



TUGAS AKHIR - TM145502

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BESAR
BEBAN TERHADAP EFEKTIFITAS OVEN
LISTRIK UNTUK PENGERINGAN DAUN KELOR**

**MOHAMMAD NURIL FUAD
2113 030 002**

**Dosen Pembimbing I
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP. 19610602 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP. 19570331 198803 1 001**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT - TM145502

**EXPERIMENTAL STUDY ABOUT INFLUENCE
OF CAPACITY AGAINST EFFECTIVENESS
ELECTRIC OVENS FOR DRYING MORINGA
OLEIFERA LEAVES**

**MOHAMMAD NURIL FUAD
2113 030 002**

**Advisor 1
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP. 19610602 198701 1 001**

**Advisor 2
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP. 19570331 198803 1 001**

**DIPLOMA 3 MECHANICAL ENGINEERING PROGRAM
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BESAR
BEBAN TERHADAP EFEKTIVITAS OVEN LISTRIK
UNTUK PENGERINGAN DAUN KELOR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

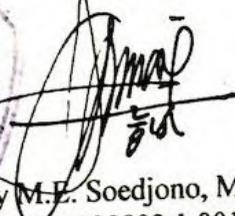
MOHAMMAD NURIL FUAD
NRP 2113 030 002

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP 19610602 198701 1 001


Ir. Denny M.E. Soedjono, MT
NIP 19570331 198803 1 001

SURABAYA
JULI 2016

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH BESAR BEBAN TERHADAP EFEKTIVITAS OVEN LISTRIK UNTUK PENGERINGAN DAUN KELOR

Nama Mahasiswa : Mohamaad Nuril Fuad
NRP : 2113 030 002
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing I: Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
Dosen Pembimbing 2: Ir. Denny M. E. Soedjono, MT.

Abstrak

Kandungan vitamin pada daun kelor seperti 7 x vitamin C pada jeruk, 4 x kalsium pada susu, 4 x vitamin A pada wortel, 2 x protein pada susu 3 x potasium pada pisang. Membuat daun kelor banyak diproduksi untuk olahan obat, dalam prosesnya terdapat 3 tahapan utama yaitu: pemetikan, pengeringan, dan pengemasan

Studi eksperimen pembebanan terhadap efektifitas oven pengering diperlukan untuk meningkatkan kualitas dan memaksimalkan prose produksi,

Dari 5 variasi beban 200 gram, 300 gram, 400 gram, 500 gram, dan 600 gram. Proses pengeringan daun kelor yang ideal terdapat pada beban 600 gram Qevap yang dihasilkan yaitu 63.642 Watt, dengan nilai Efektifitas oven sebesar 31.902% meskipun membutuhkan durasi pengeringan yang lebih lama sebesar 330 menit. Durasi lebih lama berpengaruh pada biaya operasional yang lebih besar, pada beban 600 gram sebesar biaya operasional Rp 2.376,31 sedangkan pada beban 200 gram sebesar Rp 2.126,20 selisih harganya hanya Rp 250,00

Kata Kunci: Oven Listrik, Kapasitas, Pengeringan, Daun Kelor

EXPERIMENTAL STUDY ABOUT INFLUENCE OF CAPACITY AGAINST EFFECTIVENESS ELECTRIC OVENS FOR DRYING MORINGA OLEIFERA LEAVES

Name : Mohamaad Nuril Fuad
NRP : 2113 030 002
Subjet : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor 1 : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
Advisor 2 : Ir. Denny M. E. Soedjono, MT.

Abstract

Vitamin content in the leaves of Moringa as 7 x vitamin C in oranges, 4 x calcium in milk, 4 x vitamin A in carrots, milk protein 2 x 3 x potassium in bananas. Make Moringa leaves are produced for the processed drug, in the process, there are three main stages, namely: picking, drying, and packaging

Experimental studies of the effectiveness of drying oven against capacity needed to improve quality and maximize production proses

5 variations of load of 200 grams, 300 grams, 400 grams, 500 grams and 600 grams. The drying process Moringa leaves are ideal contained in 600 gram load generated Q_{evap} ie 63.642 Watt, with a value of 31.902% Effectiveness oven although it requires a longer drying duration of 330 minutes. Longer duration of effect on operating costs is greater, the load of 600 grams of the operational costs Rp 2376.31 while the load of 200 grams of Rp 2126.20 difference in price was only Rp250.00

Keywords: Electric Oven, Drying, Capacity, Moringa Leaves

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Daun Kelor.....	7
2.2 Oven Pengering.....	8
2.3 Proses Pengeringan.....	10
2.4 Kalor Sensibel dan Kalor Laten.....	11
2.4.1 Kalor Sensible (<i>Sensible Heat</i>).....	11
2.4.2 Kalor Laten (<i>Latent Heat</i>).....	11
2.5 Perpindahan Panas.....	13
2.6 Perpindahan Panas Konduksi.....	14
2.7 Perpindahan Panas Konveksi.....	15
2.8 Koservasi Energi Pada Volume Atur.....	16
2.9 Kondisi Satu Dimensi Tunak.....	19
2.9.1 Menghitung Hambatan Termal.....	20
2.10 Aliran Laminer dan Turbulen.....	21
2.11 Konveksi Eksternal.....	22
2.12 Konveksi Bebas.....	25
2.12.1 Aliran Bebas Plat Vertikal.....	27
2.12.2 Aliran Bebas Plat Horizontal.....	28
BAB 3 METODOLOGI.....	31

3.1 Diagram Alir Tugas Akhir	31
3.2 Persiapan Awal.....	32
3.2.1 Alat Ukur.....	35
3.3 Tata Cara Pengujian	37
3.3.1 Tahap Persiapan	37
3.3.2 Tahap Pengambilan Data.....	38
3.3.3 Tahap Pembersihan	38
3.4 Tahap Pengolahan Data.....	39
BAB 4 ANALISIS PERHITUNGAN	41
4.1 Neraca Kalor	41
4.2 Data Spesifikasi Oven	43
4.2 Data Pengujian Daun Kelor.....	45
4.3 Perhitungan Perpindahan Panas pada Oven	45
4.3.1 Cerobong	45
4.3.2 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Oven Dalam	46
4.3.3 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Oven Luar.....	49
4.3.4 Q loss Total Dinding Ruang Oven	51
4.3.5 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Pemanas Dalam	53
4.3.6 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Pemanas Luar	54
4.3.7 Q loss Total Dinding Ruang Pemanas	56
4.3.8 Energi Kalor Eksfiltrasi	57
4.3.9 Energi Kalor Sensibel.....	58
4.3.10 Energi Kalor Evaporasi	58
4.3.11 Efektivitas Oven.....	59
4.3.12 Rendemen Produk	59
4.3.13 Biaya Operasional	60
4.4 Hasil Perhitungan Tiap Variasi	61
BAB 5 PENUTUP.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	
BIODATA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daun kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	7
Gambar 2.2	Oven pengering	8
Gambar 3.1	Susunan rak penyimpanan	9
Gambar 2.4	Energi untuk merubah temperatur dan fase air	12
Gambar 2.5	Perpindahan panas konduksi, konveksi, radiasi	13
Gambar 2.6	Konduksi satu dimensi steady state	14
Gambar 2.7	Pertumbuhan lapisan batas konveksi	15
Gambar 2.8	Konservasi energi pada volume atur	17
Gambar 2.9	Kesetimbangan energi pada permukaan media.....	18
Gambar 2.10	Distribusi temperatur yang melewati dinding.....	19
Gambar 2.11	Sirkuit temperatur yang melewati dinding.....	19
Gambar 2.12	Lapisan batas kecepatan pada plat datar	21
Gambar 2.13	Konveksi pada aliran laminar dan turbulen	24
Gambar 2.14	Gradien densitas aliran konveksi bebas	25
Gambar 2.15	Transisi boundary layer.....	26
Gambar 2.16	Fenomena aliran bebas plat miring horizontal	28
Gambar 2.17	Fenomena aliran bebas plat horizontal.....	29
Gambar 3.18	Flow chart pengerjaan tugas akhir	31
Gambar 3.19	Contoh penataan daun kelor pada rak	32
Gambar 3.20	Penataan daun kelor pada rak tiap variasi	33
Gambar 3.21	Dimensi besar sudut dan jarak tiap rak	34
Gambar 3.22	Stopwatch.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.23	Timbangan	35
Gambar 3.24	Termometer.....	36
Gambar 3.25	Anemometer.....	36
Gambar 3.26	Hygrometer	37
Gambar 3.27	Diagram alir perhitungan	40
Gambar 4.28	Neraca kalor oven saat proses pengeringan	41
Gambar 4.29	Dimensi oven pengering	43
Gambar 4.30	Grafik karakteristik peforma oven pengering	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil perhitungan variabel perpindahan panas	61
Tabel 4.2 Hasil perhitungan biaya operasional.....	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

World Health Organization (WHO) menganjurkan agar bayi dan anak-anak pada masa pertumbuhan rutin untuk mengonsumsi daun kelor, karena dapat membantu meningkatkan energi dan ketahanan tubuhnya. Selain itu, daun kelor juga berkhasiat untuk mengatasi berbagai keluhan yang diakibatkan kekurangan vitamin dan mineral seperti kekurangan vitamin A (gangguan penglihatan), kekurangan Choline (penumpukan lemak pada liver), kekurangan vitamin B1 (beri-beri), kekurangan vitamin B2 (kulit kering dan pecah-pecah), kekurangan vitamin B3 (dermatitis), kekurangan vitamin C (pendarahan gusi), kekurangan kalsium (osteoporosis), kekurangan zat besi (anemia), kekurangan protein (gangguan pertumbuhan pada anak).

Penyajian daun kelor dapat langsung dijadikan lalapan, sop, diseduh seperti teh, atau disajikan dalam bentuk serbuk yang dikapsulkan. Adapun daun kelor yang dikapsulkan dalam proses produksinya terdapat tiga tahapan utama yaitu: pemetikan, pengeringan, penumbukan, dan pengemasan. Daun kelor yang terlebih dulu dikeringkan ini memiliki kandungan gizi yang lebih kaya dibandingkan daun kelor segar.

Proses pengeringan daun kelor di Indonesia umumnya masih dilakukan secara konvensional, dengan cara menjemur daun kelor dibawah terik sinar matahari selama sehari-hari. Cara ini sangat tidak efektif, selain membutuhkan waktu yang lama, pengeringan terkendala pada saat cuaca mendung dan hujan, kebersihan daun kelorpun tidak dapat terjaga dari debu dan pengotor yang dapat merusak kualitas produk.

Maka dari itu digunakanlah oven pengering, dengan oven pengering ini diharapkan dapat mempercepat dan meningkatkan kualitas produksi, oven ini dapat mengeringkan daun kelor dengan waktu 5-7 jam, pengeringan daun kelor pun tidak terhambat cuaca mendung, dan produk yang dihasilkan lebih bersih. Oven pengering menggunakan bahan bakar listrik dengan spesifikasi 210V/3A ini tergolong ramah lingkungan dan hemat daya listrik.

Dalam ruang oven ini terdapat 5 rak yang disusun dengan sudut tertentu agar menghasilkan aliran fluida yang baik untuk pengeringan, dimensi ruang oven yang tergolong besar dengan $p \times l \times t (1080 \times 810 \times 1330) \text{ mm}$ dapat menampung hingga 1 kg daun kelor segar untuk satu kali pengeringan.

Semua produsen menginginkan produksi yang cepat, dengan daya rendah, namun dengan kapasitas produksi dan efektifitas oven tertinggi. Untuk itu perlu dilakukan eksperimen pengeringan dengan variasi kapasitas tertentu, agar diketahui prestasi kualitas produksi dan efektifitas oven terbaik.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, rumusan masalah yang diangkat adalah:

1. Berapa besar pengaruh variasi kapasitas daun kelor yang dikeringkan terhadap waktu pengeringan?
2. Berapa persen efisiensi oven pengering yang dihasilkan berdasarkan variasi kapasitas?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan mengacu pada latar belakang dan permasalahan diatas maka tujuan penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Menghitung kerugian panas (Heat Loss) yang terjadi pada luasan dinding oven pengering
2. Menghitung energi kalor yang dibuang (Exfiltration) oven pengering melalui cerobong tiap variasi
3. Menghitung energi kalor yang digunakan untuk memanaskan udara didalam oven (Sensible Heat) hingga temperature yang diinginkan tiap variasi
4. Menghitung kalor yang digunakan menguapkan kadar air (Evaporation) dari daun kelor tiap variasi
5. Menghitung efektivitas oven pengering tiap variasi
6. Menentukan beban efektif penggunaan oven pengering

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penulisan tugas akhir ini yaitu: Dapat mengetahui kerugian panas yang keluar melalui dinding oven, dapat menentukan variable kapasitas optimum dalam laju pengeringan daun kelor yang berkaitan dengan durasi dan kualitas produk, serta mengetahui kemampuan dari oven dalam mengeringkan bahan dalam tingkatan kapasitas yang berbeda.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperkecil ruang lingkup dan untuk memudahkan dalam analisis masalah dibutuhkan adanya pembatasan masalah. Batasan masalah yang dipergunakan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Dalam perhitungan diasumsikan:
 - a. Kondisi steady state
 - b. Kondisi aliran uniform
 - c. Aliran fluida didalam oven diasumsikan *external flow*
 - d. Efek radiasi diabaikan
 - e. Temperatur pada permukaan plat dianggap merata
 - f. Temperatur udara di dalam oven pengering dianggap merata sesuai nilai rata-rata temperature tiap tingkatan
 - g. Temperatur udara diluar oven pengering dianggap konstan
2. Tidak membahas variasi *throttling* pada bukaan *butterfly valve* di cerobong
3. Tidak membahas variasi *throttling* pada bukaan *gate valve* tiap tingkat di dalam oven pengering
4. Tidak membahas rancangan konstruksi, dan instrumen kontrol
5. Hanya membahas proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara umum.
6. Menggunakan 5 variasi kapasitas, yakni 200, 300, 400, 500, 600 (satuan dalam gram)

1.6 Metode Penelitian

Metode penulisan tugas akhir yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian di dalam tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur
Merupakan tahap pengenalan dan pembelajaran dasar teori yang mengacu pada tema dari tugas akhir ini. Diperoleh dengan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal, dan buku tugas akhir lainnya yang berhubungan dengan perpindahan panas dengan tujuan mendapatkan dasaran untuk memulai analisis dan perhitungan.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing
Dalam penulisan tugas akhir dilakukan konsultasi/responsi dengan dosen pembimbing, secara rutin mengenai perkembangan yang telah dicapai.
3. Studi Laboratorium
Melakukan pengujian di Laboratorium Motor Pembakaran Dalam D3 Teknik Mesin FTI ITS dengan variasi pembebanan 200, 300, 400, 500, 600 (satuan dalam gram) pada oven pengering. Pengambilan data menggunakan bantuan alat ukur dan alat penunjang.
4. Analisis Data
Dari studi laboratorium akan diperoleh data-data aktual yang kemudian dianalisis dan dilakukan perhitungan untuk mengetahui variable berupa Q_{in} , Q_{loss} , $Q_{evaporasi}$, $Q_{sensible}$, $Q_{ekstraksi}$, dan Efektivitas oven.
5. Penarikan Kesimpulan
Setelah semua variable didapat, dapat ditarik kesimpulan prestasi terbaik berupa grafik, dan dapat diketahui salah satu variasi terbaik yang direkomendasikan.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam tugas akhir ini penulis berharap agar pembaca lebih mudah memahami dan menangkap pemikiran penulis secara utuh, maka dari itu dibuatlah sistematika yang umum dan sederhana sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan penyusunan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian dan perhitungan yang digunakan sebagai dasaran dalam analisis serta koreksi data yang telah diperoleh guna mencapai tujuan penelitian.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang metode dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian baik alat alat utama maupun alat-alat penunjang dan juga berisi tentang prosedur-prosedur pengujian.

