

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA SALURAN DENGAN PENAMBAHAN POROUS MEDIA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**RAHMAD HUSEIN**  
**1607230137**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

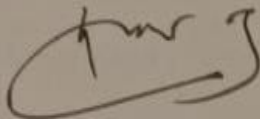
Nama : Dedek Irwansyah  
NPM : 1607230095  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Segiempat Dengan  
Penambahan Rusuk V  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 1 Februari 2021

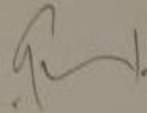
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



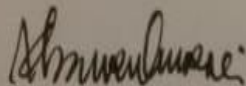
Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji



Chandra A. Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji



Khairul Umurani, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,



Atanda, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rahmad Husein  
Tempat /Tanggal Lahir : Sei Lindai/ 06 Agustus 1997  
NPM : 1607230137  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi TeknikMesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2021



Saya yang menyatakan,

*Rahmad Husein*  
Rahmad Husein

## ABSTRAK

Perpindahan panas konveksi paksa dengan porous media adalah sebuah hal menarik banyak peneliti untuk melakukan penelitian, perpindahan panas ini menggunakan panas yang dihasilkan dari *heater*. Pada penelitian ini digunakan batu berdiameter 15 mm dengan tinggi 30 mm dan tinggi 50 mm sebagai porous media dengan porositas batu tinggi 30 mm sebesar 44,8 % dan tinggi 50 mm 16,9 % yang dikemas di atas plat rata dan di uji di dalam saluran udara segiempat dengan kecepatan 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s. Perpindahan panas konveksi terjadi pada saluran tanpa porous media lebih rendah dari pada menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm sebesar 44,98 Watt. Sedangkan pada saluran dengan dengan penambahan porous media batu tinggi 30 mm sebesar 249,177 Watt dan batu tinggi 50 mm sebesar 171,050 Watt. Hal ini disebabkan oleh perbedaan ketinggian porous media batu. Berdasarkan analisis aliran udara pada saluran segiempat dengan penambahan porous media menunjukkan bahwa temperatur udara masuk ( $T_{in}$ ) dan temperatur udara keluar ( $T_{out}$ ) sangat berpengaruh terhadap laju perpindahan panas konveksi. Faktor gesekan semakin mengecil dengan bertambahnya bilangan Reynold. Semakin besar Bilangan Reynold maka akan semakin besar pula Bilangan Nusselt dan perpindahan panas Konveksi, Serta diikuti dengan menurunnya Faktor Gesekan.

Kata Kunci : Saluran, Media Berpori, Bilangan Reynold, Bilangan Nusslet

## **ABSTRAK**

*Forced convection heat transfer with porous media is an interesting thing for many researchers to conduct research, this heat transfer uses the heat generated from the heater. In this study, stones with a diameter of 15 mm with a height of 30 mm and a height of 50 mm were used as porous media with a porosity of 30 mm high stone of 44.8% and a height of 50 mm 16.9% which were packed on a flat plate and tested in a canal. rectangular air with velocities of 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, and 5 m/s. The convection heat transfer that occurs in the channel without porous media is lower than that of using porous media with a height of 30 mm and 50 mm by 44.98 Watt. Meanwhile, in the channel with the addition of porous media, 30 mm high stone is 249,177 Watt and 50 mm high stone is 171,050 Watt. This is caused by differences in the height of the porous medium of the rock. Based on the analysis of the air flow in the rectangular channel with the addition of porous media, it shows that the inlet air temperature ( $T_{in}$ ) and the outlet air temperature ( $T_{out}$ ) greatly affect the convection heat transfer rate. The friction factor decreases with increasing Reynolds number. The greater the Reynolds number, the greater the Nusselt number and convection heat transfer, and followed by a decrease in the friction factor.*

*Keywords: Channels, Porous Media, Reynold Number, Nusslet Number*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani S.T.,M.T.selaku Dosen Pembimbingyang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini Sekaligus Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T, Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar S.T.,M.T selaku Sekretaris Progran studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/ Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah mendidik dan memberikan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Bapak Rasyid Nasution dan Ibu Seriaty Lubis, yang telah merawat dan membesarkan penulis, dan selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Sahabat- sahabat penulis:Linda Ratna Sari, Riza Fuzi Pratama, Dedek Irwansyah, Muhammad Algi Fahri , Muhammad Fachri, Jody Kurniawan. Yang telah membantu dan menyemangati dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Seluruh Kader-kader Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang selalu memberi semangat dan masukan kepada penulis.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia teknikMesin.

Medan, April 2021

Rahamad Husein

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Porous Media	5
2.3 Pemanas Listrik	8
2.4 Perpindahan Panas	9
2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi	10
2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi	11
2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi	12
2.5 Bilangan Reynold	14
2.6 Bilangan Nusselt	15
2.7 Bilangan Prandtl	17
2.8 Faktor Gesekan	17
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	<b>18</b>
3.1 Waktu Dan Tempat	18
3.1.1 Waktu	18
3.1.2 Tempat	18
3.2 Alat Dan Bahan	19
3.2.1 Bahan	19
3.2.2 Alat	20
3.3 Bagan Alir	24
3.4 Rancangan Alat Penelitian	25
3.5 Prosedur Penelitian	26
3.5.1 Langkah Persiapan	27
3.5.2 Langkah Percobaan	27
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>28</b>
4.1 Perhitungan Data Perpindahan Panas Pada Saluran Tanpa Porous Media	28



4.2 Perhitungan Porositas Porous Media	32
4.3 Menghitung Perpindahan Panas Konduksi Pada Kondisi Tunak	33
4.4 Perhitungan Data Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media	37
4.5 Analisa Data	41
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>44</b>
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Media Berpori	5
Gambar 2.2 Ilustrasi Elemen Reprerentatif	7
Gambar 2.3 Pemilihan Media Berpori	8
Gambar 2.4 Konduksi Pada Bidang Datar Ketebalan $\Delta x$ Dan Luas	10
Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi	12
Gambar 2.6 Perpindahan Panas Ke Fluida Yang Mengalir Di Dalam Saluran Adalah Sama Dengan Kenaikan Energi Fluida	12
Gambar 2.7 Perpindahan Panas Radiasi	13
Gambar 2.6 Aliran Laminar	14
Gambar 2.7 Aliran Turbulen	15
Gambar 2.8 Diameter Hidrolik Bentuk Saluran Atau Kanal	16
Gambar 3.1 Triplek Melamin	19
Gambar 3.2 Besi Siku Berlubang	19
Gambar 3.5 Alat Uji Perpindahan Panas Pada Saluran Udara Segi Empa	20
Gambar 3.7 Plat Alumunium	20
Gambar 3.8 Pemanas Listrik	21
Gambar 3.9 Isolasi Asbes	21
Gambar 3.10 Pelurus Aliran Udara	22
Gambar 3.11 Manometer Type U	22
Gambar 3.14 Dimmer	23
Gambar 3.23 Porous Media 30 mm	23
Gambar 3.24 Porous Media 50 mm	23
Gambar 3.25 Sketsa Alat Peneitian	25
Gambar 3.26 Bagian-Bagian Alat Penelitian	25
Gambar 3.27 Porous Media	26

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktivitas Termal berbagai bahan pada 0 °C	14
Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	18
Tabel 4.1 Data hasil penelitian perpindahan panas pada saluran tanpa porous media pada kecepatan udara 1 m/s	28
Tabel 4.2 Tabel Apendix A-5 Properti Udara	29
Tabel 4.3 Data hasil penelitian pada perpindahan panas konveksi pada saluran tanpa porous media	30
Tabel 4.4 Porositas menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm	32
Tabel 4.5 Data hasil penelitian perpindahan panas konduksi pada porous media batu tinggi 30 mm	33
Tabel 4.6 Data hasil penelitian perpindahan panas konduksi pada porous media batu tinggi 30 mm	35
Tabel 4.7 Data hasil penelitian perpindahan panas pada saluran dengan penambahan porous media batu tinggi 30 mm pada kecepatan udara 1 m/s	37
Tabel 4.8 Tabel Apendix A-5 Properti Udara	38
Tabel 4.9 Data hasil penelitian pada perpindahan panas konveksi pada saluran dengan penambahan porous media	39

## DAFTAR NOTASI

$q$	: Laju perpindahan panas	( kj/det, W)
$k$	: konduktivitas termal	(W/m°C)
$A$	: Luas Penampang	( $m^2$ )
$dt$	: Perbedaan tempertur	(°C)
$dx$	: Perbedaan Jarak	(m/det)
$q$	: laju perpindahan panas konveksi,	(Watt)
$h$	: koefisien perpindahan panas konveksi,	(W / $m^{\circ}K$ )
$T$	: temperatur rata-rata fluida,	( K )
$\varepsilon$	: Emisivitas Bahan	
$\sigma$	: Konstantan Stefan Boltzmann	( $5,67 \times 10^{-8}$ ), $w^2/m^2K^2$
$A$	: luas permukaan pelat yang dipanaskan	( $m^2$ )
$qt$	: total input daya pemanas	(Watt)
$R_m$	: resistensi pemanas utama	( $\Omega$ )
$T_w$	: suhu permukaan	(K)
$u$	: kecepatan udara	(m/s)
$V_m$	: tegangan listrik di pemanas utama	(Volt)
$\mu$	: viskositas dinamis dari fluida	(kg/m.s)
$\nu$	: viskositas kinematik dari fluida	( $m^2 / s$ )
$\rho$	: densitas fluida	( $kg / m^3$ )
$L$	: panjang pelat uji	(m)
$\cos \emptyset$	: faktor daya	
$v_s$	: volume solid yang di ukur yang menempati bagian uji media berpori terhadap kepadatannya	
$v_t$	: volume total bagian uji media berpori	
$Nu_L$	: rata-rata angka Nusselt untuk plat dengan media berpori	
$Re$	: Bilangan reynold	

## DAFTAR GRAFIK

Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Bilangan Nusselt Rata-Rata	37
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Perpindahan Panas Konveksi	37
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh bilangan reynold terhadap koefisien perpindahan panas konveks	38
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Faktor Gesekan	39

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Perpindahan panas merupakan salah satu bagian terpenting dalam sistem teknologi pada masyarakat modern ini. Tapi dalam beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan yang sangat signifikan, dikarenakan energi yang dibutuhkan semakin meningkat, sehingga hampir semua proses industri melibatkan perpindahan panas. Perpindahan panas merupakan proses peristiwa mengalirnya energi berupa panas akibat adanya perbedaan suhu diantara benda dan material. Terdapat beberapa jenis dari perpindahan panas yang digunakan pada penerapan industri yaitu konduksi (*conduction*) atau hantaran, konveksi (*convection*) atau rambatan, radiasi (*raditation*) atau pancaran.

Salah satu jenis perpindahan panas yang digunakan ialah perpindahan panas konveksi. Dimana perpindahan panas ini menggunakan panas yang dihasilkan dari *heater*. (Mahgoub, 2013) Setelah meneliti tentang perpindahan panas konveksi paksa non-Darcian dari plat datar yang diletakkan media berpori yang dikemas dengan partikel berbentuk bola dengan berbagai diameter batuan, kelerang 11 mm dan bola baja 11 mm dengan masing masing porositas 0,17, 0,34, dan 0,31. Porositas bergantung pada jenis bahan, ukuran bahan, distribusi pori, sementasi, riwayat diagenetik, dan komposisinya. Porositas bebatuan umumnya berkurang dengan bertambahnya usia dan kedalaman.

(Sakr, et.all, 2007) meneliti tentang perpindahan panas konveksi pakasa pada plat panas miring yang di letakan dibawah porous media dengan menggunakan porous media PVC, kaca, dan baja iya menyimpulkan bawah keberadaan porous media yang di kemas akan meningkatkan koefisien perpindahan panas, koefisien perpindahan panas meningkatkan bilangan Reynold.

Pada penelitian ini akan menganalisis perpindahan panas pada saluran dengan penambahan porous media dengan variasi kecepatan udara mengalir pada saluran udara. Dimana penelitian ini menggunakan saluran segi empat dengan pengujian pada porous media batu. Besaran lain untuk menunjukkan laju perpindahan panas dapat dinyatakan dalam bilangan tanpa dimensi yaitu bilangan

Nusselt. Hasil dari pengujian ini akan ditampilkan dalam hubungan kecepatan terhadap penurunan temperatur dan bilangan Reynold terhadap bilangan Nusselt.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh perpindahan panas pada saluran dengan penambahan porous media yang berbeda yaitu tinggi batu 30 mm dengan tinggi batu 50 mm.

### 1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Porous media yang digunakan adalah batu.
2. Pengujian dengan tinggi batu 30 mm dan tinggi batu 50 mm.
3. Penelitain ini menggunakan alat saluran udara segiempat dengan penambahan porous media.
4. Parameter yang divariasikan adalah kecepatan aliran udara yang masuk yaitu sebesar 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s.

### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Untuk menganalisis perpindahan panas konveksi, koefisien perpindahan panas konveksi, penurunan tekakanan dan faktor gesekan yang terjadi pada saluran dengan penambahan porous media.
2. Untuk membandingkan perpindahan panas konveksi pada saluran tanpa porous media, dengan saluran menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan tinggi 50 mm.

