

**KARAKTERISTIK TRANSPORT KALOR PADA SISTEM PENDINGIN  
(SIMULASI) MOTOR BAKAR MENGGUNAKAN *POROUS MEDIA***

**TESIS  
PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN  
MINAT KONVERSI ENERGI**



**AHMAD HAMIM SU'UDY**

**NIM: 156060200111010**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
M A L A N G  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### TESIS

# KARAKTERISTIK TRANSPORT KALOR PADA SISTEM PENDINGIN (SIMULASI) MOTOR BAKAR MENGGUNAKAN *POROUS MEDIA*

Oleh :

**Ahmad Hamim Su'udy**  
**NIM.156060200111010**

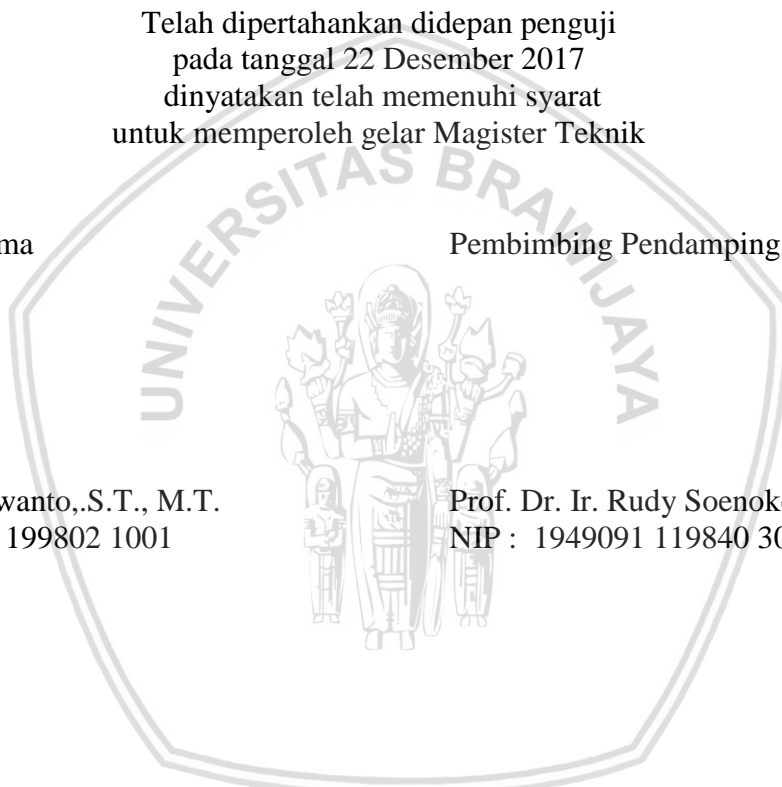
Telah dipertahankan didepan penguji  
pada tanggal 22 Desember 2017  
dinyatakan telah memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Eko Siswanto, S.T., M.T.  
NIP : 197001017 199802 1001

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.  
NIP : 1949091 119840 3001



Malang, Januari 2018  
Universitas Brawijaya  
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin  
Ketua Program Magister Teknik Mesin

Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.  
NIP. 197507022000032001

**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI TESIS**

JUDUL TESIS :

KARAKTERISTIK TRANSPORT KALOR PADA SISTEM PENDINGIN (SIMULASI)  
MOTOR BAKAR MENGGUNAKAN *POROUS MEDIA*

Nama Mahasiswa : Ahmad Hamim Su'udy

NIM : 156060200111010

Program Studi : Teknik Mesin

Minat (bila ada) : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Dr. Eng. Eko Siswanto, S.T., M.T

Anggota : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.

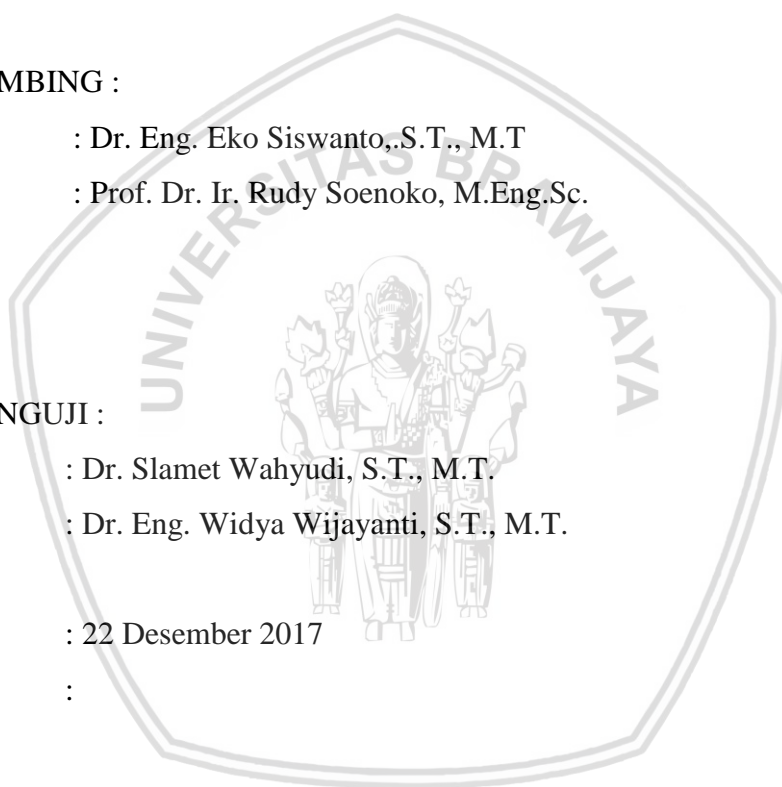
TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi, S.T., M.T.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : 22 Desember 2017

SK Penguji :



## RIWAYAT HIDUP

Ahmad Hamim Su'udy, lahir di Bojonegoro tanggal 12 April 1992, putra dari pasangan Bapak Yasin dan Ibu Sutini, menikah dengan Safitri Aulia Rahma pada 31 Desember 2017. Pendidikan mulai tingkat dasar sampai tingkat menengah di selesaikan di Bojonegoro yaitu, SD Wadang 2 (2004), SMP 1 Kalitidu (2007), SMA Kalitidu (2010). Menyelesaikan sarjana S-1 di Universitas Negeri Malang pada tahun 2014 dengan minat Pendidikan Teknik Otomotif dan menempuh pendidikan S-2 di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2015. Pengalaman mengajar di SMK Nasional Malang selama 4 tahu dari tahun 2014-2017 kemudian menjadi tenaga pendidik di AKN ( Poltek ) Bojonegoro pada tahun 2017 sampai sekarang.

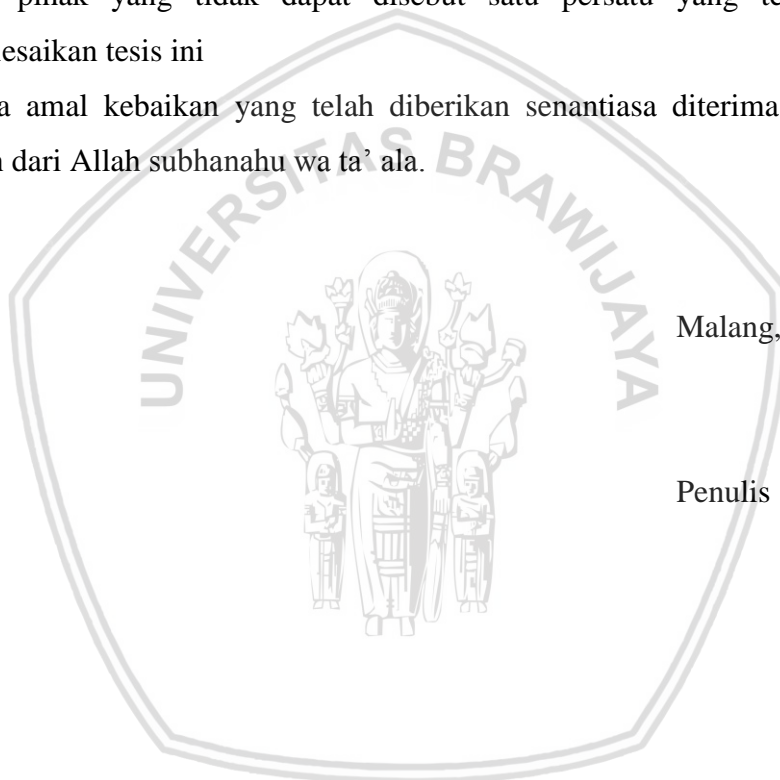


## UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah robbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT. Pendidikan S2 yang telah ditempuh diprogram Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya ini bisa terlaksana semata-mata karena kehendak Allah SWT dan juga karena dukungan beberapa pihak. Oleh sebab itu ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya disampaikan kepada:

1. Kedua orang tua bapak Yasin dan ibu Sutini yang selalu mendoakan dan selalu mendukung dalam menempuh program Magister Teknik Mesin, beliau sumber inspirasi dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT. Selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin yang selalu memberikan motivasi dan semangat dan tak kenal lelah dalam mendampingi menyelesaikan tesis ini.
3. Dr. Eng. Eko Siswanto, S.T., M.T. Dosen Teknik Mesin selaku pembimbing utama, yang dengan ide ide dan ketegasan dalam membimbing, mengarahkan, mengoreksi penulisan tesis ini serta tak keal lelah dalam membimbing hingga terselesaikannya penulisan tesis ini.
4. Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. Guru Besar Fakultas Teknik selaku pembimbing pendamping yang dengan kedalaman ilmunya, keluasan wawasan dan pengalaman beliau yang telah membimbing dan memotivasi hingga terselesaikannya tesis ini.
5. Dr. Slamet Wahyudi, S.T., M.T. Dosen Teknik Mesin selaku dosen penguji yang berkenan menguji meluangkan waktu dan tenaga saat ujian akhir, serta segala saran, koreksi, masukan dan memberikan wawasan keilmuan untuk menyempurnakan tesis ini.
6. Dr. Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T. Dosen Teknik Mesin, selaku dosen penguji yang berkenan menguji meluangkan waktu dan tenaga saat ujian akhir, serta segala saran, koreksi dan masukan untuk penyempurnaan tesis ini.
7. K.H.Syaiful Munir A., S.Pdi., M.Pdi, sebagai guru sepiritual yang selalu mendoakan, mengarahkan dan memberikan tempat tinggal selama penulis menempuh pendidikan hingga Magister Teknik Mesin ini.
8. Istri tercinta Safitri Aulia Rahma, yang selalu memberikan doa, motivasi dan semangat untuk menyelesaikan tesis ini.

9. Teman seperjuangan angkatan 2015 ( Tim KE terdiri dari Pak komandan Dedi, MbK Ari, Pak Fauzan, Om andi, Kaji Ode. Tim TIM terdiri dari MbK Vina, Sowi, Pak Rusdin, OM Robi, OM Faisol, Om Sabda . Tim MM Pak Tejo, Pak Halman, Om hilmi, Pak hilmi. Om Willi '16 ) yang telah membantu baik moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
  10. Teman teman dari AKN (Poltek ) Bojonegoro, yang selalu memberikan dukungan dan banyak toleransi dalam hal kerja, sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
  11. Teman Zawiyah Al Hady yang membantu baik moril maupun material dalam terselesaikannya tesis ini.
  12. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu yang telah membantu menyelesaikan tesis ini
- Semoga amal kebaikan yang telah diberikan senantiasa diterima dan mendapat balasan dari Allah subhanahu wa ta' ala.



Malang, Januari 2018

Penulis

## RINGKASAN

**Ahmad Hamim Su'udy**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. November, 2017. Karakteristik Transport Kalor Pada Sistem Pendingin (simulasi) Motor Bakar Menggunakan *Porous Media*. Dosen Pembimbing Eng. Eko Siswanto dan Rudy Soenoko.

Ilmu pengetahuan dan teknologi terus berinovasi untuk mengatasi masalah sistem pendinginan yang kerap timbul dari panas yang dihasilkan oleh mesin dan bagaimana cara memperbaiki fungsi pendinginan mesin. Akhir akhir ini terus berkembang dalam menangani masalah pendinginan atau transfer kalor, khususnya pada porous media, yang mana sistem media berpori memberikan solusi perpindahan panas dengan media berpori yang mampu meningkatkan perpindahan panas.

Dalam study kali ini melihat bagaimana pengaruh variasi porositas pada media berpori dalam transfer kalor pada sistem pendingin engine. Variasi porositas 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, perpindahan panas dengan media berpori dapat diterapkan pada sistem pendinginan mesin dengan bantuan simulasi, dikarenakan kerumitan proses ujicoba maka dilakukan pendekatan menggunakan simulasi FEA.

Hasil yang didapatkan dari pengaruh porositas terhadap distribusi temperatur ialah semakin besar nilai porositas maka semakin besar pula distribusi temperatur ditiap kolom pantau. semakin besar porositas maka nilai Konduktivitas termal rendah sehingga laju perpindahan panasnya juga rendah. Kemudian semakin besar Porositas maka nilai koefisien perpindahan panas akan semakin rendah. nilai *Rayleigh Number* (Ra) dan *Nusselt Number* (Nu) saling berhubungan dimana semakin besar nilai Ra semakin besar pula nilai Nu dalam proses distribusi temperatur pada *Porous media*.

Kata kunci : Temperatur, Porositas , Laju perpindahan panas, Konduktivitas termal efektif



## SUMMARY

Ahmad Hamim Su'udy, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, January 2018. Characteristics of Heat Transport On Cooling System (simulation) Engine Using Porous Media. Supervisors Eng. Eko Siswanto, Rudy Soenoko

Science and technology continue to innovate to overcome the problems of cooling systems that often arise from the heat generated by the engine and how to improve the cooling function of the machine. The latter continues to evolve in the problem of cooling or heat transfer, particularly in porous media, where porous media systems provide heat transfer solutions with porous media that increase heat transfer.

In this study, we look at how the effect of porosity variation on porous media in heat transfer in engine cooling system. Porosity variations of 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, heat transfer with porous media can be applied to the engine cooling system with the help of simulation, due to the complexity of the testing process it is approached using FEA simulation.

The result obtained from the effect of porosity on the temperature distribution is the greater the porosity value the greater the temperature distribution in each monitor column. the greater the porosity the thermal conductivity value is low thereby the rate of heat transfer is also low. Then the greater the porosity the value of the heat transfer coefficient will be lower. the value of Rayleigh Number (Ra) and Nusselt Number (Nu) are interconnected whereby the greater the value of Ra the greater the value of Nu in the process of temperature distribution on Porous media.

Keywords: Temperature, Porosity, Heat transfer, Conductivity thermal effective



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang melimpahkan segala rahmat, taufiq, hidayah, dan karunia-Nya, tak lupa teriring sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW sebagai uswatun hasanah dalam meraih kesuksesan di dunia dan akhirat, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan penelitian dengan judul "***Karakteristik Transport Kalor Pada Sistem Pendingin (Simulasi) Motor Bakar Menggunakan Porous Media***" melalui penyusunan tesis ini penulis berharap disamping untuk memenuhi persyaratan untuk kelulusan juga dapat memberi masukan yang sangat berharga bagi para pembaca serta bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan, dukungan dan saran. Semoga Allah SWT memberikan balasan pahala atas segala amal yang telah diberikan atas jasa dan bantuan yang telah diberikan dari semua pihak.

Penulis menyadari sepenuhnya bila dalam penulisan ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk menyempurnakan penyusunan tesis ini. Akhirnya dengan segala kekurangan dan kelebihannya, semoga tesis ini bermanfaat bagi para pembaca.

Malang, Desember 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>RINGKASAN</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian sebelumnya .....	5
2.2 Motor Pembakaran Dalam.....	6
2.3 Perpindahan Panas .....	8
2.4 <i>Porous Media</i> .....	11
2.5 Porositas.....	13
2.6 Konduktivitas Termal .....	13
2.7 Gradien Temperatur .....	13
2.8 Lapisan Batas Termal .....	14
2.9 Grashof Number .....	14
2.10 Nusselt Number .....	15
2.11 <i>Rayleigh Number</i> .....	15
2.12 Bilangan Prant .....	16
2.13 <i>Software FEA</i> .....	16

**BAB III Kerangka Konsep Penelitian**

3.1 Kerangka Fikir ..... 19  
 3.2 Hipotesis ..... 20

**BAB IV Metode Penelitian**

4.1 Metode Penelitian ..... 21  
 4.2 Rancangan Penelitian..... 21  
 4.3 Variabel Penelitian..... 23  
 4.4 Tempat dan Waktu Penelitian ..... 24  
 4.5 Prosedur peneltian ..... 24  
 4.6 Data hasil penelitian yang akan diperoleh ..... 30  
 4.7 Daftar alir penelitian ..... 30  
 4.8 *Boundary Condition*..... 31  
 4.9 Diagram Alir Penelitian..... 32

**BAB V Hasil dan Pembahasan**

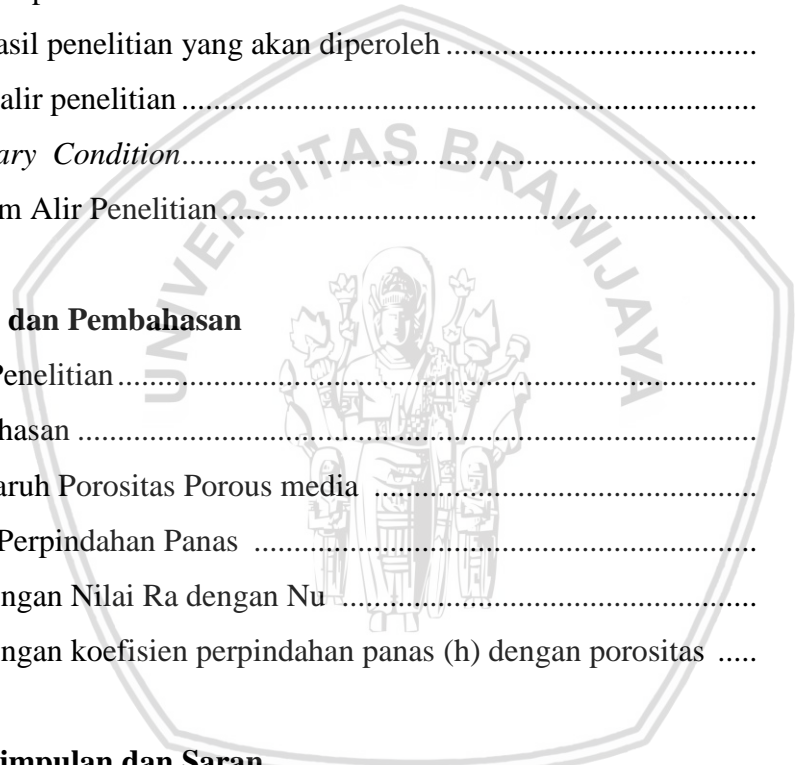
5.1 Hasil Penelitian ..... 33  
 5.2 Pembahasan ..... 38  
 5.2.1 Pengaruh Porositas Porous media ..... 38  
 5.2.2 Laju Perpindahan Panas ..... 41  
 5.2.3 Hubungan Nilai Ra dengan Nu ..... 47  
 5.2.4 Hubungan koefisien perpindahan panas (h) dengan porositas ..... 57

**BAB VI Kesimpulan dan Saran**

6.1 Hubungan koefisien perpindahan panash dengan porositas ..... 63  
 6.2 Kesimpulan ..... 63

**Daftar Pustaka** ..... 65

**Lampiran**



## DAFTAR GAMBAR

NO	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan Nilai Porositas dengan Nilai Re .....	5
Gambar 2.2	PV-T .....	6
Gambar 2.3	Proses Adiabatik .....	7
Gambar 2.4	Perpindahan Panas Melalui Dinding .....	9
Gambar 2.5	Perpindahan Panas Konveksi Paksa dari satu plat.....	10
Gambar 2.6	Perpindahan Panas Konveksi bebas dan paksa.....	11
Gambar 2.7	<i>Porous media</i> .....	12
Gambar 2.8	Lapisan batas termal .....	14
Gambar 3.1	Bagan kerangka konsep penelitian .....	19
Gambar 4.1	Desain <i>Engine</i> Pendingin <i>Porous media</i> .....	21
Gambar 4.2	Desain <i>Engine</i> Pendingin <i>Porous media</i> .....	22
Gambar 4.3	Desain Pembagian Temperatur Pendingin <i>Porous media</i> ..	23
Gambar 4.4	Geometri <i>Porous Media</i> .....	24
Gambar 4.5	Outlite .....	25
Gambar 4.6	Silinder 1 inlet 1 .....	25
Gambar 4.7	Silinder 2 inlet 2 .....	26
Gambar 4.8	Silinder 3 inlet 3 .....	26
Gambar 4.9	Silinder 4 inlet 4 .....	26
Gambar 4.10	Silinder 5 inlet 5 .....	27
Gambar 4.11	Silinder 6 inlet 6 .....	27
Gambar 4.12	Silinder 7 inlet 7 .....	27
Gambar 4.13	Silinder 8 inlet 8 .....	28
Gambar 4.14	Silinder 9 inlet 9 .....	28

Gambar 4.15	Silinder 10 inlet 10 .....	29
Gambar 4.16	<i>Setup boundary conditions</i> .....	29
Gambar 4.17	Pembagian tiap titik temperatur <i>porous media</i> .....	30
Gambar 4.18	Penamaan tiap titik temperatur <i>porous media</i> .....	31
Gambar 4.19	Diagram alir penelitian .....	32
Gambar 5.1	Gradien temperatur Porous media porositas 10% .....	33
Gambar 5.2	Gradien temperatur Porous media porositas 15% .....	33
Gambar 5.3	Gradien temperatur Porous media porositas 20% .....	34
Gambar 5.4	Gradien temperatur Porous media porositas 25% .....	34
Gambar 5.5	Gradien temperatur Porous media porositas 30% .....	35
Gambar 5.6	Grafik temperatur dikolom A .....	38
Gambar 5.7	Grafik temperatur dikolom B.....	39
Gambar 5.8	Grafik temperatur dikolom C.....	39
Gambar 5.9	Grafik temperatur dikolom D .....	40
Gambar 5.10	Grafik laju perpindahan panas pada kolom A .....	43
Gambar 5.11	Grafik laju perpindahan panas pada kolom B.....	44
Gambar 5.12	Grafik laju perpindahan panas pada kolom C.....	45
Gambar 5.13	Grafik laju perpindahan panas pada kolom D .....	45
Gambar 5.14	Grafik laju perpindahan panas porositas 10%&30% .....	46
Gambar 5.15	Grafik nilai <i>Rayleigh Number</i> (Ra) dikolomA .....	50
Gambar 5.16	Grafik nilai <i>Nusselt Number</i> (Nu) dikolom A .....	51
Gambar 5.17	Grafik nilai <i>Rayleigh Number</i> (Ra) dikolom B .....	52
Gambar 5.18	Grafik nilai <i>Nusselt Number</i> (Nu) dikolom B .....	53
Gambar 5.19	Grafik nilai <i>Rayleigh Number</i> (Ra) dikolom C .....	54
Gambar 5.20	Grafik nilai <i>Nusselt Number</i> (Nu) dikolom C .....	55



Gambar 5.21	Grafik nilai <i>Rayleigh Number</i> ( $Ra$ ) dikolom D .....	56
Gambar 5.22	Grafik nilai <i>Nusselt Number</i> ( $Nu$ ) dikolom D .....	55
Gambar 5.23	Grafik nilai koefisien perpindahan panas ( $h$ ) kolom A .....	58
Gambar 5.24	Grafik nilai koefisien perpindahan panas ( $h$ ) kolom B.....	59
Gambar 5.25	Grafik nilai koefisien perpindahan panas ( $h$ ) kolom C.....	60
Gambar 5.26	Grafik nilai koefisien perpindahan panas ( $h$ ) kolom D .....	61





Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR TABEL

NO	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Data Temperatur luar mesin motor.....	6
Tabel 2.2	Pembagian temperatur pada cylinder .....	7
Tabel 2.3	Bilangan Pr pada udara bertekanan atmosfer .....	16
Tabel 4.1	Parameter <i>boundary condition</i> .....	31
Tabel 5.1	Data hasil simulasi porositas 10% .....	35
Tabel 5.2	Data hasil simulasi porositas 15% .....	36
Tabel 5.3	Data hasil simulasi porositas 20% .....	36
Tabel 5.4	Data hasil simulasi porositas 25% .....	37
Tabel 5.5	Data hasil simulasi porositas 30% .....	37
Tabel 5.6	Data hasil simulasi perpindahan panas kolom A.....	42
Tabel 5.7	Data hasil simulasi perpindahan panas kolom B.....	43
Tabel 5.8	Data hasil simulasi perpindahan panas kolom C.....	44
Tabel 5.9	Data hasil simulasi perpindahan panas kolom D.....	45
Tabel 5.10	Data hasil perpindahan panas porositas 10% & 30% .....	46
Tabel 5.11	Data hasil simulasi (Ra) pada kolom A.....	49
Tabel 5.12	Data hasil simulasi (Nu) pada kolom A .....	50
Tabel 5.13	Data hasil simulasi (Ra) pada kolom B .....	51
Tabel 5.14	Data hasil simulasi (Nu) pada kolom B.....	52
Tabel 5.15	Data hasil simulasi (Ra) pada kolom C .....	53
Tabel 5.16	Data hasil simulasi (Nu) pada kolom C.....	54
Tabel 5.17	Data hasil simulasi (Ra) pada kolom D.....	55
Tabel 5.18	Data hasil simulasi (Nu) pada kolom D .....	56
Tabel 5.19	Data hasil simulasi (h) pada kolom A .....	58

Tabel 5.20	Data hasil simulasi (h) pada kolom B.....	59
Tabel 5.21	Data hasil simulasi (h) pada kolom C.....	60
Tabel 5.22	Data hasil simulasi (h) pada kolom D .....	60



## DAFTAR SIMBOL

$T_{\infty}$	= Temperatur sekeliling ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_W$	= Temperatur dinding ( $^{\circ}\text{C}$ )
$K_{eff}$	= Konduktivitas termal efektif
$\Delta t$	= perbedaan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Delta x$	= Tebal Permukaan pada arah x (m)
$A$	= luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )
$A$	= luas penampang melintang ( $m^2$ )
$D$	= diameter pipa (m)
$g$	= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$Gr$	= Bilangan <i>Grashof</i>
$h$	= koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W}/m^2\ ^{\circ}\text{C}$ )
$k$	= konduktivitas termal zat ( $\text{W}/m^{\circ}\text{C}$ )
$k_a$	= konduktivitas termal fluida udara panas ( $\text{W}/m^{\circ}\text{C}$ )
$K_{ef}$	= Konduktivitas termal efektif ( $\text{W}/m^{\circ}\text{C}$ )
$k_p$	= konduktivitas termal partikel <i>porous media</i> ( $\text{W}/m^{\circ}\text{C}$ )
$Nu$	= <i>Nusselt Number</i>
$Pr$	= Bilangan <i>Prandtl</i>
$Q$	= Laju Perpindahan kalor konduksi (Watt)
$Q$	= Laju aliran panas konveksi (Watt)
$Ra$	= <i>Rayleigh Number</i>
$T_1-T_2$	= perbedaan temperatur (C)
$\nu$	= viskositas kinematik ( $m^2/s$ )
$\varepsilon$	= porositas <i>porous media</i>
$\beta$	= volume ekspansi (c)



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

*Engine* pembakaran dalam merupakan *engine* yang sudah cukup tua dan dewasa ini telah banyak energi alternatif yang ditemukan untuk menggeser dari peran *engine* bakar. Akan tetapi hingga saat ini energi yang ditemukan masih belum dapat menggeser kedudukan khususnya pada kendaraan berat, maupun kendaraan ringan. Sistem pendinginan pada *engine* pembakaran dalam, apabila tidak ditangani dengan baik akan menimbulkan sesuatu yang berakibat fatal yaitu terjadinya *over heating* menyebabkan kendaraan tidak dapat beroperasi lagi..

