



TUGAS AKHIR - TM 145502

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI
TERHADAP PROSES PENGERINGAN BUAH
PISANG DALAM OVEN**

**MOCHAMMAD DENDRA ALIFSYAHLA
10211400000006**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI
TERHADAP PROSES PENGERINGAN BUAH
PISANG DI DALAM OVEN**

**MOCHAMMAD DENDRA ALIFSYAHLA
NRP 10 2114 000000 06**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

**EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT SPEED AIR
FLOWS VENTILATION TO DRYING PROCESS
OF BANANA IN THE OVEN**

**MOCHAMMAD DENDRA ALIFSYAHLA
NRP 10 2114 000000 06**

**Conselor Lecturer :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
19610602 198701 1 001**

**MECHANICAL INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Vocational
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI TERHADAP PROSES PENGERINGAN BUAH PISANG DI DALAM OVEN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya

pada

Bidang Studi Konversi Energi

Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOCHAMMAD DENDRA ALIFSYAHLA

NRP 10 2114 000000 06

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



**SURABAYA
JANUARI 2018**

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI TERHADAP PROSES PENGERINGAN BUAH PISANG DALAM OVEN

Nama Mahasiswa : Mochammad Dendra Alifsyahla
NRP : 10 2114 000000 06
Jurusan : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

Abstrak

Pengeringan makanan adalah salah satu teknik dalam proses produksi makanan tak berbahan pengawet kimia. Majunya teknologi membuat pengeringan ini tak lagi menggunakan cara konvensional yakni dengan cara mengeringkan dengan bantuan sinar matahari. Perkembangan teknologi menyebabkan munculnya alat - alat untuk melakukan proses pengeringan ini. Oven pengering yang telah ada memerlukan pengujian lanjut agar ditemukan kecepatan aliran udara ventilasi optimal untuk proses pengeringan buah pisang.

Untuk mengetahui kinerja oven pengering maka dilakukan percobaan proses pengeringan buah pisang. Percobaan dilakukan dengan variasi kecepatan aliran udara ventilasi dengan temperatur konstan 60°C sebanyak 5 kali percobaan. Oven yang digunakan dalam percobaan adalah oven yang menggunakan sumber panas listrik. Di dalam ruang oven disusun rak yang sekaligus berfungsi sebagai pengarah aliran udara di dalam oven. Oven juga dilengkapi dengan semacam cerobong yang berfungsi untuk menghasilkan sirkulasi udara secara alamiah.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk proses pengeringan selama 4 jam dengan spesifikasi pemanas listrik ber daya 600 Watt (Q_{in}), Q_{evap} yang dihasilkan yaitu 99,546 Watt, sehingga Efisiensi terbesar yang dihasilkan oven yaitu 49,15% pada kecepatan aliran udara ventilasi 1,27 m/s.

Kata Kunci : *Proses Pengeringan, kecepatan aliran, Efisiensi Oven*

***EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT SPEED AIR FLOWS
VENTILATION TO DRYING PROCESS OF BANANA IN
THE OVEN***

Name of Student : Mochammad Dendra Alifsyahla
NRP : 10 2114 000000 06
Department : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Conselor Lecturer : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

Abstrac

Food drying is one of the techniques in the process of producing foods without chemical preservatives. Advanced technology makes this drying no longer use conventional way that is by drying with the help of sunlight. The development of technology led to the emergence of tools - tools to perform this drying process. The existing drying oven requires further testing in order to find the optimal ventilation airflow velocity for the banana drying process.

To know the performance of drying oven, the experiment of banana drying process is done. Experiments were conducted with variations in ventilation airflow velocity. The oven used in the experiment is an oven that uses an electric heat source. Inside the oven space is arranged shelf which also serves as a steering flow of air in the oven. The oven is also equipped with a kind of chimney that serves to produce natural air circulation.

From experiment result showed that for 4 hours drying process with specification of 600 Watt (Q_{in}) electric heaters, Q_{evap} generated is 99.546 Watt, resulting Efficiency oven 53,49%

..

Keywords: Drying process, flow velocity, Efficiency Oven

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

“ STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA VENTILASI TERHADAP PROSES PENGERINGAN BUAH PISANG DALAM OVEN ”

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara moril dan materi, sehingga dalam pembuatan laporan ini, saya dengan hormat mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan saran, masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Ir. Arino Anzip, Meng.Sc selaku Dosen Wali.
5. Tim Dosen Penguji yang telah menguji dan banyak memberi masukan agar Tugas Akhir ini menjadi lebih baik.
6. Orang tua, Ibu Farika Chandra, Bapak Deddy Bawono yang senantiasa memberikan do'a restu, kasih sayang dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Hendra Setyabudi sebagai partner dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Mas Sapto Wisasno yang selalu membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Ismah Fawaiz yang selalu membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan ilmunya di masa perkuliahan ini

11. Teman – teman SC HMDM 15/16 yang telah membantu saya selama di masa perkuliahan ini
12. Saudara - saudara seperjuangan angkatan 2014 atas kebersamaannya selama kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
13. Semua pihak yang belum saya sebutkan yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih begitu banyak kekurangannya, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I 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 II DASAR TEORI.....	7
2.1 Perpindahan Panas	7
2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	8
2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi	13
2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi	20
2.1.4 Perpindahan Panas Radiasi	22
2.2 Aliran Laminer dan Turbulen	23
2.3 Kekekalan Energi	24
2.3.1 Kekekalan Energi Volume Atur	24
2.3.2 Keseimbangan Energi Permukaan.	25
2.4 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten	26
2.4.1 Kalor Sensible.....	26
2.4.2 Kalor Laten.	27

2.5 Proses Pengeringan.....	28
2.6 Penjelasan Umum Tentang Buah Pisang.....	30
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Desain Alat dan Dimensi Alat.....	33
3.2 Diagram Alir Tugas Akhir.....	35
3.3 Persiapan Awal	36
3.4 Prosedur Percobaan.....	36
3.4.1 Pengujian.....	36
3.4.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian.	37
3.5 Tata Cara Pengujian.....	41
3.5.1 Tahap Persiapan	41
3.5.2 Tahap Pengambilan Data	42
3.5.3 Tahap Setelah Pengujian	43
3.5.4 Tahap Pengolahan Data	43
3.6 Diagram Alir Pengujian	44
3.7 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir	45
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan dengan Oven.....	47
4.2 Data Spesifikasi Alat.....	48
4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven	49
4.3.1 Perhitungan Q_{loss} (W) Pada Jenis Material yang Digunakan	50
4.3.2 Perhitungan Q_{sensible} (W) yang Masuk ke Sistem ..	63
4.3.3 Perhitungan $Q_{\text{eksfiltrasi}}$ (W) yang Keluar Melalui Ventilasi	64
4.3.4 Perhitungan Laju Perpindahan Panas untuk Menghilangkan Kadar Air pada Buah Pisang (Q_{evap})	65
4.3.5 Perhitungan Q_{loss} (W) Pada Ruang Bakar Oven	66
4.3.6 Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor Pada Oven	74

4.3.7 Perhitungan Biaya yang Digunakan Pada Proses	
Pengeringan.....	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	
BIODATA	

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Umum Perpindahan Panas Konduksi, Konveksi Dan Radiasi.....	7
Gambar 2.2	Perpindahan Panas Konduksi Dengan Diffusi Energi Akibat Aktivitas Molekuler	8
Gambar 2.3	Konduksi Satu Dimensi Steady State	10
Gambar 2.4	Perpindahan Panas Pada Dinding Datar	10
Gambar 2.5	Distribusi Kecepatan Dan Distribusi Temperatur.	14
Gambar 2.6	Perpindahan Panas Konveksi.....	18
Gambar 2.7	Pertukaran Radiasi Antara Permukaan Dengan Sekelilingnya.....	21
Gambar 2.8	Perpindahan Panas Antara Konduksi Dengan Konveksi	22
Gambar 2.9	Pengembangan Lapisan Batas Kecepatan Pada Plat Datar.....	23
Gambar 2.10	Kekekalan Energi Volume Atur	25
Gambar 2.11	Kekekalan Energi Permukaan Sebuah Media.....	26
Gambar 2.12	Energi yang Dibutuhkan Untuk Merubah Temperatur Dan Fase Air.....	27
Gambar 2.13	Pisang Kepok.....	31
Gambar 3.1	Gambar Tampak Depan dan Samping Oven Pengering Buah Pisang.....	33
Gambar 3.2	Diagram Alir Tugas Akhir.....	35
Gambar 3.3	Ruang Pengapian	37
Gambar 3.4	Termometer	37
Gambar 3.5	Anemometer	38
Gambar 3.6	Timbangan Digital	38
Gambar 3.7	Hygrometer.....	39
Gambar 3.8	Thachometer	40
Gambar 3.9	Watt Meter.....	40
Gambar 3.10	Penataan Buah Pisang Pada Rak	42

Gambar 3.11	Diagram Alir Pengujian	44
Gambar 3.12	Diagram Alir Perhitungan.....	46
Gambar 4.1	Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan Dengan Oven	47
Gambar 4.2	Grafik Hasil Pengujian	77

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Koefisien Konveksi.....	60
Tabel 4.2 Data Perhitungan $Q_{\text{lossdindingtotal}}$	63
Tabel 4.3 Data Perhitungan Q_{sensibel}	64
Tabel 4.4 Data Perhitungan $Q_{\text{eksfiltrasi}}$	64
Tabel 4.5 Data Perhitungan $Q_{\text{evaporasi}}$	65
Tabel 4.6 Data Perhitungan Q_{loss} ruang bakar	73
Tabel 4.7 Data Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor pada Oven dengan Variasi Kecepatan Aliran Udara	74
Tabel 4.8 Data Perhitungan Biaya yang dibutuhkan setiap Proses Pengeringan.....	75
Tabel 4.9 Hasil Pengujian.....	75

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini teknologi berkembang pesat berupa alat – alat yang diciptakan dengan menggunakan teknik baru dalam penyelesaian masalahnya. Dengan adanya alat – alat tersebut tentu mempermudah dalam hal tertentu dalam pekerjaan manusia. Dalam hal ini teknologi yang baru ditemukan memiliki kerja makin spesifik di bidang pekerjaan tertentu.

Dalam alur produksi makanan tradisional yang tak berbahan pengawet kimia atau pabrikan akan mengalami proses pengeringan terlebih dahulu. Banyak cara tradisional yang dipakai oleh masyarakat untuk mengeringkan makanan, salah satunya dengan menjemur dibawah terik matahari. Contohnya buah pisang, proses pengeringan buah ini cukup memakan waktu 14 – 15 jam jika sinar matahari dalam keadaan normal. Namun apabila cuaca tidak mendukung, proses pengeringan akan membutuhkan waktu lebih lama, yaitu 1 – 2 hari.

Untuk mananggulangi cuaca yang tidak menentu digunakanlah teknologi pengeringan makanan. Oven adalah alat yang paling menjanjikan, namun tentunya tiap oven memiliki teknik dan kemampuan pengeringannya tersendiri. Salah satu keunggulan terbaik oven adalah penggunaan alat ini tidak bergantung waktu dan tempat, tentunya alat ini adalah opsi terbaik dalam bidang pengeringan makanan yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Buah pisang di Indonesia tergolong melimpah. Dari segi produksi, pisang memberikan kontribusi antara 40 – 45 % terhadap produksi buah nasional. Pemanfaatan buah pisang saat ini sebagian besar masih dalam bentuk segar dan dalam bentuk olahan berupa sale, dodol, keripik dan lain – lain. Namun penanganan pasca panen sebelumnya kurang baik, membuat pisang menjadi cepat busuk apabila tidak cepat dikonsumsi. Salah satu jalan untuk mengatasinya adalah dengan mengolah buah pisang menjadi tepung.

Industri tepung pisang diperkirakan akan mampu berkembang baik, karena permintaan aneka tepung sebagai bahan campuran dalam berbagai produk olahan seperti biskuit, makanan bayi, cookies, cake dan produk roti lainnya. Cara ini dapat meningkatkan nilai jual buah pisang dengan memanfaatkannya sebagai tepung yang telah dikeringkan.