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi para peneliti lain yang ingin mendalami tentang perpindahan panas pada saluran segiempat dengan penambahan porous media

2. Untuk memberikan kepada pembaca tentang perpindahan panas pada saluran dengan penambahan porous.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Sara, et al (2001) melakukan penelitian tentang peningkatan perpindahan panas dan penurunan tekanan diatas sebuah permukaan datar yang diberi halangan halangan pejal (*solid blocks*) berpenampang persegi berlubang dalam saluran segiempat. Saluran segiempat terbuat dari kayu dengan panjang 2000 mm dan mempunyai ukuran tinggi 80 mm dan lebar 160 mm Plat dasar terbuat dari aluminium dengan tebal 2 mm, lebar 140 mm dan panjang 320 mm.

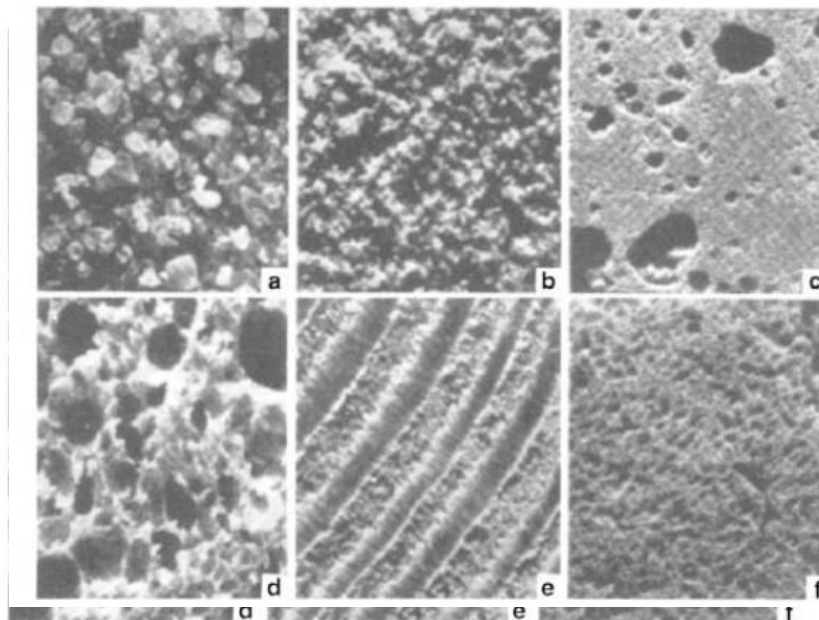
Istanto, T., & Rokhadi, A. W. (2011) Melakukan penelitian Saluran udara segiempat dibuat menggunakan triplek berlapiskan melamin dengan dengan rangka dari kayu, dengan spesifikasi dimensinya adalah 150 mm x 75 mm x 2000 mm. Pemanas elektrik (*heater*) dibuat dari lilitan pita nikelin dengan panjang 4 m, lebar 3 mm, dan tebal 1,3 mm yang dililitkan pada kertas mika tahan panas dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 150 mm, dan tebal 1 mm. Spesimen terdiri atas plat dasar (*base plate*) dengan panjang 200 mm, lebar 150 mm, tebal 6,5 mm. Plat dasar terbuat dari bahan duralumin. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan aliran udara masuk antara 0,5 – 6 m/s.

Theeb, A. H. F., & Abdullah, M. (2019) Melakukan penelitian udara diambil pada suhu kamar dari laboratorium dengan blower sentrifugal 1100W pada 2800 rpm yang terletak di ujung hilir, kemudian masuk ke bagian saluran masuk dari saluran persegi panjang. Saluran tersebut memiliki panjang 3 m dan dibagi menjadi tiga bagian, bagian pertama memiliki panjang (200 cm) untuk memastikan aliran berkembang sepenuhnya. Bagian tes adalah (50 cm) panjang dan bagian keluar (50 cm). Penampang saluran berukuran lebar 40 cm kali 4 cm. Pemanas tipe pelat datar telah digunakan untuk menyediakan permukaan bawah pelat uji dengan fluks panas yang seragam. Pemanas ini dibentuk dari lembaran Mika dan strip kawat listrik dengan tahanan tinggi dibagi menjadi lima bagian. Pemanas diikuti oleh (50 mm) ketebalan lapisan isolasi serat (Ceramic Fiber Blankets SE / TEKFIBER).

## 2.2 Porous Media

Porous Media adalah suatu fasa padat kontinu yang memiliki ruang kosong yang banyak, atau pori-pori di dalamnya. Pada sistem porous media, air tanah mengalir melalui rongga antar butir yang terdapat dalam suatu batuan misalnya batu pasir dan batuan alluvial. Ruang kosong (pori-pori) memungkinkan adanya aliran dari satu atau lebih cairan melalui materi. Dalam situasi yang paling sederhana yaitu aliran fase tunggal, pori jenuh dengan cairan. Pada aliran dua fase, cairan dan gas mengisi pori (Donald, 2013). Ruang yang kosong adalah fraksi dari volume aliran yang ditempati gas.

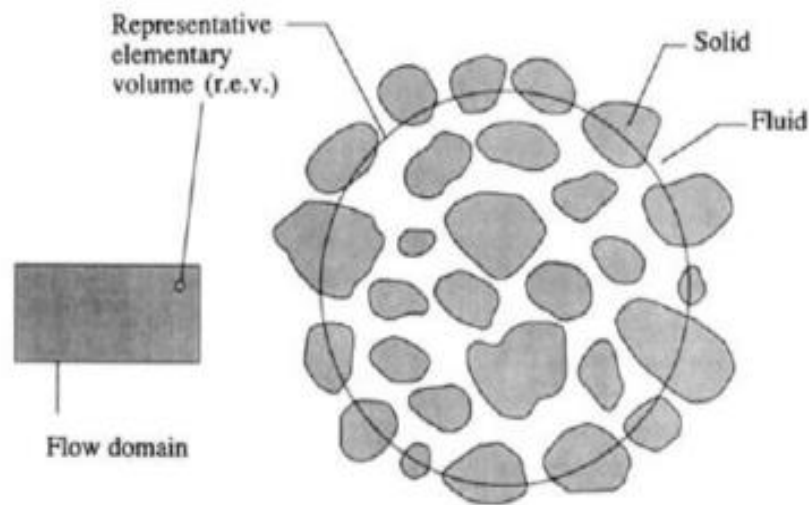
Dalam media berpori alami, distribusi pori terbentuk dengan ukuran yang tidak teratur. Contoh media berpori di alam pasir pantai, batu pasir, kapur, kayu, dan paru-paru manusia. Contoh media berpori buatan manusia adalah keramik, bahan komposit, dan busa logam tinggi porositas. Pada skala mikroskopis, properti aliran (kecepatan, tekanan, dll) akan tidak teratur. Tapi dalam eksperimen, properti aliran yang melintasi pori-pori diasumsikan seperti sifat aliran dalam skala makroskopik dengan propertinya berubah secara teratur dalam ruang dan waktu. Sehingga analisa secara teori memungkinkan (Donald, 2013).



Gambar 2.1 Contoh media berpori (a) pasir pantai, (b) batu pasir, (c) kapur, (d) roti gandum, (e) kayu, dan (f) paru- paru manusia (Donald, 2013)

Bagaimana mangasumsikan aliran melalui struktur berpori adalah cara penyelesaian untuk mendekati struktur aliran sebenarnya (Bejan, 2004). Ketika jaraknya pendek, pengamat hanya melihat satu atau dua saluran, atau satu atau dua pori terbuka atau tertutup. Dalam hal ini, adalah mungkin untuk menggunakan mekanika fluida konvensional dan transfer panas konvektif untuk menggambarkan apa yang terjadi di setiap titik dari ruang fluida dan solid. Ketika jarak besarnya sehingga ada banyak saluran dan pori, kompleksitas dari jalur aliran mengesampingkan pendekatan konvensional. Dalam batas ini, volume rata-rata dan pengukuran secara menyeluruh misalnya, permeabilitas dan konduktivitas, berguna dalam menggambarkan aliran dan menyederhanakan deskripsi. Insinyur fokus lebih dalam pendekatan perancangan penurunan skala pori, untuk menyelesaikan masalah di atas. Tantangan tidak hanya untuk menggambarkan struktur kasar berpori, tetapi juga untuk mengoptimalkan elemen aliran (Donald, 2013).

Cara biasa yakni menurunkan persamaan yang mengatur variabel makroskopik untuk mendapatkan persamaan standar fluida dengan volume rata-rata. Ada dua cara untuk melakukan perataan yaitu spasial dan statistik. Dalam pendekatan spasial, sebuah variabel makroskopik didefinisikan sebagai rata-rata yang mewakili representative elementary volume (r.e.v). Operasi ini menghasilkan nilai variabel yang pada pusat r.e.v. Hal mengasumsikan bahwa hasilnya adalah independen dari ukuran r.e.v. Panjang skala r.e.v. jauh lebih besar dari skala pori, tapi jauh lebih kecil dari skala aliran makroskopik (Gambar 2.2). Dalam pendekatan statistik, rata-rata dari kemungkinan struktur pori ekuivalen secara makroskopik. Kesulitannya adalah biasanya informasi statistik hanya didasarkan pada sampel tunggal, dan ini hanya mungkin jika homogenitas statistik (stasioneritas) diasumsikan. Jika fokus dengan menurunkan hubungan antara properti aliran terhadap jarak dan tidak mempedulikan fluktuasi yang terjadi, maka hasil yang diperoleh dengan menggunakan dua pendekatan pada dasarnya sama (Donald, 2013).



Gambar 2.2 Ilustrasi elemen volume representatif (Donald, 2013) en v esentat onald, 2013)

(Mahgoub, 2013) Telah meneliti tentang Perpindahan panas konveksi paksa non-Darcian dari pelat datar yang diletakkan media berpori yang dikemas dengan partikel berbentuk bola dengan berbagai diameter batuan, kelerang 11mm dan bola baja 11 mm dengan masing masing porositas 0,17, 0,34, dan 0,31. Porositas adalah ukuran dari ruang kosong di antara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1, atau sebagai persentase antara 0-100%. Istilah ini digunakan di berbagai kajian ilmu seperti geologi, geofisika, farmasi, teknik manufaktur, ilmu tanah, metalurgi, dan sebagainya. Porositas ( $\phi$ ) adalah perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan, perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam :

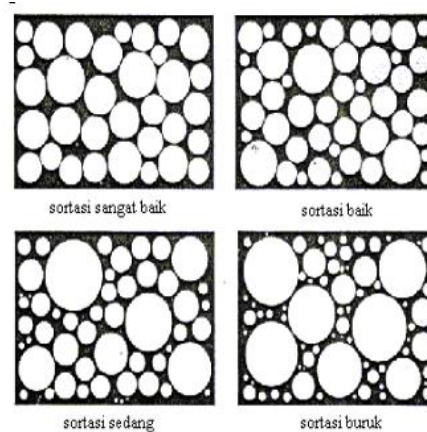
$$\phi = \frac{\text{volume rongga} - \text{rongga pori}}{\text{volume total seluru bebatuan}} \times 100 \%$$

$$\phi = \frac{v_t - v_s}{v_t} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Dimana  $v_s$  adalah volume solid yang di ukur yang menempati bagian uji media berpori terhadap kepadatannya dan  $v_t$  adalah volume total bagian uji media

berpori. Porositas bergantung pada jenis bahan, ukuran bahan, distribusi pori, sementasi, riwayat diagenetik, dan komposisinya. Porositas bebatuan umumnya berkurang dengan bertambahnya usia dan kedalaman. Namun hal yang berlawanan dapat terjadi yang biasanya dikarenakan riwayat temperatur bebatuan.

Pemilahan (sorting) adalah cara dalam memilih berbagai macam besar butir. Dengan demikian rongga yang terdapat di antara butiran besar akan diisi butir yang lebih kecil lagi sehingga porositasnya berkurang. Yang di tunjukan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 pemilihan media berpori(Nurwidyanto, 2006)

Porositas primer yaitu porositas yang terbentuk saat pembentukan batuannya. saat proses sedimentasi butiran batuannya akan terdapat rongga diantara butiran-butiran tersebut.rongga - rongga tersebut merupakan porositas primer. porositas sekunder yaitu porositas yang terbentuk karena proses geologi yang dialami oleh batuan yang sudah jadi sehingga mengakibatkan terbentuknya space yang dapat menjadi porositas yang baru.

### 2.3 Pemanas listrik

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik yang bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang di gunakan adalah nikelin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator yang mampumeneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan. (Rokhadi, 2015) Melakukan penelitian Saluran udara segiempat dibuat menggunakan triplek berlapiskan melamin dengan dengan rangka dari kayu, dengan spesifikasi dimensinya adalah 150 mm x 75 mm x 2000

mm. Dengan pemanas elektrik (*heater*) dibuat dari lilitan pita nikelin dengan panjang 4 m, lebar 3 mm, dan tebal 1,3 mm yang dililitkan pada kertas mika tahan panas dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 150 mm, dan tebal 1 mm. Spesimen terdiri atas plat dasar (*base plate*) dengan panjang 200 mm, lebar 150 mm, tebal 6,5 mm. Plat dasar terbuat dari bahan duralumin. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan aliran udara masuk antara 0,5 – 6 m/s.