Ilmu pengetahuan dan teknologi terus berinovasi untuk menanggulangi masalah sistem proses pendinginan yang sering timbul akibat panas yang dihasilkan oleh *engine* dan bagaimana meningkatkan fungsi pendinginan *engine*, seperti halnya yang telah dilakukan berbagai peneliti salah satunya yang dilakukan oleh Budiyo, (2006) yang meneliti pengaruh bentuk sirip pada sistem pendingin *engine* kendaraan bermotor. Empat macam bentuk sirip diuji dalam terowongan angin dengan kecepatan aliran udara yang bervariasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sirip segi-empat menghasilkan nilai koefisien perpindahan kalor yang lebih baik. Selanjutnya Samsudin Anis, Dkk, (2009) melakukan studi eksperimen pengaruh alur permukaan sirip pada sistem pendingin *engine* kendaraan bermotor, yang menyebutkan penggunaan bentuk sirip yang alurnya searah dengan aliran fluida akan mempercepat pembuangan kalor ke lingkungan.

Penelitian terus berkembang setelah sirip lalu pendinginan pada sepeda motor juga di kombinasikan menggunakan radiator, seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Sutrisno, at.al, (2007). Melakukan penelitian tentang penambahan sistem pendinginan mula pada radiator dengan saluran bersirip, dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan Jenis saluran bersirip yang paling irit pemakaian bahan bakarnya adalah saluran bersirip dari bahan logam dengan jumlah sirip 5. Penelitian terus berkembang sampai pada Dinaryanto, (2008) meneliti optimasi desain fan pendingin terhadap pendinginan radiator yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk fan terhadap unjuk kerja pendinginan radiator. Terakhir penelitian yang dilakukan oleh Maschudi Ferry Irawan, at al, (2016) studi pengaruh pendinginan oli dengan sistem radiator Pada sepeda motor suzuki shogun 110 cc. Dengan hasil Pendingin oli dengan sistem radiator mampu mendinginkan *engine* lebih baik dibanding pendinginan standar yang menggunakan udara.

Dari uraian sistem pendinginan diatas terdapat sistem pemindahan panas menggunakan *porous media* yang juga cukup efektif seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Siswanto E, Katsurayama H, dan Katoh Y, (2011) meneliti mengenai eksperimen yang difokuskan pada perilaku rambat kondensat yang menembus *layer porous media* dengan pengaruh wettability-nya, kemudian di kembangkan lagi penelitian oleh Eko Siswanto, (2013) dengan menginvestigasi dinamika fluks termal dan konduktivitas termal yang terjadi selama kondensasi dengan cara eksperimen. Penelitian mengenai *heat transfer* pada *porous media* merambah ke simulasi komputer pertama dilakukan oleh Ika risma zenitha dkk (2013) meneliti mengenai analisa pengaruh temperatur udara masuk terhadap distribusi temperatur pada *porous media* menghasilkan semakin meningkatnya temperatur udara masuk, distribusi temperatur pada porous media pada jarak yang sama, semakin tinggi. Dilanjutkan oleh (R.V.Angga, 2013) dimana hasil penelitiannya membuktikan bahwasannya semakin tinggi kecepatan udara yang masuk pada *porous media* akan semakin besar distribusi temperatur pada *porous media*. Penelitian perpindahan panas yang menggunakan nanofluid pada *porous media* juga sudah dilakukan oleh Raed Abed Mahdi dkk (2015), menyimpulkan bahwasannya *porous media* mampu meningkatkan perpindahan panas. Disusul penelitian tentang *porous media* yang dilakukan Y. Wang (2015) secara simulasi tentang *porous media* untuk mengamati pengaruh porositas dari *porous media* yang dialiri campuran antara fluida panas dan fluida dingin. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa porositas sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas yang terjadi dalam *porous media* tersebut, hal itu terbukti dengan semakin kecilnya porositas *porous media* maka fluktuasi temperatur yang terjadi juga semakin turun dan konduktivitas thermal efektifnya meningkat. Penelitian dari Mehrdad Torabi dkk (2016), tentang perpindahan panas konveksi paksa pada porous media menghasilkan semakin rendah porositas maka nilai Re akan meningkat dan menyebabkan peningkatan perpindahan panas dengan menggunakan *porous media* berbentuk lingkaran dengan persegi. Untuk konveksi alami juga telah dilakukan penelitian yang dilakukan oleh Horng Wen Wu dkk (2016) meneliti tentang Perpindahan panas dengan konveksi alami dari cairan viskositas yang bervariasi di dalam media berpori, menghasilkan saat kondisi porositas tinggi meningkatnya nilai Prandtl berbanding lurus dengan nilai Nusselt sehingga menyebabkan nilai aliran yang terjadi juga meningkat.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti akan membahas bagaimana distribusi temperatur pada sistem pendingin (simulasi) dengan menggunakan porous media dengan variasi porositas.



## 1.2 Identifikasi Masalah

Dari hasil uraian diatas dapat ditarik permasalahan bagaimana karakteristik transport kalor panas sistem pendinginan motor bakar dengan sistem pendinginan *porous media* menggunakan *Software FEA (Finite Element Analysis)*.

## 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah dan identifikasi masalah dapat dirumuskan sebuah permasalahan yaitu. Bagaimana pengaruh variasi porositas pada sistem pendingin *Engine* dengan menggunakan *porous media* terhadap distribusi temperatur dan bagaimana perpindahan panas yang terjadi?

## 1.4 Batasan Masalah

Supaya penelitian tidak meluas maka perlu diberikan batasan batasan sebagai berikut;

1. Tidak membahas konstruksi *Engine*
2. Hanya membahas mengenai bentuk *porous media* pada sistem pendingin dan pola perpindahan panas.
3. Perpindahan Panas yang terjadi pada dinding silinder ruang bakar menuju ke *porous media* titik terluar.
4. Temperatur yang digunakan tiap titik diambil dari temperatur *porous media* di FEA
5. Simulasi menggunakan metode numerik dengan bantuan *Software FEA (Finite Element Analysis)*

## 1.5 Tujuan Penelitian

Yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi porositas pada sistem pendingin *Engine* yang menggunakan *porous media* terhadap distribusi temperatur dan perpindahan panas yang terjadi dengan menggunakan simulasi *software* berbasis FEA (*Finite Element Analysis*).

## 1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan mengenai sistem pendinginan *Engine* menggunakan *porous media* sehingga diharapkan dapat meningkatkan efektifitas sistem pendingin.



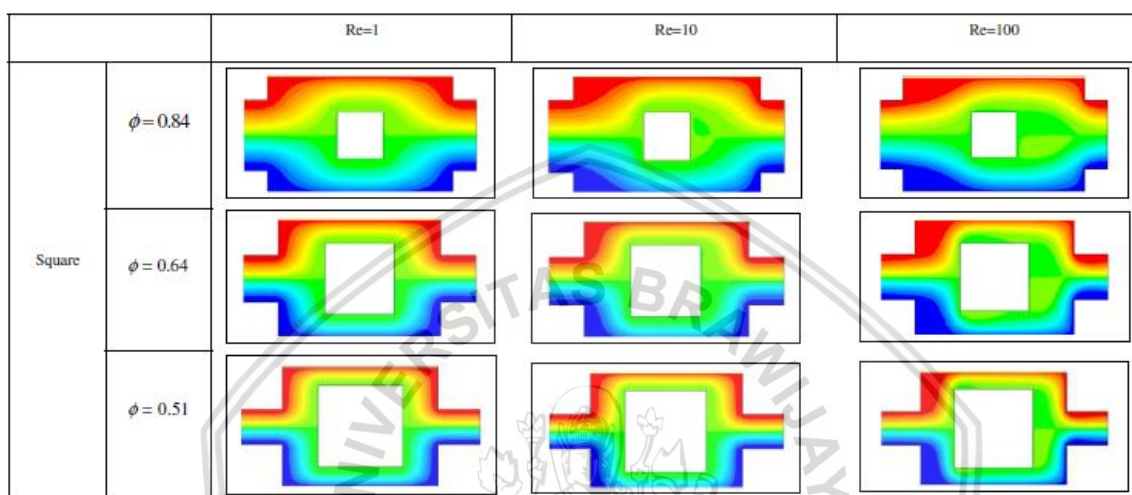
Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian dari Mehrdad Torabi dkk (2016), tentang perpindahan panas konveksi paksa pada poros media menghasilkan semakin rendah porositas maka nilai Re akan meningkat dan menyebabkan peningkatan perpindahan panas seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Hubungan nilai porositas dengan nilai Re

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa semakin kecil nilai dari porositas maka perpindahan panas akan mengalami peningkatan, begitu pula dengan semakin tinggi nilai dari Re maka akan meningkatkan perpindahan panas pada konveksi paksa.

Penelitian tentang *porous media* seperti yang dilakukan Y. Wang (2015) secara simulasi tentang *porous media* untuk mengamati pengaruh porositas dari *porous media* yang dialiri campuran antara fluida panas dan fluida dingin. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa porositas sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas yang terjadi dalam *porous media* tersebut, hal itu terbukti dengan semakin kecilnya porositas *porous media* maka fluktuasi temperatur yang terjadi juga semakin turun dan konduktivitas thermal efektifnya meningkat.

## 2.2 Motor Pembakaran Dalam

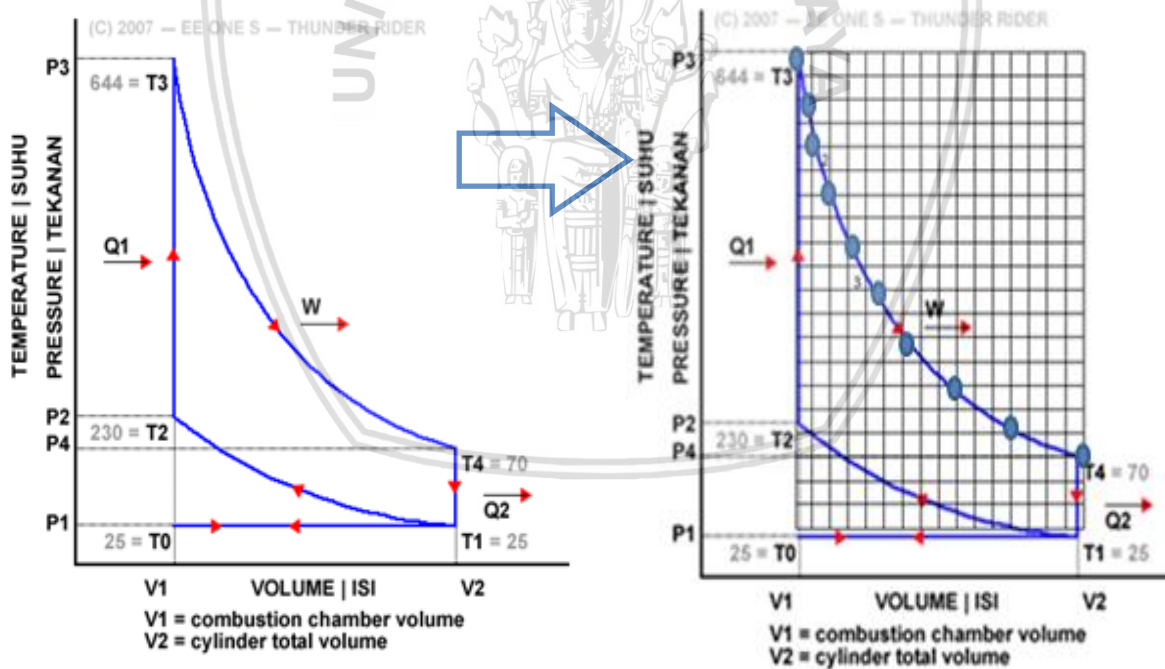
Dari penelitian yang dilakukan oleh Maschudi Ferry irawan, at al, (2016) didapatkan data temperatur luar mesin suzuki ialah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Data temperatur luar mesin motor Suzuki

Rpm	Pendinginan Standar	Pendinginan Radiator	% Pendinginan
1000	58,78	52,67	11,60
1500	76,89	67,56	13,82
2000	80,67	72,22	11,69
2500	84,44	77,00	9,67

Sumber : Maschudi ferry irawan, at al,2016

Sumber lain mencantumkan diagram tekanan, volume dan temperatur ( PVT) untuk motor Suzuki.



Gambar 2.2 : PV-T

Sumber : Suzuki Keterampilan Pelayanan Suzuki Level 3. 2011

Dari gambar diatas menunjukkan jika TMA temperatur yang ada pada ruang bakar mencapai 644 °C dan saat sampai TMB langkah buang menjadi 70 °C.

Dimana untuk membagi titik bawah dengan titik puncak digunakan rumus fungsi.

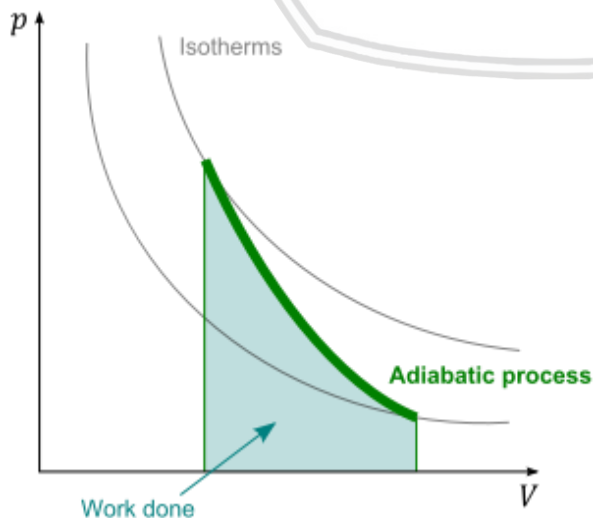
$$\frac{T(y)-Y1}{Y2-Y1} = \frac{X-X1}{X2-X1}$$

Tabel 2.2 Pembagian Temperatur Pada Cylinder

X (Titik)	Y (Temperatur C)
0	70
1	134
2	198
3	262
4	326
5	390
6	454
7	518
8	582
9	646

### 2.2.1 Proses Adiabatik

Proses adiabatik adalah proses termodinamika dimana tidak ada perpindahan panas (Q) ke dalam atau keluar dari sistem. Dengan kata lain  $Q = 0$ . Dalam motor bakar terjadinya proses adiabatik karena terjadinya proses sangat cepat sehingga tidak ada waktu transfer panas yang signifikan untuk mengambil tempat pada sistem ruang bakar.



Gambar 2.3 Gambar Proses Adiabatik

Penurunan rumus pemanasan dan pendinginan adiabatik

Definisi dari proses adiabatik adalah tidak ada perpindahan panas ke dalam sistem, Maka, menurut hukum pertama termodinamika,

$$(1) \quad dU + \delta W = \delta Q = 0, \quad (2-1)$$

Dengan  $dU$  adalah perubahan energi dalam sistem dan  $\delta W$  adalah kerja yang dilakukan oleh sistem. Semua kerja ( $\delta W$ ) yang dilakukan besarnya sama dengan perubahan energi dalam  $U$  karena tidak ada panas  $\delta Q$  yang masuk dari lingkungan. Kerja tekanan-volume  $\delta W$  yang dilakukan oleh sistem didefinisikan.

$$(2) \quad \delta W = P dV. \quad (2-2)$$

Meski begitu,  $P$  tidak konstan pada proses adiabatik, akan tetapi turut berubah seiring dengan perubahan  $V$ . Maka perlu diketahui berapa nilai  $dP$  dan  $dV$  berhubungan satu sama lain.

$$(3) \quad U = \alpha nRT, \quad (2-3)$$

Dengan  $\alpha$  adalah angka derajat kebebasan dibagi 2,  $R$  adalah konstanta gas universal, dan  $n$  adalah jumlah mol pada sistem. Turunkan persamaan (3) dan menggunakan hukum gas ideal,  $PV = nRT$  menghasilkan

$$(4) \quad dU = \alpha nR dT = \alpha d(PV) = \alpha(P dV + V dP). \quad (2-4)$$

## 2.3 Perpindahan Panas

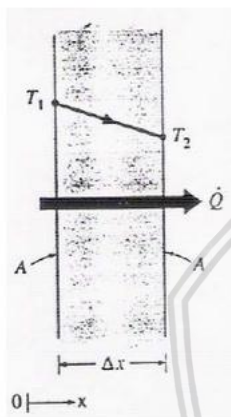
Ilmu perpindahan panas merupakan ilmu yang mempelajari perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena terdapat perbedaan temperatur antara suatu benda atau material. Perpindahan panas juga dapat di artikan bahwa suatu peristiwa yang terjadi perpindahan suatu energi panas (kalor) dari suatu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur, dalam hal ini terdapat tiga mekanisme perpindahan panas yaitu, konduksi, konveksi, radiasi.

### 2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan suatu proses dimana panas (kalor) mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah temperatur yang lebih rendah dalam suatu medium (padat, cair, gas) yang mengakibatkan pertukaran panas (kalor) dan momentum. Untuk perpindahan kalor konduksi yang terjadi pada benda cair dan gas disebabkan karena adanya tumbukan (*collision*) serta *difusi* yang terjadi pada pergerakan molekul yang acak akibat dari kenaikan temperatur, sedangkan perpindahan panas secara



konduksi untuk benda padat diakibatkan karena kisi-kisinya terdapat kombinasi getaran molekul serta perpindahan energi oleh elektron bebas, yang ditunjukkan oleh pergerakan atom dan elektron bebas yang semula bergetar setimbang akan tetapi setelah dipanaskan terjadi getaran yang kian membesar dan menumbuk disekitarnya elektron dan atom. Dengan terjadinya interaksi antara atom dan elektron ini mengakibatkan transfer energi dari atom satu ke atom yang lain, sehingga panas (kalor) akan dirambatkan secara atomik dalam substansi tersebut. Kecepatan dari konduksi panas dalam suatu medium bergantung pada geometri dari medium tersebut, ketebalannya, bahannya dan juga perbedaan temperatur disepanjang medium tersebut.



Gambar 2.4: Perpindahan Panas Melalui dinding  
Sumber: J.P Holman (1995:33)

Besarnya laju perpindahan panas konduksi dari suatu media bergantung pada dimensi media, jenis material, dan selisih perbedaan temperatur yang terjadi. Maka dari itu terdapat rumus dalam buku Holman, J.P. 1993 :

$$Q_{\text{Konduksi}} = -k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2-5)$$

Q = Laju Perpindahan kalor konduksi (W)

k = konduktivitas termal zat (W/m°C)

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

Δt = perbedaan temperatur (°C)

Δx = Tebal Permukaan pada arah x (m)

Untuk nilai konstanta “k” disebut konduktivitas atau penghantar panas benda tersebut, sedangkan tanda minus (-) disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika,

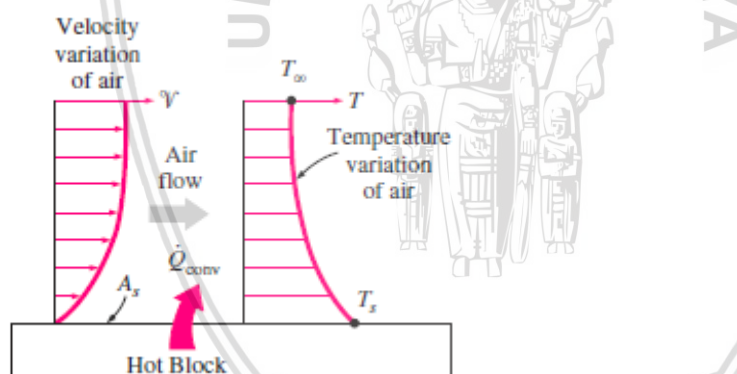


bawhasannya panas (kalor) mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur (J.P Holman , 22).

### 2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan kalor dari satu bagian fluida ke bagian fluida lain oleh pergerakan fluida itu sendiri proses perpindahan panas secara konveksi terdapat beberapa tahapan.

Tahap pertama, energi panas (kalor) akan dialirkan secara konduksi dari permukaan parikel partikel fluida yang bersinggungan, dengan demikian akan menyebabkan kenaikan suhu dan energi yang terkandung dalam partikel partikel fluida tersebut. selanjutnya partikel fluida tersebut akan melakukan getaran hingga menyebabkan pergerakan menuju kedaerah yang memiliki suhu lebih rendah di dalam fluida, sehingga menyebabkan perpindahan sebagian energi terhadap partikel fluida lainnya akhirnya terjadi pencampuran partikel tersebut. Untuk nilai dari perpindahan panas konveksi berbanding lurus dengan kecepatan gerakan fluida.

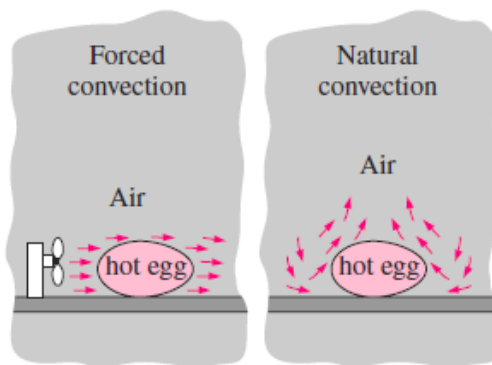


Gambar 2.5 Perpindahan Panas konveksi dari suatu plat  
Sumber: Cengel (2002:26)

Terdapat dua jenis konveksi, yaitu konveksi alamiah dan konveksi paksa.

- Konveksi alamiah / bebas, pergerakan fluida terjadi akibat perbedaan kerapatan atau densitas yang diakibatkan karena perbedaan suhu tanpa adanya bantuan gaya dari luar (blower, kipas).
- Konveksi paksa, ialah pergerakan fluida yang telah dipanasi disebabkan oleh gaya paksa dari luar, misalkan dengan sebuah peniup (blower) atau pompa. Contoh konveksi paksa, antara lain sistem pendingin mobil dan pengering rambut

(hairdryer). Perbedaan konveksi bebas dengan konveksi paksa ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 Perpindahan Panas konveksi bebas dan paksa  
Sumber: Cengel, 2002:26

Laju perpindahan panas secara konveksi dapat di hitung dengan persamaan

$$Q = -hA(T_W - T_\infty) \quad (2-6)$$

$Q$  = Laju aliran panas konveksi (Watt)

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

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

$A$  = luas penampang melintang ( $\text{m}^2$ )

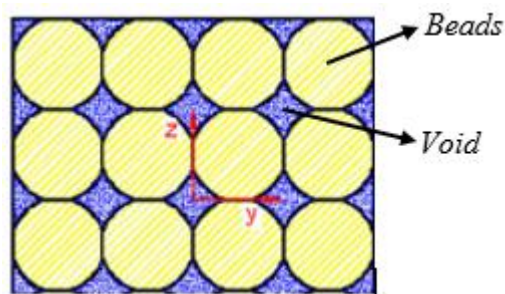
$T_W$  = Temperatur dinding ( $^{\circ}\text{C}$ )

Persamaan (2-2) mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum kedua termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+). Koefisien dari perpindahan panas ( $h$ ) bukanlah suatu sifat fluida, akan tetapi menyatakan besarnya laju perpindahan panas di daerah dekat permukaan itu.

#### 2.4 Porous Media

*Porous Media* dapat disebut juga dengan media berpori, merupakan suatu material berstruktur yang didalamnya terdapat atau mengandung ruang kosong yang disebut pori dan dikelilingi oleh matriks padat atau semi padat. *Porous media* terdiri dari beberapa *matriks solid* atau *beads* yang saling berhubungan dan tersusun secara merata. Oleh sebab itu rongga (*void*) pada *porous media* dapat tersusun secara merata sehingga luas permukaan perpindahan panasnya meningkat. Gambar 2.5 menunjukkan bentuk dari

*porous media*, sedangkan dalam penelitian yang dilakukan secara simulasi nanti diasumsikan seperti bentuk tersebut.



Gambar 2.7 *Porous media*

Sumber: Yongwei Wang (2015,p.682).

