



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISA PERFORMA DARI EFEK
PENGUNAAN FLUIDA KERJA AIR (H₂O) DAN
PENAMBAHAN TUBE HEAT EXCHANGER
PADA ALAT PENGERING H-FLORY
(HORTICULTURA FLUID FLOW DRIER)
MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL
FLUID DYNAMICS (CFD)**

**INDRA YUGI PRAYUGA
NRP. 0231144000021**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Roekmono, M.T.
Ir. Harsono Hadi, MT.,Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

**PERFORMANCE ANALYSIS OF WATER USE
(H₂O) AND ADDITION OF HEAT EXCHANGER
TUBE IN H-FLORY (HORTICULTURA FLUID
FLOW DRIER) USING COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS METHOD (CFD)**

INDRA YUGI PRAYUGA
NRP. 0231144000021

Supervisor :
Ir. Roekmono, M.T.
Ir. Harsono Hadi, MT.,Ph.D

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Indra Yugi Prayuga
NRP : 0231144000021
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisa Performa Dari Efek Penggunaan Fluida Kerja Air (H_2O) Dan Penambahan Tube Heat Exchanger Pada Alat Pengering H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier) Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD))” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,

Indra Yugi Prayuga
NRP. 0231144000021

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**Analisa Performa Dari Efek Penggunaan Fluida Kerja Air
(H₂O) Dan Penambahan Tube Heat Exchanger Pada Alat
Pengering H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier)
Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)**

Oleh:

Indra Yugi Prayuga
NRP. 023114400021

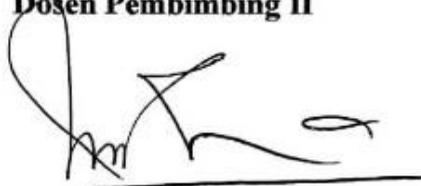
Surabaya, 24 Juli 2018

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**



Ir. Roekmono, M.T.
NIPN. 195809081986011001

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II**



Ir. Harsono Hadi, MT., Ph.D.
NIPN. 196001191986111001

Mengetahui,

**Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 197809022003121002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ANALISA PERFORMA DARI EFEK PENGGUNAAN
FLUIDA KERJA AIR (H₂O) DAN PENAMBAHAN TUBE
HEAT EXCHANGER PADA ALAT PENDINGIN H-
FLORY (HORTICULTURA FLUID FLOW DRIER)
MENGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS (CFD)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Pengkondisian Lingkungan dan Konservasi Energi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

INDRA YUGI PRAYUGA
NRP. 0231144000021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Roekmono, M.T.

 (Pembimbing I)

2. Ir. Harsono Hadi, MT., Ph.D.

 (Pembimbing II)

3. Ir. Sarwono, M.M.

 (Penguji I)

4. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT.

 (Penguji II)

SURABAYA
JULI, 2018

“Halaman ini memang dikosongkan”

**Analisa Performa Dari Efek Penggunaan Fluida Kerja Air
(H₂O) Dan Penambahan Tube Heat Exchanger Pada Alat
Pengering H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier)
Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)**

Nama : Indra Yugi Prayuga
NRP : 023114400021
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Roekmono, M.T.
2. Ir. Harsono Hadi, MT.,Ph.D

Abstrak

Teknologi pasca panen menentukan kualitas produk pertanian di Indonesia sebagai negara agraris. Pengeringan merupakan salah satu metode penanganan primer hasil produk yang bergantung pada iklim. Sebelumnya telah banyak muncul alternatif solusi dari permasalahan iklim melalui teknologi pengeringan seperti pembakaran, oven, dan lainnya yang kesemuanya masih memiliki kesamaan yaitu tidak meratanya distribusi temperature di dalam sistemnya. Olehkarena itu dilakukan penelitian tugas akhir mengenai performansi dari penggunaan fluida kerja air dan penambahan tube pada heat exchanger pada alat pengering hortikultura yang dapat mengeringkan produk hortikultura secara merata yang diberi nama H-Flory (Horticultura Fluid Flow Smart Drier). Permasalahan tersebut disumalasikan dengan computational fluid dynamics. Hasil simulasi menunjukkan bahwa performansi dengan jumlah tube 15 dengan material tembaga dan fluida kerja air memiliki performansi paling tinggi yaitu sebesar 19592.5 watt, dan performansi paling kecil diperoleh 9 buah tube, dengan material aluminum dan fluida kerja udara dengan performansi sebesar 332.5 watt.

Kata Kunci : Heat Exchanger, Hflory, performansi, CFD

“Halaman ini memang dikosongkan”

Performance Analysis Of Water Use (H₂O) And Addition Of Heat Exchanger Tube In H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier) Using Computational Fluid Dynamics Method (CFD)

Name : Indra Yugi Prayuga
NRP : 023114400021
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : 1. Ir. Roekmono, M.T.
2. Ir. Harsono Hadi, MT.,Ph.D

Abstract

Post-harvest technology determines the quality of agricultural products in Indonesia as an agrarian country. Drying is one of the primary treatment methods of climate-dependent products. Previously there have been many alternative solutions to climate problems through drying technologies such as burning, oven, and others which all still have in common is the uneven distribution of temperature in the system. Therefore, final research on performance of fluid working water and tube addition in heat exchanger in horticultural dryers can dry the horticultural product evenly called H-Flory (Horticultura Fluid Flow Smart Drier). The problem is illuminated with computational fluid dynamics. The simulation results show that the performance with the number of tubes 15 with copper material and the working water fluid has the highest performance of 19592.5 watt, and the smallest performance is obtained by 9 tubes, with aluminum material and air working fluid with performance of 332.5 watt.

Keywords: Heat Exchanger, Hflory, performance, CF

“Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **Analisa Performa Dari Efek Penggunaan Fluida Kerja Air (H₂O) Dan Penambahan Tube Heat Exchanger Pada Alat Pengering H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier) Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD** Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Ir. Roekmono, M.T. dan Ir. Harsono Hadi, MT.,Ph.D selaku pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D., selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah mendukung kegiatan simulasi.
4. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST., M.T selaku dosen yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan isi tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. Sarwono, MM. selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan bimbingan kepada penulis selama perkuliahan.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga tugas akhir ini.
7. dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberi doa serta dukungan kepada penulis.

8. KSE 14 yang telah banyak menyempatkan waktu untuk berdiskusi tentang simulasi dan topik penelitian ini.
9. Teman – teman KSE Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas segala dukungan dan bantuannya.
10. Teman – teman angkatan 2014, 2015, 2016, lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
11. Laili Maulidiyah yang selalu men support kapanpun dan dimanapun
12. Semua Pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 24 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR - TF 141581	I
LEMBAR PENGESAHAN.....	VII
ABSTRAK.....	XI
KATA PENGANTAR	XIII
DAFTAR ISI.....	XV
DAFTAR GAMBAR	XVII
DAFTAR TABEL.....	XIX
DAFTAR NOTASI.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Heat Exchanger	5
2.2 Shell and Tube Heat Exchanger	5
2.3 Kompor.....	6
2.4 Heat Transfer.....	6
2.5 Alat Pengering H-Flory	8
2.6 Performansi Heat Exchanger	11
2.7 Bilangan Reynold	14
2.8 Prandtl Number	15
2.9 Nusselt Number	16
2.10 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Studi Literatur.....	20
3.2 Pembuatan Alat Pengering H-flory	20
3.3 Pengambilan Data.....	21
3.3.1 Pengukuran Temperatur pada H-flory	21
3.4 Simulasi Alat Pengering H-flory	22
3.4.1 Geometri	22
3.4.2 Pre Processing.....	22

3.4.3	Processing	24
3.4.4	Post Processing	24
3.5	Pengambilan Data.....	25
3.6	Analisa Data	25
3.7	Penarikan Kesimpulan	25
3.8	Penutup	25
BAB IV	ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Validasi.....	27
4.2	Distribusi Temperature pada Alat pengering Hflory dengan Variasi perbedaan jenis Material Alat dengan Fluida Air.....	28
4.2.1	Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Air pada 9 Tube Heat Exchanger	29
4.2.2	Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Air pada 12 Tube Heat Exchanger	31
4.2.3	Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Air pada 15 Tube Heat Exchanger	34
4.3	Distribusi Temperature pada Alat pengering Hflory dengan Variasi perbedaan jenis Material Alat dengan Fluida Udara	36
4.4	Perbandingan Performansi.....	41
4.5	Pengujian Alat Pengering Tanpa Produk.....	42
4.6	Pengujian pengeringan produk Cabai Merah (<i>Capsicum annuum L.</i>).....	43
4.7	Pengujian pengeringan produk Singkong (<i>Manihot Utilissima Pohl</i>).....	45
BAB V	PENUTUP	48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Shell and Tube Heat Exchanger	6
Gambar 2.2	Heat Exchanger tipe (a) Parallel Flow (b) Counterflow (c) Crossflow	6
Gambar 2.3	Gambar 2.3 Desain Rancang Bangun dan Sistem H-Flory	10
Gambar 2.4	Heat Exchanger di dalam alat pengering H-flory	11
Gambar 2.5	Ilustrasi tube heat exchanger	13
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3.2	H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier)	21
Gambar 3.3	Geometri alat pengering Hflory.....	21
Gambar 3.4	Hasil Pembuatan Geometri pada Software	22
Gambar 3.5	Hasil meshing Salah Satu Variasi Geometri.....	22
Gambar 4.1	Kontur Temperatur potongan sumbu-XY dari Alat pengering dengan 9 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga.....	28
Gambar 4.2	Kontur Temperatur potongan sumbu-YZ dari Alat pengering dengan 9 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga.....	29
Gambar 4.3	Kontur Temperatur potongan sumbu-XY dari Alat pengering dengan 12 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga	31
Gambar 4.4	Kontur Temperatur potongan sumbu-YZ dari Alat pengering dengan 12 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga	32
Gambar 4.5	Kontur Temperatur potongan sumbu-XY dari Alat pengering dengan 15 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga	33
Gambar 4.6	Kontur Temperatur potongan sumbu-YZ dari Alat pengering dengan 15 Tube, Fluida Air dan	

	material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga	34
Gambar 4.7	Kontur Temperature dari Alat pengering dengan 9 Tube, Fluida Udara dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga.....	36
Gambar 4.8	Kontur Temperature dari Alat pengering dengan 12 Tube, Fluida Udara dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga.....	38
Gambar 4.9	Kontur Temperature dari Alat pengering dengan 15 Tube, Fluida Udara dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga.....	39
Gambar 4.10	Distribusi temperatur sepanjang sumbu x dan y pada variasi ketebalan lapisan tembaga (a) 0,06 (b) 0,09 (c) 0,12 (d) 0,15 mm	40
Gambar 4.11	(a) Nilai temperatur terhadap waktu pada pengujian pengeringan menggunakan H-Flory tanpa produk, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan menggunakan H-Flory tanpa produk..	40
Gambar 4.12	(a) Nilai temperatur terhadap waktu pada pengujian pengeringan cabai merah menggunakan H-Flory, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan cabai merah menggunakan H-Flory ...	42
Gambar 4.13	(a) Nilai temperatur terhadap waktu pada pengujian pengeringan singkong menggunakan H-Flory, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan singkong menggunakan H-Flory	43
Gambar 4.14	(a) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan cabai merah menggunakan H-Flory, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan singkong menggunakan H-Flory	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konduktivitas thermal beberapa material	7
Tabel 3.1	Suhu hasil pengukuran	21
Tabel 3.2	Tabel Hasil Meshing	23
Tabel 3.3	Tabel Kondisi Batas pada Simulasi dengan metode CFD.....	23
Tabel 4.1	Tabel Temperature hasil Experimen	27
Tabel 4.2	Tabel Temperature hasil Simulasi	27
Tabel 4.3	Tabel Error hasil simulasi terhadap hasil experiment	27

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penanganan pascapanen didefinisikan sebagai suatu kegiatan penanganan produk hasil pertanian maupun perkebunan, sejak pemanenan hingga siap menjadi bahan baku atau produk akhir siap dikonsumsi, dimana didalamnya juga termasuk distribusi dan pemasarannya. Cakupan teknologi pascapanen dibedakan menjadi dua kelompok kegiatan besar, yaitu pertama: penanganan primer yang meliputi penanganan komoditas hingga menjadi produk setengah jadi atau produk siap olah, dimana perubahan /transformasi produk hanya terjadi secara fisik. Kedua: penanganan sekunder, yakni kegiatan lanjutan dari penanganan primer, dimana pada tahap ini akan terjadi perubahan bentuk fisik maupun komposisi kimiawi dari produk akhir melalui suatu proses pengolahan. (Usman, 2015)

Proses pengolahan primer hasil produk pertanian salah satunya adalah pengeringan. Proses pengeringan dimana tujuan utamanya adalah menguapkan air sehingga diperoleh produk dengan kadar air kakao 6-7 % basis basah. (Ahmad, 2008). Metode pengeringan secara konvensional memiliki kendala yaitu bergantung dengan iklim. Padahal laporan yang dikeluarkan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) pada tahun 2001 menyimpulkan bahwa temperatur udara global telah meningkat 0,6 0C sejak tahun 1861. Dampak dari pemanasan global (Global Warming) akan mempengaruhi pola presipitasi, evaporasi, water run-off, kelembaban tanah dan variasi iklim yang sangat fluktuatif secara keseluruhan sehingga mempengaruhi proses produksi pengeringan produk pertanian. (IPCC, 2017)

Pada era ini, telah banyak muncul solusi dari permasalahan iklim melalui teknologi pengeringan. teknologi secara pembakaran biasa, oven, maupun yang sudah memiliki sistem otomasi yang canggih. Pengering yang menggunakan teknologi canggih contohnya Spin Dry Pad. Spin Dry Pad merupakan mesin pengering padi dengan metode pengeringan secara elektrik

berbasis sistem otomasi, yang meliputi sistem putar otomatis untuk membolak-balikkan padi sehingga proses pengeringan merata dan sistem pengontrolan suhu yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Tetapi, karena menggunakan motor untuk memutar sehingga membutuhkan energi yang lebih untuk melakukan pengeringan. (Adhim, 2013).