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

Berisi data-data hasil pengujian yang telah didapatkan dari proses penelitian dan proses perhitungan sampai menemukan hal apa yang menjadi tujuan dalam penelitian.

BAB V KESIMPULAN

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini akan didapatkan suatu kesimpulan yang menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan sebelumnya dan berkaitan pada tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daun Kelor

Daun kelor berbentuk bulat telur dengan ukuran kecil-kecil bersusun majemuk dalam satu tangkai. Berasal dari tumbuhan kelor (*Moringa oleifera*), tumbuhan ini memiliki ketinggian batang 7 hingga 11 meter. Bunganya berwarna putih kekuning-kuningan dan tudung pelepah bunganya berwarna hijau; bunga ini keluar sepanjang tahun dengan aroma menyengat. Buah kelor berbentuk segitiga memanjang yang disebut kelentang, juga dapat disayur.



Gambar 2.1 Daun kelor (*Moringa oleifera*)
(Sumber: [8])

Daun kelor berkhasiat sebagai *hepatoprotektor* alias pelindung hati, kelor mengandung antioksidan yang sangat tinggi dan sangat bagus untuk penyakit yang berhubungan dengan masalah pencernaan, misalnya luka usus dan luka lambung. Kandungan vitamin pada daun kelor seperti 7 x vitamin C pada jeruk, 4 x kalsium pada susu, 4 x vitamin A pada wortel, 2 x protein pada susu 3 x potasium pada pisang. (Sumber: [6] hal 23)

Daun yang sudah tua diambil dengan rantingnya, dan lebih cocok untuk membuat serbuk daun kering melalui proses

penggilingan. Untuk sayuran segar daun harus dipanen lebih awal di pagi hari dan diolah pada hari yang sama.

2.2 Oven Pengering

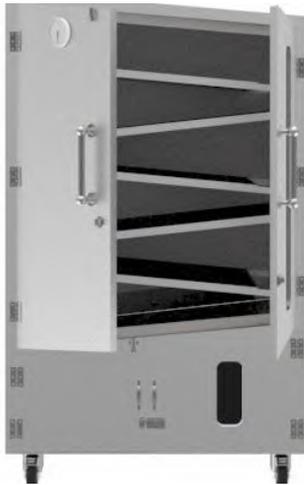
Oven pengering adalah peralatan berupa ruang termal terisolasi yang digunakan untuk pengeringan suatu bahan, yang umumnya digunakan untuk proses pengolahan makanan. Produk teruji yang pernah dikeringkan oven ini salah satunya adalah, kerupuk rengginang, temulawak, dan daun mengkudu.



Gambar 2.2 Oven pengering

Terdapat dua ruangan terpisah dalam oven ini, yaitu: ruang pemanas, dan ruang oven. Ruang pemanas berfungsi sebagai tempat pemanas listrik, sedangkan ruang oven adalah ruang untuk penyimpanan produk. Di dalam ruang oven terdapat lima rak

untuk tempat menyimpan produk yang akan dikeringkan. Rak penyimpanan ini disusun dengan sudut tertentu agar menghasilkan aliran fluida yang mempercepat proses pengeringan. Pada cerobong terdapat aliran udara dengan kecepatan tertentu ($\leq 1m/s$) padahal oven pengering ini tidak menggunakan alat untuk mengkompresi udara, seperti fan atau blower, hal ini dikarenakan oven pengering menggunakan prinsip konveksi bebas.



Gambar 3.1 Susunan lima rak penyimpanan yang membentuk sudut tertentu di ruang oven

Panas yang dihasilkan pada oven pengering ini bersumber dari pemanas listrik yang terdapat di bagian bawah tepatnya di ruang pemanas oven. Pemanas yang digunakan terbuat dari bahan stainless steel berbentuk plat datar dengan luas penampang sebesar 73.5 cm^2 yang di dalamnya terdapat kumparan pemanas. Pemilihan pemanas berbentuk plat ini bertujuan agar panas yang dihasilkan merata diseluruh permukaan.

Oven pengering ini ramah lingkungan dan hemat biaya, sumber listrik yang dibutuhkan adalah $220V/3A$, untuk waktu pengeringan selama 10 jam non stop hanya dibutuhkan biaya sekitar Rp. 5.000,00, perawatannya pun tergolong mudah.

2.3 Proses Pengerinan

Pengerinan merupakan proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas. Faktor yang mempengaruhi pengeringan, yaitu:

1. Volumetrik aliran udara pengering, dan kelembaban udara.
2. Faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan dalam hal ini adalah ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan.

Pada pengeringan mekanis ini, memerlukan energi untuk memanaskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pengeringannya. Akan tetapi, pengeringan yang terlalu cepat kering. Sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pengeringan air bahan ke permukaan bahan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*hardening*). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalangi permukaan bahan yang telah kering. Disamping itu pula penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak bahan. (*Sumber:[3] hal 126*)

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan adalah proses Perpindahan panas dari luar ke bahan dan perpindahan massa air dari permukaan bahan ke udara dan dari dalam bahan ke permukaan. Proses perpindahan panas terjadi karena suhu lebih melewati permukaan bahan secara konveksi ataupun oleh dinding panas secara konduksi dan panas ini akan menaikkan suhu permukaan dan menaikkan tekanan uap air permukaan. Sehingga terjadi perpindahan dalam bentuk uap air di dalam bahan berada dalam kesetimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar.

Pada saat proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air sehingga terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bahan. Maka terjadi pergerakan air secara difusi dari dalam bahan

ke permukaan bahan diulangi lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi kesetimbangan dengan udara sekitarnya.

2.4 Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang akan terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*). Dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten. (Sumber:[2] hal 41)

2.4.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur. Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut : (Sumber:[2] hal 49)

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Dimana

Q : Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

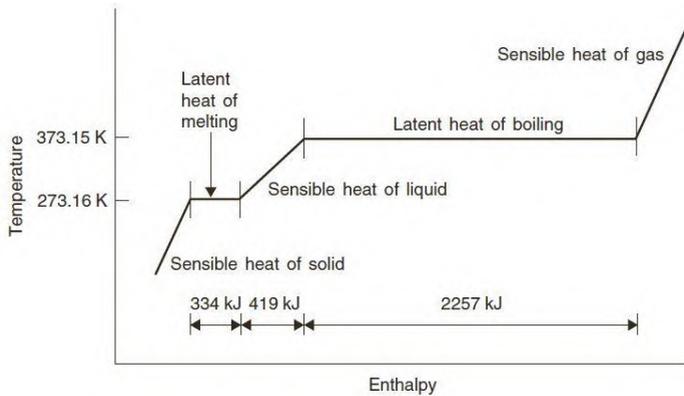
m : Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (Kg)

C_p : Kalor jenis zat ($J/Kg^\circ K$)

ΔT : Perubahan temperatur yang terjadi (K)

2.4.2 Kalor Laten (*Latent Heat*)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaanjenuhnya dan menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Kalor laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat.



Gambar 2.4 Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air (*Sumber:[4] hal 45*)

Secara Umum kalor laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan (*Sumber:[2] hal 53*)

$$Q = m h_l \quad (2.2)$$

Dimana

Q : Energi kalor yang dilepas atau diterim suatu zat (J)

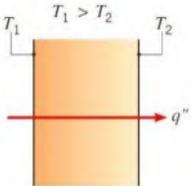
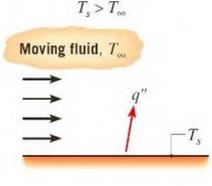
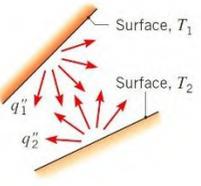
h_l : Kalor Laten (J/Kg)

Jika udara mengalir melewati suatu permukaan basah, akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah tersebut akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara permukaan basah tersebut maka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat pada temperatur antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan parsial uap air pada permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan massa uap air. Perpindahan massa ini menyebabkan perpindahan panas juga, karena pada saat air mengembun, kalor laten harus dikeluarkan dari air tersebut. Sebaliknya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan pada air tersebut.

2.5 Perpindahan Panas

Dalam termodinamika telah diketahui bahwa energi dapat ditransfer dengan adanya interaksi antara sistim dengan lingkungannya. Interaksi tersebut dapat berupa kerja atau kalor. Termodinamika hanya memfokuskan pada keadaan awal dan akhir proses, dan tidak memberikan informasi tentang laju perubahan properti yang berubah selama proses berlangsung. Pelajaran perpindahan panas bertujuan untuk mengembangkan analisis termodinamika tersebut dengan membeberkan mekanisme perpindahan panas, dan juga membangun formulasi untuk menghitung laju perpindahan panas (perpindahan panas per satuan waktu) atau biasa disebut flux panas. (Sumber: [1] hal 1)

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas/kalor sebagai akibat adanya perbedaan temperatur. Maka jika ada perbedaan temperatur antara dua media, perpindahan panas pasti terjadi. Gambar 2.5 memperlihatkan perbedaan cara perpindahan panas berdasarkan mekanismenya. Jika ada gradient temperatur pada media yang diam, baik pada benda padat ataupun liquid perpindahan panas yang terjadi disebut konduksi. Jika ada gradient temperatur antara benda padat dengan liquid yang mengalir disekitarnya perpindahan panas yang terjadi disebut konveksi.

Konduksi melalui dinding padat atau cairan diam	Konveksi dari permukaan padat ke aliran fluida	Pertukaran radiasi neto antara dua permukaan
		

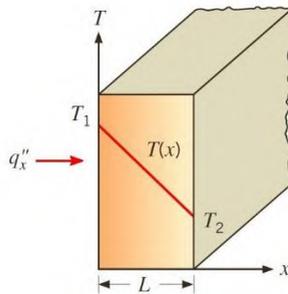
Gambar 2.5 Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi
(Sumber: [1] hal 2)

Semua permukaan yang memiliki temperatur memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, sehingga ada atau tidak ada media perantara perpindahan panas pasti terjadi antara dua

permukaan yang berbeda temperaturnya. Perpindahan panas yang demikian ini disebut radiasi.

2.6 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler. Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut.



Gambar 2.6 Konduksi satu dimensi steady state
(Sumber: [1] hal 4)

Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) Fourier. Pada Gambar 2.6 jika $T_1 > T_2$ maka ada distribusi temperatur ke arah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah: (Sumber: [1] hal 4)

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.3a)$$

$$q_x = -kA \frac{T_2 - T_1}{dx} \quad (2.3b)$$

Dimana

q_x'' : Fluks panas (W/m^2) adalah laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif per unit luasan yang tegak lurus arah perpindahan panas

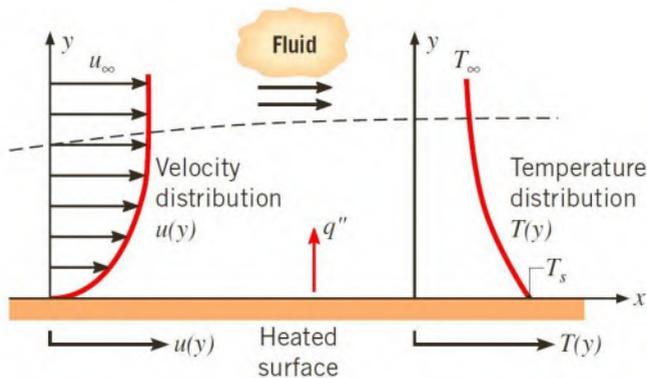
- q_x : Laju perpindahan panas (W) ke arah sumbu x positif
 $\frac{dT}{dx}$: Gradient temperatur
 k : Konduktivitas panas (W/m · K) karakteristik individu material dinding yang digunakan

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka: (Sumber: [1] hal 4)

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.4)$$

2.7 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (diffusi) biasanya lebih dominan di daerah yang dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y=0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (kearah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol, dan semakin jauh nilainya bertambah besar.



Gambar 2.7 Pertumbuhan lapisan batas pada peristiwa konveksi (Sumber: [1] hal 6)

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti: pompa, fan/blower atau juga angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa (forced convection). Jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya angkat (buoyancy) yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida, (variasi massa jenis dihasilkan oleh adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah) maka disebut konveksi bebas atau konveksi alam.

Untuk menghitung fluks panas konveksi dapat menggunakan sebuah persamaan yang dikenal dengan nama “*Newton’s Law of Cooling*” yaitu: (Sumber: [1] hal 7)

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2.5a)$$

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.5b)$$

Dimana

q'' : Fluks panas konveksi (W/m^2)

T_s : Temperatur permukaan padat (K)

T_∞ : Temperatur rata-rata fluida (K)

h : koefisien perpindahan panas konveksi disebut juga konduktansi film/lapisan fluida ($W/m^2 \cdot K$)

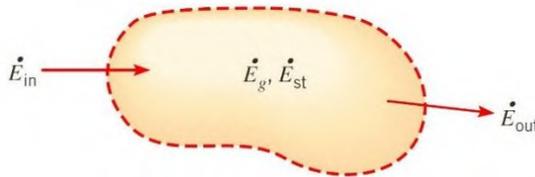
Koefisien perpindahan panas konveksi tersebut tergantung pada kondisi lapisan batas yang tergantung juga pada geometri permukaan, penyebab terjadinya aliran fluida, dan sifat-sifat termodinamika dari fluida. Untuk menyelesaikan beberapa persoalan perpindahan panas konveksi koefisien h tersebut harus diketahui.

