.2498	1035	0.02384	1.843 × 10 <sup>-5</sup>	1.640 × 10 <sup>-5</sup>	1.312 × 10 <sup>-5</sup>	0.7121
50	1.0564	1042	0.02746	2.494 × 10 <sup>-5</sup>	1.874 × 10 <sup>-5</sup>	1.774 × 10 <sup>-5</sup>	0.7114
100	0.9149	1041	0.03090	3.244 × 10 <sup>-5</sup>	2.094 × 10 <sup>-5</sup>	2.289 × 10 <sup>-5</sup>	0.7056
150	0.8068	1043	0.03416	4.058 × 10 <sup>-5</sup>	2.300 × 10 <sup>-5</sup>	2.851 × 10 <sup>-5</sup>	0.7025
200	0.7215	1050	0.03727	4.921 × 10 <sup>-5</sup>	2.494 × 10 <sup>-5</sup>	3.457 × 10 <sup>-5</sup>	0.7025
300	0.5956	1070	0.04309	6.758 × 10 <sup>-5</sup>	2.849 × 10 <sup>-5</sup>	4.783 × 10 <sup>-5</sup>	0.7078
400	0.5072	1095	0.04848	8.727 × 10 <sup>-5</sup>	3.166 × 10 <sup>-5</sup>	6.242 × 10 <sup>-5</sup>	0.7153
500	0.4416	1120	0.05358	1.083 × 10 <sup>-4</sup>	3.451 × 10 <sup>-5</sup>	7.816 × 10 <sup>-5</sup>	0.7215
1000	0.2681	1213	0.07938	2.440 × 10 <sup>-4</sup>	4.594 × 10 <sup>-5</sup>	1.713 × 10 <sup>-4</sup>	0.7022
1500	0.1925	1266	0.11793	4.839 × 10 <sup>-4</sup>	5.562 × 10 <sup>-5</sup>	2.889 × 10 <sup>-4</sup>	0.5969
2000	0.1502	1297	0.18590	9.543 × 10 <sup>-4</sup>	6.426 × 10 <sup>-5</sup>	4.278 × 10 <sup>-4</sup>	0.4483
Oxygen, O <sub>2</sub>							
-50	1.7475	984.4	0.02067	1.201 × 10 <sup>-5</sup>	1.616 × 10 <sup>-5</sup>	9.246 × 10 <sup>-6</sup>	0.7694
0	1.4277	928.7	0.02472	1.865 × 10 <sup>-5</sup>	1.916 × 10 <sup>-5</sup>	1.342 × 10 <sup>-5</sup>	0.7198
50	1.2068	921.7	0.02867	2.577 × 10 <sup>-5</sup>	2.194 × 10 <sup>-5</sup>	1.818 × 10 <sup>-5</sup>	0.7053
100	1.0451	931.8	0.03254	3.342 × 10 <sup>-5</sup>	2.451 × 10 <sup>-5</sup>	2.346 × 10 <sup>-5</sup>	0.7019
150	0.9216	947.6	0.03637	4.164 × 10 <sup>-5</sup>	2.694 × 10 <sup>-5</sup>	2.923 × 10 <sup>-5</sup>	0.7019
200	0.8242	964.7	0.04014	5.048 × 10 <sup>-5</sup>	2.923 × 10 <sup>-5</sup>	3.546 × 10 <sup>-5</sup>	0.7025
300	0.6804	997.1	0.04751	7.003 × 10 <sup>-5</sup>	3.350 × 10 <sup>-5</sup>	4.923 × 10 <sup>-5</sup>	0.7030
400	0.5793	1025	0.05463	9.204 × 10 <sup>-5</sup>	3.744 × 10 <sup>-5</sup>	6.463 × 10 <sup>-5</sup>	0.7023
500	0.5044	1048	0.06148	1.163 × 10 <sup>-4</sup>	4.114 × 10 <sup>-5</sup>	8.156 × 10 <sup>-5</sup>	0.7010
1000	0.3063	1121	0.09198	2.678 × 10 <sup>-4</sup>	5.732 × 10 <sup>-5</sup>	1.871 × 10 <sup>-4</sup>	0.6986
1500	0.2199	1165	0.11901	4.643 × 10 <sup>-4</sup>	7.133 × 10 <sup>-5</sup>	3.243 × 10 <sup>-4</sup>	0.6985
2000	0.1716	1201	0.14705	7.139 × 10 <sup>-4</sup>	8.417 × 10 <sup>-5</sup>	4.907 × 10 <sup>-4</sup>	0.6873
Water Vapor, H <sub>2</sub> O							
-50	0.9839	1892	0.01353	7.271 × 10 <sup>-6</sup>	7.187 × 10 <sup>-6</sup>	7.305 × 10 <sup>-6</sup>	1.0047
0	0.8038	1874	0.01673	1.110 × 10 <sup>-5</sup>	8.956 × 10 <sup>-6</sup>	1.114 × 10 <sup>-5</sup>	1.0033
50	0.6794	1874	0.02032	1.596 × 10 <sup>-5</sup>	1.078 × 10 <sup>-5</sup>	1.587 × 10 <sup>-5</sup>	0.9944
100	0.5884	1887	0.02429	2.187 × 10 <sup>-5</sup>	1.265 × 10 <sup>-5</sup>	2.150 × 10 <sup>-5</sup>	0.9830
150	0.5189	1908	0.02861	2.890 × 10 <sup>-5</sup>	1.456 × 10 <sup>-5</sup>	2.806 × 10 <sup>-5</sup>	0.9712
200	0.4640	1935	0.03326	3.705 × 10 <sup>-5</sup>	1.650 × 10 <sup>-5</sup>	3.556 × 10 <sup>-5</sup>	0.9599
300	0.3831	1997	0.04345	5.680 × 10 <sup>-5</sup>	2.045 × 10 <sup>-5</sup>	5.340 × 10 <sup>-5</sup>	0.9401
400	0.3262	2066	0.05467	8.114 × 10 <sup>-5</sup>	2.446 × 10 <sup>-5</sup>	7.498 × 10 <sup>-5</sup>	0.9240
500	0.2840	2137	0.06677	1.100 × 10 <sup>-4</sup>	2.847 × 10 <sup>-5</sup>	1.002 × 10 <sup>-4</sup>	0.9108
1000	0.1725	2471	0.13623	3.196 × 10 <sup>-4</sup>	4.762 × 10 <sup>-5</sup>	2.761 × 10 <sup>-4</sup>	0.8639
1500	0.1238	2736	0.21301	6.288 × 10 <sup>-4</sup>	6.411 × 10 <sup>-5</sup>	5.177 × 10 <sup>-4</sup>	0.8233
2000	0.0966	2928	0.29183	1.032 × 10 <sup>-3</sup>	7.808 × 10 <sup>-5</sup>	8.084 × 10 <sup>-4</sup>	0.7833

Note: For ideal gases, the properties  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$ , and Pr are independent of pressure. The properties  $\rho$ ,  $\nu$ , and  $\alpha$  at a pressure  $P$  (In atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of  $\rho$  at the given temperature by  $P$  and by dividing  $\nu$  and  $\alpha$  by  $P$ .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Originally based on various sources.