Penggunaan tube dan fluida kerja pada alat pengering juga sudah diaplikasikan pada penelitian, Ubale menggunakan tube berbahan Aluminium alloy sepanjang 1800mm dengan diameter 55mm dan tebal 0,6mm berjumlah 10 buah dengan fluida kerja udara yang di hembuskan secara paksa menggunakan kipas 12V/1A untuk heat exchanger alat pengering untuk mengeringkan buah nanas dari moisture content 76-78 % menjadi 15-17% (Ubale, 2015). Namun alat tersebut bergantung dengan adanya energy dari panas matahari untuk memanaskan tube-tube tersebut dan juga rata-rata memerlukan waktu 3-5 hari, lebih menguntungkan dari pada pengeringan konvensional yang memerlukan waktu sekitar 7 hari dan memerlukan biaya pembuatan 27 juta rupiah.

Penggunaan fluida kerja air juga dianggap menguntungkan untuk proses pemanasan buah dan sayur, diakarenakan tidak akan membahayakan ketika menempel pada object yang diapanaskan, maka dari itu pemanasan buah dan sayur menggunakan air dilakukan dengan cara menembakan sinar Infra Red ke lempengan logam untuk membuat air yang berada didalam Heating Chamber menguap dan dapat mengeringkan buah maupun sayuran (Hebbar, 2004).

Untuk menyempurnakan teknologi pengeringan yang panasnya merata dan hemat energi. Oleh sebab itu dilakukan penelitian tentang analisa dari performa H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier), mesin pengering hemat energi dengan fluida kerja untuk meratakan panas, yang diharapkan mampu menjadi solusi produk penanganan primer hasil pertanian di Indonesia dan mampu meningkatkan produktivitas dari pertanian Indonesia. Sehingga meningkatkan tingkat kesejahteraan petani di Indonesia

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang akan diangkat untuk mengarahkan penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh penggunaan air (H_2O) didalam Tube Heat Exchanger pada alat pengering *H-flory* dengan menggunakan computational fluid dynamic (CFD)?
- b. Bagaimana analisa kinerja dari alat pengering *H-flory* dalam mendistribusikan panas secara merata ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh penggunaan air (H_2O) didalam Tube Heat Exchanger pada alat pengering *H-flory* Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)
- b. Mengetahui analisa kinerja dari alat pengering *H-flory* dalam mendistribusikan panas

1.4 Batasan Masalah

Bedasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Fluida kerja yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah air dan udara.
2. Bahan dasar dari alat pengering *H-flory* adalah besi plat
3. Spesifikasi *H-flory* adalah
 - Panjang 50cm, lebar 50cm, tinggi 50cm
 - Tebal besi plat 3mm
 - Jarak antara plat luar dan dalam 3.4 cm
 - Diameter luar *tube* 19mm

4. Desain –flory sebagai berikut



1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. **BAB I PENDAHULUAN**
Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.
- b. **BAB II TEORI PENUNJANG**
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan
- c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.
- d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**
Pada bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari simulasi dengan metode CFD
- e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah sebuah peralatan yang dapat memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dengan menjaga dua fluida agar tidak bercampur. Heat exchanger umumnya digunakan pada berbagai aplikasi, mulai dari memanaskan, mendinginkan ruangan dan air-conditioning hingga pada proses kimia pada plant besar. Pertukaran panas pada heat exchanger umumnya melibatkan konveksi pada setiap fluida dan konduksi pada dinding yang memisahkan dua fluida.

2.2 Shell and Tube Heat Exchanger

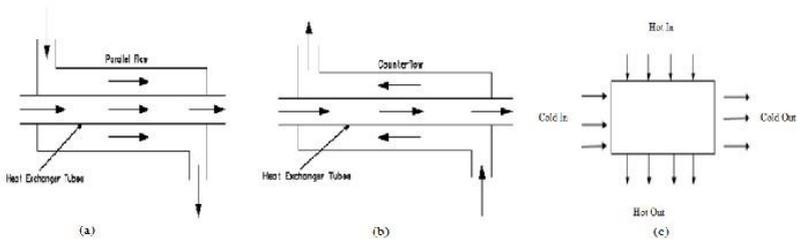
Jenis *Heat exchanger* yang paling sederhana dan paling umum digunakan adalah *heat exchanger* jenis *shell and tube* karena *shell and tube heat exchanger* dapat digunakan pada kondisi tekanan tinggi dan suhu yang tinggi terutama pada proses industri. *Heat exchanger* tipe *shell and tube* terdiri dari dua pipa konsentrik yang memiliki diameter berbeda.



Gambar 2.1 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Tipe *heat exchanger* ini menggunakan *tube* untuk mengalirkan fluida panas dan *shell* untuk mengalirkan fluida

dingin. Pipa-pipa *tube* didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan *shell*, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa *tube* tersebut berada sejajar dengan sumbu *shell*. Pada heat exchanger tipe shell and tube terdapat beberapa konfigurasi sesuai dengan pengaplikasian aliran fluida.



Gambar 2.2. Heat Exchanger tipe (a) Parallel Flow (b) Counterflow (c) Crossflow

Apabila aliran fluida pada tube dan shell berlawanan arah disebut dengan counterflow, apabila aliran fluida pada tube dan shell searah disebut dengan parallel flow dan apabila aliran fluida pada tube dan shell tegak lurus disebut crossflow.

2.3 Kompor

Kompor merupakan sebuah alat pemanas yang menghasilkan panas tinggi, bahan bakar yang digunakan dapat berupa gas, liquid maupun padatan. Jenis kompor bergantung pada bahan bakarnya. Menurut Teguh dan Elba (2012) Jenis kompor yang ada di Indonesia adalah kompor kayu (arang), kompor gas (LPG), kompor minyak tanah, kompor listrik, kompor pure plant oil (PPO), kompor briket, kompor gas biomassa dan kompor panel surya. Pemilihan penggunaan energy kompor didasarkan atas faktor ekonomi, infrastruktur dan juga pola pikir.

2.4 Heat Transfer

Heat exchanger pada umumnya hanya menggunakan dua jenis perpindahan panas. Perpindahan panas secara konduksi dan konveksi (Pongsoi dkk,2013). Perpindahan panas sendiri

merupakan peristiwa dimana energi panas dari sumbernya berpindah ke benda lain akibat perbedaan temperatur. Terdapat tiga macam perpindahan panas yang ada, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Perbedaan mendasar dari ketiga perpindahan panas tersebut dapat dilihat dari medium penghantarnya

Perpindahan panas secara konduksi, merupakan perpindahan energi tanpa disertai dengan perpindahan medium penghantarnya. Konduksi biasanya terjadi pada benda padat. Perpindahan panas secara konveksi, merupakan perpindahan energi dengan disertai perpindahan mediumnya. Perpindahan panas secara konveksi dapat dilihat pada medium zat cair. Radiasi sendiri merupakan perpindahan panas tanpa memerlukan medium penghantar. Contoh perpindahan panas secara radiasi dapat dilihat pada perpindahan energi panas dari matahari. Energi panas matahari melalui ruang hampa di ruang angkasa sebelum akhirnya dapat dirasakan di bumi.

Laju perubahan panas pada heat exchanger dapat dipengaruhi oleh material pembuat heat exchanger tersebut. Perpindahan panas tersebut dipengaruhi oleh konduktivitas thermal material tersebut. Konduktivitas thermal sendiri merupakan kemampuan menghantarkan panas dari suatu bahan material. Nilai konduktivitas thermal untuk berbagai macam material ditunjukkan oleh tabel berikut ini

Tabel 2.1 Konduktivitas thermal beberapa material

Material	Konduktivitas Thermal (cal/cm.sec.K)
Al	0,53
Cu	0,94
Fe	0,19
Ag	1,00
C	1,5
Ge	0,14

Dalam analisis perpindahan panas *heat exchanger* terdapat dua metode analisis yang dapat digunakan. Metode tersebut adalah *Log Mean Temperature Difference (LMTD)* dan *effectiveness number of transfer units (NTU)* (Incropera dkk, 1996). LMTD merupakan metode analisis melalui *total heat transfer rate qualities (q)* dari *inlet* dan *outlet fluid temperature (T)*, *overall heat transfer Coefficient (U)*, dan luas permukaan *heat transfer (A)*.

$$q=U.A.\Delta T_{lm} \quad (2.1)$$

Dimana :

- U = *overall heat transfer Coefficient (J/m²K)*
- A = *Luas permukaan heat transfer (m²)*
- ΔT_{lm} = *perbedaan temperatur LMTD*

ΔT_{lm} merupakan pendekatan dari perbedaan temperatur, yang didapatkan dari *inlet* dan *outlet* fluida *heat exchanger*.

Metode *effectiveness-NTU* merupakan pendekatan dari perbandingan perpindahan panas yang ada dengan potensi maksimal perpindahan panas *heat exchanger (€)* melalui NTU.

$$\epsilon = f\left(NTU, \frac{C_{min}}{C_{max}}\right) \quad (2.2)$$

Dimana :

- € = *Effectiveness*
- NTU = *number of transfer units*
- C_{min} = *heat capacity rate minimal*
- C_{max} = *heat capacity rate maximal*

NTU sendiri merupakan sebuah parameter yang besarnya ditentukan dari *heat transfer Coefficient (U)*, luas permukaan *heat transfer (A)* dan *heat capacity rate (C)*.

2.5 Alat Pengering H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier)

Alat yang dibuat merupakan rancang bangun pengering *H-Flory* yang memiliki fungsi sama dengan pengering pada umumnya namun dengan sistem yang berbeda sehingga diharapkan mendapatkan proses dan hasil pengeringan yang lebih efisien dan multifungsi. *H-Flory* memiliki dimensi 50 x 50 x 50

cm dilengkapi dengan sistem kendali suhu dan kelembaban otomatis. Selain itu, penghantar di keempat sisi pengering dilengkapi dengan logam (Fe) dan fluida (H_2O). Energi termal dari sistem pemanas di kodusikan melalui logam yang selanjutnya di konveksikan secara merata ke seluruh sisi oleh fluida untuk dikonduksikan lagi melalui logam. Panas dari logam tersebut di konveksikan oleh udara dalam ruang pengeringan dan disirkulasikan menggunakan fan. Sistem otomasi mengoptimalkan pemakaian bahan bakar untuk proses pemanasan dengan memperhatikan nilai suhu dan kelembaban. (Manabu, 2013)

Pada rancang bangun *H-Flory*, untuk mendapatkan persebaran panas yang merata digunakan konsep konduksi dan konveksi. Konduksi dilakukan oleh logam (Fe) dan konveksi dilakukan oleh fluida (H_2O). Pemilihan besi sebagai logam konduktor karena memiliki konduktivitas thermal mencapai $80.4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ dan kapasitas thermal Fe sebesar $449 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ (Allmeasures, 2004). Fe memiliki nilai difusivitas thermal yang tinggi yaitu sebesar $22 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. (Martin, 2007) Selain itu logam ini memiliki harga yang relatif murah jika dibandingkan dengan logam penghantar panas lainnya karena keberadaannya yang melimpah di alam. Pemilihan H_2O sebagai fluida konveksi karena H_2O merupakan fluida yang baik untuk perpindahan panas, dan fluida air juga mudah didapat. H_2O merupakan sumber energi dan dapat diubah ke bentuk energi lainnya. H_2O memiliki konduktivitas thermal sebesar $1.63 \times 10^{-3} \text{ kal/cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$ pada 100°C . Selain itu kapasitas thermal (C_p) air empat kali lebih besar dari pada udara sehingga mampu menyimpan dan menjadi penghantar kalor yang baik. Nilai konduktivitas akan terus meningkat seiring dengan kenaikan suhu, karena terjadi perubahan koefisien perpindahan panas yang semakin meningkat. (John, 2017)