Adanya oven dalam pengeringan buah pisang merupakan suatu teknologi yang sangat bermanfaat guna menanggulangi kekurangan dari cara konvensional. Dalam hal ini waktu dan temperatur pada saat menggunakan oven harus diatur sedemikian rupa agar hasil yang di dapatkan sama dengan cara konvensional dan efisiensi dari oven pengering dapat maksimal dalam proses pengeringan buah pisang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis berusaha mengemukakan beberapa rumusan masalah yang dihadapi dalam bidang teknologi pengeringan bahan daun mengkudu dengan menggunakan oven yaitu :

1. Bagaimana proses pengeringan buah pisang dengan menggunakan oven?
2. Berapa besar pengaruh kecepatan aliran udara ventilasi terhadap daya yang dibutuhkan oven saat proses pengeringan?
3. Berapa kecepatan aliran udara ventilasi optimal dalam proses pengeringan buah pisang dengan menggunakan oven?
4. Berapa efisiensi termis yang dihasilkan oleh oven berdasarkan variasi kecepatan aliran udara ventilasi?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menghitung panas yang masuk ke pengering
2. Menghitung kerugian panas yang dibuang oven pengering melalui cerobong (Q eksfiltrasi)

3. Menghitung energi panas yang digunakan untuk menguapkan kadar air pada saat proses pengeringan di dalam oven (Q evaporasi)
4. Menghitung efisiensi termis oven
5. Menentukan kecepatan aliran udara ventilasi optimal untuk proses pengeringan buah pisang menggunakan oven

1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, akan didapat beberapa manfaat yaitu:

1. Mengetahui alur dan perhitungan dalam proses pengeringan buah pisang.
2. Menentukan kecepatan aliran udara ventilasi optimal dalam pengeringan buah pisang.
3. Mengetahui efisiensi termis oven dalam proses pengeringan buah pisang.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini agar pembahasan tidak terlalu meluas, perlu adanya suatu batasan masalah dalam penelitian ini. Berikut merupakan batasan masalahnya :

1. Dalam perhitungan diasumsikan :
 - Kondisi steady state.
 - Kondisi aliran uniform.
 - Temperatur pada permukaan plat dianggap merata.
 - Efek radiasi diabaikan.
 - Temperatur udara diluar pengering dianggap konstan.
2. Tidak membahas serta mengubah laluan dalam oven.
3. Penulis hanya membahas proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara umum.
4. Tidak membahas rancangan konstruksi alat dan kontrol.
5. Pengujian dilakukan dengan variasi bukaan cerobong pada proses pengujian serta perhitungan pengeringan buah pisang menggunakan oven.

6. Perhitungan menggunakan free convection.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah suatu langkah – langkah umum yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian pada Tugas Akhir ini, berikut merupakan bentuk dari metode penelitian yang penulis buat:

1. Studi Literatur

Untuk pengenalan dan pembelajaran dasar-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. Penentuan Bahan

Dalam tahapan ini studi literatur juga dilakukan melalui internet, buku, dan lingkungan sekitar. Juga mengenali manfaat dan tujuan dalam penggunaan bahan tersebut, serta cara dan ketersediaannya. Melalui berbagai pertimbangan akhirnya diperoleh bahan buah pisang.

3. Studi Laboratorium

Melakukan pengujian di Workshop D3 Teknik Mesin dengan perlengkapan mesin dan alat ukur yang telah tersedia untuk mendapatkan dan mengolah data-data yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian.

4. Analisis Data

Dari hasil pengujian atau studi laboratorium akan menghasilkan data-data aktual yang kemudian dianalisis dan dilakukan perhitungan untuk mengetahui variabel - variabel dari oven yang hasil dari perhitungan berupa Q_{in} , Q_{loss} dan Q_{out} dan lain - lain.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam tugas akhir ini agar alur pemikiran penulis dapat diikuti dan dipahami secara utuh maka disusunlah suatu kerangka penulisan yang bersifat umum, yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang 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 dasar 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 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 sengaja dikosongkan

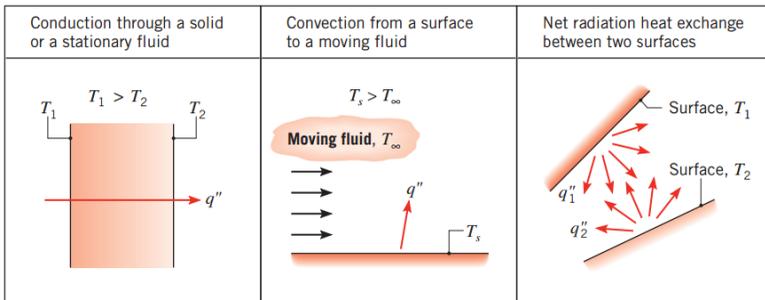
BAB II DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Panas

Pada studi sebelumnya kita mengetahui bahwa energi dapat berpindah karena adanya interaksi dari sebuah sistem dengan lingkungannya. Perpindahan panas sendiri memiliki definisi bahwa perpindahan energi panas yang terjadi diakibatkan oleh adanya suatu perbedaan temperatur antara dua atau beberapa media. Perpindahan panas terjadi melalui media yang memiliki temperatur lebih tinggi menuju ke media yang bertemperatur lebih rendah. Menurut mekanisme terjadinya dan medium perpindahan panas tersebut, di bagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi

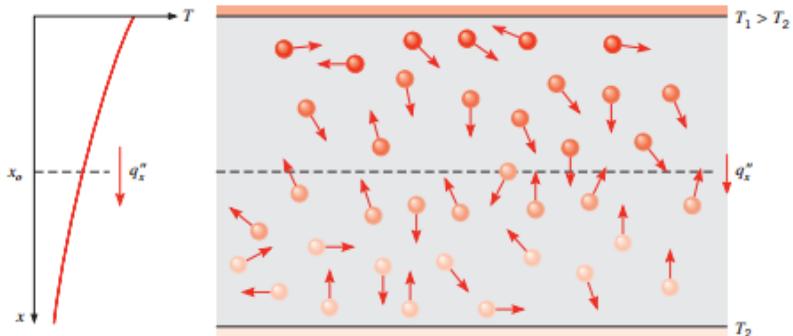
Pada gambar 2.1 bentuk umum dari perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi, merupakan suatu gambaran umum dari bentuk perpindahan panas. Perbedaan mendasar dari ketiganya adalah mekanisme terjadinya perpindahan itu sendiri, sumber panas dan media penerima berkaitan dengan tinggi rendahnya masing – masing temperatur.



Gambar 2.1 Bentuk umum dari Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi [1]

2.1.1 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 2.2 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika $T_1 > T_2$ maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut **diffusi energi**.



Gambar 2.2 Perpindahan Panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler [1]

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 1.3 jika $T_1 > T_2$ maka ada distribusi temperatur kearah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah [1]:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \text{ dimana : } q = \text{laju perpindahan panas (W)}$$

Keterangan :

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

$\frac{dT}{dx}$: gradient temperatur

k : konduktivitas panas ($W/m^\circ K$) adalah karakteristik individu material dinding

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

$$q''_{cond} = -k \frac{\Delta T}{L}$$

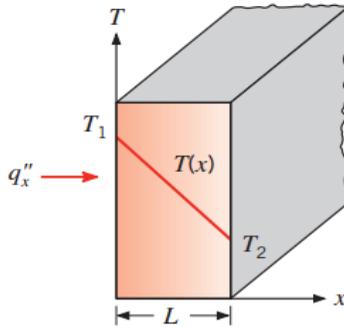
Dimana:

q''_{cond} = fluks perpindahan panas konduksi (W/m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

k = konduktivitas thermal ($W/m \cdot ^\circ K$)

L = jarak (m)

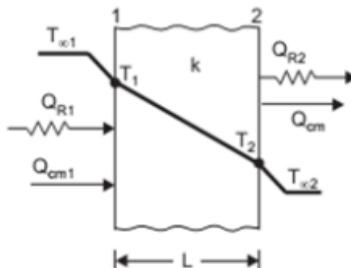


Gambar 2.3 Konduksi satu dimensi steady state [1]

Dalam beberapa hal proses perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi pada bentuk:

- Dinding Datar

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.



Gambar 2.4 Perpindahan Panas pada Dinding Datar [1]

Pada gambar diatas 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.

- Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur pada dinding dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan difusi panas berikut ini [1].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{dT}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{dT}{dz} \right) + q''$$

Untuk konduksi satu dimensi kearah sumbu x dan tanpa ada pembangkitan panas maka [1]:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

Jika konduktivitas termal dinding dianggap konstan, lalu diintegrasikan dua kali maka didapat solusi [1]:

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

Konstanta C tersebut dicari dengan kondisi batas berikut ini [1]:

$$T(x = 0) = T_1 \text{ dan } T(x = L) = T_2$$

Jadi : $T_1 = C_2$ dan $T_2 = C_1 L + C_2$ atau $T_2 = C_1 L + T_1$ sehingga diperoleh [1] :

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Substitusi C_1 dan C_2 ke persamaan 1 dan 2 didapatkan [1] :

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1$$

Fourier :

Untuk menghitung laju perpindahan panas digunakan hukum [1]

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -\frac{kA}{L} (T_2 - T_1)$$

- Hambatan Termal

Untuk kasus perpindahan panas seperti tersebut diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan

perpindahan panas, serta beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur [1].

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{kA}$$

Sebaliknya laju perpindahan panas dapat ditulis [1] :

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

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat hambatan perpindahan panas konveksi R_{konv} [1]:

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA}$$

Dan laju perpindahan panas konveksi ditulis :

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

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 [1]:

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

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}}, \text{ dimana :}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}$$

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

Persamaan 19) dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu :

$$q_x = UA\Delta T$$

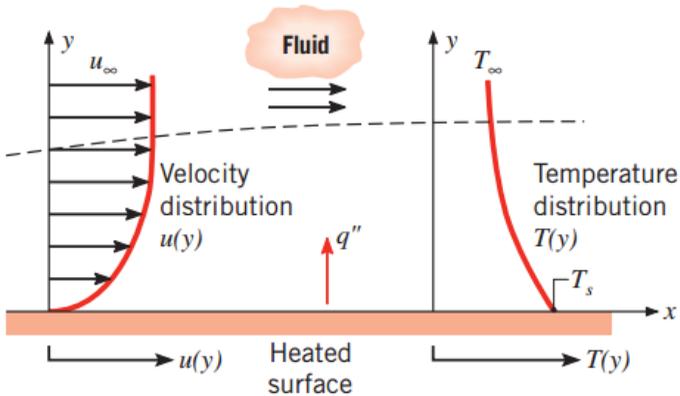
$$UA = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\infty 2}}}$$

U disebut koefisien perpindahan panas keseluruhan. [1]

2.1.2 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 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.



Gambar 2.5 Distribusi kecepatan dan distribusi temperatur [1]

Laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut [1]:

$$q''_{\text{konveksi}} = h(T_s - T_\infty)$$

Dimana:

q''_{conv} = fluks perpindahan panas konveksi (W/m^2)

h = koefisien konveksi (K)

T_s = temperatur permukaan (K)

T_∞ = temperatur fluida (K)

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 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.

Ditinjau dari gerakan fluidanya perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Konveksi Paksa

Disebut konveksi paksa (forced convection) apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor, dan lain-lain.

b. Konveksi alamiah atau konveksi bebas

Konveksi alamiah (natural convection) adalah aliran fluida yang terjadi semata-mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bebas ada dua yaitu :

- Korelasi Plat Vertical

Apabila plat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (no slip), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminer, tetapi pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran-pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Grashof (Gr)[1].

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

Dan *Rayleigh Number* (Ra_L)

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

Dimana :

Pr = Bilangan Prandtl

g = Percepatan gravitasi, ($\frac{m}{s^2}$)

L = Panjang karakteristik, (m)

ν = Viskositas Kinematik, ($\frac{m^2}{s^2}$)

β = Koefisien Ekspansi Volume ($\frac{1}{T_f}$), (K^{-1})

α = Difusivitas Termal, ($\frac{m^2}{s}$)

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (Tf). Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number* [1].

- Untuk aliran laminar : $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

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

- Untuk aliran turbulen : $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

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

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L}{L}$$

Dimana :

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

\overline{Nu}_L = *Nusselt Number*

k = konduktifitas termal, ($\frac{W}{m \cdot K}$)

L = Tinggi Dinding, (m)

- Korelasi pada Plat Horizontal
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*) [1]

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

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

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

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

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

Dimana :

h = Koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = Konduktivitas Termal, $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

L = Panjang karakteristik, (m)

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang dan 0,9 D untuk cakram bola dengan diameter D [1].

$$L = \frac{A}{P} = \frac{w}{2}$$

Dimana :

L = Panjang karakteristik, (m)

A = Luas permukaan plat, (m^2)

P = Keliling Plat (perimeter), (m)

w = Lebar dinding, (m)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu [1] :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

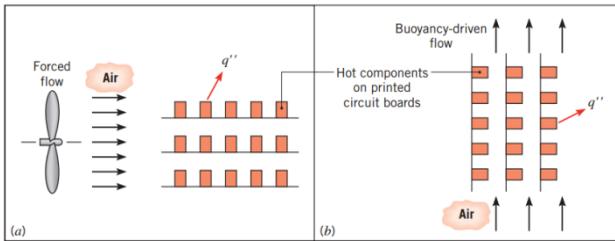
Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi, (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

T_s = Temperatur permukaan, ($^{\circ}C$)

T_∞ = Temperatur Fluida, ($^{\circ}C$)



Gambar 2.6 Perpindahan Panas Konveksi [1]

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan : koefisien perpindahan panas konveksi akan bergantung dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah [1]:

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana :

V = Kecepatan Fluida, $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = Panjang lintasan, (m)

ν = Viskositas kinematik, $\frac{m^2}{s}$

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah [1]:

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k}$$

Dimana :

v = Viskositas kinematik, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

C_p = Konstanta pans spesifik pada tekanan konstan, $\left(\frac{J}{kg^\circ K}\right)$

ρ = Density fluida, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

k = Konduktivitas Panas Fluida, $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

μ = Viskositas Absolute, $\left(\frac{kg}{s.m}\right)$

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai [1]:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{K_f}$$

Dimana :

\overline{Nu}_L = Bilangan Nusselt

\bar{h} = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, $\left(\frac{W}{m^2^\circ K}\right)$

K_f = Konduktifitas Fluida, $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara \overline{Nu}_L dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya :

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu}_L = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{Nu}_L = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi disebabkan karena adanya pancaran energi (radiasi elektromagnetik) oleh suatu benda karena temperaturnya. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (vakum).