Tabel Kecepatan pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	Kecepatan (m/s)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	1,619	1,619	1,62	1,621	1,621
2	40	0,6476	0,6476	0,648	0,6485	0,6486
3	60	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
4	80	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
5	100	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
6	120	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
7	140	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
8	160	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
9	180	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
10	200	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243
11	220	0,3238	0,3238	0,324	0,3242	0,3243

Tabel  $T_f$  pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	$T_f$ (K)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	311,012	310,237	310,075	309,85	309,775
2	40	311,137	310,525	310,175	310,15	310,162
3	60	311,362	310,637	310,15	310,025	310,025
4	80	311,175	310,5	309,925	309,825	309,825
5	100	310,837	310,3	309,7	309,475	309,4
6	120	310,612	310,062	309,4	308,962	308,687
7	140	310,375	309,862	309,075	308,275	307,85
8	160	310,087	309,55	308,737	307,675	307,212
9	180	309,812	309,375	308,575	307,537	307,087
10	200	309,062	308,425	307,925	307,137	306,887
11	220	308,4	306,95	306,637	306,175	306,075

Tabel  $T_w$  pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	$T_w$ (K)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	302,325	301,875	301,85	301,5	301,45
2	40	302,975	302,75	302,65	302,6	302,625
3	60	303,025	302,875	302,8	302,75	302,75
4	80	302,95	302,8	302,65	302,65	302,65
5	100	302,775	302,7	302,5	302,45	302,4
6	120	302,625	302,525	302,3	302,125	301,975
7	140	302,45	302,325	302,05	301,65	301,4
8	160	302,375	302,2	301,875	301,35	301,125
9	180	302,125	301,95	301,65	301,175	300,975
10	200	301,525	301,05	300,95	300,675	300,575
11	220	300,6	299,1	299,075	299,05	299,05

Tabel Viskositas Kinematik pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	Viskositas Kinematik ( $m^2/s$ )				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	$1,473 \times 10^{-5}$	$1,466 \times 10^{-5}$	$1,464 \times 10^{-5}$	$1,462 \times 10^{-5}$	$1,461 \times 10^{-5}$
2	40	$1,474 \times 10^{-5}$	$1,468 \times 10^{-5}$	$1,465 \times 10^{-5}$	$1,465 \times 10^{-5}$	$1,465 \times 10^{-5}$
3	60	$1,476 \times 10^{-5}$	$1,47 \times 10^{-5}$	$1,465 \times 10^{-5}$	$1,464 \times 10^{-5}$	$1,464 \times 10^{-5}$
4	80	$1,475 \times 10^{-5}$	$1,468 \times 10^{-5}$	$1,463 \times 10^{-5}$	$1,462 \times 10^{-5}$	$1,462 \times 10^{-5}$
5	100	$1,471 \times 10^{-5}$	$1,466 \times 10^{-5}$	$1,461 \times 10^{-5}$	$1,459 \times 10^{-5}$	$1,458 \times 10^{-5}$
6	120	$1,469 \times 10^{-5}$	$1,464 \times 10^{-5}$	$1,458 \times 10^{-5}$	$1,454 \times 10^{-5}$	$1,451 \times 10^{-5}$
7	140	$1,467 \times 10^{-5}$	$1,462 \times 10^{-5}$	$1,455 \times 10^{-5}$	$1,447 \times 10^{-5}$	$1,443 \times 10^{-5}$
8	160	$1,464 \times 10^{-5}$	$1,459 \times 10^{-5}$	$1,452 \times 10^{-5}$	$1,442 \times 10^{-5}$	$1,437 \times 10^{-5}$
9	180	$1,462 \times 10^{-5}$	$1,458 \times 10^{-5}$	$1,450 \times 10^{-5}$	$1,44 \times 10^{-5}$	$1,436 \times 10^{-5}$
10	200	$1,455 \times 10^{-5}$	$1,449 \times 10^{-5}$	$1,444 \times 10^{-5}$	$1,436 \times 10^{-5}$	$1,434 \times 10^{-5}$
11	220	$1,448 \times 10^{-5}$	$1,435 \times 10^{-5}$	$1,432 \times 10^{-5}$	$1,427 \times 10^{-5}$	$1,426 \times 10^{-5}$

Tabel *Local Reynold Number* pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	<i>Reynold Number (Re)</i>				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	2197,342	2208,329	2212,012	2216,599	2217,674
2	40	878,232	881,696	884,233	885,059	885,124
3	60	438,483	440,529	442,188	442,818	442,955
4	80	439,010	440,919	442,831	443,391	443,528
5	100	439,962	441,487	443,476	444,397	444,751
6	120	440,599	442,165	444,339	445,879	446,816
7	140	441,274	442,737	445,278	447,882	449,268
8	160	442,093	443,633	446,257	449,645	451,152
9	180	442,880	444,137	446,730	450,051	451,524
10	200	445,039	446,891	448,632	451,236	452,119
11	220	446,964	451,236	452,447	454,113	454,555

Tabel Temperatur pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	$T_{\infty}$ chamber (K)				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	319,7	318,6	318,3	318,2	318,1
2	40	319,3	318,3	317,7	317,7	317,7
3	60	319,7	318,4	317,5	317,3	317,3
4	80	319,4	318,2	317,2	317	317
5	100	318,9	317,9	316,9	316,5	316,4
6	120	318,6	317,6	316,5	315,8	315,4
7	140	318,3	317,4	316,1	314,9	314,3
8	160	317,8	316,9	315,6	314	313,3
9	180	317,5	316,8	315,5	313,9	313,2
10	200	316,6	315,8	314,9	313,6	313,2
11	220	316,2	314,8	314,2	313,3	313,1

Tabel Delta T ( $T_{\infty} - T_w$ ) pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	$(T_{\infty} - T_w)$				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	17.375	16.725	16.45	16.7	16.65
2	40	16.325	15.55	15.05	15.1	15.075
3	60	16.675	15.525	14.7	14.55	14.55
4	80	16.45	15.4	14.55	14.35	14.35
5	100	16.125	15.2	14.4	14.05	14
6	120	15.975	15.075	14.2	13.675	13.425
7	140	15.85	15.075	14.05	13.25	12.9
8	160	15.425	14.7	13.725	12.65	12.175
9	180	15.375	14.85	13.85	12.725	12.225
10	200	15.075	14.75	13.95	12.925	12.625
11	220	15.6	15.7	15.125	14.25	14.05

Tabel *Local Grashof Number* pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	<i>Grashof Number (Gr)</i>				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	20169.950	19659.022	19386.542	19752.828	19717.581
2	40	18913.067	18193.417	17708.024	17774.022	17741.017
3	60	19248.991	18131.307	17303.187	17161.214	17161.214
4	80	19046.423	18025.172	17188.954	16980.099	16980.099
5	100	18771.567	17848.5	17073.742	16719.542	16680.298
6	120	18664.359	17769.671	16918.588	16409.154	16181.364
7	140	18589.273	17827.17	16828.354	16078.131	15762.464
8	160	18174.898	17471.809	16529.506	15501.313	15032.792
9	180	18196.640	17700.201	16724.224	15628.372	15125.544
10	200	18059.711	17854.574	17024.566	15978.501	15671.886
11	220	18891.178	19468.979	18852.646	17898.014	17675.993

Tabel *Local Prandtl Number* pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	<i>Prandtl Number (Pr)</i>				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	0.9965337	0.9966717	0.9967006	0.9967407	0.9967540
2	40	0.9965115	0.9966205	0.9966828	0.9966873	0.9966850
3	60	0.9964714	0.9966005	0.9966873	0.9967095	0.9967095
4	80	0.9965048	0.996625	0.9967273	0.9967451	0.9967451
5	100	0.9965649	0.9966606	0.9967674	0.9968074	0.9968208
6	120	0.9966049	0.9967028	0.9968208	0.9968986	0.9969476
7	140	0.9966472	0.9967384	0.9968786	0.9970210	0.9970967
8	160	0.9966984	0.996794	0.9969387	0.9971278	0.9972101
9	180	0.9967473	0.996825	0.9969676	0.9971523	0.9972324
10	200	0.9968808	0.996994	0.9970833	0.9972235	0.9972680
11	220	0.9969988	0.9972569	0.9973125	0.9973948	0.9974126

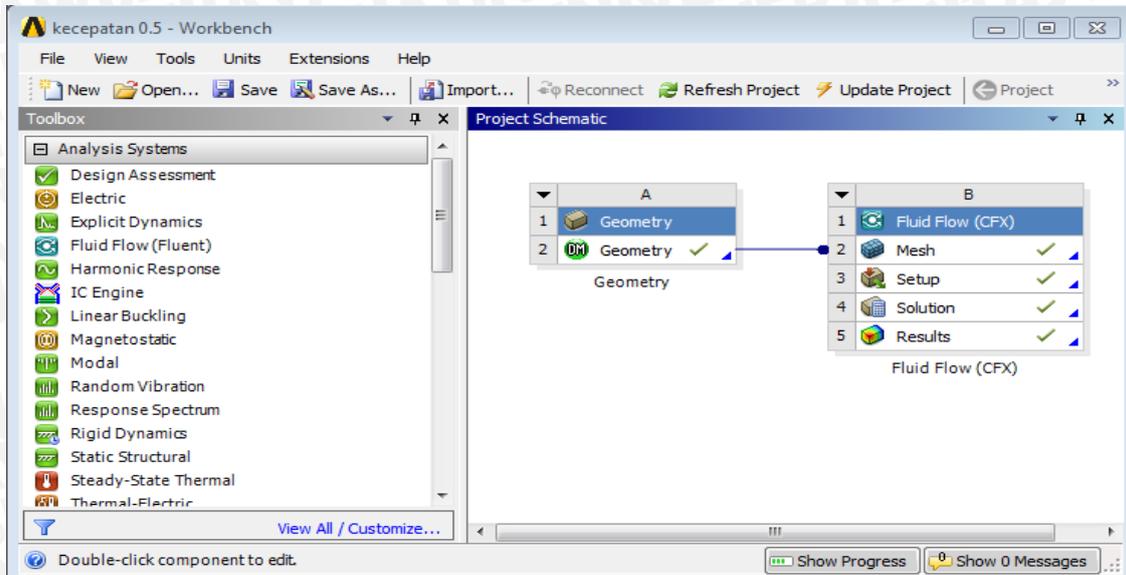
Tabel  $(Gr Pr \frac{D}{L})$  pada *chamber saturated vapor* pada tiap variasi porositas