Untuk persamaan aliran fluida pada *Porous media*, dimana persamaan kontinuitas adalah generalisasi dari konservasi massa dibanding Kecepatan, aliran massa dalam negatif kecepatan aliran keluar massa = kecepatan akumulasi massa divergensi dari  $\rho \bar{u}$

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon \rho) \cdot \nabla \cdot (\rho \bar{u}) \\
 &= \frac{\partial(\rho \bar{u}_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_z)}{\partial z} \\
 &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r(\rho \bar{u}_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho \bar{u}_\theta) + \frac{\partial(\rho \bar{u}_z)}{\partial z}
 \end{aligned}
 \quad \text{(untuk koordinat silinder)} \quad (2-7)$$

Dimana  $\varepsilon$  = Porositas

$\rho$  = Densitas

$u$  = Kecepatan

## 2.5 Porositas

Porositas merupakan suatu ukuran dari ruang kosong diantara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1. Serta dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan anatara volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh material. Besarnya porositas dapat di hitung dengan persamaan.

$$\varepsilon = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan material}} \times 100\% \quad (2-8)$$

## 2.6 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal atau (K) dapat di sebut juga tetapan kesebandingan merupakan sifat fisik bahan atau material. Persamaan (2-1) merupakan persamaan dasar tentang Konduktivitas termal. Dari rumus dasar yang ada dapat digunakan dalam pengukuran percobaan untuk menentukan Konduktivitas termal berbagai bahan, pada umumnya Konduktivitas termal sangat tergantung pada suhu.

### 2.6.1 Konduktivitas termal efektif

Pada *porous media* yang memiliki pori-pori di dalamnya akan terisi oleh zat lain / fluida lain terdapat beberapa persamaan K efektif / ( $K_{eff}$ ) yang telah dipaparkan oleh (Siswanto Eko, 2014.) yaitu:

$$K_{eff} = [(1 - \varepsilon^{2/3}) + \{\varepsilon^{2/3} / [(1 - \varepsilon^{1/3}) + \varepsilon^{1/3} (kp/ka)]\}] kp \quad (2-9)$$

Dimana :

$K_{eff}$  = Konduktivitas termal efektif

$\varepsilon$  = porositas *porous media*

kp = konduktivitas termal partikel *porous media*

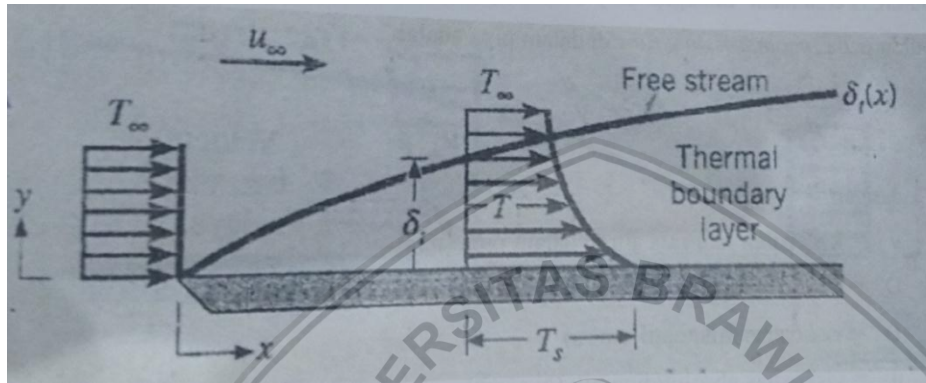
ka = konduktivitas termal fluida udara panas

## 2.7 Gradien Temperatur

Dalam perpindahan panas pada suatu media pasti memiliki temperatur yang berbeda di setiap titiknya. Dengan menggunakan gradien temperatur kita bisa mengetahui temperatur di tiap titik tertentu yang ingin diamati. Untuk penelitian kali ini, gradien temperatur ditunjukkan dengan berbagai warna.

## 2.8 Lapisan Batas Termal

Suatu fluida yang mengalir tidak hanya memiliki kecepatan atau *velocity boundary layer*, akan tetapi fluida yang mengalir memiliki temperatur dan sesuatu yang dialiri juga memiliki temperatur, hal ini akan membentuk suatu yang dinamakan *termal boundary layer*, merupakan daerah dimana terbentuk gradien temperatur dalam suatu aliran, hal ini akibat dari proses bertukarnya kaor antara fluida dan permukaan dinding yang dialiri fluida



Gambar 2.8 Lapisan batas termal  
Sumber : Incropera, Frank P (1996:290)

Pada Temperatur  $T_s$  aliran fluida akan terlihat seragam pada saat fluida memasuki pipa, keseragaman temperatur ini dikarenakan mulai perkembangannya lapis batas. Selama fluida tersebut mengalir tebal lapis batas akan selalu bertambah, akan tetapi jari jari pipa akan membatasi tebal lapis batas. Dan lapisan batas termal merupakan daerah dimana gradien temperatur dalam aliran fluida masih dapat dirasakan. Gradien temperatur terjadi pada proses penukaran panas (kalor) antara fluida dan permukaan dinding bagian dalam.

## 2.9 Grashof Number

Bilangan ini dapat didefinisikan sebagai bilangan tak berdimensi yang merupakan rasio dari daya apung dan viskositas (*bouyancy force*) pada fluida. Bilangan Gr dapat di peroleh dari dengan rumus yang terdapat pada buku (Holman, J.P. 1993).

$$Gr = \frac{g \beta (T_1 - T_2) d^3}{\nu^2} \quad (2-10)$$

Dimana :

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$d$  = diameter pipa (m)

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

$\beta$  = Volume ekspansi koefisien (C)

$T_1 - T_2$  = perbedaan temperatur (C)

### 2.10 Nusselt Number

Perpindahan kalor yang terjadi pada suatu lapisan fluida terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Bilangan Nusselt menyatakan perbandingan antara perpindahan kalor konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida tersebut. Untuk konveksi bebas yang terjadi pada benda silinder dalam buku (Holman, J.P. 1993) maka berlaku rumus :

$$Nu = 0,53 (Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (2-11)$$

Kemudian untuk rumus koefisien perpindahan panas maka berlaku rumus:

$$h = Nu \frac{K_{eff}}{D} \quad (2-12)$$

dimana :

$Nu$  = Nusselt Number

$Pr$  = Bilangan Prandtl

$Gr$  = Bilangan Grashof

$h$  = Koefisien perpindahan panas

$K_{eff}$  = Konduktivitas termal efektif

$D$  = Diametir

### 2.11 Rayleigh Number

Bilangan Rayleigh didefinisikan sebagai produk dari angka Grashof, yang menggambarkan hubungan antara daya apung dan viskositas, dan bilangan Prandtl, yang menggambarkan hubungan antara viskositas dan difusivitas termal. Oleh karena itu, nomor Rayleigh sendiri juga dapat dipandang sebagai perbandingan kekuatan apung dan (produk) difusi termal dan momentum.



Adapun rumusnya ialah:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (2-13)$$

Dimana

$Ra$  = *Rayleigh Number*

$Pr$  = *Bilangan Prandtl*

$Gr$  = *Bilangan Grashof*

### 2.12 Bilangan Prandtl

Bilangan ini tidak memiliki satuan dan menyatakan perbandingan antara viskositas kinematik terhadap difusifitas termal. Nilai dari persamaan bilangan *Prandtl* untuk udara pada tekanan atmosfer ialah :

Tabel 2.2 Bilangan Pr Pada Udara Bertekanan Atmosfer

Suhu	Nilai Pr
100	0,770
150	0,753
200	0,739
250	0,722
300	0,708
350	0,697
400	0,689
450	0,683
500	0,680
550	0,680
600	0,680
650	0,682

Sumber: J.P Holman (1995:589)

### 2.13 Software FEA (*Finite Element Analysis*)

*Software* FEA merupakan *software* berbasis elemen hingga yang memiliki kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan sangat halus, dan mampu bekerja dengan elemen lebih banyak serta menghasilkan *output* dengan ketelitian tinggi. *Software* FEA dapat digunakan untuk berbagai analisis antara lain:., analisis thermal, analisis struktural, analisis fluida dan sebagainya



Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan *software* FEA, diantaranya:

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

Pemodelan pada *software* FEA mempunyai beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya:

1. Proses Awal (*Preprocessing*)
2. Proses Solusi (*Solution*)
3. Proses Pembacaan Hasil (*General Post Processing*):
  - a. *Plot Result*, hasil model ditunjukkan dengan sebaran warna yang meninjau besarnya variabel yang terjadi
  - b. *List Result*, hasil analisis berbentuk tabel yang memberikan informasi secara detail variabel yang terjadi tiap node.
  - c. Animasi, hasil analisis ditambahkan dalam bentuk simulasi

Rumusan yang digunakan dalam simulasi didapatkan dari perhitungan massa *porous media*

dimana :

$$\rho = \rho_0 \alpha_{\infty} \left[ 1 + \frac{\sigma \phi}{j \omega \rho_0 \alpha_{\infty}} \left( 1 + \frac{j 4 \alpha_{\infty}^2 \eta \omega \rho_0}{\phi^2 \Lambda^2 \sigma^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2-14)$$

Keterangan:

$\rho_0$  = density of fluid

$\sigma$  = fluid resistivity

$\phi$  = porosity

$\alpha_{\infty}$  = tortuosity

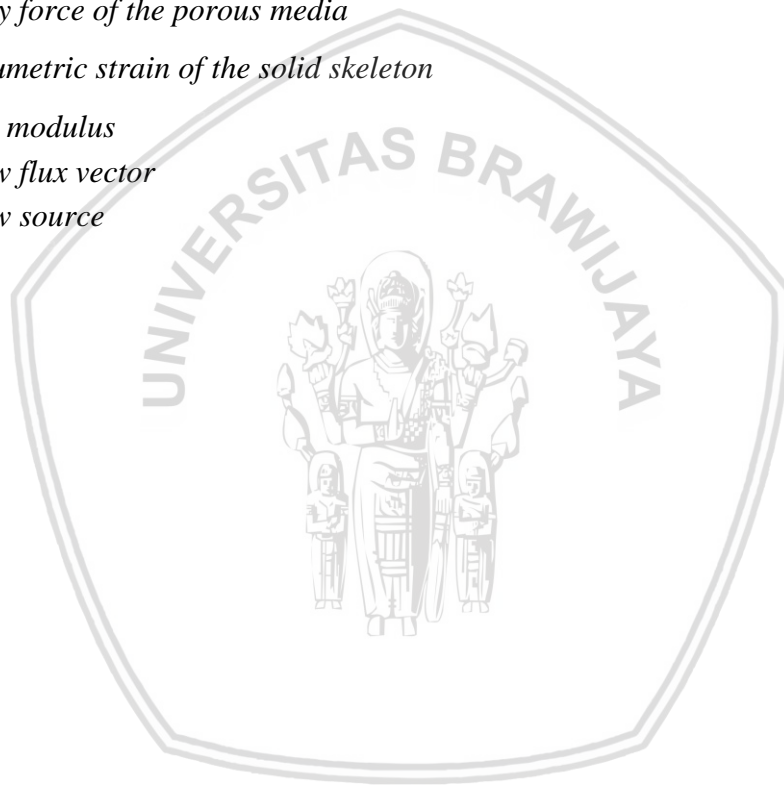
$\Lambda$  = viscous characteristic length

$\eta$  = dynamic viscosity

Kemudian untuk aliran dalam porous media menggunakan

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \sigma + f = 0 \quad \text{or} \quad \nabla \cdot (\sigma' - \alpha p \mathbf{I}) + f = 0 \\ \alpha \dot{\varepsilon}_v + \frac{1}{K_m} \dot{p} + \nabla \cdot \mathbf{q} = s \end{array} \right. \quad (2-15)$$

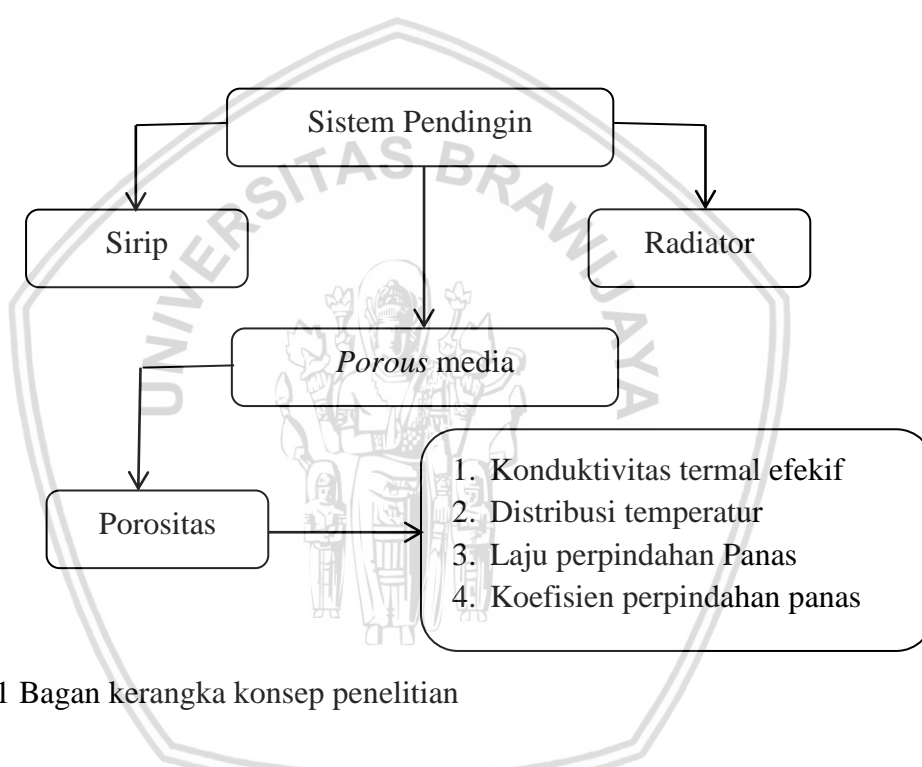
- $\sigma$  = Total Cauchy stress  
 $\dot{\phantom{x}}$  = Rate change operator (if used above a term)  
 $\nabla \cdot$  = Divergence operator of a vector or second order tensor  
 $\sigma'$  = Biot effective stress tensor  
 $\alpha$  = Biot coefficient  
 $p$  = Pore pressure (positive sign for hydrostatic pressure)  
 $\mathbf{I}$  = Second-order identity tensor  
 $f$  = Body force of the porous media  
 $\varepsilon_v$  = Volumetric strain of the solid skeleton  
 $K_m$  = Biot modulus  
 $\mathbf{q}$  = Flow flux vector  
 $s$  = Flow source



## BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Fikir

Perpindahan panas pada sistem pendingin *engine* motor bakar sekarang yang digunakan ialah sirip dan radiator, untuk sirip mudah sekali perawatannya akan tetapi tidak cukup besar untuk transfer panas pada suhu tinggi, sedangkan untuk radiator dapat cukup besar dalam transfer panas akan tetapi perlu perawatan yang khusus dalam menjaga kondisi radiator agar tetap dapat digunakan.



Gambar 3.1 Bagan kerangka konsep penelitian

Terdapat alternatif lain untuk transfer panas yaitu dengan menggunakan media berpori atau *porous media*, yang mampu mentransfer panas dengan baik dan perawatan yang tidak seperti radiator. Transfer panas dengan menggunakan *Porous media* sangat terpengaruh oleh porositasnya. Seperti halnya Penelitian dari Mehrdad Torabi dkk (2016), tentang perpindahan panas konveksi paksa pada porous media menghasilkan semakin rendah porositas, menyebabkan peningkatan perpindahan panas.

Nilai Konduktivitas termal pada *Porous media* selalu berubah tergantung porositasnya, dimana semakin tinggi porositas maka nilai konduktivitas termal efektifnya rendah, hal ini seperti penelitian yang dilakukan Y. Wang (2015) secara simulasi tentang *porous media* untuk mengamati pengaruh porositas dari *porous media* yang dialiri

campuran antara fluida panas dan fluida dingin. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa porositas sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas yang terjadi dalam *porous media* tersebut, hal itu terbukti dengan semakin kecilnya porositas *porous media* maka fluktuasi temperatur yang terjadi juga semakin turun dan konduktivitas thermal efektifnya meningkat.

Selanjutnya untuk aliran panas yang terjadi pada *porous media* juga tergantung pada porositanya, dimana semakin tinggi porositas maka semakin tinggi pula aliran perpindahan panasnya. Seperti halnya yang dilakukan oleh Horng Wen Wu dkk (2016) meneliti tentang Perpindahan panas dengan konveksi alami dari cairan viskositas yang bervariasi di dalam media berpori, menghasilkan saat kondisi porositas tinggi meningkatnya nilai Prandtl berbanding lurus dengan nilai Nusselt sehingga menyebabkan nilai aliran yang terjadi juga meningkat,.

Ika risma zenitha dkk (2015) meneliti mengenai analisa pengaruh temperatur udara masuk terhadap distribusi temperatur pada *porous media*. menghasilkan semakin meningkatnya temperatur udara masuk, distribusi temperatur pada porous media pada jarak yang sama, semakin tinggi.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan maka peneliti akan membahas bagaimana distribusi temperatur pada sistem pendingin dengan menggunakan *porous media*.

### 3.2 Hipotesis,

Hipotesis yang dapat diambil dari keterangan kerangka konsep di atas bahwa semakin besar persentase porositas, maka distribusi temperatur pada *porous media* meningkat dan semakin lambat untuk laju perpindahan panasnya.

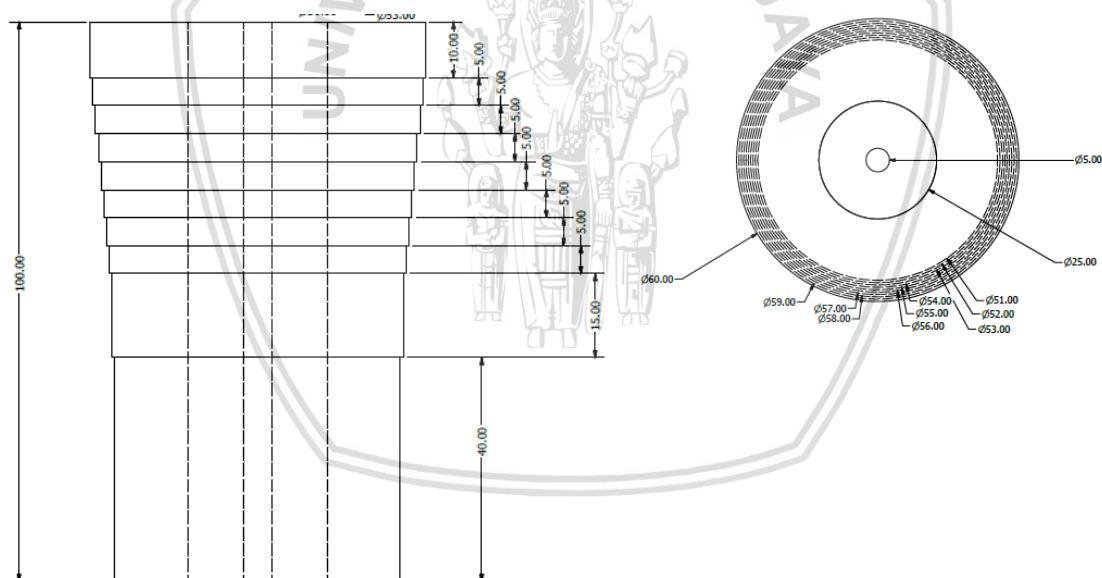
## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Metode Penelitian

Penelitian kali ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan *software* berbasis FEA (*Finite Element Analysis*), akhirnya akan didapatkan distribusi temperatur di sistem pendinginan dari variasi porositas. Selain itu juga dilakukan studi literatur untuk memperoleh informasi tambahan mengenai masalah perpindahan panas secara konduksi.

### 4.2 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini akan melakukan simulasi tentang pengaruh penggunaan *porous media* dalam sistem pendingin untuk *engine*. Adapun desain simulasi *porous media* yang digunakan ialah:

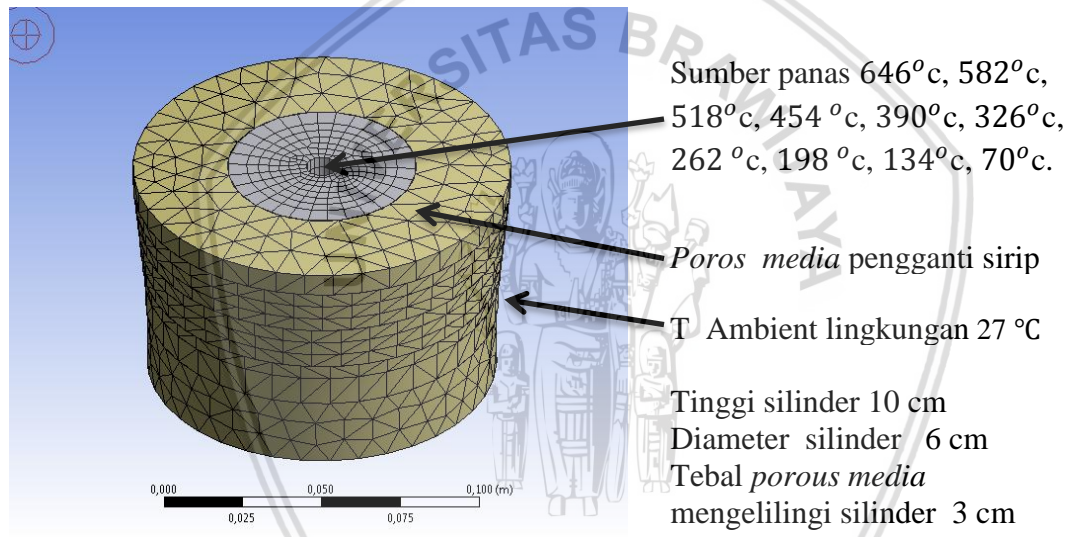


Gambar 4.1 Desain *Engine* Pendingin *Porous Media*

Keterangan :

- Tinggi silinder : 10 cm
- diameter silinder : 6 cm
- Tebal *porous media* Y10 mengelilingi silinder : 3 cm
- Tebal *porous media* Y9 mengelilingi silinder : 2,95 cm

- Tebal *porous media* Y8 mengelilingi silinder : 2,9 cm
- Tebal *porous media* Y7 mengelilingi silinder : 2,85 cm
- Tebal *porous media* Y6 mengelilingi silinder : 2,8 cm
- Tebal *porous media* Y5 mengelilingi silinder : 2,75 cm
- Tebal *porous media* Y4 mengelilingi silinder : 2,7 cm
- Tebal *porous media* Y3 mengelilingi silinder : 2,65 cm
- Tebal *porous media* Y2 mengelilingi silinder : 2,6 cm
- Tebal *porous media* Y1 mengelilingi silinder : 2,55 cm
- Bahan *porous media* : Aluminium
- Porositas *porous media* : 10 %, 15 %, 20%, 25%, 30%



Gambar 4.2 Desain *Engine Pendingin Porous media*  
Sumber : *Software FEA (Finite Element Analysis)*



### 4.3 Variabel Penelitian

#### 4.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas ialah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan besarnya tidak dipengaruhi yang lainnya. Variabel bebas dari penelitian ini ialah porositas *porous media* 10 %, 15 %, 20%, 25%, 30%.

#### 4.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat ialah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan diatas variabel yang digunakan disini ialah gradien temperatur dan perpindahan panas pada *porous media*.