Stefan Boltzman telah menyatakan besarnya radiasi maksimum yang dapat dipancarkan oleh suatu permukaan benda hitam (black body), yaitu [1]:

$$q'' = \sigma \times T_s^4$$

Dimana :

q'' = panas maksimum yang diradiasikan, $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

σ = konstanta Boltzman, $\left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$

T_s = Temperatur permukaan, ($^{\circ}C$)

Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata (real) akan lebih kecil dari persamaan di atas, karena itu untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu factor yang disebut *emisivitas* (ε).

Sehingga panas yang diradiasikan adalah [1]:

$$q'' = \varepsilon \sigma A T_s^4$$

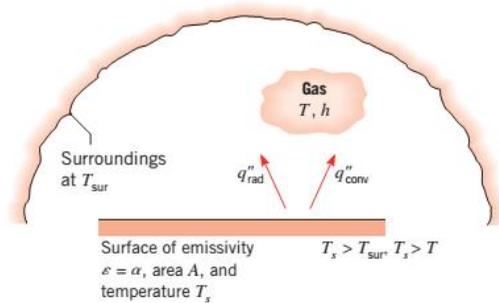
Dimana :

q'' = laju perpindahan panas radiasi, (W)

ε = emisivitas permukaan

$$\sigma = \text{konstanta Boltzman, } \left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$$

$$A = \text{luas permukaan, } (m^2)$$

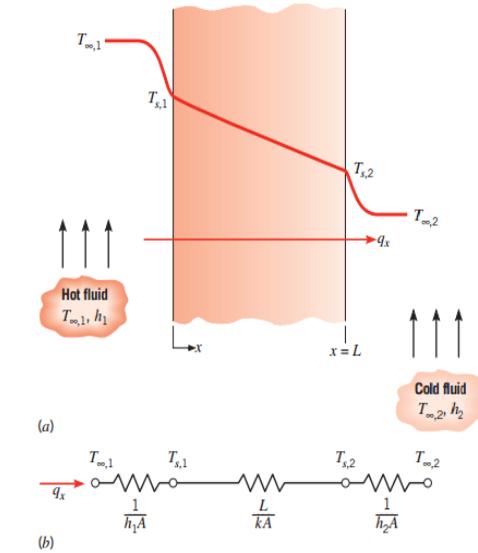


Gambar 2.7 Pertukaran radiasi antara permukaan dengan sekelilingnya [1]

2.1.4 Perpindahan Panas Gabungan

Di dalam praktek perpindahan panas yang terjadi tidak hanya dalam satu mekanisme saja melainkan terjadi secara gabungan antara konduksi, konveksi, dan radiasi maupun ketiga mekanisme tersebut.

Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi seperti gambar di bawah ini akan lebih mudah menentukannya jika dengan menggunakan metode thermal resistant (R). Karena dengan tanpa mengetahui temperatur permukaan benda ($T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$) besarnya perpindahan panas dapat diketahui.



Gambar 2. 8 Perpindahan panas antara konduksi dengan konveksi [1]

Maka laju perpindahan panas [1]:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{KA} + \frac{1}{h_2 A}$$

Dimana :

R_{tot} = tahanan total panas, $\left(\frac{^{\circ}K}{W}\right)$

$T_{\infty,1}$ = temperatur fluida 1, $(^{\circ}C)$

$T_{\infty,2}$ = temperatur fluida 2, $(^{\circ}C)$

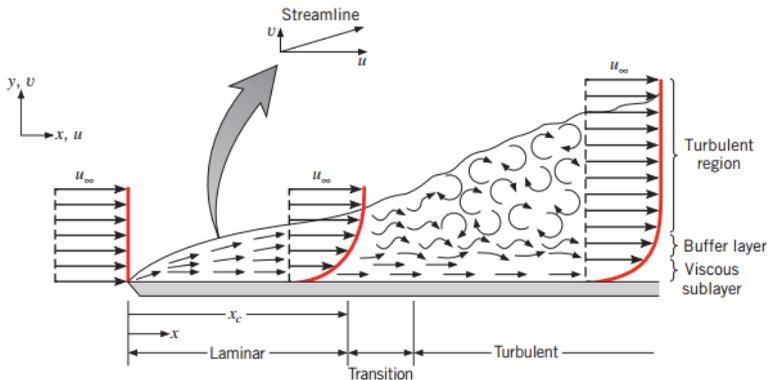
h_1 = koefisien konveksi fluida 1, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}\right)$

h_2 = koefisien konveksi fluida 2, $\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$

A = Luas permukaan perpindahan panas, (m^2)

2.2 Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam memperlakukan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan aliran tersebut laminer 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 laminer dan turbulen. Pada batas laminer, pergerakan fluida sangat teratur dan memungkinkan untuk mengidentifikasi partikel-partikel memanjang pada garis *streamline*.



Gambar 2.9 Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar [1]

Pergerakan fluida memanjang garis 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 dikarakteristik 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 laminer.

Kondisi ini digambarkan secara skematis pada gambar 2.9 Untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan batas mula-mula laminer, 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.

Pada lapisan batas turbulen, tiga daerah berbeda dapat dilukiskan. Pada laminar sublayer, transport didominasi oleh difusi dan profil kecepatan adalah mendekati linier. Dan pada lapisan daerah turbulen transport didominasi oleh campuran turbulen.

Pada perhitungan sifat lapisan batas, sering digunakan untuk mengasumsikan bahwa transisi terjadi pada local X_c . Bilangan Reynold kritis adalah nilai dari (Re) pada transisi yang terjadi dan untuk aliran luar bilangan tersebut diketahui bervariasi dari 10^5 sampai 3×10^6 , tergantung pada kekasaran permukaan. Asumsi umum untuk perhitungan lapisan batas diambil harga Reynold sebesar : $Re = 5 \times 10^5$. Bila bilangan Reynoldnya $< 5 \times 10^5$ disebut aliran laminar, $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$ disebut aliran transisi dan $Re > 5 \times 10^8$ disebut aliran turbulen.

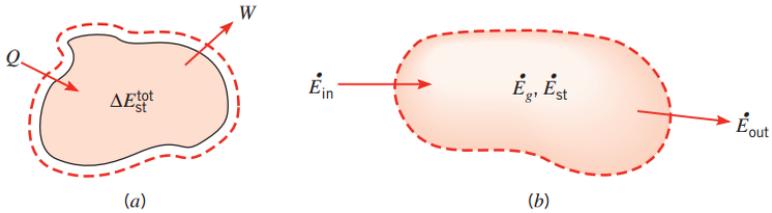
2.3 Kekekalan Energi

Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari termodinamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas Hukum I Termodinamika (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis.

2.3.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Dalam menganalisis perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi/material dengan mengacu pada hukum I termodinamika, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai :

Laju energi termal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam volume atur.



Gambar 2.10 Kekekalan energi volume atur [1]

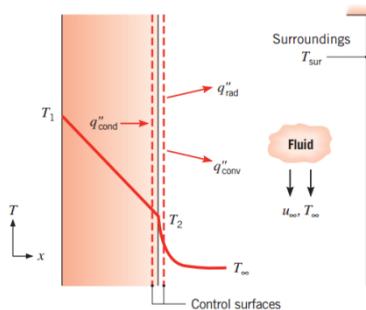
Notasi untuk energi yang masuk meninggalkan volume atur adalah E_{St} . Bentuk umum dari kekekalan energi dapat dinyatakan [1]:

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{St}$$

2.3.2 Kestimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka :

$$E_{in} = E_{out}$$



Gambar 2.11 Kekekalan energi permukaan sebuah media [1]

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaan atur dengan basis persatuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaan radiasi netto dari permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas [1]:

$$q''_{konduksi} - q''_{konveksi} - q''_{radiasi} = 0$$

2.4 Perpindahan Panas 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 (*latent heat*).

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 [1]:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

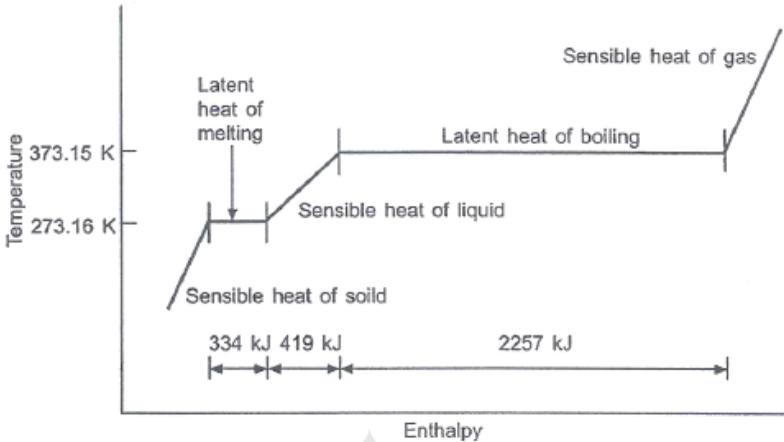
Dimana :

- Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)
- m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)
- C_p = Kalor jenis zat ($\frac{J}{kg.K}$)
- 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 keadaannjenuhnya 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 2.12 Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air [1]

Secara Umum kalor laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan [1]:

$$Q = m \cdot h_l$$

Dimana :

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

h_l = Kalor Laten ($\frac{kJ}{kg}$)

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 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-faktor yang mempengaruhi pengerinan ada 2 golongan, yaitu:

1) Faktor yang berhubungan dengan udara pengering

Yang termasuk dalam golongan ini adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara pengering, dan kelembaban udara.

2) Faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan

Yang termasuk dalam golongan ini adalah ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan.

Pada pengerinan mekanisme ini, memerlukan energi untuk memanskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengerinan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pengeringannya. Akan tetapi, pengerinan yang terlalu cepat kering. Sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pengerinan 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.

- Tidak tergantung cuaca
- Mudah dikendalikan
- Tidak memerlukan tempat yang luas

- Kondisi pengeringan dapat dikendalikan

Proses pengeringan mekanis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

1. Pengeringan langsung/konveksi adalah bahan dikeringkan dengan cara mengeluarkan udara pengering melewati bahan
2. Pengeringan tidak langsung/konduksi adalah dinding panas yang bersentuhan dengan bahan yang akan dikeringkan secara konduksi.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu :

- Perpindahan panas dari luar ke bahan
- 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 pengeringan dimulai, panas diberikan ke bahan akan menaikkan tekanan uap air terutama sejalan dengan kenaikan suhunya.

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.

Selama proses pengeringan terjadi perpindahan cairan (penguapan) dengan dua cara, yaitu :

1. Perpindahan cairan dari dalam bahan ke permukaan (difusi uap). Gerakan cairan yang terjadi di dalam bahan menuju permukaan karena adanya perbedaan konsentrasi. Dimana konsentrasi pada bagian dalam bahan lebih besar dari konsentrasi permukaan. Hal ini disebabkan oleh difusi uap. Dengan meninjau

lapisan tipis gerakan uap air dari bahan ke permukaan dapat dicari persamaan Fick untuk difusi satu dimensi [1]:

$$N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Y}$$

$$n_A'' = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial Y}$$

2. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering.
3. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering berlangsung secara konveksi. Laju perpindahan uap airnya dicari dengan persamaan :

$$N_A'' = h_m (C_{A,S} - C_{A,\infty})$$

Dan laju perpindahan massa uap airnya dapat dicari dengan persamaan :

$$n_A'' = h_m (\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty})$$

2.6 Penjelasan Umum Tentang Buah Pisang

Pisang adalah nama umum yang diberikan pada tumbuhan terna raksasa berdaun besar memanjang dari suku Musaceae. Beberapa jenisnya (*Musa acuminata*, *M. balbisiana*, dan *M. ×paradisiaca*) menghasilkan buah konsumsi yang dinamakan sama. Buah ini tersusun dalam *tandan* dengan kelompok-kelompok tersusun menjari yang disebut *sisir*. Hampir semua buah pisang memiliki kulit berwarna kuning ketika matang, meskipun ada beberapa yang berwarna jingga, merah, hijau, ungu, atau bahkan hampir hitam. Buah pisang sebagai bahan pangan merupakan sumber energi (karbohidrat) dan mineral, terutama kalium. [4]