Gambar 2.3 Desain Rancangan Bangun dan Sistem *H-Flory*

Secara matematis konduksi panas didapatkan menggunakan rumus (3) dan (4). Persamaan (3) digunakan untuk perpindahan panas secara konduksi, dan persamaan (4) digunakan untuk perpindahan panas secara konveksi

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{k.A.\Delta T}{L} \quad (2.3)$$

$$H = \frac{Q}{t} = h.A.\Delta T \quad (2.4)$$

Sehingga, dari persamaan (3) dan (4) tersebut didapatkan bahwa pada *H-Flory* total laju konduktivitas thermal dari lapisan ruang pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan (5) berikut

$$H_{total} = \frac{H_{Fe(luar)} \cdot H_{H_2O} \cdot H_{Fe(dalam)}}{H_{H_2O} \cdot H_{Fe(dalam)} + H_{Fe(luar)} \cdot H_{Fe(dalam)} + H_{H_2O} \cdot H_{Fe(luar)}} \quad (2.5)$$

Dari persamaan (2.1), (2.2), dan (2.3) didapatkan bahwa total laju konduktivitas thermal pada *H-Flory* akan melambat jika

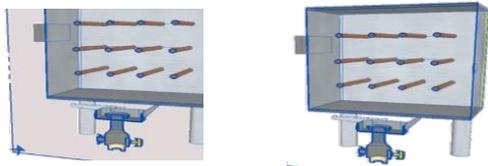
dibandingkan dengan alat pengering pada umumnya yang hanya menggunakan satu lapisan ruang pengeringan namun kapasitas kalor akan semakin membesar (Alzami, 2001) sehingga mampu menahan dan menyerap kalor lebih banyak. Karena kapasitas kalor yang lebih tinggi, sehingga menyebabkan penggunaan bahan bakar gas dapat diminimalisir.

Selain itu untuk penghematan energi, *H-Flory* dilengkapi dengan sistem kendali otomatis dengan kontrol mikrokontroler *Arduino Uno*. Dengan sistem kontrol otomatis nyala mati api diatur agar kondisi ruang pengeringan sesuai standar yang diinginkan. *Arduino Uno* dipilih karena kemudahan dan kemampuannya dalam melakukan aksi kontrol. Ditambah lagi banyaknya modul yang dapat *compatible* dengan *platform Arduino* untuk pengembangan kedepannya. Seperti monitoring menggunakan *smartphone* menggunakan interkoneksi *Bluetooth* yang telah berhasil merekam data suhu dan kelembaban secara *realtime*. (Alan, 2011) Dengan teknologi *data logging* melalui koneksi *Bluetooth* ini, *variable* proses dapat dimonitoring dan direkam untuk kebutuhan analisis.

Bahan bakar gas digunakan karena keramahan lingkungannya. CO_2 yang diproduksi oleh bahan bakar gas tergolong paling kecil jika dibandingkan dengan bahan bakar lainnya yaitu berkisar 0.184 kg per 1 kW/h (Kemp, 2012)

2.6 Performansi Heat Exchanger didalam Alat Pengering

Heat exchanger yang digunakan dalam alat pengering, merupakan *heat exchanger* tipe *tube*. Gambar lengkap mengenai *heat exchanger* tersebut sebagai berikut



Gambar 2.4 *Heat Exchanger* di dalam alat pengering H-flory

Aliran fluida dalam *tube heat exchanger* merupakan jenis *internal flow*. Karena itu besaran fisis *internal flow* juga mempengaruhi performa dari *tube heat exchanger*.

Hal - hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisa *internal flow* menurut Incropera dkk (1996) adalah sebagai berikut

a. *Hydrodynamic consideration*

Mempertimbangkan kondisi aliran, kecepatan, dan *pressure drop*. Pemahaman yang baik akan kondisi hidrodinamik aliran akan memberikan keuntingan dalam pengaplikasian. Contohnya jika mengetahui *pressure drop*, maka untuk meletakkan pompa akan dengan mudah menentukan daya minimum dan maksimum yang dapat digunakan

b. *Thermal Consideratio*

Temperatur merupakan variabel yang sangat penting bagi *internal flow* dan juga dapat mempengaruhi performansi dari *heat exchanger*. Dalam beberapa besaran fisisnya, akan berubah seiring dengan naik atau turunnya temperatur. Kondisi *thermal* yang perlu diperhatikan adalah *mean* temperatur dan *Newton's Law of Cooling*. Hukum Pendinginan Newton menyatakan bahwa laju perubahan pendinginan suhu suatu benda sebanding dengan perbedaan antara suhu sendiri dan suhu ambien

c. *Energy Balance*

Internal flow merupakan aliran yang tertutup dari lingkungan. Oleh karena itu, kesetimbangan energi dapat diaplikasikan dalam kasus *internal flow* ini. Hal ini menyebabkan dapat diketahuinya distribusi temperature sepanjang aliran dan heat transfer akibat perbedaan *inlet* dan *outlet internal flow*.

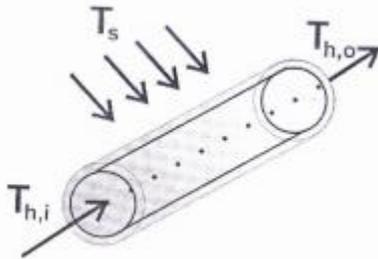
Perbedaan temperatur di sepanjang aliran, tidak berjalan layaknya rata - rata temperatur. Secara alami, temperature dalam aliran mengalami penurunan secara eksponensial. Perbedaan temperatur tersebut dinyatakan dalam persamaan matematisnya adalah sebagai berikut

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i}\right)} \quad (2.6)$$

Dimana :

- ΔT_{lm} = *Log mean temperature difference*
 ΔT_o = Perbedaan temperatur *fluida* dingin (K)
 ΔT_i = Perbedaan temperatur *fluida* panas (K)

Setelah mengetahui variabel yang mempengaruhi *internal flow*, maka kita dapat menentukan performansi dari *tube heat exchanger*. Pada kasus *tube heat exchanger* dapat dicontohkan sebagai berikut



Gambar 2.5 Ilustrasi *tube heat exchanger*

Maka persamaan (6) akan menjadi

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_{h,o}) - (T_s - T_{h,i})}{\ln\left(\frac{T_s - T_{h,o}}{T_s - T_{h,i}}\right)} \quad (2.7)$$

Dimana

- ΔT_{lm} = *Log mean temperature difference*
 T_s = Temperatur Permukaan (K)
 $T_{h,o}$ = *Output* temperatur *fluida* panas (K)
 $T_{h,i}$ = *Input* temperatur *fluida* panas (K)

Persamaan 7 dapat di disubsitusi ke persamaan 1, sehingga performansi *heat exchanger* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$q=U.A. \frac{(T_s-Th,o)-(T_s-Th,i)}{\ln\left(\frac{T_s-Th,o}{T_s-Th,i}\right)} \quad (2.8)$$

Dimana

ΔT_{lm}	=	<i>Log mean temperature difference</i>
T_s	=	Temperatur Permukaan (K)
$T_{h,o}$	=	<i>Output</i> temperatur fluida panas (K)
$T_{h,i}$	=	<i>Input</i> temperatur fluida panas (K)
U	=	<i>overall heat transfer Coefficient</i> (J/m ² K)
A	=	Luas permukaan <i>heat transfer</i> (m ²)

2.7 Kestimbangan Energi dan Konservasi Massa Control Volume Steady State pada Alat Pengering

Sistem terbuka (kontrol volume) adalah sistem dimana massa dan energi dapat melewati batas sistem selama proses, tetapi volume sistem diatur/tetap. Pada kasus alat pengering Hflory ini analisa Control Volume berada pada kondisi Steady State dimana tidak ada perubahan temperature karena kondisinya bisa dikatakan memasuki kondisi mantab. Analisa yang digunakan yaitu analisa kesetimbangan massa karena adanya perubahan tekanan yang menyebabkan fluida bergerak dan analisa energy dimana terjadi perubahan temperatur untuk menuju kondisi steady atau kondisi mantab.

Pada system ini alat pengering tidak mengalami penambahan atau pengurangan massa yang ada di dalamnya, oleh karena itu berlaku rumus kekekalan massa yaitu:

$$\sum_i \dot{m}_i = \sum_e \dot{m}_e \quad (2.9)$$

Kesetimbangan energy pada steady state dimana :

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = 0 \quad (2.10)$$

$$\dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) = \dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) \quad (2.11)$$

2.8 Bilangan Reynold

Reynold number (Re) atau bilangan Reynold adalah suatu bilangan tanpa dimensi yang menganalisa gaya inersia Fluida. Jenis aliran Fluida dan gaya gesekan yang terjadi dengan permukaannya akan menentukan Bilangan Reynold.

Bilangan Reynold yang digunakan untuk menggolongkan kondisi aliran, dan dinyatakan dengan persamaan

$$\text{Re}_{D_{\max}} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (2.12)$$

Dimana

- ρ = massa jenis fluida
- V = kecepatan fluida
- ν = kinematic viskositas fluida
- D = diameter lintasan

Pada aliran laminar molekul molekul fluida mengalir mengikuti garis-garis aliran secara teratur. Aliran turbulen terjadi saat molekulmolekul fluida mengalir secara acak tanpa mengikuti garis aliran. Aliran transisi adalah aliran yang berada diantara kondisi laminar dan turbulen, biasanya pada kondisi ini aliran berubah-ubah antara transien dan turbulen sebelum benar-benar memasuki daerah turbulen penuh.

Nilai bilangan Reynolds yang kecil (< 2100) menunjukkan aliran bersifat laminar sedangkan nilai yang besar menunjukkan aliran turbulen(> 4000).

2.9 Prandtl Number

Bilangan tak berdimensi selanjutnya adalah Bilangan Prandtl yang merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan distribusi temperature pada suatu aliran.

$$\text{Pr} = \frac{\mu C_p}{K} \quad (2.13)$$

Dimana

μ	=	Dynamic viskositas (kg/m.s)
C_p	=	Specific Heat (J/Kg K)
K	=	Konduktivitas termal (W/m K)

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. Dapat di tulis dengan persamaan

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}_D^{0.8} \text{Pr}^{0.5} \quad (2.14)$$

Dimana

Re	=	bilangan Renault
Pr	=	bilangan Prandtl

Semakin besar nilai bilangan Nusselt maka konveksi yang terjadi semakin efektif. Bilangan Nusselt yang bernilai 1 menunjukkan bahwa perpindahan kalor yang terjadi pada lapisan fluida tersebut hanya melalui konduksi.

2.10 Computational Fluid Dynamics

Terdapat dua pendekatan fundamental untuk melakukan desain dan analisa dari suatu sistem teknis yang melibatkan aliran fluida yaitu secara eksperimen dan matematis. Pendekatan secara matematis dilakukan dengan metode *computational fluid dynamics* yang merupakan solusi penyelesaian dari persamaan aliran fluida menggunakan komputer. Metode CFD menggunakan persamaan kekekalan massa, kekekalan energi, dan kekekalan momentum untuk menghasilkan data prediksi yang dibutuhkan seperti tekanan, kecepatan ataupun temperatur. Objek yang akan disimulasikan nantinya akan dibagi menjadi bagian – bagian kecil yang disebut

dengan kontrol volume. Di setiap kontrol volume ini akan dilakukan perhitungan matematis.