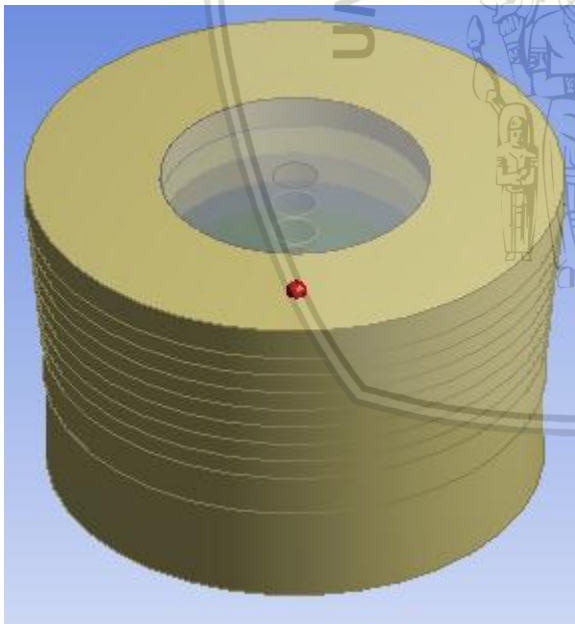
#### 4.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan (Murdalis, 2006.20) adapun dalam penelitian ini variabel terkontrolnya ialah:

---

#### Pembagian Ketinggian Temperatur

---



Tebal <i>porous media</i> Y10	bertemperatur 646 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y9	bertemperatur 582 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y8	bertemperatur 518 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y7	bertemperatur 454 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y6	bertemperatur 390 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y5	bertemperatur 326 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y4	bertemperatur 262 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y3	bertemperatur 198 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y2	bertemperatur 134 <sup>o</sup> c
Tebal <i>porous media</i> Y1	bertemperatur 70 <sup>o</sup> c

---

Gambar 4.3 Desain Pembagian Temperatur Pendingin *Porous media*

Sumber : Software FEA (*Finite Element Analysis*)



#### 4.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan spesifikasi komputer yang digunakan:

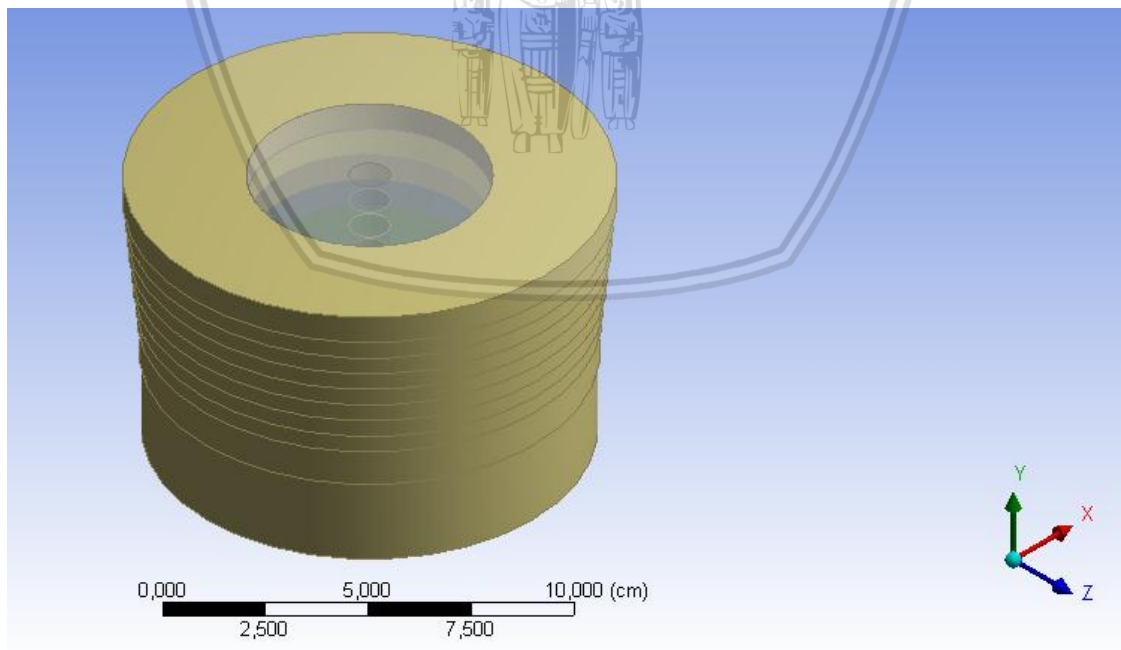
- RAM : 4096 MB
- Operating system : Windows 7 Ultimate 32-bit(6.1, Build 7600)
- Processor : Intel (R) Core (TM) i5-2410M CPU @2.30 GHz  
(4CPUs), ~2.3GHz
- Total Memory : 12,9 GB

Sedangkan waktu penelitian adalah bulan Mei 2017 sampai september 2017

#### 4.5 Prosedur Penelitian

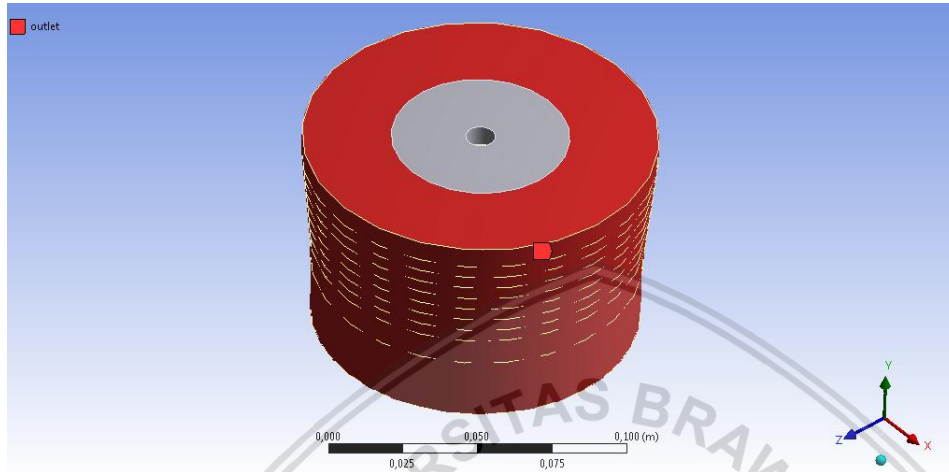
Dalam penelitian ini dilakukan analisa mengenai pengaruh variasi model *porous media* terhadap sistem pendinginan *engine* sepeda motor. Adapun langkah-langkah penelitian ialah sebagai berikut:

1. Memodelkan *engine porous media* pengganti sirip dengan ukuran tepat sama dengan sirip yang dijadikan acuan penelitian, yaitu menentukan material dan batas batas kondisi yang perlu diberi.

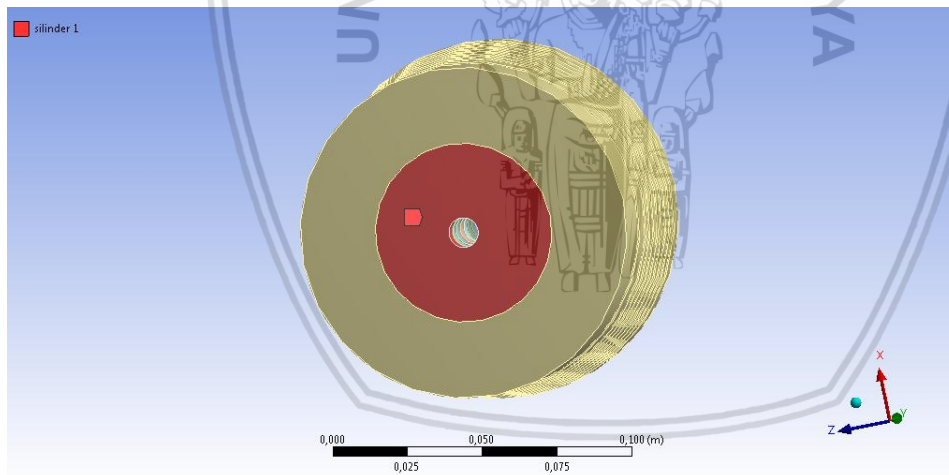


Gambar 4.4 Geometri *Porous Media*

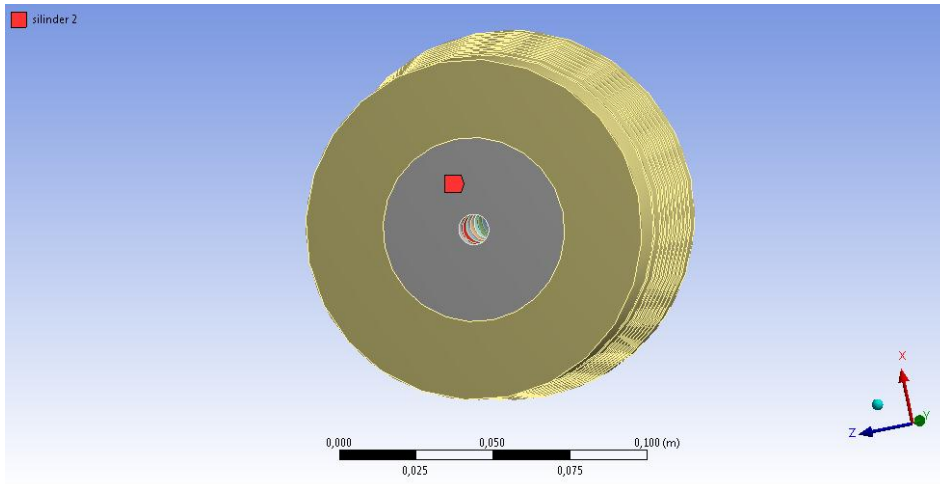
2. *Meshing*, yaitu proses membagi geometri menjadi elemen-elemen yang nantinya akan menghasilkan node-node yang digunakan dalam perhitungan komputasi secara elemen hingga. Disini semakin kecil elemen yang dibentuk maka akan semakin besar pula persamaan yang harus diselesaikan oleh sistem komputasi sehingga beban komputer akan semakin besar akan tetapi hasil yang diperoleh semakin akurat.



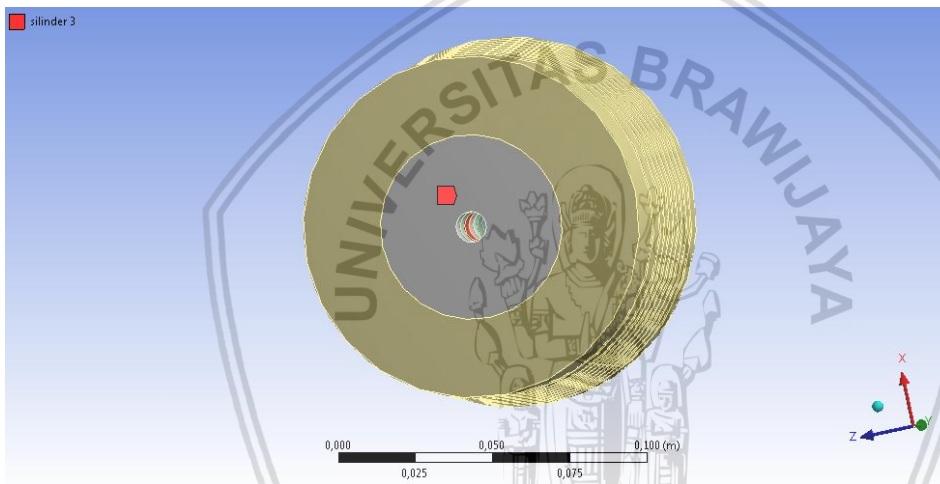
Gambar 4.5 Outlet



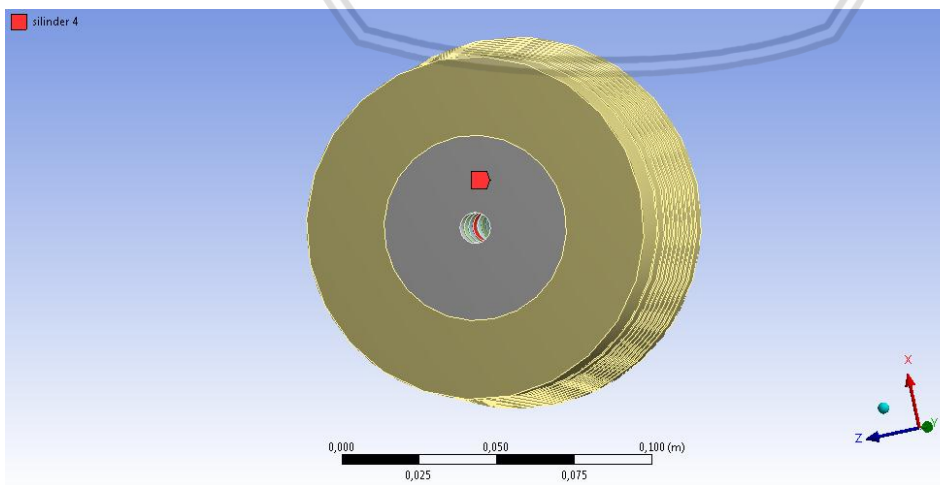
Gambar 4.6 Silinder 1 dan inlet 1



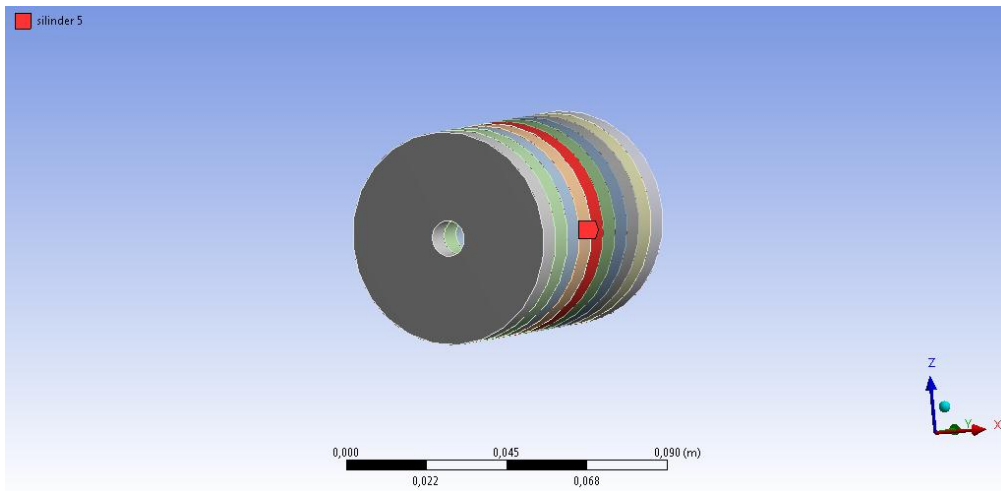
Gambar 4.7 Silinder 2 dan inlet 2



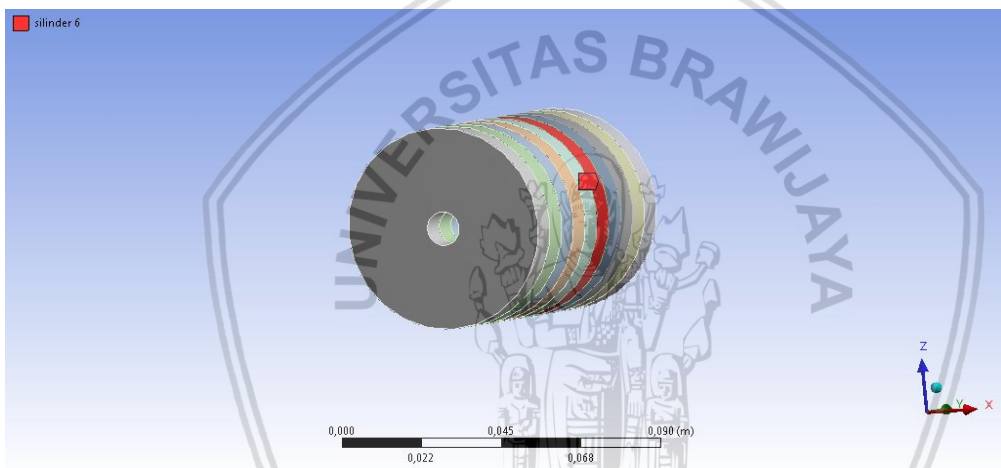
Gambar 4.8 Silinder 3 dan inlet 3



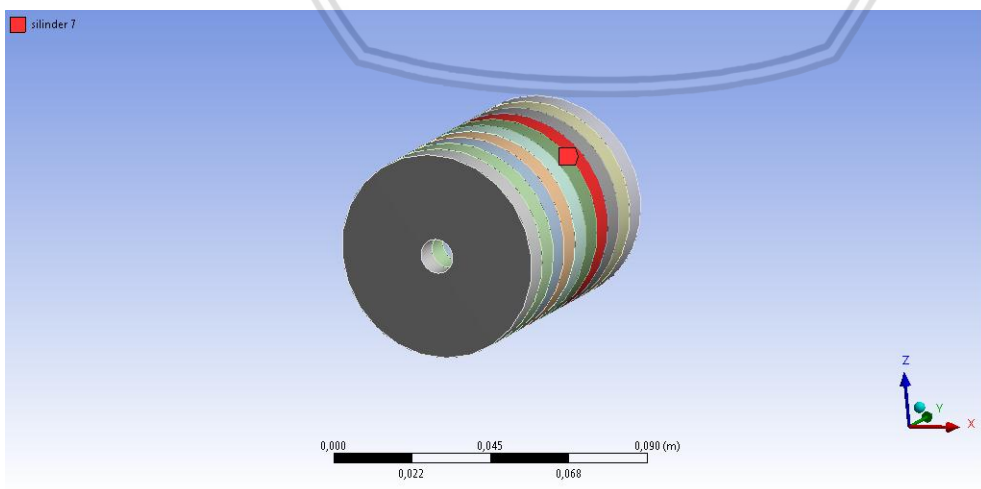
Gambar 4.9 Silinder 4 dan inlet 4



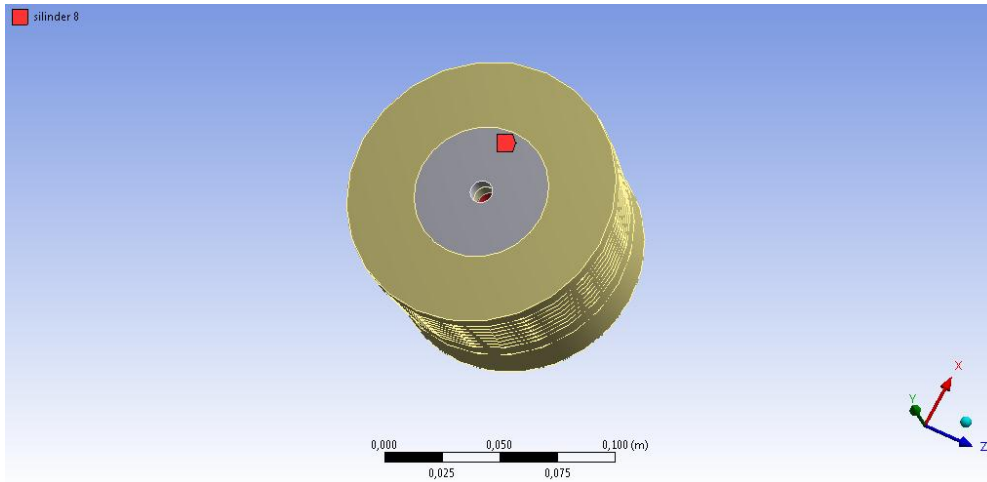
Gambar 4.10 Silinder 5 dan inlet 5



Gambar 4.11 Silinder 6 dan inlet 6



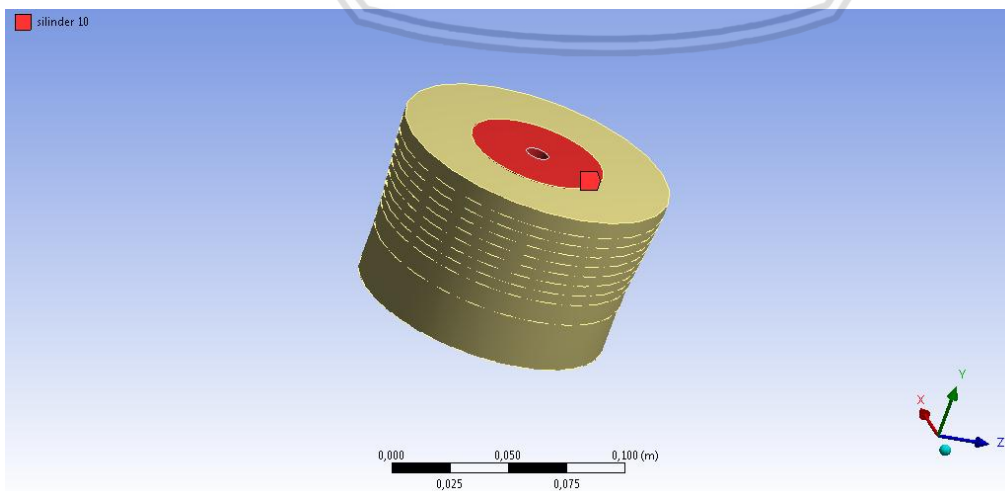
Gambar 4.12 Silinder 7 dan inlet 7



Gambar 4.13 Silinder 8 dan inlet 8

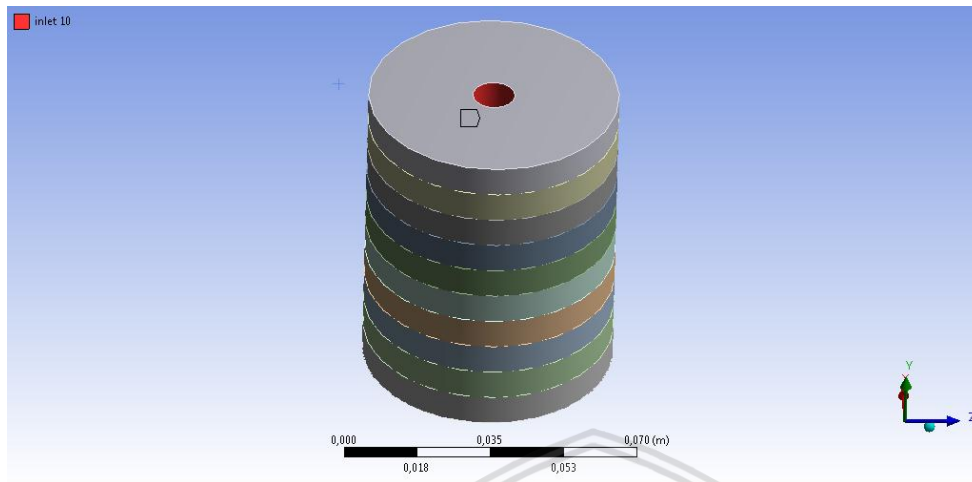


Gambar 4.13 Silinder 9 dan inlet 9



Gambar 4.14 Silinder 10 dan inlet 10

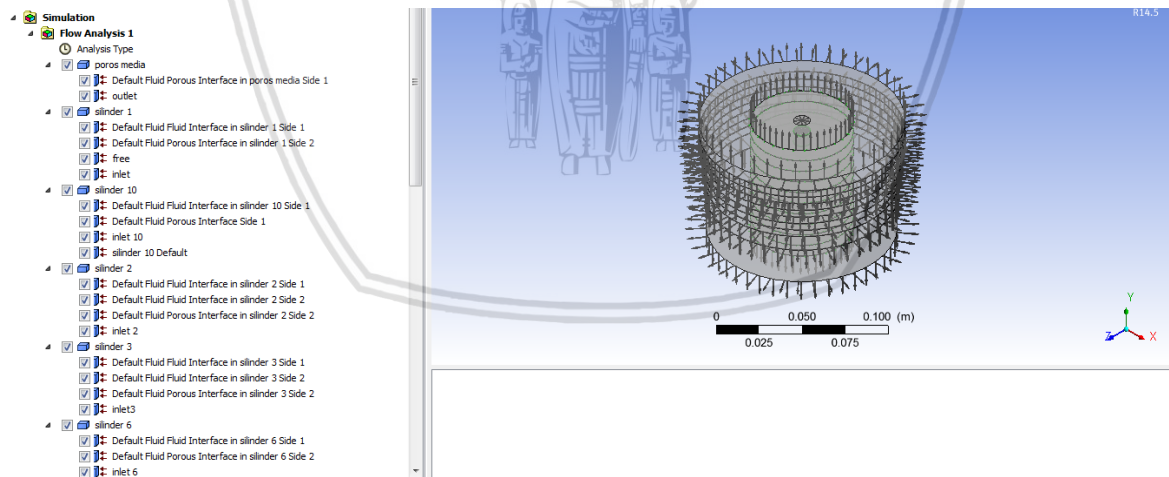
- Memberikan temperatur pada ruang silinder piston yang dibagi menjadi 10 bagian.



Gambar 4.15 Inlet 10

Mulai dari inlet 1 sampai inlet 10 diberikan temperatur yang telah ditentukan pada variabel terkontrol diatas.

- Setup boundary conditions*, yaitu menentukan kondisi batas pada *porous media* seperti jenis material, jenis fluida, kecepatan, temperatur *inlet*, temperatur dinding lingkungan, porositas.



Gambar 4.16 *Set up boundary conditions*

- Solution*, yaitu mendefinisikan jenis hasil yang akan ditampilkan yang mengacu pada kondisi batas sebelumnya.

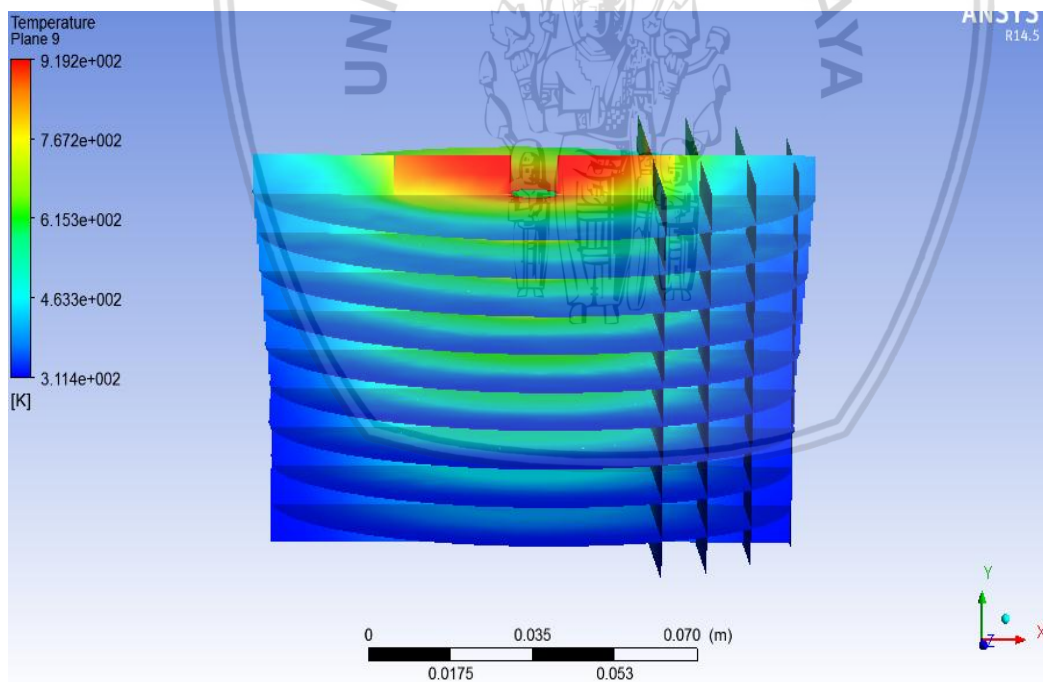


6. *General post processing*, yaitu menganalisis hasil yang telah dilakukan dengan menampilkan distribusi temperatur atau variabel lainnya pada model *porous media* dengan bentuk *contour plot*.

#### 4.6 Data Hasil Penelitian Yang Akan Diperoleh

1. Grafik hubungan jarak dengan temperatur pada *porous media* porositas 10 %, 15 %, 20%, 25%, 30%.
2. Grafik Hubungan jarak dengan Laju Perpindahan Panas pada *Porous Media* porositas 10 %, 15 %, 20%, 25%, 30%.
3. Grafik Hubungan nilai *Rayleigh Number* (Ra) dengan *Nusselt Number* (Nu) pada *Porous Media* porositas 10 %, 15 %, 20%, 25%, 30%.
4. Grafik Hubungan jarak dengan koefisien perpindahan panas ( $h$ ) pada *Porous Media* porositas 10 %, 15 %, 20%, 25%, 30%.

#### 4.7 Prosedur Pengambilan Data



Gambar 4.17 Pembagian tiap titik temperatur *porous media*

dari gambar 3.17, untuk sumbu Y peneliti membagi menjadi 10 baris inlet (baris 1- baris 10) temperatur dimana distribusi temperatur ke outlet (sumbu x). Di setiap titik inlet yang keluar ke outlite terdapat 4 kolom pantau distribusi temperatur. Sehingga



diharapkan distribusi temperatur yang terjadi dari baris inlet 1 sampai baris inlet 10 dengan melewati *porous media* menuju outlet dapat terpantau secara maksimal dengan 4 kolom titik pantau disetiap baris inlet.