No	Jarak (mm)	$(Gr Pr \frac{D}{L})$				
		Porositas 10%	Porositas 20%	Porositas 30%	Porositas 38%	Porositas 40%
1	20	20100,037	19593,592	19322,579	19688,448	19653,579
2	40	18847,089	18131,933	17649,284	17715,142	17682,207
3	60	19181,070	18069,670	17245,867	17104,746	17104,746
4	80	18979,853	17964,337	17132,701	16924,831	16924,831
5	100	18707,085	17788,896	17018,549	16666,164	16627,268
6	120	18600,993	17711,083	16864,801	16358,264	16131,973
7	140	18526,948	17769,026	16775,827	16030,235	15716,701
8	160	18114,892	17415,796	16478,905	15456,791	14990,853
9	180	18137,453	17644,007	16673,510	15583,867	15083,683
10	200	18003,380	17800,910	16974,912	15934,137	15629,071
11	220	18834,482	19415,574	18801,980	17851,387	17630,259

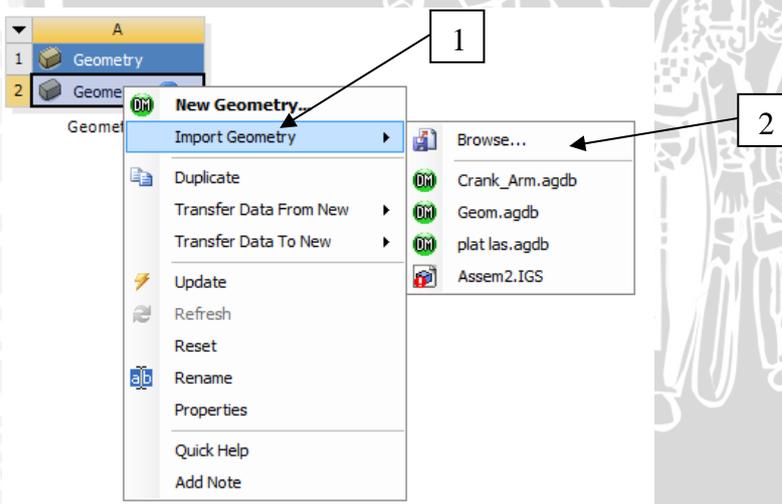
## LAMPIRAN 2

### TUTORIAL ANSYS 14.5

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

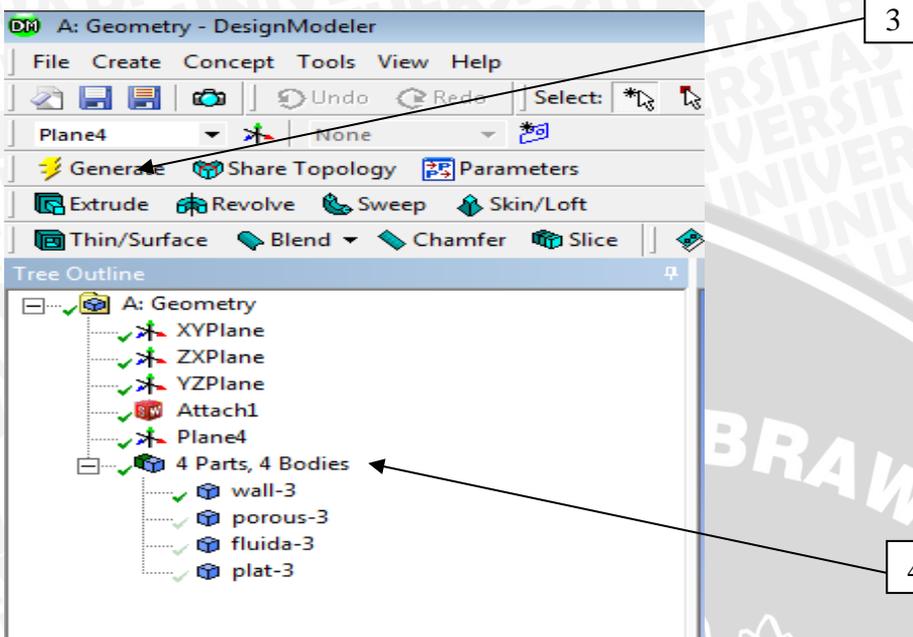


1. Klik kanan pada geometri sehingga akan muncul tampilan seperti berikut
2. Pilih import geometri dan browse dan pilih file yang tersimpan pada drive hardisc.

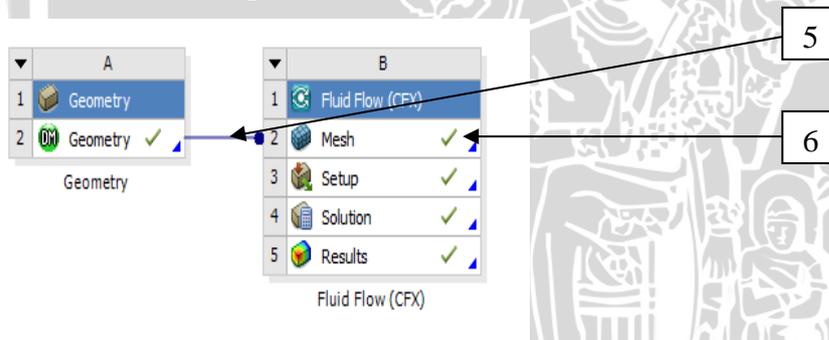


3. Double klik pada generate untuk mrnggunggh file gambar pada ansys 14,5

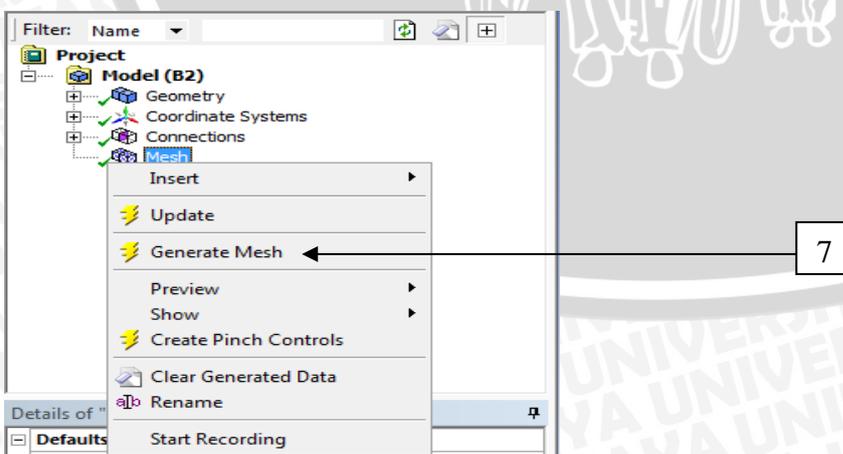
4. Berilah nama pada parts yang ada pada geometri sesuai dengan porous media chamber.



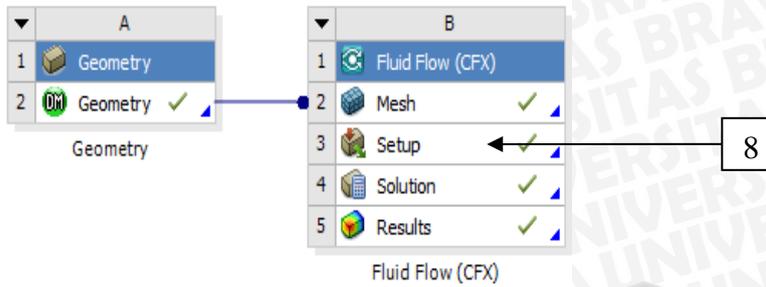
5. Drag dari geometri ke mesh pada project schematic.  
6. Double klik pada mesh.