2.8 Konservasi Energi Pada Volume Atur

Penerapan hukum konservasi energi memerlukan identifikasi dari volume atur yaitu suatu daerah (volume) tetap dalam ruangan yang dibatasi oleh permukaan atur. Pada volume tersebut dapat terjadi keluar atau masuknya energi dan materi. Dengan volume atur tersebut, bentuk konservasi energi yang diperlukan untuk analisis perpindahan panas adalah:

Laju energi termal yang masuk ke dalam volume atur dikurangi dengan laju energi termal yang keluar dari volume atur sama dengan laju energi yang disimpan di dalam volume atur ditambah dengan energi termal yang dibangkitkan dari dalam volume atur.

Jika energi yang masuk ke dalam volume atur lebih besar dari yang keluar maka akan terjadi akumulasi energi pada volume atur dan sebaliknya jika energi yang keluar dari volume atur lebih besar dari pada yang masuk akan terjadi penurunan energi pada volume atur. Jika energi yang masuk sama dengan energi yang keluar maka tidak ada perubahan energi pada volume atur (steady state). Langkah selanjutnya adalah identifikasi energi, umumnya terdiri dari energi yang masuk (\dot{E}_{in}) dan energi keluar (\dot{E}_{out}) dari volume atur serta energi yang dibangkitkan (\dot{E}_g) dan energi yang tersimpan (\dot{E}_{st}) di dalam volume atur.



Gambar 2.8 Konservasi energi pada volume atur
(Sumber: [1] hal 13)

Persamaan untuk peristiwa yang terjadi pada volume atur diatas
(Sumber: [1] hal 14)

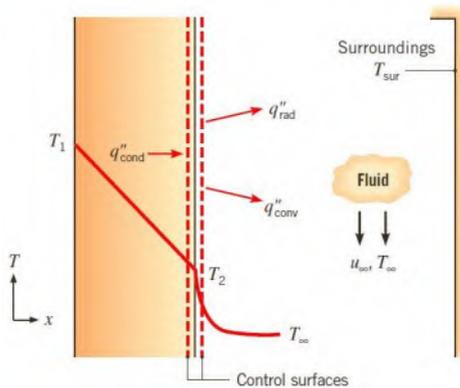
$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{st} \quad (2.6a)$$

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} + \dot{E}_{out} \quad (2.6b)$$

Energi yang keluar dan masuk volume atur termasuk fenomena permukaan, ini diasosiasikan pada perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi serta energi yang terbawa oleh aliran makroskopik fluida. Sedangkan energi yang dibangkitkan adalah fenomena volumetrik yang diasosiasikan pada konversi

energi kimia, listrik, elektromagnetik dan nuklir yang terjadi di dalam volume atur. Adapun energi tersimpan adalah fenomena volumetrik juga, yang diasosiasikan pada tingkat energi dari volume atur tersebut naik, turun ataupun konstan.

Beberapa kasus perpindahan panas sering kali dapat diselesaikan dengan menerapkan kesetimbangan energi pada permukaan suatu media. Pada kasus special seperti itu pada permukaan atur tidak terdapat massa atau volume seperti dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Kesetimbangan energi pada permukaan suatu media
(Sumber: [1] hal 27)

Dengan tidak adanya massa atau volume maka tidak ada panas tersimpan maupun panas yang dibangkitkan. Jadi hanya terjadi penomena permukaan saja. Oleh karena itu kesetimbangan energi pada permukaan adalah: (Sumber: [1] hal 28)

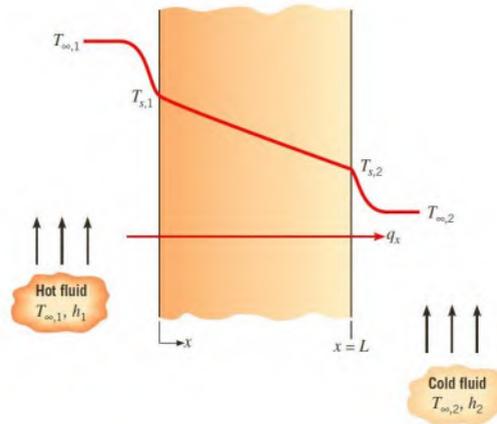
$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = 0 \quad (2.7)$$

Jika dicermati lebih jauh pada Gambar 2.7 tersebut panas yang datang ke permukaan dari bagian dalam media adalah perpindahan panas konduksi, sedang yang keluar dari permukaan adalah perpindahan panas konveksi dan pertukaran radiasi antara permukaan dengan lingkungannya. Jadi persamaan kesetimbangan energi menjadi: (Sumber: [1] hal 28)

$$q''_{kond} - q''_{konv} - q''_{rad} = 0 \quad (2.8)$$

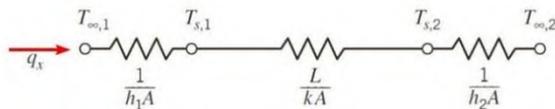
2.9 Kondisi Satu Dimensi Tunak

Pernyataan satu dimensi merujuk kepada kenyataan bahwa hanya diperlukan satu koordinat untuk mendiskripsikan variasi variable tidak bebas. Jadi konduksi satu dimensi berarti gradient temperatur hanya terjadi sepanjang satu arah koordinat, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah tersebut. Disamping itu sistim disebut mencapai kondisi tunak (steady state) jika semua sifat-sifatnya tidak berubah dengan berjalannya waktu.



Gambar 2.10 Distribusi temperatur yang melewati dinding
(Sumber: [1] hal 113)

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu x , sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah sumbu x saja. Pada Gambar 2.10 terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.



Gambar 2.11 Sirkuit temperatur yang melewati dinding
(Sumber: [1] hal 113)

2.9.1 Menghitung Hambatan Termal

Untuk kasus perpindahan panas seperti diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik, hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan perpindahan panas, beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur. (Sumber: [1] hal 114)

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{kA} \quad (2.9)$$

dan laju perpindahan panas konveksi ditulis:

$$q_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}} \quad (2.10)$$

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka hambatan perpindahan panas konveksi (Sumber: [1] hal 115)

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA} \quad (2.11)$$

dan laju perpindahan panas konveksi ditulis:

$$q_{konv} = \frac{\Delta T}{R_{konv}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{konv}} \quad (2.12)$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, maka: (Sumber: [1] hal 113)

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} \quad (2.13a)$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total: (Sumber: [1] hal 113)

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \quad (2.13b)$$

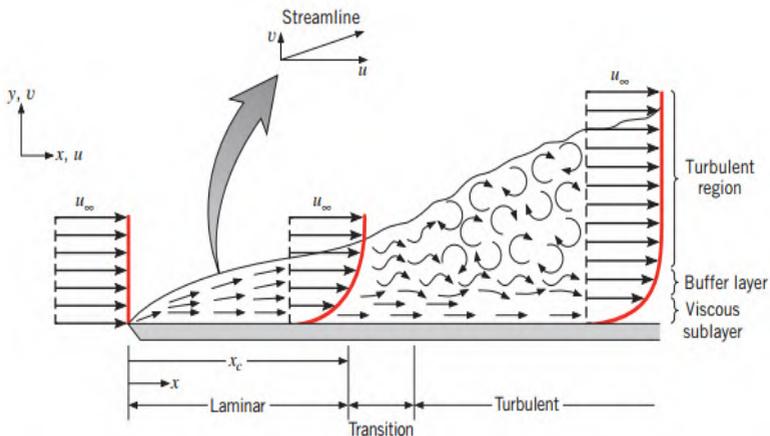
dimana

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A} \quad (2.13c)$$

R_{tot} disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (overall heat transfer resistant)

2.10 Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam memperlakukan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan aliran tersebut laminar atau turbulen. Gesekan permukaan dan laju perbedaan konveksi sangat tergantung pada keberadaan kondisi tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, ada perbedaan tajam antara kondisi laminar dan turbulen. Pada batas laminar, pergerakan fluida sangat teratur memungkinkan untuk mengidentifikasi partikel-partikel memanjang pada garis *streamline*.



Gambar 2.12 Lapisan batas kecepatan pada plat datar
(Sumber:[1] hal 389)

Pergerakan fluida memanjang streamline dikarakteristikan oleh komponen kecepatan pada kedua arah x dan y . Karena komponen kecepatan V adalah normal pada permukaan, maka komponen tersebut dapat memberikan kontribusi yang cukup pada perpindahan momentum, energi, dan spesies melalui lapisan batas. Perpindahan fluida normal pada permukaan adalah diperlukan oleh pertumbuhan lapisan batas pada arah x .

Berbeda dengan pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dikarakteristikan oleh fluktuasi kecepatan. Fluktuasi ini menambah perpindahan momentum, energi, dan spesies. Karena itu menambah laju perpindahan konveksi. Sebagai akibat hasil percampuran dari fluktuasi,

ketebalan lapisan batas turbulen adalah lebih besar dari profil lapisan batas kecepatan, lapisan batas temperatur, dan lapisan batas konsentrasi. Adalah lebih datar daripada lapisan laminar.

Kondisi ini digambarkan secara skematis pada gambar diatas Untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan batas mula-mula laminar, tetapi untuk suatu jarak dari ujung, transisi ke aliran turbulen mulai terjadi fluktuasi fluida untuk berkembang pada daerah transisi dan lapisan batas akhirnya menjadi turbulen penuh. Perpindahan menjadi turbulen diikuti oleh kenaikan yang cukup berarti pada ketebalan lapisan batas, tahanan geser dinding, dan koefisien konveksi. (Sumber:[1] hal 389)

Penentuan aliran fluida dapat ditentukan oleh bilangan Reynold untuk aliran internal dan eksternal, untuk aliran bebas menggunakan bilangan Reyligh. Untuk aliran eksternal, menggunakan bilangan Reynold (Sumber:[7] hal 25-26)

$$Re < 5 \times 10^5 \text{ (Laminar)}$$

$$5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8 \text{ (Transisi)}$$

$$Re > 5 \times 10^8 \text{ (Turbulen)}$$

Untuk aliran internal

$$Re < 2300 \text{ (Laminar)}$$

$$2300 < Re < 4000 \text{ (Transisi)}$$

$$Re > 4000 \text{ (Turbuen)}$$

Untuk aliran bebas ditentukan oleh bilangan Reyligh

$$10^4 \leq Ra \leq 10^9 \text{ (Laminar)}$$

$$10^9 \leq Ra \leq 10^{13} \text{ (Turbulen)}$$

2.11 Konveksi Eksternal

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (diffusi) biasanya lebih dominan di daerah yang dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran

makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y=0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan. Bilangan Reynolds untuk aliran eksternal diatas plat datar: (Sumber:[7] hal 18)

$$Re_L = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad (2.14)$$

Dimana

Re : Bilangan Reynold

ρ : Densitas fluida, (Kg/m^3)

V : Kecepatan Fluida (m/s)

L : Panjang lintasan (m)

ν : Viskositas kinematic (m^2/s)

Bilangan Nuselt (Sumber:[7] hal 19)

$$Nu_L = \frac{hL}{k} \quad (2.15)$$

Dimana

\overline{Nu}_L : Bilangan Nusselt

\bar{h} : Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

k : Konduktivitas Panas Fluida ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

Bilangan Prandtl (Sumber:[7] hal 19)

$$Pr = \frac{k}{\rho c_p} \quad (2.16)$$

Dimana

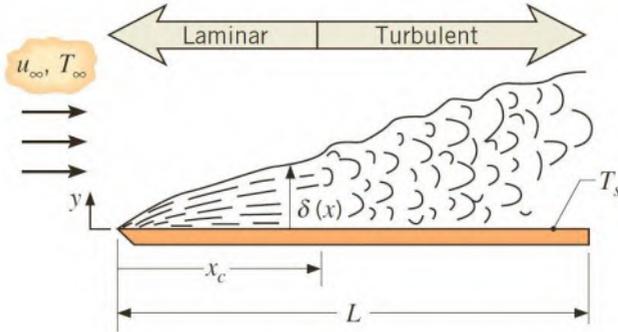
Pr : Bilangan Prandtl

c_p : Konstanta panas spesifik pada tekanan konstan ($\text{kJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$)

ρ : Densitas fluida, (Kg/m^3)

k : Konduktivitas Panas Fluida ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

Untuk mendapatkan penyelesaian analitis dari persamaan diatas berarti harus diketahui $h = h(x)$ Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi nilai $h = h(x)$ tersebut maka tidak ada satupun penyelesaian analitis yang memadai, sehingga semua koefisien konveksi diperoleh dari percobaan laboratorium dan hasilnya disebut korelasi empiris.