Ada 3 tahap utama dalam melakukan simulasi CFD yaitu:

a. *Pre Processor*

Domain yang akan dihitung atau dikomputasi harus dipilih terlebih dahulu. Domain yang telah dipilih akan dibagi menjadi element – elemen kecil kontrol volum. Setelah itu dilakukan penentuan kondisi batas di setiap permukaan dari domain. Tahapan selanjutnya adalah penentuan tipe fluida beserta sifatnya (suhu, densitas, kecepatan , dan lain-lain).

b. *Solver*

Terdapat beberapa teknik utama dalam mencari solusi numerik yaitu finite difference, finite element dan spectral method. Secara garis besar metode numerik yang menjadi dasar dari solver melakukan hal-hal sebagai berikut:

- Aproksimasi dari variabel aliran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi-fungsi sederhana
- Diskritisasi dengan melakukan substitusi dari aproksimasi tersebut ke persamaan persamaan atur aliran dan dilanjutkan dengan manipulasi matematis
- Solusi dari persamaan aljabar dengan metode iteratif

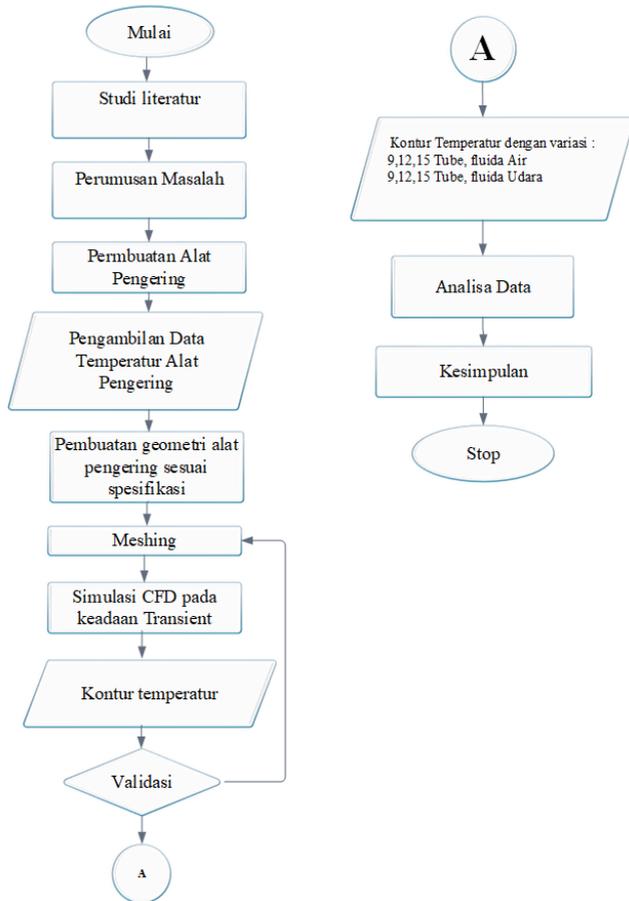
a. *Post Processor*

Ketika solusi dinyatakan konvergen, variabel aliran seperti kecepatan dan tekanan dapat di analisa dalam bentuk grafik. Selain itu, beberapa software CFD dilengkapi dengan kemampuan grafis yang dibutuhkan untuk menampilkan hasil termasuk kemampuan visual yang lain seperti animasi sehingga sering disebut *colourful fluid dynamics*.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.1 Studi Literatur

Pendalaman pemahaman materi tugas akhir ditekankan pada kajian pokok dari penelitian yaitu performansi dari *Heat Exchanger*. Untuk dapat mencapai efisiensi maksimal diperlukan pembelajaran lebih lanjut mengenai perancangan geometri dan pemilihan fluida yang melewati suatu *Heat Exchanger*.

3.2 Pembuatan Alat Pengering H-flory

Alat yang dibuat merupakan rancang bangun pengering H-Flory yang memiliki fungsi sama dengan pengering pada umumnya namun dengan sistem yang berbeda sehingga diharapkan mendapatkan proses dan hasil pengeringan yang lebih efisien dan multifungsi. H-Flory memiliki dimensi 50 x 50 x 50 cm dilengkapi dengan sistem kendali suhu dan kelembaban otomatis. Selain itu, penghantar di keempat sisi pengering dilengkapi dengan logam (Fe) dan fluida (H_2O). Energi termal dari sistem pemanas di kodusikan melalui logam yang selanjutnya di konveksikan secara merata ke seluruh sisi oleh fluida untuk dikonduksikan lagi melalui logam. Panas dari logam tersebut di konveksikan oleh udara dalam ruang pengeringan dan disirkulasikan menggunakan fan.



Gambar 3.2 H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier)

Pada rancang bangun H-Flory, untuk mendapatkan persebaran panas yang merata digunakan konsep konduksi dan konveksi. Konduksi dilakukan oleh logam (Fe) dan konveksi dilakukan oleh fluida (H₂O). Pemilihan besi sebagai logam konduktor karena memiliki konduktivitas thermal mencapai 80.4 W/(m·K) dan kapasitas thermal Fe sebesar 449 J/kg.K (Allmeasures, 2004). Fe memiliki nilai difusivitas thermal yang tinggi yaitu sebesar 22.10⁻⁶ m²/s. (Martin, 2007) Selain itu logam ini memiliki harga yang relatif murah jika dibandingkan dengan logam penghantar panas lainnya karena keberadaannya yang melimpah di alam. Pemilihan H₂O sebagai fluida konveksi karena H₂O merupakan fluida yang baik untuk perpindahan panas, dan fluida air juga mudah didapat. H₂O merupakan sumber energi dan dapat diubah ke bentuk energi lainnya. H₂O memiliki konduktivitas thermal sebesar 1.63×10^{-3} kal/cm.s.oC pada 1000C. Selain itu kapasitas thermal (Cp) air empat kali lebih besar dari pada udara sehingga mampu menyimpan dan menjadi penghantar kalor yang baik. Nilai konduktivitas akan terus meningkat seiring dengan kenaikan suhu, karena terjadi perubahan koefisien perpindahan panas yang semakin meningkat. (John, 2017)

3.3 Pengambilan Data

Data yang diambil pada penelitian ini berupa temperature dinding luar H-flory, temperature dinding dalam H-flory, temperature *Tube Heat Exchanger*, temperature kompor dan juga massa LPG yang digunakan.

3.3.1 Pengukuran Temperatur pada H-flory

Pengambilan data temperature dilakukan pada kondisi api dinyalakan dengan keadaan alat pengering sudah diisi oleh fluida secara penuh dan dalam tempo waktu 10 menit pertama.

Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur Termometer *Infrared*. Pemilihan thermometer ini karena alat ukur ini menggunakan *noncontact* sehingga aman untuk mengukur suhu di dalam alat pengering. Selain itu alat ini memiliki respon yang cepat yaitu 0,5 second, sehingga mempercepat proses pengukuran.

Tabel 3.1 Suhu hasil pengukuran

Temperature Tube Experimen (Celcius)				
Tube	kiri	tengah	kanan	rata-rata
atas	58.7	58.1	60	58.93
tengah	59.5	59	59.6	59.37
bawah	59.1	58.2	59	58.77

3.4 Simulasi Alat Pengering H-flory

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu menentukan geometri alat yang akan dianalisa.

3.4.1 Geometri

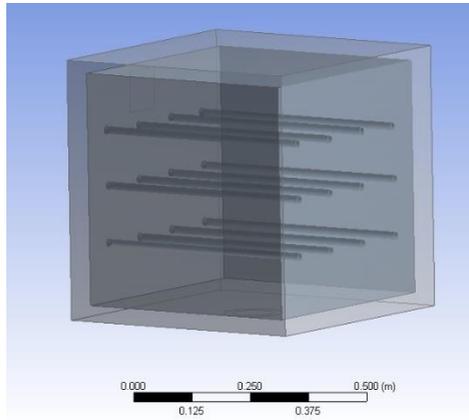
Geometri luar dibuat dengan dimensi 50 cm x 50cm x 50cm dan plat besi dengan ketebalan 3 mm. Di dalam alat terdapat pipa berdiameter 1.9 cm. alat ini didesain menggunakan dua lapisan plat dimana jarak antar plat nya sejauh 3.4 cm.



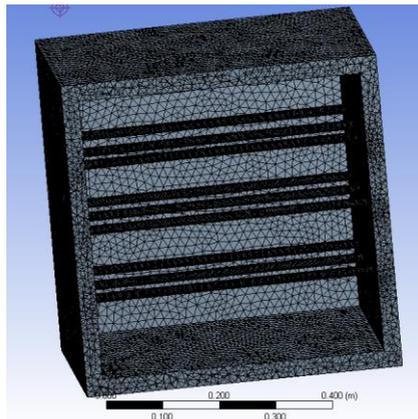
Gambar 3.3 Geometri alat pengering Hflory

3.4.2 Pre Processing

Tahapan Pre Processing dimulai dengan pembuatan geometri, pembuatan *mesh*, penentuan kondisi batas dan karakteristik fluida. Hasil pembuatan geometri pada software ditunjukkan oleh gambar dibawah.



Gambar 3.4 Hasil Pembuatan Geometri pada Software



Gambar 3.5 Hasil *meshing* Salah Satu Variasi Geometri

Tabel 3. 2 Tabel Hasil Meshing

No	Variasi Jumlah Tube pada Alat	Element	Nodes
1	15 tube	1.121.001	458.991
2	12 tube	1.050.913	416.602
3	9 tube	744.948	304.006

Setelah pembuatan geometri selesai, tahapan selanjutnya adalah *meshing* yang merupakan pembagian geometri dalam bagian-bagian elemen kecil kontrol volume. Pada tiap-tiap elemen ini nantinya akan dilakukan perhitungan berbagai persamaan matematis seperti konservasi massa, energi, dan momentum.

3.4.3 Processing

Setelah proses *meshing* dilakukan maka ditentukan kondisi batas dan parameter-parameter matematis yang digunakan pada simulasi numerik. Pada tahap ini, semua kondisi batas harus disesuaikan dengan kondisi yang sesuai dengan kondisi nyata pada saat pengambilan data. Berikut merupakan kondisi batas yang diinisiasikan pada *software*

Tabel 3.3 Tabel Kondisi Batas pada Simulasi dengan metode CFD

Kondisi Batas	Keterangan	
	Inlet	Temperatur
Velocity		0,001 m/s ;
Kompom	Wall	363K
Outlet	Tipe	Outflow
Dinding Alat	Temperature	300K

Kondisi batas ini juga digunakan untuk mensimulasikan variasi jumlah *tube* dan juga jenis fluida. Sehingga dapat diketahui efek perbedaan penggunaan jumlah *tube* dan jenis fluida pada nilai temperature yang sama

Setelah dilakukan pemilihan kondisi batas, maka tahapan berikutnya adalah penentuan parameter nilai – nilai input seperti karakteristik termal dari material dan jenis material. Selanjutnya, dilakukan proses inialisasi kondisi dengan menentukan inlet sebagai parameter awal yang akan dikomputasi. Tahap terakhir adalah dilakukan proses iterasi hingga mencapai konvergensi.

3.4.4 Post Processing

Tahapan Post processing dilakukan ketika simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamics* telah selesai dilakukan.

Hasil simulasi yang didapat adalah kontur distribusi temperatur pada dinding alat pengering, dan juga pada keadaan di dalam alat.

3.5 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data hasil simulasi, data yang didapatkan meliputi kontur distribusi temperatur.

3.6 Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah semua data dari hasil simulasi telah didapatkan. Proses ini dilaksanakan dengan berdasar pada teori-teori yang telah didapatkan pada tahap studi literatur. Pada bagian ini akan dibahas kontur temperatur dan perbedaannya di tiap variasi.

3.7 Penarikan Kesimpulan

Dilakukan penarikan kesimpulan sesuai dengan hasil analisa data yang telah dilakukan.

3.8 Penutup

Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari pelaksanaan tugas akhir ini. Laporan memuat hasil penelitian yang telah dilaksanakan selama tugas akhir.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini ditampilkan hasil analisa dan simulasi dari penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dari alat pengering Hflory dengan menggunakan variasi jumlah tube dan juga penggunaan fluida kerja di dalamnya dengan simulasi dengan metode CFD. Hal ini diperlukan untuk dapat melihat apakah jumlah tube dan penggunaan fluida kerja pada alat pengering dapat pemeratakan temperature di dalam alat pengering agar dapat membuat objek yang dikeringkan dapat kering secara menyeluruh dari rak atas sampai rak bawah, dan juga apakah fluida kerja dapat digunakan sebagai media menyimpan panas. Di akhir analisa, seluruh hasil simulasi dibandingkan sehingga didapat variasi jumlah tube dan jenis fluida kerja mana yang paling optimal.

4.1 Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi yang didapat dan hasil pengambilan data secara langsung.