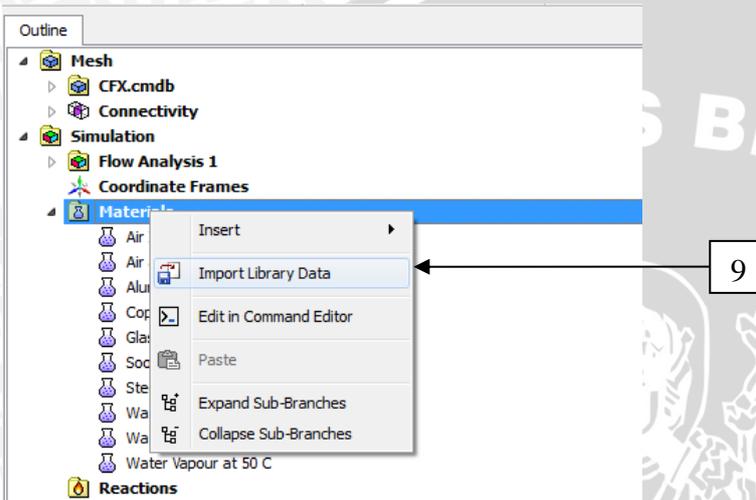
7. Klik kanan pada mesh setelah itu pilih Generate Mesh



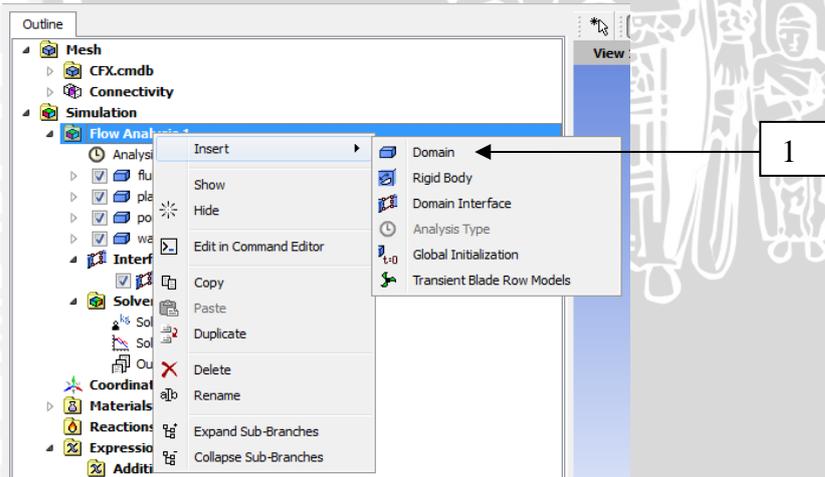
8. Setelah itu klik kanan pada setup dan pilih edit



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



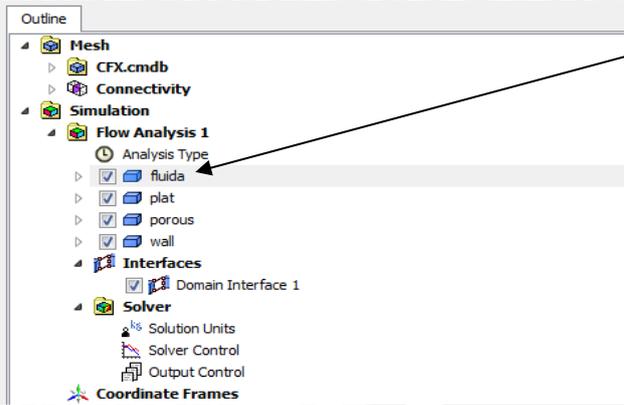
10. Klik kanan pada flow analysis setelah itu pilih insert dan domain berilah nama fluida. Ulangi langkah 10 dan berilah nama plat, porous, dan wall.



11. Klik pada fluida dan pilih domain.

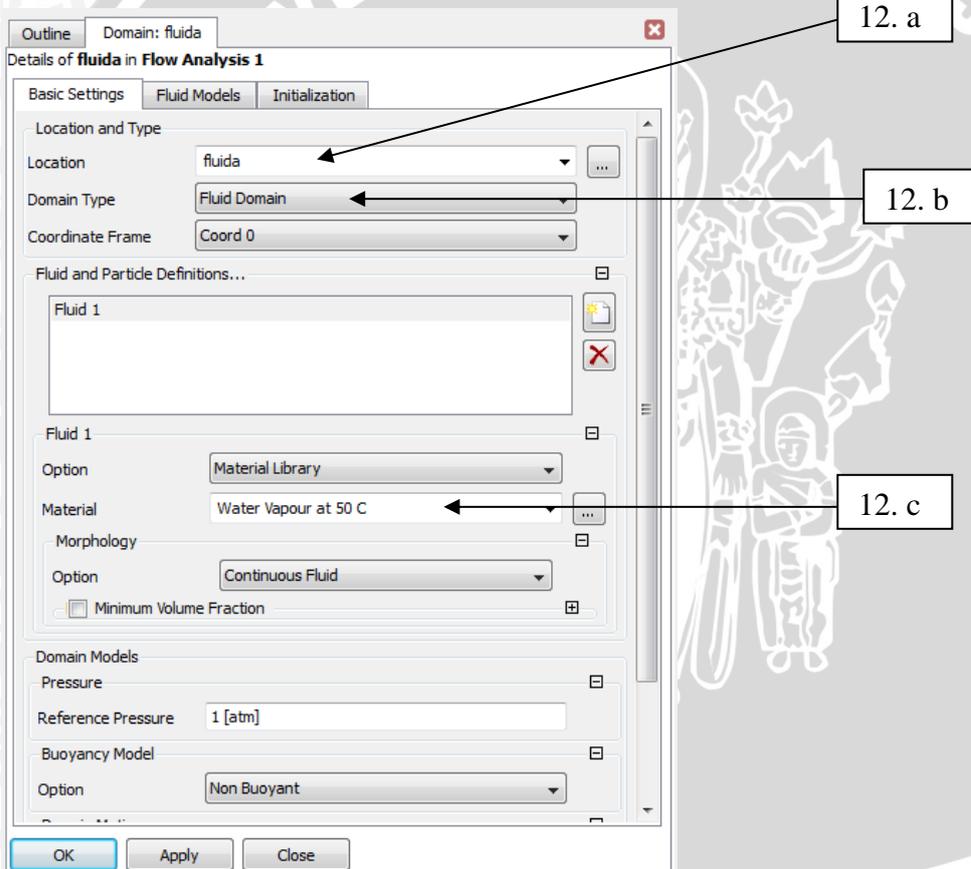
1





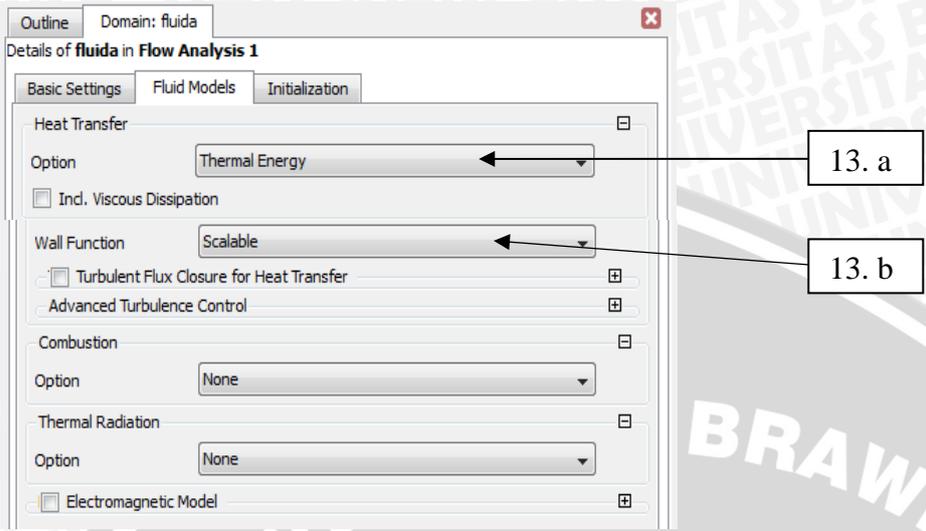
12. Masukkan properti pada domain fluida yaitu:

- a. Location pilih fluida
- b. Domain type pilih fluid domain
- c. Material pilih water vapor.