Gambar 2.13 Konveksi pada aliran laminar dan turbulen
(Sumber: [1] hal 437)

Aliran pada plat datar ditandai dengan adanya pertumbuhan lapisan batas yaitu garis yang memisahkan daerah yang kecepatan bervariasi (karena dipengaruhi tegangan geser) dengan daerah yang kecepataannya seragam (tidak dipengaruhi tegangan geser). Adanya variasi kecepatan mengindikasikan juga adanya variasi temperatur fluida jika temperatur permukaan plat tidak sama dengan temperatur fluida. Jika temperatur permukaan dapat dianggap seragam bilangan Nusselt local dengan syarat ($Pr \geq 0.6$) (Sumber: [1] hal 441)

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0.332 Re_x^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.17)$$

Untuk bilangan Nusselt rata-rata dengan syarat ($Pr \geq 0.6$)
(Sumber: [1] hal 437)

$$\overline{Nu_x} = \frac{h_x x}{k} = 0.664 Re_x^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.18)$$

Semua sifat (property) fluida dicari pada temperatur film T_f
(Sumber: [1] hal 436)

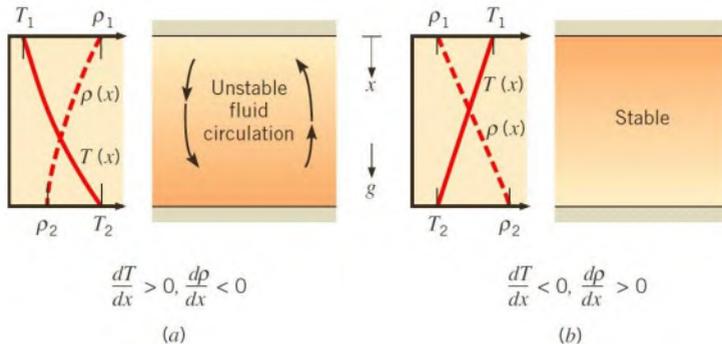
$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad (2.19)$$

Bilangan Nuselt untuk aliran turbulen dengan syarat
($0.6 < Pr < 60$) (Sumber: [1] hal 443)

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0.0296 Re_x^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.20)$$

2.12 Konveksi Bebas

Dalam konveksi bebas gerakan fluida disebabkan karena gaya apung (*buoyancy*) diantara fluida, sedangkan di konveksi paksa gerakan fluida disebabkan oleh gaya luar. Gaya apung dihasilkan oleh gabungan dari gradien densitas fluida dan gaya berat (*body force*) yang proporsional dengan densitas fluida. Gaya berat diakibatkan oleh gaya gravitasi bumi atau gaya sentrifugal pada mesin-mesin fluida atau gaya *coriolis* pada kasus gerak rotasi angin dan arus air laut. Banyak hal yang dapat menyebabkan terjadinya *gradient* densitas tetapi yang paling sering dijumpai adalah diakibatkan oleh *gradient* temperatur. Densitas dari gas sangat dipengaruhi oleh temperatur (persamaan gas ideal).



Gambar 2.14 Gradien densitas aliran konveksi bebas
(Sumber: [1] hal 595)

Pada Gambar 2.14 bagian a terlihat T_1 pada bagian atas lebih rendah dari pada T_2 dibagian bawah sehingga densitas fluida pada bagian atas lebih besar dari pada densitas fluida di bagian bawah. Ini menyebabkan terjadinya kondisi yang tidak stabil. Fluida di atas yang lebih berat akan mengalir kebawah dan fluida dibawah yang lebih ringan akan terdesak keatas (fluida mengalir secara natural/ arus konveksi bebas). Sedangkan pada bagian b, T_1 pada bagian atas lebih tinggi dari pada T_2 dibagian bawah sehingga densitas fluida pada bagian atas lebih kecil dari pada densitas fluida di bagian bawah. Fluida yang ringan diatas dan yang berat dibawah sehingga menghasilkan kondisi yang stabil (fluida diam).

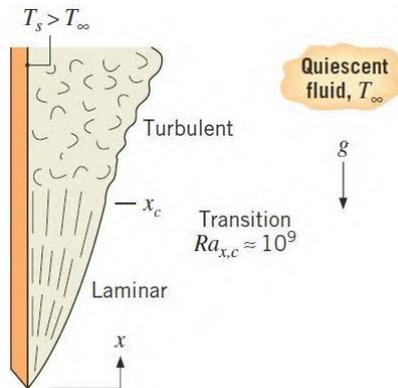
Kesimpulannya pada kasus a perpindahan panas terjadi secara konveksi bebas dan pada kasus b perpindahan panas konduksi.

Pembahasan gaya ampung di konveksi bebas erat kaitannya dengan sebuah sifat fluida yang disebut “*Volumetric thermal expansion coefficient*” (β) dengan syarat variasi densitas hanya disebabkan oleh pengaruh distribusi temperature, dengan menggunakan penyederhanaan “*Boussinesq*” dan persamaan gas ideal $\rho = p/RT$ maka akan diperoleh persamaan (Sumber: [1] hal 598)

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{\rho} \frac{p}{RT^2} = \frac{1}{T} \quad (2.21)$$

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Grashof (Gr) dimana bilangan Grashof didefinisikan sebagai kuadrat dari bilangan Reynolds. (Sumber: [1] hal 599)

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (2.22)$$



Gambar 2.15 Transisi boundary layer (Sumber: [1] hal 602)

Transisi pada boundary layer aliran konveksi bebas bergantung pada besarnya gaya *buoyancy* relatif dan gaya *viscous* pada fluida. Biasanya untuk mengakomodasikan kejadian tersebut diintroduksi bilangan Rayleigh yang merupakan produk dari bilangan Grashof dan bilangan Prandl. Untuk Plat vertikal bilangan Rayleigh kritis adalah: (Sumber: [1] hal 603)

$$Ra_{x,c} = Gr_{x,c} Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} = 10^9 \quad (2.23)$$

Korelasi empiris yang paling sesuai dengan perhitungan teknis untuk aliran konveksi bebas memiliki persamaan Rayleigh: (Sumber: [1] hal 605)

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (2.24)$$

Dimana

Pr : Bilangan Prandtl

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

L : Panjang karakteristik (m)

ν : Viskositas kinematik (m^2/s^2)

β : Koefisien ekspansi volume (K^{-1})

α : Difusivitas termal (m^2/s)

2.12.1 Aliran Bebas Plat Vertikal

Semua properties dievaluasi pada temperatur film (T_f). Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number*. untuk aliran turbulen ($10^9 < Ra_L < 10^{13}$) dan untuk aliran laminer ($10^4 < Ra_L < 10^9$) Korelasi yang dapat dipakai untuk seluruh harga Rayleigh diintrodusir oleh Churchill and Chu: (Sumber: [1] hal 607)

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{1/6}}{[1+(0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.25)$$

Perhitungan teknis untuk aliran laminar lebih akurat menggunakan korelasi berikut, dengan syarat ($Ra_L \leq 10^9$) (Sumber: [1] hal 605)

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,670 Ra_L^{1/4}}{[1+(0,492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (2.26)$$

Dimana

h : Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

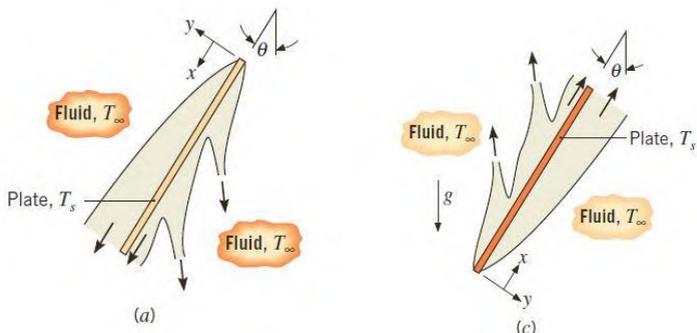
\overline{Nu}_L : Nusselt Number

k : Konduktifitas termal ($W/m \cdot K$)

L : Tinggi Dinding (m)

2.12.2 Aliran Bebas Plat Horizontal

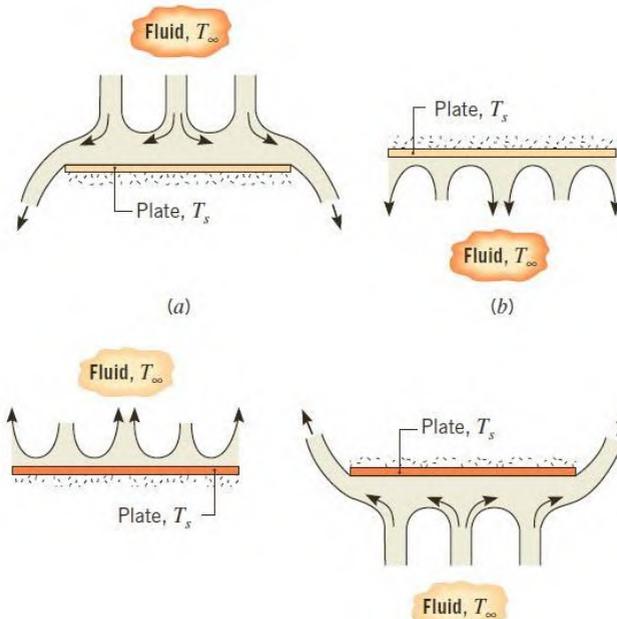
Pada plat vertikal baik plat relatif panas maupun dingin dibanding fluida disekitarnya, posisi plat tersebut segaris dengan vektor gravitasi, Pada plat horizontal gaya *buoyancy* memiliki komponen kearah garis normal dan paralel terhadap plat tersebut. Komponen paralel inilah yang mendorong fluida untuk bergerak menghasilkan arus konveksi. Dibanding plat vertikal tentu komponen paralel tersebut lebih kecil sehingga perpindahan panas konveksi yang terjadi juga lebih kecil.



Gambar 2.16 Fenomena aliran bebas pada plat miring horizontal
(Sumber: [1] hal 609)

Pada Gambar 2.16 bagian (a) Aliran pada bagian atas dan bawah plat dingin ($T_s < T_\infty$), bagian (b) Aliran pada bagian bawah plat dingin ($T_s < T_\infty$), bagian

Korelasi untuk plat horizontal bisa menggunakan pendekatan plat vertikal dengan mengganti (g) menjadi ($g \cdot \cos\theta$) untuk menghitung bilangan Rayleigh. Tetapi dengan kenyataan adanya fenomena aliran tiga dimensi tersebut maka cara diatas hanya sesuai untuk kasus konveksi diatas plat dingin dan dibawah plat panas saja.



Gambar 2.17 Fenomena aliran bebas pada plat horizontal
(Sumber: [1] hal 610)

Pada Gambar 2.17 bagian (a) Bagian atas plat dingin (b) Bagian bawah plat dingin (c) Bagian atas plat panas (d) Bagian bawah plat panas. Untuk plat horizontal didefinisikan panjang karakteristik yaitu: (Sumber: [1] hal 609)

$$L = \frac{A_s}{P} \quad (2.27)$$

Dimana

L : Panjang karakteristik (m)

A : Luas permukaan plat (m^2)

P : Keliling (m)

Nusselt Number rata-rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya. Untuk plat horizontal dengan

permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) dengan nilai Reyligh Number (*Sumber: [1] hal 610*)

$$\overline{Nu}_L = 0,54Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (2.28)$$

dan untuk nilai Reyligh Number (*Sumber: [1] hal 610*)

$$\overline{Nu}_L = 0,15Ra_L^{\frac{1}{3}}(10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \quad (2.29)$$

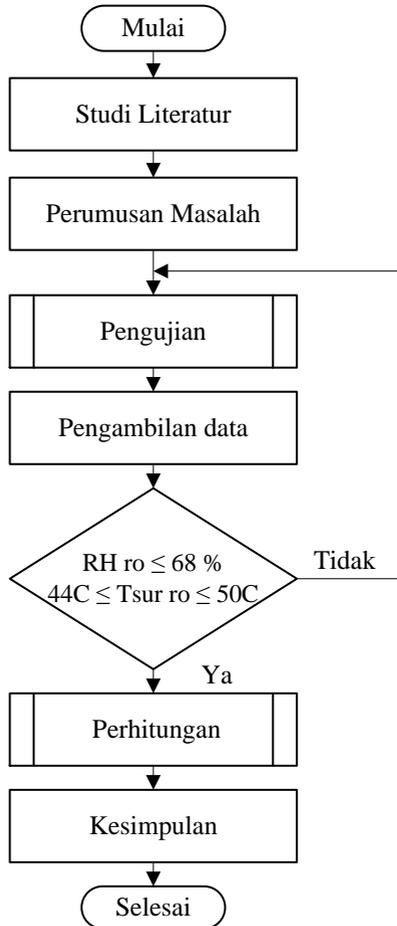
Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

$$\overline{Nu}_L = 0,27Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (2.30)$$

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

Agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, ditempuh melalui beberapa tahapan di antaranya dapat berupa seperti *flowchart* di bawah ini:



Gambar 3.1 Flow chart pengerjaan tugas akhir

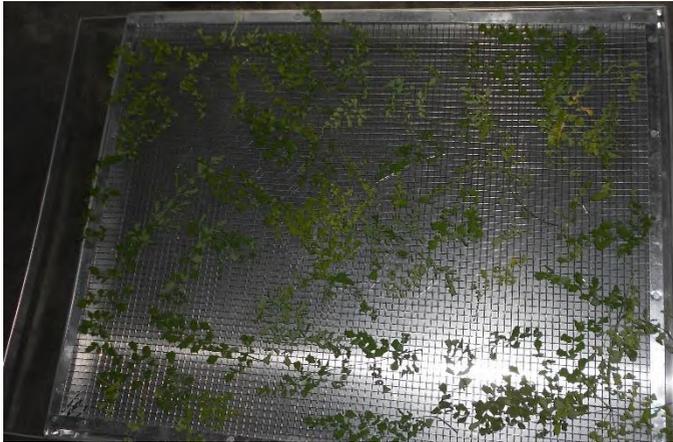
3.2 Persiapan Awal

Persiapan awal tugas akhir ini meliputi studi literatur, pemenuhan peralatan dan bahan untuk pengujian

1. Studi literatur terhadap proses pengujian dan perhitungan
2. Menyiapkan daun kelor
3. Menyiapkan alat ukur dan alat penunjang pengujian

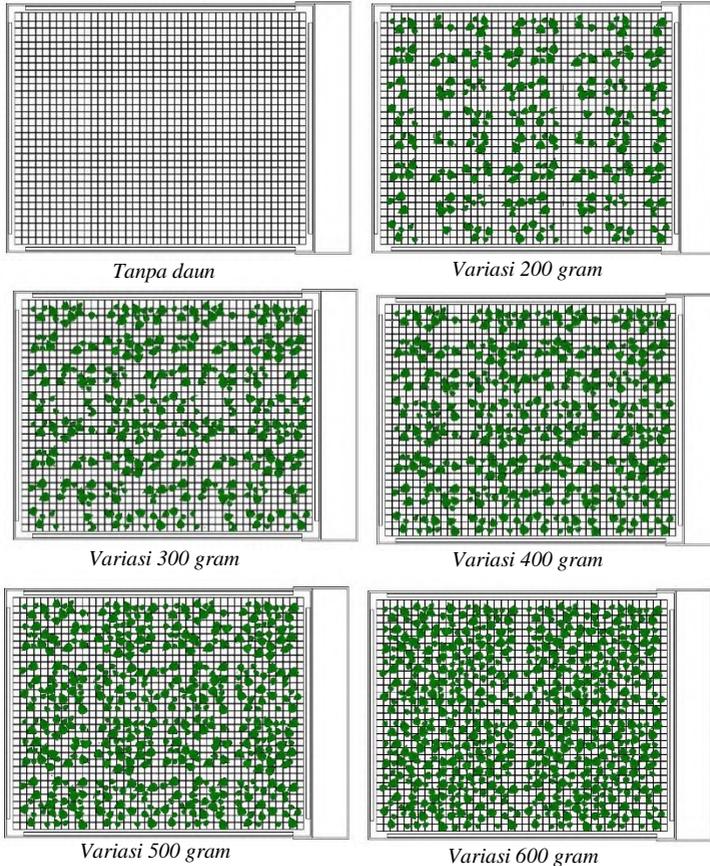
Daun kelor didapat dari pohon kelor di sekitar kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Sukolilo tepatnya di Perumahan Dosen Blok T, Perumahan Dosen Blok C, dan Perumahan Mulyosari Tengah. Adapun pengujian dilakukan di Laboratorium Motor Pembakaran Dalam (MPD) D3 Teknik Mesin, 16 - 20 Juni 2016. Proses pengeringan daun kelor dilakukan kurang dari 24 jam setelah dilakukan pemetikan dari pohonnya.