Silinder	Kolom A	Kolom B	Kolom C	Kolom D
Silinder Y10	Y10,a	Y10,b	Y10,c	Y10,d
Silinder Y9	Y9,a	Y9,b	Y9,c	Y9,d
Silinder Y8	Y8,a	Y8,b	Y8,c	Y8,d
Silinder Y7	Y7,a	Y7,b	Y7,c	Y7,d
Silinder Y6	Y6,a	Y6,b	Y6,c	Y6,d
Silinder Y5	Y5,a	Y5,b	Y5,c	
Silinder Y4	Y4,a	Y4,b	Y4,c	
Silinder Y3	Y3,a	Y3,b	Y3,c	
Silinder Y2	Y2,a	Y2,b	Y2,c	
Silinder Y1	Y1,a	Y1,b	Y1,c	

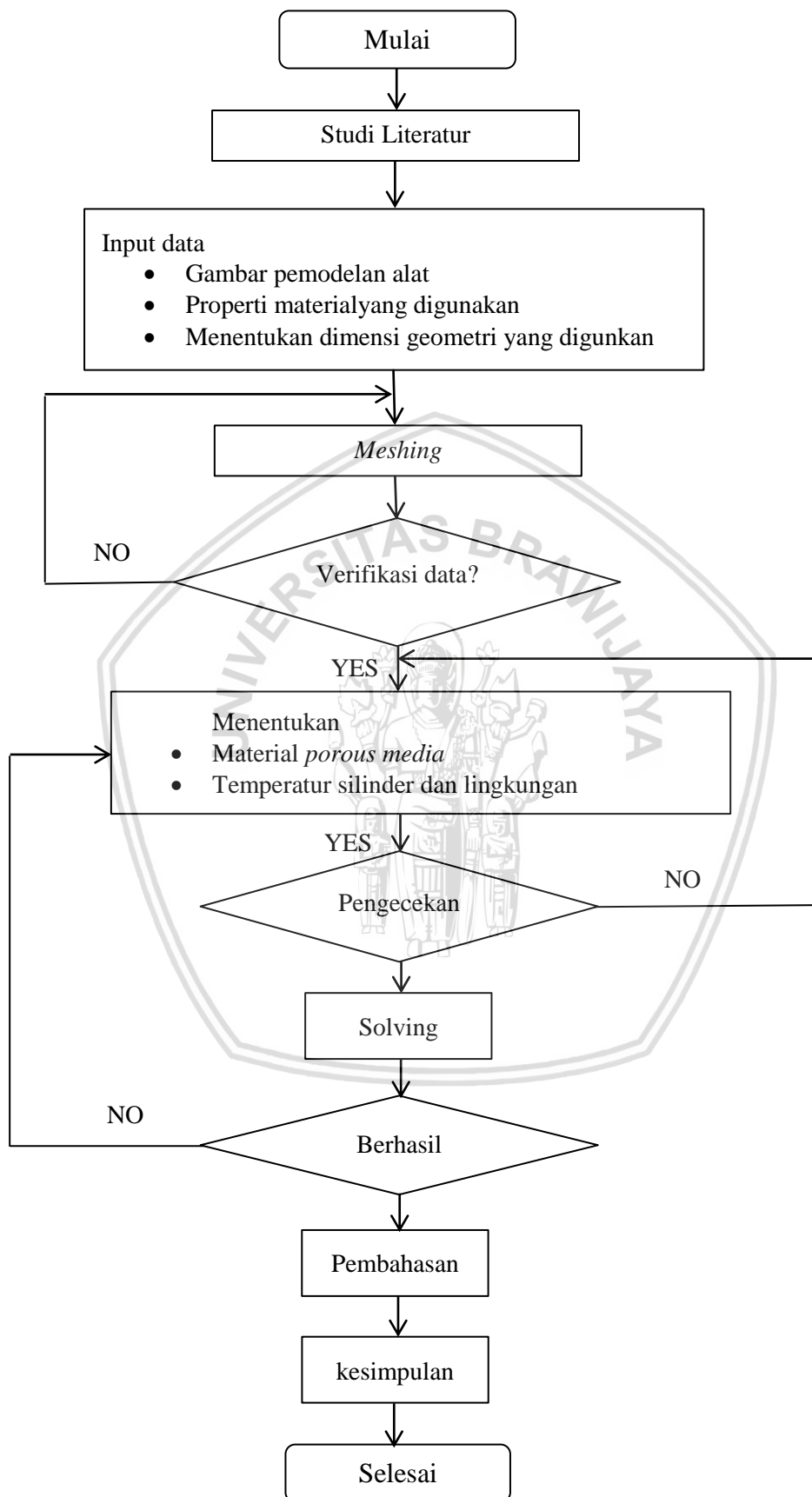
Gambar 4.18 Penamaan tiap titik temperatur *porous media*

#### 4.8 Boundary Condition dan Parameter Yang dimasukkan

Tabel 4.1 Parameter *Boundary Condition*

Parameter	Keterangan
Temperatur lingkungan	27 °C
Poros media	Poros Domain
Konvergen criteria	$1 \times 10^{-4}$
Porositas	10%, 15%, 20%, 25%, 30%
Analysis Tipe	Stady State
Heat Transfer	Termal Energi
Temperatur Masukkan tiap silinder	646 °c, 582 °c, 518 °c, 454 °c, 390 °c, 326 °c, 262 °c, 198 °c, 134 °c, 70 °c.
Tipe Fluida	Gas Ideal

#### 4.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.19 Diagram Alir Penelitian

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

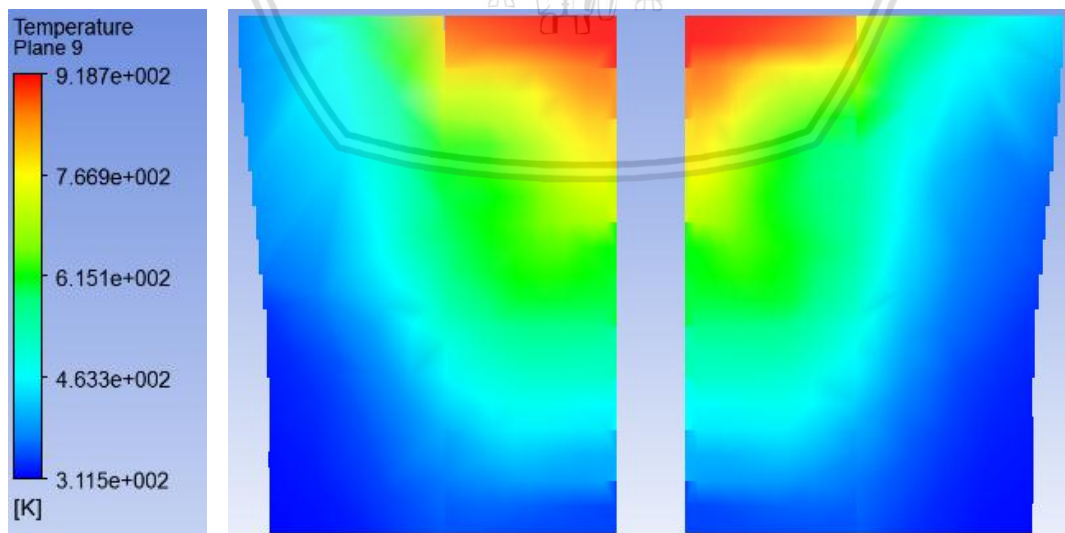
### 5.1 Hasil Penelitian

Hasil data yang telah didapatkan dari hasil penelitian secara simulasi akan paparkan berupa gradien temperatur dan tabel nilai distribusi temperatur pada pendingin *porous media*.

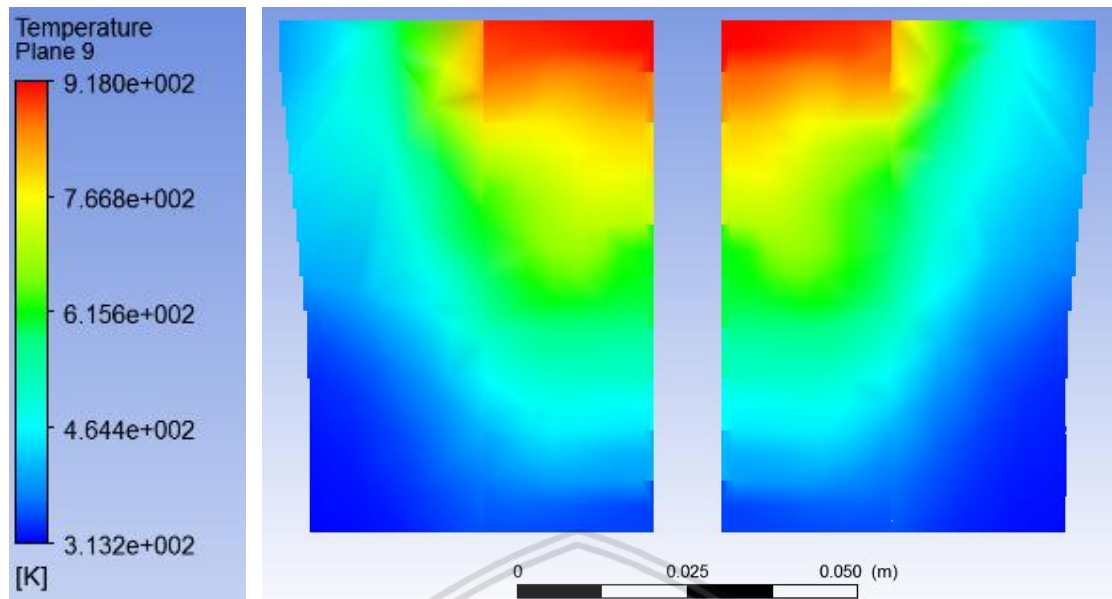
#### 5.1.1 Gradien Temperatur Pendingin *Porous Media*



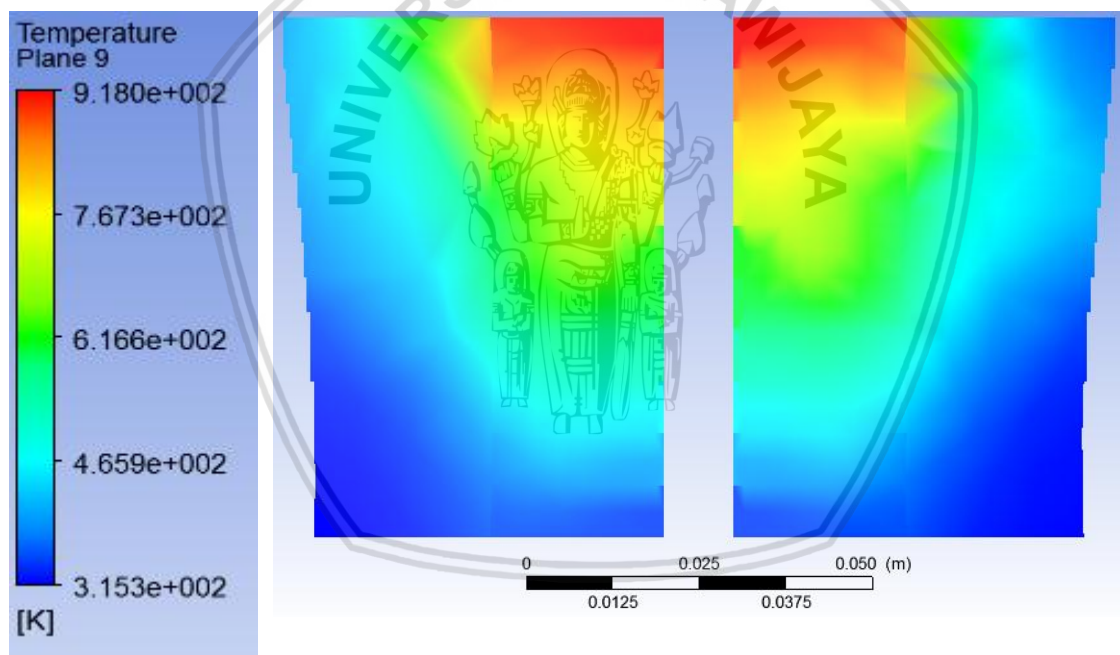
Gambar 5.1 Gradien temperatur *porous media* porositas 10%



Gambar 5.2 Gradien temperatur *porous media* porositas 15%

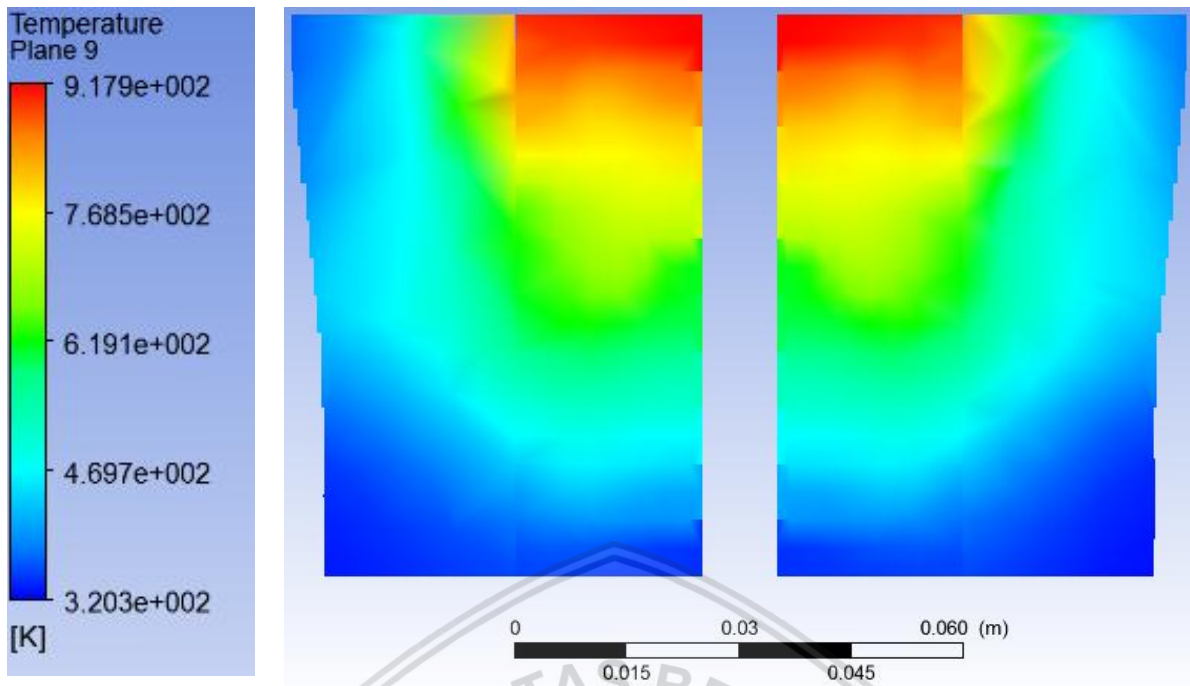


Gambar 5.3 Gradien temperatur *porous media* porositas 20 %



Gambar 5.4 Gradien temperatur *porous media* porositas 25 %





Gambar 5.5 Gradien temperatur *porous media* porositas 30 %

### 5.1.2 Nilai Distribusi Temperatur Pendingin *Porous Media*

Dibawah ini merupakan nilai gradien temperatur pada titik yang telah ditentukan di *porous media* dalam bentuk tabel.

Tabel 5.1  
Data Hasil Simulasi Porositas 10%

<i>Porous media</i>	Temperatur (C)				
	Suhu dalam	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y 10	646	339,40	196,24	139,98	106,11
Baris Y 9	582	239,70	147,11	119,81	82,11
Baris Y 8	518	163,40	117,00	87,90	75,54
Baris Y 7	454	146,47	98,07	77,06	66,01
Baris Y 6	390	147,30	87,77	76,55	58,40
Baris Y 5	326	138,93	88,84	68,94	54,69
Baris Y 4	262	127,77	81,78	51,14	
Baris Y 3	198	133,70	60,30	50,38	
Baris Y 2	134	104,44	54,80	47,90	
Baris Y 1	70	68,50	42,53	46,33	

Tabel 5.2  
Data Hasil Simulasi Porositas 15%

<i>Porous media</i>	Temperatur (C)				
	Suhu dalam	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y 10	646	347,01	237,12	147,01	108,01
Baris Y 9	582	248,85	147,31	103,50	85,00
Baris Y 8	518	164,05	126,93	95,23	76,90
Baris Y 7	454	147,94	107,98	85,77	67,04
Baris Y 6	390	148,80	89,06	76,14	60,36
Baris Y 5	326	148,60	92,90	72,45	56,39
Baris Y 4	262	132,48	80,12	53,76	
Baris Y 3	198	95,64	63,08	50,79	
Baris Y 2	134	82,54	54,77	49,57	
Baris Y 1	70	71,97	46,77	47,78	

Tabel 5.3  
Data Hasil Simulasi Porositas 20 %

<i>Porous media</i>	Temperatur (C)				
	Suhu dalam	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y 10	646	479,33	348,17	171,37	121,35
Baris Y 9	582	419,89	292,56	189,56	128,11
Baris Y 8	518	316,18	226,90	169,77	138,24
Baris Y 7	454	276,96	212,76	147,54	121,38
Baris Y 6	390	259,02	179,12	129,32	111,28
Baris Y 5	326	217,23	137,42	105,82	82,37
Baris Y 4	262	175,43	112,13	67,39	
Baris Y 3	198	126,34	87,54	54,29	
Baris Y 2	134	98,54	71,98	47,27	
Baris Y 1	70	84,29	57,88	43,65	

Tabel 5.4  
Data Hasil Simulasi Porositas 25 %

<i>Porous media</i>	Temperatur (C)				
	Suhu dalam	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y 10	646	617,54	310,47	140,366	95,076
Baris Y 9	582	578,373	305,539	163,948	109,504
Baris Y 8	518	441,592	266,379	168,012	133,739
Baris Y 7	454	339,42	228,504	172,86	141,377
Baris Y 6	390	320,856	200,961	147,736	121,716
Baris Y 5	326	298,437	161,232	110,177	88,865
Baris Y 4	262	234,85	135,487	79,666	
Baris Y 3	198	169,234	95,418	61,336	
Baris Y 2	134	111,961	75,07	51,902	
Baris Y 1	70	85,038	59,392	47,949	

Tabel 5.5  
Data Hasil Simulasi Porositas 30 %

<i>Porous media</i>	Temperatur (C)				
	Suhu dalam	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y 10	646	619,00	400,40	177,21	120,44
Baris Y 9	582	578,30	370,80	189,61	131,15
Baris Y 8	518	522,20	300,40	184,01	138,12
Baris Y 7	454	387,30	258,40	186,77	153,10
Baris Y 6	390	362,60	254,40	187,76	161,97
Baris Y 5	326	337,70	232,57	165,82	149,40
Baris Y 4	262	270,40	191,40	124,44	
Baris Y 3	198	210,40	136,27	93,66	
Baris Y 2	134	134,76	96,57	70,77	
Baris Y 1	70	82,67	78,02	60,45	

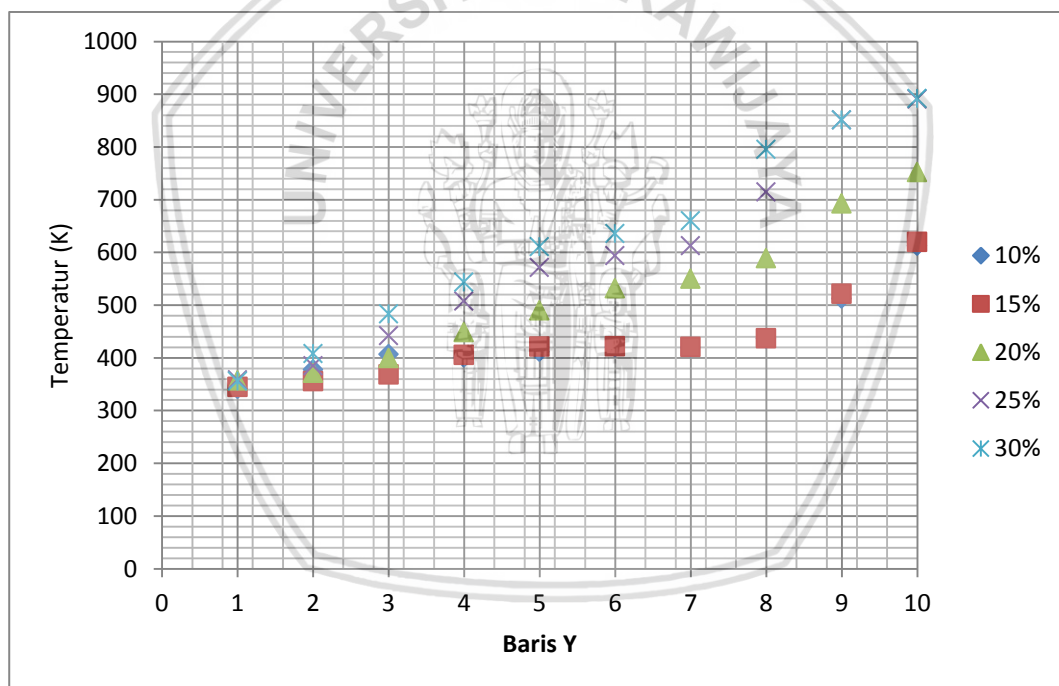


## 5.2 Pembahasan

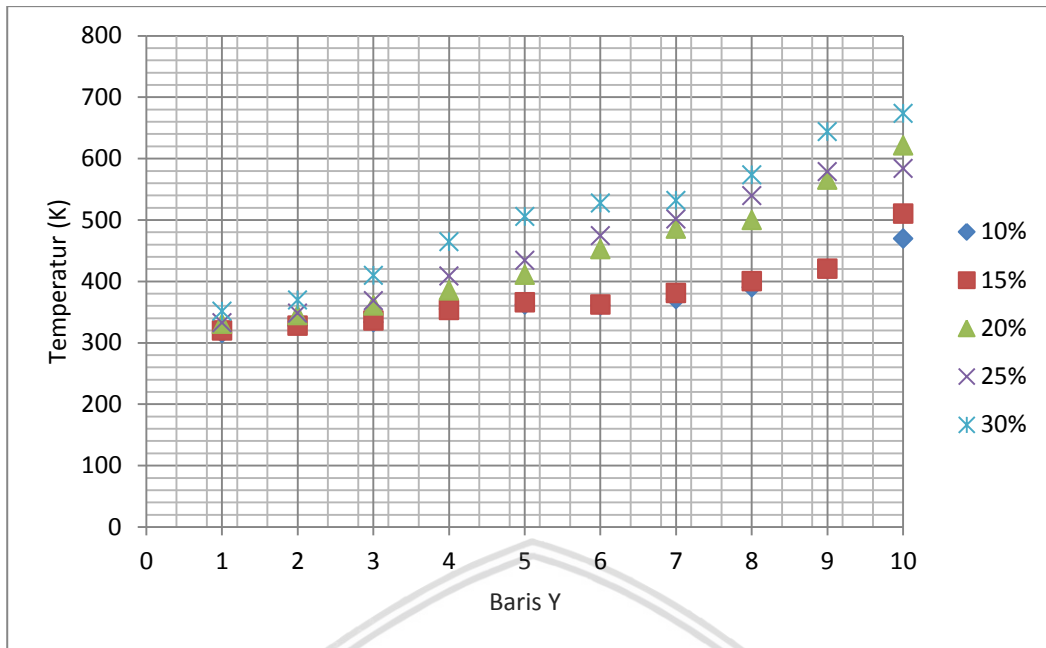
Dari data yang telah didapatkan selanjutnya akan dibahas mengenai karakteristik *transport kalor* yang terjadi pada porous media pendingin *Engine*. Terdapat satu pembahasan mengenai perpindahan panas yang terjadi pada pendingin *porous media* karena pengaruh porositas yang berbeda-beda, yang didalamnya meliputi konduktivitas termal efektif, *Grashof Number*, *Nusselt Number*, Nilai koefisien perpindahan panas dan *Rayleigh Number*.

### 5.2.1 Perpindahan Panas Karena Pengaruh Porositas *Porous Media*

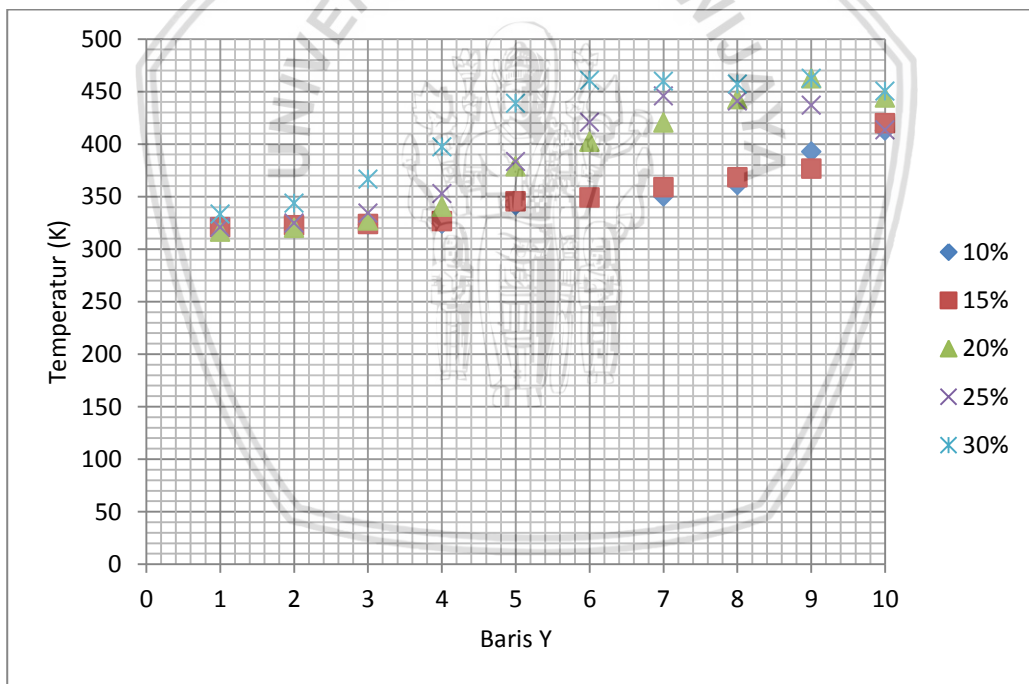
Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik mengenai hubungan porositas dengan temperatur yang terjadi pada *porous media* pada setiap kolom yang telah ditentukan tiap-tiap baris *porous media*.