Untuk Tahanan pemanas listrik dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$R_m = V / I \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk daya pemanas yang dihasilkan pemanas menggunakan persamaan:

$$qt = \frac{V^2 \times \text{Cos } \phi}{R_m} \quad (2.3)$$

Faktor daya, Cos adalah 0,98 untuk beban resistif (pemanas) saat ini. Juga, total panas yang hilang oleh radiasi ke lingkungan dan oleh konduksi melalui lapisan isolasi dihitung dalam rentang parameter yang diuji, dan total panas yang hilang (Sakr, et.al, 2007). ( $Q_{\text{loss}}$ ) dapat dicari dengan persamaan :

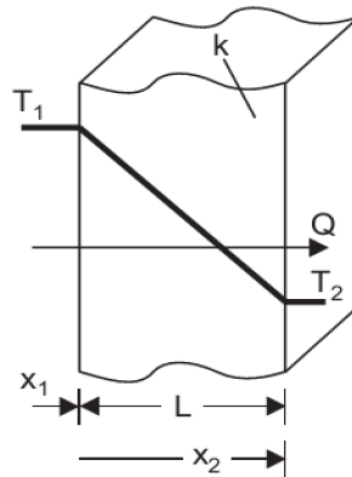
$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{konduksi}} + Q_{\text{radiasi}} \quad (2.4)$$

#### 2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari suatu tempat ke tempat akibat adanya perbedaan temperatur. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. (J.P. Holman, 2010).

### 2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah suatu energi berupa panas yang terjadi pada benda atau medium yang diam (padat) bertemperatur tinggi ke bagian benda yang bertemperatur pada benda tersebut. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Bila molekul – molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata – rata yang lebih besar dari pada energi kinetik yang dimiliki oleh molekul – molekul disekitarnya, sebagaimana yang diwujudkan pada benda yang berbeda temperatur, maka molekul – molekul yang memiliki energi lebih besar tersebut akan memindahkan sebagian energinya ke molekul – molekul didaerah temperature tersebut.



Gambar.2.4.Perpindahan Panas Konduksi (J.P Holman,2010)

Jika pada suhu benda terdapat gradien suhu (*temperatur gradient*), menurut pengalaman akan terjadi perpindahan panas dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Dikatakan bahwa energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal :

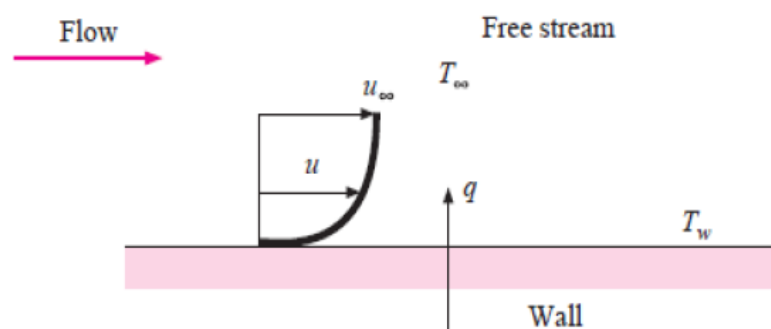
$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

Pada umumnya konduktivitas termal sangat tergantung pada suhu. Jika aliran panas dinyatakan dalam  $W / m^{\circ}C$ . Laju panas dan nilai konduktivitas termal menunjukkan berapa cepat panas mengalir dalam bahan tertentu. Dan setiap benda memiliki konduktivitas termal yang berbeda-beda, seperti terlihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

#### 2.4.2 Perpindahan panas konveksi

Proses perpindahan panas secara konveksi adalah suatu benda padat berhubungan (kontak) dengan fluida yang berbeda suhunya, akan terjadi perpindahan panas dari benda bersuhu tinggi ke fluida bersuhu lebih rendah ( atau sebaliknya jika suhu fluida lebih tinggi). Salah satu hukum dalam penghantaran panas yang tertua adalah hukum pendingin Newton. Hukum ini menyatakan bahwa fluks panas (heat flux), yang didefinisikan sebagai laju perpindahan panas per luas satuan, pada suatu permukaan padatan yang berhubungan (kontak) dengan fluida adalah sebanding dengan perbedaan suhu permukaan benda padat  $T_s$  dan suhu fluida sekeliling  $T_f$ . Dengan  $q$  adalah fluks panas. Jika kita memasukkan faktor keseimbangan, yaitu koefisien perpindahan panas konveksi  $h$ , maka besarnya aliran panas konveksi dapat dinyatakan sebagai :

$$q = hA(T_{\infty} - T_s) \quad (2.6)$$



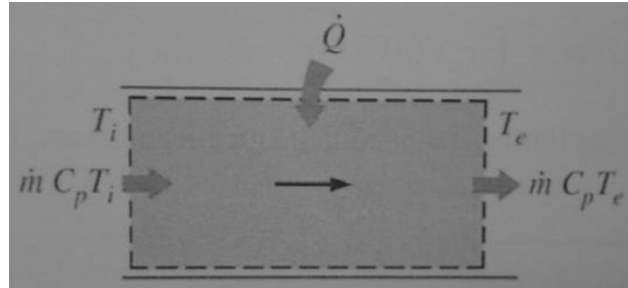
Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi (J.P Holman,2010)

Perpindahan panas konveksi sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fluida seperti viskositas dinamik  $\mu$ , konduktivitas termal  $k$ , densitas  $\rho$ , dan kapasitas panas  $c_p$ , serta kecepatan fluida  $V$ . Konduktivitas termal fluida dan laju aliran



massa memegang peranan penting dalam perpindahan energi konveksi (Umurani & Muharnif, 2019). Laju perpindahan panas konveksi dapat dinyatakan dengan :

$$q = h.A.\Delta T \quad (2.7)$$



Gambar 2.6. Perpindahan panas ke fluida yang mengalir di dalam saluran adalah sama dengan kenaikan energi fluida Haryanto, A. (2015).

Perpindahan kalor konveksi bergantung pada viskositas fluida di samping ketergantungannya kepada sifat-sifat termal fluida itu (konduktivitas termal, kalor spesifik, densitas). Hal ini dapat dimengerti karena viskositas mempengaruhi profil kecepatan, dan karena itu mempengaruhi laju perpindahan panas di daerah dinding (Shahanwajet.al, 2015).

Untuk perpindahan panas konveksi di dalam saluran udara dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_{conv} = m.Cp.(T_{in} - T_{out}) \quad (2.8)$$

#### 2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses mengalirnya panas dari benda bertemperatur tinggi ke bertemperatur rendah masing – masing benda berada di dalam ruang yang sama, bahkan jika terdapat diruang hampa diantara benda – benda tersebut. Energi panas radiasi mengenai suatu bahan, maka sebagian radiasi akan di pantulkan, sebagian lain diserap oleh bahan dan sebagian lainnya diteruskan kebagian yang lain. Menghitung besarnya energy radiasi dapat digunakan persamaan.

$$q_{rad} = \varepsilon.\sigma.AT^4 \quad (2.9)$$



Gambar 2.7 Perpindahan Panas Radiasi (J.P Holman,2010)

Dimana  $q$  ialah konstanta proporsional dan disebut konstanta stefan boltzman dengan nilai  $5,67 \times 10^{-8} \text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Persamaan diatas disebut hukum stefan boltzman tentang radiasi thermal, dan berlaku hanya untuk benda hitam.

### 2.5 Konduktivitas Termal

Koefisien termal ( $k$ ) didefinisikan sebagai laju perpindahan panas pada suatu benda dengan suatu gradien temperatur. Dengan kata lain konduktivitas termal menyatakan kemampuan bahan menghantarkan kalor. Koefisien konduktivitas termal ( $k$ ) merupakan formulasi laju panas pada suatu benda dengan suatu gradien temperatur. Nilai konduktivitas termal sangat berperan penting untuk menentukan jenis dari penghantar yaitu konduksi yang baik atau buruk.

Bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik disebut dengan konduktor, misalnya logam. Sedangkan bahan yang mempunyai konduktivitas jelek disebut isolator, misalnya asbes, wol, dsb. Suatu bahan dikatakan konduktor apabila bahan tersebut mempunyai nilai  $k$  yang besar yaitu  $> 4.15 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$ , biasanya bahan tersebut terbuat dari logam. Sedangkan untuk isolator mempunyai nilai  $k < 4.01 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$ , biasanya bahan tersebut terbuat dari bahan bukan logam. Nilai konduktivitas termal penting untuk menentukan jenis dari penghantar yaitu konduksi panas yang baik (*good conductor*) untuk nilai koefisien konduktivitas termal yang besar dan penghantar panas yang tidak baik (*good isolator*) untuk nilai koefisien panas yang kecil. Pada table 2.1 kita melaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan.

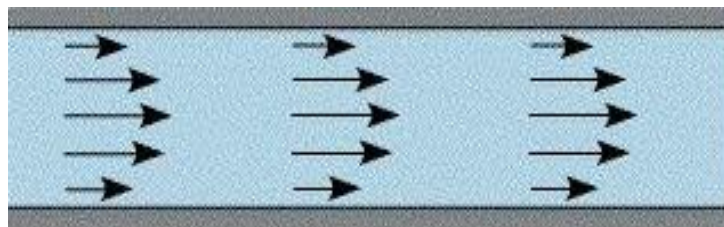
Tabel 2.1 Nilai Konduktivitas Termal Beberapa Bahan

	Bahan	Konduktivitas termal K W/m°C	Panas spesifik J/Kg°C
Logam	Perak ( murni )	410	234
	Tembaga ( murni )	385	383,1
	Aluminium(murni )	202	896
	Nikel ( murni )	93	445,9
	Besi ( murni )	73	452
	Baja karbon 1 % C	43	473
Bukan logam	Kuarasa	41,6	820
	Magnesit	4,15	1130
	Batu pasir	1,83	710
	Kaca	0,78	880
	Kayu maple	0,17	240
Zat cair	Air raksa	8,21	1430
	Air	0,556	4225
Gas	H	0,175	14314
	He	0,141	5200
	Udara	0,024	1005
	Uap air jenuh	0,0206	2060

( J.P Holman, 2010)

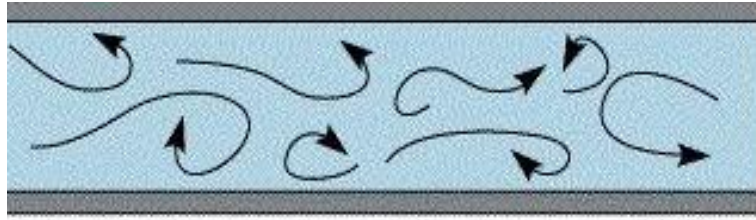
## 2.6 Bilangan reynold

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gayainersia terhadap gaya viskositas yang menjumlahkan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen(Tanno et al., 2010).



Gambar 2.8 Aliran Laminar

Biasanya bilangan Reynold pada angka  $Re < 2000$  merupakan batas aliran laminar dan angka lebih besar dari  $Re > 4000$  dikatakan sebagai aliran turbulen.



Sperti ditunjukkan pada gambar

(2.4) dan (2.5) sedangkan Reynold di antara keduanya dikatakan aliran transisi.

Gambar 2.9 Aliran Turbulen

Bilangan Reynold juga merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida (Wang et al., 2017). Dan digunakan seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, Bilangan Reynold dapat dicari menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D_h}{\mu} \quad (2.10)$$

Bilangan Reynold dapat dicari dengan sebelumnya mencari temperatur rata-rata fluida (*temperatur film*) :

$$T_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (2.11)$$

Bilangan  $Nu$  merupakan fungsi universal dari bilangan  $Re$ . Apabila fungsi bilangan  $Re$  diketahui, maka dapat digunakan untuk menghitung nilai  $Nu$  untuk fluida, nilai kecepatan, dan skala panjang yang berbeda.