Daun kelor yang sudah dipisahkan batang dari tangkai dan daunnya diratakan di lima rak yang tersedia, diletakkan dengan rapih agar tidak saling menumpuk. Terdapat lima variasi pembebanan dengan prosedur percobaan yang sama, adapun variasi tersebut yaitu pembebanan 200 gram, 300 gram, 400 gram, 500 gram, dan 600 gram.



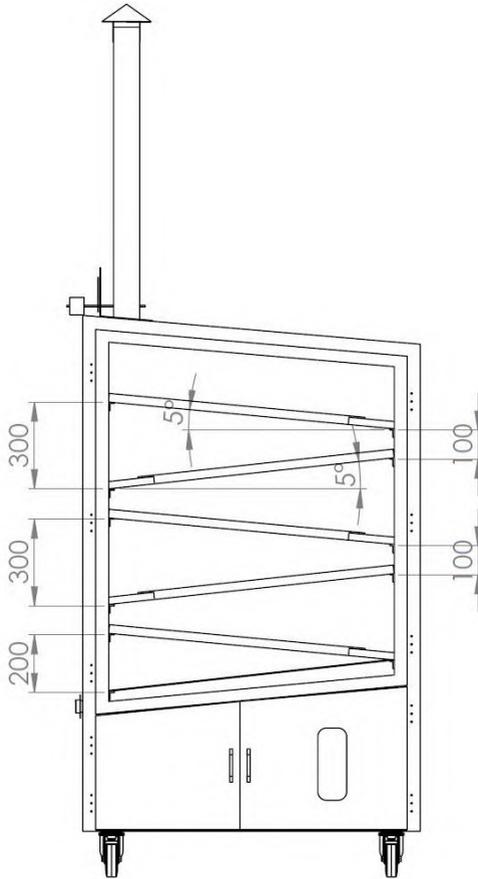
Gambar 3.2 Contoh penataan daun kelor pada rak dengan vairasi 200 gram

Pada Gambar 3.20 diperlihatkan metode perataan daun kelor tiap variasi, pada saat pengujian penataan daun kelor setiap rak pada oven mengikuti metode sesuai variasi yang telah ditentukan.



Gambar 3.3 Penataan daun kelor pada rak tiap variasi

Adapun lamanya waktu pengeringan di indikasi bilamana daun kelor telah kering, terlihat dari warna daun yang hijau pucat dan bila disentuh tangan mudah rapuh. Pada saat memastikan keringnya daun diharuskan membuka pintu ruang oven pada saat beroperasi, usahakan proses ini dilakukan dengan singkat agar menghindari kerugian kalor yang keluar melewati bukaan pintu.



Gambar 3.4 Dimensi besar sudut dan jarak tiap rak

Penyusunan rak yang berbeda akan menghasilkan efektifitas oven yang berbeda pula hali ini disebabkan karena efektifitas oven dipengaruhi oleh distribusi temperatur yang ada di dalam ruang oven. Dalam proses pengujian tugas akhir ini digunakan dimensi sudut dan jarak rak seperti Gambar 3.21 lima rak yang ada disusun sedemikian rupa agar menghasilkan aliran fluida tertentu. Selain kondisi susunan rak, posisi *butterfly valve* pada cerobong dikondisikan *fully open*.

3.2.1 Alat Ukur

Dalam studi laboratorium dibutuhkan data berupa waktu, massa, temperature, kecepatan udara, dan persentase kelembapan air di udara, untuk memperoleh data tersebut dibutuhkan alat ukur sebagai berikut:

1. Stopwatch, digunakan untuk mengukur lamanya waktu pengeringan, dimulai sejak oven pengering dinyalakan, memasukan produk, hingga oven dimatikan. Stopwatch yang digunakan bermerk Recall, Model PC3830A



Gambar 3.5 Stopwatch

2. Timbangan, digunakan untuk mengukur massa produk sebelum dan sudah dikeringkan. Adapun timbangan yang digunakan bermerk Hennerr Scale, Model ACS-718, dengan *capacity range* 0.0001 ~ 30000 (gram)



Gambar 3.6 Timbangan

3. Termometer, digunakan untuk mengukur temperature dinding oven pengering, mengetahui temperature udara di dalam dan di luar oven pengering, dan menghitung temperature di penampang produk. Adapun timbangan yang digunakan bermerk Krisbow, Model KW06-282, dengan *measuring range* $-50 \sim 200$ ($^{\circ}\text{C}$), $-58 \sim 200$ ($^{\circ}\text{F}$)



Gambar 3.7 Termometer

4. Anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang mengalir di *outlet* cerobong oven pengering, anemometer ini juga dapat mengetahui temperatur udara yang melaluinya. Adapun anemometer yang digunakan bermerk Hot Wire, Model HT-9829, dengan *measuring range* $0.1 \sim 25$ (m/s), $0.3 \sim 90$ (km/h), $20 \sim 4925$ (ft/min)



Gambar 3.8 Anemometer

5. Hygrometer, digunakan untuk mengukur persentase Relative Humidity (RH) didalam dan dilura oven pengering, hygrometer ini juga dapat digunakan untuk mengukur temperature. Hygrometer yang digunakan memiliki ketelitian 20% ~ 98% (RH)



Gambar 3.9 Hygrometer

3.3 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan pengujian, penulis melakukan beberapa tahap pengujian di antaranya:

3.3.1 Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan oven pengering dan produk yang akan dikeringkan, yaitu daun kelor yang telah dihilangkan batang daunnya.
2. Mempersiapkan alat ukur yang digunakan
3. Mengeluarkan rak dari oven pengering
4. Menimbang berat awal daun kelor sebelum dikeringkan.
5. Mengatur letak dari daun kelor pada rak agar tidak menumpuk
6. Menyambungkan steker *male* power oven pengering ke steker *female* ruangan
7. Memastikan *butterfly valve* pada cerobong oven pengering pada posisi *fully close*
8. Menyalakan pemanas listrik dengan cara mengubah posisi switch ke tombol “on” pada panel box, atur tempertatur

- yang ingin dicapai dengan cara menekan *push button* pada lcd di panel box
9. Tunggu hingga suhu oven mencapai temperature yang diinginkan (50°C), indikator temperature dapat dilihat pada lcd di panel box
 10. Jika suhu yang diinginkan telah tercapai, masukan rak yang berisi daun kelor ke dalam oven pengering
 11. Ubah *butterfly valve* pada cerobong oven pengering pada posisi *fully open*

3.3.2 Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan penulis mengikuti interval waktu tiap 90 menit selama proses pengeringan berlangsung, untuk tiap variasi maksimal penulis mengambil data sebanyak 3x. Adapun data yang dicatat antara lain:

1. Durasi waktu pengeringan
2. Massa total daun kelor sebelum dan sesudah pengeringan
3. Kecepatan aliran dan temperatur udara pada outlet cerobong
4. Temperatur permukaan daun kelor di dalam oven pengering
5. Temperatur permukaan dinding dalam dan luar oven pengering
6. Temperatur permukaan dinding dalam dan luar ruang pemanas
7. Temperatur udara di dalam dan luar oven pengering
8. Persentase Relative Humidity (RH) di dalam dan diluar oven pengering

3.3.3 Tahap Pembersihan

Tahap ini berupa prosedur mematikan oven pengering dan membersihkan peralatan pengujian agar siap untuk digunakan saat pengujian selanjutnya,

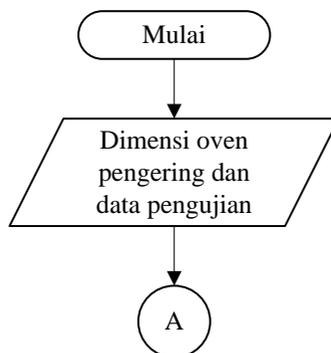
1. Mematikan pemanas elektrik dengan cara mengubah posisi switch ke tombol “off” pada panel box.
2. Melepas steker *male* power oven pengering dari steker *female* ruangan

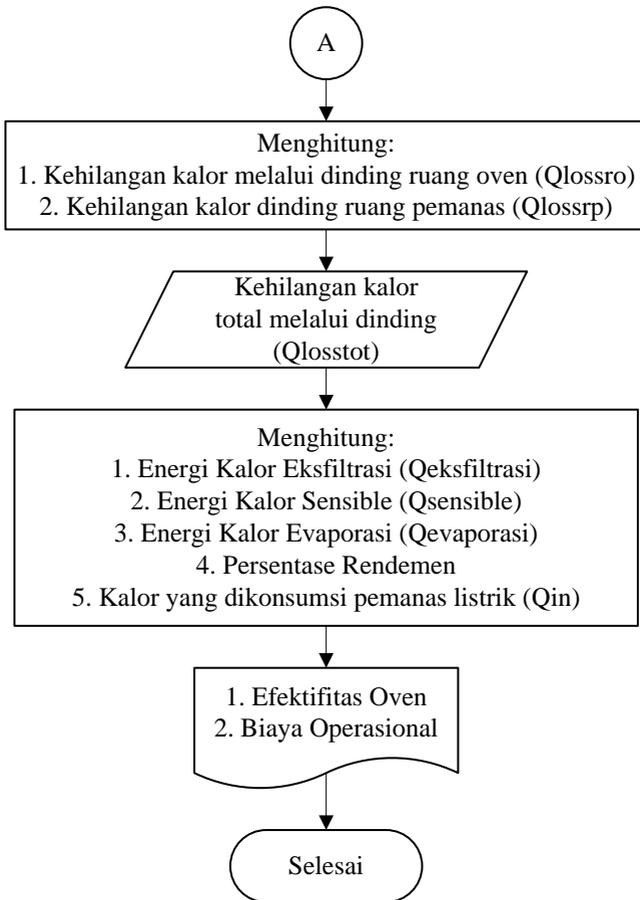
3. Membersihkan sisa daun kelor yang terjatuh didalam oven pengering
4. Mengemas dan menandai hasil pengujian agar tidak tertukar
5. Merapikan alat ukur dan alat penunjang yang telah digunakan selama pengujian
6. Membersihkan lingkungan sekitar tempat pengujian

3.4 Tahap Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengujian dan diperoleh data – data dari hasil pengujian, kemudian dilakukan beberapa pengolahan data yang dimasukkan dalam suatu perhitungan di antaranya:

1. Menghitung kerugian panas yang keluar melalui dinding ruang oven (Q_{lossro}) dan ruang pemanas (Q_{lossrp}) selama proses pengeringan
2. Menghitung energi kalor yang sengaja dikeluarkan melalui cerobong ($Q_{eksfiltrasi}$).
3. Menghitung energi kalor yang digunakan memanaskan ruang oven ($Q_{sensible}$).
4. Menghitung besar panas untuk menghilangkan kadar air daun kelor (Q_{evap}).
5. Menghitung efektifitas oven, rendemen, dan biaya operasional

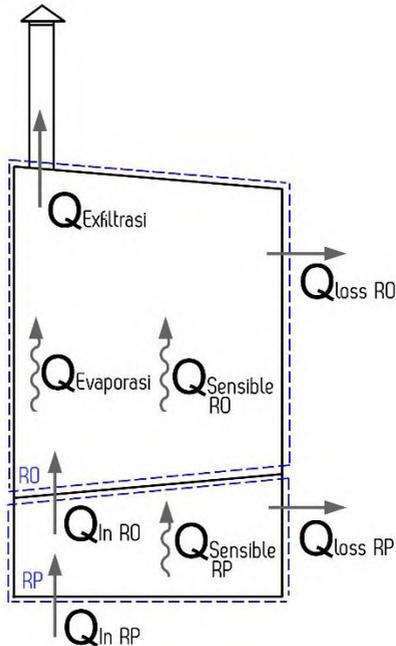




Gambar 3.10 Diagram alir perhitungan

BAB 4 ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Neraca Kalor



Gambar 4.1 Neraca kalor oven saat proses pengeringan

Terdapat dua volume atur dalam neraca kalor pengeringan, seperti gambar diatas volume atur pertama adalah volume atur Ruang Pemanas (rp), dan volume atur yang kedua adalah volume atur Ruang Oven (ro).