Tabel 4.1 Tabel Temperature hasil Experimen

	Temperatur Tube Experimen			
	Kiri(°C)	tengah(°C)	kanan(°C)	rata-rata(°C)
Atas	58.7	58.1	60	58.93
tengah	59.5	59	59.6	59.37
bawah	59.1	58.2	59	58.77

Tabel 4.2 Tabel Temperature hasil Simulasi

	Temperatur Tube Simulasi			
	kiri(°C)	tengah(°C)	kanan(°C)	rata-rata(°C)
Atas	60.8	60.2	60.9	60.6
tengah	61.7	60.7	61.3	61.2
bawah	61.4	60.8	61.7	61.3

Tabel 4.3 Tabel Error hasil simulasi terhadap hasil experiment

Error(%)			
kiri	tengah	kanan	rata-rata
3.50	3.61	1.50	2.87
3.69	2.88	2.85	3.14
3.89	4.46	4.58	4.31

Hasil pengambilan data temperatur dari tube pada alat pengering didapatkan nilai tertinggi 60°C dan terendah 58.1°C. Sedangkan pada simulasi didapatkan nilai tertinggi 61.7°C dan terendah 60.2°C. Kemudian dari kedua data tersebut didapatkan error simulasi tertinggi sebesar 4.58%. Distribusi Temperature pada Alat pengering Hflory dengan Variasi perbedaan jenis Material Alat dengan Fluida Air

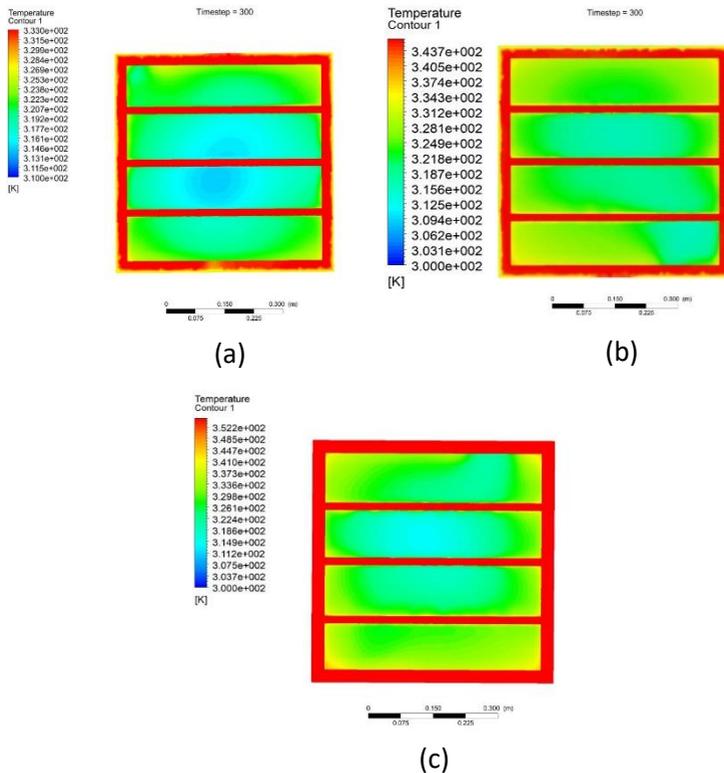
4.2 Distribusi Temperature pada Alat pengering Hflory dengan Variasi perbedaan jenis Material Alat dengan Fluida Air

Variasi pertama yang disimulasikan adalah mengubah material pada alat pengering yang telah ada. Pada alat pengering

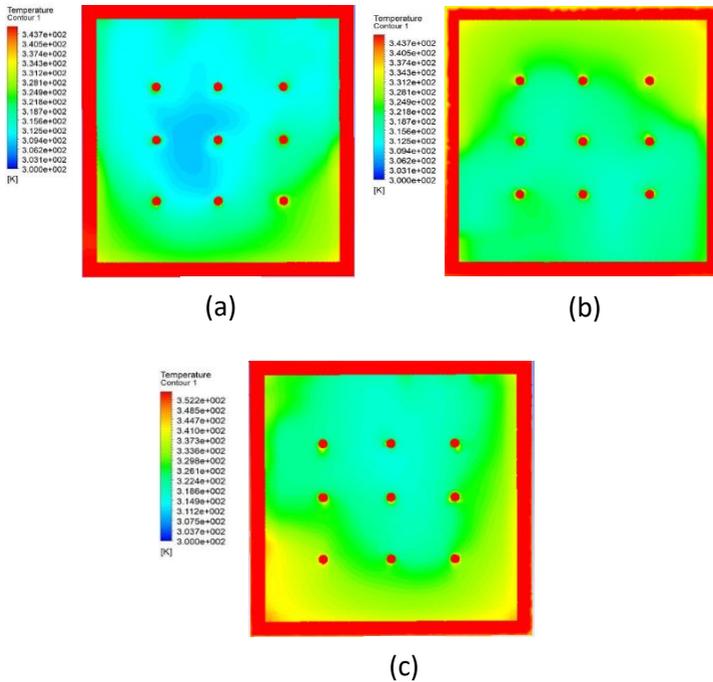
yang telah dibuat menggunakan material besi, pada simulasi diganti dengan menggunakan tembaga dan aluminium. Untuk mengetahui perbedaannya, material besi juga ikut di simulasikan. Hasil simulasinya akan disajikan dengan bentuk gambar.

4.2.1 Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Air pada 9 Tube Heat Exchanger

Alat pengering ini di desain awal menggunakan 9 buah tube di dalamnya, hal ini bertujuan agar temperature di dalam alat pengering mampu merata sehingga akan membuat kualitas bahan yang di keringkan menjadi lebih baik. Untuk itu dilakukan simulasi dengan variasi awal yaitu penggantian jenis material alat.



Gambar 4. 1 Kontur Temperatur potongan sumbu-XY dari Alat pengering dengan 9 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga



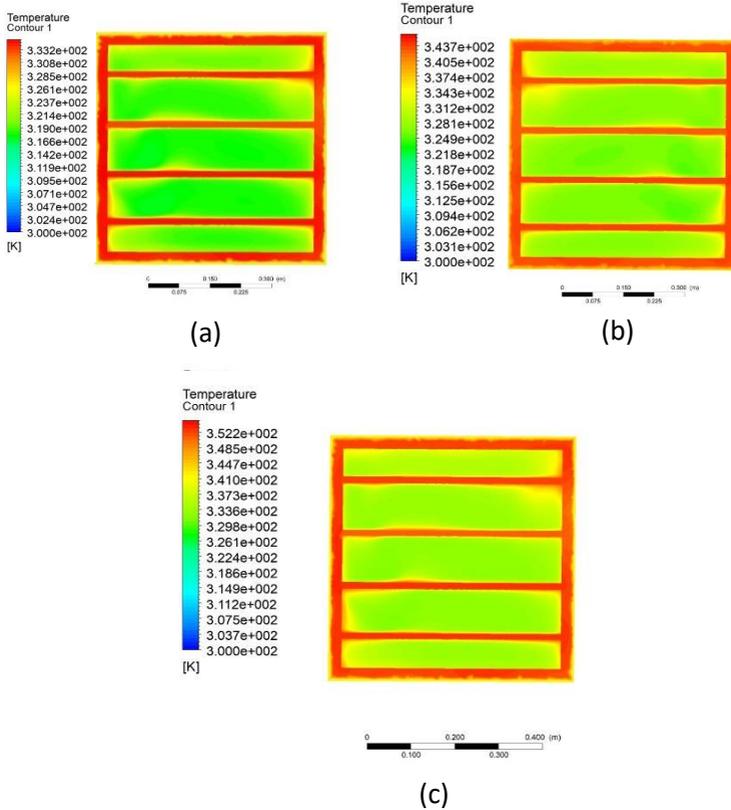
Gambar 4. 2 Kontur Temperatur potongan sumbu-YZ dari Alat pengering dengan 9 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur yang berada di dalam alat pengering cukup merata pada material tembaga, begitu pula dengan distribusi temperatur pada fluida air juga memiliki temperatur paling tinggi di dibandingkan material besi dan aluminium. Pada material tembaga didapat temperatur tertinggi sebesar 351,7 K, nilai temperatur pada besi sebesar 342,5 K dan pada aluminium sebesar 333,0 K. Hal tersebut dikarenakan nilai C_p atau Specific Heat Capacity masing-masing material. Nilai C_p menunjukkan seberapa banyak jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu satuan temperatur pada satu satuan massa. Hal ini berarti nilai C_p berbanding terbalik dengan massa dan temperatur namun berbanding lurus dengan energi yang

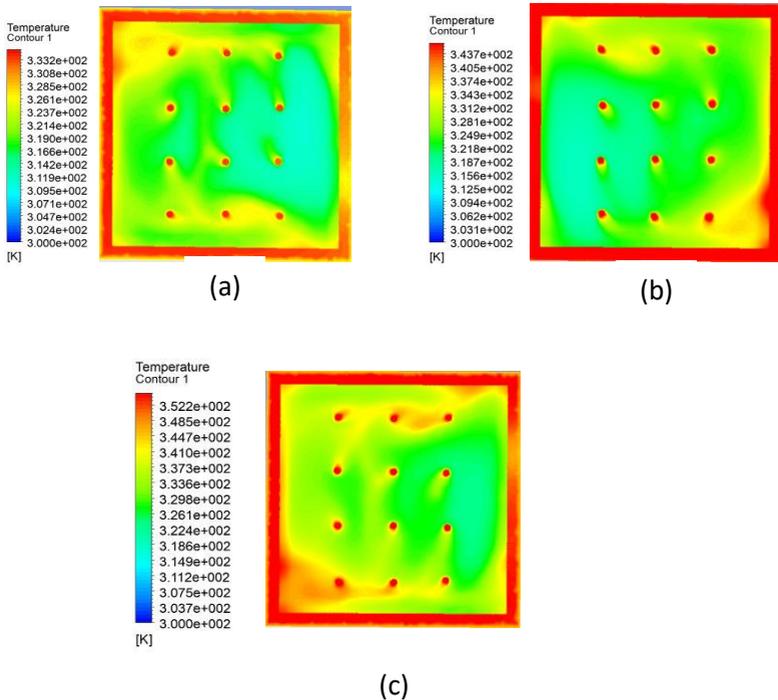
diperoleh. Dilihat dari nilai C_p , aluminium memiliki nilai C_p tertinggi yaitu 871 J/KgK kemudian nilai C_p Besi adalah 502,48 J/KgK dan yang terendah adalah tembaga dengan nilai C_p 381 J/KgK. Dalam simulasi, nilai kalor dan massa yang diberikan untuk berbagai variasi tersebut adalah tetap. Akibat hal tersebut, perubahan terjadi hanya pada temperatur air yang mengalir dalam heat exchanger. Jika diurutkan dari nilai C_p , maka dengan jumlah kalor dan massa yang sama nilai temperatur tertinggi hingga terendah adalah material tembaga, besi dan aluminium. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi yang memperlihatkan bahwa nilai temperatur air keluaran dari heat exchanger berbahan tembaga lebih tinggi 9,2 K jika dibandingkan dengan besi dan lebih tinggi 18,7 K jika dibandingkan dengan aluminium.

4.2.2 Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Air pada 12 Tube Heat Exchanger

Setelah mengetahui distribusi temperatur pada 9 tube heat exchanger kemudian dilanjutkan dengan mensimulasikan 12 tube heat exchanger. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan performansi dari penambahan jumlah tube dan jenis material alat pengering.



Gambar 4. 3 Kontur Temperatur potongan sumbu-XY dari Alat pengering dengan 12 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

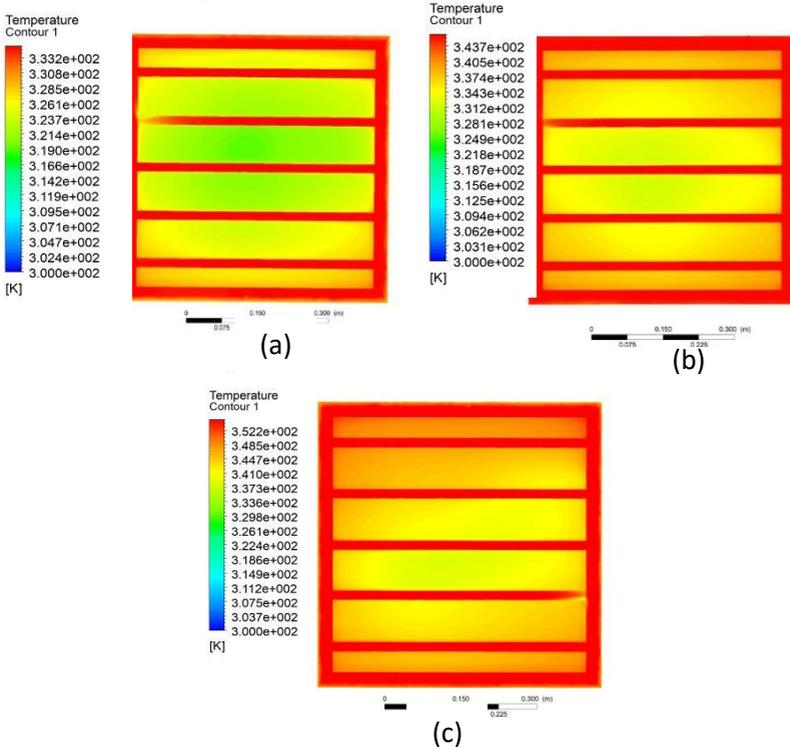


Gambar 4. 4 Kontur Temperatur potongan sumbu-YZ dari Alat pengering dengan 12 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