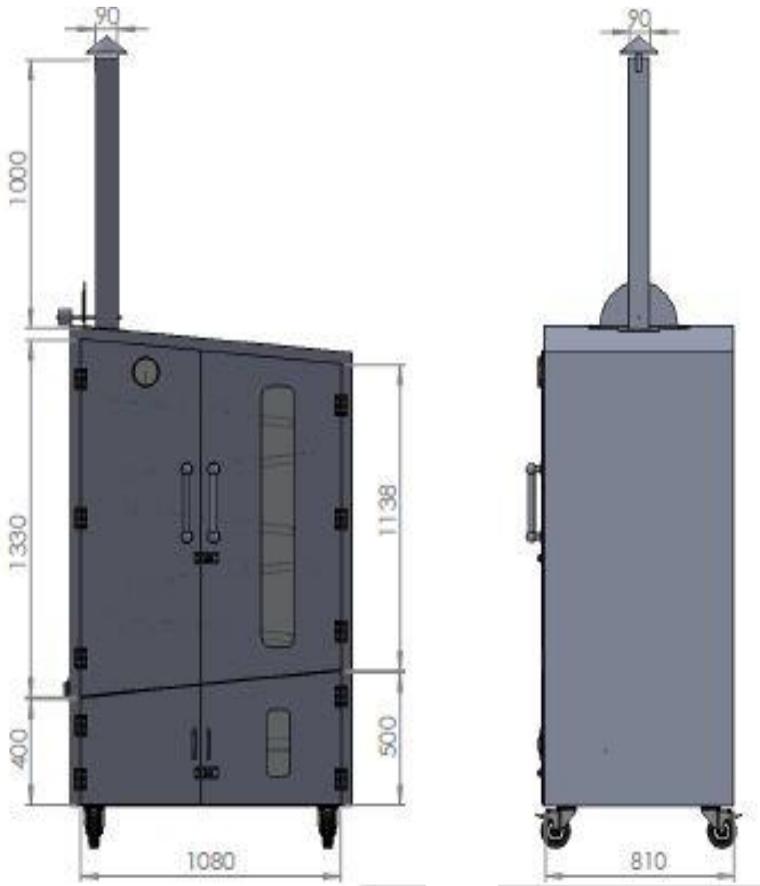
2.13 Pisang Susu atau Pisang Kepok [4]

Berdasarkan cara konsumsi buahnya, pisang dikelompokkan dalam dua golongan, yaitu pisang meja (*dessert banana*) dan pisang olah (*plantain, cooking banana*). Pisang meja dikonsumsi dalam bentuk segar setelah buah matang, seperti pisang ambon, susu, raja, seribu, dan *sunripe*. Pisang olahan dikonsumsi setelah digoreng, direbus, dibakar, atau dikolak, seperti pisang kepok, siam, kapas, tanduk, dan uli. Buah pisang diolah menjadi berbagai produk, seperti sale, kue, ataupun arak (di Amerika Latin). Selain memberikan kontribusi gizi lebih tinggi daripada apel, pisang juga dapat menyediakan cadangan energi dengan cepat bila dibutuhkan. Termasuk ketika otak mengalami kelelahan. Beragam jenis makanan ringan dari pisang yang relatif populer antara lain Kripik Pisang asal Lampung, Sale pisang (Bandung), Pisang Molen (Bogor), dan epe (Makassar). Pisang mempunyai kandungan gizi sangat baik, antara lain menyediakan energi cukup tinggi dibandingkan dengan buah-buahan lain. Pisang kaya mineral seperti kalium, magnesium, fosfor, besi, dan kalsium. Pisang juga mengandung vitamin, yaitu C, B kompleks, B6, dan serotonin yang aktif sebagai neurotransmitter dalam kelancaran fungsi otak. [4]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Desain Alat dan Dimensi Alat



Berikut ini adalah desain 2D dari model oven :

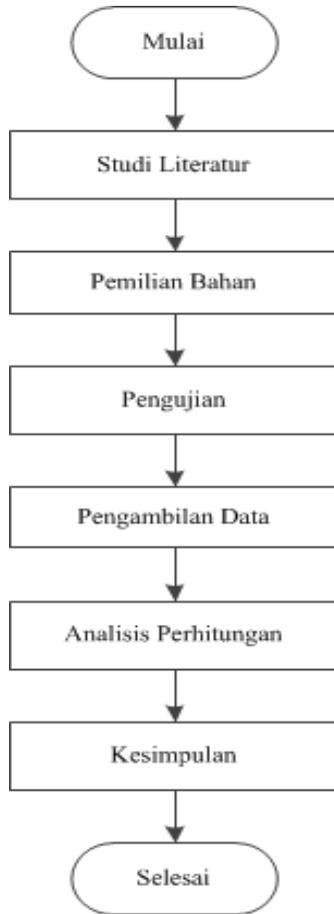
Gambar 3.1 Gambar Tampak Depan dan Samping Oven Pengering Buah Pisang

➤ Berikut ini spesifikasi dimensi dari oven :

- Dimensi model oven
 - Panjang = 108 cm = 10,8 m
 - Lebar = 81 cm = 0,81 m
 - Tinggi = 133 cm = 1,33m
- Ukuran cerobong
 - Panjang = 9 cm = 0,09m
 - Lebar = 9 cm = 0,09m
 - Tinggi = 100 cm = 1 m
 - $A_v = (0,09 \times 0,09)m^2 = 0,0081m^2$
- Data rak dan bak penampung
 - Panjang = 89cm = 0,89m
 - Lebar = 71,5cm = 0,715m

3.2 Diagram Alir Tugas Akhir

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



Gambar 3.2 Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir
Berikut ini merupakan langkah – langkah dalam penyusunan tugas akhir, berikut ini urutan prosesnya :

3.3 Persiapan Awal

- a) Penentuan tema awal Tugas Akhir mengenai pengeringan buah pisang
- b) Studi literatur terhadap proses pengujian

- c) Penjadwalan dan persiapan terhadap pengujian bahan
- d) Menyiapkan buah pisang, dengan membelinya di pasar
- e) Memotong buah pisang menggunakan alat pemotong keripik pisang hingga memiliki berat 1 kg
- f) Menyiapkan oven dengan cara memanasinya dengan pemanas listrik
- g) Menyiapkan alat-alat penunjang pengujian untuk pengambilan data seperti anemometer, tachometer, thermometer, watt meter, timbangan digital, dan hygrometer

3.4 Prosedur Percobaan/Pengujian

3.4.1 Pengujian

Sebelum melakukan pengujian, buah pisang dipotong menggunakan alat pemotong keripik pisang hingga memiliki ketebalan 1 cm, lebar 3 cm, dan panjang 2 cm, kemudian di timbang menggunakan timbangan digital hingga keripik pisang mempunyai berat 1 kg. Alirkan listrik ke dalam ruang bakar oven dengan cara sambungkan pemanas listrik oven pada watt meter yang sudah tertancap pada stop kontak. Atur rak yang berada di dalam oven agar panas yang dihasilkan pemanas listrik dapat mengalir secara merata di masing masing rak. Cerobong oven di tutup hingga 80° dan temperatur pada display di atur 60°C agar pemanasan oven berlangsung secara cepat. Setelah oven panas, letakkan keripik pisang di 5 rak yang berada di dalam oven dengan beban masing-masing rak 200 gram, lalu atur cerobong serta temperatur sesuai dengan yang dikehendaki. Pengeringan dimulai dengan waktu pengeringan selama 4 jam, lalu setelah pengeringan selama 4 jam selesai matikan pemanas listrik dan ambil keripik pisangnya.



Gambar 3.3 Ruang Pengapian

3.4.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian

Dalam pengambilan data – data saat pengujian dibutuhkan beberapa peralatan ukur, diantaranya :

1. **Thermometer**, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur ruangan dalam oven. Thermometer yang digunakan dapat mengukur dari 0 hingga 300 °C dengan ketelitian 5 °C.



Gambar 3.4 Thermometer

2. **Anemometer**, alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang keluar dari dalam pengering ke udara bebas melalui cerobong udara di bagian atas oven. Selain itu juga dapat mengukur temperature udara yang melewatinya. Anemometer yang digunakan dapat mengukur kecepatan dan temperatur dengan ketelitian satu angka dibelakang koma.



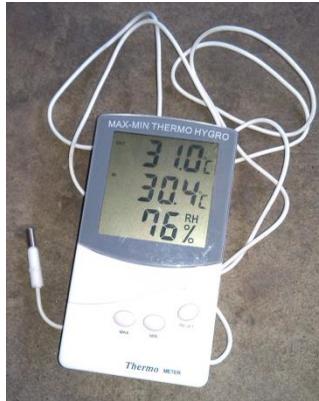
Gambar 3.5 Anemometer

3. **Timbangan Digital**, alat yang digunakan untuk mengetahui berat bahan baik bahan sebelum pengeringan maupun bahan setelah menjadi kering, sehingga dapat menghitung persentase hilangnya kandungan air dari sebelum pengeringan sehingga menjadi bahan kering. Timbangan digital yang digunakan mengukur 0,0000 kg hingga 55,000 kg. Timbangan ini juga diperlukan untuk mengukur berat segala bahan atau alat keperluan saat pengujian.



Gambar 3.6 Timbangan Digital

4. **Higrometer**, alat yang digunakan untuk mengetahui persentase Relative Humidity (RH) dan temperatur basah ruangan. Higrometer yang digunakan dapat mengukur temperatur basah $-50 - 70$ °C dan persentase Relative Humidity (RH) dari 25 hingga 100 %.



Gambar 3.7 Hygrometer

5. **Tachometer**, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur sama halnya dengan termometer namun alat ini lebih praktis. Cara kerja alat ini adalah tinggal menekan tombol dan mengarahkan laser pada bidang yang ingin diukur temperaturnya, kemudian di layar panel akan keluar nilai temperaturnya. Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur permukaan daun mengkudu dan temperatur permukaan oven bagian dalam ataupun luar. Alat ini memiliki ketelitian 1 °C.



Gambar 3.8 Tachometer

6. **Wattmeter**, instrumen pengukur daya listrik yang pembacaannya dalam satuan watt di mana merupakan kombinasi voltmeter dan amperemeter. Dalam pengoperasiannya harus memperhatikan petunjuk yang ada pada *manual book* atau tabel yang tertera pada wattmeter. Demikian juga dalam hal pembacaannya harus mengacu pada *manual book* yang ada



Gambar 3.9 Watt Meter

3.5 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan suatu pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya:

3.5.1 Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan bahan yang akan dikeringkan, yaitu buah pisang yang telah di potong menggunakan alat pemotong keripik pisang
2. Menimbang berat awal dari keripik pisang sebelum di keringkan
3. Mengatur letak dari keripik pisang pada rak agar tidak menumpuk di beberapa bagian.
4. Menyambungkan sambungan pemanas listrik ke watt meter yang telah tertancap di stop kontak, agar pemanas listrik menyala dan dapat menghasilkan panas
5. Menyiapkan seluruh alat ukur yang nantinya akan digunakan saat pengambilan data.
6. Letakkan thermometer di rak agar dapat mengukur temperatur udara di dalam oven tiap tingkatannya dan jangan sampai thermometer menyentuh keripik pisang.
7. Nyalakan pemanas listrik
8. Perhatikan temperatur oven agar tetap pada temperatur yang diinginkan dan bukaan cerobong juga perhatikan karena tiap percobaan bukaan cerobong berbeda besarnya.



Gambar 3.10 Penataan Buah Pisang Pada Rak Dalam Oven

3.5.2 Tahap Pengambilan Data

Dalam setiap pengujian yang penulis lakukan, yang menjadi patokan dalam mencari data – data adalah dengan patokan bukaan cerobong. Setelah di dapat kecepatan aliran keluar dari cerobong rata – rata barulah pengambilan data dilakukan. Data – data tersebut diambil pada waktu interval tertentu. Kemudian untuk setiap pengujian yang perlu dicatat antara lain:

- Berat keripik pisang total sebelum dan sesudah pengujian
- Daya yang diperlukan oven selama proses pengeringan
- Kecepatan aliran dan temperatur udara pada cerobong
- Temperatur permukaan keripik pisang di dalam oven
- Temperatur permukaan dinding oven luar maupun dalam
- Temperatur dinding ruang bakar luar maupun dalam
- Temperatur ruangan dalam oven
- Persentase Relative Humidity (RH) di dalam dan diluar oven

3.5.3 Tahap Setelah Pengujian

Tahapan ini yaitu membersihkan dan merapikan peralatan pengujian agar siap untuk digunakan kembali saat pengujian selanjutnya, diantaranya:

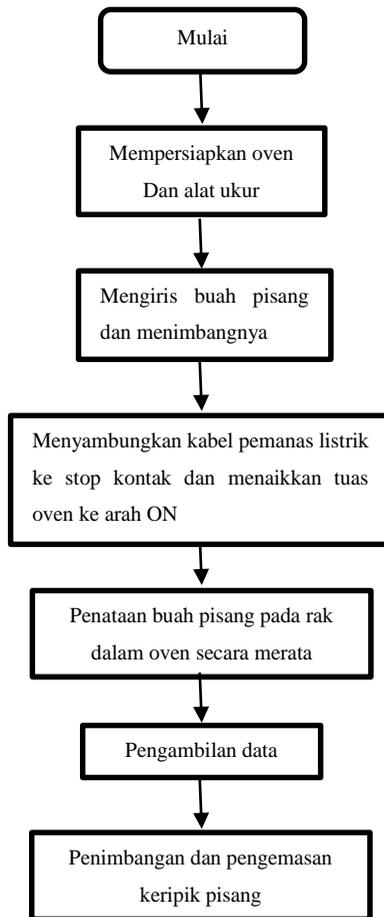
- Membersihkan oven dari sisa – sisa hasil pengujian sebelumnya
- Cabut kabel sambungan aliran listrik pemanas oven
- Mengemas dan menandai hasil pengujian agar tidak tertukar
- Merapikan seluruh alat ukur yang telah digunakan
- Membersihkan lingkungan sekitar tempat pengujian

3.5.4 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:

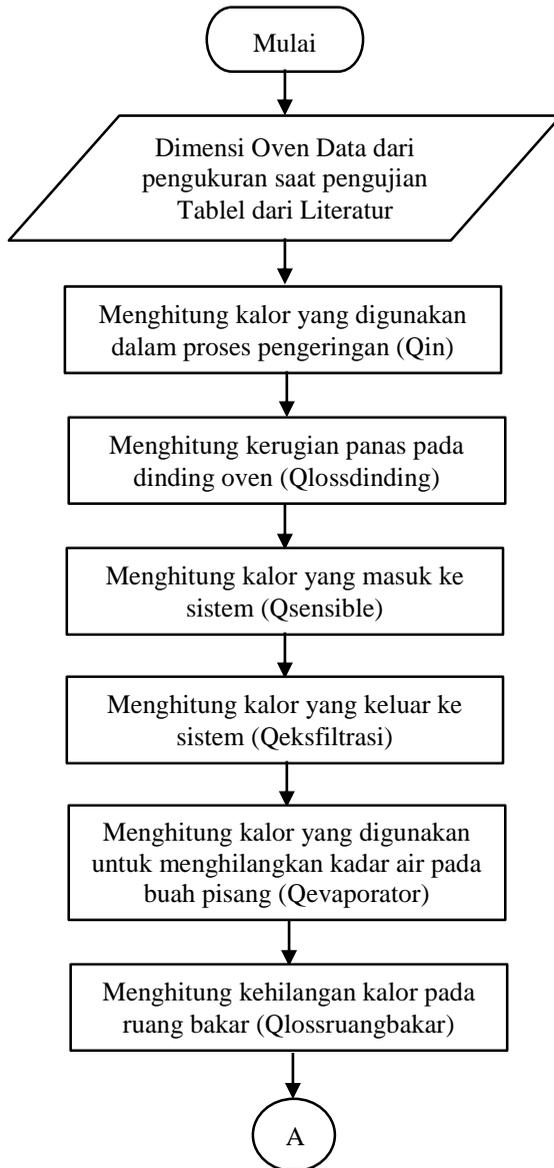
1. Menghitung panas yang masuk ke dalam sistem pengeringan (Q_{in}).
2. Menghitung kerugian panas (Q_{loss}) yang keluar menembus dinding dari pengering selama proses pengeringan bahan dan kerugian akibat adanya udara luar yang masuk ke sistem ($Q_{infiltrasi}$).
3. Menghitung besar panas yang keluar dari pengering melalui cerobong ($Q_{eksfiltrasi}$).
4. Menghitung besar panas untuk menghilangkan kadar air keripik pisang (Q_{evap}).
5. Menghitung besar daya yang digunakan oven selama melakukan 4 jam proses pengeringan
6. Menghitung persentase pengurangan berat daun mengkudu setelah dikeringkan.

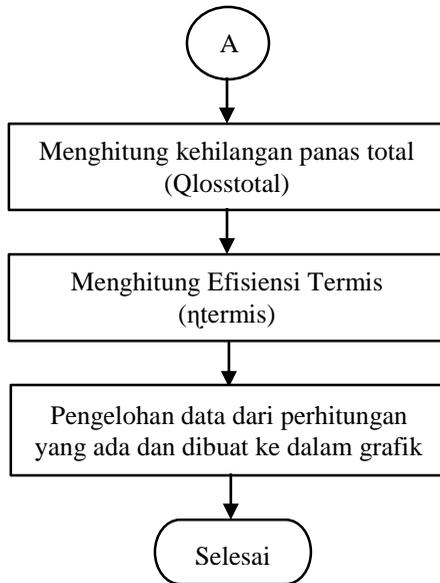
3.6 Diagram Alir Pengujian



Gambar 3.11 Flow Chart Pengujian Buah Pisang

3.7 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir

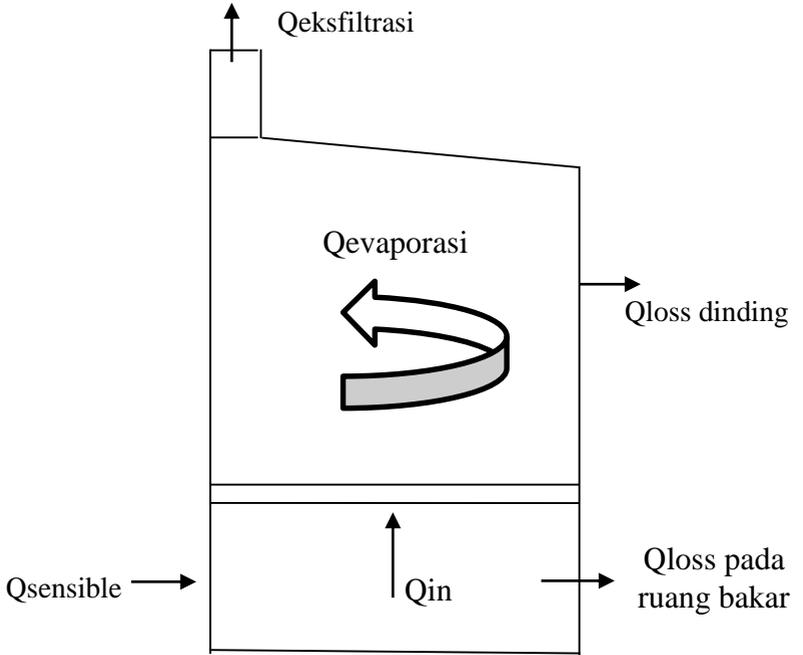




Gambar 3.12 Flow Chart Perhitungan Tugas Akhir

BAB IV
ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Neraca Kalor pada Proses Pengeringan Dengan Oven



Gambar4.1 Neraca Kalor pada Proses Pengeringan dengan Menggunakan oven

Neraca kalor pada proses pengeringan dengan menggunakan oven:

$$Q_{in} + (-) Q_{sensible} = Q_{evaporasi} + Q_{loss \text{ dinding}} + Q_{loss \text{ ruang bakar}} + Q_{eksfiltrasi}$$
$$Q_{in} = Q_{out}$$

4.2 Data Spesifikasi Alat

Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- Dimensi oven
 - Panjang = 108cm = 1,08m
 - Lebar = 81 cm = 0,81 m
 - Tinggi kanan = 133cm = 1,33m
 - Tinggi kiri = 113,8cm = 1,138 m
- Dimensi cerobong
 - Panjang = 9 cm = 0,09 m
 - Lebar = 9 cm = 0,09 m
 - Tinggi = 100 cm = 1 m

$$A_{cerobong} = (0,09 \times 0,09) m^2 = 0,0081 m^2$$

- Dimensi Ruang Bakar
 - Panjang = 108 cm = 1,08 m
 - Lebar = 81 cm = 0,81 m
 - Tinggi kanan = 40 cm = 0,4 m
 - Tinggi kiri = 50 cm = 0,5 m
- Data dinding
 - » Bahan Dinding
 1. Aluminium
 - Tebal (L_1) = 8 cm = 0,08 m
 - Konduktivitas termal (k_1) = 166 W/m^{°K}
 2. Glass Wool (*cellular glass*)
 - Tebal (L_2) = 0,5 cm = 0,005 m
 - Konduktivitas termal (k_2) = 0,058 W/m^{°K}
 3. Galvalume (depan)
 - Tebal (L_3) = 4 cm = 0,04 m
 - Konduktivitas termal (k_3) = 166 W/m^{°K}

- » Luas permukaan dinding oven tanpa ruang bakar
 1. bagian depan tanpa kaca (A_1) = 1,4109 m²
 2. bagian belakang (A_2) = 1,4109 m²
 3. bagian kanan (A_3) = 1,1178 m²
 4. bagian kiri (A_4) = 0,94365 m²
 5. bagian atas (A_5) = 0,9477 m²

- » D Hidrolis pada dinding vertikal, diasumsikan sebagai panjang tertinggi pada tiap dinding oven, jadi:
 1. L depan, belakang, kanan = 1,33 m
 2. L kiri = 1,138 m
 3. D Hidrolis pada dinding horizontal, menggunakan rumus :

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

- Data rak dan bak penampung

Panjang	=	89 cm	=	0,89 m
Lebar	=	71,5 cm	=	0,715 m
Pegangan Rak	=	10,5 cm	=	0,105 m

- Data Bahan (Buah Pisang)
 Buah pisang yang telah dipisahkan dari kulitnya dan di iris menjadi beberapa bagian dengan berat 1000 gram dengan temperatur 60 °C.

4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan Q_{storage} pada ruang oven, yang didapat berdasarkan teori keseimbangan energi yaitu, $Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}}$. Dan dalam rancang bangun tugas akhir ini yang merupakan indikator Q_{in} ialah panas yang dihasilkan dari oven, sedangkan indikator dari Q_{out} adalah $Q_{\text{evaporasi}}$, $Q_{\text{lossdinding}}$, $Q_{\text{lossruangbakarl}}$, Q_{sensible} , dan $Q_{\text{infiltrasi}}$.

4.3.1 Perhitungan Q_{loss} (W) pada jenis material yang digunakan

Material yang digunakan ialah plat galvalume dan celluler glass sebagai isolatornya. Berikut adalah proses perhitungan untuk mencari Q_{loss} pada jenis material yang digunakan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Free Convection*.

- **Bagian Cerobong**

- ✓ Temperatur keluar cerobong = 52°C

- Kecepatan udara keluar cerobong = 1,27 m/s

- ✓ Properti-properti fluida

- Dari $T = 325^{\circ}\text{K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*, yaitu :

$$\rho = 1,0782 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 196,4 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$$

- ✓ Kecepatan udara saat keluar cerobong

$$\text{Re}_u = \frac{\rho_{\text{udara}} V_{\text{udara}} D_{\text{cerobong}}}{\mu}$$

$$= \frac{1,0782 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,27 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,09 \text{ m}}{196,4 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}}$$

$$= 6.274,86$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log 6.274,86$$

$$= 5,136$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \\
 &= \frac{2(4,932)^2}{((5,136)+1)(2(5,136)+1)} \frac{m}{s} \\
 &= 0,763 \frac{m}{s}
 \end{aligned}$$

✓ *Mass Flow Rate*

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho c \times Vc \times Ac \\
 &= 1,0782 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,763 \frac{m}{s} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\
 &= 6,66 \times 10^{-3} \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

✓ Kecepatan fluida di dalam oven

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{keluar}} &= \dot{m}_{\text{fluida di dalam oven}} \\
 \rho_{\text{out}} \times V_{\text{out}} \times A_{\text{cerobong}} &= \rho_{\text{in}} \times V_{\text{in}} \times A_{\text{celah rak}} \\
 6,66 \times 10^{-3} \text{ kg/s} &= 1,0463 \text{ kg/m}^3 \times V_{\text{in}} \times \\
 (0,89 \times 0,08) \text{ m}^2 & \\
 V_{\text{in}} &= 0,0884 \frac{m}{s}
 \end{aligned}$$

- **Bagian Dalam**

✓ Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, kiri, dan belakang lapisan dalam.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{332,8 + 329,3}{2} = 331,05 \text{ K}$$

✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 334,625 K$, maka dapat diketahui properti fluida dari Tabel *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\bar{\nu} = 19,1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k = 28,594 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha = 27,088 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,7027$$

$$\rho = 1,0582 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp = 1,0082 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$\mu = 199,23 \times 10^{-7} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{331,05 K} = 0,003021 K^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi Plat *Galvalume* dinding bagian kanan, depan, belakang lapisan dalam oven.

✓ Panjang Karakteristik
 $L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,33m$

✓ Rayleigh Number (Ra_L)

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

$$= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,003021 K^{-1} \cdot (332,8 - 329,3)K \cdot (1,33 m)^3}{19,1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 27,088 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 471.615.504,7$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 4,72 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (4,72 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7027}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 76,374$$

✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian kanan,depan,belakang (plat vertikal) lapisan dalam oven

$$h_1 = \frac{Nu_{uL} \cdot k}{L}$$

$$= \frac{76,374 \cdot 28,59 \cdot 10^{-3} W / m \cdot K}{1,33 m}$$

$$= 1,642 W / m^2 \cdot K$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik
 $L = \text{TinggiPlatVertikal} = 1,138 \text{ m}$

- ✓ Rayleigh Number (Ra_L)

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

$$= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,003021 \text{ K}^{-1} \cdot (332,8 - 329,3)\text{K} \cdot (1,138 \text{ m})^3}{19,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 27,088 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 295.433.634,8$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 2,95 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (2,95 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7027}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 68,021$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian kiri (plat vertikal) lapisan dalam oven

$$h_2 = \frac{N_{uL} \cdot k}{L}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{68,021 \cdot 28,59 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,138 \text{ m}} \\
 &= 1,709 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven.