$(Q_{in\ rp})$ adalah energi kalor yang dihasilkan dari pemanas elektrik untuk memanaskan Ruang Pemanas (rp), $(Q_{sensible\ rp})$ adalah energi kalor yang berguna untuk memanaskan udara dalam ruang pemanas hingga temperature yang diinginkan, $(Q_{loss\ rp})$ adalah kerugian kalor yang keluar melalui dinding ruang pemanas (rp), $(Q_{in\ ro})$ adalah energi kalor masuk ke ruang oven (ro), $(Q_{evaporasi})$

adalah energi kalor yang berguna untuk menguapkan uap air dari penampang produk, ($Q_{\text{loss ro}}$) adalah kerugian energi kalor yang keluar melalui dinding oven, ($Q_{\text{sensible ro}}$) adalah energi kalor yang berguna untuk memanaskan udara dalam ruang oven (ro), dan ($Q_{\text{exfiltrasi}}$) adalah energi kalor yang sengaja dibuang melalui cerobong, untuk membuang uap air yang terkandung dalam udara di ruang oven (ro)

Untuk menghitung dan menganalisa perpindahan panas pada proses pengeringan daun kelor menggunakan oven listrik perlu dilakukan identifikasi persamaan pada setiap volume atur, adapun persamaan pada volume atur ruang pemanas (rp):

$$\begin{aligned} Q_{\text{in rp}} &= Q_{\text{out rp}} \\ Q_{\text{in rp}} &= Q_{\text{storage rp}} + Q_{\text{loss rp}} \\ Q_{\text{in rp}} &= (Q_{\text{sens rp}}) + Q_{\text{loss rp}} \\ Q_{\text{sens rp}} &= Q_{\text{in rp}} - Q_{\text{loss rp}} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Persamaan pada volume atur ruang oven (ro):

$$\begin{aligned} Q_{\text{in ro}} &= Q_{\text{out ro}} \\ Q_{\text{in ro}} &= Q_{\text{storage ro}} + Q_{\text{loss ro}} + Q_{\text{exfiltrasi}} \\ Q_{\text{in ro}} &= (Q_{\text{evaporasi}} + Q_{\text{sensible}}) + Q_{\text{loss ro}} + Q_{\text{exfiltrasi}} \end{aligned} \quad (4.2)$$

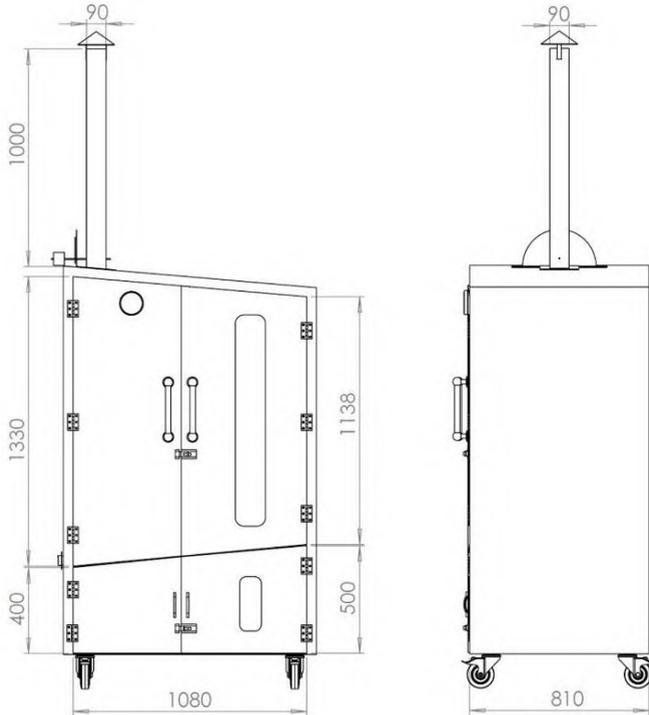
Kalor yang masuk ke dalam Ruang Oven (ro) adalah kalor sensible yang dihasilkan pemanas listrik di Ruang Pemanas (rp). Maka ($Q_{\text{in ro}} = Q_{\text{sens rp}}$), Substitusi dua kedua persamaan diatas, maka:

$$\begin{aligned} Q_{\text{in ro}} &= Q_{\text{sens rp}} \\ ((Q_{\text{evaporasi}} + Q_{\text{sens ro}}) + Q_{\text{loss ruang oven}} + Q_{\text{exfiltrasi}}) &= (Q_{\text{in rp}} - Q_{\text{loss rp}}) \\ Q_{\text{in rp}} &= (Q_{\text{evaporasi}} + Q_{\text{sens ro}}) + Q_{\text{loss ro}} + Q_{\text{exfiltrasi}} + Q_{\text{loss rp}} \end{aligned}$$

Untuk selanjutnya ($Q_{\text{in rp}}$) disebut (Q_{in})

Salah satu tujuan akhir perhitungan tugas akhir ini adalah memperoleh nilai efektifitas oven, maka dari itu perlu dilakukan identifikasi energi kalor yang berguna dan yang terbuang. Identifikasi dilakukan pada persamaan hasil substitusi diatas, adapun kalor yang berguna adalah $Q_{\text{evaporasi}}$, dan $Q_{\text{sens ro}}$ sedangkan kalor yang terbuang adalah $Q_{\text{loss ro}}$, $Q_{\text{loss rp}}$, dan $Q_{\text{exfiltrasi}}$

4.2 Data Spesifikasi Oven



Gambar 4.2 Dimensi oven pengering tampak depan dan samping

Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- Dimensi oven
 - Panjang = 1.08 m
 - Lebar = 0.81 m
 - Tinggi = 1.73 m
- Dimensi cerobong
 - Panjang = 0.09 m
 - Lebar = 0.09 m
 - Tinggi = 1 m
 - $A_{cerobong} = (0.09 \times 0.09)m^2$

$$= 0.0081 \text{ m}^2$$

- Data dinding

→ Bahan Dinding

1. Galvalume

Tebal (L_1) = 0.001 m

Konduktivitas termal (k_1) = 166 W/m·K

2. Glass Wool (*cellular glass*)

Tebal (L_2) = 0.03 m

Konduktivitas termal (k_2) = 0.058 W/m·K

3. Aluminium

Tebal (L_3) = 0.0015 m

Konduktivitas termal (k_3) = 237 W/m·K

→ Luas permukaan dinding ruang oven

1. Bagian depan (A_1) = 1.3327 m²

2. Bagian kanan (A_2) = 1.0773 m²

3. Bagian belakang (A_3) = 1.3327 m²

4. Bagian kiri (A_4) = 0.9217 m²

5. Bagian atas (A_5) = 0.8698 m²

→ L Karakteristik pada dinding vertikal, diasumsikan sebagai panjang tertinggi dinding ruang oven

1. L depan, belakang, kanan = 1.330 m

2. L kiri = 1.138 m

3. L karakteristik pada dinding horizontal,

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (1.08 \text{ m} \times 0.81 \text{ m})}{2 \times (1.08 + 0.81) \text{ m}} = 0.9257 \text{ m}$$

→ Luas permukaan dinding ruang pemanas

1. Bagian depan (A_6) = 0.486 m²

2. Bagian kanan (A_7) = 0.324 m²

3. Bagian belakang (A_8) = 0.486 m²

4. Bagian kiri (A_9) = 0.405 m²

→ L Karakteristik pada dinding vertikal, diasumsikan sebagai panjang tertinggi dinding ruang pemanas

1. L depan, belakang, kiri = 0.5 m

2. L kanan = 0.4 m

- Data rak penampung
Panjang = 0.89 m
Pegangan rak = 0.01 m
Lebar = 0.715 m

4.2 Data Pengujian Daun Kelor

Untuk contoh perhitungan dibawah ini digunakan data dari percobaan variasi 5 dengan beban sebesar 600 gram, yang merupakan beban maksimum percobaan (Lampiran 1)

Temperatur ruang oven (ro)

Bagian dalam	Bagian luar
Ts = 318.75 K	Ts = 308 K
Tsur = 318 K	Tsur = 304 K
RH = 60 %	RH = 73 %

Temperatur ruang pemanas (rp)

Bagian dalam	Bagian luar
Ts = 318.75 K	Ts = 308 K
Tsur = 335 K	

Cerobong

Vc = 1.18 m/s
Tc = 314 K
RH = 73 %

Temperatur permukaan daun

$$T_{sd} = 327.75 K$$

Massa Daun

Min = 600 gram
Mout = 170 gram

Durasi Waktu

tph = 60 menit
tw = 270 menit

4.3 Perhitungan Perpindahan Panas pada Oven

4.3.1 Cerobong

$$T_c = 314 K$$
$$v_c = 1.18 m/s$$

Appendix A.4 ($T_c = 314 K$)

$$\rho = 1.1148 \frac{Kg}{m^3}$$
$$\mu = 191.2 \times 10^{-7} N \frac{s}{m^2}$$

1. Reynold number

$$\text{Re}_c = \frac{\rho v_c D_c}{\mu}$$

$$\text{Re}_c = \frac{1.1148 \cdot 1.18 \cdot 0.09}{191.3 \times 10^{-7}}$$

$$\text{Re}_c = 6193.0476 \text{ (Laminar)}$$

2. Kecepatan udara keluar cerobong

$$n = (-1.7) + 1.8 \log 6153.0476$$

$$= 5.1253$$

$$v_{c'} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$v_{c'} = \frac{2(5.1253)^2}{(5.1253+1)(2(5.1253)+1)}$$

$$v_{c'} = 0.7623 \text{ m/s}$$

3. Mass flow rate

$$\dot{m}_c = \rho \times v_{c'} \times A_c$$

$$\dot{m}_c = 1.1148 \times 0.7623 \times (0.009)^2$$

$$\dot{m}_c = 6.884 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

4.3.2 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Oven bagian Dalam

1. Temperatur fluid film

$$T_f = \frac{T_s + T_{sur}}{2}$$

$$T_f = \frac{318.75 + 318}{2}$$

$$T_f = 318.375 \text{ K}$$

Appendix A.4 ($T_f = 318.375 \text{ K}$)

$$\rho = 1.1002 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = 17.74 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 28 \times 10^{-3} \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

$$Pr = 0.704$$

2. Kecepatan udara dalam oven

$$\dot{m}_c = \dot{m}_o$$

$$\dot{m}_c = \rho \times v_o \times A_o$$

$$6.884 \times 10^{-3} = 1.1014 \times v_o \times (0.89 \times 0.08)$$

Appendix A.4 ($T_f = 318 \text{ K}$)

$$\rho = 1.1014 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_o = 0.08777 \text{ m/s}$$

3. Perhitungan koefisien konveksi pada plat galvanum dinding bagian kanan, depan, dan belakang (dalam ruang oven)

→ Panjang karakteristik

$$L = 1.330 \text{ m}$$

→ Reynold Number

$$\text{Re} = \frac{v_o L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.08777 \cdot 1.330}{17.74 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 6584.6071 \text{ (Laminar)}$$

→ Bilangan Nusselt ($\text{Re} < 5 \times 10^5$)

$$N_{ux} = 0,664 \text{ Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 0,664 (6584.6071)^{\frac{1}{2}} \times (0.704)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 47.9318$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_1 = \frac{N_{ux} k}{L}$$

$$h_1 = \frac{47.9318 \cdot 28 \times 10^{-3}}{1.330}$$

$$h_1 = 1.0090 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

4. Perhitungan koefisien konveksi pada plat galvanum dinding bagian kiri (dalam ruang oven)

→ Panjang Karakteristik

$$L = 1,138 \text{ m}$$

→ Reynold Number

$$\text{Re} = \frac{v_o L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.08777 \cdot 1.138}{17.74 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 5634.0473 \text{ (Laminar)}$$

→ Bilangan Nusselt ($\text{Re} < 5 \times 10^5$)

$$N_{ux} = 0,664 \text{ Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 0,664 (5634.0473)^{\frac{1}{2}} \times (0.704)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 44.3372$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_2 = \frac{N_{ux} k}{L}$$

$$h_2 = \frac{44.3372 \cdot 28 \times 10^{-3}}{1.138}$$

$$h_2 = 1.0909 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

5. Perhitungan koefisien konveksi pada plat galvanum dinding bagian atas (dalam ruang oven)

→ Panjang karakteristik

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (1,08 \text{ m} \times 0,81 \text{ m})}{2 \times (1,08 + 0,81) \text{ m}} = 0,9257 \text{ m}$$

→ Reynold Number

$$\text{Re} = \frac{v_o L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.08777 \cdot 0,9257}{17.74 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 4582.9856 \text{ (Laminar)}$$

→ Bilangan Nuselt ($\text{Re} < 5 \times 10^5$)

$$N_{ux} = 0,664 \text{ Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 0,664 (4582.9856)^{\frac{1}{2}} \times (0.704)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 39.9883$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_3 = \frac{N_{ux} k}{L}$$

$$h_3 = \frac{39.9883 \cdot 28 \times 10^{-3}}{0,9257}$$

$$h_3 = 1.2095 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

4.3.3 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Oven Bagian Luar

1. Temperatur fluid film Appendix A.4 ($T_f = 306 \text{ K}$)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{308 + 304}{2}$$

$$T_f = 306 \text{ K}$$

$$\rho = 1.1414 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = 16.49 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 27 \times 10^{-3} \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

$$\alpha = 23.4 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr = 0.706$$

$$\beta = 3.2679 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

2. Perhitungan koefisien konveksi pada plat aluminium dinding bagian kanan, depan, dan belakang (luar ruang oven)

→ Panjang karakteristik

$$L = 1.330 \text{ m}$$

→ Reyleigh number

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \cdot 3.2679 \times 10^{-3} \cdot (308 - 304) \cdot 1.330^3}{16.49 \times 10^{-6} \cdot 23.4 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 7.8162 \times 10^8$$

→ Bilangan nuselt ($Ra \leq 10^9$)

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 (7.8162 \times 10^8)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 86.6098$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_4 = \frac{N_{ul} k}{L}$$

$$h_4 = \frac{86.6098 \cdot 28 \times 10^{-3}}{1,330}$$

$$h_4 = 1.7582 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

3. Perhitungan koefisien koveksi pada plat alumunium dinding bagian kiri (luar ruang oven)

→ Panjang karakteristik

$$L = 1.138 \text{ m}$$

→ Reyleigh number

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \cdot 3.2679 \times 10^{-3} \cdot (308 - 304) \cdot 1.138^3}{16.49 \times 10^{-6} \cdot 23.4 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 4.8963 \times 10^8$$

→ Bilangan nuselt ($Ra \leq 10^9$)

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 (4.8963 \times 10^8)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 77.1272$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_5 = \frac{N_{ul} k}{L}$$

$$h_5 = \frac{77.1272 \cdot 28 \times 10^{-3}}{1.138}$$

$$h_5 = 1.8299 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

4. Perhitungan koefisien koveksi pada plat alumunium dinding bagian atas (luar oven)

→ Panjang karakteristik

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (1,08 \text{ m} \times 0,81 \text{ m})}{2 \times (1,08 + 0,81)\text{m}} = 0,9257 \text{ m}$$

→ Reyleigh number

$$\cos \alpha = \cos 5 = 0,996$$

$$Ra_L = \frac{g\beta \cos \alpha (T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \cdot 3.2679 \times 10^{-3} \cdot 0.996(308 - 304) \cdot 0.9257^3}{16.49 \times 10^{-6} \cdot 23.4 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 2.6248 \times 10^8$$