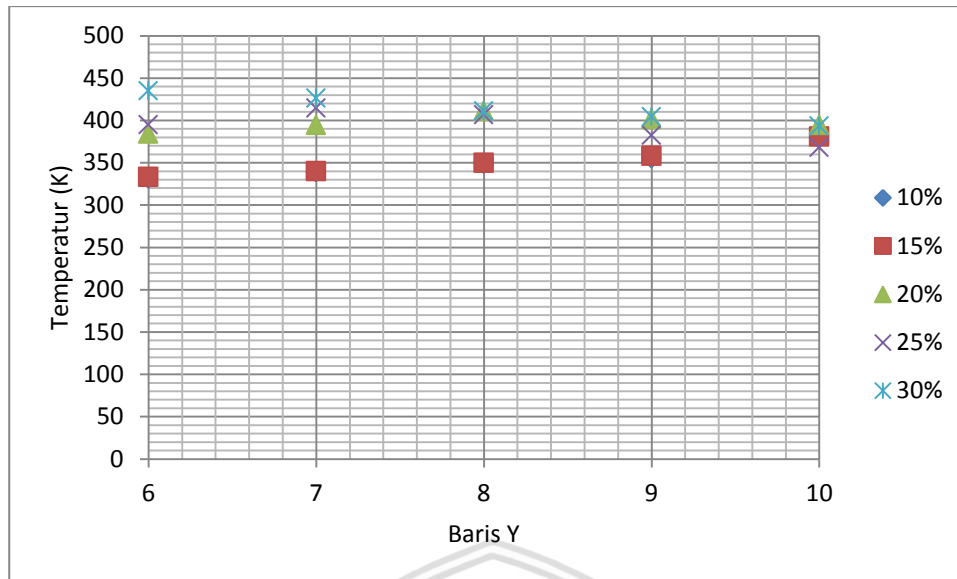
Gambar 5.6 Grafik temperatur dikolom A



Gambar 5.7 Grafik temperatur dikolom B



Gambar 5.8 Grafik temperatur dikolom C



Gambar 5.9 Grafik temperatur dikolom D

Dari gambar 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, jika dilihat dari nilai porositas maka setiap kenaikan porositas ataupun penurunan nilai porositas sangat berpengaruh terhadap temperatur yang terjadi disetiap titik pantau, dimana semakin besar nilai porositas maka akan menyebabkan semakin besar pula distribusi temperatur ditiap kolom pantau. Fenomena yang terjadi pada data hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terdapat kesamaan “semakin besar nilai porositas dari *porous media* maka nilai distribusi temperaturnya juga semakin besar”, hal ini terjadi juga didalam pendingin yang menggunakan *Porous media* dimana untuk porositas 10% yang berwarna biru pada grafik ini terletak paling bawah dibanding yang lain, kemudian porositas 15% disimbolkan warna merah. Selanjutnya yang paling dominan diposisi ke tiga ada hijau yaitu porositas 20%, kemudian ungu dengan porositas 25%, yang terakhir berwarna biru laut dengan porositas 30%. Kemudian untuk temperatur pada baris Y10 nialainya lebih kecil dibanding baris Y9 hal tersebut disebabkan karena baris Y10 berhubungan langsung dengan udara/temperatur ruang, dimana udara lingkungan bertemperatur 300 K (27°C) yang mengalir langsung bersentuhan dengan dinding *porous media* sehingga perpindahan panas langsung terjadi saat itu juga, sebaliknya untuk baris Y9 bersentuhan dengan baris Y 10 dan baris Y 8, hal ini merupakan penyebab dari nilai baris Y10 lebih tinggi dibanding dengan baris Y9. Selanjutnya hubungan antara Kolom pantau A, B, C, D ketika semakin jauh dari inlet utama maka temperatur akan menurun disebabkan oleh laju perpindahan panas dan nilai koefisien perpindahan panas.

### 5.2.2 Laju Perpindahan Panas

Pembahasan laju perpindahan panas merupakan nilai laju perpindahan panas yang terjadi pada *porous media* yang sejajar pada tiap-tiap baris Y1 (satu) sampai Baris Y 10 (sepuluh) yang menuju ke output. Pembahasan akan membandingkan laju perpindahan panas yang terjadi pada tiap baris Y1 (satu) sampai baris Y10 (sepuluh) dilihat dari empat kolom pantau disetiap garis yang sejajar dengan baris Y menuju output.

Perhitungan nilai dari Q ialah:

$$Q_{Konduksi} = -K_{eff} \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Dimana

$$A = 2 \times 3,14 \times r \times t$$

$$K_{eff} = [(1 - \varepsilon^{2/3}) + \{\varepsilon^{2/3} / [(1 - \varepsilon^{1/3}) + \varepsilon^{1/3} (kp/ka)]\}] kp$$

Perhitungan untuk porositas 10%

$$K_{eff} = [(1 - 0,1^{2/3}) + \{0,1^{2/3} / [(1 - 0,1^{1/3}) + 0,1^{1/3} (220/0,024)]\}] 220$$

$$= 157,81 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

Perhitungan untuk porositas 15%

$$K_{eff} = [(1 - 0,15^{2/3}) + \{0,15^{2/3} / [(1 - 0,15^{1/3}) + 0,15^{1/3} (220/0,024)]\}] 220$$

$$= 144,26 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

Perhitungan untuk porositas 20%

$$K_{eff} = [(1 - 0,2^{2/3}) + \{0,2^{2/3} / [(1 - 0,2^{1/3}) + 0,2^{1/3} (220/0,024)]\}] 220$$

$$= 132,18 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

Perhitungan untuk porositas 25%

$$K_{eff} = [(1 - 0,25^{2/3}) + \{0,25^{2/3} / [(1 - 0,25^{1/3}) + 0,25^{1/3} (220/0,024)]\}] 220$$

$$= 121,10 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

Perhitungan untuk porositas 30%

$$K_{eff} = [(1 - 0,30^{2/3}) + \{0,30^{2/3} / [(1 - 0,30^{1/3}) + 0,30^{1/3} (220/0,024)]\}] 220$$

$$= 110,76 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

- Untuk menghitung luas penampang melintang (A) pada baris Y1 dikolom A ,

$$A_{y1a} = 2 \times 3,14 \times r_{y1a} \times t_{y1a}$$

$$= 2 \times 3,14 \times 0,00833\text{m} \times 0,01 \text{ m}$$

$$= 0,000523 \text{ m}^2$$

- Untuk menghitung  $\Delta T$  pada baris Y1 dikolom A= temperatur sebelum masuk baris Y1 dikolom A dikurangi temperatur yang sudah melewati baris Y1 dikolom A Dimana temperatur yang belum masuk di kolom A ialah  $70^{\circ}\text{C}$  dan temperatur yang telah melewati kolom A yaitu kolom B ialah  $42,5^{\circ}\text{C}$  sehingga

$$\begin{aligned}\Delta T_{y1a} &= T_0 - T_1 \\ &= 70^{\circ}\text{C} - 42,5^{\circ}\text{C} = 27,5^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

- Untuk menghitung  $\Delta x_{y1a}$  maka jari jari porous media pada baris Y1 di bagi menjadi 3 kolom segingga untuk  $\Delta x$  = jari – jari total di bagi 3 (tiga)

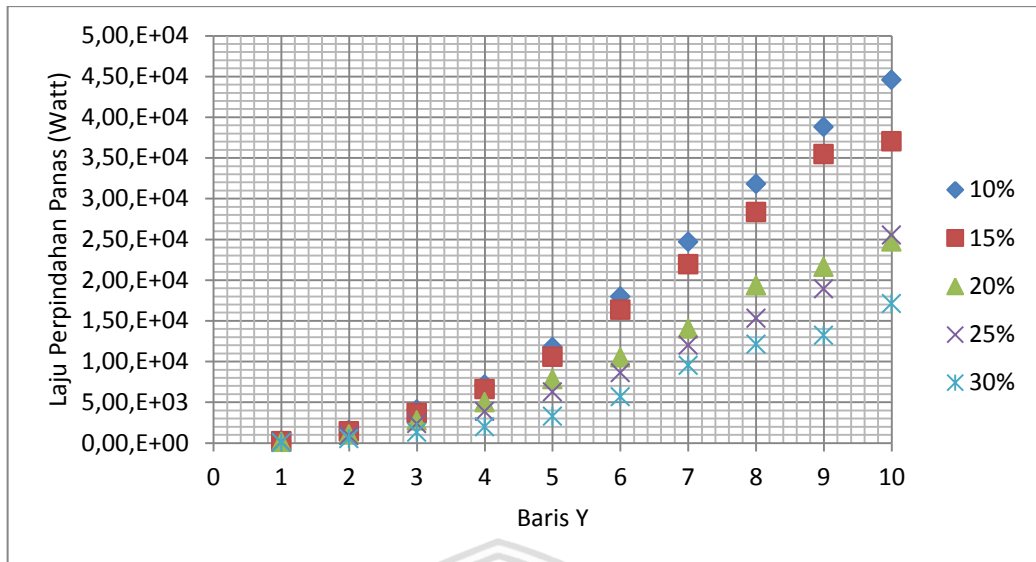
$$\begin{aligned}\Delta x_{y1a} &= r_{\text{total}} : 3 \\ &= 0,25 \text{ m} : 3 = 0,00833\text{m}\end{aligned}$$

Sehingga untuk menghitung Q porositas 10% pada baris Y1 dikolom A ialah:

$$\begin{aligned}Q_{y1a} &= -K_{eff} \cdot A \frac{\Delta T_{y1a}}{\Delta x_{y1a}} \\ &= 157,81 \times 0,000523 \times \frac{27,5}{0,00833} \\ &= 2,72, \text{E}+02 \text{ watt}\end{aligned}$$

Tabel 5.6  
Data hasil simulasi perpindahan panas kolom A

	Perpindahan Panas (Watt)				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	4,46,E+04	3,70,E+04	2,47,E+04	2,55,E+04	1,71,E+04
Baris Y 9	3,88,E+04	3,54,E+04	2,16,E+04	1,89,E+04	1,32,E+04
Baris Y 8	3,18,E+04	2,83,E+04	1,93,E+04	1,53,E+04	1,21,E+04
Baris Y 7	2,47,E+04	2,19,E+04	1,40,E+04	1,20,E+04	9,52,E+03
Baris Y 6	1,80,E+04	1,64,E+04	1,05,E+04	8,63,E+03	5,66,E+03
Baris Y 5	1,18,E+04	1,06,E+04	7,83,E+03	6,27,E+03	3,25,E+03
Baris Y 4	7,14,E+03	6,59,E+03	4,98,E+03	3,85,E+03	1,96,E+03
Baris Y 3	4,09,E+03	3,67,E+03	2,75,E+03	2,34,E+03	1,29,E+03
Baris Y 2	1,57,E+03	1,44,E+03	1,03,E+03	8,96,E+02	5,21,E+02
Baris Y 1	2,72,E+02	2,10,E+02	1,01,E+02	8,07,E+01	5,58,E+01



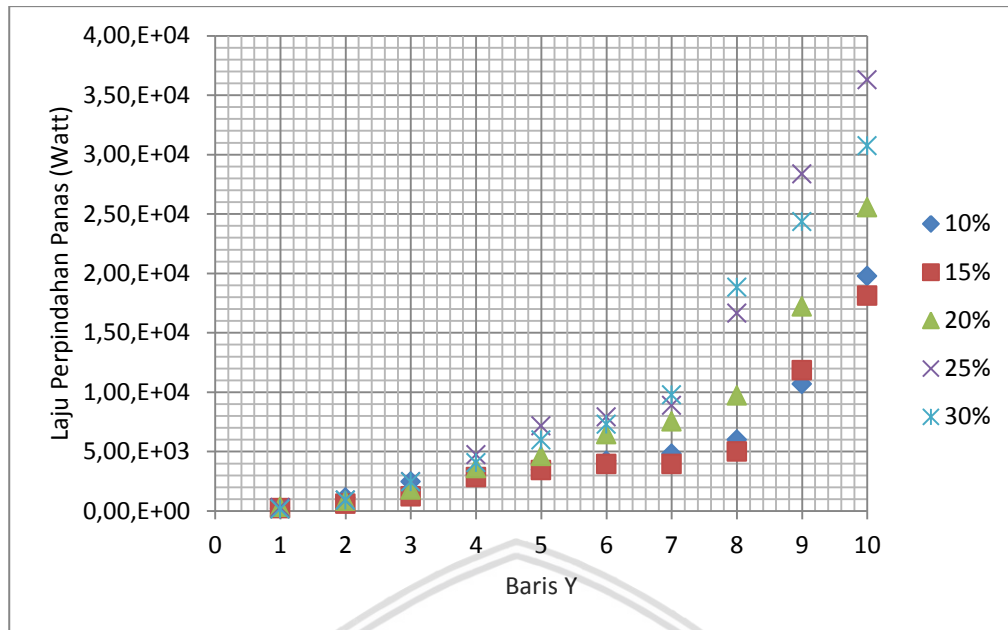
Gambar 5.10 Grafik Laju perpindahan panas pada Kolom A

Tabel 5.7

Data hasil simulasi perpindahan panas Kolom B

Perpindahan Panas (Watt)					
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	1,98,E+04	1,81,E+04	2,56,E+04	3,63,E+04	3,07,E+04
Baris Y 9	1,07,E+04	1,19,E+04	1,72,E+04	2,84,E+04	2,43,E+04
Baris Y 8	5,99,E+03	4,99,E+03	9,72,E+03	1,66,E+04	1,88,E+04
Baris Y 7	4,82,E+03	3,94,E+03	7,52,E+03	8,87,E+03	9,76,E+03
Baris Y 6	4,21,E+03	3,95,E+03	6,46,E+03	7,90,E+03	7,30,E+03
Baris Y 5	3,47,E+03	3,45,E+03	4,62,E+03	7,16,E+03	5,98,E+03
Baris Y 4	3,04,E+03	2,85,E+03	3,59,E+03	4,72,E+03	4,06,E+03
Baris Y 3	2,48,E+03	1,22,E+03	1,79,E+03	2,46,E+03	2,44,E+03
Baris Y 2	1,12,E+03	5,97,E+02	8,51,E+02	9,14,E+02	8,90,E+02
Baris Y 1	2,20,E+02	2,19,E+02	3,37,E+02	2,82,E+02	1,55,E+02





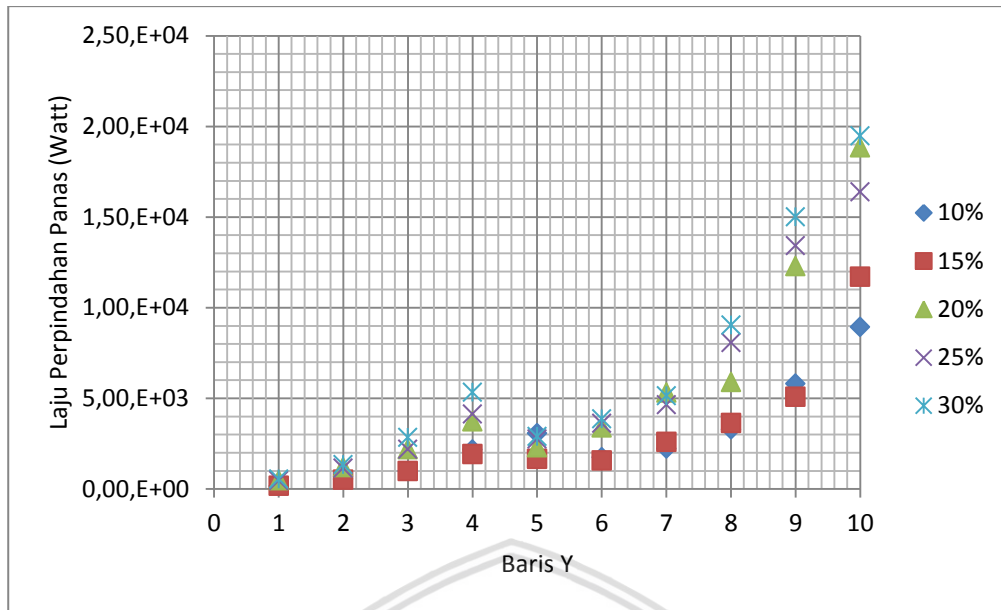
Gambar 5.11 Grafik Laju perpindahan panas pada Kolom B

Tabel 5.8

Data hasil simulasi perpindahan Kolom C

	Perpindahan Panas (Watt)				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	8,93,E+03	1,17,E+04	1,88,E+04	1,64,E+04	1,95,E+04
Baris Y 9	5,80,E+03	5,08,E+03	1,23,E+04	1,34,E+04	1,50,E+04
Baris Y 8	3,29,E+03	3,63,E+03	5,89,E+03	8,07,E+03	9,03,E+03
Baris Y 7	2,22,E+03	2,60,E+03	5,31,E+03	4,64,E+03	5,13,E+03
Baris Y 6	1,75,E+03	1,56,E+03	3,38,E+03	3,62,E+03	3,86,E+03
Baris Y 5	3,06,E+03	1,65,E+03	2,29,E+03	2,75,E+03	2,89,E+03
Baris Y 4	2,17,E+03	1,92,E+03	3,72,E+03	4,12,E+03	5,33,E+03
Baris Y 3	9,90,E+02	9,81,E+02	2,18,E+03	2,18,E+03	2,84,E+03
Baris Y 2	5,51,E+02	5,03,E+02	1,19,E+03	1,14,E+03	1,34,E+03
Baris Y 1	1,54,E+02	1,79,E+02	4,80,E+02	4,52,E+02	5,43,E+02



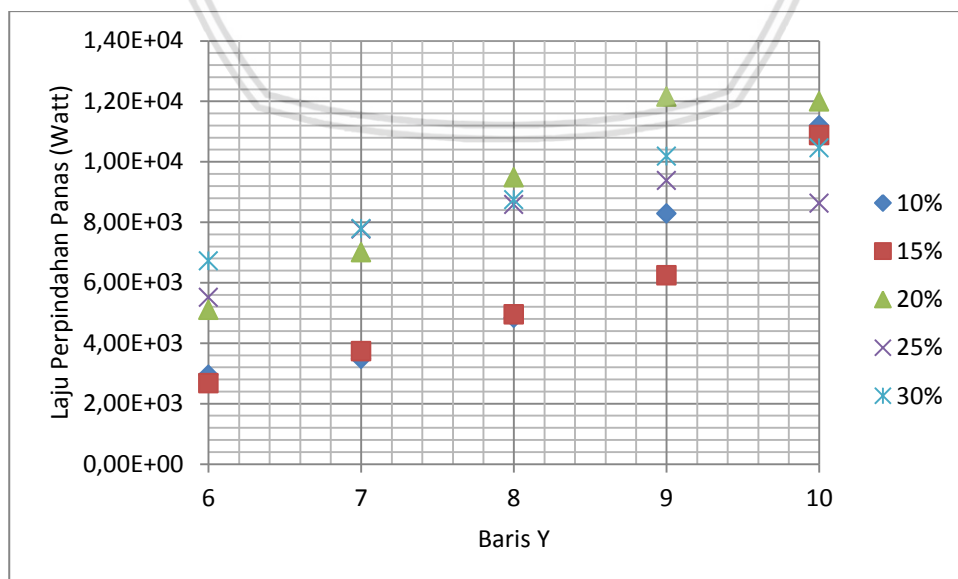


Gambar 5.12 Grafik Laju perpindahan panas pada kolom C

Tabel 5.9

Data hasil simulasi perpindahan panas Kolom D

	Perpindahan Panas (Watt)				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris 10	1,12,E+04	1,09,E+04	1,20,E+04	8,62,E+03	1,04,E+04
Baris 9	8,28,E+03	6,24,E+03	1,21,E+04	9,37,E+03	1,02,E+04
Baris 8	4,83,E+03	4,94,E+03	9,48,E+03	8,58,E+03	8,74,E+03
Baris 7	3,47,E+03	3,73,E+03	7,00,E+03	7,77,E+03	7,78,E+03
Baris 6	2,95,E+03	2,67,E+03	5,10,E+03	5,51,E+03	6,71,E+03



Gambar 5.13 Grafik Laju perpindahan panas pada Kolom D

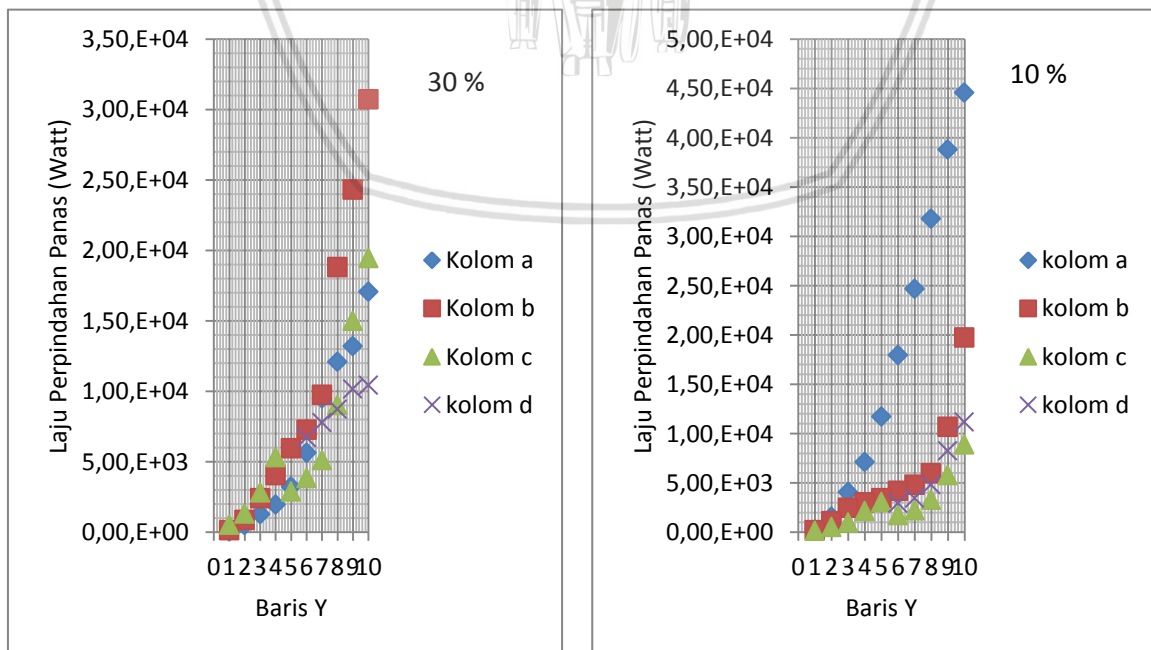
Tabel 5.10

Data hasil simulasi perpindahan panas Porositas 10% dan 30 %

<b>Perpindahan Panas (Watt) (10 %)</b>				
	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y 10	4,46,E+04	1,98,E+04	8,93,E+03	1,12,E+04
Baris Y 9	3,88,E+04	1,07,E+04	5,80,E+03	8,28,E+03
Baris Y 8	3,18,E+04	5,99,E+03	3,29,E+03	4,83,E+03
Baris Y 7	2,47,E+04	4,82,E+03	2,22,E+03	3,47,E+03
Baris Y 6	1,80,E+04	4,21,E+03	1,75,E+03	2,95,E+03
Baris Y 5	1,18,E+04	3,47,E+03	3,06,E+03	
Baris Y 4	7,14,E+03	3,04,E+03	2,17,E+03	
Baris Y 3	4,09,E+03	2,48,E+03	9,90,E+02	
Baris Y 2	1,57,E+03	1,12,E+03	5,51,E+02	
Baris Y 1	2,72,E+02	2,20,E+02	1,54,E+02	

<b>Perpindahan Panas (Watt) (30 %)</b>				
	Kolom a	Kolom b	Kolom c	Kolom d
Baris Y10	1,71,E+04	3,07,E+04	1,95,E+04	1,04,E+04
Baris Y 9	1,32,E+04	2,43,E+04	1,50,E+04	1,02,E+04
Baris Y 8	1,21,E+04	1,88,E+04	9,03,E+03	8,74,E+03
Baris Y 7	9,52,E+03	9,76,E+03	5,13,E+03	7,78,E+03
Baris Y 6	5,66,E+03	7,30,E+03	3,86,E+03	6,71,E+03
Baris Y 5	3,25,E+03	5,98,E+03	2,89,E+03	
Baris Y 4	1,96,E+03	4,06,E+03	5,33,E+03	
Baris Y 3	1,29,E+03	2,44,E+03	2,84,E+03	
Baris Y 2	5,21,E+02	8,90,E+02	1,34,E+03	
Baris Y 1	5,58,E+01	1,55,E+02	5,43,E+02	



Gambar 5.14 Grafik Laju perpindahan panas pada porositas 10 % dan 30%

Grafik diatas merupakan nilai dari laju perpindahan panas yang terjadi ditiap-tiap porositas dengan 4 kolom pantau dari 10 baris yang terdapat pada *porous media*. Untuk paramater yang mempengaruhi nilai laju perpindahan panas ialah perbedaan temperatur pada setiap kolom pantau dimana perbedaan temperatur didapatkan dari temperatur kolom yang akan memasuki kolom yang dicari dan temperatur kolom sesudah melewati kolom yang ingin dicari perbedaan temperaturnya, kemudian jika dilihat dari perbedaan porositas juga terdapat parameter yang mempengaruhi yaitu Konduktivitas termal efektif, dimana apabila porositas semakin besar maka Konduktivitas termal efektif akan semakin mengecil yang akan mengakibatkan nilai laju perpindahan panasnya juga semakin kecil hal ini terlihat dari gambar grafik 5.14.