## 2.7 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt adalah rasio pindah panaskonveksi dan konduksi normal, yaitu pada suatu titik terjadinya perpindahan panas secara konveksi dan konduksi secara bersamaan. Besarnya kalor yang dilepaskan secara konveksi sama dengan perpindahan kalor yang dilepaskan secara konduksi, secara umum bilangan Nusselt pada aliran bebas dapat di hitung dengan persamaan :

$$N_{uL} = \frac{h \cdot L}{k_f} \quad (2.12)$$

Bilangan Nusselt menunjukkan peningkatan relatif perpindahan panas konveksi melalui lapisan fluida dibandingkan konduksi konduksi melintasi lapisan fluida yang sama. Makin besar angka Nusselt berarti perpindahan panas konveksi makin efektif. Rumus diatas dipakai untuk menghitung bilangan Nusselt plat rata pada aliran bebas berdasarkan (J.P. Holman 2010). Sedangkan bilangan Nusselt pada aliran di dalam saluran udara menggunakan persamaan :

$$N_{uL} = \frac{h \cdot D_h}{k_f} \quad (2.13)$$

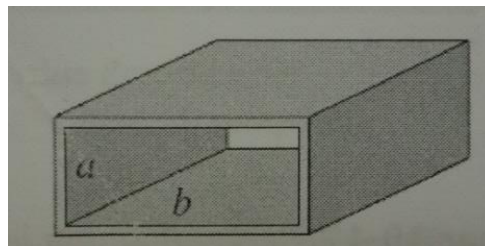
Untuk Bilangan Nusselt pada aliran turbulen di dalam saluran udara dapat merujuk pada persamaan Dittus Boelter :

$$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h} D_h}{k} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (2.14)$$

(Agus Hrianto, 2015) Menyatakan bahwa aliran di bahwa pipa laminar atau turbulen, bergantung pada kondisi aliran. Kebanyakan aliran didalam praktek adalah turbulen. Aliran laminar terjadi jika fluidanya kental didalam saluran yang kecil. Untuk aliran di dalam tak bundar (noncircular), Angka Reynolds, juga angka Nusselt, dan faktor di gesekan hitung menggunakan diameter hidraulik  $D_h$  yang didefinisikan sebagai:

$$D_h = \frac{4 A_C}{P} \quad (2.15)$$

di mana  $A_C$  adalah luas penampang dan  $p$  adalah perimeter (keliling) saluran



Gambar 2.30 Diameter hidraulik bentuk saluran atau kanal: segi empat Haryanto A. 2015)

Untuk saluran udara segiempat, diameter hidroluk,  $D_h$  , dihitung dengan persamaan:

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4 \cdot H \cdot w_b}{2 \cdot (H + w_b)} \quad (2.16)$$

Bilangan  $Nu$  merupakan fungsi universal dari bilangan  $Re$ . Apabila fungsi bilangan  $Re$  diketahui, maka dapat digunakan untuk menghitung nilai  $Nu$  untuk fluida, nilai kecepatan, dan skala panjang yang berbeda.

## 2.8 Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl adalah salah satu bilangan tak berdimensi ( $Pr$ ) yang bekerja pada ketebalan relatif lapisan batas kecepatan dan lapisan batas termal.

## 2.9 Faktor Gesekan

Penelitian penurunan tekanan (*pressure drop*) sepanjang seksi uji dalam saluran diukur di bawah kondisi aliran panas. Pengukuran ini dikonversi ke faktor gesekan (*friction factor*),  $f$ . Faktor gesekan ditentukan dari nilai pengukuran penurunan tekanan,  $\Delta p$ , sepanjang seksi uji menggunakan persamaan :

$$f = \frac{\Delta P}{\left[ \left( \frac{L}{D_h} \right) \left( \rho \frac{V^2}{2} \right) \right]} \quad (2.17)$$

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Adapun tempat dilakukannya penelitian “Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media” di laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah kannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai di nyatakan selesai.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul						
2	Studi literatur						
3	Penyediaan alat dan bahan						
4	Penulisan proposal BAB 1 s/d BAB 3						
5	Seminar proposal						
6	Perancangan desain saluran dengan penambahan porous media						
7	Menganalisa perpindahan panas saluran dengan penambahan porous media						
8	Penulisan laporan akhir						
9	Seminar hasil dan sidang sarjana						

## 3.2 Bahan dan Alat

### 3.2.1 Bahan

Adapun bahan yang di gunakan dalam pembuatan alat ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Triplek Melamin

Triplek melamin digunakan untuk membuat saluran segiempat dengan ukuran 150 mm x 75 mm dan panjang 2000 mm.



Gambar 3.1 Triplek melamin

#### 2. Besi siku berlubang

Besi siku berlubang digunakan untuk rangka saluran segiempat dan komponen lainnya. Besi yang digunakan untuk rangka saluran segiempat yaitu besi siku berlubang 30 x 30 mm, dan tebal 1,2 mm



Gambar 3.2 Besi siku berlubang



### 3.2.2 Alat penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Saluran udara segiempat

Saluran udara segiempat dibuat menggunakan triplek berlapiskan melamindengan rangka dari kayu, dimana dengan spesifikasi dimensi penampang bagian dalam dari saluran udara segiempat adalah 150 mm x 75 mm dan panjang 2000 mm. Seperti pada gambar 3.6. Saluran udara segiempat ini dilengkapi dengan:



Gambar 3.3 Alat penelitian pada saluran segiempat

#### 2. Plat Datar Aluminium

Permukaan pemanas terbuat dari plat aluminium yang memiliki dimensi panjang 200 mm dan lebar 150 mm, dengan ketebalan 1mm. Plat aluminium terletak berada di atas pemanas listrik.



Gambar 3.4 Plat Aluminium

### 3. Pemanas Listrik (*Electric Heater*).

Pemanas listrik terbuat dari lilitan pita nikelin dengan diameter 0,5 mm dan panjang 10.000 mm yang dililitkan pada kertas mika tahan panas sebanyak 42 lilitan dengan dimensi panjang 180 mm, lebar 130 mm, dan tebal 1 mm. Pemanas listrik dipasang tepat dibawah di bawah plat alumunium dan dilapisi dengan mika tahan panas yang terletak di antara plat dan pemanas .



Gambar 3.5 Pemanas Listrik (*electric heater*)

### 4. Isolasi Asbes

Isolasi asbes diletakkan di bawah pemanas listrik, berfungsi untuk memberikan isolasi pada pemanas,



Gambar 3.6 Isolasi Asbes

5. Pelurus Aliran Udara (*Flow Straightener*)

Terbuat dari sedotan plastik berdiameter 5 mm, panjang 200 mm yang disusun sedemikian sehingga membentuk segiempat dengan dimensi 150 mm x 75 mm , dipasang pada bagian udara masuk ke saluran udara segiempat.



Gambar 3.7 Pelurus Aliran Udara (*Flow Straightener*)

6. Manometer tipe U

Manometer digunakan untuk mengukur penurunan tekanan udara yang terjadi antara sisi masuk dan sisi keluar seksi uji. Manometer pipa U terbuat dari selang plastik berdiameter 5 mm yang kedua ujungnya ditempatkan pada awal dan akhir dari seksi uji sejarak 250 mm, sehingga dapat mengukur besarnya beda tekanan yang terjadi antara keduanya. Fluida yang digunakan dalam manometer ini adalah solar.



Gambar 3.8 Manometer tipe U

## 7. Dimmer

Dimmer adalah sebuah rangkaian komponen elektronika dari input sinyal AC kemudian sinyal tersebut diproses Menjadi sinyal AC Phase maju dari pada sinyal AC inputan, yang menyebabkan Penurunan Daya (Watt).



Gambar 3.9 Dimmer

## 8. Porous Media

Porous Media yang digunakan adalah batu yang mencakup padat, dan memiliki dimensi panjang 200mm, lebar 150 mm, tinggi 30 dan tinggi 50mm.yang disusun dengan jaring kawat dan ditempatkan di atas pelat datar.



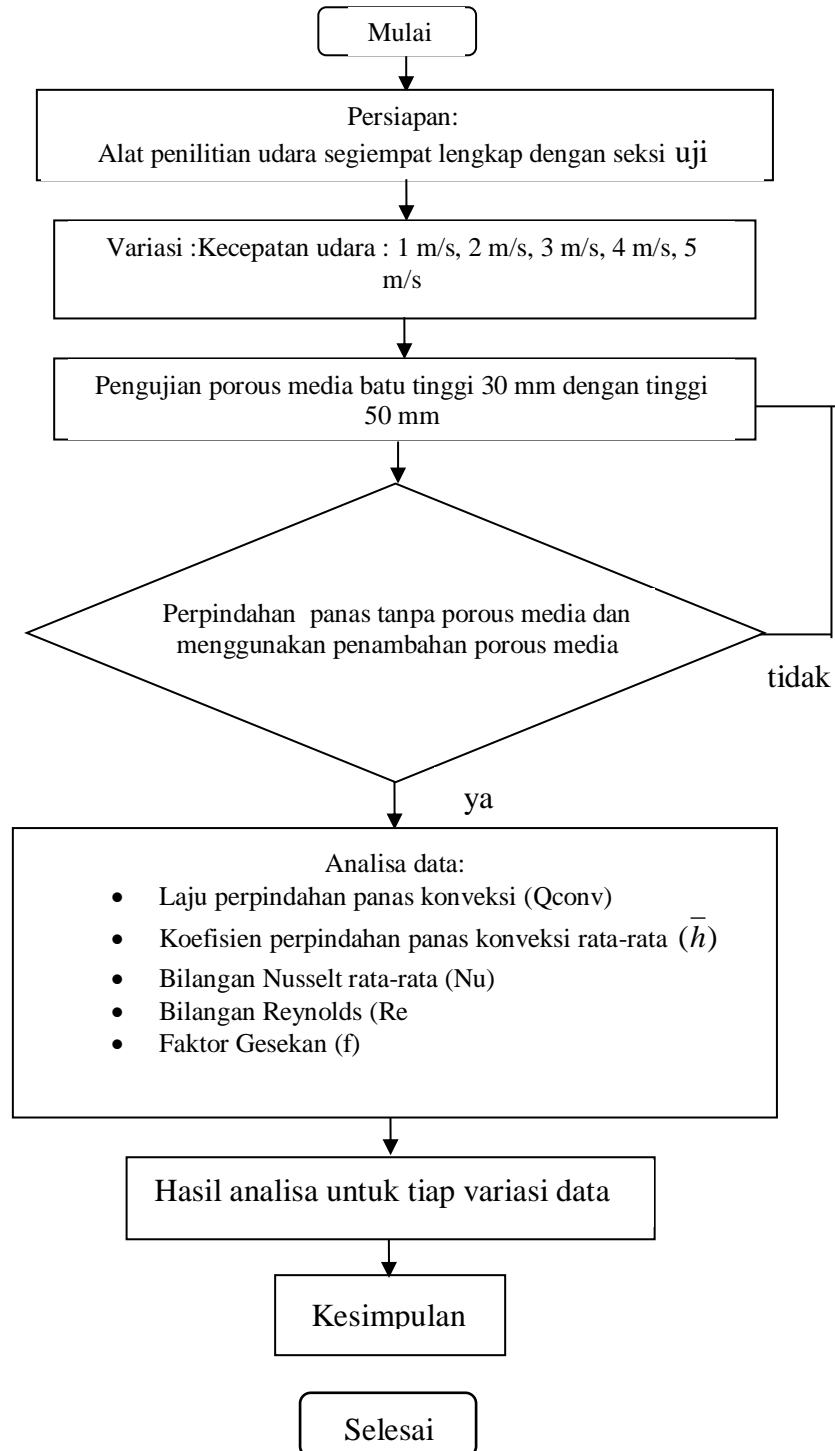
Gambar 3.10 Porous Media 30 mm



Gambar 3.11 Porous media 50 mm

### 3.3 Bagan alir penelitian

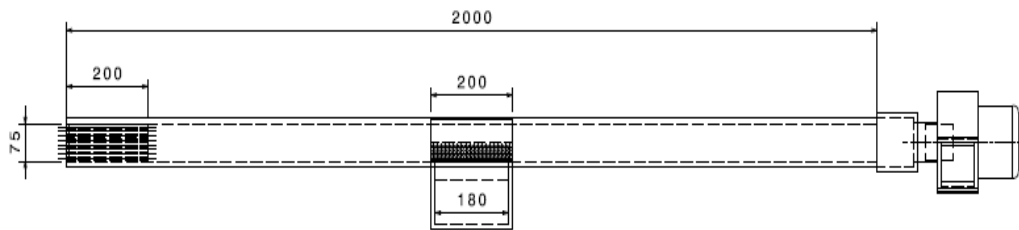
Bagan Alir Penelitian dapat dilihat sebagai berikut:



### 3.4 Rancangan alat penelitian

#### Skema Alat Penelitian

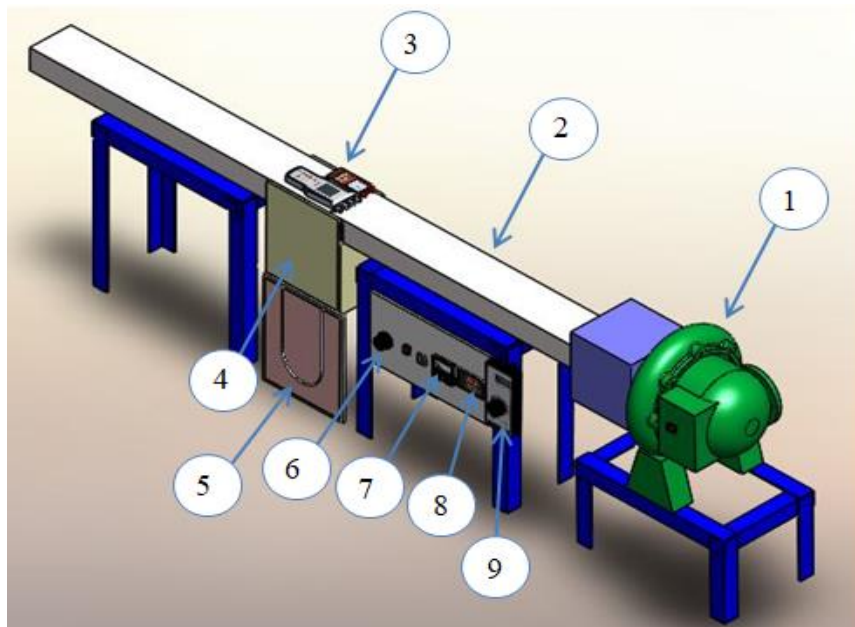
Pada gambar sketsa 3.12 menunjukkan ukuran pada saluran yang berbentuk segiempat.