→ Nuselt number $10^7 \leq Ra_l \leq 10^{11}$

$$N_{ul} = 0,15 \cdot Ra_L^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0,15 \cdot (2.6248 \times 10^8)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 96.0421$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_6 = \frac{N_{ul} \cdot k}{L}$$

$$h_6 = \frac{96.0421 \cdot 28 \times 10^{-3}}{1.138}$$

$$h_6 = 2.80 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

4.3.4 Q loss Total Dinding Ruang Oven

1. Heat loss dinding bagian depan

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot1} = \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4}$$

$$R_{tot1} = \frac{1}{1.0090} + \left(\frac{0.001}{166} + \frac{0.03}{0.058} + \frac{0.015}{237} \right) + \frac{1}{1.758}$$

$$R_{tot1} = 2.0769 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss1} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot1}} A_1$$

$$Q_{loss1} = \frac{318 - 304}{2.0769} \cdot 1.3327$$

$$Q_{loss1} = 8.9830 \text{ W}$$

2. Heat loss dinding bagian kanan

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot2} = R_{tot1} = 2.0769 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss_2} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot_2}} A_2$$
$$Q_{loss_2} = \frac{318 - 304}{2.0769} 1.0773$$
$$Q_{loss_1} = 7.2615 W$$

3. Heat loss dinding bagian belakang

$$Q_{loss_3} = Q_{loss_1} = 8.9830 W$$

4. Heat loss dinding bagian kiri

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot_4} = \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_5}$$
$$R_{tot_4} = \frac{1}{1.0909} + \left(\frac{0.001}{166} + \frac{0.03}{0.058} + \frac{0.015}{237} \right) + \frac{1}{1.8299}$$
$$R_{tot_4} = 1.9804 m^2 \frac{K}{W}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss_4} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot_4}} A_4$$
$$Q_{loss_4} = \frac{318 - 304}{1.9804} 0.9217$$
$$Q_{loss_4} = 6,5157 W$$

5. Heat loss dinding bagian atas

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot_5} = \frac{1}{h_3} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_6}$$
$$R_{tot_5} = \frac{1}{1.2095} + \left(\frac{0.001}{166} + \frac{0.03}{0.058} + \frac{0.015}{273} \right) + \frac{1}{2.8012}$$
$$R_{tot_5} = 1.7009 m^2 \frac{K}{W}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss_5} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot_5}} A_5$$
$$Q_{loss_5} = \frac{318 - 304}{1.7009} 0.8698$$
$$Q_{loss_5} = 7.1588 W$$

6. Perhitungan Qloss Total dinding ruang oven

$$Q_{\text{loss ro}} = Q_{\text{loss1}} + Q_{\text{loss2}} + Q_{\text{loss3}} + Q_{\text{loss4}} + Q_{\text{loss5}}$$

$$Q_{\text{loss ro}} = 8.983 \text{ W} + 7.261 \text{ W} + 8.983 \text{ W} + 6.515 \text{ W} + 7.158 \text{ W}$$

$$Q_{\text{loss ro}} = 38.90233 \text{ W}$$

4.3.5 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Pemanas Dalam

1. Temperatur fluid film

Appendix A.4 ($T_f = 335.75 \text{ K}$)

$$T_f = \frac{T_s + T_{\text{Sur}}}{2}$$

$$\rho = 1.0424 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_f = \frac{336.5 + 335}{2}$$

$$v = 19.49 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$T_f = 335.75 \text{ K}$$

$$k = 29 \times 10^{-3} \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

2. Kecepatan udara dalam ruang pemanas

$$Pr = 0.702$$

$$\dot{m}_o = \dot{m}_{rb}$$

Appendix A.4 ($T_{\text{sur}} = 335 \text{ K}$)

$$6.884 \times 10^{-3} = \rho \times V_{rb} \times A_{rb}$$

$$\rho = 1.0449 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$6.884 \times 10^{-3} = 1.0449 \times V_{rb} \times (0.89 \times 0.08)$$

$$V_{rb} = 0.0925 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. Perhitungan koefisien konveksi pada plat galvanum dinding bagian kiri, depan, dan belakang (dalam ruang pemanas)

→ Panjang karakteristik

$$L = 0.5 \text{ m}$$

Reynold number

$$Re = \frac{V_{rb} L}{v}$$

$$Re = \frac{0.0925 \times 0.5}{19.49 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 2373.8373 \text{ (Laminar)}$$

→ Bilangan nusselt ($Re < 5 \times 10^5$)

$$N_{ux} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 0,664 (2373.8373)^{\frac{1}{2}} \times (0.702)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 28.7523$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_1 = \frac{N_{ux} k}{L}$$

$$h_1 = \frac{28.7523 \cdot 29 \times 10^{-3}}{0.5}$$

$$h_1 = 1.6673 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

4. Perhitungan koefisien koveksi pada plat galvanum dinding bagian kanan (dalam ruang pemanas)

→ Panjang karakteristik

$$L = 0.4 \text{ m}$$

→ Reynold number

$$\text{Re} = \frac{V_{rb} L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.0925 \cdot 0.4}{19.49 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 1899.0698 \text{ (Laminar)}$$

→ Bilangan nuselt ($\text{Re} < 5 \times 10^5$)

$$N_{ux} = 0,664 \text{ Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 0,664 (1899.0698)^{\frac{1}{2}} \times (0.702)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{ux} = 25.7168$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_2 = \frac{N_{ux} k}{L}$$

$$h_2 = \frac{25.7168 \cdot 29 \times 10^{-3}}{0.4}$$

$$h_2 = 1.8644 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

4.3.6 Koefisien Konveksi Dinding Ruang Pemanas Luar

1. Temperatur fluid film

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{305.75 + 304}{2}$$

$$T_f = 304.875^\circ\text{K}$$

Appendix A.4 ($T_f = 304.875^\circ\text{K}$)

$$\rho = 1.1452 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu = 16.38 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 27 \times 10^{-3} \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

$$\alpha = 23.2 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$P_r = 0.706$$

$$\beta = 3.280 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

2. Perhitungan koefisien koveksi pada plat alumunium dinding bagian kiri, depan, dan belakang (luar ruang pemanas)

→ Panjang karakteristik

$$L = 0.5 \text{ m}$$

→ Reyleigh number

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \cdot 3.280 \times 10^{-3} \cdot (305.75 - 304) \cdot 0.5^3}{16.38 \times 10^{-6} \cdot 23.2 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 1.85 \times 10^7$$

→ Bilangan nuselt ($Ra \leq 10^9$)

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 (1.85 \times 10^7)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 34.3945$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_3 = \frac{N_{ul} k}{L}$$

$$h_3 = \frac{34.3945 \cdot 27 \times 10^{-3}}{1.330}$$

$$h_3 = 1.8573 \text{ W} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

3. Perhitungan koefisien koveksi pada plat alumunium dinding bagian kanan (luar ruang pemanas)

→ Panjang karakteristik

$$L = 0.4 \text{ m}$$

→ Reyleigh number

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \cdot 3.280 \times 10^{-3} \cdot (305.75 - 304) \cdot 0.4^3}{16.38 \times 10^{-6} \cdot 23.2 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 0.9483 \times 10^7$$

→ Bilangan nuselt ($Ra \leq 10^9$)

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 0,68 + \frac{0,67 (0,9483 \times 10^7)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,706}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_{ul} = 29.199$$

→ Koefisien Konveksi

$$h_4 = \frac{N_{ul} k}{L}$$

$$h_4 = \frac{34.3945 \cdot 27 \times 10^{-3}}{1.330}$$

$$h_4 = 1.9709 \text{ w} \frac{m}{K}$$

4.3.7 Q loss Total Dinding Ruang Pemanas

1. Heat loss dinding bagian depan

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot1} = \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}\right) + \frac{1}{h_3}$$

$$R_{tot1} = \frac{1}{1.66676} + \left(\frac{0.001}{166} + \frac{0.03}{0.058} + \frac{0.015}{237}\right) + \frac{1}{1.8573}$$

$$R_{tot1} = 1.655 \text{ m}^2 \frac{K}{w}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss1} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot1}} A_6$$

$$Q_{loss1} = \frac{335 - 304}{1.655} \cdot 0.486$$

$$Q_{loss1} = 9.1015 \text{ W}$$

2. Heat loss dinding bagian kanan

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot2} = \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}\right) + \frac{1}{h_4}$$

$$R_{tot_2} = \frac{1}{1.8644} + \left(\frac{0.001}{166} + \frac{0.03}{0.058} + \frac{0.015}{273} \right) + \frac{1}{1.9709}$$

$$R_{tot_2} = 1.5609 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss_2} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot_1}} A_7$$

$$Q_{loss_2} = \frac{335 - 304}{1.5609} 0.324$$

$$Q_{loss_2} = 6.4344 \text{ W}$$

3. Heat loss dinding bagian belakang

$$Q_{loss_3} = Q_{loss_1} = 9.1015 \text{ W}$$

4. Heat loss dinding bagian kiri

→ Hambatan Thermal

$$R_{tot_4} = R_{tot_1}$$

$$R_{tot_4} = 1.5609 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

→ Heat Loss

$$Q_{loss_4} = \frac{T_{sur} - T_{\infty}}{R_{tot_2}} A_9$$

$$Q_{loss_4} = \frac{318 - 304}{1.5609} 0.405$$

$$Q_{loss_4} = 8.0430 \text{ W}$$

5. Qloss total dinding ruang pemanas

$$Q_{loss \text{ rp}} = Q_{loss_1} + Q_{loss_2} + Q_{loss_3} + Q_{loss_4}$$

$$Q_{loss \text{ rp}} = 9.101 \text{ W} + 6.4344 \text{ W} + 9.101 \text{ W} + 8.043 \text{ W}$$

$$Q_{loss \text{ rp}} = 32.6806 \text{ W}$$

4.3.8 Energi Kalor Eksfiltrasi

Menggunakan properties keadaan di cerobong

$$T_c = 314 \text{ K}$$

Appendix A.4 ($T_c = 314 \text{ K}$)

$$\dot{m}_c = 6.884 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$C_p = 1008 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$Q_{eksfiltrasi} = \dot{m}_c \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{eksfiltrasi} = 6.884 \times 10^{-3} \times 1009 \times (314 - 304)$$

$$Q_{eksfiltrasi} = 69.4606 \text{ W}$$

4.3.9 Energi Kalor Sensibel

Diasumsikan laju massa yang dikeluarkan melalui cerobong sama dengan laju massa kalor yang dibangkitkan didalam oven

$$\dot{m}_c = \dot{m}_o = 6.884 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \quad \text{Appendix A.4 } (T_c = 318 \text{ K})$$

$$T_1 = 304 \text{ K} \quad C_p = 1008 \frac{J}{kg \text{ K}}$$

$$T_2 = 318 \text{ K}$$

$$Q_{sensibel} = \dot{m}_c \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{sensibel} = 6.884 \times 10^{-3} \times 1008 \times (318 - 304)$$

$$Q_{sensibel} = 97.1484 \text{ W}$$

4.3.10 Energi Kalor Evaporasi

Mengacu pada rata-rata temperatur permukaan daun di tiap tingkat

$$T_{sd} = 44.5^\circ\text{C} = 316.8 \text{ K} \quad \text{Appendix A.6 } (T_{sd} = 316.8 \text{ K})$$

$$m_1 = 0.6 \text{ kg} \quad h_{fg} = 2400 \frac{kJ}{kg}$$

$$m_2 = 0.17 \text{ kg}$$

$$t_w = 270 \text{ menit}$$

1. Massflow rate

$$\dot{m}_{evap} = \frac{(m_1 - m_2)}{t}$$

$$\dot{m}_{evap} = \frac{(0.6 - 0.17)}{270 \times \frac{60}{1}}$$

$$\dot{m}_{evap} = \frac{(0.6 - 0.17)}{270 \times \frac{60}{1}}$$

$$\dot{m}_{evap} = 2.6543 \times 10^{-5} \frac{kg}{s}$$

2. Energi kalor evaporasi

$$Q_{evap} = \dot{m}_{evap} \times h_{f,g}$$

$$Q_{evap} = 2.6543 \times 10^{-5} \times 2400 \times 10^3$$

$$Q_{evap} = 63.642 \text{ w}$$

4.3.11 Efektivitas Oven

Nilai yang terukur pada panel listrik oven berupa energi yang digunakan voltase dan ampere

$$V = 220 \text{ V}$$

$$I = 3 \text{ Ampere}$$

$$\text{Cos}\theta = 0.8$$

1. Energi yang terukur pada panel listrik

$$Q_{in} = V \times I \times \text{Cos}\theta$$

$$Q_{in} = 210 \times 3 \times 0.8$$

$$Q_{in} = 504 \text{ W}$$

2. Energi yang terukur pada panel listrik

$$\text{Efektivitas Oven} = \frac{Q_{evaporasi} + Q_{sensible}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\text{Efektivitas Oven} = \frac{63.642 + 97.1484}{504} \times 100\%$$

$$\text{Efektivitas Oven} = 31.9029\%$$

4.3.12 Rendemen Produk

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa}_{in}}{\text{Massa}_{out}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen} = \frac{0.17}{0.6} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen} = 28.333\%$$

4.3.13 Biaya Operasional

Dalam proses pengoperasian oven pengering terdapat dua fase keadaan, yaitu fase preheat dan fase working. Adapun waktu tiap fase sebagai berikut:

$$t_{preheat} = 60 \text{ menit}, t_{working} = 270 \text{ menit}$$

Pada saat fase *working* terjadi siklus pemanasan dimana didalamnya terdapat proses heating dan proses steady yang terus berulang sampai oven dimatikan

1. Waktu siklus

$$t_{heating} = 12 \text{ menit}$$

$$t_{steady} = 10 \text{ menit}$$

$$t_{heating} + t_{steady} = 22 \text{ menit}$$

2. Siklus pemanasan oven

$$H_{Cycle} = \frac{t_{working}}{t_{heating} + t_{steady}}$$

$$H_{Cycle} = \frac{270}{22}$$

$$H_{Cycle} = 12.27x$$

3. Waktu siklus aktual

$$t_{toheating} = t_{heating} \times H_{Cycle}$$

$$t_{toheating} = (12 \text{ menit}) \times (12.27x)$$

$$t_{toheating} = 147.27 \text{ menit}$$

$$t_{totsteady} = t_{steady} \times H_{Cycle}$$

$$t_{totsteady} = (10 \text{ menit}) \times (12.27x)$$

$$t_{totsteady} = 122.7 \text{ menit}$$

4. Biaya operasi

Merujuk biaya TDL (Tarif Dasar Listrik) PLN Mei 2016

Rp. 1364,86 per kWh

$$\text{Biaya operasi} = Q_{in} \times \text{TDL} \times (t_{toheating} + t_{preheat})$$

$$\text{Biaya operasi} = 0.504 \times 1364,86 \times \left(\frac{147.27+60}{60}\right)$$

$$\text{Biaya operasi} = \text{Rp. } 2376,31$$

4.4 Hasil Perhitungan Tiap Variasi

Dilakukan perhitungan seperti contoh di atas terhadap 5 data variasi yang ada (lampiran 1) maka diperoleh tabel di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan variabel perpindahan panas