- ✓ Panjang karakteristik horizontal

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4x(1,17x0,81)}{2x(1,117 + 0,8)} = 0,9257 \text{ m}$$

- ✓ Rayleigh Number (Ra_L)

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,003021 \text{ K}^{-1} \cdot (332,8 - 329,3)\text{K} \cdot (0,9257 \text{ m})^3}{19,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 27,088 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 175.849.124,2
 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 1,76 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L \leq 10^9$. Maka rumus Nusselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 Nu_L &= 0,15 \cdot Ra_L^{1/3} \\
 &= 0,68 \cdot 1,76^{1/3} \\
 &= 83,507
 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian atas (plat horizontal) lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_3 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{83,507 \cdot 28,59 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,9257 \text{ m}} \\
 &= 2,494 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

- **Bagian Luar**

- ✓ Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, kiri, dan belakang lapisan luar oven.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{304 + 301,6}{2} = 302,8 \text{ K}$$

- ✓ Properti-properti fluida
 Dari $T_f = 302,8 \text{ K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \bar{\nu} &= 16,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\
 k &= 26,51 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \\
 \alpha &= 22,914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\
 \text{Pr} &= 0,7066 \\
 \rho &= 1,1521 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 \mu &= 185,94 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2} \\
 \beta &= \frac{1}{T_f} = \frac{1}{302,8 \text{ K}} = 0,003303 \text{ K}^{-1} \\
 g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Aluminium* dinding bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik
L = Tinggi Plat Vertikal = 1,33 m

- ✓ Rayleigh Number (R_{aL})

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

$$= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,003303 K^{-1} \cdot (304 - 301,6)K \cdot (1,33 m)^3}{16,2 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 22,914 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 492.791.692,5$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 4,93 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (4,93 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7066}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 77,259$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Aluminium* dinding kanan,depan,belakang (plat vertikal) bagian luar oven.

$$\begin{aligned}
 h_4 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{7,259 \cdot 26,51 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,33 \text{ m}} \\
 &= 1,539 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Aluminium* dinding bagian kiri lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik
 $L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,138 \text{ m}$
- ✓ Rayleigh Number (Ra_L)

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,003303 \text{ K}^{-1} \cdot (304 - 301,6) \text{ K} \cdot (1,138 \text{ m})^3}{16,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 22,914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 308.699.013
 \end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*
 Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 3,09 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$\begin{aligned}
&= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (3,09 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7066}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
&= 68,809
\end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Aluminium* dinding bagian kiri (plat vertikal) lapisan luar oven

$$\begin{aligned}
h_5 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
&= \frac{68,809 \times 26,51 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{1,138 m} \\
&= 1,603 \frac{W}{m^2 \cdot K}
\end{aligned}$$

6. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Aluminium* dinding bagian atas lapisan luar oven.

- ✓ Panjang karakteristik

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4x(1,17 \times 0,81)}{2x(1,117 + 0,8)} = 0,9257 m$$

- ✓ Rayleigh Number (R_{aL})

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,003303 K^{-1} \cdot (304 - 301,6)K \cdot (0,9257 m)^3}{16,2 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 22,914 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
&= 183.010.169
\end{aligned}$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 1,83 \cdot 10^7$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $10^7 R_{aL} \leq 10^{11}$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{uL} &= 0,27 \cdot R_{aL}^{\frac{1}{4}} \\ &= 0,27 \cdot (1,83 \cdot 10^7)^{\frac{1}{4}} \\ &= 31,404 \end{aligned}$$

- ✓ Koefisien konveksi pada plat *Aluminium* dinding bagian atas (plat horizontal) lapisan luar oven

$$\begin{aligned} h_6 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\ &= \frac{31,404 \cdot 26,51 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{0,9257 \text{ m}} \\ &= 0,869 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka koefisien konveksi untuk setiap pengaturan ketinggian cerobong dapat diketahui.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Koefisien Konveksi

Kecepatan aliran udara di cerobong m/s	h1 W/m ² k	h2 W/m ² k	h3 W/m ² k	h4 W/m ² k	h5 W/m ² k	h6 W/m ² k
1,27	1,642	1,709	2,494	1,539	1,603	0,869
0,99	1,678	1,747	2,561	1,521	1,584	0,859
0,66	1,424	1,483	2,069	1,409	1,467	0,795
0,43	1,482	1,542	2,239	1,838	1,913	1,039
0,18	1,437	1,496	2,099	1,589	1,654	0,898

✓ Perhitungan kerugian panas pada oven:

1. Dinding bagian depan (Q_{loss1})

$$\begin{aligned} R_{\text{tot1}} &= \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\ &= \left(\frac{1}{1,642} + \left(\frac{0,08}{237} + \frac{0,004}{0,058} + \frac{0,05}{166} \right) + \frac{1}{1,539} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\ &= 1,345 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss1}} &= \frac{\Delta T}{R_{\text{tot1}}} \times A_1 \\ &= \frac{(329,3 - 301,6) ^\circ K \cdot W}{1,345 m^2 \cdot ^\circ K} \times 1,4109 m^2 \\ &= 29,054 W \end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan (Q_{loss2})

$$\begin{aligned} R_{\text{tot2}} &= R_{\text{tot1}} \\ Q_{\text{loss2}} &= \frac{\Delta T}{R_{\text{tot1}}} \times A_2 \\ &= \frac{(329,3 - 301,6) ^\circ K \cdot W}{1,345 m^2 \cdot ^\circ K} \times 1,1778 m^2 \\ &= 23,018 W \end{aligned}$$

3. Dinding bagian belakang (Q_{loss3})

Karena hambatan sama dengan bagian depan, tetapi dimensi berbeda. Maka :

$$\blacktriangleright Q_{\text{loss3}} = Q_{\text{loss1}}$$

$$= 29,054 W$$

4. Dinding bagian kiri (Q_{loss4})

$$\begin{aligned} R_{tot4} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_5} \\ &= \left(\frac{1}{1,709} + \left(\frac{0,08}{237} + \frac{0,004}{0,058} + \frac{0,05}{166} \right) + \frac{1}{1,603} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\ &= 1,296 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{loss4} &= \frac{\Delta T}{R_{tot4}} \times A_4 \\ &= \frac{(329,3 - 301,6) ^\circ K \cdot W}{1,296 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,94365 m^2 \\ &= 20,173 W \end{aligned}$$

5. Dinding bagian atas (Q_{loss5})

$$\begin{aligned} R_{tot5} &= \frac{1}{h_3} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_6} \\ &= \left(\frac{1}{2,494} + \left(\frac{0,08}{237} + \frac{0,004}{0,058} + \frac{0,05}{166} \right) + \frac{1}{0,869} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\ &= 1,638 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \end{aligned}$$

$$Q_{loss5} = \frac{\Delta T}{R_{tot5}} \times A_5$$

$$= \frac{(329,3 - 301,6) \text{ } ^\circ K \cdot W}{1,638 \text{ m}^2 \cdot \text{ } ^\circ K} \times 0,9477 \text{ m}^2$$

$$= 16,031 \text{ W}$$

6. Semua Dinding Oven ($Q_{\text{loss total}}$)

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

$$= 117,329 \text{ W}$$

Tabel 4.2 Data Perhitungan Q loss dinding total

Kecepatan aliran udara di cerobong (m/s)	Q_{loss} dinding total (W)
1,27	117,329
0,99	132,134
0,66	88,212
0,43	98,059
0,18	84,237

4.3.2 Perhitungan Q_{sensibel} (W) yang Masuk ke Sistem

✓ *Mass Flow Rate*

Temperatur lingkungan pada saat oven menyala sebesar 28,6°C, dari Tabel A4 didapatkan $C_p = 1,0071 \text{ kJ/kg.K}$ dan $\rho = 1,1561 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = \rho \times V_{\text{cerobong}} \times A_{\text{cerobong}}$$

$$= 1,1561 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,763 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0081 \text{ m}^2$$

$$= 7,114 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

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

$$= 7,114 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \times 1,0071 \text{ kJ/kg.K} (329,3-301,6)\text{K.W}$$

$$= 198,449 \text{ W}$$

Tabel 4.3 Data Perhitungan Q sensible

Kecepatan aliran udara (m/s)	$Q_{\text{sensibel}}(\text{W})$
1,27	198,449
0,99	192,206
0,66	162,199
0,43	151,279
0,18	127,133

4.3.3 Perhitungan $Q_{\text{eksfiltrasi}}$ (W) yang keluar melalui ventilasi

Dengan menggunakan anemometer, diketahui T_{udara} yang keluar dari ventilasi rata-ratanya adalah 52°C , dari Tabel A4 didapatkan $C_p = 1,008 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{eksfiltrasi}} &= \dot{m} \times C_p \times \Delta T \\
 &= 7,069 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,008 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \times (329,3 - 301,6) \text{ K} \\
 &= 177,832 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Data Perhitungan $Q_{\text{eksfiltrasi}}$

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	$Q_{\text{eksfiltrasi}}(\text{W})$
1,27	177,832
0,99	173,014
0,66	167,942
0,43	160,321
0,18	127,787

4.3.4 Perhitungan Laju Perpindahan Panas Untuk Menghilangkan Kadar Air Pada Buah Pisang (Q_{evap})

Pada temperature permukaan buah pisang rata-ratanya adalah 53,4⁰C, maka sifat-sifat air pada suhu tersebut menurut Tabel A6 adalah :

$$h_{fg} = 2374,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Mass Flow Rate air buah pisang yang dikeringkan adalah :

$$\dot{m} = \frac{\text{Berat pisang sebelum pengujian} - \text{berat pisang setelah pengujian}}{\text{durasi pengujian}}$$

$$= \frac{(1 - 0,585)\text{kg}}{240 \text{ menit} \times 60\text{s}/1\text{menit}}$$

$$= 4,063 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Maka, Q_{evap}

$$\begin{aligned} Q_{\text{evap}} &= \dot{m} \times h_{fg} \\ &= 4,063 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2374,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 99,469 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian dengan variasi kecepatan aliran udara di cerobong, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.5 Data Perhitungan Q evaporasi

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	Q_{evap} (W)
1,27	96,469
0,99	99,546
0,66	96,548
0,43	100,613
0,18	95,761

4.3.5 Perhitungan Qloss (W) pada ruang bakar oven

Perhitungan kalor yang terbuang yang terdapat pada ruang bakar dihitung dengan menggunakan persamaan energy yang didapat dari neraca kalor.

- **Bagian Dalam**

Temperatur rata-rata antara temperature ruang bakar oven dan temperature surface plate bagian dalam.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{357,55 + 354,7}{2} = 356,125 \text{ K}$$

- ✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 356,125 \text{ K}$, maka dapat diketahui property fluida dari Appendix A.4 dari buku *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*, yaitu :

$$\bar{v} = 21,59 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k = 30,5 \cdot 10^3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha = 30,93 \cdot 10^6 \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,6988$$

$$\rho = 0,9798 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 211 \times 10^{-7} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{363,325 \text{ K}} = 2,81 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi dinding bagian kiri, depan, dan belakang lapisan dalam ruang bakar oven.

- ✓ Panjang karakteristik

L = Tinggi Ruang Bakar = 0,5 m

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

$$= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0281 K^{-1} \cdot (357,55 - 354,7)K \cdot (0,5 m)^3}{21,59 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 30,93 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 14.695.651,89$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 14.695.651,89$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L < 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (1,469 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,6988}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 32,464$$

✓ Koefisien konveksi pada bagian kiri,depan,belakang lapisan dalam ruang bakar oven

$$h_1 = \frac{Nu_x \cdot k}{L}$$

$$= \frac{32,464 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3} W / m \cdot K}{0,5 m}$$

$$= 1,98 W / m \cdot K$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksi dinding bagian kanan lapisan dalam ruang bakar oven.

- ✓ Panjang karakteristik
L = Tinggi Ruang Bakar = 0,4 m

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

$$= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0281 K^{-1} \cdot (357,55 - 354,7)K \cdot (0,4 m)^3}{21,59 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 30,93 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 7.524.173,767$$

- ✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 7.524.173.767$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L < 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (7,524 \cdot 10^7)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,6988}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 27,566$$

- ✓ Koefisien konveksi pada bagian kanan lapisan dalam oven :

$$h_2 = \frac{Nu_x \cdot k}{L}$$

$$= \frac{27,566 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3} W/m \cdot K}{0,4 m}$$

$$= 1,682 W/m^2 \cdot K$$

- **Bagian Luar**

Temperatur rata-rata antara temperature ruang bakar oven dan temperature *surface plate* bagian luar.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{305,9 + 301,6}{2} = 303,76 \text{ K}$$

✓ Properti-properti fluida

Dari $T_f = 303,76 \text{ K}$, maka dapat diketahui property fluida dari Appendix A.4 dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu

:

$$\bar{v} = 16,339 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\rho = 1,1466 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$k = 26,63 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\alpha = 23,16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Pr} = 0,7064$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{304,46 \text{ K}} = 0,00329 \text{ K}^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi dinding bagian kanan lapisan luar ruang bakar oven.

✓ Panjang karakteristik

$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 0,5 \text{ m}$

✓ Rayleigh Number (R_{aL})

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0281 K^{-1} \cdot (305,9 - 301,6)K \cdot (0,5 m)^3}{16,339 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 23,16 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 46.138.869
 \end{aligned}$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 4,614 \cdot 10^8$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (4,614 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7064}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 42,988
 \end{aligned}$$

✓ Koefisien konveksi pada dinding kanan,depan,belakang bagian luar ruang bakar oven.

$$\begin{aligned}
 h_3 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{42,988 \cdot 26,63 \cdot 10^{-3} W/m \cdot K}{0,5 m} \\
 &= 2,62 W/m^2 \cdot K
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi dinding bagian kiri lapisan luar ruang bakar oven.