Jika dilihat kecendrungan grafik pada tiap porositas hampir sama. Ketika grafik laju perpindahan panas ketika sejajar pada baris 10 memiliki nilai tertinggi dikarenakan memiliki nilai selisih ( $dT$ ) paling tinggi, hal tersebut terjadi dikarenakan temperatur udara lingkungan 300K ( $27^{\circ}\text{C}$ ) mengalami perpindahan panas langsung dengan *porous media*. Nilai  $dT$  semakin kecil diakibatkan oleh energi kalor yang dilepas besar diawal terjadinya perpindahan panas pada *porous media* dan ketika semakin menjauhi dari kolom A maka energi kalor yang dilepas akan semakin kecil sehingga nilai temperatur nya akan semakin sama.

### 5.2.3 Hubungan nilai *Rayleigh Number* ( $Ra$ ) dengan *Nusselt Number* ( $Nu$ )

*Rayleigh Number* merupakan nilai tak berdimensi akan tetapi nilai dari *Rayleigh Number* ( $Ra$ ) menggambarkan hubungan antara viskositas dan difusivitas termal yang terjadi pada transport kalor. Kemudian untuk *Nusselt Number* menggambarkan perbandingan antara perpindahan kalor konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida yang berada pada *porous media*. Untuk perhitungannya menggunakan rumus

$$\text{Rayleigh Number } (Ra) = Gr \cdot Pr$$

Untuk mencari nilai  $Nu$  menggunakan rumus  $Nu$  untuk konveksi bebas luar silinder *Nusselt Number* ( $Nu$ ) =  $0,53 (Gr \cdot Pr)^{1/4}$

Sebelum mendapatkan nilai dari *Rayleigh Number* ( $Ra$ ) dan *Nusselt Number* ( $Nu$ ) maka terlebih dahulu harus diketahui nilai dari  $Gr$  dengan  $Pr$ ,

$$Gr = \frac{g \beta (T_1 - T_2) d^3}{\nu^2}$$

Contoh perhitungan Gr pada baris y1 dikolom A, pada porositas 10% maka diketahui

- $g$  merupakan percepatan gravitasi, bernilai  $9,8 \text{ m/s}^2$ .
- $\beta_{y1a} = 1/T_{\text{eff}} \rightarrow T_{\text{eff } y1a} = (T_w + T_\infty) / 2 = (343+315,53) / 2 = 329,27 \text{ K}$   
 $= 1/329,27 = 0,0030$
- $(T_1-T_2)_{y1a} =$  dimana  $T_1$  ini temperatur sebelum melewati kolom A pada baris Y1, sedangkan untuk  $T_2$ , ialah temperatur telah melewati kolom A pada baris Y1,  
 $(T_1-T_2)_{y1a} = 343 - 315,5 = 27,5$
- Untuk  $d^3_{y1a} =$  dianggap sama dengan delta  $d$  ( $\Delta d$ ) maka jari jari porous media pada baris Y1 dibagi menjadi 3 kolom sehingga untuk  $d =$  jari – jari total dibagi 3 (tiga)  
 $= 0,25 \text{ m} : 3 = 0,00833 \text{ m}$   
jadi  $d^3_{y1a} = (0,00833\text{m})^3 = 0,00000058\text{m}^3$
- Selanjutnya mencari  $v^2$  nilai sudah di ketahui di tabel akan tetapi dalam menentukan nilai yang terjadi pada baris Y1 kolom A, terlebih dahulu mencari  $T_{\text{eff}}$   
 $T_{\text{eff } y1a} = (T_w + T_\infty) / 2 = (343+315,53) / 2 = 329,27 \text{ K}$   
Kita menggunakan interpolasi dari  $329,27 \text{ K}$ . Didapatkan dari tabel  
 $300 \text{ K} = 15,69 \times 10^{-6}$  ;  $350 \text{ K} = 20,76 \times 10^{-6}$   
 $329,27 \text{ K} = ?$   
 $v_{y1a} = x+(b-a)/(c-a) \times (z-x)$   
 $v_{y1a} = [15,69+(329,27-300)] / [(350-300) \times (20,76- 15,69)]$   
 $= 1,87,E+01 \times 10^{-6}$   
 $= 1,87,E-05$  jadi nilai  $v_{y1a} = 18,7 \times 10^{-6}$
- Nilai dari  $Gr = \frac{g \beta (T_1-T_2)d^3}{v^2}$   
 $= \frac{9,8 \times 0,0030 (27,5)(0,00000058 \text{ m})^3}{18,7,E-06^2}$   
 $= 1,359E+03$

- Nilai Pr pada kolom A baris Y1 pada temperatur efektif 329,27 K dapat dicari menggunakan interpolasi dari tabel didapatkan

$$300 = 0,708 ; 350 = 0,697 ; 329,27 = ?$$

$$y = x + (b-a)/(c-a)x (z-x)$$

$$y = [0,708 + (329,27 - 300)] / [(350 - 300) \times (0,697 - 0,708)]$$

$$= 0,70$$

Jadi nilai dr Pr  $_{y1a} = 0,70$

Untuk menghitung *Rayleigh Number* (Ra) = Gr. Pr

$$\begin{aligned} \text{➤ Dimana } Ra_{y1a} &= Gr_{y1a} \times Pr_{y1a} \\ &= 1,359E+03 \times 0,70 \\ &= 9,536E+02 \end{aligned}$$

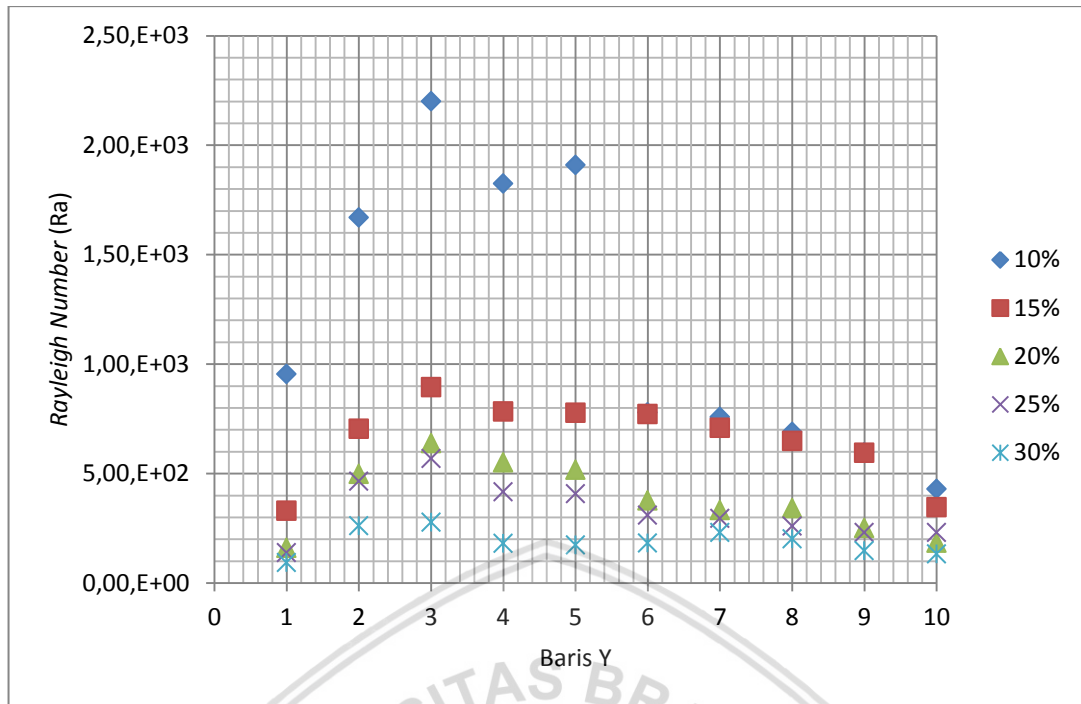
Sedangkan untuk menghitung *Nusselt Number* (Nu) =  $0,53 (Gr. Pr)^{1/4}$

$$\begin{aligned} \text{➤ Dimana } (Nu)_{y1a} &= 0,53 (Gr. Pr)^{1/4} \\ &= 0,53 (9,536E+02)^{1/4} = 2,95 \end{aligned}$$

Tabel 5.11

Data hasil simulasi nilai *Rayleigh Number* ( Ra) pada kolom A

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	4,29,E+02	3,45,E+02	1,84,E+02	2,31,E+02	1,32,E+02
Baris Y 9	5,96,E+02	5,95,E+02	2,51,E+02	2,31,E+02	1,47,E+02
Baris Y 8	6,90,E+02	6,49,E+02	3,42,E+02	2,60,E+02	2,02,E+02
Baris Y 7	7,58,E+02	7,08,E+02	3,33,E+02	2,94,E+02	2,30,E+02
Baris Y 6	7,78,E+02	7,71,E+02	3,76,E+02	3,09,E+02	1,82,E+02
Baris Y 5	1,91,E+03	7,77,E+02	5,16,E+02	4,08,E+02	1,74,E+02
Baris Y 4	1,82,E+03	7,83,E+02	5,51,E+02	4,16,E+02	1,80,E+02
Baris Y 3	2,20,E+03	8,95,E+02	6,39,E+02	5,68,E+02	2,76,E+02
Baris Y 2	1,67,E+03	7,05,E+02	4,98,E+02	4,65,E+02	2,61,E+02
Baris Y 1	9,54,E+02	3,30,E+02	1,60,E+02	1,38,E+02	9,22,E+01



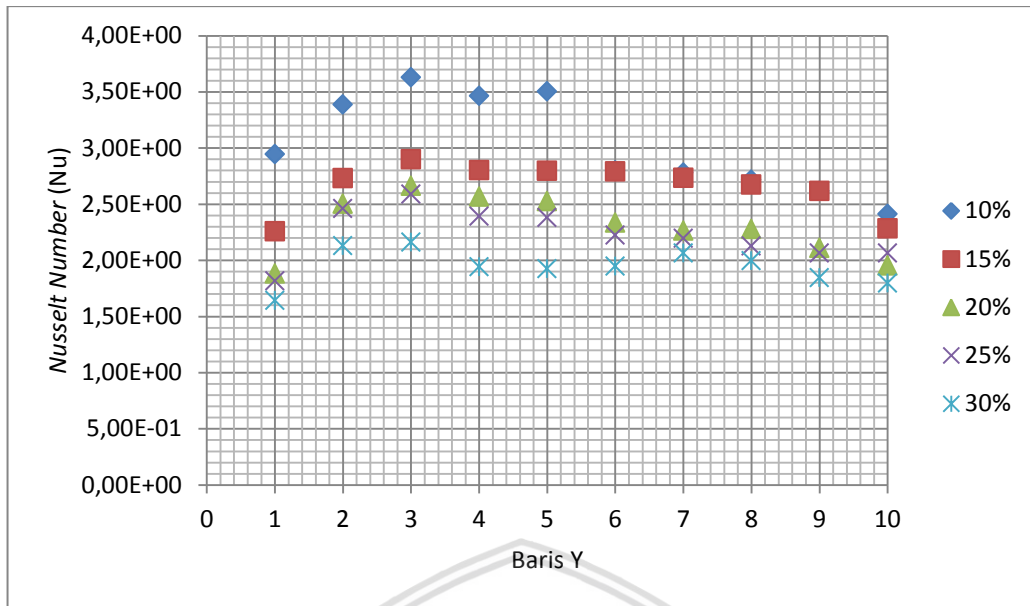
Gambar 5.15 Grafik nilai *Rayleigh Number* (Ra) dikolom A

Tabel 5.12

Data hasil simulasi nilai *Nusselt Number* (Nu) pada Kolom A

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y10	2,41E+00	2,28,E+00	1,95,E+00	2,07,E+00	1,80,E+00
Baris Y 9	2,62E+00	2,62,E+00	2,11,E+00	2,07,E+00	1,84,E+00
Baris Y 8	2,72E+00	2,67,E+00	2,28,E+00	2,13,E+00	2,00,E+00
Baris Y 7	2,78E+00	2,73,E+00	2,26,E+00	2,20,E+00	2,06,E+00
Baris Y 6	2,80E+00	2,79,E+00	2,33,E+00	2,22,E+00	1,95,E+00
Baris Y 5	3,50E+00	2,80,E+00	2,53,E+00	2,38,E+00	1,92,E+00
Baris Y 4	3,46E+00	2,80,E+00	2,57,E+00	2,39,E+00	1,94,E+00
Baris Y 3	3,63E+00	2,90,E+00	2,66,E+00	2,59,E+00	2,16,E+00
Baris Y 2	3,39E+00	2,73,E+00	2,50,E+00	2,46,E+00	2,13,E+00
Baris Y 1	2,95E+00	2,26,E+00	1,88,E+00	1,82,E+00	1,64,E+00



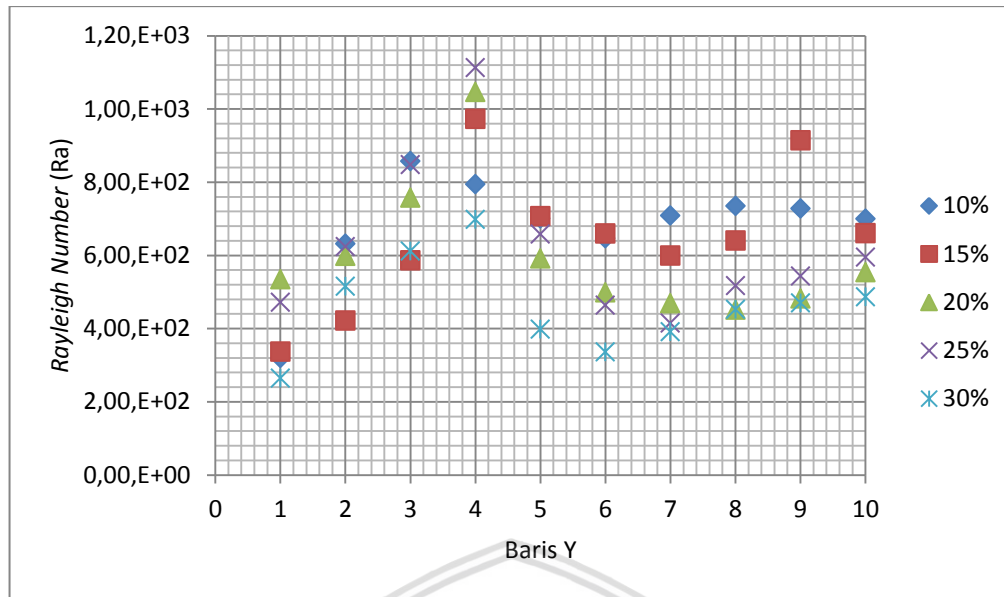


Gambar 5.16 Grafik nilai *Nusselt Number* (Nu) dikolom A

Tabel 5.13

Data hasil simulasi nilai *Rayleigh Number* (Ra) pada Kolom B

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y10	7,00,E+02	6,60,E+02	5,54,E+02	5,95,E+02	4,86,E+02
Baris Y 9	7,28,E+02	9,14,E+02	4,82,E+02	5,44,E+02	4,69,E+02
Baris Y 8	7,35,E+02	6,40,E+02	4,51,E+02	5,17,E+02	4,52,E+02
Baris Y 7	7,08,E+02	5,99,E+02	4,69,E+02	4,15,E+02	3,91,E+02
Baris Y 6	6,46,E+02	6,59,E+02	4,98,E+02	4,64,E+02	3,36,E+02
Baris Y 5	7,00,E+02	7,06,E+02	5,92,E+02	6,58,E+02	3,98,E+02
Baris Y 4	7,94,E+02	9,73,E+02	1,05,E+03	1,11,E+03	6,98,E+02
Baris Y 3	8,58,E+02	5,86,E+02	7,57,E+02	8,47,E+02	6,11,E+02
Baris Y 2	6,32,E+02	4,21,E+02	5,98,E+02	6,23,E+02	5,15,E+02
Baris Y 1	3,19,E+02	3,37,E+02	5,35,E+02	4,71,E+02	2,64,E+02

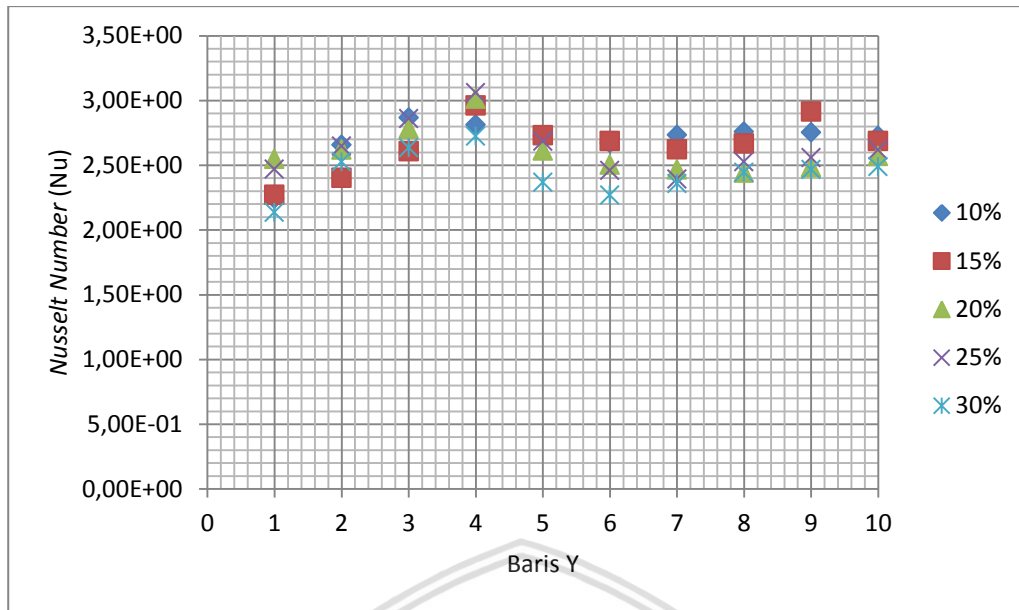


Gambar 5.17 Grafik nilai *Rayleigh Number* (Ra) dikolom B

Tabel 5.14

Data hasil simulasi nilai *Nusselt Number* (Nu) pada Kolom B

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	2,73E+00	2,69,E+00	2,57,E+00	2,62,E+00	2,49,E+00
Baris Y 9	2,75E+00	2,91,E+00	2,48,E+00	2,56,E+00	2,47,E+00
Baris Y 8	2,76E+00	2,67,E+00	2,44,E+00	2,53,E+00	2,44,E+00
Baris Y 7	2,73E+00	2,62,E+00	2,47,E+00	2,39,E+00	2,36,E+00
Baris Y 6	2,67E+00	2,69,E+00	2,50,E+00	2,46,E+00	2,27,E+00
Baris Y 5	2,73E+00	2,73,E+00	2,61,E+00	2,68,E+00	2,37,E+00
Baris Y 4	2,81E+00	2,96,E+00	3,01,E+00	3,06,E+00	2,72,E+00
Baris Y 3	2,87E+00	2,61,E+00	2,78,E+00	2,86,E+00	2,64,E+00
Baris Y 2	2,66E+00	2,40,E+00	2,62,E+00	2,65,E+00	2,53,E+00
Baris Y 1	2,24E+00	2,27,E+00	2,55,E+00	2,47,E+00	2,14,E+00

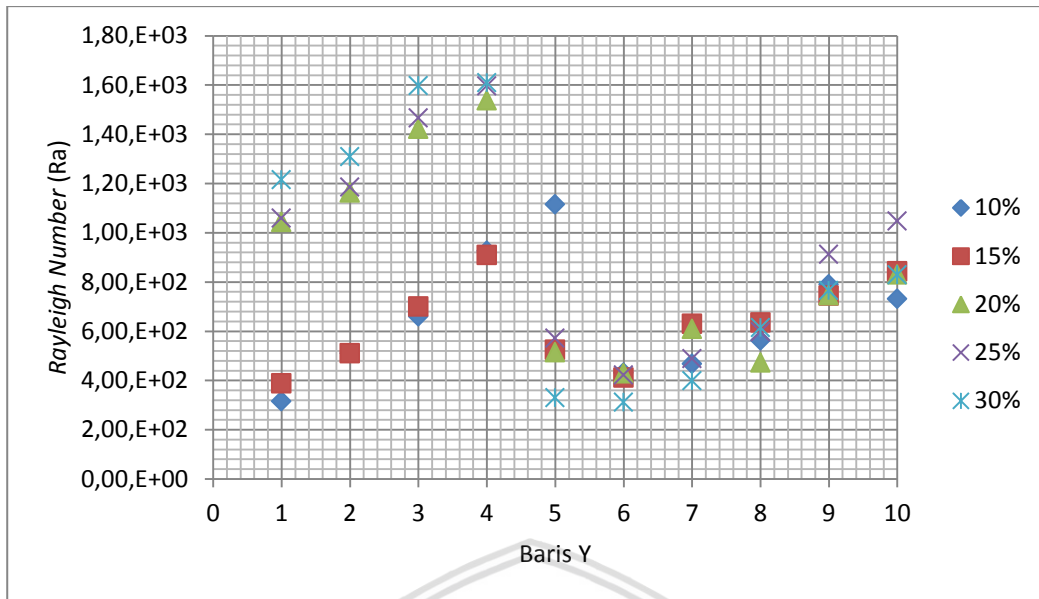


Gambar 5.18 Grafik nilai *Nusselt Number* (Nu) dikolom B

Tabel 5.15

Data hasil simulasi nilai *Rayleigh Number* (Ra) pada kolom C

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	7,31,E+02	8,43,E+02	8,30,E+02	1,05,E+03	8,28,E+02
Baris Y 9	7,90,E+02	7,44,E+02	7,46,E+02	9,12,E+02	7,65,E+02
Baris Y 8	5,63,E+02	6,35,E+02	4,73,E+02	5,97,E+02	6,14,E+02
Baris Y 7	4,67,E+02	6,30,E+02	6,08,E+02	4,89,E+02	3,98,E+02
Baris Y 6	4,30,E+02	4,12,E+02	4,28,E+02	4,22,E+02	3,12,E+02
Baris Y 5	1,11,E+03	5,24,E+02	5,14,E+02	5,72,E+02	3,30,E+02
Baris Y 4	9,27,E+02	9,10,E+02	1,54,E+03	1,60,E+03	1,61,E+03
Baris Y 3	6,60,E+02	7,00,E+02	1,42,E+03	1,47,E+03	1,60,E+03
Baris Y 2	5,11,E+02	5,10,E+02	1,16,E+03	1,19,E+03	1,31,E+03
Baris Y 1	3,15,E+02	3,88,E+02	1,04,E+03	1,06,E+03	1,22,E+03

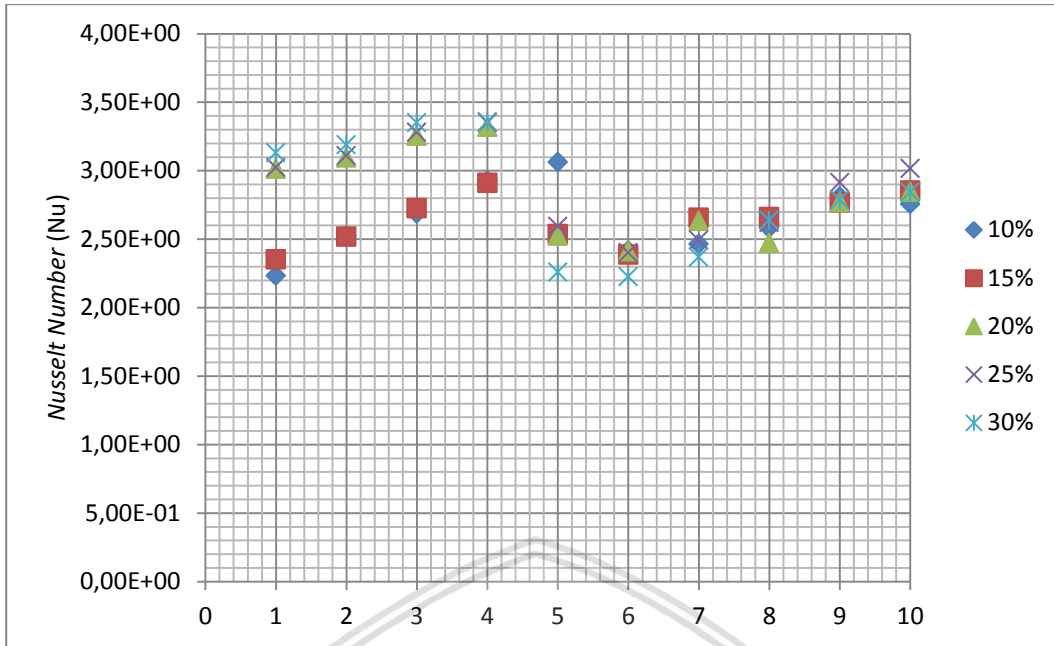


Gambar 5.19 Grafik nilai *Rayleigh Number* (Ra) dikolom C

Tabel 5.16

Data hasil simulasi nilai *Nusselt Number* (Nu) pada kolom C

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	2,76E+00	2,86,E+00	2,84,E+00	3,01,E+00	2,84,E+00
Baris Y 9	2,81E+00	2,77,E+00	2,77,E+00	2,91,E+00	2,79,E+00
Baris Y 8	2,58E+00	2,66,E+00	2,47,E+00	2,62,E+00	2,64,E+00
Baris Y 7	2,46E+00	2,66,E+00	2,63,E+00	2,49,E+00	2,37,E+00
Baris Y 6	2,41E+00	2,39,E+00	2,41,E+00	2,40,E+00	2,23,E+00
Baris Y 5	3,06E+00	2,54,E+00	2,52,E+00	2,59,E+00	2,26,E+00
Baris Y 4	2,92E+00	2,91,E+00	3,32,E+00	3,35,E+00	3,36,E+00
Baris Y 3	2,69E+00	2,73,E+00	3,25,E+00	3,28,E+00	3,35,E+00
Baris Y 2	2,52E+00	2,52,E+00	3,09,E+00	3,11,E+00	3,19,E+00
Baris Y 1	2,23E+00	2,35,E+00	3,01,E+00	3,02,E+00	3,13,E+00