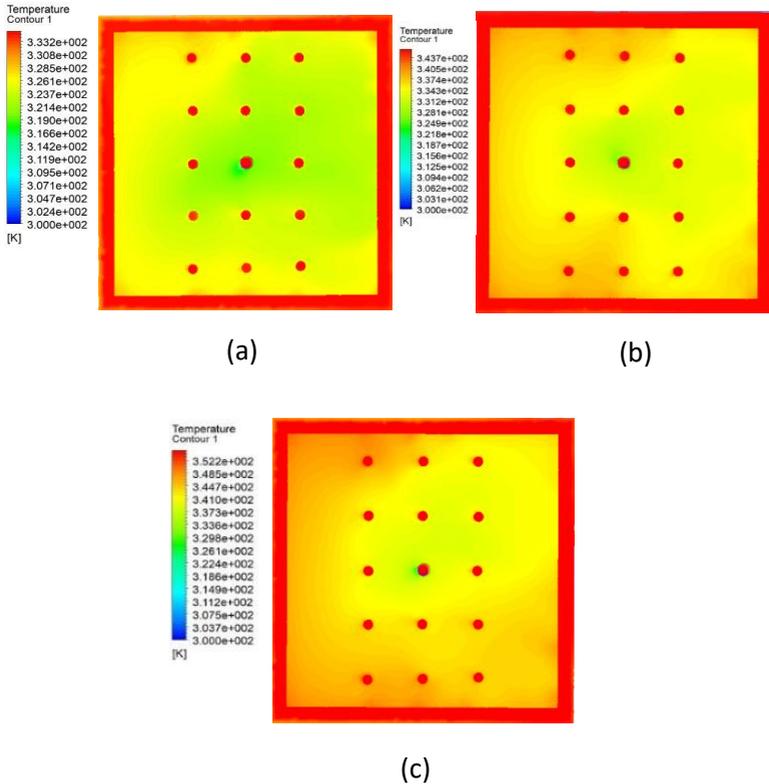
Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperature yang berada di dalam alat pengering sangat merata pada material tembaga, begitu pula dengan distribusi temperature pada fluida air juga memiliki temperature paling tinggi dibandingkan material besi dan aluminium. Terdapat perbedaan cukup jelas antara penggunaan 9 Tube dengan 12 Tube, terlihat bahwa persebaran temperature dalam alat pengering lebih merata saat jumlah tube nya di tambah dari 9 menjadi 12, hal tersebut sesuai dengan persamaan (8) dimana ketika Luas permukaan heat transfer (m^2) bertambah, maka nilai dari total heat transfer rate (q) akan berbanding lurus.

4.2.3 Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Air pada 15 Tube Heat Exchanger

Setelah mengetahui distribusi temperature pada 9 dan 12 tube heat exchanger kemudian dilanjutkan dengan mensimulasikan 15 tube heat exchanger. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan performansi dari penambahan jumlah tube dan jenis material alat pengering.



Gambar 4. 5 Kontur Temperatur potongan sumbu-XY dari Alat pengering dengan 15 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga



Gambar 4. 6 Kontur Temperatur potongan sumbu-YZ dari Alat pendingin dengan 15 Tube, Fluida Air dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

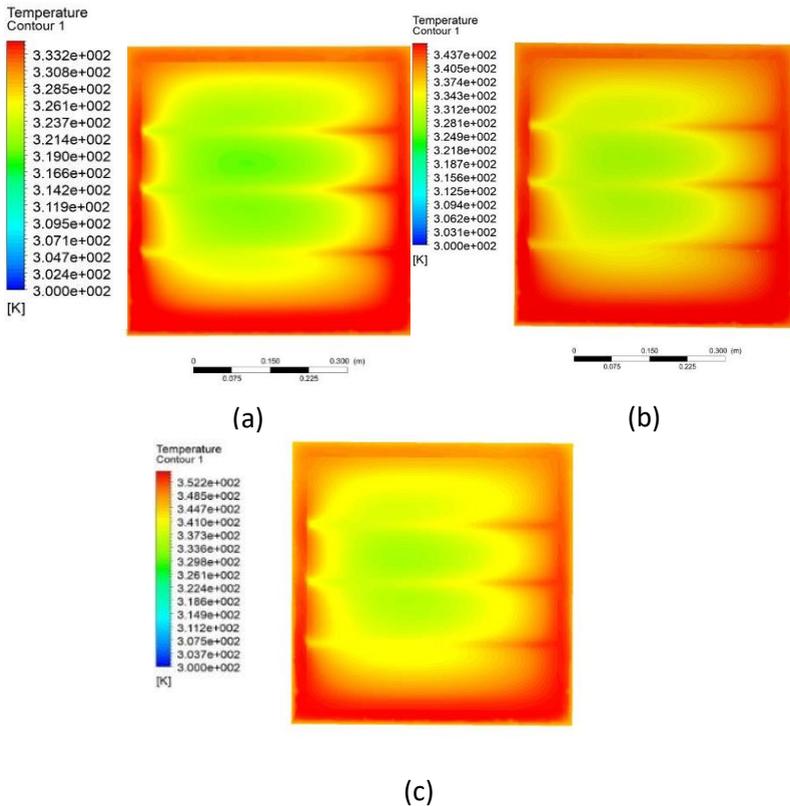
Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperature yang berada di dalam alat pengering sangat merata pada material tembaga, begitu pula dengan distribusi temperature pada fluida air juga memiliki temperature paling tinggi dibandingkan material besi dan aluminum. Terdapat perbedaan cukup jelas antara penggunaan 12 Tube dengan 15 Tube, terlihat bahwa persebaran temperature dalam alat pengering lebih merata dan juga temperaturnya juga meningkat saat jumlah tube nya di tambah dari 9,12 menjadi 15, hal tersebut sesuai dengan persamaan (8) dimana ketika Luas permukaan heat transfer (m^2) bertambah, maka nilai dari total heat transfer rate (q) akan berbanding lurus

4.3 Distribusi Temperature pada Alat pengering Hflory dengan Variasi perbedaan jenis Material Alat dengan Fluida Udara

Variasi selanjutnya yang disimulasikan adalah mengubah fluida kerja pada alat pengering yang telah ada. Pada alat pengering yang telah dibuat menggunakan fluida air, pada simulasi diganti dengan menggunakan fluida udara. Untuk mengetahui perbedaannya, hasil simulasinya akan disajikan dengan bentuk gambar.

4.3.1 Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Udara pada 9 Tube Heat Exchanger

Alat pengering ini di desain awal menggunakan Fluida kerja Air dengan 9 buah tube di dalamnya, hal ini bertujuan agar temperature di dalam alat pengering mampu merata sehingga akan membuat kualitas bahan yang di keringkan menjadi lebih baik. Untuk itu dilakukan simulasi dengan penggantian FLuida Kerja guna mengetahui fluida jenis manakah yang paling optimal.



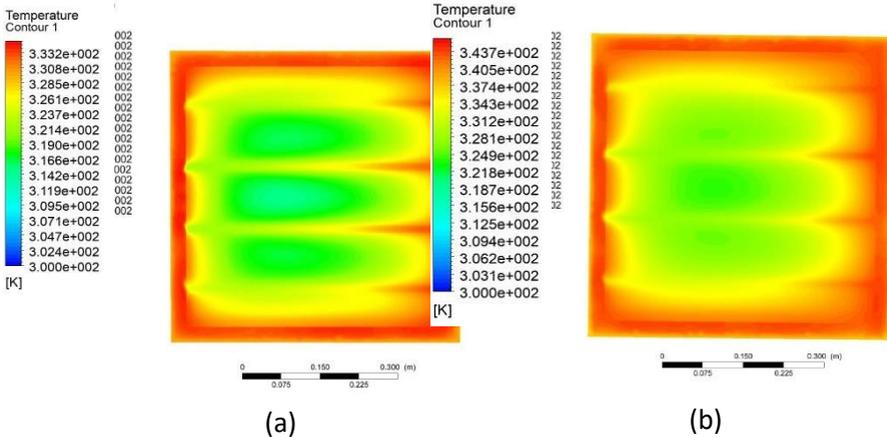
Gambar 4. 7 Kontur Temperature dari Alat pengering dengan 9 Tube, Fluida Udara dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

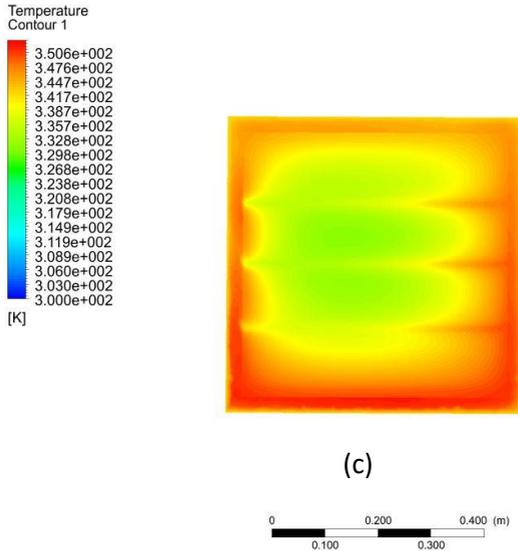
Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperature yang berada di dalam alat pengering tidak begitu merata di bagian tengah, distribusi temperature menunjukkan bahwa pada udara bagian di dekat dinding alat mengalami perbedaan temperature yang cukup jauh di dibandingkan dengan kondisi udara di tengah

alat. Hal tersebut dikarenakan air atau H₂O memiliki konduktivitas thermal sebesar 1.63×10^{-3} kal/cm.s.°C pada 100°C. Selain itu kapasitas thermal (C_p) air empat kali lebih besar dari pada udara sehingga mampu menyimpan dan menjadi penghantar kalor yang baik. Nilai konduktivitas akan terus meningkat seiring dengan kenaikan suhu, karena terjadi perubahan koefisien perpindahan panas yang semakin meningkat. Oleh karena itu hasil simulasi sudah sesuai dengan dasar teori yang ada.

4.3.2 Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Udara pada 12 Tube Heat Exchanger

Setelah mengetahui distribusi temperature pada 9 tube heat exchanger kemudian dilanjutkan dengan mensimulasikan 12 tube heat exchanger. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan performansi dari penambahan jumlah tube dan jenis material alat pengering



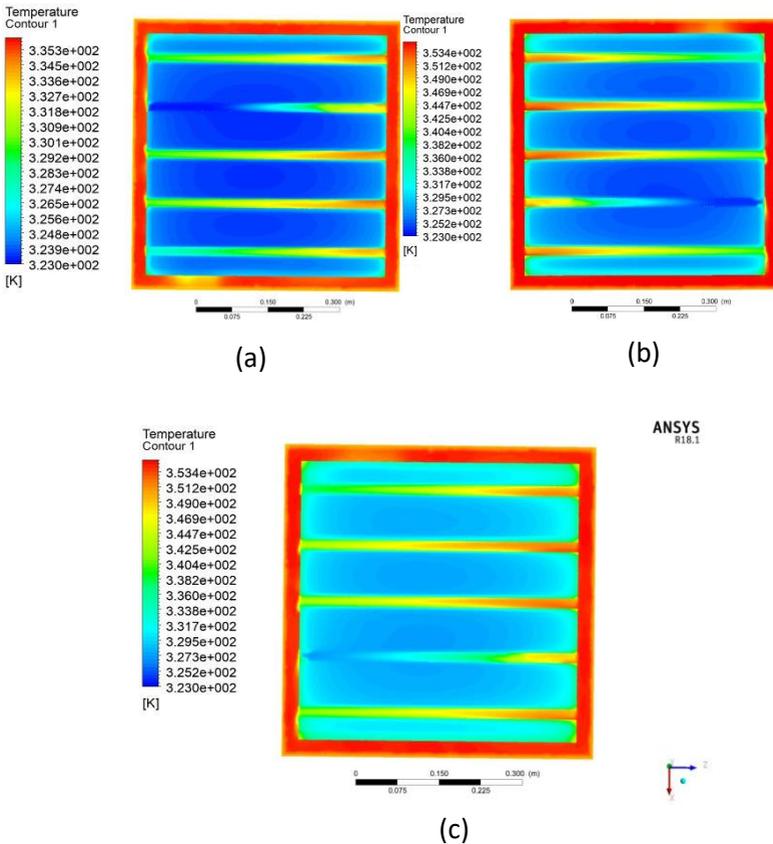


Gambar 4.8 Kontur Temperature dari Alat pengering dengan 12 Tube, Fluida Udara dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperature yang berada di dalam alat tidak begitu merata, begitu pula dengan distribusi temperature pada fluida udara di dalam tube bahkan bisa dikatakan tidak memiliki dampak yang berarti. Pada material aluminium didapat perbedaan temperature tertinggi sebesar 27 K, nilai temperature pada besi sebesar 12 K dan pada tembaga sebesar 9 K.