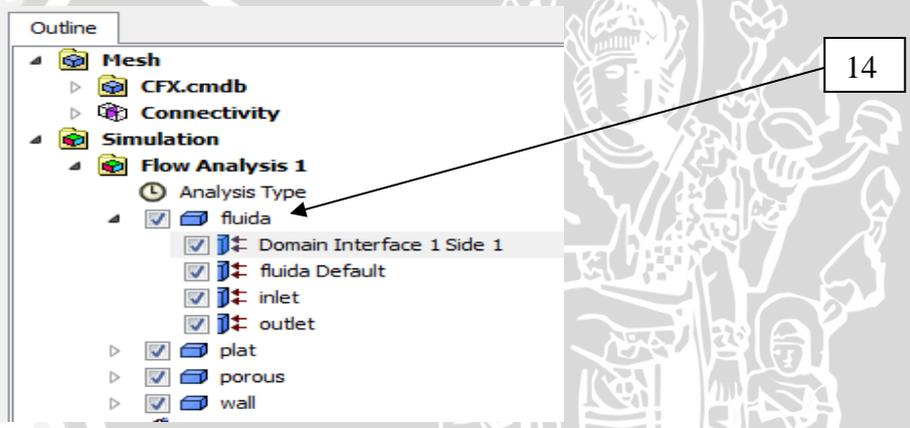


13. Pilih fluid model masukan properti pada fluid model yaitu:

- a. Pada heat transfer pilih thermal energy
- b. Wall function pilih Scalable

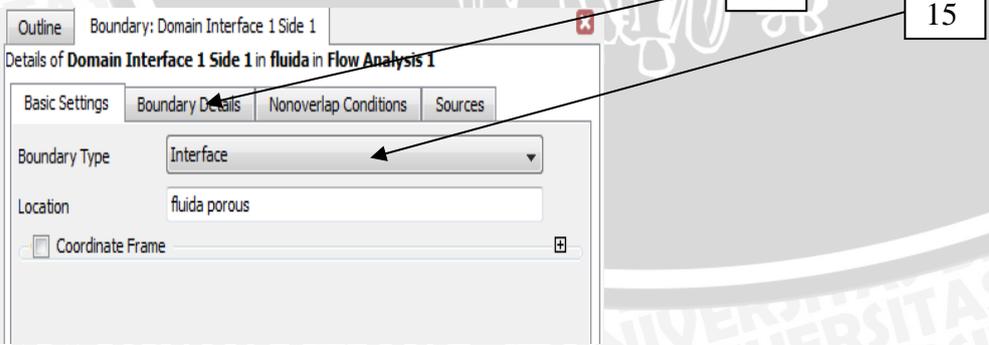


14. Klik domain interface pada fluida.

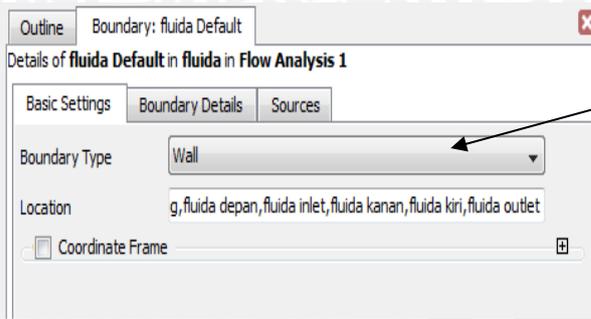


15. Pilih boundary type interface dan location fluida porous.

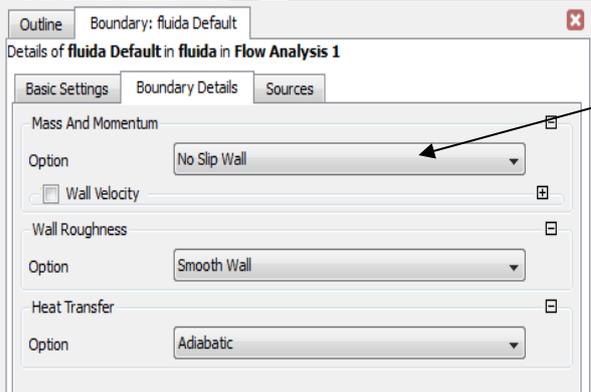
16. Setelah itu pilih boundary detail.



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

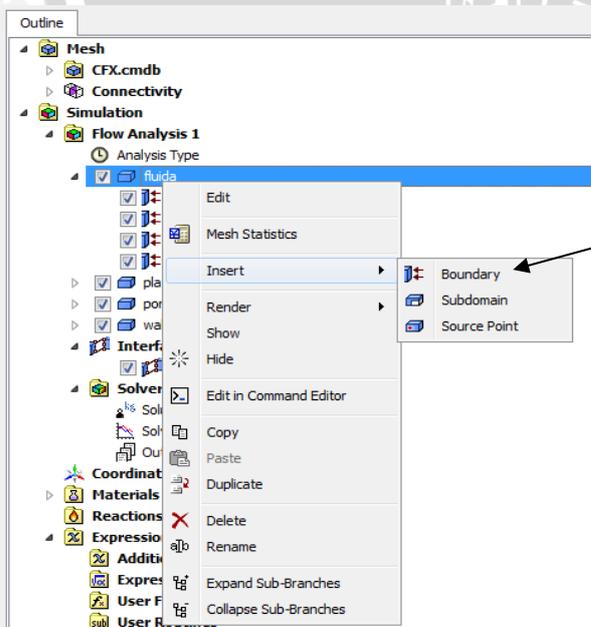


18. Klik pada boundary details pada mass and momentum pilih no slip wall, pada wall Rougnes pilih smooth wall, dan pada heat transfer pilih adiabatic.

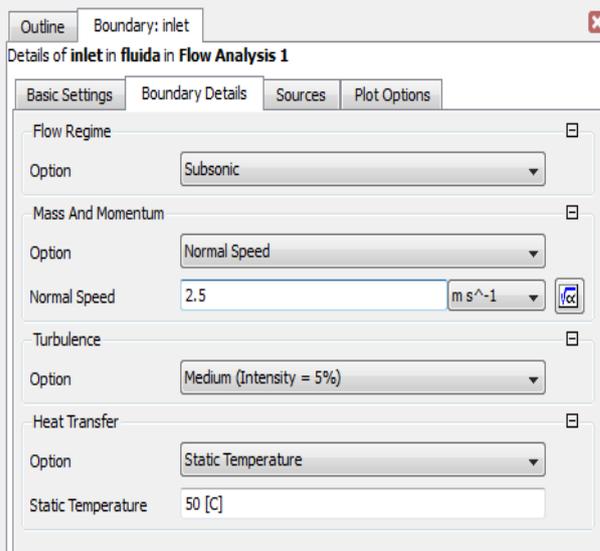


19. Klik kanan pada fluida dan pilih insert setelah itu pilih boundary setelah itu beri nama inlet.

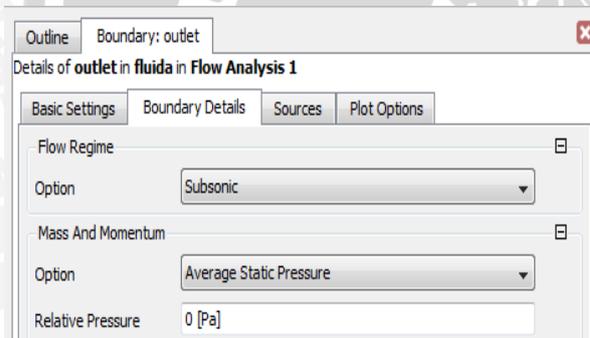
20. Ulangi langkah 19 dan beri nama outlet.