Gambar 3.12 Sketsa alat penelitian

#### Bagian Bagian Komponen Alat Penelitian

Pada penelitian Perpindahan panas pada saluran segiempat, udara akan masuk pada bagian depan saluran yang dimana udara tersebut di hisap oleh blower dan melewati media berpori batu yang telah di panaskan oleh heater, udara akan melewati pada saluran yang berfungsi untuk memperlambat laju udara yang terjadi pada saluran segi empat.



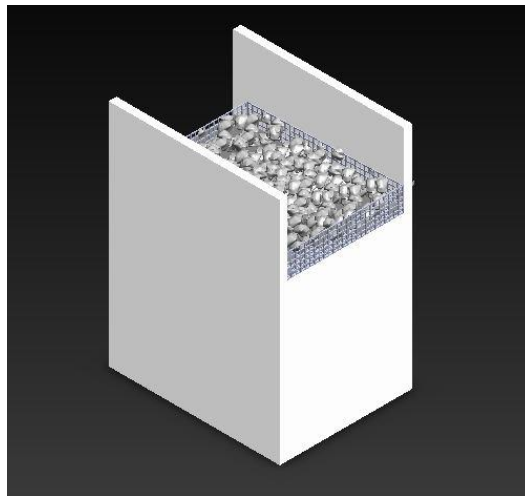
Gambar 3.13 Bagian – bagian komponen alat penelitian

#### Bagian-bagian alat

1. Blower
2. Thermocouple digital
3. Saluran segiempat dengan
4. Rumah heater
5. Dimmer
6. Voltmeter
7. Amperemeter digital
8. Speed controller

#### Porous media

Porous media yang digunakan adalah batu yang mencakup padat, yang disusun dengan jaring kawat dan di tempatkan di atas pelat datar pada heater sebagai pemanas yang di aliri oleh listrik.



Gambar 3.27 Porous media

#### 3.5 Prosedur penelitian

Pengujian dilakukan di dalam saluran udara persegi empat dengan melakukan pengukuran eksperimental pada pemanas yang diatur pada tegangan 45 Volt. menghitung porositas porous media benda uji, Setelah kondisi tunak tercapai, mencatat suhu pada pada plat rata dan suhu udara sekitar. Menghitung koefisien perpindahan panas lokal dihitung oleh daya listrik yang dihasilkan dari pemanas. daya listrik dari pemanas ditentukan dari tegangan yang di ukur dan



hambatan pemanas yang dikur dengan faktor daya ,  $\cos \phi$ , adalah 0,98. Menghitung bilang Reynold dan bilangan Nusslet berdasarkan aliran udara, serta menghitung perpindahan panas Konveksi, menghitung penurunan tekanan dan faktor gesekan.

### 3.5.1 Langkah Persiapan

Memastikan bahwa porous media dan seluruh alat yang digunakan dalam pengujian, seperti fanhisap, saluran udara, seksi uji, pemanas, dimmer, manometer dan alat pendukung lainnya telah terpasang dengan benar dan berfungsi dengan baik. Memastikan termokopel pengukur temperatur udara masuk dan keluar telah terhubung kethermometer digital serta termokopel pengukur temperatur pada base plat telah terpasang dengan benar.

### 3.5.2 Langkah Percobaan

Adapun langkah-langkah prosedur percobaan sebagai berikut :

1. Memasang porous media ke dalam saluran udara
2. Menghubungkan semua thermocouple dengan thermometer
3. Menghidupkan Heater dengan mengatur tegangan pada 45 volt
4. Tunggu temperatur pada base plat dalam kondisi tunak (*steady state*)
5. Mengukur temperatur permukaan base plat
6. Menghidupkan blower fan dan mengatur kecepatan udara pada 1 m/s menggunakan speed controler
7. Mencatat seluruh data temperatur dan perbedaan ketinggian manometer pada setiap 3 menit sekali selama 15 menit
8. Mencatat tegangan listrik dan arus listrik yang mengalir pada heater dan fan hisap
9. Matikan heater dan fan hisap setelah mengambil data
10. Ulangi percobaan untuk kecepatan variasi udara yang lain (1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s )
11. Mengulangi percobaan dengan mengganti porous media yang berbeda
12. Matikan semua alat setelah mengambil data penelitian



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Data Perpindahan Panas Pada Saluran Tanpa Porous Media

Dari percobaan perpindahan panas pada saluran tanpa porous media dengan kecepatan udara 1 m/s yang dilakukan didapat data penelitian:

Tegangan pada pemanas (V)	= 45 V
Arus pada pemanas (I)	= 0,3 A
Tegangan fan (Vf)	= 76 V
Arus fan (If)	= 0,24 A
Ketinggian fluida Monometer (h)	= 0 mm

Tabel 4.1 Data hasil penelitian perpindahan panas pada saluran tanpa Porous Media Pada kecepatan udara 1 m/s

Waktu(s)	$T_{in} ( ^\circ C )$	$T_{out} ( ^\circ C )$
180	30,3	34,8
360	30,4	30,9
540	30,3	30,3
720	30,1	30,1
900	30,1	30,1

$$T_{in,rata-rata} = T_{in} = 30,3 \text{ } ^\circ C = 303,3 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{out,rata-rata} = T_{out} = 34,8 \text{ } ^\circ C = 307,8 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{base,rata-rata} = T_b = 170,5 \text{ } ^\circ C = 443,5 \text{ } ^\circ K$$

Perhitungan data dari hasil percobaan perpindahan panas pada saluran tanpa porous media dengan kecepatan udara 1 m/s yang dilakukan adalah

- Temperatur *film*

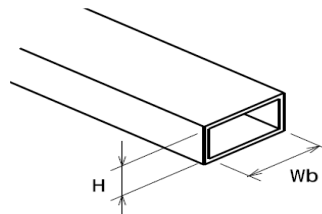
$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \\
 &= \frac{303,3 \text{ } ^\circ K + 307,8 \text{ } ^\circ K}{2} \\
 &= 373,4 \text{ } ^\circ K
 \end{aligned}$$

- Properti Udara Perpindahan Panas Pada Saluran Tanpa Porous Media

Tab 4.2 Tabel appendix A-5 Properti Udara

Properti udara	Suhu udara (364,15 K)
$\rho(kg / m^3)$	0,9954728
$cp(kJ / kg.^{\circ}C)$	1,01134
$\mu \times 10^5 (kg/m.s)$	2,173748
$k(W / m.s)$	0,03172416
Pr	0,690448

- Luas penampang melintang perpindahan panas pada saluran udara segiempat tanpa porous media



Gambar 4.7 Sketsa Saluran Udara

$$\begin{aligned}
 A &= H.W_b \\
 &= 0,075 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\
 &= 0,01125 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas permukaan perpindahan panas pada saluran segiempat tanpa porous media

$$\begin{aligned}
 A &= W_b \times L \\
 &= 0,15 \times 0,20 \\
 &= 0,03 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Diameter hidrolis saluran udara segiempat tanpa porous media

$$\begin{aligned}
 Dh &= \frac{4A}{P} \\
 &= \frac{4.H.W_b}{2(H + W_b)} \\
 &= \frac{4 \times 0,075 \text{ m} \times 0,15}{2 \times (0,075 + 0,15)} \\
 &= 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Bilangan Reynold pada saluran segiempat tanpa porous media  $\rho$  dan  $\mu$  diambil dari tabel 4.1

$$\begin{aligned}
 R_e &= \frac{\rho.u.D_h}{\mu} \\
 &= \frac{0,9954728 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m/s} \times 0,1 \text{ m}}{2,173748 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}} \\
 &= 4579,522557
 \end{aligned}$$

- Laju aliran masa udara pada saluran segi empat tanpa porous media

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho.A.V \\
 &= 0,9954728 \text{ Kg} \times 0,001125 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m/s} \\
 &= 0,011199069 \text{ Kg/s}
 \end{aligned}$$

- Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi yang terjadi pada saluran segiempat tanpa porous media.

Tabel 4.3 Data Hasil Penelitian Pada Perpindahan Panas Konveksi

$M$	$C_p$	$T_{out} (^{\circ}K)$	$T_{in} (^{\circ}K)$
0,011199069	1.01134	307,8	303,3

$$\begin{aligned}
 Q_{conv} &= m.C_p.(T_{out} - T_{in}) \\
 &= 0,011199069 \text{ Kg/s} \times 1,01134 \text{ j/Kg.}^{\circ}\text{C} \times (307,8 - 303,3)^{\circ}\text{K} \\
 &= 22,45410703 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Bilangan Nusselt rata-rata pada saluran segi empat tanpa porous media. Karena Bilangan Reynold  $Re > 4000$ , adalah turbulen maka bilangan Nusselt memakai persamaan Dittus and Boelter.

$$\begin{aligned}\overline{Nul} &= \frac{\bar{h}L}{k} = 0,023 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4} \\ &= 0,023(4579,522557^{0,8})(0,690448^{0,4}) \\ &= 16,82815054\end{aligned}$$

- Koefisien Perpindahan panas Rata- rata pada saluran segiempat tanpa porous media.

$$\begin{aligned}\bar{h} &= \overline{Nul} \frac{k}{D_h} \\ &= \frac{16,82815054 \times 0,03172416}{0,1} \\ &= 5,338589402 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}\end{aligned}$$

- Penurunan tekanan yang terjadi pada saluran segiempat tanpa porous media.

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 0,9954728 \text{ kg / m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,001 \text{ m} \\ &= 0,009765588 \text{ Pa}\end{aligned}$$

- Faktor Gesekan pada saluran segiempat tanpa porous media.

$$\begin{aligned}f &= \frac{\Delta P}{\left[ \left( \frac{L}{Dh} \right) \left( \rho \frac{V^2}{2} \right) \right]} \\ &= \frac{0,009765588 \text{ Pa}}{\left[ \left( \frac{0,2 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} \right) \left( 0,9954728 \text{ Kg / m}^3 \times \frac{(1 \text{ m/s})^2}{2} \right) \right]} \\ &= 0,453930719\end{aligned}$$

#### 4.2 Perhitungan Porositas Porous Media

Pada penelitian ini perpindahan panas pada saluran menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm yang di susun di atas plat rata dengan porositas sebagai berikut :

- Porositas pada porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm

Porous media Batu Tinggi 30 mm

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{v_t - v_s}{v_t} \times 100 \\ &= \frac{(p.l.t) - ((4/3.\pi.r^3) \times \text{jumlahbatu})}{(p.l.t)} \times 100 \\ &= \frac{(20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}) - ((4/3.(22/7) \times (0,75 \text{ cm})^3 \times 282))}{(20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 3 \text{ cm})} \times 100 \\ &= \frac{900 \text{ cm}^3 - (1,7678 \text{ cm}^3 \times 282)}{900 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 44,6\% \end{aligned}$$

maka, porositas pada porous media batu tinggi 30 mm sebesar 44,8%

Porous Media Batu Tinggi 50 mm

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{v_t - v_s}{v_t} \times 100 \\ &= \frac{(p.l.t) - ((4/3.\pi.r^3) \times \text{jumlahbatu})}{(p.l.t)} \times 100 \\ &= \frac{(20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}) - ((4/3.(22/7) \times (0,75 \text{ cm})^3 \times 423))}{(20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 3 \text{ cm})} \times 100 \\ &= \frac{900 \text{ cm}^3 - (1,7678 \text{ cm}^3 \times 423) \text{ cm}}{900 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 16,9\% \end{aligned}$$

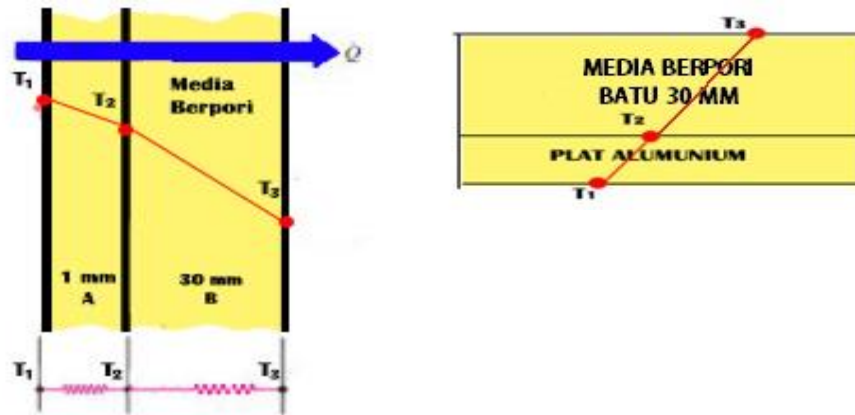
maka, porositas pada porous media batu tinggi 50 mm sebesar 16,9 %

Tabel 4.4 Porositas menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm

No	Pengujian	Vt	Vs	Porositas
1	Batu 30 mm	900	498,5196	44,60893333
2	Batu 50 mm	900	747,7794	16,9134

#### 4.3 Menghitung Perpindahan Panas Konduksi Pada Kondisi Tunak

- Perpindahan Panas Konduksi Pada Saluran dengan Penambahan Porous Media Batu dengan tinggi 30 mm