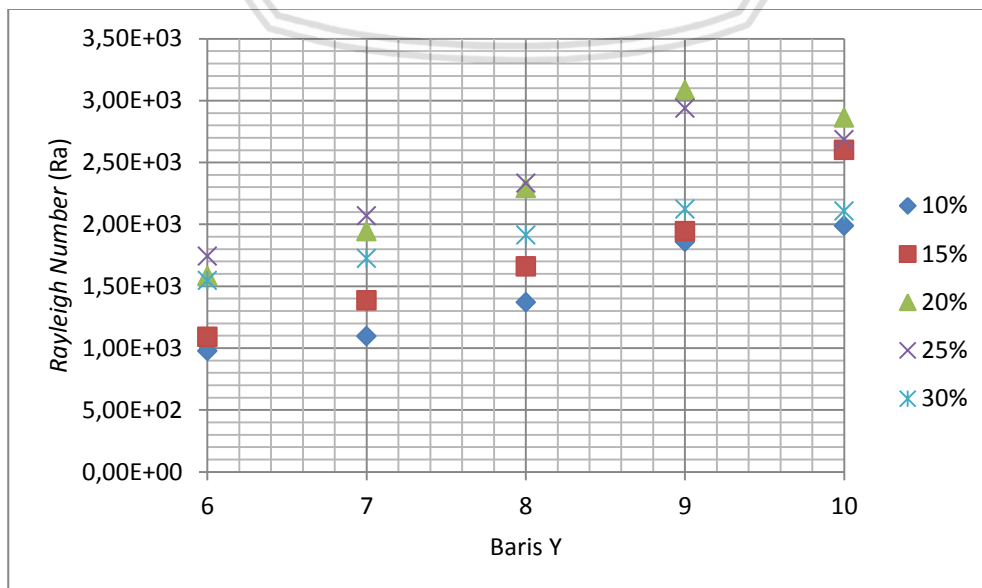


Gambar 5.20 Grafik nilai *Nusselt Number* (Nu) dikolom C

Tabel 5.17

Data hasil simulasi nilai *Rayleigh Number* (Ra) pada Kolom D

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	1,99,E+03	2,60,E+03	2,86,E+03	2,68,E+03	2,11,E+03
Baris Y 9	1,86,E+03	1,94,E+03	3,08,E+03	2,94,E+03	2,12,E+03
Baris Y 8	1,37,E+03	1,66,E+03	2,29,E+03	2,33,E+03	1,91,E+03
Baris Y 7	1,09,E+03	1,38,E+03	1,94,E+03	2,07,E+03	1,72,E+03
Baris Y 6	9,75,E+02	1,09,E+03	1,58,E+03	1,74,E+03	1,55,E+03

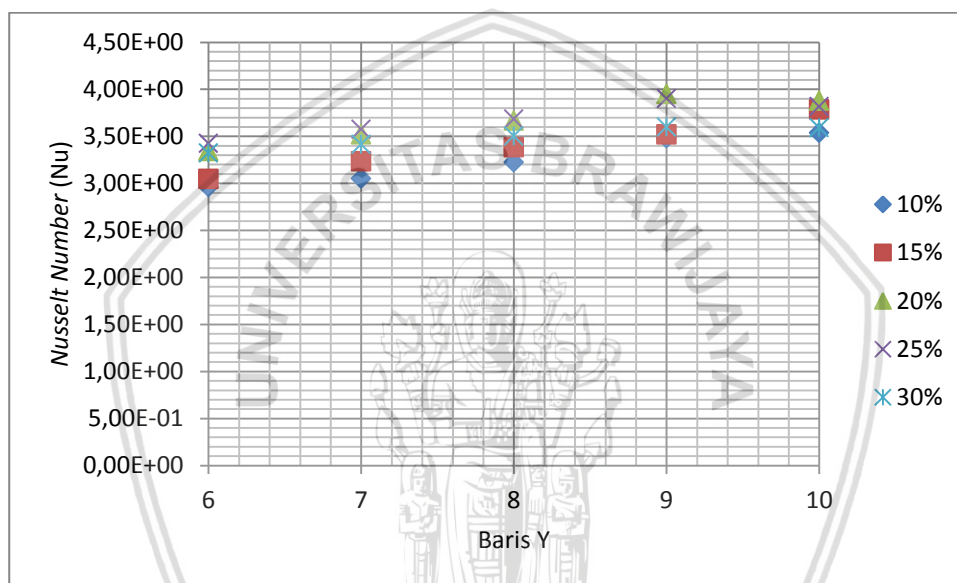


Gambar 5.21 Grafik nilai *Rayleigh Number* (Ra) kolom D

Tabel 5.18

Data hasil simulasi nilai *Nusselt Number* (Nu) pada kolom D

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	3,54E+00	3,78,E+00	3,88,E+00	3,81,E+00	3,59,E+00
Baris Y 9	3,48E+00	3,52,E+00	3,95,E+00	3,90,E+00	3,60,E+00
Baris Y 8	3,22E+00	3,38,E+00	3,67,E+00	3,68,E+00	3,50,E+00
Baris Y 7	3,05E+00	3,23,E+00	3,52,E+00	3,57,E+00	3,41,E+00
Baris Y 6	2,96E+00	3,05,E+00	3,34,E+00	3,42,E+00	3,32,E+00

Gambar 4.22 Grafik nilai *Nusselt Number* (Nu) dikolom D

Gambar grafik perbandingan nilai *Rayleigh Number* (Ra) dan *Nusselt Number* (Nu) pada setiap titik pada porositas, keduanya memberikan nilai linier, dimana ketika nilai Ra besar maka nilai Nu juga besar sebaliknya jika nilai *Rayleigh Number* (Ra) turun maka nilai dari *Nusselt Number* (Nu) juga menurun. Seperti halnya pada gambar 5.15 nilai Ra dengan porositas 10% warna biru, porositas 15% warna merah, Porositas 20% warna hijau, porositas 25% warna abu abu dan porositas 30% warna biru laut, bila mana dibandingkan dengan gambar 5.16 yang menunjukkan nilai *Nusselt Number* (Nu) pada kolom A, dimana kenaikan dan penurunan nilai *Rayleigh Number* (Ra) dan *Nusselt Number* (Nu) memiliki kesamaan jika dilihat dari porositas. Penyebab terjadinya hal tersebut dikarenakan nilai dari keduanya dipengaruhi oleh angka *Grashof* dan *Prandtl*. Nilai dari *Grashof* berhubungan dengan volume ekspansi koefisien ( $\beta$ ) dimana sangat dipengaruhi oleh Temperatur efektif,  $T_{\text{efektif}}$  bernilai besar apabila terdapat distribusi



temperatur yang besar juga. Nilai dari Ra dan Nu apabila dilihat dari baris Y 10, nilainya terus menurun sampai baris 1, begitu juga ketika dilihat dari kolom A, B, C, D, nilai Ra dan Nu akan mengalami penurunan dari kolom A semakin turun sampai titik pantau D demikian ini terjadi disemua porositas yang digunakan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya nilai dari *Rayleigh Number* (Ra) dan *Nusselt Number* saling berhubungan dalam proses distribusi temperatur pada *Porous media*, dimana apabila nilai Ra besar maka nilai Nu juga semakin besar pula..

#### 5.2.4. Hubungan Koefisien Perpindahan Panas (h) dengan Porositas Porous Media

Koefisien perpindahan panas merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam melihat distribusi temperatur yang terjadi pada transfer kalor. Nilai dari h sangat erat kaitannya pada K efektif dan nilai dari Nu. Rumus yang digunakan dalam menghitung h ialah

$$h = \text{Nu} \frac{K_{eff}}{D}$$

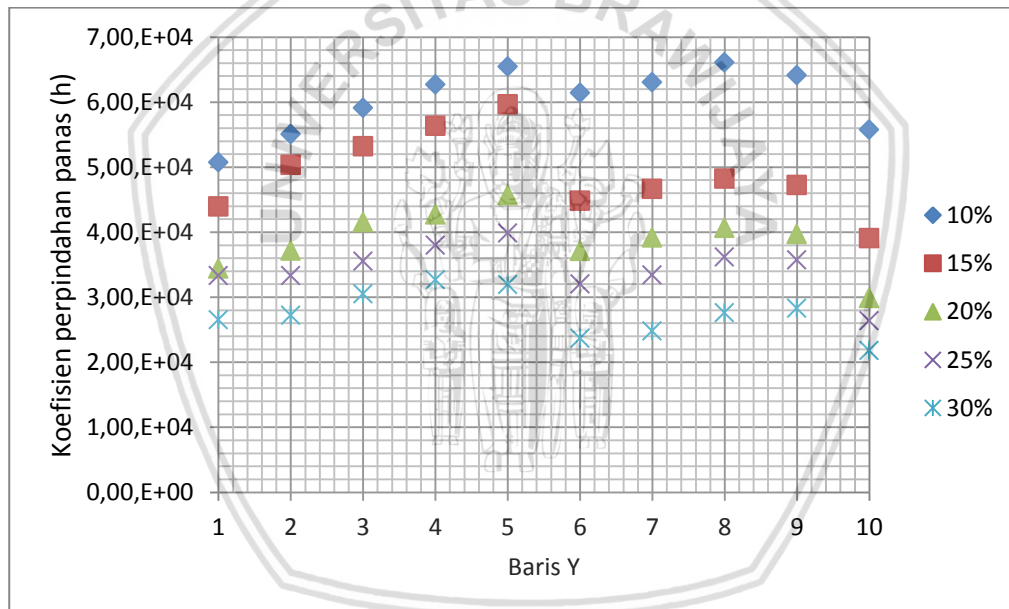
Salasatu contoh mendapatkan nilai h pada baris Y1 dan kolom A ( $h_{y1a}$ ) pada porositas 10% ialah

- $\text{Nu}_{y1a} = 0,53 (\text{Gr.Pr})^{1/4}$   
 $= 0,53 (9,536\text{E}+02)^{1/4} = 2,95$
  - $K_{eff} = [(1 - 0,1^{2/3}) + \{0,1^{2/3} / [(1 - 0,1^{1/3}) + 0,1^{1/3} (220/0,024)]\}] 220$   
 $= 157,81 \text{ (W/m} \cdot \text{°C)}$
  - D merupakan diameter porous media pada kolom A di baris Y1, yang mengarah sumbu x, karena pada Y1 hanya di bagi menjadi 3 kolom maka diameter total dibagi menjadi 3 kolom. Sehingga  
 $D = 0,25 : 3 \text{ (kolom)}$   
 $= 0,000083 \text{ m}$
- $h_{y1a} = \text{Nu} \frac{K_{eff}}{D} = 2,95 \times (157,81 / 0,000083)$   
 $= 5,578\text{E}+04 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

Tabel 5.19

Data hasil simulasi nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada Kolom A

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	5,08,E+04	4,4,E+04	3,44,E+04	3,34,E+04	2,65,E+04
Baris Y 9	5,51,E+04	5,0,E+04	3,72,E+04	3,33,E+04	2,72,E+04
Baris Y 8	5,91,E+04	5,3,E+04	4,16,E+04	3,55,E+04	3,05,E+04
Baris Y 7	6,27,E+04	5,6,E+04	4,28,E+04	3,80,E+04	3,27,E+04
Baris Y 6	6,55,E+04	6,0,E+04	4,57,E+04	3,99,E+04	3,19,E+04
Baris Y 5	6,14,E+04	4,5,E+04	3,71,E+04	3,20,E+04	2,37,E+04
Baris Y 4	6,31,E+04	4,7,E+04	3,92,E+04	3,34,E+04	2,48,E+04
Baris Y 3	6,61,E+04	4,8,E+04	4,06,E+04	3,62,E+04	2,76,E+04
Baris Y 2	6,42,E+04	4,7,E+04	3,97,E+04	3,58,E+04	2,83,E+04
Baris Y 1	5,58,E+04	3,9,E+04	2,99,E+04	2,64,E+04	2,18,E+04

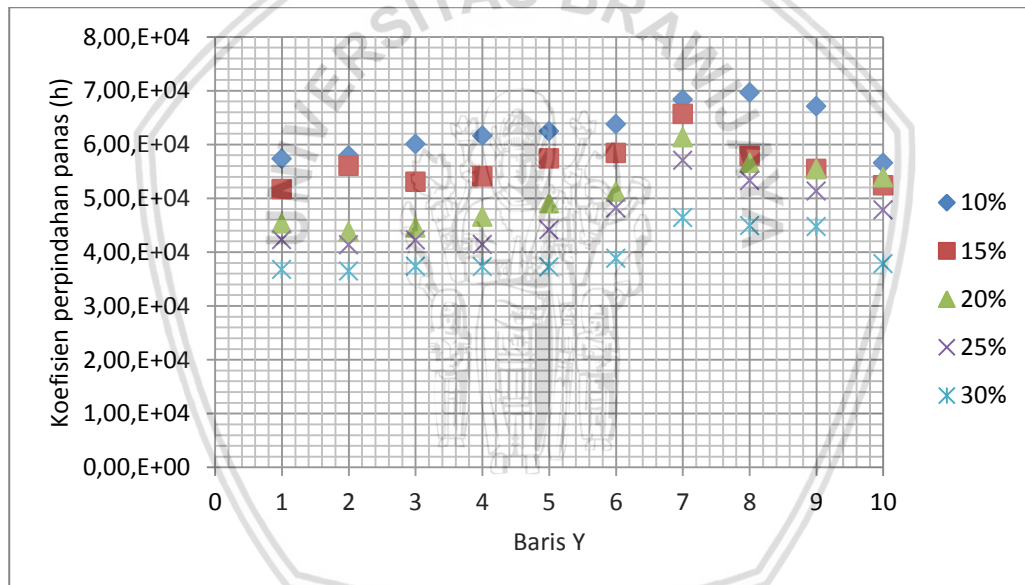


Gambar 5.23 Grafik nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada kolom A

Tabel 5.20

Data hasil simulasi nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada Kolom B

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	5,74,E+04	5,2,E+04	4,53,E+04	4,23,E+04	3,68,E+04
Baris Y 9	5,79,E+04	5,6,E+04	4,38,E+04	4,13,E+04	3,64,E+04
Baris Y 8	6,01,E+04	5,3,E+04	4,45,E+04	4,22,E+04	3,73,E+04
Baris Y 7	6,16,E+04	5,4,E+04	4,66,E+04	4,14,E+04	3,73,E+04
Baris Y 6	6,25,E+04	5,7,E+04	4,90,E+04	4,41,E+04	3,72,E+04
Baris Y 5	6,37,E+04	5,8,E+04	5,12,E+04	4,82,E+04	3,88,E+04
Baris Y 4	6,83,E+04	6,6,E+04	6,13,E+04	5,70,E+04	4,64,E+04
Baris Y 3	6,96,E+04	5,8,E+04	5,65,E+04	5,33,E+04	4,49,E+04
Baris Y 2	6,71,E+04	5,5,E+04	5,54,E+04	5,13,E+04	4,47,E+04
Baris Y 1	5,66,E+04	5,2,E+04	5,39,E+04	4,78,E+04	3,79,E+04

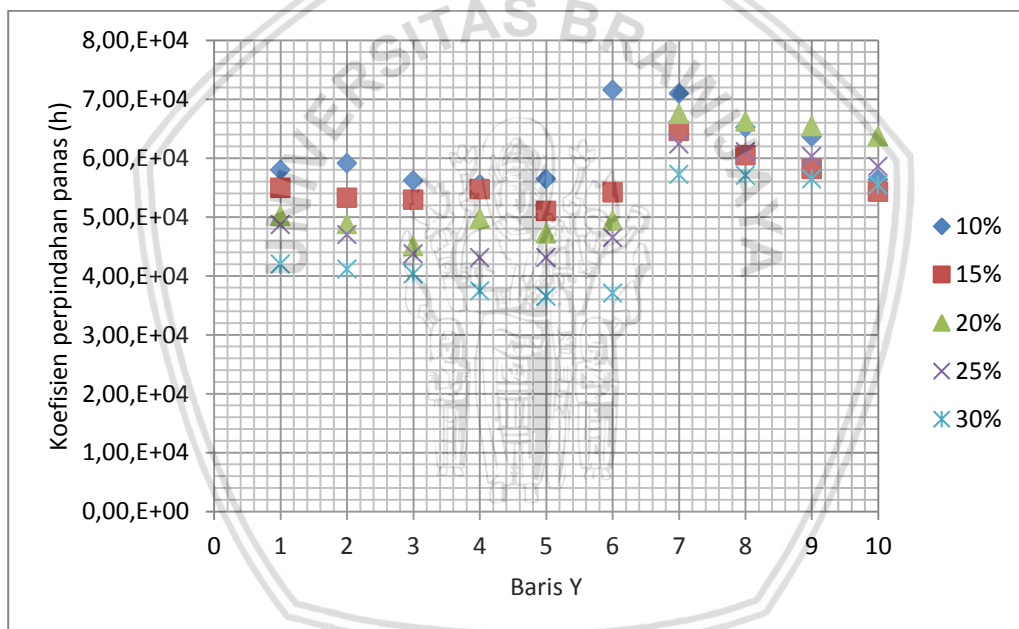


Gambar 5.24 Grafik nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada Kolom B

Tabel 5.21

Data hasil simulasi nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada Kolom C

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	5,80,E+04	5,5,E+04	5,01,E+04	4,87,E+04	4,20,E+04
Baris Y 9	5,91,E+04	5,3,E+04	4,88,E+04	4,70,E+04	4,12,E+04
Baris Y 8	5,62,E+04	5,3,E+04	4,51,E+04	4,38,E+04	4,03,E+04
Baris Y 7	5,55,E+04	5,5,E+04	4,97,E+04	4,31,E+04	3,75,E+04
Baris Y 6	5,64,E+04	5,1,E+04	4,72,E+04	4,31,E+04	3,65,E+04
Baris Y 5	7,16,E+04	5,4,E+04	4,94,E+04	4,65,E+04	3,71,E+04
Baris Y 4	7,10,E+04	6,5,E+04	6,75,E+04	6,24,E+04	5,72,E+04
Baris Y 3	6,52,E+04	6,1,E+04	6,62,E+04	6,11,E+04	5,71,E+04
Baris Y 2	6,36,E+04	5,8,E+04	6,55,E+04	6,03,E+04	5,65,E+04
Baris Y 1	5,64,E+04	5,4,E+04	6,37,E+04	5,86,E+04	5,55,E+04

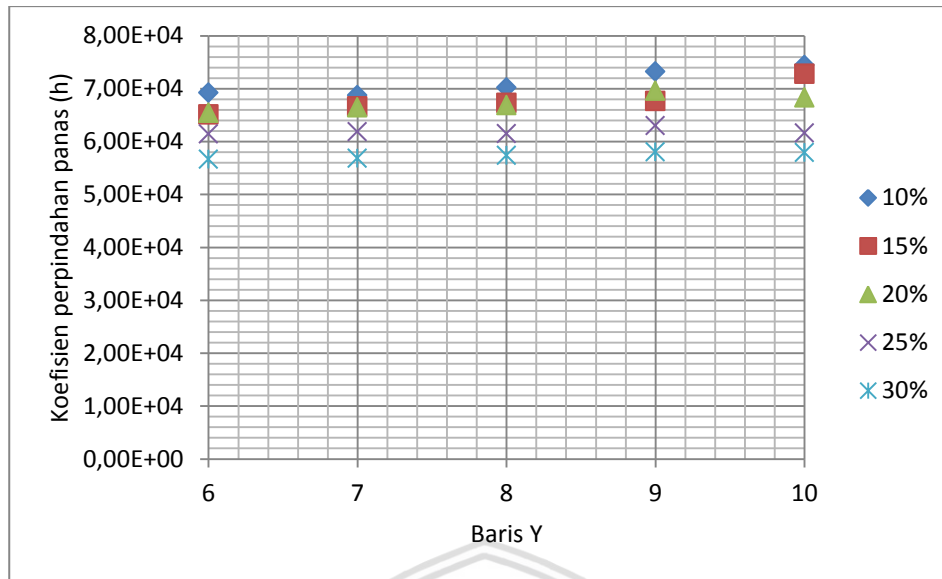


Gambar 5.25 Grafik nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada kolom C

Tabel 5.22

Data hasil simulasi nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada kolom D

	Porositas				
	10%	15%	20%	25%	30%
Baris Y 10	7,45,E+04	7,28,E+04	6,83,E+04	6,16,E+04	5,30,E+04
Baris Y 9	7,32,E+04	6,77,E+04	6,96,E+04	6,30,E+04	5,31,E+04
Baris Y 8	7,02,E+04	6,73,E+04	6,69,E+04	6,15,E+04	5,35,E+04
Baris Y 7	6,87,E+04	6,66,E+04	6,64,E+04	6,18,E+04	5,40,E+04
Baris Y 6	6,92,E+04	6,51,E+04	6,54,E+04	6,14,E+04	5,45,E+04



Gambar 5.26 Grafik nilai Koefisien perpindahan panas (h) pada kolom D

Melihat dari gambar grafik tentang koefisien perpindahan panas diatas jika dilihat dari titik pantau A atau gambar 5.23 diperoleh porositas 10% memiliki nilai h tertinggi dan penurunan nilai koefisien perpindahan panas juga diikuti dengan perubahan nilai porositas, dimana nilai koefisien perpindahan panas paling rendah jika dilihat dari kolom pantau A ialah terjadi pada porositas 30%. Selanjutnya pada gambar 5.24, gambar 5.25, dan gambar 5.26. menunjukkan hal yang sama. Salah satu penyebab yang mempengaruhi nilai h ialah Konduktivitas termal efektif, dimana ketika nilai porositas besar maka nilai Konduktivitas termal efektif kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya semakin besar Porositas maka nilai koefisien perpindahan panas akan semakin rendah.



Halaman ini sengaja dikosongkan





## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan ialah

1. Besaran nilai porositas berpengaruh terhadap distribusi temperatur dimana semakin besar nilai porositas maka akan semakin besar pula distribusi temperatur dan semakin besar porositas maka nilai Konduktifitas termal rendah sehingga menyebabkan laju perpindahan panasnya juga rendah.
2. Besaran nilai dari *Rayleigh Number* ( $Ra$ ) dan *Nusselt Number* ( $Nu$ ) saling berhubungan dimana semakin besar nilai  $Ra$  semakin besar pula nilai  $Nu$  dalam proses distribusi temperatur pada *Porous media*.
3. Dan semakin besar Porositas maka nilai koefisien perpindahan panas akan semakin rendah.

### 6.2 Saran

Untuk peneliti selanjutnya dapat membahas mengenai karakteristik konveksi yang terjadi dari ruang silinder menuju ke *porous media* dengan menggunakan *software* berbasis FEA (*Finite Element Analysis*).



Halaman ini sengaja dikosongkan

## Daftar Pustaka

- Alibakhsh Kasaeian. 2017. *Nanofluid flow and heat transfer in porous media: A review of the latest developments*. International Journal of Heat and Mass Transfer 107 (2017) 778–791.
- Anis S, 2009. *Studi Eksperimen Pengaruh Alur Permukaan Sirip pada Sistem Pendingin Mesin Kendaraan Bermotor*. Jurnal Kompetensi Teknik. Universitas Negeri Semarang.
- Budiyono 2006. *Studi Pengaruh Bentuk Sirip Pada Sistem Pendingin Mesin Kendaraan Bermotor*. Jurnal Kompetensi Teknik. Unnes.
- Cengel, Yunus A. 1998. *Heat Transfer Practical Approach*. New York : Mc. Graw Hill, Ltd.
- Daryanto, 2008. *Optimasi Desain Fan Pendingin Terhadap Pendinginan Radiator*, Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta.
- G.C. Bourantas. 2014. *Heat transfer and natural convection of nanofluids in porous media*. European Journal of Mechanics B/Fluids
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor*, Edisi 6, terjemah Ir. E. Jafisi, Msc. New York : Mc. Graw Hill, Ltd.
- Hong Wen Wu. 2016. *Heat transfer with natural convection of varying viscosity fluids inside porous media between vertically eccentric annuli*. International Journal of Heat and Mass Transfer 94 (2016) 145–155"
- Irawan Ferry M, 2016. *Study pengaruh pendinginan oli dengan sistem radiator pada sepeda motor Suzuki SHOGUN 110 cc*. Universitas PGRI Banyuwangi.
- Kreith, Frank. 1997. *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*, terjemahan A. Priyono. Bandung : Erlangga
- Mehrdad Torabi, 2016. *A thermodynamic analysis of forced convection through porous media using pore scale modeling*, International Journal of Heat and Mass Transfer 99 (2016) 303–316.
- Raed Abed Mahdi. 2015. *Review of convection heat transfer and fluid flow in porous media with nano fluid*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 41(2015)715–734.

- Rahana Veriyawan A. 2013. *Analisa pengaruh kecepatan udara masuk terhadap distribusi temperatur pada porous media*. *Jurnal Konversi Energi*. Universitas Brawijaya
- Samsudin Anis, Dkk. 2009. *Studi Eksperimen Pengaruh Alur Permukaan Sirip pada Sistem Pendingin Mesin Kendaraan Bermotor*. *Jurnal Kompetensi Teknik*. Unnes.
- Sheng Chen.2017. *A lattice Boltzmann model for heat transfer in porous media*. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 111 (2017) 1019–1022
- Siswanto E, Katsurayama H, dan Katoh Y, 2011. *Instability on Condensate Propagation in Porous Media*, *International Journal of Mechanics*, NAUN, Issue 4, Vol. 5, hal. 327-335.
- Siswanto Eko, 2013. *Fluks Termal dalam Porous Media saat Mengkondensasi Uap*. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*.
- Supahar.2005. *Persamaan aliran fluida fasa tunggal pada porous media*. UNY
- Sutijono. 2010. *Modul sistem bahan bakar bensin*. Universitas Negeri Malang.
- Sutrisno, Taufiq Hidayat dan Harjanto. 2007. *Peningkatan Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar Dengan Pemanfaatan Pendinginan Mula Pada Radiator Dengan Saluran Bersirip Terpenggal*. Lemlit UNU Surakarta.
- Y Wang. 2015. *Influence of the particle diameter and porosity of packed porous media on the mixing of hot and cold fluids in a T-junction*. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 84 (2015) 680–690.