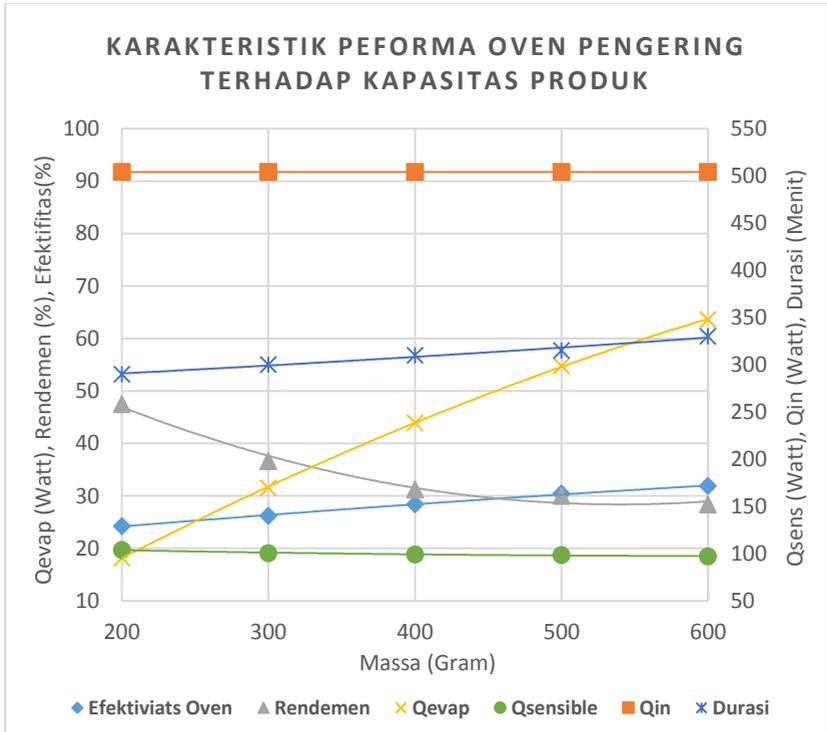
<i>Massa (g)</i>	<i>Q_{losstot} (Watt)</i>	<i>Q_{eksf} (Watt)</i>	<i>Q_{sens} (Watt)</i>	<i>Q_{evap} (Watt)</i>	<i>Q_{in} (Watt)</i>	<i>Efektif (%)</i>	<i>Durasi (Min)</i>	<i>Rend (%)</i>
200	68.528	70.727	104.011	18.203	504	24.248	290	47.5
300	70.443	69.298	100.482	31.572	504	26.201	300	36.66
400	75.144	69.379	99.212	43.914	504	28.397	310	31.25
500	70.192	69.501	98.692	54.783	504	30.451	315	30
600	71.582	69.460	97.148	63.642	504	31.902	330	28.33

Adapun untuk biaya operasional dari tiap variasi pada Tabel 4.2 d merujuk biaya TDL (Tarif Dasar Listrik) PLN Mei 2016 dengan harga Rp. 1364,86 per kWh

Tabel 4.2 Hasil perhitungan biaya operasional

<i>Massa (g)</i>	<i>Biaya (Rp)</i>
200	2126.20
300	2188.73
400	2251.27
500	2282.54
600	2376.31

Agar lebih mudah untuk dianalisa maka dibuatlah grafik karakteristik peforma oven pengering terhadap kapasitas produk. Sumbu x berupa massa produk, *Primary axis* sumbu y berupa *Q_{evap}*, rendemen, dan efektifitas oven sedangkan *secondary axis* sumbu y berupa *Q_{sensibel}*, *Q_{in}*, dan durasi.



Gambar 4.3 Grafik karakteristik peforma oven pengering terhadap kapasitas produk

LAMPIRAN

Lampiran 1

Percobaan dengan kapasitas produk 200gram (Variasi 1)

Temperatur Ruang Oven

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)		RH (%)	
	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
Depan	47	35	32	47	74	65
Belakang	46	33				
Kiri	48	34				
Kanan	49	34				

Temperatur Ruang Bakar

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)
	Dalam	Luar	Dalam
Depan	62	33	62
Belakang	65	32.5	
Kiri	63	33	
Kanan	64	32	

Cerobong

vc (m/s)	Tc (C)	RH (%)
1.28	42	73

Temperatur Permukaan Daun

Tingkat	Tsd (C)
1	49
2	49
3	46
4	44
5	42

Massa Daun

Min (g)	Mout (g)
200	95

Durasi Waktu

tph (min)	tw (min)
60	230

Percobaan dengan kapasitas produk 300gram (Variasi 2)
 Temperatur Ruang Oven

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)		RH (%)	
	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
Depan	46.8	34	31.5	46	74	60
Belakang	44	35				
Kiri	47	34				
Kanan	46.4	35				

Temperatur Ruang Bakar

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)
	Dalam	Luar	Dalam
Depan	63	34	62
Belakang	66	33	
Kiri	62	34	
Kanan	64	33	

Cerobong

vc (m/s)	Tc (C)	RH (%)
1.22	41.5	72

Temperatur Permukaan Daun

Tingkat	Tsd (C)
1	50
2	49
3	45
4	43
5	42

Massa Daun

Min (g)	Mout (g)
300	111

Durasi Waktu

tph (min)	tw (min)
60	240

Percobaan dengan kapasitas produk 400gram (Variasi 3)
 Temperatur Ruang Oven

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)		RH (%)	
	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
Depan	44	31	32	46.3	73	61
Belakang	41	30.5				
Kiri	45	33				
Kanan	44	33				

Temperatur Ruang Bakar

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)
	Dalam	Luar	Dalam
Depan	63	32	61
Belakang	63.5	33	
Kiri	62	33	
Kanan	63	33	

Cerobong

vc (m/s)	Tc (C)	RH (%)
1.12	40	72

Temperatur Permukaan Daun

Tingkat	Tsd (C)
1	49
2	47
3	45
4	42
5	41

Massa Daun

Min (g)	Mout (g)
400	125

Durasi Waktu

tph (min)	tw (min)
60	250

Percobaan dengan kapasitas produk 500gram (Variasi 4)
 Temperatur Ruang Oven

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)		RH (%)	
	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
Depan	45.9	32.2	31	45.2	73	66
Belakang	43.6	31				
Kiri	43	32				
Kanan	46.5	33				

Temperatur Ruang Bakar

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)
	Dalam	Luar	Dalam
Depan	63.5	33	61
Belakang	61	32	
Kiri	63	34	
Kanan	62	33	

Cerobong

vc (m/s)	Tc (C)	RH (%)
1.23	41	72

Temperatur Permukaan Daun

Tingkat	Tsd (C)
1	48
2	47
3	45
4	43
5	42

Massa Daun

Min (g)	Mout (g)
500	150

Durasi Waktu

tph (min)	tw (min)
60	255

Percobaan dengan kapasitas produk 600gram (Variasi 5)
 Temperatur Ruang Oven

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)		RH (%)	
	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
Depan	44.5	35	45	31	60	73
Belakang	44	34				
Kiri	47.5	35				
Kanan	47	36				

Temperatur Ruang Bakar

Bagian	Ts (C)		Tsur (C)
	Dalam	Luar	Dalam
Depan	44.5	35	62
Belakang	44	34	
Kiri	47.5	35	
Kanan	47	36	

Cerobong

vc (m/s)	Tc (C)	RH (%)
1.18	41	73

Temperatur Permukaan Daun

Tingkat	Tsd (C)
1	47
2	46
3	44
4	41
5	41

Massa Daun

Min (g)	Mout (g)
600	170

Durasi Waktu

tph (min)	tw (min)
60	270

TABLE A.4 Thermophysical Properties
of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_s \cdot 10^3$ (N/m)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g	
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil uji yang telah dilakukan, didapatkandari oven pengering dengan dimensi yang sesuai dan dirancang dengan rak yang tersusun miring disertai dengan baffle dari plat galvalum dan memiliki lubang ventilasi berupa cerobong dan laluan samping fluida panas guna pemerataan distribusi temperatur di setiap tingkat rak, sehingga oven pengering tersebut bekerja sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan.

Dari hasil pengujian pengeringan daun kelor, didapatkan data sebagai berikut:

1. Kerugian panas melalui dinding (Q_{losstot}) tiap variasi tidak jauh berbeda, pengaruh variasi beban tidak berdampak pada (Q_{losstot}), adapun (Q_{losstot}) terbesar pada variasi 400 gram sebesar 75.144 Watts
2. Kalor Penguapan (Q_{evap}) terbesar yaitu 63.642 Watts pada variasi beban sebesar 600 gram dan Q_{evap} terkecil sebesar 18.203 Watts pada variasi beban 200 gram
3. Waktu pengeringan tercepat yaitu 290 menit didapat pada kondisi beban sebesar 200 gram, sedangkan waktu pengeringan terlama yaitu 330 menit didapat pada kondisi beban sebesar 600 gram.
4. Efisiensi Thermis (η_{thermis}) terbesar yaitu 31.902 % didapat pada variasi beban sebesar 600 gram, sedangkan efisiensi thermis terkecil yaitu 24.248% didapat pada variasi beban 200 gram.

Proses pengeringan daun kelor yang ideal terdapat pada beban 600 gram karena pada kondisi ini Q_{evap} yang dihasilkan lebih besar yaitu 63.642 Watt, begitupula efektifitas oven variasi 600 gram memiliki nilai 31.902% yang merupakan nilai terbesar, sehingga didapat kalor yang cukup untuk proses pengeringan bahan meskipun membutuhkan durasi pengeringan yang lebih lama yaitu 330 menit. Durasi lebih lama berpengaruh pada biaya operasional yang lebih besar, pada beban 600 gram sebesar Rp

2.376,31 sedangkan pada beban 200 gram sebesar Rp 2.126,20 selisih harganya hanya Rp 250,00

Dalam perhitungan efektifitas oven, terdapat dua variabel yang sangat berpengaruh yaitu Q_{evap} dan Q_{sens} , Semakin besar nilai dua variabel ini, akan semakin besar pula nilai dari efektifitas oven, adapun kapasitas berpengaruh pada Q_{evap} sedangkan Q_{sens} dipengaruhi oleh beda temperatur. Untuk variasi 200 gram, 300 gram, 400 gram, 500 gram, dan 600 gram Semakin besar kapasitas semaik besar pula Q_{evap} dan efektifitas ovennya.

5.2 Saran

1. Diperlukan pengecilan dimensi ruang pemanas pada oven pengering, tujuannya mempercepat proses pemanasan dan mengurangi kerugian panas yang keluar melalui dinding-dinding ruang bakar.
2. Penambahan alat ukur *Watts Meter* pada panel box listrik, agar memudahkan menghitung daya yang dikonsumsi oleh oven pengering.
3. Menutup *clearance* yang tidak tertutup oleh rak penyimpanan di dalam ruang oven, agar aliran fluida di dalam ruang oven sesuai dengan bentuk yang diinginkan.
4. Membuat sensor untuk mengetahui kadar air dalam produk, untuk memudahkan identifikasi selesainya proses pengeringan.
5. Perlu dilakukan pengujian kembali dengan *range* variasi yang lebih banyak, hingga diperoleh titik puncak (*pick point*) dari nilai efektifitas oven.
6. Melakukan eksperimen dan simulasi distribusi temperature variasi bukaan *gate valve* pada ruang oven, agar tiap tingkatan pada ruang oven memiliki temperature yang sama

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., dan Dewitt D.P. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*. John Wiley & sons, inc.
- [2] Cengel, A. Yunus., dan Turner, Robert H. 2003. *Heat Transfer a Practical Approach*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] Greensmith, M. 2002. *Practical Dehydration*. Woodhead Publishing, Ltd.
- [4] Hundy, G. F., Trott, A. R., dan Weich, T. C. 2004. *Refrigeration and Air Conditioning*. B&R, Inc.
- [6] Krisnadi, Dudi A. 2015. *Kelor Super Nutrisi*. Media Peduli Lingkungan
- [7] Ramadhani P, Suci. 2015. *Analisa Perpindahan Panas Pada Oven Bahan Bakar LPG Untuk Proses Pengeringan Daun Mengkudu Dengan Daya Tampung 1.2 Kg*
- [8] Tumbuhan kelor https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Moringa_oleifera_sg.jpg Diakses tanggal 10-07-2016

BIODATA PENULIS



Mohammad Nuril Fuad, lahir di Madura pada tanggal 19 Desember 1994, merupakan anak pertama dari lima bersaudara pasangan Hadyo Poernomo dan Isrifah. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDIT Fitrah Insani (2001-2007), SMPN 2 Ngamprah (2007-2010), SMA Alfa Centauri Bandung (2010-2013). Pada tahun 2013 Penulis diterima di Program Studi D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2113030002 dengan bidang keahlian Konversi Energi.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti organisasi dan kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik, yaitu menjadi Koordinator Laboratorium Metallurgi D3 Teknik Mesin (2015-2016), Divisi Media dan Sponsorship Team Mobil Listrik Nogogeni ITS (2015-2016), Sekertaris Umum UKM Tae Kwon Do ITS (2014-2015), Ketua Forkom Pers Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri ITS (2014-2015), dan staff Komunikasi dan Informasi HMDM FTI ITS (2014-2015).

Selain mengikuti organisasi dan kegiatan, penulis aktif mengikuti pelatihan keprofesian dan pengembangan diri. Pelatihan intra kampus yang pernah diikuti penulis yaitu LKMM Pra-TD FTI ITS, LKMM TD HMDM FTI ITS, PJTD HMDM FTI ITS, dan PJTL FTI ITS, sedangkan pelatihan keahlian yang pernah diikuti yaitu Autodesk AutoCAD 2010 (Basic), ISO 9001, dan OHSAS 18001.