Gambar 4.1 Perpindahan panas konduksi pada saluran dengan dengan penambahan porous media batu tinggi 30 mm

Tabel 4.5 Data Hasil Penelitian Perpindahan Panas Konduksi Pada Porous Media Batu Tinggi 30 mm

Temperatur Plat Almunium ( $T_1$ °C)	Temperatur Porous Media Batu ( $T_3$ °C)
175.6	80

Temperatur pada porous media batu ( $T_1$ ) = 425 °K

Temperatur pada porous media batu ( $T_3$ ) = 375,3 °K

Nilai resistensi termal masing-masing bahan

Konduktivitas Thermal bahan diambil dari tabel 2.1

Resistensi Pada Plat Alumunium

$$R_A = \frac{L}{K_A \cdot A} = \frac{0,001m}{202 (W / m.K) \times 0,03m^2} = 0,000165 K/W$$

Resistensi pada media berpori batu tinggi 30 mm

$$R_B = \frac{L}{K_B \cdot A} = \frac{0,03m}{1,83 (W / m.K) \times 0,03m^2} = 0,546448 K/W$$

Total Perpindahan Panas Konduksi Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media Batu Tinggi 30 mm

$$q/L = \frac{\Delta_{Total}}{R_{Total}} = \frac{(T_1 - T_3)}{R_A + R_B} = \frac{425 K - 375,3 K}{0,546613 K/W} = 90,923 W$$

Temperatur Di Atas Plat Alumunium ( $T_2$ )

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_A}$$

$$90,923 \text{ W} = \frac{425 \text{ K} - T_2}{0,000165 \text{ K/W}}$$

$$T_2 = 424,98 \text{ K}$$

Perpindahan Panas Konduksi Pada Plat Alumunium



Gambar 4.2 Perpindahan panas konduksi pada plat alumunium

$$q_A = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{K_A \cdot A}} = \frac{(425 \text{ K} - 424,97 \text{ K})}{0,000165 \text{ K/W}} = 90,923 \text{ W}$$

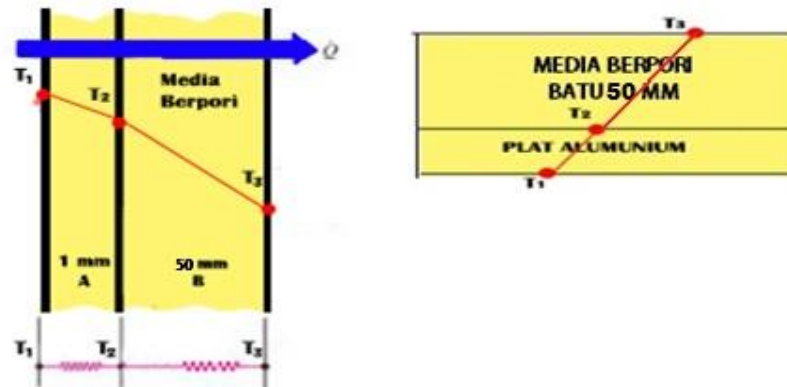
Perpindahan Panas Konduksi Pada salura dengan penambahan Porous Media Batu tinngi 30 mm



Gambar 4.3 Perpindahan panas konduksi pada saluran dengan penambahan porous media batu tinngi 30 mm

$$q_B = \frac{T_2 - T_3}{\frac{L}{K_B \cdot A}} = \frac{(424,97 \text{ K} - 360,7 \text{ K})}{0,546 \text{ K/W}} = 90,923 \text{ W}$$

- Perpindahan Panas Konduksi Pada Saluran dengan Penambahan Porous Media Batu dengan Tinggi 50 mm



Gambar 4.4 Perpindahan panas konduksi pada saluran dengan dengan penambahan porous media batu tinggi 50 mm

Tabel 4 .6 Data Hasil Penelitian Perpindahan Panas Konduksi Pada Porous Media Batu Tinggi 30 mm

Temperatur Plat Almunium( $T_1$ °C )	Temperatur Porous Media Batu ( $T_3$ °C )
175,6	53,9

Temperatur pada plat rata alumunium ( $T_1$ )= 421,1°K

Temperatur pada porous media batu ( $T_3$ )= 326,9°K

Nilai resistensi termal masing-masing bahan

Resistensi Plat Alumunium

$$R_A = \frac{L}{K_A \cdot A} = \frac{0,0001m}{202 (W / m.K) \times 0,03m^2} = 0,000165 \text{ K/W}$$

Resistensi pada media porous media tinggi50 mm

$$R_B = \frac{L}{K_B \cdot A} = \frac{0,03m}{1,83 (W / m.K) \times 0,03m^2} = 0,546448 \text{ K/W}$$

Total Perpindahan Panas Konduksi Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media Tinggi 50 mm

$$q/L = \frac{\Delta_{Total}}{R_{Total}} = \frac{(T_1 - T_3)}{R_A + R_B} = \frac{(421K - 326,9K)}{0,546613 \text{ K/W}} = 286,86 \text{ W}$$



Temperatur Di Atas Plat Alumunium ( $T_2$ )

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_A}$$
$$286,86 \text{ W} = \frac{421 \text{ K} - T_2}{0,000165 \text{ K/W}}$$
$$T_2 = 420,95 \text{ K}$$

Perpindahan Panas Konduksi Pada Plat Alumunium



Gambar 4.2 Perpindahan panas konduksi pada plat alumunium

$$q_A = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{K_A \cdot A}} = \frac{(421 \text{ K} - 420,95 \text{ K})}{0,000165 \text{ K/W}} = 286,86 \text{ W}$$

Perpindahan Panas Konduksi Pada salura dengan penambahan Porous Media Batu tinngi 50 mm



Gambar 4.3 Perpindahan panas konduksi pada saluran dengan penambahan porous media batu tinngi 50 mm

$$q_B = \frac{T_2 - T_3}{\frac{L}{K_B \cdot A}} = \frac{(420,95 \text{ K} - 326,9 \text{ K})}{0,546 \text{ K/W}} = 286,86 \text{ W}$$

#### 4.4 Perhitungan Data Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media.

Dari percobaan perpindahan panas pada saluran dengan penambahan porous media batu dengan kecepatan udara 1 m/s yang dilakukan didapat data penelitian :

Panjang porous media (m)	= 200 mm	= 0,2 m
Lebar porous media	= 150mm	= 0,15 m
Tinggi porous media	= 30 mm	= 0,03
	= 50 mm	= 0,05
Tegangan pada pemanas (V)	= 45 V	
Arus pada pemanas (I)	= 0,3 A	
Tegangan fan (Vf)	= 77 V	
Arus fan (If)	= 0,25 A	
Ketinggian fluida Monometer (h)	= 1 mm	

Tabel 4.7 Data hasil penelitian Porous Media Batu 30 mm Pada kecepatan udara 1 m/s

Waktu(s)	$T_{in} ( ^\circ C )$	$T_{out} ( ^\circ C )$
180	30,3	31,9
360	30,6	34,2
540	30,2	34,1
720	30,1	33,7
900	30,3	34,1

$$T_{in,rata-rata} = T_{in} = 30,3 \text{ } ^\circ C = 303,3 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{out,rata-rata} = T_{out} = 31,9 \text{ } ^\circ C = 304,9 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{base,rata-rata} = T_b = 152 \text{ } ^\circ C = 425 \text{ } ^\circ K$$

Perhitungan data dari hasil percobaan pada porous media batu dengan kecepatan udara 1 m/s yang dilakukan adalah

- Temperatur *film*

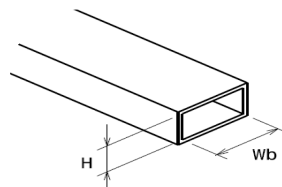
$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \\
 &= \frac{303,3^\circ K + 304,9^\circ K}{2} \\
 &= 304,1^\circ K
 \end{aligned}$$

- Properti Udara Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media

Tab 4.8 Tabel apendix A-5 Properti Udara

Properti udara	Suhu udara (364,15 K)
$\rho(kg / m^3)$	1,1626892
$cp(kJ / kg.^{\circ}C)$	1,0059706
$\mu \times 10^5 (kg/m.s)$	1,8649616
$k(W / m.s)$	0,026551
Pr	0,707098

- Luas penampang melintang saluran udara segi empat dengan penambahan porous media



Gambar 4.7 Sketsa Saluran Udara

$$\begin{aligned}
 A &= H.W_b \\
 &= 0,075 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\
 &= 0,01125 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas permukaan perpindahan panas pada saluran segiempat dengan penambahan porous media

$$\begin{aligned}
 A &= W_b \times L \\
 &= 0,15 \times 0,20 \\
 &= 0,03 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Diameter hidrolis saluran udara segiempat dengan penambahan porous media

$$\begin{aligned}
 Dh &= \frac{4A}{P} \\
 &= \frac{4.H.W_b}{2(H + W_b)} \\
 &= \frac{4 \times 0,075 \text{ m} \times 0,15}{2 \times (0,075 + 0,15)} \\
 &= 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Bilangan Reynold pada saluran segiempat dengan penambahan porous media

$\rho$  dan  $\mu$  diambil dari tabel 4.1

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho.u.D_h}{\mu} \\
 &= \frac{1,1626892 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 1 \text{ m} / \text{s} \times 0,1 \text{ m}}{1,8649616 \times 10^{-5} \text{ kg} / \text{m.s}} \\
 &= 9351,5802
 \end{aligned}$$

- Laju aliran masa udara pada saluran segiempat dengan penambahan porous media

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho.A.V \\
 &= 1,1626892 \text{ Kg} / \text{s} \times 0,001125 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m/s} \\
 &= 0,01308 \text{ Kg/s}
 \end{aligned}$$

- Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi yang terjadi pada saluran segiempat dengan penambahan porous media.

Tabel 4.9 Data hasil penelitian pada Perpindahan Panas Konveksi

$M$	$C_p$	$T_{out} (^{\circ}K)$	$T_{in} (^{\circ}K)$
0,013080254	1.0059706	304,9	303,3

$$\begin{aligned}
 Q_{conv} &= m.C_p.(T_{out} - T_{in}) \\
 &= 0,013080254 \text{ Kg/s} \times 1,0059706 \text{ j/Kg.}^{\circ}\text{C} \times (304,9 - 303,3)^{\circ}\text{K} \\
 &= 21,05336074 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- Bilangan Nusselt rata-rata pada saluran segi empat dengan penambahan porous media.

Karena Bilangan Reynold  $Re > 4000$ , adalah turbulen maka bilangan Nusselt memakai persamaan Dittus and Boelter.

$$\begin{aligned}\overline{Nul} &= \frac{\bar{h} L}{k} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \\ &= 0,023 (9351,580215^{0,8}) (0,707098^{0,4}) \\ &= 30,07652675\end{aligned}$$

- Koefisien Perpindahan panas Rata-rata pada saluran segiempat dengan penambahan porous media.

$$\begin{aligned}\bar{h} &= \overline{Nul} \frac{k}{D_h} \\ &= \frac{30,07652675 \times 0,026551}{0,1} \\ &= 5,323701633 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}\end{aligned}$$

- Penurunan tekanan yang terjadi pada saluran segiempat dengan penambahan porous media.

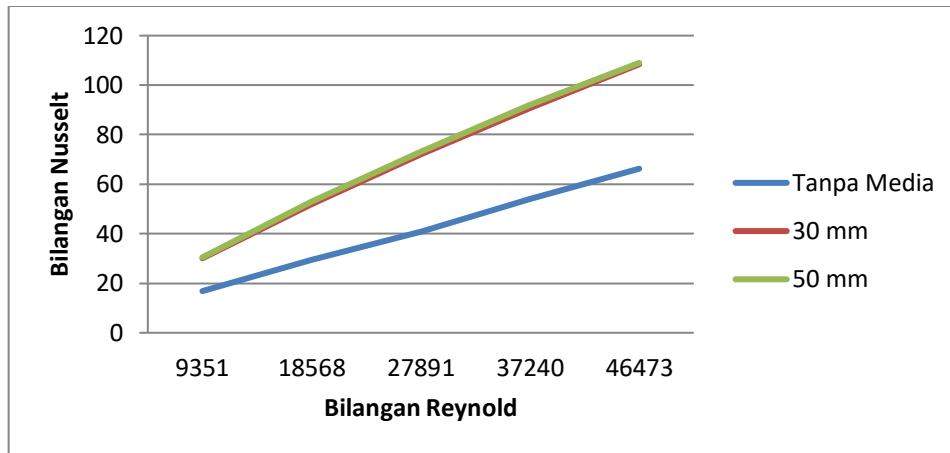
$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 1,1626892 \text{ kg / m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,001 \text{ m} \\ &= 0,011405981 \text{ Pa}\end{aligned}$$

- Faktor Gesekan pada saluran segiempat dengan penambahan porous media.

$$\begin{aligned}f &= \frac{\Delta P}{\left[ \left( \frac{L}{D_h} \right) \left( \rho \frac{V^2}{2} \right) \right]} \\ &= \frac{0,011405981 \text{ Pa}}{\left[ \left( \frac{0,2 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} \right) \left( 1,1626892 \text{ Kg / m}^3 \times \frac{(1 \text{ m / s})^2}{2} \right) \right]} \\ &= 0,0014715\end{aligned}$$