✓ Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 0,4 \text{ m}$$

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

$$= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0281 \text{ K}^{-1} \cdot (305,9 - 301,6)\text{K} \cdot (0,4 \text{ m})^3}{16,339 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 23.623.101,01$$

✓ Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $Ra_L = 2,36 \cdot 10^7$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $Ra_L \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

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

$$= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (2,36 \cdot 10^7)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7064}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$= 36,468$$

✓ Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kiri lapisan luar ruang bakar oven

$$h_4 = \frac{N_{uL} \cdot k}{L}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{36,468 \cdot 26,63 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0,4 m} \\
 &= 2,225 \frac{W}{m^2 \cdot K}
 \end{aligned}$$

✓ Perhitungan Kerugian Panas pada :

1. Dinding bagian depan (Q_{loss1})

$$\begin{aligned}
 R_{\text{tot1}} &= \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_3} \\
 &= \frac{1}{1,98} + \left(\frac{0,08}{237} + \frac{0,004}{0,058} + \frac{0,05}{166} \right) + \frac{1}{2,62} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 0,974 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q_{\text{loss1}} &= \frac{\Delta T}{R_{\text{tot1}}} \times A_{\text{depan}} \\
 &= \frac{(357,55 - 301,6) ^\circ K \cdot W}{0,974 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,486 m^2 \\
 &= 27,93 W
 \end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan (Q_{loss2})

$$\begin{aligned}
 R_{\text{tot2}} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \frac{1}{1,682} + \left(\frac{0,08}{237} + \frac{0,004}{0,058} + \frac{0,05}{166} \right) + \frac{1}{2,225} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 1,131 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\text{➤ } Q_{\text{loss2}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{tot2}}} \times A_{\text{kanan}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(357,55 - 301,6) \text{ } ^\circ K \cdot W}{1,131 \text{ m}^2 \cdot \text{ } ^\circ K} \times 0,324 \text{ m}^2 \\
 &= 16,022 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3. Dinding bagian belakang ($Q_{\text{loss}3}$)

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q_{\text{loss}3} &= Q_{\text{loss}1} \\
 &= 27,93 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4. Dinding bagian kiri ($Q_{\text{loss}4}$)

$$\begin{aligned}
 R_{\text{tot}4} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \frac{1}{1,682} + \left(\frac{0,08}{237} + \frac{0,005}{0,058} + \frac{0,04}{166} \right) + \frac{1}{2,225} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{ } ^\circ K}{W} \\
 &= 1,131 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{ } ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q_{\text{loss}4} &= \frac{\Delta T}{R_{\text{tot}4}} \times A_{\text{belakang}} \\
 &= \frac{(357,55 - 301,6) \text{ } ^\circ K \cdot W}{1,131 \text{ m}^2 \cdot \text{ } ^\circ K} \times 0,405 \text{ m}^2 \\
 &= 20,04 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Data Perhitungan Q loss ruang bakar

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	Q_{loss} ruang bakar(W)
1,27	62,164
0,99	91,922
0,66	92,835
0,43	79,124
0,18	97,275

4.3.6 Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor Pada Oven

Setelah mendapat harga Q_{evap} dan Q_{in} maka didapat efisiensi sebesar,

$$\begin{aligned}\eta_{\text{Oven}} &= \frac{Q_{\text{evaporasi}} + Q_{\text{sensible}}}{Q_{\text{in}}} \\ &= \frac{198,449 + 96,469}{600 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 49,15 \%\end{aligned}$$

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian dengan variasi waktu, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.7 Data Perhitungan Efektivitas Penyerapan Kalor pada Oven dengan Variasi Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran udara di ventilasi (m/s)	Efektivitas oven(%)
1,27	49,15
0,99	48,63
0,66	43,12
0,43	41,98
0,18	37,15

4.3.7 Perhitungan Biaya yang Digunakan pada Proses Pengeringan

Setelah mendapat harga Q_{in} dan Efektivitas Oven, kemudian dapat menghitung biaya energy listrik yang digunakan selama proses pengeringan.

Dengan mengetahui waktu kerja oven = 240 menit kemudian juga perlu diketahui waktu oven

bekerja = 15 menit dan waktu oven mengalami temperature drop = 30 menit.

$$H_{cycle} = \frac{t_{work}}{t_h + t_s}$$

$$= \frac{240}{15 + 30}$$

$$= 5 \times$$

Waktu total pemanasan :

$$t_{total\ heating} = t_{heat} \times H_{cycle}$$

$$= 15 \times 5$$

$$= 75 \text{ menit}$$

Biaya Proses Pengujian :

$$Cost = Q_{in} \times \frac{Rp. 1467,28}{KWH} \times \frac{t_{tot\ heat}}{60 \text{ menit}} \times 1H$$

$$= 2,158 \text{ KW} \times \frac{Rp. 1467,28}{KWH} \times \frac{240 \text{ menit}}{75 \text{ menit}} \times 1H$$

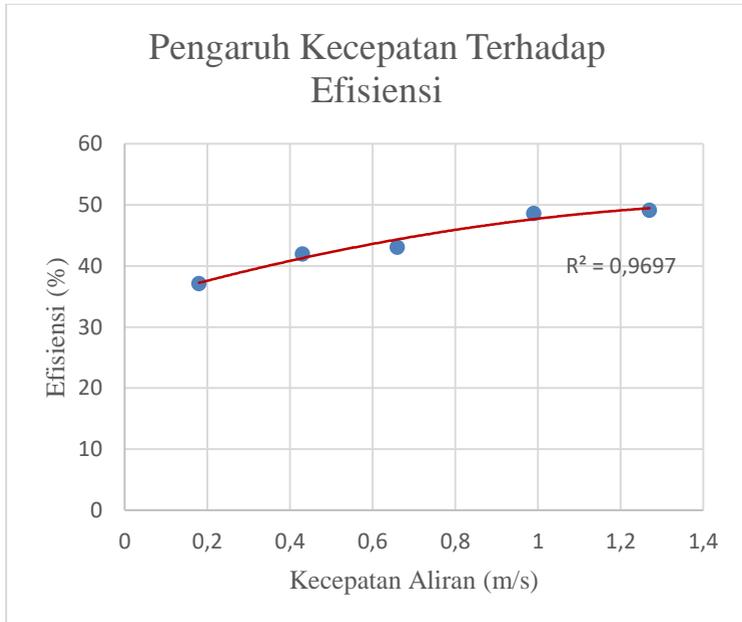
$$= Rp. 11.879$$

Tabel 4.8 Data Perhitungan Biaya yang dibutuhkan setiap Proses Pengeringan

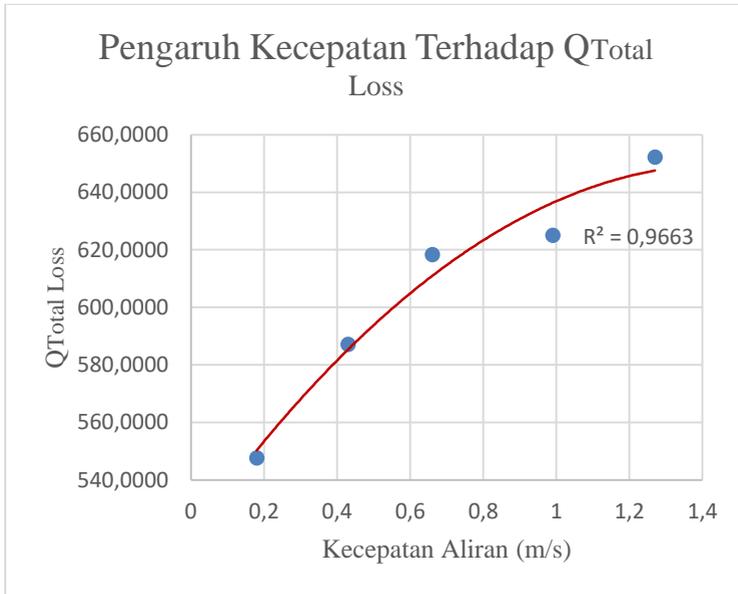
Kecepatan aliran udara (m/s)	Biaya(Rp)
1,27	11.879
0,99	10.996,38
0,66	8.550,13
0,43	8.648,74
0,18	7.409,18

Tabel 4.9 Hasil Pengujian dengan Variasi Kecepatan Aliran Udara Ventilasi

Variasi (m/s)	Qlosstot (Watt)	Qeksfil (Watt)	Qsesn (Watt)	Qevap (Watt)	Qin : 6 (Wattjam)	Efktvts (%)
1,27	652,244	177,83 2	198,4 49	96,46 9	2,158	49,15
0,99	625,02	173,01 4	221,3 93	99,54 6	2,342	48,63
0,66	618,375	167,94 2	162,1 99	96,54 8	1,821	43,12
0,43	587,125	160,32 1	151,2 79	100,6 13	1,842	41,98
0,18	547,683	127,78 7	127,1 33	95,76 1	1,578	37,15



Gambar 4.2 Grafik Efisiensi Hasil Pengujian



Gambar 4.3 Grafik Q_{total} Hasil Pengujian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada bab sebelumnya telah diketahui bahwa tugas akhir ini berupa pengujian dan perhitungan, dimana pengujian menggunakan oven dengan dimensi 1,170 meter x 0,810 meter x 1,825 meter dan untuk perhitungan menggunakan rumus pendekatan *Free Convection* (bagian luar dan dalam oven). Dan dari beberapa kali pengujian dan perhitungan tersebut didapatkan beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan efisiensi dari oven pengering ini.

Dari hasil pengujian pengeringan buah pisang, didapatkan suatu data sebagai berikut:

1. Kerugian panas (Q_{loss}) terbesar yaitu sebesar 705,393 W terdapat pada saat kecepatan udara 0,99 m/s, sedangkan kerugian panas (Q_{loss}) terkecil, yaitu sebesar 547,683 W terdapat pada saat kecepatan udara 0,18 m/s.
2. Kalor Penguapan (Q_{evap}) terbesar yaitu 100,613 W pada saat kecepatan udara 0,43 m/s dan (Q_{evap}) terkecil yaitu 95,761 W pada saat kecepatan udara 0,18 m/s.
3. Efisiensi Oven terbesar yaitu 53,49% didapat pada variasi kecepatan udara 0,99 m/s, sedangkan efisiensi oven terkecil yaitu 37,149% didapat pada saat kecepatan udara 0,18 m/s.
4. Biaya proses pengeringan termahal terdapat pada variasi kecepatan udara 1,27 m/s yaitu Rp 11.879, sedangkan biaya proses pengeringan termurah terdapat pada variasi kecepatan udara 0,18 m/s yaitu Rp 7.409,18

Jadi semakin tinggi kecepatan aliran udara yang keluar melalui cerobong, maka semakin tinggi pula efisiensi yang di dapatkan dalam proses pengeringan buah pisang di dalam oven. Tetapi juga menghasilkan kerugian panas pada dinding oven yang semakin tinggi, sehingga membutuhkan biaya proses pengeringan yang semakin tinggi pula.

Dari proses pengujian pengeringan buah pisang kecepatan aliran udara yang keluar melalui cerobong terefisien adalah sekitar 0,99 m/s, karena memiliki efisiensi termis oven tertinggi daripada 4 percobaan lainnya. Tetapi kondisi ini tidak bisa dikatakan kondisi teroptimal, karena pada kondisi ini memiliki kerugian panas pada dinding oven tertinggi yaitu 705,393 W.

Korelasi dari kecepatan aliran udara ventilasi terhadap efisiensi oven pengeringan buah pisang adalah pada kecepatan udara optimal pengeringan buah pisang, dimana kecepatan udara sekitar 0,99 m/s menghasilkan efisiensi yang tertinggi yaitu 53,49%. Dengan waktu proses pengeringan yang sama pada seluruh percobaan yaitu selama 4 jam, tidak bisa diambil kesimpulan bahwa makin tinggi kecepatan udara yang keluar melalui cerobong makin tinggi efisiensi oven yang diperoleh.

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. Membuat sensor untuk mengetahui kadar air dalam produk, untuk memudahkan identifikasi selesainya proses pengeringan.
3. Perlu dilakukan pengujian kembali dengan *range* variasi yang lebih banyak, hingga diperoleh titik puncak (*pick point*) dari nilai efisiensi oven.
4. Saat proses pengeringan terjadi aliran udara panas mengalir melalui celah atau tingkatan rak dalam oven, bila jarak antar rak diperkecil atau jumlah rak ditambah mungkin dapat meningkatkan efektifitas dari oven ini mengingat temperatur keluar oven melalui cerobong masih tergolong tinggi.