4.3.3 Distribusi Temperatur dengan Fluida Kerja Udara pada 15 Tube Heat Exchanger

Setelah mengetahui distribusi temperature pada 9 dan 12 tube heat exchanger kemudian dilanjutkan dengan mensimulasikan 15 tube heat exchanger. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan performansi dari penambahan jumlah tube dan jenis material alat pengering

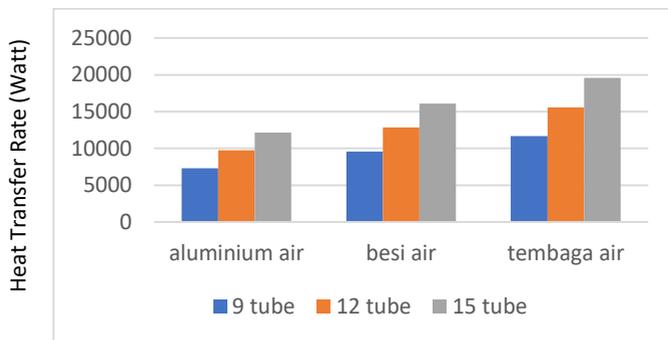


Gambar 4. 9 Kontur Temperature dari Alat pengering dengan 15 Tube, Fluida Udara dan material (a)aluminium , (b) besi dan (c) tembaga

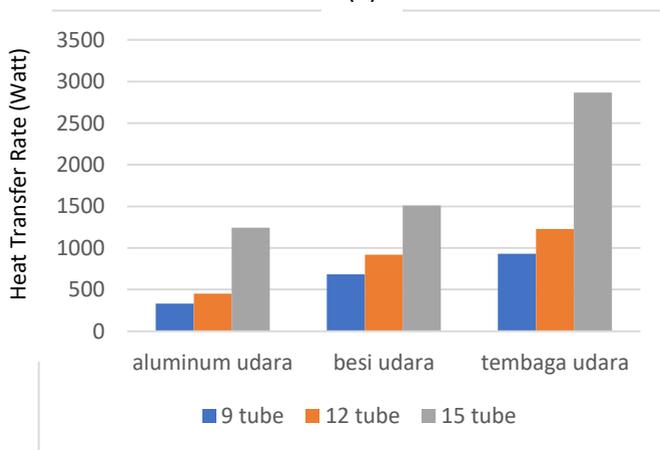
Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperature yang berada di dalam alat tidak begitu merata, namun memiliki perbedaan temperature yang tidak begitu signifikan. Pada material aluminium didapat perbedaan temperature tertinggi sebesar 19 K, nilai temperature pada besi sebesar 10 K dan pada tembaga sebesar 7 K.

4.4 Perbandingan Performansi

Dari hasil distribusi temperature yang telah diperoleh, dapat diketahui nilai persebaran temperature yang ada di dalam alat pengering. Performansi dari alat dihitung menggunakan persamaan (8) didapatkan hasil sebagai berikut



(a)



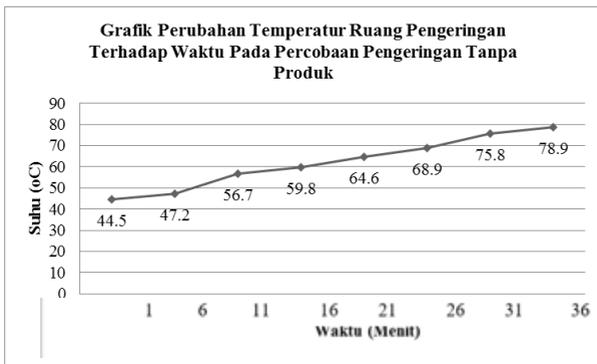
(b)

Gambar 4. 10 Grafik Performansi Alar pengering, (a) Fluida Air, (b) Fluida Udara

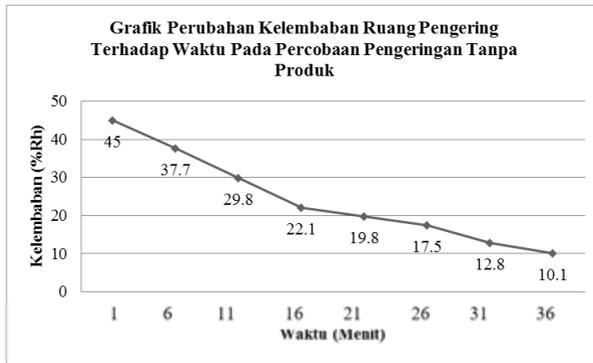
Performansi tertinggi didapat oleh material tembaga dengan 15 tube dan fluida kerja air bernilai 19,59 kWatt, Sedangkan performansi terendah diperoleh oleh material aluminium dengan 9 tube dan fluida udara bernilai 332.5 Watt saja

4.5 Pengujian Alat Pengering Tanpa Produk

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan *H-Flory* tanpa ada produk yang dikeringkan di dalam ruang pengeringan. Kecepatan *fan* dibuat konstan dan pintu tertutup rapat. Dari percobaan tersebut didapatkan data temperatur dan kelembaban di dalam ruang pengeringan sesuai pada **Gambar** . berikut



(a)



(b)

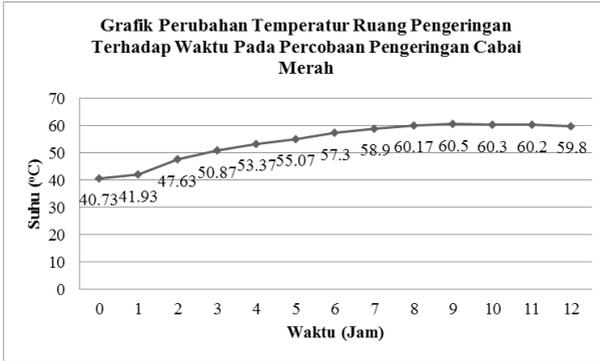
Gambar 4.11 (a) Nilai temperatur terhadap waktu pada pengujian pengeringan menggunakan *H-Flory* tanpa produk, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan menggunakan *H-Flory* tanpa produk

Berdasarkan **Gambar 4.11** (a) dan (b) pada pengujian *H-Flory* didapatkan bahwa temperatur maksimum dan minimum ruang pengeringan yang dapat dicapai oleh *H-Flory* berturut – turut adalah 78.9 °C dan 44.5 °C. Selain itu pada grafik tersebut dapat dihitung laju peningkatan dan penurunan kelembaban. Dari **Gambar 4.11** Dapat disimpulkan bahwa *H-Flory* mampu meningkatkan suhu sebesar 0,9565°C / menit dan mampu menurunkan kelembaban 0.9694 %Rh / menit

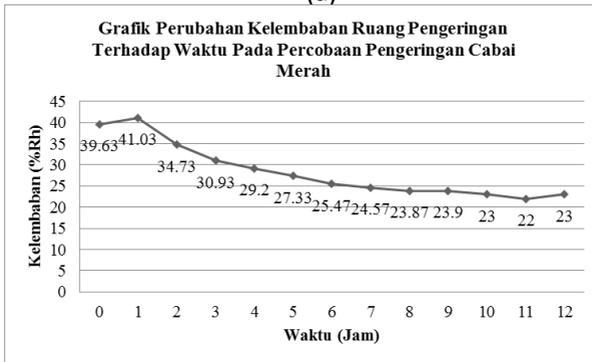
4.6 Pengujian pengeringan produk Cabai Merah (*Capsicum annuum L.*)

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan *H-Flory* dengan mengeringkan satu kilogram cabai merah yang sebelumnya telah melewati proses *blaching* di dalam ruang pengeringan. Cabai diletakkan merata pada Loyang pengeringan. Kecepatan *fan* dibuat konstan dan pintu tertutup rapat. Dari percobaan tersebut

didapatkan data temperatur dan kelembaban di dalam ruang pengeringan sesuai pada **Gambar 4.12**. Berikut



(a)



(b)

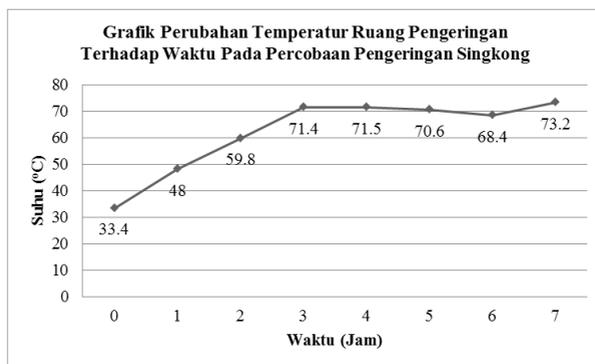
Gambar 4.12. (a) Nilai temperatur terhadap waktu pada pengujian pengeringan cabai merah menggunakan *H-Flory*, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan cabai merah menggunakan *H-Flory*

Berdasarkan pada **Gambar 4.12** (a) didapatkan bahwa *H-Flory* telah mampu menjaga suhu pengeringan mendekati setpoint yang telah diatur yaitu 60 °C. pada **Gambar 4.12**. (b) didapatkan bahwa kelembaban ruangan minimum yang dapat dicapai berkisar pada 22 – 23 %Rh. Dari kedua grafik tersebut juga didapatkan

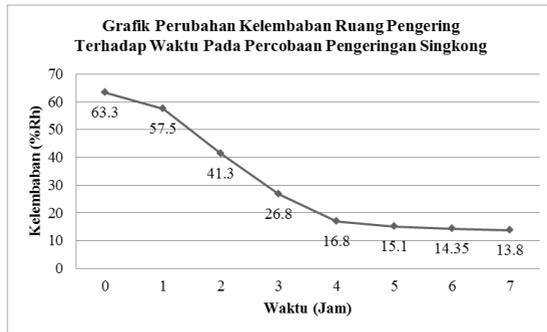
bahwa kenaikan temperatur pada ruang pengeringan sebesar 0.00878°C / menit dan penurunan kelembaban sebesar $0.00712\% \text{Rh}$ / menit. Setelah menjalani proses pengeringan kurang lebih selama 12 jam, berat cabai merah berkurang sebesar 85% dari yang beratnya satu kilogram menjadi 150 gram dengan konsumsi 1.5 Kg LPG

4.7 Pengujian pengeringan produk Singkong (*Manihot Utilissima Pohl*)

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan *H-Flory* dengan mengeringkan satu kilogram singkong kupas iris pipih yang sebelumnya telah melewati proses penggaraman di dalam ruang pengeringan. Penggaraman dilakukan untuk menghilangkan getah dan menetralkan keasaman singkong. Singkong diletakkan merata pada Loyang pengeringan secara merata. Kecepatan *fan* dibuat konstan dan pintu tertutup rapat. Dari percobaan tersebut didapatkan data temperatur dan kelembaban di dalam ruang pengeringan sesuai pada **Gambar 4.13** Berikut



(a)



(b)

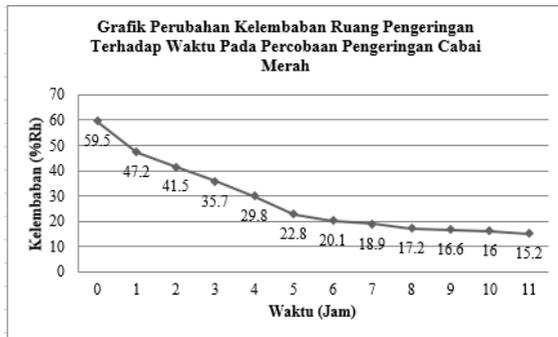
Gambar 4.13 (a) Nilai temperatur terhadap waktu pada pengujian pengeringan singkong menggunakan *H-Flory*, (b) Nilai kelembaban terhadap waktu pada pengujian pengeringan singkong menggunakan *H-Flory*

Berdasarkan pada **Gambar 4.13** (a) didapatkan bahwa *H-Flory* telah mampu menjaga suhu pengeringan mendekati setpoint yang telah diatur yaitu 70 °C. pada **Gambar 4.13** (b) didapatkan bahwa kelembaban ruangan minimum yang dapat dicapai berkisar pada 14 – 13 %Rh. Dari kedua grafik tersebut juga didapatkan bahwa kenaikan temperatur pada ruang pengeringan sebesar 0.00878°C / menit dan penurunan kelembaban sebesar 0.00718%Rh / menit. Setelah menjalani proses pengeringan kurang lebih selama tujuh jam, berat singkong berkurang sebesar 68% dari yang beratnya satu kilogram menjadi 320 gram dengan 1.3 Kg LPG

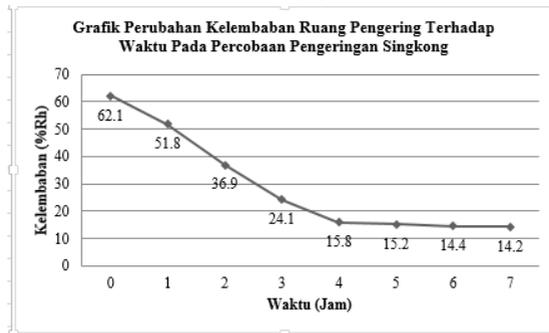
4.8 Pengujian Relative Humidity (RH) pengeringan produk Cabai Merah dan Singkong dengan Pemberian Lubang Pada Alat