#### 4.5 Analisa Data

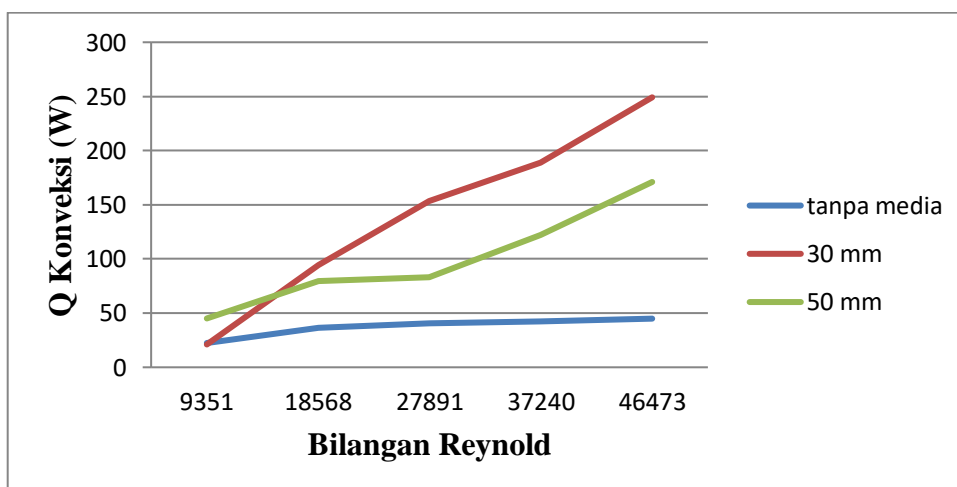
##### 1. Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Bilangan Nusselt Rata-rata



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Bilangan Reynold terhadap Bilangan Nusselt

Dari gambar grafik 4.1 pengaruh bilangan Reynold terhadap bilangan Nusselt. Semakin besar nilai bilangan Nusselt maka akan semakin meningkatnya bilangan Reynold. Hal ini disebabkan naiknya koefisien perpindahan panas pada saluran akibat laju aliran udara pada blower. Sehingga tidak ada perbedaan besar antara bilangan Nusselt pada saluran tanpa porous media dengan porous media batu tinggi 30 mm dan tinggi 50 mm, tetapi pada bilangan Reynold 46473, bilangan Nusselt tertinggi terjadi pada saluran porous media batu tinggi 50 mm sebesar 108,9942.

##### 2. Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Perpindahan Panas Konveksi

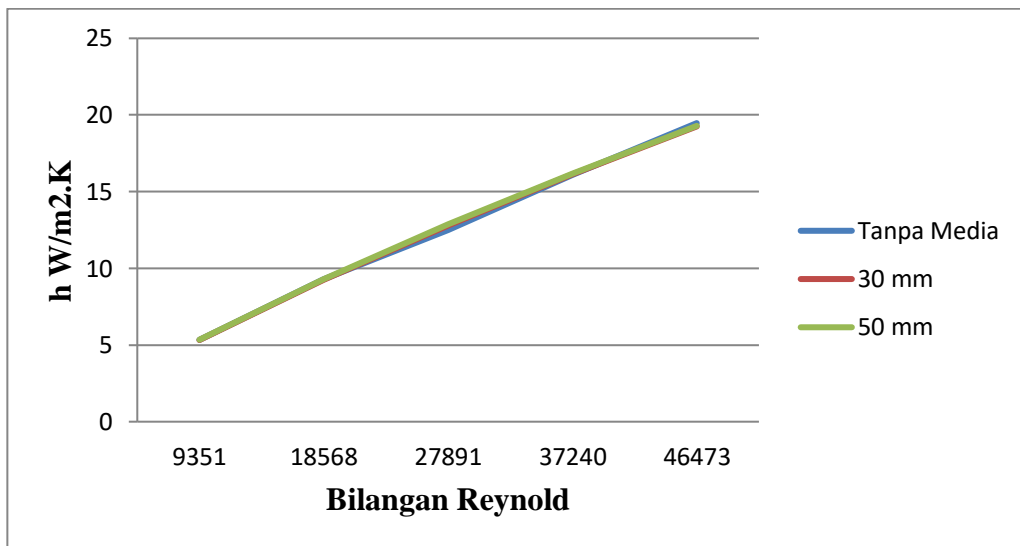


Gambar 4.2 Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Perpindahan Panas Konveksi

Dari gambar grafik 4.2 pengaruh Bilangan Reynold terhadap Perpindahan Panas Konveksi (watt). Semakin meningkatnya nilai perpindahan panas konveksi maka akan semakin besar bilangan Reynold. Terlihat bahwa perpindahan panas konveksi pada saluran tanpa porous media lebih rendah dari pada menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm sebesar 44,98 Watt. Sedangkan pada saluran dengan penambahan porous media batu tinggi 30 mm sebesar 249,177 Watt dan batu tinggi 50 mm sebesar 171,05 Watt

3. Pengaruh bilangan Reynold terhadap koefisien perpindahan panas konveksi

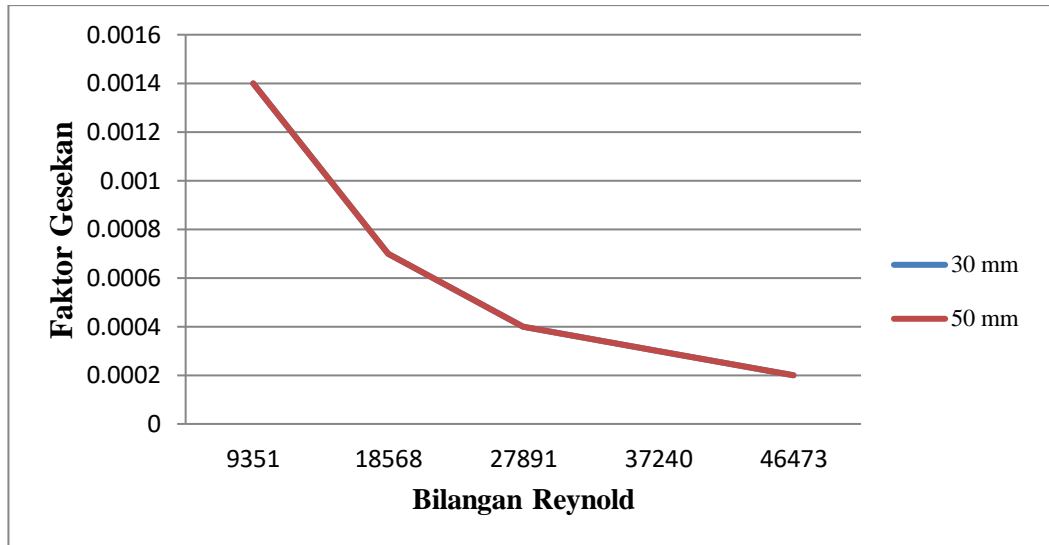
$$W / m^2 \cdot K$$



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh bilangan Reynold terhadap koefisien perpindahan panas konveksi  $W / m^2 \cdot K$

Dari gambar grafik 4.3 pengaruh bilangan Reynold terhadap Koefisien perpindahan panas konveksi. Semakin meningkat nilai koefisien konveksi maka akan semakin meningkatnya bilangan Reynold. Hal ini disebabkan laju aliran udara pada blower koefisien perpindahan panas dari saluran, koefisien perpindahan panasnya akan semakin meningkat. Sehingga tidak ada perbedaan besar antara bilangan koefisien perpindahan panas pada saluran tanpa porous media dengan media batu tinggi 30 mm dan tinggi 50 mm, tetapi pada bilangan Reynold 46473, bilangan koefisien perpindahan panas tertinggi terjadi pada saluran porous media batu tinggi 50 mm sebesar 19,292.

#### 4 Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Faktor Gesekan



Gambar 4.4 Pengaruh Bilangan Reynold Terhadap Faktor Gesekan

Dari data hasil penelitian pengaruh Bilangan Reynold terhadap Faktor Gesekan seperti pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa bertambahnya bilangan Reynold mempengaruhi terjadinya penurunan pada faktor gesekan yang disebabkan oleh bertambahnya kecepatan pada aliran udara sehingga semakin besar bilangan Reynold maka faktor gesekan akan semakin rendah. Faktor gesekan terendah 0,0014715 terjadi pada kecepatan udara 5 m/s dengan bilangan Reynold 46473.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis data dan pembahasan pengujian karakteristik perpindahan panas yang dilakukan pada plat rata dengan media berpori dapat disimpulkan bahwa :

1. Bilangan Reynold sangat berpengaruh terhadap bilangan Nusselt, semakin besar bilangan Reynold maka akan semakin besar pula bilangan Nusselt serta tingginya perpindahan panas konveksi, dan diikuti dengan menurunnya faktor gesekan.
2. Perpindahan panas konveksi pada saluran tanpa porous media lebih rendah dari pada menggunakan porous media batu tinggi 30 mm dan 50 mm sebesar 44,98 Watt. Sedangkan pada saluran dengan penambahan porous media batu tinggi 30 mm sebesar 249,177 Watt dan batu tinggi 50 mm sebesar 171,05 Watt. Hal ini disebabkan oleh perbedaan ketinggian porous media batu lebih tinggi dari pada tanpa porous media.
3. Berdasarkan analisis aliran udara pada saluran segiempat dengan penambahan porous media menunjukkan bahwa Temperatur udara masuk ( $T_{in}$ ) dan Temperatur udara keluar ( $T_{out}$ ) sangat berpengaruh terhadap laju perpindahan panas konveksi.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh dari penelitian tentang pengujian karakteristik perpindahan panas konveksi pada plat rata dengan media berpori terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Temperatur udara lingkungan perlu dijaga dengan lebih baik agar temperatur udara masuk saluran segiempat dapat lebih stabil, karena perbedaan temperature udara lingkungan yang terlalu tinggi sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan.
2. Mengkalibrasi sebelum menggunakan alat-alat penelitian, agar tidak terjadi kesalahan saat pengambilan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariantara, Bambang : Studi Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi Pada Pelat Datar Yang Mengalami Pengisapan Diskrit, ITB 1991
- C A Siregar, A. M. S. & D. S. (2019). *Efek Penambahan APK Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas Terhadap Performance AC Pada Aplikasi ACWH.Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* [Http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME](http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME), 2(2), 131–139.
- Haryanto, A. (2015). *Perpindahan Panas*. Yogyakarta:Innosain
- Holman, J. P.(1997) *Perpindahan kalor* . Jakarta : Erlangga.
- Holman, J. P.(2010) *Heat Transfer Tenth Edition (McGraw-Hill Series In MechanicalEngineering)*
- Istanto, T., & Rokhadi, A. W. (2011). *PENGUJIAN KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN SIRIP-SIRIP PIN ELLIPS SUSUNAN SELANG-SELING DALAM SALURAN SEGIEMPAT* *Abstract :9*, 300–307.
- Mahgoub, S. E. (2013). Forced convection heat transfer over a flat plate in a porous medium. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(4), 605–613. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.01.002>
- Nurwidyanto, muhammad I. (2006). Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Porositas Dan Permeabilitas Pada Batupasir. *Berkala Fisika*, 9(4), 191-195–195.
- Putra Anugrah Galih. dan Ismardi, M.Sc Dr.Abrar, dan Ajiwiguna,S.T,M.Eng Tri Ayodha. (2017) *Rancang Bangu Pendingin Untuk Perangkat Elektronik Pada Green House : Program studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom*.
- Rokhadi, A. W. (2015). *Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Dari Sirip-Sirip Pin Ellips Susunan Segaris Dalam Saluran Segiempat*. In *Mekanika* (Vol. 8).
- Sara ON, Yaplc1 S, Ytlmaz M.Second law analysis of rectangular channels with square pin-fins. *Int Commun Heat Mass Transf* 2001;28:617–30.
- Sakr, R. Y., Berbish, N. S., & Messra, M. H. (2007). *Experimental and Numerical Study of Forced Convection Heat Transfer From an Inclined Heated Plate*

Placed Beneath a Porous Medium. *NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE*, 2(4).

- Sudarto, J. P., Semarang, S. H. T., & Tengah, J. (2010). *PENGUJIAN PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PADA HEAT SINK PLAT JENIS EXTRUDED DAN HEAT SINK PLAT DENGAN SLOT* Bambang Yuniarto *Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*. 13–15.
- Sudirman Lubis, C A Siregar. (2019). *Kajian Eksperimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Yang Diuji Secara Statis. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan energi*.
- Tambe Shahanwaj K. (2015). Experimental Investigation of Performance of Plate Heat Exchanger for Water As Working Fluid. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(3), 372–380. <https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0403064>
- Tanno, K., Makino, H., Kurose, R., Komori, S., Shimada, H., & Hwang, S. M. (2010). Effect of turbulent-laminar flow transition on degradation of de-NOx catalyst. *Fuel*, 89(4), 855–858. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.03.028>
- Umurani, K., Rudi Nasution, A., & D. I. (2021). Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Pada Saluran Segiempat Dengan Rusuk V 90 Derajat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 4(1), 37–46.
- Umurani, K., & Muharnif, M. (2019). Pengaruh Diameter Lubang Pembangkit Vorteks Winglet Melengkung Terhadap Unjuk Kerja Apk Tipe Kompak Studi Eksperimental. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(1), 84–93. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3072>
- Wang, D., Ba, D., Liu, K., Hao, M., Gao, Y., Wu, Z., & Mei, Q. (2017). A numerical research of herringbone passive mixer at low Reynold number regime. *Micromachines*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/mi8110325>

# **LAMPIRAN**

**Table A-5** | Properties of air at atmospheric pressure.†

The values of $\mu$ , $k$ , $c_p$ , and Pr are not strongly pressure-dependent and may be used over a fairly wide range of pressures							
$T, K$	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ kJ/kg · °C	$\mu \times 10^5$ kg/m · s	$\nu \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	$k$ W/m · °C	$\alpha \times 10^4$ m <sup>2</sup> /s	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

†From *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Circ. 564*, 1955.