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. Faisal Rahman Adi, 2014. **Tugas Akhir Perencanaan Ulang Oven Untuk Proses Pengeringan Daun Mengkudu Dengan Sumber Panas LPG**.
3. Ramadhana Kurnia, 2017. **Tugas Akhir Studi Eksperimental Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Ventilasi Terhadap Efektivitas Penggunaan Kalor Oven Energi Listrik Untuk Proses Pengeringan Daun Kersen**
4. Wikipedi/website. *Pisang*, Diperoleh 29 November 2017, <https://id.wikipedia.org/wiki/Pisang>

Lampiran 1

Tabel Konversi Satuan

<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Area	1 in ²	6.452 cm ²
	1 ft ²	0.0929 m ²
Density	1 slug/ft ³	515 kg/m ³
Energy	1 ft · lb	1.356 J
Flow-rate	1 ft ³ /s	0.0284 m ³ /s
	1 gpm	0.06309 Lps
Force	1 lb	4.448 N
Length	1 ft	0.3048 m
	1 in	2.540 cm
Mass	1 slug	14.59 kg
Power	1 ft · lb/s	1.356 W
	1 hp	745.7 W
	1 Btu/min	0.0176 kW
Pressure	1 psi	6895 Pa
	1 psi	0.06895 bars
	1 standard atmosphere (14.7 psia)	101.3 kPa abs
Specific weight	1 lb/ft ³	157 N/m ³
Velocity	1 ft/s	0.3048 m/s
Viscosity (absolute)	1 lb · s/ft ²	47.88 Pa · s

<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Viscosity (kinematic)	1 ft ² /s	0.0929 m ² /s
Volume	1 in ³	16.39 cm ³
	1 gal	3.785 L

<i>Parameter</i>	<i>First English Unit</i>	<i>Second English Unit</i>
Energy	1 Btu	778 ft · lb
Flow-rate	1 ft ³ /s	449 gpm
	1 hp	550 ft · lb/s
Power	1 hp	42.4 Btu/min
	1 rpm	0.1047 rad/s
Volume	1 gal	231 in ³
	1 gal	0.135 ft ³

<i>Parameter</i>	<i>First Metric Unit</i>	<i>Second Metric Unit</i>
Force	1 N	10 ⁵ dyn
Pressure	1 bar	10 ⁵ Pa
Velocity (ang.)	1 rpm	0.1047 rad/s
Viscosity (abs.)	1 N · s/m ²	10 poise
	1 poise	1 dyn · s/cm ²
Viscosity (kin.)	1 m ² /s	10,000 stokes
	1 stoke	1 cm ² /s
Volume	1 m ³	1000 L
	1 cm ³	0.001 L

Temperature Conversions

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(\text{K}) \quad T(\text{K}) = \frac{T(^{\circ}\text{R})}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 460 \quad T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Lampiran 3

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

TABLE A.3 Continued

Insulating Materials and Systems

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m·K)	Specific Heat, c_p (J/kg·K)
Blanket and Batt			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated; duct liner	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formed/Foamed-in-Place			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic; sprayed or troweled	—	0.100	—
Urethane, two-part mixture; rigid foam	70	0.026	1045
Reflective			
Aluminum foil separating fluffy glass mats; 10–12 layers; evacuated; for cryogenic applications (150 K)	40	0.00016	—
Aluminum foil and glass paper laminate; 75–150 layers; evacuated; for cryogenic application (150 K)	120	0.000017	—
Typical silica powder, evacuated	160	0.0017	—

Lampiran 4

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)	$k \cdot 10^5$ (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	2.5364	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
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Lampiran 5

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vapor- ization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coeffi- cient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temper- ature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	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	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
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	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	430	430

Lampiran 6

Section: Appendix A
Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels

Fuels	Lower Heating Value (LHV) [1]			Higher Heating Value (HHV) [1]			Density
	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	
Gaseous Fuels @ 32 F and 1 atm	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/ft³
Natural gas	983	20,267	47,141	1089	22,453	52,225	22.0
Hydrogen	290	51,682	120,21	343	61,127	142,18	2,55
Still gas (in refineries)	1458	20,163	46,898	1,584	21,905	50,951	32.8
Liquid Fuels	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/gal
Crude oil	129,670	18,352	42,686	138,350	19,580	45,543	3,205
Conventional gasoline	116,090	18,679	43,448	124,340	20,007	46,536	2,819
Reformulated or low-sulfur gasoline	113,602	18,211	42,358	121,848	19,533	45,433	2,830
CA reformulated gasoline	113,927	18,272	42,500	122,174	19,595	45,577	2,828
U.S. conventional diesel	128,450	18,397	42,791	137,380	19,676	45,766	3,167
Low-sulfur diesel	129,488	18,320	42,612	138,490	19,594	45,575	3,206
Petroleum naphtha	116,920	19,320	44,938	125,080	20,669	48,075	2,745
NG-based FT naphtha	111,520	19,081	44,383	119,740	20,488	47,654	2,651
Residual oil	140,353	16,968	39,466	150,110	18,147	42,210	3,752
Methanol	57,250	8,639	20,094	65,200	9,838	22,884	3,006
Ethanol	76,330	11,587	26,952	84,530	12,832	29,847	2,988
Butanol	99,837	14,775	34,366	108,458	16,051	37,334	3,065
Acetone	83,127	12,721	29,589	89,511	13,698	31,862	2,964
E-Diesel Additives	116,090	18,679	43,448	124,340	20,007	46,536	2,819
Liquefied petroleum gas (LPG)	84,950	20,038	46,607	91,410	21,561	50,152	1,923
Liquefied natural gas (LNG)	74,720	20,908	48,632	84,820	23,734	55,206	1,621
Dimethyl ether (DME)	68,930	12,417	28,882	75,610	13,620	31,681	2,518
Dimethoxy methane (DMM)	72,200	10,061	23,402	79,197	11,036	25,670	3,255
Methyl ester (biodiesel, BD)	119,550	16,134	37,528	127,960	17,269	40,168	3,361
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	123,670	18,593	43,247	130,030	19,549	45,471	3,017
Renewable Diesel I (SuperCetane)	117,059	18,729	43,563	125,294	20,047	46,628	2,835
Renewable Diesel II (UOP-HDO)	122,887	18,908	43,979	130,817	20,128	46,817	2,948
Renewable Gasoline	115,983	18,590	43,239	124,230	19,911	46,314	2,830
Liquid Hydrogen	30,500	51,621	120,07	36,020	60,964	141,80	268
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	93,540	15,094	35,108	101,130	16,319	37,957	2,811
Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	96,720	15,613	36,315	104,530	16,873	39,247	2,810
Tertiary amyl methyl ether (TAME)	100,480	15,646	36,392	108,570	16,906	39,322	2,913
Butane	94,970	19,466	45,277	103,220	21,157	49,210	2,213
Isobutane	90,060	19,287	44,862	98,560	21,108	49,096	2,118
Isobutylene	95,720	19,271	44,824	103,010	20,739	48,238	2,253
Propane	84,250	19,904	46,296	91,420	21,597	50,235	1,920
Solid Fuels	Btu/lb [2]	Btu/lb [5]	MJ/kg [4]	Btu/lb [2]	Btu/lb [5]	MJ/kg [4]	
Coal (wet basis) [6]	19,546,300	9,773	22,732	20,608,570	10,304	23,968	
Bituminous coal (wet basis) [7]	22,460,600	11,230	26,122	23,445,900	11,723	27,267	
Coking coal (wet basis)	24,600,497	12,300	28,610	25,679,670	12,840	29,865	
Farmed trees (dry basis)	16,811,000	8,406	19,551	17,703,170	8,852	20,589	
Herbaceous biomass (dry basis)	14,797,555	7,399	17,209	15,582,870	7,791	18,123	
Corn stover (dry basis)	14,075,990	7,038	16,370	14,974,460	7,487	17,415	
Forest residue (dry basis)	13,243,490	6,622	15,402	14,164,160	7,082	16,473	
Sugar cane bagasse	12,947,318	6,474	15,058	14,062,678	7,031	16,355	
Petroleum coke	25,370,000	12,685	29,505	26,920,000	13,460	31,308	

Source:

GREET, The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use In Transportation Model, GREET 1.8d.1, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released August 26, 2010.
<http://greet.es.anl.gov/>

Lampiran 7

Percobaan ke 1 (Lama pengeringan 50°C)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Qin (kwh)
1.	46	68	47	1,07	80	1,6694
2.	45				80	
3.	42				80	
4.	42				85	
5.	40				90	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	31,5	43,5	28,6	41,8	80	33,4	66,3	62,3
Kiri	30,4	46,7				32,3	62,8	
Depan	28,7	47,9				32,1	68,1	
Belakang	31,6	38				32,7	62,5	

Lampiran 8

Percobaan ke 2 (Lama pengeringan 55°C)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Qin (kwh)
1.	51	69	51	1,14	75	1,915
2.	50				75	
3.	50				80	
4.	49				85	
5.	49				85	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	30,3	46,5	28,6	45	81	30,6	74	72,4
Kiri	29,8	44				30	85	
Depan	29	50				31	70	
Belakang	28,5	47				30,5	72	

Lampiran 9

Percobaan ke 3 (Lama pengeringan 60°C)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Qin (kwh)
1.	56	70	49,8	1,18	75	2,148
2.	54				75	
3.	54				75	
4.	52				80	
5.	50				80	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	28,5	52,2	28,6	49,3	80	30,7	68	65,9
Kiri	30,3	53,4				32,3	71	
Depan	30,2	51,3				29,9	67	
Belakang	29,3	50,5				31,2	69	

Lampiran 10

Percobaan ke 4 (Lama pengeringan 65°C)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Q _{in} (kwh)
1.	63	68	49	1,26	75	2,523
2.	62				75	
3.	61				80	
4.	59				80	
5.	58				80	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	29,8	61,6	28,6	58	82	32	61,8	66,4
Kiri	30	54,7				29,7	68,8	
Depan	33,5	62,6				34,3	71,1	
Belakang	29,3	62,7				33,4	78	

Lampiran 11

Percobaan ke 5 (Lama pengeringan 70°C)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Q _{in} (kwh)
1.	68	70	48	1,23	80	2,674
2.	62				80	
3.	58				80	
4.	56				80	
5.	55				85	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	32,1	60,6	28,6	61	80	32,6	78,4	74,7
Kiri	29,6	65,4				30,5	85,3	
Depan	34,3	61,9				32,7	75,2	
Belakang	29,9	63				31,2	71,6	

Lampiran 6

Percobaan ke 1 (Bukaan Cerobong Fully Open)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Q _{in} (kwh)
1.	57	64	52	1,27	80	2,53
2.	55				80	
3.	59				80	
4.	48				85	
5.	48				90	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	29,9	60	28,6	56,3	81	31,2	83,4	81,7
Kiri	30	59,8				31,5	87,5	
Depan	34	62,4				29,6	82	
Belakang	30,1	57				31,3	80	

Lampiran 7

Percobaan ke 2 (Bukaan cerobong tertutup 22,5°)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Q _{in} (kwh)
1.	64	69	54	0,99	80	2,342
2.	64				80	
3.	55				75	
4.	47,5				70	
5.	47				90	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	31,5	63,4	28,6	59,7	81	32,8	83,3	81,7
Kiri	30,5	64,8				31,5	81,7	
Depan	31,3	63,4				34	79,8	
Belakang	32,2	62,8				33,4	93,4	

Lampiran 8

Percobaan ke 3 (Bukaan cerobong tertutup 45°)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Q _{in} (kwh)
1.	62	72	53	0,66	70	1,821
2.	60				75	
3.	54				85	
4.	43				90	
5.	44				95	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	30,9	55,9	28,6	51,8	81	32,3	81,8	84,6
Kiri	29,4	52,8				30,3	91,3	
Depan	29,7	52,8				32,3	90,6	
Belakang	31,1	53,4				34,6	85,6	

Lampiran 9

Percobaan ke 4 (Bukaan cerobong tertutup 67,5°)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	T _{cerb} (°C)	V _{cerb} (m/s)	Makhir (gr)	Q _{in} (kwh)
1.	58	69	52	0,43	75	1,842
2.	57				75	
3.	53				75	
4.	51				80	
5.	47				85	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	T _{surface} (°C)		T _∞		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T _∞
Kanan	32,6	53,6	28,6	50,7	82	33,7	74,6	73,8
Kiri	33,1	52,8				34,7	81,3	
Depan	34,8	51,8				35,3	78,3	
Belakang	33,6	54,3				33,3	72,7	

Lampiran 10

Percobaan ke 5 (Bukaan cerobong tertutup 82°)

Data pengukuran dalam oven

Rak ke-	T produk (°C)	RH (%)	Tcerb (°C)	Vcerb (m/s)	Makhir (gr)	Qin (kwh)
1.	58	68	49	0,18	80	1,578
2.	54				80	
3.	51				80	
4.	50				85	
5.	48				95	

Data pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	Tsurface (°C)		T_{∞}		RH (%)	Truang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T_{∞}
Kanan	30,5	52,6	28,6	49,4	86	33	84,5	81,7
Kiri	31,4	52,2				31,9	92,1	
Depan	31,9	50,2				32,8	89,7	
Belakang	31,5	50,5				32,6	85,3	

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 23 Januari 1996, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Deddy Bawono dan Farika Chandra. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Ketabang 3 Surabaya, SMPN 6 Surabaya dan SMA Muhammadiyah 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2014, Penulis melanjutkan pendidikannya di Departement Teknik Mesin Industri FV-ITS dan Konversi Energi adalah bidang studi yang dipilih penulis. Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti organisasi dan kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik, yaitu menjadi Staff Departement Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Himpunan Mahasiswa D3 Mesin (2015-2016), anggota Steering Committee (SC) HMDM 2015-2016.

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 VIII HMDM FTI-ITS, PKTI HMDM FTI-ITS, Pelatihan Training For Trainer (TFT) HMDM FTI-ITS. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Dirgantara Indonesia (Persero), Bandung, Jawa Barat.