Pengujian dilakukan dengan alat pengering yang sudah di perbaharui, yaitu memberikan lubang sebagai sirkulasi udara di bagian atas alat pengering yang bertujuan untuk mempercepat

penurunan kelembapan udara di dalam alat tersebut. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan *H-Flory* dengan mengeringkan satu kilogram cabai dan singkong kupas iris pipih. Kecepatan *fan* dibuat konstan dan pintu tertutup rapat. Dari percobaan tersebut didapatkan data kelembapan di dalam ruang pengeringan sesuai pada **Gambar 4.14** Berikut



(a)



(b)

Gambar 4.14 (a) Nilai kelembapan terhadap waktu pada pengujian pengeringan cabai merah menggunakan *H-Flory*, (b) Nilai kelembapan terhadap waktu pada pengujian pengeringan singkong menggunakan *H-Flory*

Berdasarkan pada **Gambar 4.14** (a) proses pengeringan cabai merah mengalami penurunan kelembapan yang lebih cepat dan memiliki kadar kelembapan lebih rendah juga memerlukan waktu pengeringan lebih singkat sampai 1 jam jika di bandingkan dengan pengujian sebelumnya saat belum di berikan lubang pembuangan di bagian atas. pada **Gambar 4.14** (b) pengeringan singkong di dapatkan data penurunan temperature lebih cepat namun waktu pengeringan dan kelembapan terendah yang di dapatkan memiliki nilai hampir sama dengan pengeringan saat alat belum diberikan lubang pembuangan di bagian atas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tugas akhir ini adalah untuk melihat pengaruh perbedaan dari jumlah tube, perbedaan material dan juga perbedaan jenis fluida kerja terhadap performansi dari heat exchanger alat pengering. Kesimpulan akan diambil dari hasil distribusi temperature, dan hasil performansi dari masing-masing variasi yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. :

- a. Tembaga merupakan jenis material yang yang dapat membuat distribusi temperature di dalam heat exchanger paling merata, diikuti oleh besi dan aluminium, dilihat dari perbedaan temperatur di dalam alat pengering. Pada material aluminium didapat perbedaan temperature tertinggi sebesar 19 K, nilai temperature pada besi sebesar 10 K dan pada tembaga sebesar 7 K.
- b. Pada material tembaga didapat temperature tertinggi sebesar 351,7 K, nilai temperature pada besi sebesar 342,5 K dan pada aluminium sebesar 333,0 K. Hal tersebut dikarenakan nilai C_p atau Specific Heat Capacity masing-masing material, C_p berbanding terbalik dengan massa dan temperatur namun berbanding lurus dengan energi yang diperoleh.
- c. Penggunaan fluida kerja air dapat mendistribusikan temperature lebih baik ketimbang fluida kerja udara, hal tersebut dikarenakan itu kapasitas thermal (C_p) air empat kali lebih besar dari pada udara sehingga mampu menyimpan dan menjadi penghantar kalor yang baik.
- d. Nilai performansi paling tinggi diperoleh dari simulasi 15 tube heat exchanger dengan fluida kerja air dengan *heat transfer rate* sebesar 19592.5 *watt* dan terkecil diperoleh oleh 9 tube dengan material aluminium dan fluida kerja udara sebesar 332.5 *watt*.

5.2 Saran

Penulis memberikan saran pengembangan penelitian lebih lanjut sebagai berikut :

- a. Dapat menambahkan beberapa variasi seperti diameter dari tube heat exchanger
- b. Dapat mengatur kecepatan fluida air di dalam tube heat exchanger

DAFTAR PUSTAKA

- Adhim, M.M. dkk. 2013. *SPIN DRY-PAD: Mesin Putar Pengering Padi Berbasis Sistem Otomasi Untuk Meningkatkan Kualitas dan Produktivitas Padi Ud Sumber Rejeki*.
- RPJNM, 2015. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015-2019 Bidang Pangan dan Pertanian*. Jakarta : BAPPENAS
- Usman, Rosyid. 2015. *Penanganan Hasil Perkebunan Pasca Panen*. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Ahmad, Usman. 2008. *Teknik Pasca Panen*. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Intergovernmental Panel Climate Change 2007: The Physical Science. Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Alzami, Vavai. 2001 . *Analysis of fluid flow and heat transfer interfacial conditions between a porous medium and a fluid layer* . Columbus : Department of Mechanical Engineering, The Ohio State University
- Kemp. 2012. *Modern Drying Technology Volume 4: Energy Savings, First Edition*. Dallas : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- John. 2017. *Why does the heat transfer coefficient of water increase with an increase of temperature*. USA : Quora
- Allmeasures. 2004. *Iron Characteristic*. Brazil : Allmeasures Corp.
- Martin. 2007. *Staying Warm : Cast Iron VS Stainless Steel*. Norway : Khymos

- Manabu. 2013. *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering*. Japan : Springer
- D, I., 2002. Energy and economic effectiveness of a fruit and vegetable dryer. *Energy Conversion and Management*, Volume 44, pp. 763-769.
- Henk Huisseune, P. D. J., 2013. Performance analysis of a compound heat exchanger by screening. *Applied Thermal Engineering*, Volume 51, pp. 450-501.
- Incropera, F. P., 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Saleh, A., 2013. Design and construction of a Vegetable Drier. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 2(9), pp. 88-94.
- Ubale, A. B., 2015. Analitical and Experimental Study of Forced Convection Evacuated Tube Solar Grape Dryer. pp. 1-31.
- Umesh Hebbar, V. R., 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, Volume 65, pp. 557-563.
- Zhank, D. T., 2002. Flow efficiency in multi-louvered fins. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 46, pp. 1737-1750.

DAFTAR LAMPIRAN

- A. Perhitungan q (Heat Transfer Rate) pada alat pengering dengan fluida kerja air dan jenis material besi**
- B. Foto Pengambilan Data dengan Alat Pengering**

“Halaman ini memang dikosongkan”

A. Perhitungan q (Heat Transfer Rate) pada alat pengering dengan fluida kerja air dan jenis material besi

1. Mencari nilai Reynold Number pada aliran fluida air

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Dimana pada simulasi didapatkan nilai :

$$\begin{aligned} V &= 0.1752 \text{ m/s} \\ D &= 0.016 \text{ m} \\ \nu &= 3.77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$Re = \frac{0.1752 \times 0.016}{3.77 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 8.83 \times 10^3$$

2. Mencari nilai Prandtl Number

$$Pr = \frac{\eta \cdot Cp}{K}$$

Dimana pada simulasi didapatkan nilai :

$$\begin{aligned} Cp &= 4185.5 \text{ j/kg.k} \\ \eta &= 3.67 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s} \\ K &= 0.56 \text{ W/m.k} \end{aligned}$$

$$Pr = \frac{3.67 \times 10^{-4} \times 4185.5}{0.56}$$

$$Pr = 2.56$$

3. Mencari nilai Nusselt Number

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4}$$

Nilai Re dan Pr dimasukkan ke dalam persamaan

$$Nu = 0.023 \times 8.83 \times 10^3^{0.8} \times 2.56^{0.4}$$

$$Nu = 0.554x10^2$$

4. Mencari Nilai Koefisien Heat Transfer konveksi fluida air

$$Nu = \frac{h.L}{K}$$

Dimana sudah diketahui nilai

$$Nu = 0.554x10^2$$

$$L = 0.432 \text{ m}$$

$$K = 0.56 \text{ W/m.k}$$

Maka

$$h = \frac{K.Nu}{L}$$

$$h = \frac{0.56x0.554x10^2}{0.432}$$

$$h(\text{air}) = 1.75x10^3 \text{ W/m}^2.k$$

$$hi = 1.75x10^3 \text{ W/m}^2.k$$

5. Mencari nilai Reynold Number pada aliran fluida udara

$$Re = \frac{V.D}{\nu}$$

Dimana pada simulasi didapatkan nilai :

$$V = 0.0504 \text{ m/s}$$

$$D = 0.432 \text{ m}$$

$$\nu = 1.94 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0.0504 \times 0.432}{1.94 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 1.169x10^3$$

6. Mencari nilai Prandtl Number

$$Pr = \frac{\eta.Cp}{K}$$

Dimana pada simulasi didapatkan nilai :

$$Cp = 1006.43 \text{ j/kg.k}$$

$$\begin{aligned}\eta &= 2.02 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} \\ K &= 0.0242 \text{ W/m.k} \\ Pr &= \frac{2.02 \times 10^{-5} \times 1006.43}{0.0242}\end{aligned}$$

$$Pr = 0.84$$

7. Mencari nilai Nusselt Number

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4}$$

Nilai Re dan Pr dimasukkan ke dalam persamaan

$$Nu = 0.023 \times 1.169 \times 10^{3.0.8} \times 0.84^{0.4}$$

$$Nu = 7.0343$$

8. Mencari Nilai Koefisien Heat Transfer konveksi fluida udara

$$Nu = \frac{h \cdot L}{K}$$

Dimana sudah diketahui nilai

$$\begin{aligned}Nu &= 7.0343 \\ L &= 0.432 \text{ m} \\ K &= 0.0242 \text{ W/m.k}\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}h &= \frac{K \cdot Nu}{L} \\ h &= \frac{0.0242 \times 7.0343}{0.432}\end{aligned}$$

$$h(\text{udara}) = 0.378292891 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

$$h_o = 0.378292891 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

9. Mencari nilai U (Heat Transfer Coefficient)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_o \cdot \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

Dimana nilai yang sudah diketahui adalah

$$\begin{aligned}h_i &= 1.75 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k} \\h_o &= 0.378292891 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k} \\r_o &= 0.019 \text{ m} \\r_i &= 0.016 \text{ m} \\K(\text{besi}) &= 202.4 \text{ W/m.k}\end{aligned}$$

Maka

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1.75 \times 10^3} + \frac{0.019 \cdot \ln\left(\frac{0.019}{0.016}\right)}{202.4} + \frac{1}{0.378292891}}$$

$$U = 2.36 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

10. Mencari nilai q (Total Heat Transfer Rate)

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lmtd}$$

$$q = U \cdot A \cdot \frac{(T_s - T_{ho}) - (T_s - T_{hi})}{\ln\left(\frac{T_s - T_{ho}}{T_s - T_{hi}}\right)}$$

Dimana nilai yang sudah diketahui adalah

$$\begin{aligned}U &= 2.36 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k} \\A &= (3.14 \times 0.019 \times 0.432) \times 12 \text{ pipa} \\&= 0.3223 \text{ m}^2 \\T_s &= 320.78 \text{ K} \\T_{hi} &= 333.65 \text{ K} \\T_{ho} &= 333.52 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\Delta T_{lmtd} = \frac{(T_s - T_{ho}) - (T_s - T_{hi})}{\ln\left(\frac{T_s - T_{ho}}{T_s - T_{hi}}\right)}$$

$$\Delta T_{lmtd} = \frac{(320.78 - 333.52) - (320.78 - 333.65)}{\ln\left(\frac{320.78 - 333.52}{320.78 - 333.65}\right)}$$

$$\Delta T_{lmtd} = 12.8108832 \text{ K}$$

Maka

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot \text{lmtd}$$
$$q = 2.36 \times 10^3 \times 0.3223 \times 12.8108832$$
$$q = 9747.621673 \text{ Watt}$$

“Halaman ini memang dikosongkan”

B. Foto Pengambilan Data dengan Alat Pengering



Gambar Alat Pengering Dengan 10 Lubang Di Bagian Atas



Gambar Perbandingan Cabe Merah Sebelum Dan Sesudah Dikeringkan



Gambar Pengambilan Data Pengeringan Singkong Dengan Alat Baru

BIODATA PENULIS



Nama penulis Indra Yugi Prayuga dilahirkan di Kediri pada tanggal 27 Desember 1996. Saat ini penulis tinggal di Gebang Lor Surabaya. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan di SDN Kaliboto 1 Kabupaten Kediri pada tahun 2009, SMPN 1 Grogol Kabupaten Kediri pada tahun 2012, SMAN 2 Kediri Kota Kediri pada tahun 2014 dan sedang menempuh Pendidikan S1 Departemen Teknik Fisika, Fakultas

Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang. Bidang minat yang diambil penulis ketika menempuh perkuliahan adalah Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Analisa Performa Dari Efek Penggunaan Fluida Kerja Air (H_2O) Dan Penambahan Tube Heat Exchanger Pada Alat Pengering H-Flory (Horticultura Fluid Flow Drier) Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email : indrayugi@gmail.com. Terima kasih.