**Table 1-1** | Thermal conductivity of various materials at 0°C.

Material	Thermal conductivity <i>k</i>	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
Metals:		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Nonmetallic solids:		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28
Liquids:		
Mercury	8.21	4.74
Water	0.556	0.327
Ammonia	0.540	0.312
Lubricating oil, SAE 50	0.147	0.085
Freon 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.073	0.042
Gases:		
Hydrogen	0.175	0.101
Helium	0.141	0.081
Air	0.024	0.0139
Water vapor (saturated)	0.0206	0.0119
Carbon dioxide	0.0146	0.00844

## LAMPIRAN

Data rata-rata pengujian 15 menit dengan menggunakan media batu tinggi 30 mm

Kecepatan udara (m/s)	Tegangan heater (V)	Arus heater (A)	Tegangan fan (V)	Arus fan (A)	$T_m$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sur}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{kamb}$ ( $^{\circ}K$ )	Monometer (mm)	H (mm)	L (mm)	$W_b$ (m)	TF ( $^{\circ}K$ )
1	45	0,3	77	0,25	30,3	31,9	425	1	0,075	2	0,15	304,1
2	45	0,3	109	0,4	30,6	34,2	414	2	0,075	2	0,15	305,4
3	45	0,3	129	0,48	30,2	34,1	396,3	3	0,075	2	0,15	305,15
4	45	0,3	159	0,59	30,1	33,7	377,9	4	0,075	2	0,15	304,9
5	45	0,3	222	0,89	30,3	34,1	362,3	5	0,075	2	0,15	305,2

$\rho$ ( $kg / m^3$ )	$cp$ ( $kJ / kg \cdot ^{\circ}C$ )	$\mu$ ( $kg/m \cdot s$ )	$k$ ( $W / m \cdot s$ )	Pr	Luas penampang $m^2$	Diameter saluran udara (m)	Tahanan heater ( $\Omega$ )	Daya panas heater (W)
1,1626892	1,0059706	0,0265508	1,8649616	0,707098	0,01125	0,15	150	13,23
1,1580248	1,0060564	0,0266493	1,8709104	0,706812	0,01125	0,15	150	13,23
1,1589218	1,0060399	0,0266304	1,8697664	0,706867	0,01125	0,15	150	13,23
1,1598188	1,0060234	0,0266114	1,8686224	0,706922	0,01125	0,15	150	13,23
1,1587424	1,0060432	0,0266342	1,8699952	0,706856	0,01125	0,15	150	13,23

Laju aliran massa ( $kg/s$ )	Perpindahan panas konveksi ( $W / m^3$ )	Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W m^{-2} K$ )	Bilangan nusselt	Bilangan reynold	Penurunan tekanan (Pa)	Faktor gesekan
0,013080254	21,05681393	5,323701633	30,07652675	9351,580215	0,011405981	0,0014715
0,026055558	94,36438469	9,248539912	52,05690002	18568,89779	0,0222720447	0,0007357
0,039113611	153,4523455	12,79771093	72,085241	27891,97677	0,034107069	0,0004905
0,052191846	189,0223861	16,11643943	90,84317617	37240,87221	0,04551129	0,0003678
0,06517926	249,177975	19,25635559	108,4491998	46473,74496	0,056836315	0,0002943



Data rata-rata pengujian 15 menit dengan menggunakan media batu tinggi 50 mm

Kecepatan udara (m/s)	Tegangan heater (V)	Arus heater (A)	Tegangan fan (V)	Arus fan (A)	$T_m$ ( $^{\circ}$ C)	$T_{um}$ ( $^{\circ}$ C)	$T_{buss}$ ( $^{\circ}$ K)	Monometer (mm)	H (mm)	L (mm)	Wb (m)	TF ( $^{\circ}$ K)
1	45	0,3	76	0,24	26,7	30,1	421,1	1	0,075	2	0,15	301,4
2	45	0,3	105	0,36	27,1	30,1	383,4	1	0,075	2	0,15	301,6
3	45	0,3	134	0,57	28,1	30,2	397,7	4	0,075	2	0,15	302,15
4	45	0,3	192	0,72	28,3	29,6	380,2	8	0,075	2	0,15	301,95
5	45	0,3	228	0,88	29,8	32,4	368,4	9	0,075	2	0,15	304,1

$\rho$ (kg / m <sup>3</sup> )	cp (kJ / kg. $^{\circ}$ C)	$\mu$ (Kg/m.s)	k (W / m.s)	Pr	Luas penampang m <sup>2</sup>	Diameter saluran udara (m)	Tahanan heater ( $\Omega$ )	Daya panas heater (W)
1,1723768	1,0057924	0,0263461	1,8526064	0,707692	0,01125	0,15	150	13,23
1,1716592	1,0058056	0,0263613	1,8535216	0,707648	0,01125	0,15	150	13,23
1,1696858	1,0058419	0,026403	1,8560384	0,707527	0,01125	0,15	150	13,23
1,1704034	1,0058287	1,8551232	1,8551232	0,707571	0,01125	0,15	150	13,23
1,1626892	1,0059706	0,0265508	1,8649616	0,707098	0,01125	0,15	150	13,23

Laju aliran massa (Kg/s)	Perpindahan panas konveksi (W / m <sup>2</sup> )	Koefisien perpindahan panas konveksi (W m <sup>2</sup> .K)	Bilangan nusselt	Bilangan reynold	Penurunan tekanan (Pa)	Faktor gesekan
0,013189239	45,11707401	5,347997663	30,44849296	9492,384351	0,011501016	0,0014715
0,026362332	79,56049775	9,308290159	52,96569528	18963,78008	0,022987954	0,0007357
0,039476896	83,39508478	12,86300344	73,07702563	28359,25216	0,034423853	0,0004905
0,052668153	121,8428217	16,19717185	92,07189902	37854,19966	0,045926629	0,0003678
0,065401268	171,0501389	19,2925534	108,9942747	46757,90107	0,057029905	0,0002943



Data rata-rata pengujian 15 menit tanpa porous media

Keccepatan udara (m/s)	Tegangan heater (V)	Arus heater (A)	Tegangan fan (V)	Arus fan (A)	$T_m$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{out}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{kawat}$ ( $^{\circ}K$ )	Monometer (mm)	H (mm)	L (mm)	Wb (m)	TF ( $^{\circ}K$ )
1	45	0,3	76	0,24	303,3	307,8	443,5		0,075	2	0,15	373,4
2	45	0,3	106	0,37	303,4	303,9	434,4		0,075	2	0,15	368,9
3	45	0,3	141	0,5	303,3	303,3	411,6		0,075	2	0,15	357,45
4	45	0,3	168	0,6	303,1	303,1	391,05		0,075	2	0,15	347,075
5	45	0,3	227	0,88	303,1	303,1	380,1		0,075	2	0,15	341,6

$\rho$ ( $kg / m^3$ )	$cp$ ( $kJ / kg \cdot ^{\circ}C$ )	$\mu$ ( $kg/m.s$ )	$k$ ( $W / m.s$ )	Pr	Luas penampang $m^2$	Diameter saluran udara (m)	Tahanan heater ( $\Omega$ )	Daya panas heater (W)
0,9954728	1,01134	2,173748	0,03172416	0,690448	0,01125	0,15	150	13,23
0,9959588	1,01089	2,154758	0,03139836	0,691708	0,01125	0,15	150	13,23
0,9712694	1,0094917	2,1090912	0,03059471	0,695361	0,01125	0,15	150	13,23
1,0084949	1,008807	2,0616152	0,02980829	0,6976435	0,01125	0,15	150	13,23
1,0281392	1,0084456	2,0365616	0,02939328	0,698848	0,01125	0,15	150	13,23

Laju aliran massa ( $kg/s$ )	Perpindahan panas konveksi ( $W / m^3$ )	Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W m^2 . K$ )	Bilangan nusselt	Bilangan reynold	Penurunan tekanan (Pa)	Faktor gesekan
0,011199069	22,45410703	5,338589402	16,82815054	4579,522557	0,009765588	0,453930719
0,022409073	36,44976764	9,274750035	29,53896329	9244,275227	0,009770356	0,101880991
0,032780342	40,57892159	12,489665	40,822956	13815,46801	0,009528153	0,033772384
0,045382271	42,47136483	16,09678409	54,00104063	19567,08313	0,009893335	0,014027432
0,05783283	44,98217548	19,47280324	66,24916729	25242,0354	0,010086046	0,007468991

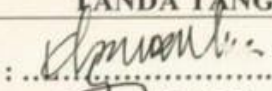
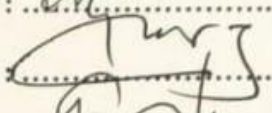
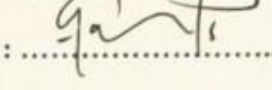
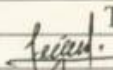
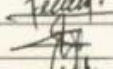
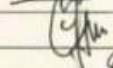

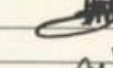
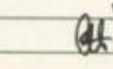
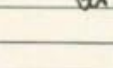
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Rahmad Husen

NPM : 1607230137

Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media.

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Khairul Umurani.S.T.M.T	:	
Pembanding – I	: Munawar A Siregar.S.T.M.T	:	
Pembanding – II	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607230167	Fakhrur Razi	
2	1507230122	Ahmad Chairy	
3	1607230145	M. Algi Fari	
4	1607230088	Ika Wiranta	
5	160723020	FERI GUNAWAN	
6	1607230156	Abdika Butar Butar	
7	160723062	JODY KURNIAWAN	
8			
9			
10			

Medan, 27 Sya'ban 1442 H  
10 April 2021 M

Ketua Prodi. T.Mesin





**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Rahmad Husen  
NPM : 1607230137  
Judul T.Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....  
..... *Selesai* .....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 27 Sya'ban 1442H  
10 April 2021 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

Munawar A Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Rahmad Husen  
NPM : 1607230137  
Judul T.Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

..... *lihat buku pengalihan* .....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

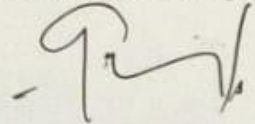
.....  
.....  
.....  
.....

Medan 27 Sya'ban 1442H  
10 April 2021 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

  
Chandra A Siregar.S.T.M.T



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12  
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor/1929/II.3AU/UMSU-07/F/2020**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 14 Desember 2020 dengan ini Menetapkan

Nama : RAHMAD HUSEIN  
Npm : 1607230137  
Program Studi : Teknik Mesin  
Semester : 1X ( Sembilan )

Judul Tugas Akhir : ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA SALURAN DENGAN PENAMBAHAN POROUS MEDIA .

Pembimbing 1 : KHAIRUL UMURANI ST. MT

1. Bila judul tugas akhir kurang sesuai dapat diganti oleh dosen pembimbing setelah Mendapat persetujuan dari program studi teknik Mesin .

Penulisan tugas akhir dinyatakan batal setelah 1 ( Satu ) Tahun tanggal yang Ditetapkan .

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 29 Rabiul Akhir 1442 H

14 Desember 2020 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar ST.MT

NIDN : 0101017202

Cc. File



## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

### Analisis Perpindahan Panas Pada Saluran Dengan Penambahan Porous Media

Nama : Rahmad Husein  
 NPM : 1607230137

Dosen Pembimbing : Khairul Umurani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
(1)	28-11-2019	Pembelian Spesifikasi Tugas akhir	h
(2)	07-12-2019	Perbaiki Pendahuluan	h
(3)	25-02-2020	Perbaiki Tinjauan Pustaka	h
(4)	09-12-2020	Buat persamaan <sup>2</sup> dalam Analisa data.	h
(5)	04-01-2021	Perbaiki Metode	h
(6)	23-02-2021	(Angkapi) prosedur	h
(7)	24-03-2021	Perbaiki Analisa data	h
(8)	17-03-2021	Perbaiki kesimpulan	h
(9)	21-03-2021	Simulasi hasil	h

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Rahmad Husein  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Sei Lindai, 06 Agustus 1997  
Alamat : Kelurahan Tamiang, Kec. Kotanopan, Kab  
Mandailing Natal  
Agama : Islam  
E-mail : [rahmadhusein045@gmail.com](mailto:rahmadhusein045@gmail.com)  
No.Hp : 082274104402

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD N 018 SEI BERLIAN	Tahun 2004-2010
2. SMP YP2TG KASIKAN	Tahun 2010-2013
3. SMA N 2 KOTANOPAN	Tahun 2013-2016
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2016-2021