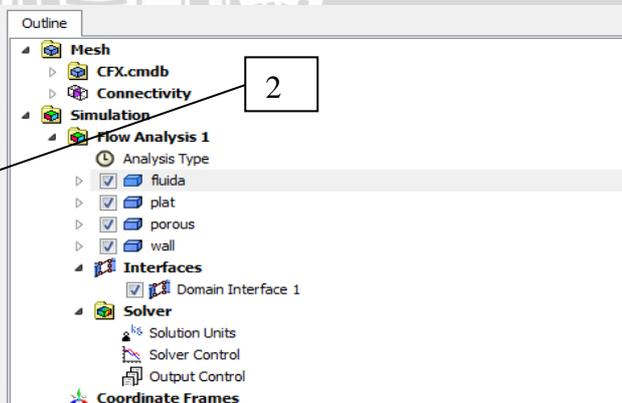
21. Klik inlet pada fluida dan pada boundary details masukan kecepatan seperti gambar berikut.



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

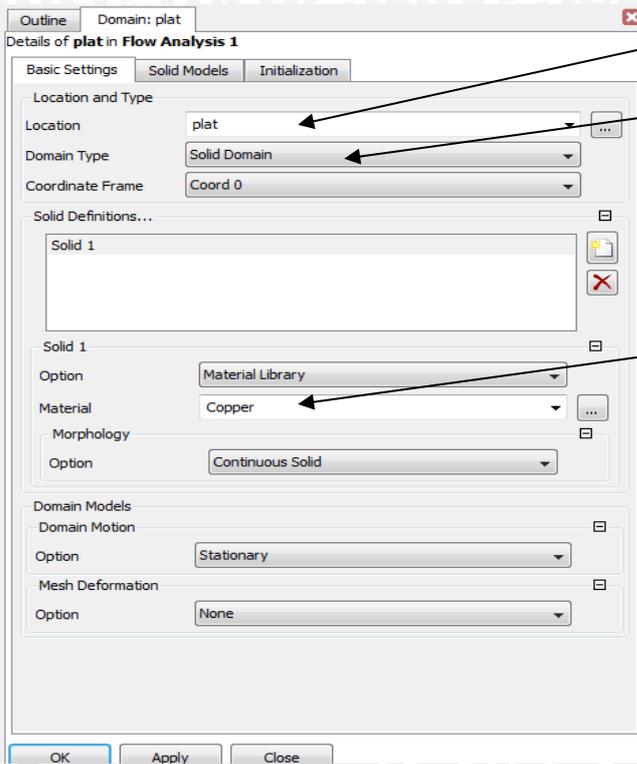


23. Klik pada plat dan pilih domain.



24. Masukan properti pada domain plat yaitu:

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

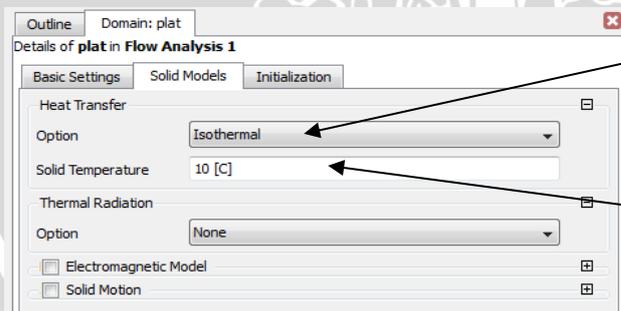


24. b

24. c

25. Pilih plat masukan properti pada solid model yaitu:

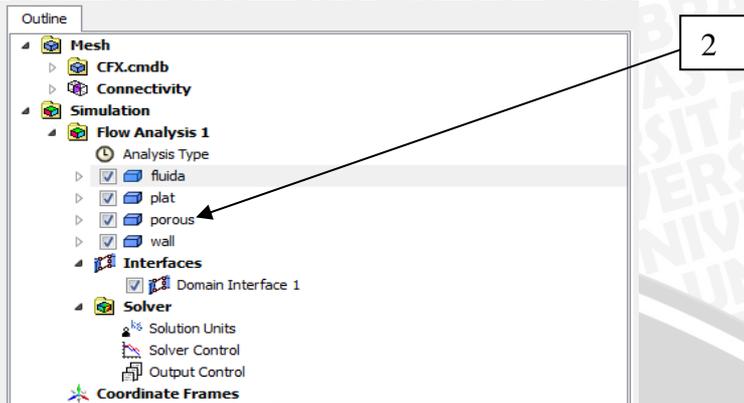
- a. Pada heat transfer pilih isothermal
- b. Masukan temperatur pada Solid temperatur



25. a

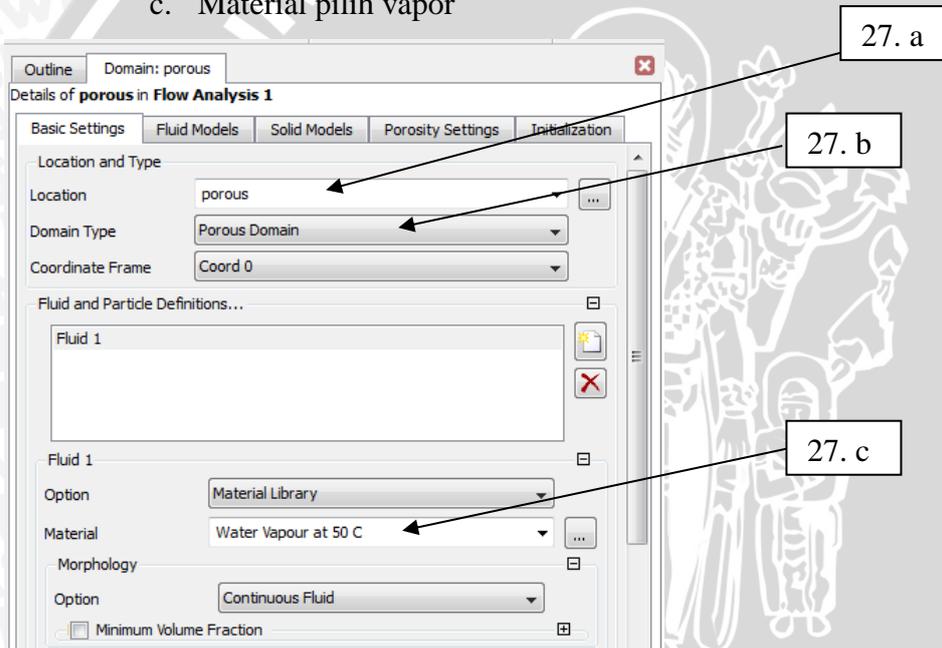
25. b

26. Klik pada porous dan pilih domain.

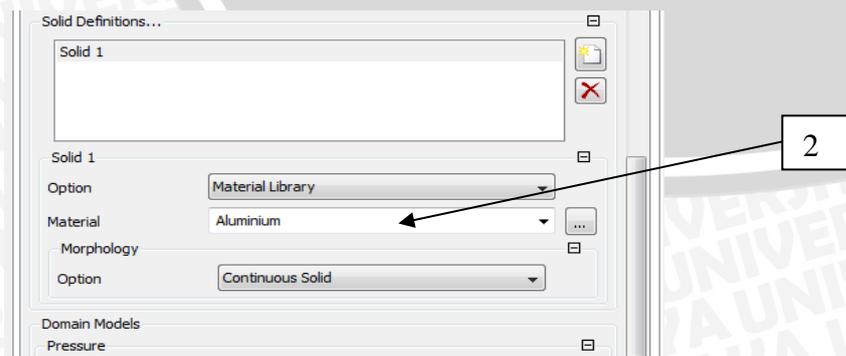


27. Masukkan properti pada domain porous yaitu:

- Location pilih porous
- Domain type pilih porous domain
- Material pilih vapor

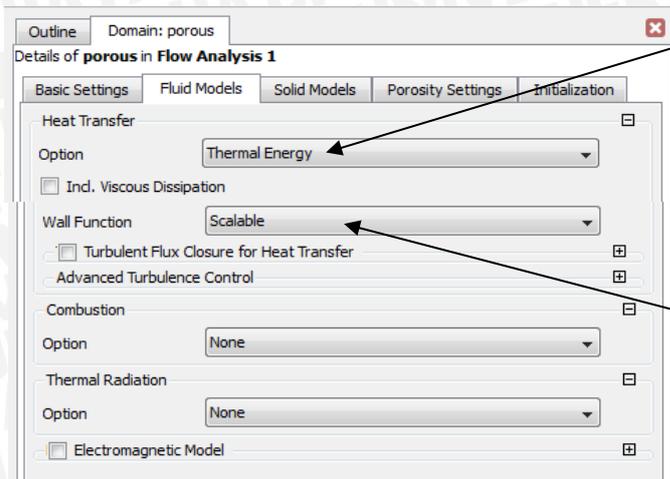


28. Pada solid definision pilih material aluminium.



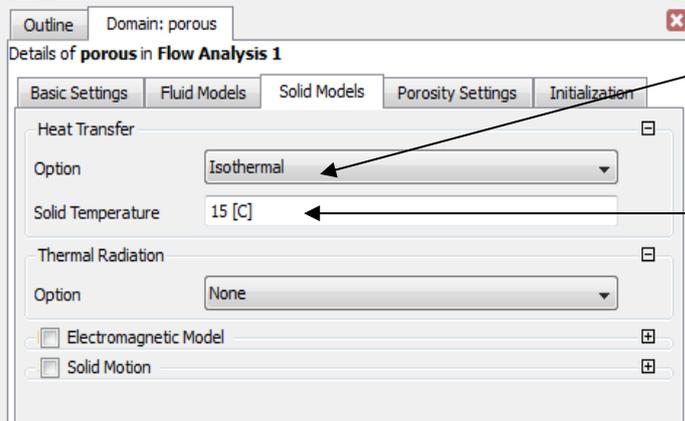
29. Masukan properti pada domain fluid models yaitu:

- a. Heat transfer pilih thermal energi
- b. Wall function pilih scalable



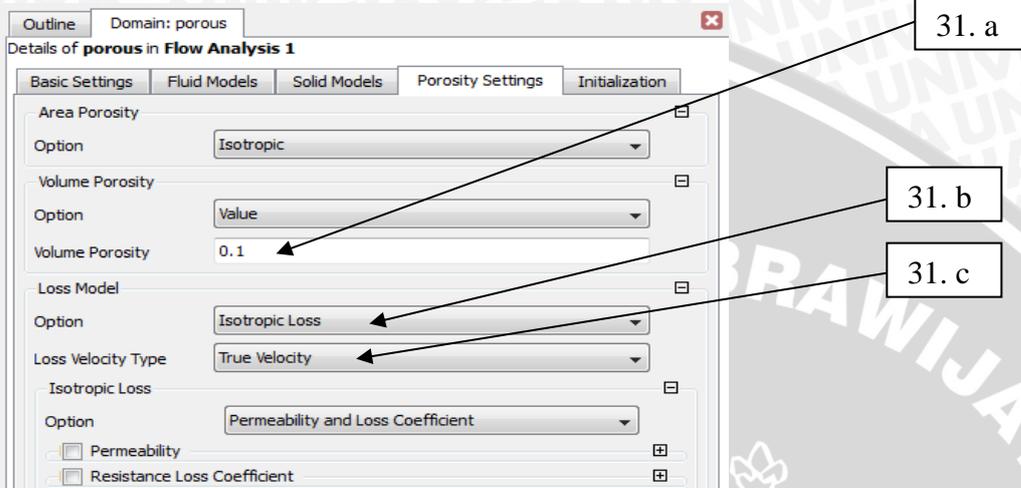
30. Masukan properti pada solid porous yaitu:

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

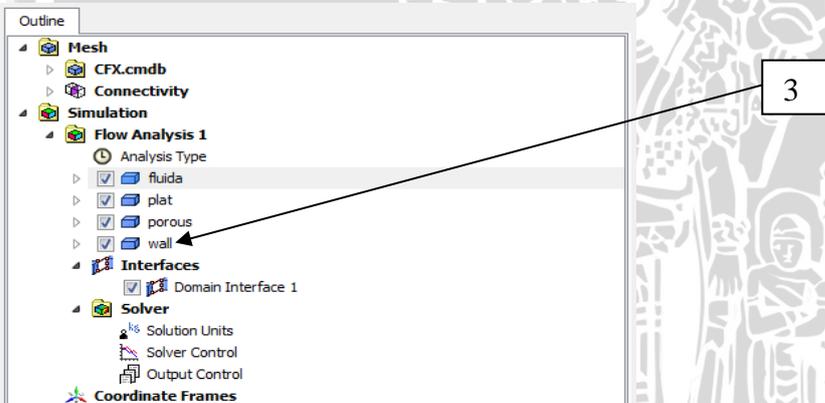


31. Masukkan properti pada porosity setting yaitu

- a. Pada bagian ini akan dimasukkan nilai variasi porositas yaitu 10%, 20%, 30%, 38% dan 40%
- b. Loss model pilih isotropic loss
- c. Loss velocity type pilih true velocity.

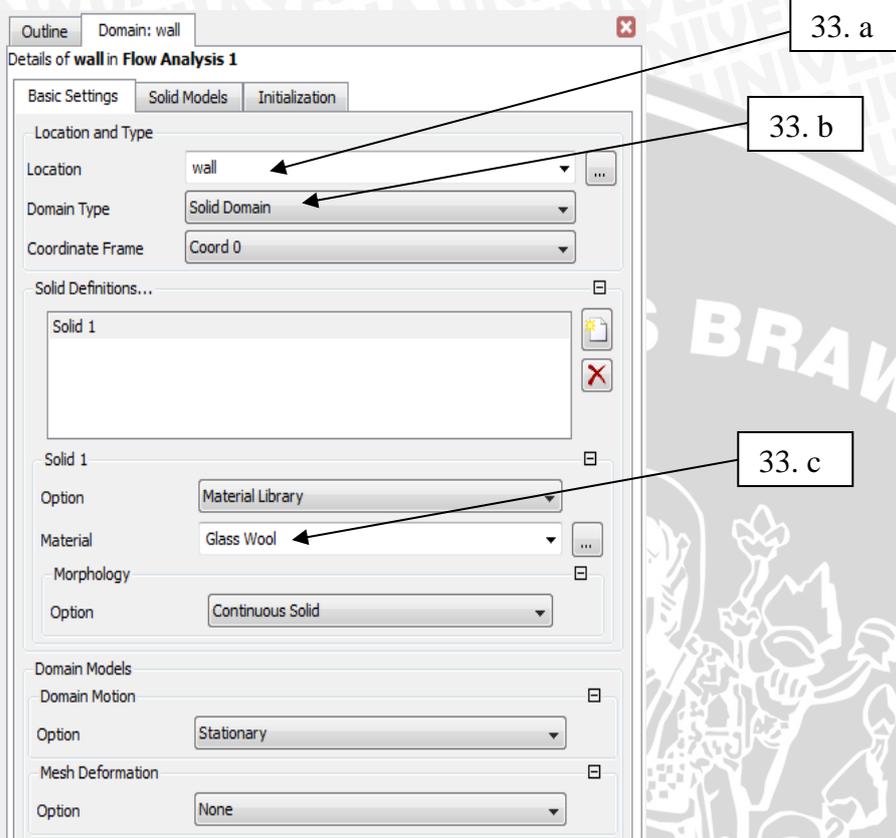


32. Klik pada wall dan pilih domain.



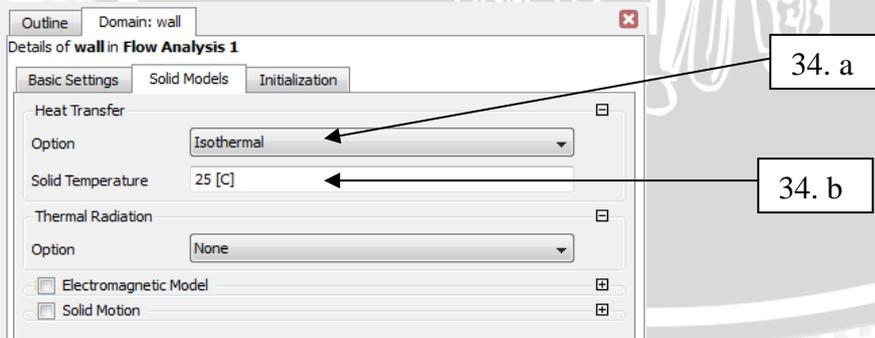
33. Masukan properti pada domain wall yaitu:

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

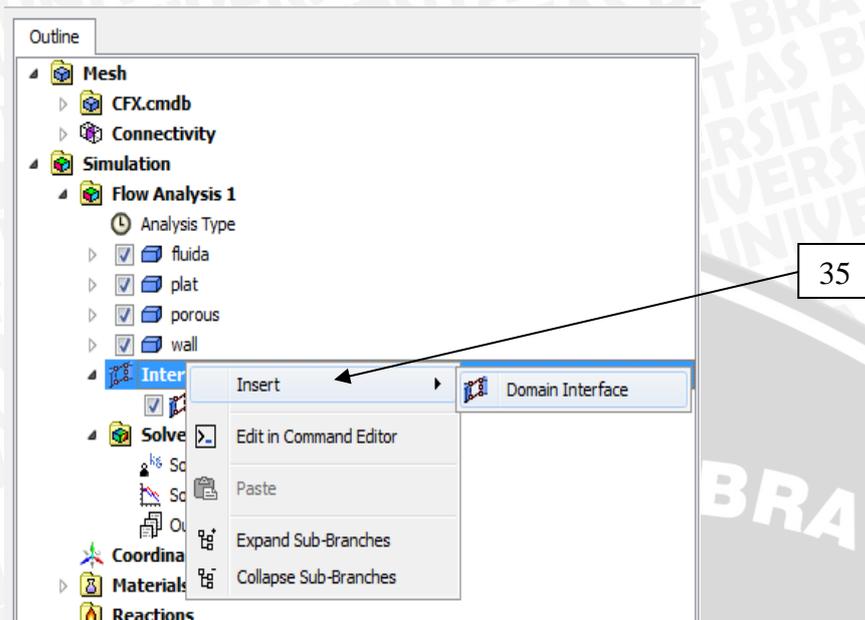


34. Pilih solid model pada wall.

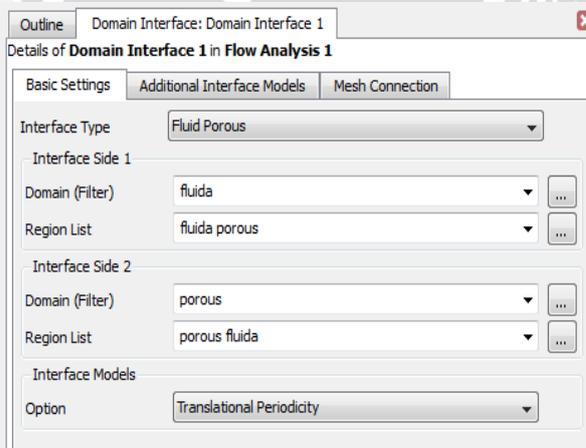
- a. Heat transfer pilih isothermal
- b. Masukkan temperatur pada solid temperatur.



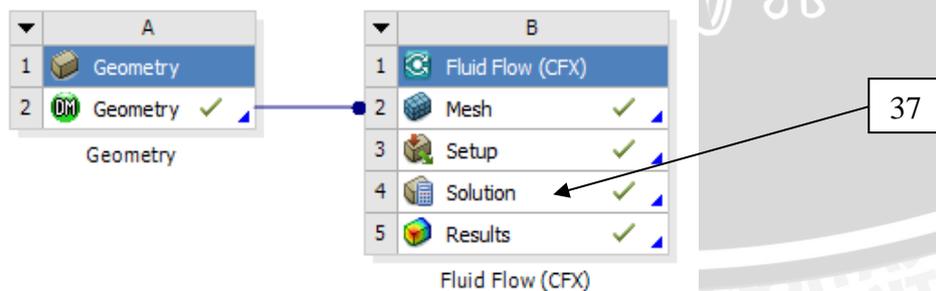
35. Klik kanan pada interface pilih insert dan pilih domain Interface



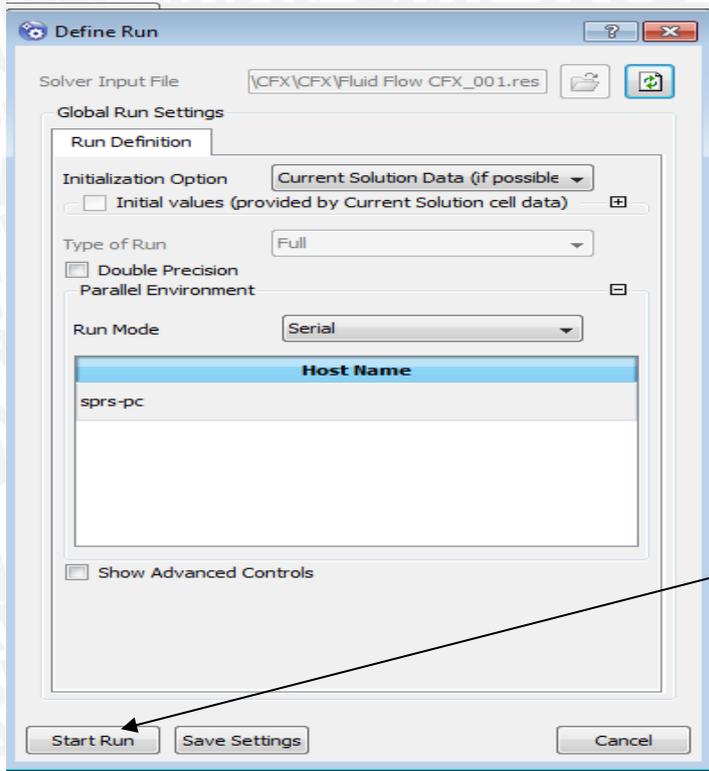
36. Double klik pada domain Interface masukan property seperti gambar berikut.



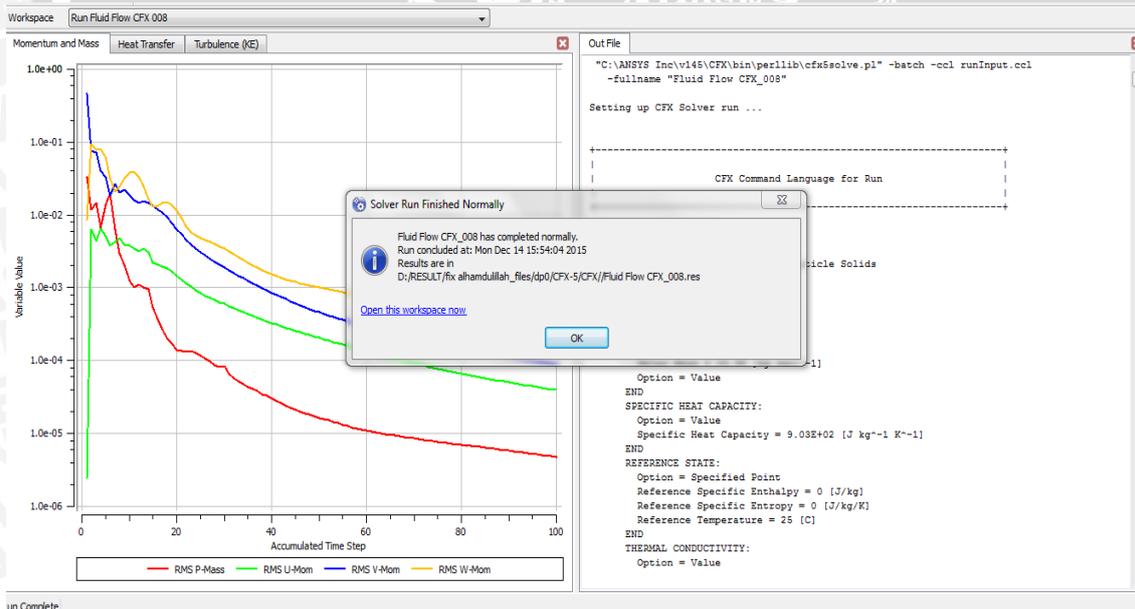
37. Double klik pada solution.



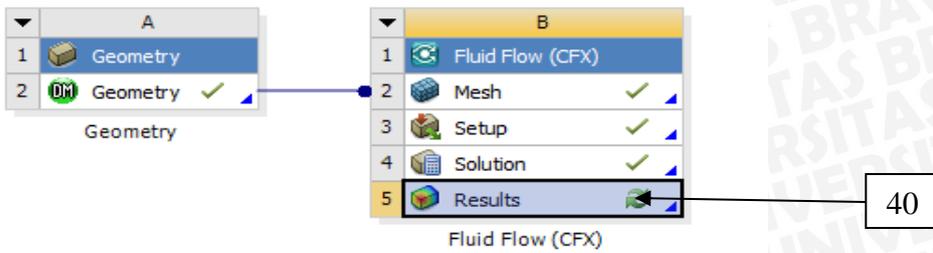
38. Pilih start run



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



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



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

